



Life+ Leopoldia



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI CATANIA

DiGeSA

Dipartimento di Gestione
dei Sistemi Agroalimentari e Ambientali



Corso di formazione Specializzazione di tecnici dell'orticoltura in serra sostenibile

Controllo del clima Sistemi computerizzati di controllo climatico

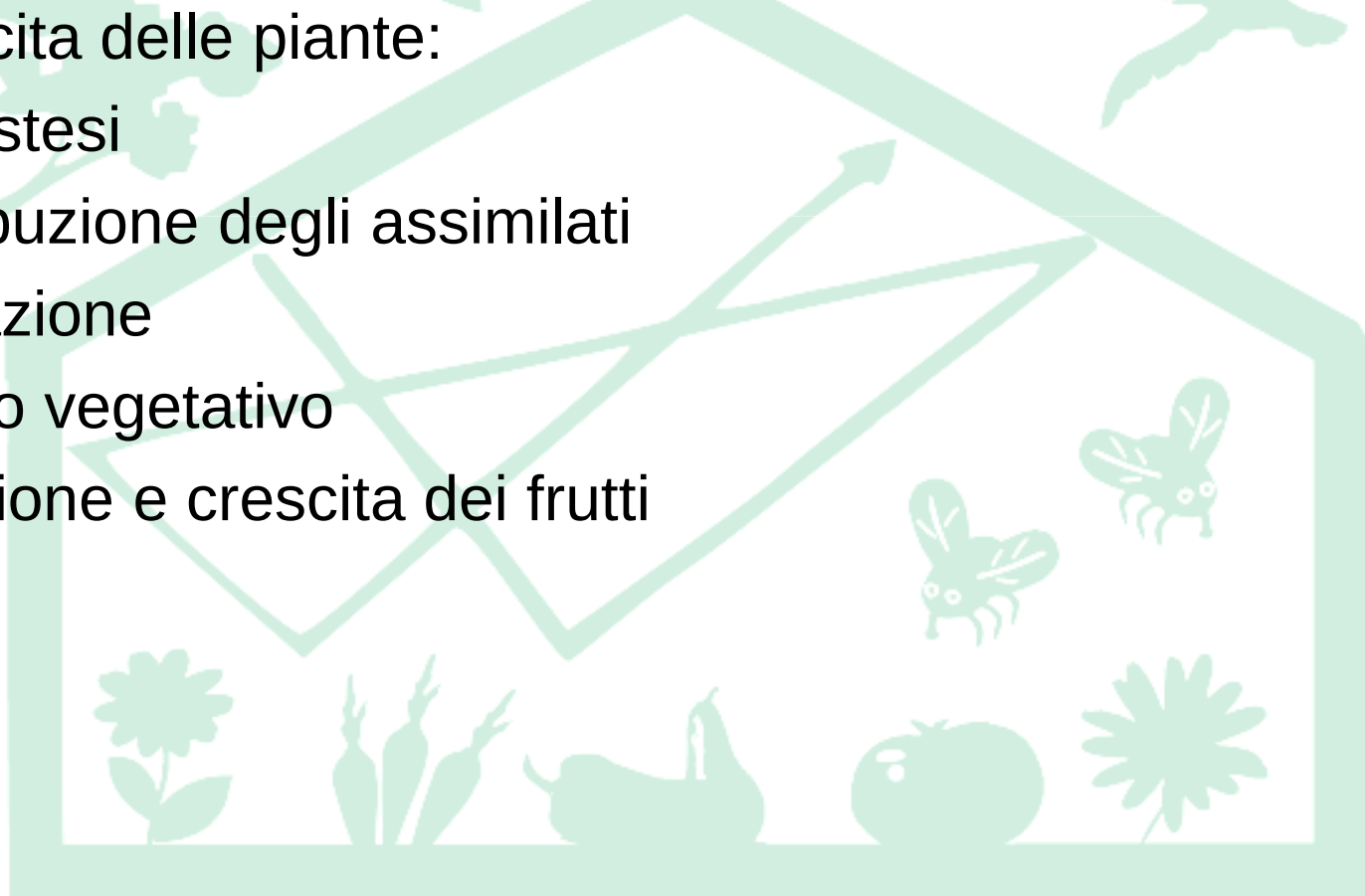
Prof. Ing. Alessandro D'Emilio
Dipartimento di Gestione
dei Sistemi Agroalimentari e Ambientali
Sez. Costruzioni e Territorio



Perché il controllo climatico

Le condizioni climatiche all'interno di una serra influenzano in modo sostanziale i principali processi biologici alla base della crescita delle piante:

- Fotosintesi
- Ridistribuzione degli assimilati
- Respirazione
- Sviluppo vegetativo
- Allegagione e crescita dei frutti

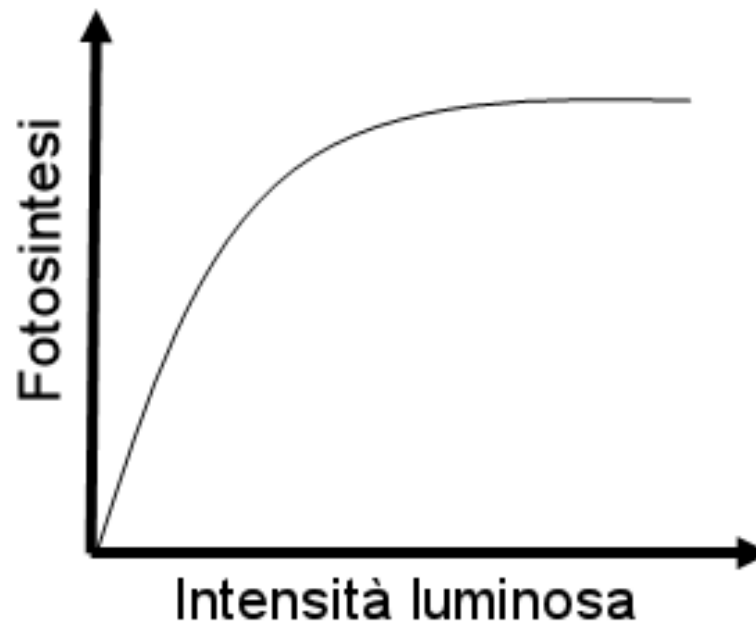




Perché il controllo climatico

Ad esempio, l'intensità della luce influenza la fotosintesi. Maggiore è l'intensità luminosa, maggiore sarà l'attività fotosintetica.

Tuttavia oltre un certo valore, ulteriori aumenti dell'intensità della luce non permettono di aumentare l'attività fotosintetica.



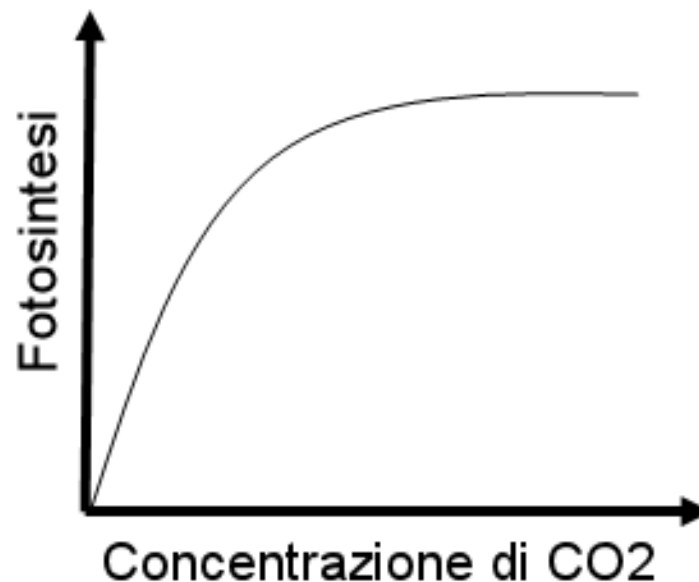


Perché il controllo climatico

La fotosintesi è influenzata anche dalla concentrazione di anidride carbonica.

In particolare, maggiore è la concentrazione di CO_2 , più intenso sarà il processo di fotosintesi.

Anche in questo caso c'è un limite superiore oltre il quale l'aumento di CO_2 non è più in grado di influenzare la fotosintesi.





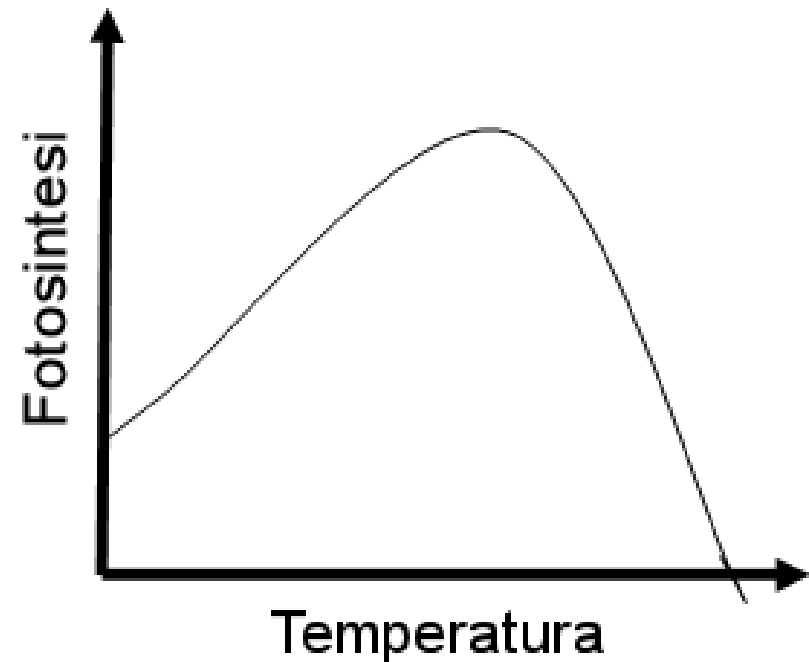
Perché il controllo climatico

Infine la fotosintesi è influenzata dalla temperatura.

In questo caso il comportamento è diversa rispetto a quanto visto per l'intensità luminosa e la concentrazione di CO₂.

Infatti, al crescere della temperatura, l'attività fotosintetica aumenta fino a raggiungere un valore ottimale.

Superato tale valore, gli enzimi alla base del processo vengono danneggiati dal calore eccessivo e l'intensità della fotosintesi diminuisce rapidamente.





Perché il controllo climatico

- Anche la respirazione (processo mediante il quale i prodotti della fotosintesi vengono trasformati in energia necessaria per la crescita e le attività metaboliche) dipende dalla temperatura.
In particolare la respirazione aumenta rapidamente al crescere della temperatura.
- Al contrario, una concentrazione elevata di CO₂ fa diminuire la respirazione.
- La respirazione è scarsamente influenzata dalla intensità della luce ed infatti, a differenza della fotosintesi, avviene prevalentemente durante le ore notturne.

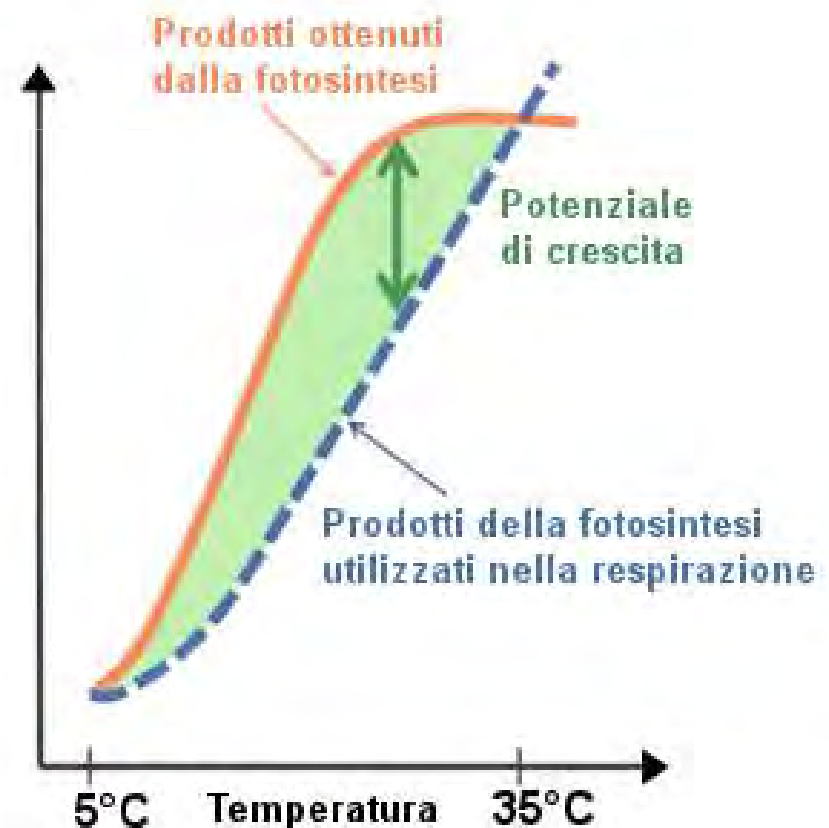


Perché il controllo climatico

E' interessante notare come il superamento di determinati valori di temperatura può portare a conseguenze negative a causa dello sbilancio tra respirazione e fotosintesi.

Ad esempio, nel pomodoro, quando la temperatura supera 35°C il consumo di prodotti della fotosintesi per respirazione supera la capacità di produzione.

Pertanto la crescita della pianta si ferma.





Perché il controllo climatico

- Anche la distanza internodale è influenzata dalla temperatura e, in particolare, varia in funzione dell'escursione termica giorno-notte.

Più elevata è la temperatura diurna rispetto a quella notturna, maggiore sarà la distanza internodale e, quindi, l'altezza della pianta.

- La distanza internodale, inoltre, è influenzata anche dall'entità della luce disponibile.

La scarsa illuminazione determina l'allungamento degli internodi del fusto, oltre a favorire lo sviluppo della superficie fogliare, con conseguenze negative sulla produzione dei frutti.



Perché il controllo climatico

Anche fioritura e allegagione dipendono fortemente dalla temperatura.

Nel pomodoro, ad esempio, la temperatura minima per la fioritura è 20°C.

Temperature sopra i 32°C o, viceversa, l'esposizione a temperature notturne inferiori a 13°C provocano una scarsa allegagione.

Sempre per il pomodoro, la temperatura (media giornaliera) ideale per la crescita e lo sviluppo dei frutti è di 25°C.

Temperature superiori riducono la produzione di frutti in percentuale sempre crescente.



Variabili coinvolte

Si comprende, quindi, l'importanza di poter monitorare e controllare sia con sistemi passivi che con sistemi attivi le seguenti variabili microclimatiche:

- Radiazione solare / Luce
- Temperatura dell'aria
- Umidità relativa dell'aria
- Concentrazione di CO₂



Lo spettro della radiazione solare

Come qualsiasi altro corpo, il Sole emette energia per propagazione di onde elettromagnetiche, in un intervallo di lunghezze d'onda che dipende dalla sua temperatura secondo la:

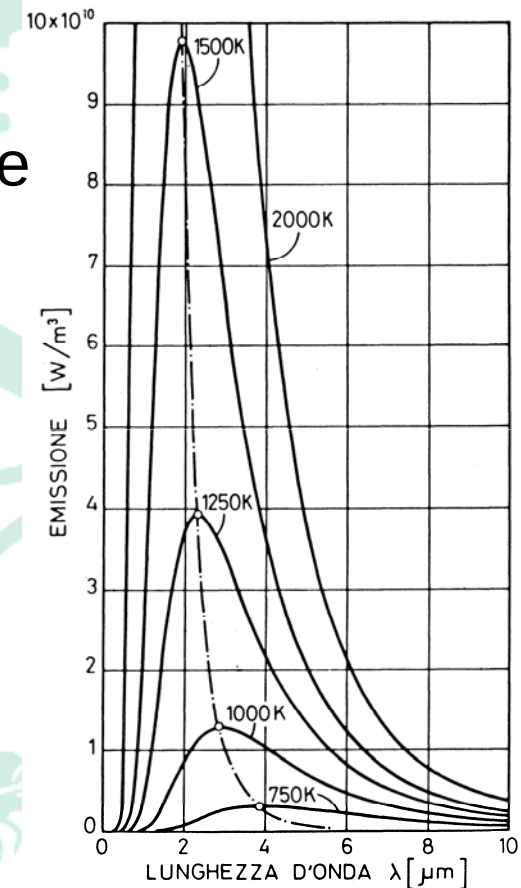
Legge di Planck che esprime l'intensità di energia $e(\lambda)$ emessa da un corpo al variare di:

- ✓ Lunghezza d'onda λ
- ✓ Temperatura del corpo T

$$e(\lambda) = \frac{C_1}{\lambda^5 \left(e^{\frac{C_2}{\lambda T}} - 1 \right)}$$

$$C_1 = 3,74 \cdot 10^{-16} \text{ Jm}^2 \text{ s}^{-1}$$

$$C_2 = 1,44 \cdot 10^{-2} \text{ mK}$$

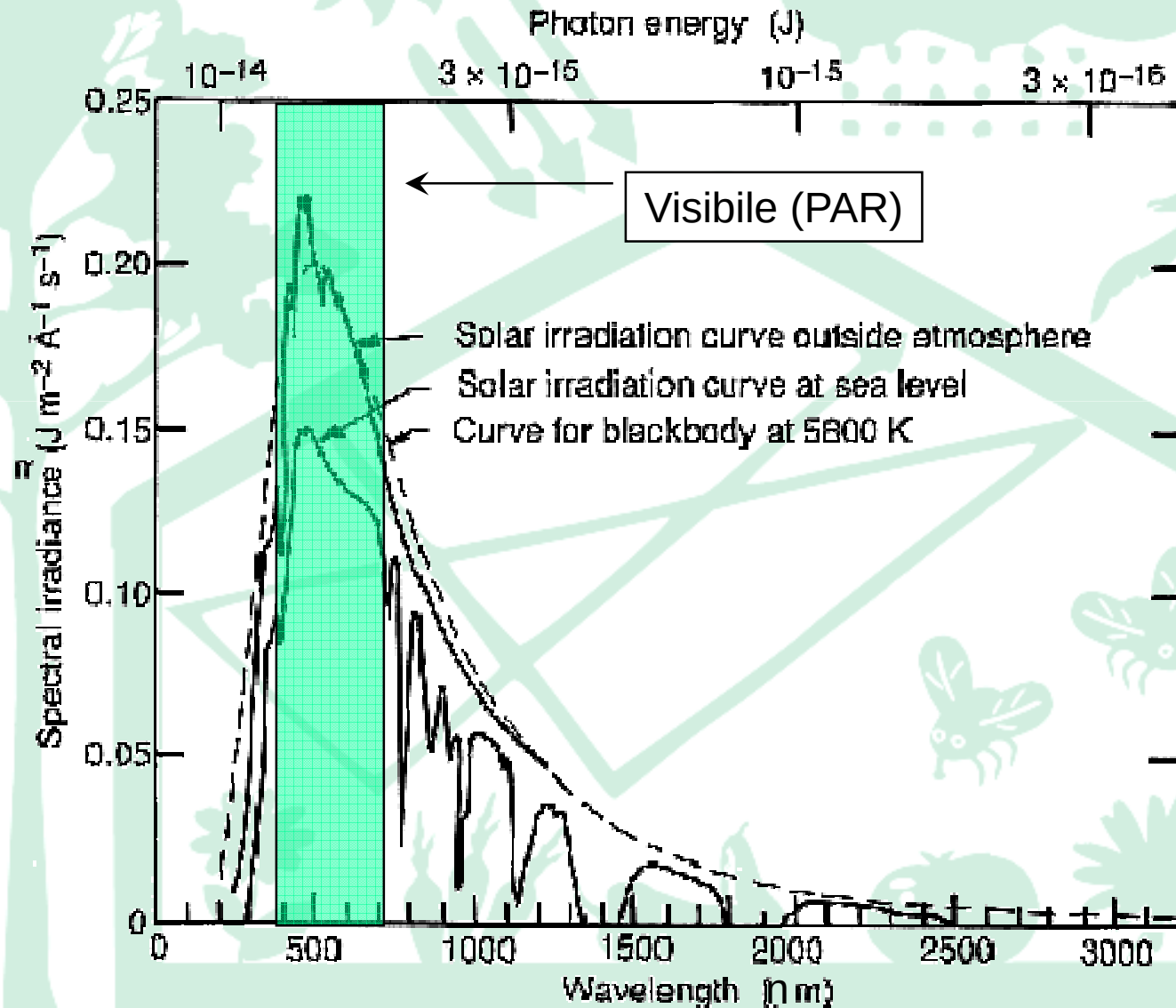


Legge di Wien: a T fissata la funzione $e(\lambda)$ presenta un massimo in corrispondenza della lunghezza d'onda data da

$$\lambda_{\max} = \frac{2898}{T} \quad [\mu\text{m}]$$

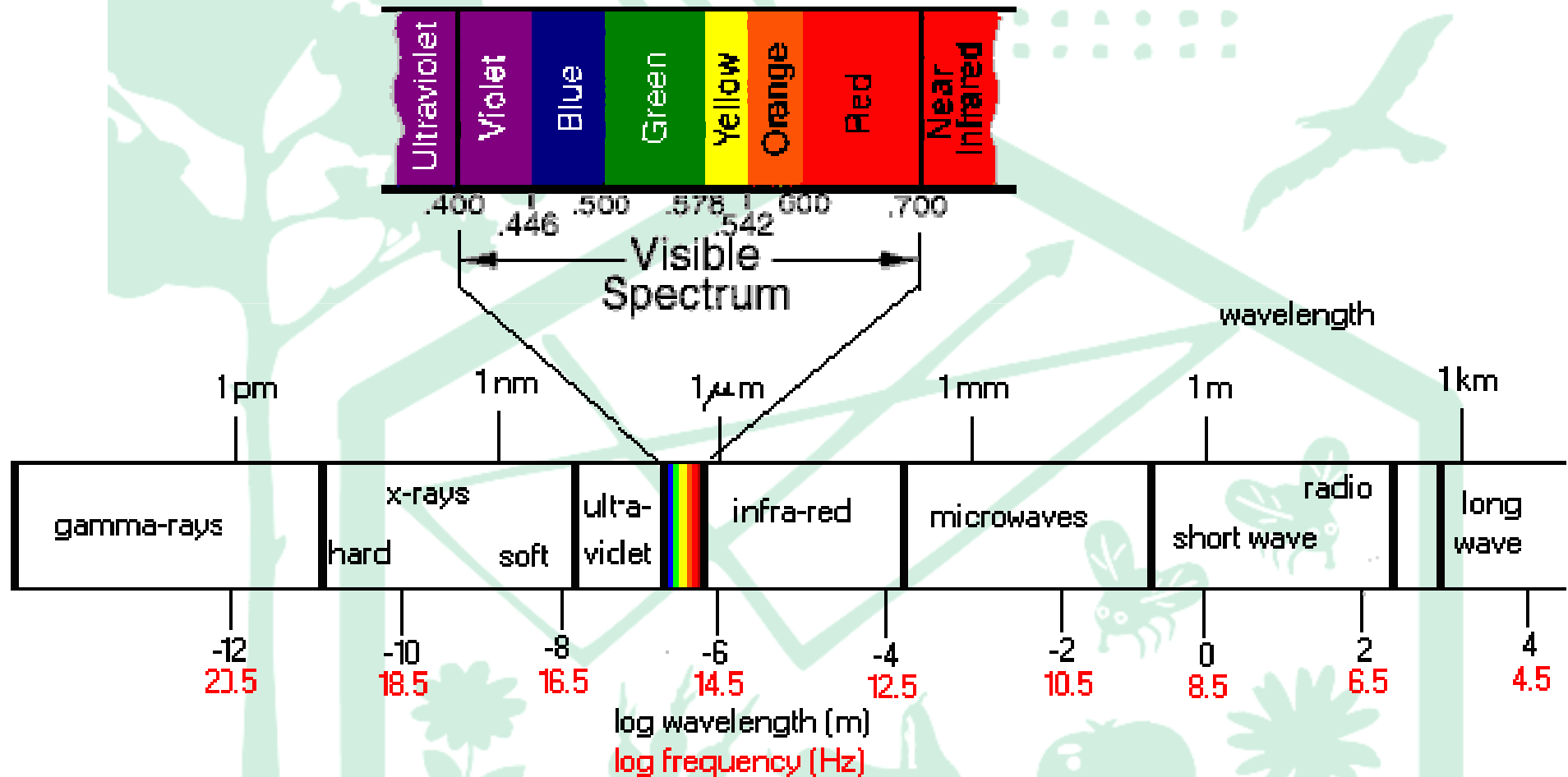


Lo spettro della radiazione solare



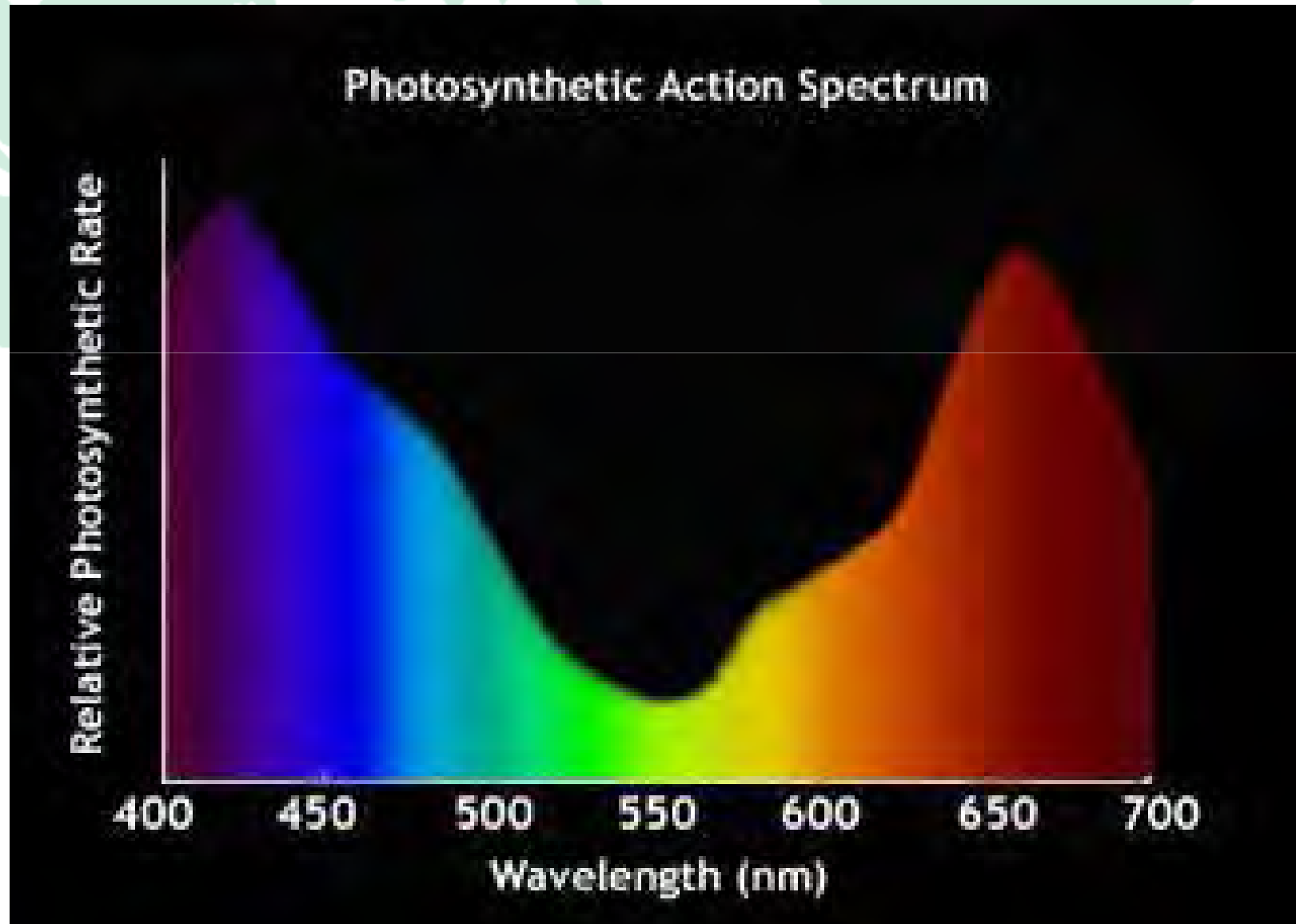


Lo spettro della radiazione solare



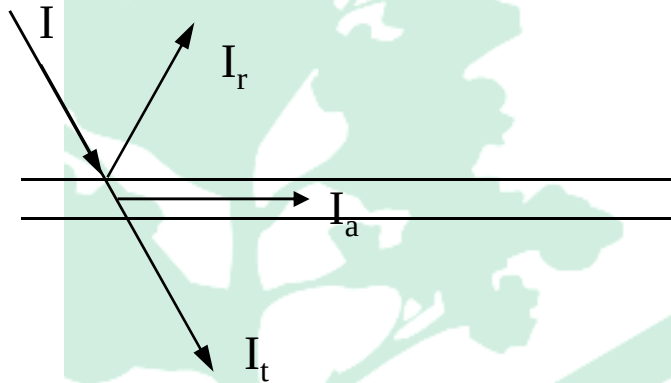


Fotosintesi e lunghezza d'onda





Caratteristiche ottiche/spetttroradiometriche



$$\tau = \frac{I_t}{I}$$

$$\rho = \frac{I_r}{I}$$

$$\alpha = \frac{I_a}{I}$$

$$\tau + \alpha + \rho = 1 \text{ (o 100\%)}$$

Coefficiente di trasmissione (trasmittanza) τ : è dato dal rapporto tra l'intensità della radiazione che oltrepassa un corpo e l'intensità della radiazione incidente sullo stesso.

Coefficiente di riflessione (riflettanza) ρ : è dato dal rapporto tra l'intensità della radiazione riflessa da un corpo e l'intensità della radiazione incidente sullo stesso.

Coefficiente di assorbimento (assorbanza) α : è dato dal rapporto tra l'intensità della radiazione assorbita da un corpo e l'intensità della radiazione incidente sullo stesso.



Caratteristiche ottiche/spettroradiometriche dei materiali di copertura

Una elevata trasmittanza alle radiazioni incidenti di lunghezza d'onda variabile dall'ultravioletto lungo all'infrarosso vicino è auspicabile poiché aumenta la quantità di energia e di luce captati.

Una bassa trasmittanza (ovvero elevata opacità) alle radiazioni infrarosse di lunghezza d'onda media e lunga favorisce l'effetto serra poiché trattiene il calore emesso dal terreno, dalla vegetazione e dagli altri corpi caldi all'interno della serra.

Nel caso di serre fredde è un fattore determinante per impedire il fenomeno dell'inversione termica.



Valori tipici di trasmittanza e riflettanza di materiali nuovi per copertura di serre

Materiali	Spessore mm	R. visibile 380-760 nm			R. solare totale 330-2500 nm			R. infrarosse 2500-35000 nm	
		Luce diretta		Luce diffusa	Luce diretta		Luce diffusa		
		T	R	T	T	R	T	T	R
<i>Film plastici</i>									
Polietilene (PE)	0,10	91	8	90	91	8	89	79	2
PE lunga durata	0,10	89	10	86	88	9	82	76	4
Cloruro di Polivinile (PVC)	0,10	92	7	91	91	7	89	6	32
Etilenvinilacetato (EVA)	0,10	92	8	76	91	7	75	39	3
<i>Lastre rigide</i>									
Vetro lucido	3,4	91	8	91	89	8	88	1	12
Polimetacrilato (alveolare)	8,0	87	13	70	82	12	63	1	7
Policarbonato(alveolare)	6,0	78	17	62	77	16	59	3	9
Poliestere (ondulato)	1,3	87*		–	73-78		–	4	–
PVC (ondulato)	1,1	87*		75		–	5		
Polimetacrilato (ondulato)	2,2	92*		–	86		–	1	–

* Trasmissione 330-1100 nm.

E' quindi evidente che la scelta del materiale di copertura è un fattore che influenza in modo determinante le condizioni di temperatura e illuminazione che si otterranno all'interno della serra.



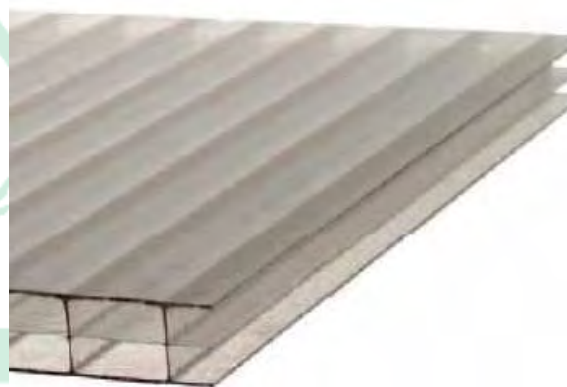
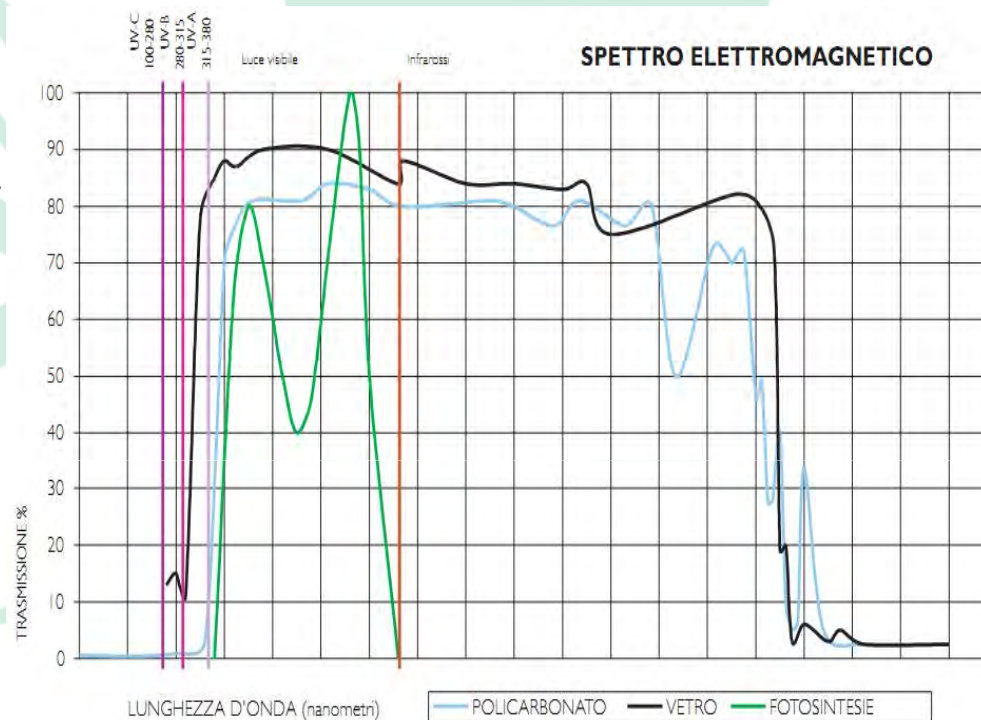
MATERIALI PLASTICI RIGIDI – Policarbonato (PC)

Caratteristiche:

- ▲ Materiale ad elevato effetto serra.
- ▲ Con le attuali protezioni anti-UV i prodotti in PC sono garantiti fino a 10 anni.
- ▼ Elevata dilatazione termica.

Forme commerciali:

- ✓ Lastre ondulate/grecate spessore 0,8 – 2 mm
- ✓ Lastre alveolari a doppia tripla o quadrupla parete spessore 6 - 16 mm
 - ▲ Coibenza maggiore rispetto alle lastre
 - ▼ Trasparenza minore rispetto alle lastre
 - ▼ Sono necessari trattamenti anti-alghe.





MATERIALI PLASTICI RIGIDI

Polimetacrilato di metile (PMMA)

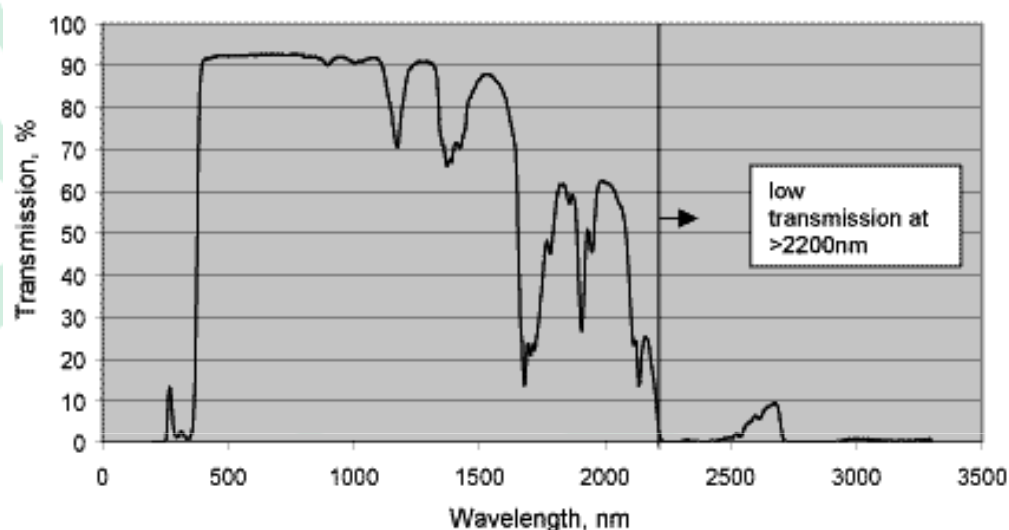
Più noto con i nomi commerciali plexiglass o vedril.

Caratteristiche:

- ▲ Effetto serra ancora più elevato del PC
- ▲ Lunga durata (fino a 15 anni)
- ▼ Elevata dilatazione termica
- ▼ Costo elevato

Forme commerciali:

- ✓ Lastre ondulate/grecate spessore 0,8 – 2 mm
- ✓ Lastre alveolari a doppia tripla o quadrupla parete spessore 8 - 32 mm
 - ▲ Coibenza maggiore rispetto alle lastre
 - ▼ Trasparenza minore rispetto alle lastre
 - ▼ Sono necessari trattamenti anti-alghe.





MATERIALI PLASTICI RIGIDI

Resina Poliestere Fibra di Vetro (PRFV)

Più noto con il nome di vetroresina. Sono costituite da resina e fibra di vetro con funzione rinforzante.

- Lastre ondulate 0,8 - 2,0 mm
- Molto diffusive
- ▲ Bassa conducibilità termica
- ▼ Non elevata trasparenza (80%)
- ▼ Elevato invecchiamento





MATERIALI PLASTICI RIGIDI

Cloruro di Polivinile (PVC)

- Lastre ondulate 0,8 - 1 mm
- ▲ Buon effetto serra
- ▲ Bassa conducibilità termica
- ▼ Elevata dilatazione termica
- ▲ Buona resistenza meccanica (PVC bi-orientato Ondex)





MATERIALI PLASTICI FLESSIBILI (Film)

- ▲ ottima trasmissione nel visibile
- ▲ costo contenuto
- ▲ estrema leggerezza
- ▼ opacità all'infrarosso termico molto variabile in funzione del polimero utilizzato
- ▼ rapido invecchiamento
- ▼ bassa resistenza alla rottura
- ▼ fenomeni di condensa





MATERIALI PLASTICI FLESSIBILI (film)

Al fine di migliorarne le caratteristiche i film plastici vengono additivati con sostanze chimiche e cariche minerali

Aggiunta di
fosfati a base di
silico-alluminati



- Diminuzione della trasparenza IR
- Opalescenza (diffusione della radiazione)

Aggiunta di
tensioattivi



Scivolamento delle
gocce di condensa

Aggiunta di
antiossidanti e
antiattinici



Riduzione dell'effetto
degradante di ossigeno e
raggi UV



MATERIALI PLASTICI FLESSIBILI (film)

Polimeri di utilizzo comune

Polietilene (PE)

Polietilene a bassa densità (LDPE)

Polietilene lineare a bassa densità (LLDPE):

- ▲ Ottima resistenza e indeformabilità
- ▲ Elevata trasparenza alla radiazione solare
- ▲ Economico
- ▼ Elevata trasparenza alla radiazione termica
- ▼ Particolarmente soggetto al fenomeno della condensa
- ▼ Bassa durata (1 anno)



MATERIALI PLASTICI FLESSIBILI (film)

Polimeri di utilizzo comune

EtilenVinilAcetato (EVA)

Ottenuto per polimerizzazione di etilene e acetato di vinile (VA).

La qualità del film dipende dalla percentuale di VA (11%- 18%)

Un più alto contenuto di VA determina:

Vantaggi

- Maggiore opacità IR
- Maggiore trasparenza nel visibile
- Maggiore resistenza a rottura

Svantaggi

- Eccessiva elasticità
- Eccessiva dilatazione termica



MATERIALI PLASTICI FLESSIBILI (film)

Cloruro di Polivinile (PVC)

- ▲ Elevata trasparenza nel visibile
- ▲ Buona opacità alla radiazione termica
- ▼ Scarsa resistenza meccanica
- ▼ Soggetti al fenomeno dell'elettricità statica
- ▼ Ridotta larghezza massima ottenibile
- ▼ Bassa durata (1 anno)

Additivi specifici

fibre poliammidiche



miglioramento delle
proprietà meccaniche

sostanze depolarizzanti



film antistatici



MATERIALI PLASTICI FLESSIBILI (film)

Film Coestrusi

I film costituiti da un solo polimero sono sempre meno diffusi.

Costituiti da due o più strati di materiale differente saldati tra loro a caldo attraverso il passaggio da una singola testa di estrusione

Consentono di ottenere film che esaltano i pregi ed attenuano i difetti dei materiali che costituiscono i singoli strati.

Esempio:

- **Strato centrale** EVA ad alto contenuto di VA (25%-30%) dotato di eccellenti capacità termiche

- **Strati esterni** LDPE o EVA a basso contenuto di VA (3%-5%) dotato di buone caratteristiche meccaniche





MATERIALI PLASTICI FLESSIBILI

Film innovativi

Negli ultimi anni sono stati proposti film innovativi a luce diffusa, a base EVA, caratterizzati dalla presenza di bollicine di gas confinate in una struttura a celle chiuse.

Il risultato è un film caratterizzato da un effetto barriera:

- alla radiazione solare incidente di lunghezza d'onda superiore al visibile (IR corto)
- alla radiazione termica (IR medio-lungo).

Si ottiene quindi una riduzione delle escursioni termiche, conseguita riducendo le temperature massime diurne ed innalzando le minime notturne.



MATERIALI PLASTICI FLESSIBILI

Film innovativi

Altra innovazione ha riguardato l'introduzione di film, a base LDPE/EVA, caratterizzato dalla presenza di microsfere (50 micron) cave di vetro.



- Effetto diffusivo causato dalla rifrazione della luce compensato dalla maggiore trasparenza del vetro che porta ad una trasmittanza totale molto vicina a quella dei film termici a luce diretta in EVA.
- Riduzione delle escursioni termiche, con particolare riferimento alla capacità di innalzare le minime notturne grazie alla elevata opacità all'IR termico e all'effetto di isolamento ottenuto con l'effetto «camera d'aria» conferito dalle microsfere cave.
- Caratteristiche meccaniche migliori rispetto a quelle dei film tradizionali grazie all'irrigidimento provocato dalle microsfere di vetro.



MATERIALI PLASTICI FLESSIBILI

Film innovativi

Una innovazione più recente è costituita dalla produzione di film coestrusi che oltre l'utilizzo di strati a base LDPE LLDPE ed EVA prevedono anche l'uso di uno o più strati di Poliammide (PA).

Il risultato è un film caratterizzato da:

- effetto serra superiore a quello dei film tradizionali a base PE/EVA
- elevata resistenza meccanica
- elevata resistenza agli agenti chimici
- durata prevista superiore a 3 anni



MATERIALI PLASTICI FLESSIBILI

Film innovativi

Ancora in fase di studio è la possibilità di realizzare film «autopulenti», ovvero dotati di proprietà superficiali tali da ridurre al minimo il deposito di impurità sulla superficie.

Le ricerche in questo senso sono volte al trattamento dei film con vernici trasparenti a base di nanopolimeri.

Il trattamento crea un film continuo sulla superficie della plastica che fa scivolare le gocce d'acqua (piovane all'esterno e di condensa all'interno) molto velocemente in modo che trascinino con loro anche le particelle di sporco.



MATERIALI PLASTICI FLESSIBILI

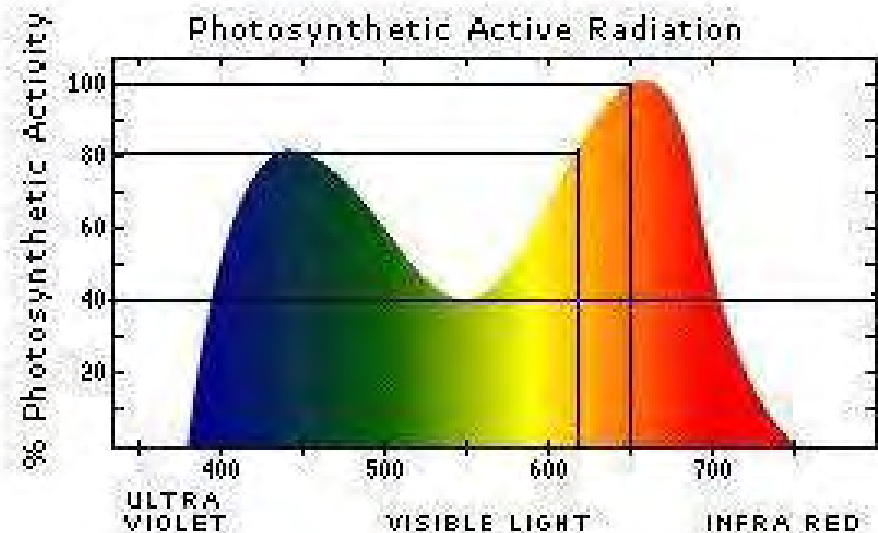
Film fotoselettivi

Ulteriori possibilità di controllo climatico sono offerte dai film fotoselettivi, ovvero in grado di impedire la penetrazione all'interno della serra della radiazione solare in un intervallo prestabilito di lunghezza d'onda.

Tra questi si ricordano i film volti al contenimento dei picchi di temperatura.

Il diagramma dell'attività fotosintetica presenta due massimi in corrispondenza del blu e del rosso.

Pertanto se si sottrae parte della radiazione solare compresa tra il verde ed il giallo si ottiene il duplice effetto di ridurre l'input solare provocando solo una piccola riduzione nell'efficienza fotosintetica.





MATERIALI PLASTICI FLESSIBILI

Film fotoselettivi

Il filtro sull'intervallo di radiazione compreso tra il verde ed il giallo (510-610 nm) si ottiene aggiungendo un pigmento che dà al film la caratteristica colorazione rosata (rosso + blu).

Infatti noi all'interno della serra vediamo il film rosa perché ai nostri occhi (e quindi alle piante) arriva solo la luce rossa e blu.

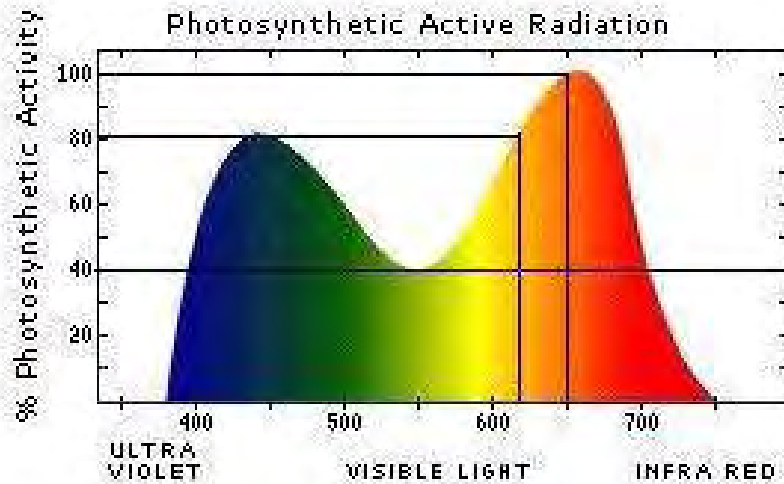


Ciò comporta una riduzione dell'energia entrante nella serra, con una conseguente riduzione delle temperature massime diurne, senza una alterazione significativa dell'attività fotosintetica.



MATERIALI PLASTICI FLESSIBILI

Film fotoselettivi



Altre colorazioni si basano sul principio che alterando la qualità della luce (cioè il rapporto tra l'intensità della radiazione nei differenti intervalli del PAR) si possono ottenere delle positive alterazioni sulle piante.

Ad esempio i film blu dovrebbero avere un effetto brachizzante, permettendo cioè di ottenere piante più compatte a tutto vantaggio della fruttificazione rispetto allo sviluppo vegetativo.

Vanno usati con estrema cautela e dopo averne verificato l'efficacia.



Schermi termici

Gli schermi termici sono dei teli posti tra la coltivazione e la copertura della serra con funzione di risparmio energetico e/o ombreggiamento.

La tipologia più diffusa è costituita da strisce larghe 4-5 mm di materiale polimerico tenute insieme da una trama di fili, solitamente in poliestere.





Schermi termici

In base alla finalità di utilizzo le strisce possono essere completamente trasparenti, bianche o con rivestimento in alluminio.

Risparmio energetico e trasmissione della luce sia diretta che diffusa.



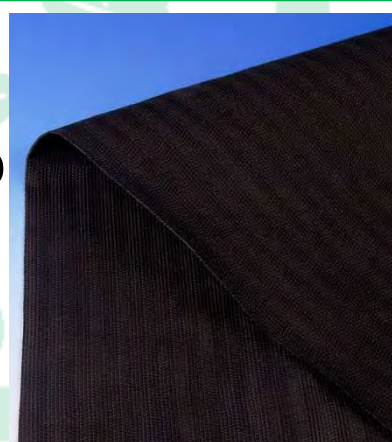
Risparmio energetico e luce diffusa per ombreggiamento.



Risparmio energetico e ombreggiamento.



Schermi termici per oscuramento studiati per colture fotosensibili.





Schermi termici

In particolare la funzione di risparmio energetico viene ottenuta mediante:

- Riduzione del volume da riscaldare nel caso di presenza di uno specifico impianto.
- Creazione di una camera d'aria con funzione di isolante termico nella parte superiore della serra compresa tra i teli e la copertura.
- Riduzione delle perdite di calore per irraggiamento verso la volta celeste. Questo risparmio è particolarmente evidente nelle ore notturne, quando tali perdite sono maggiormente consistenti ed è possibile stendere completamente i teli senza conseguenze sulla fotosintesi.



Schermi termici

L'utilizzo dei teli durante le ore diurne deve invece essere attentamente valutato in relazione alla inevitabile diminuzione di luminosità in dipendenza dalle esigenze della coltivazione e dalle condizioni atmosferiche.

Inoltre bisogna monitorare:

- il possibile aumento di umidità relativa dell'aria nella zona di coltivazione. Questo può essere ridotto mediante l'utilizzo di teli permeabili.
- Il controllo dell'apertura dei teli al mattino. L'aria di intercapedine, infatti, essendosi raffreddata durante la notte si trova ad una temperatura notevolmente più bassa dell'aria sotto i teli e, pertanto, tende a scendere velocemente per gravità, potendo creare danni alle colture.

Pertanto, è essenziale che la movimentazione dei teli rientri nella gestione automatizzata della serra.



Vernici ombreggianti

L'uso di vernici ombreggianti sulla superficie esterna del film di copertura è ancora in uso grazie alla sua economicità.

Tuttavia è un sistema estremamente semplice che non consente alcuna regolazione.

Ai fini della sostenibilità ambientale è necessario conoscere la composizione della vernice, preferendo quelle a base di prodotti naturali (calce, gesso, etc.) anziché a base di polimeri sintetici, in modo da evitare il rilascio di sostanze inquinanti a seguito della sua rimozione.



Illuminazione artificiale

In base alla coltura ed alle condizioni climatiche può essere necessario o conveniente ricorrere all'illuminazione artificiale. Ciò può avere diverse finalità:

- Interruzione della notte
- Allungamento del giorno
- Supplemento di radiazione solare





Illuminazione artificiale - lampade

Abbandonate ormai le lampade ad incandescenza, le tipologie maggiormente utilizzate sono:

- a fluorescenza
- a scarica ad alta intensità (HID)
- a LED

La scelta viene effettuata sulla base di ben precise caratteristiche:

- Efficienza della lampada intesa come percentuale di potenza convertita in luce utile alla fotosintesi.
- Composizione spettrale della luce emessa che influenza la risposta fotomorfologica delle piante.
- Costi di:
 - impianto (acquisto lampade e predisposizione impianto elettrico);
 - esercizio (consumo energetico, sostituzione lampade in funzione della vita utile);



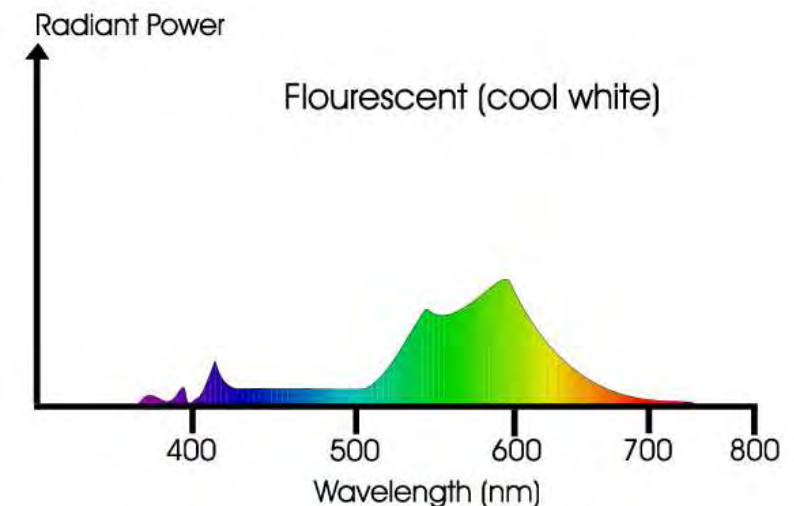
Illuminazione artificiale - lampade

Le lampade a fluorescenza sono costituite da un tubo di vetro contenente una miscela di un gas nobile (argon, xeno, neon) ed una piccola quantità di mercurio. La superficie interna del tubo è rivestita di un materiale fluorescente.

Il mercurio, quando è attraversato da una corrente elettrica, emette radiazioni UV che eccitano il rivestimento fluorescente inducendolo ad emettere luce nel visibile.

Le lampade a fluorescenza a luce bianca hanno uno spettro di emissione ben bilanciato.

Cambiando la composizione del materiale fluorescente si possono ottenere spettri differenti.



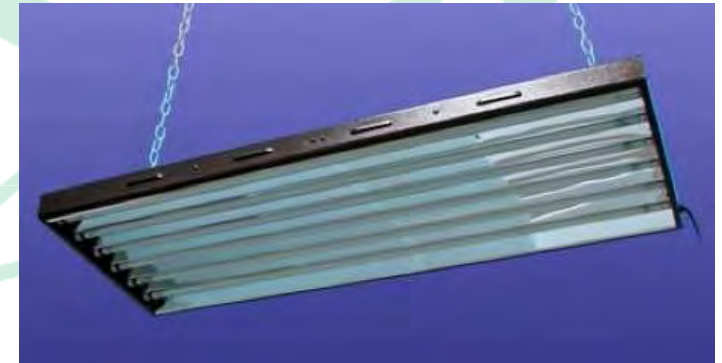


Illuminazione artificiale - lampade

La vita utile delle lampade a fluorescenza è di 15.000-20.000 ore, ma è influenzata dal numero di accensioni/spegnimenti. Inoltre l'efficienza diminuisce con il tempo e dopo 10.000 ore si riduce di circa il 60%.

Un'altro svantaggio è l'ingombro elevato che provoca un consistente ombreggiamento.

L'utilizzo in serra è, quindi, limitato, mentre sono adatte in camere fitologiche anche perché, riscaldando poco, possono essere poste vicino alle piante.





Illuminazione artificiale - lampade

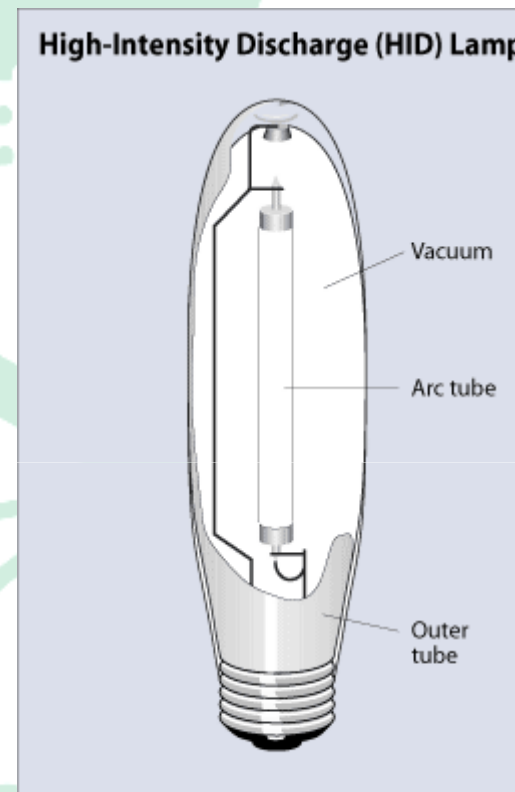
Le lampade a scarica ad alta intensità (High Intensity Discharge) sono costituite da una ampolla/tubo di vetro/quarzo contenente un gas ai cui capi si trovano due elettrodi. Quando il gas è percorso dalla corrente si forma un arco elettrico che causa la ionizzazione degli atomi del gas. In tale condizione il gas emette luce (fotoni).

Esistono diverse tipologie di lampade HID in funzione del gas contenuto nell'ampolla.

Quelle attualmente più utilizzate in serricoltura sono a:

- Ioduri metallici (MH)
- Sodio alta pressione (HPS)

E' bene ricordare che, a causa del calore emesso, le lampade HID devono essere posizionate ad almeno di 25-30 cm dalle piante.



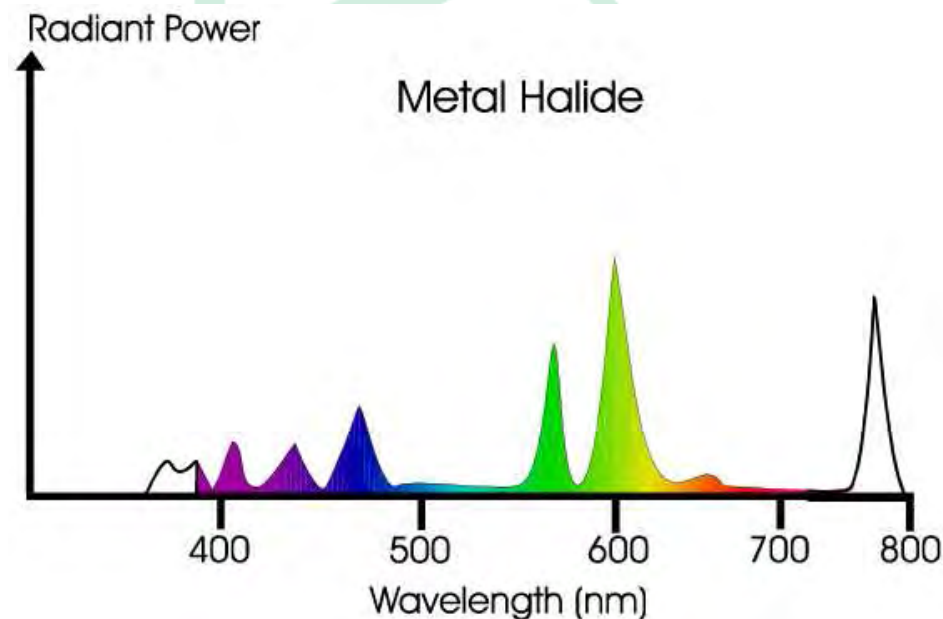


Illuminazione artificiale - lampade

Le lampade a ioduri metallici (MH) utilizzano come gas una miscela di vapori di mercurio e ioduri metallici.

Lo spettro di emissione è il migliore tra tutte le lampade tradizionali utilizzate in serricoltura e per questo possono essere utilizzate in sostituzione della luce naturale.

La vita utile può arrivare a 20.000 ore.





Illuminazione artificiale - lampade

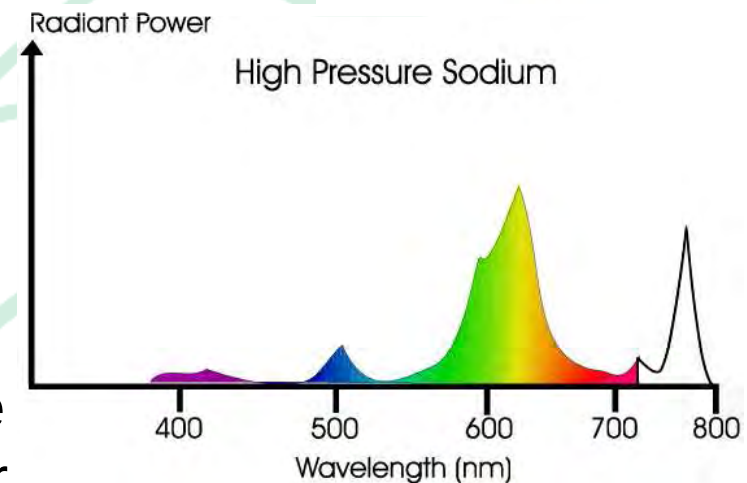
Le lampade a Sodio alta pressione (HPS) utilizzano come gas una miscela di Sodio, Argon e Neon con una piccola quantità di mercurio.

Lo spettro di emissione è concentrato nell'intervallo del giallo-arancio (500-650 nm), mentre è particolarmente basso nell'intervallo del blu.

Per questo motivo sono le lampade più utilizzate come illuminazione supplementare per stimolare la fioritura.

In commercio esistono anche delle versioni specifiche di lampade HPS per serraicoltura con una maggiore emissione nel blu che possono essere utilizzate per tutto il ciclo di vita della pianta. In alternativa, dovranno essere accoppiate a lampade MH o a fluorescenza.

La vita utile delle lampade HPS può superare le 20.000 ore.





Illuminazione artificiale - lampade

Le lampade a LED sfruttano la capacità di alcuni materiali semiconduttori di emettere fotoni quando sottoposti ad una differenza di potenziale, in modo analogo ai materiali fluorescenti ma con maggiore efficacia.

Numerose sono le caratteristiche che, a fronte di un costo di impianto superiore, le rendono appetibili per l'utilizzo in serricoltura:

- Possibilità di variare lo spettro di emissione adattando la luce alle diverse esigenze delle piante;
- Possibilità di regolare l'intensità luminosa.
- Bassa produzione di calore con conseguente
 - ✓ risparmio energetico
 - ✓ possibilità di posizionamento vicino le piante.
- Durata superiore a tutte le altre tipologie (50000-100000 ore).





Illuminazione artificiale - lampade

Molti produttori di impianti per l'illuminazione artificiale delle serre si stanno prodigando per offrire sia soluzioni analoghe a quelle realizzate con le lampade tradizionali sia altre soluzioni del tutto innovative.



Tra queste si ricordano:

- Il posizionamento delle lampade all'interno della coltivazione anziché in cima (Intra Canopy Lighting)
- L'utilizzo di luce pulsata i cui effetti sulla vegetazione sono ancora in fase di studio.





Ventilazione

La ventilazione è uno dei sistemi più importanti per il controllo climatico in serra. Le funzioni principali svolte dalla ventilazione sono:

- **Controllo di elevati valori di temperatura dell'aria:**
soprattutto nei climi caldi, è il metodo più semplice per evitare il raggiungimento di valori di temperatura dell'aria troppo elevati, mediante l'ingresso in serra di aria esterna, a temperatura più bassa.
- **Controllo di elevati valori di umidità relativa dell'aria:**
la traspirazione delle piante provoca un aumento dei valori di umidità relativa fino a valori che favoriscono l'insorgere di alcune patologie. L'ingresso in serra di aria esterna, con un tenore di umidità più basso, contribuisce al miglioramento del microclima.
- **Reintegro di CO₂:**
L'ingresso di aria esterna è indispensabile anche per reintegrare la CO₂ consumata dalle piante con il processo di fotosintesi.
- **Circolazione dell'aria:**
La circolazione dell'aria favorisce l'impollinazione e contribuisce a mantenere nella serra condizioni climatiche uniformi.



Ventilazione naturale

La ventilazione naturale, ovvero senza l'utilizzo di ventilatori, è il metodo più semplice ed economico.

Per un funzionamento ottimale richiede la presenza di aperture lateralali e di colmo regolabili manualmente o meccanicamente.

Si basa su due principi:

- L'effetto camino
- L'effetto vento

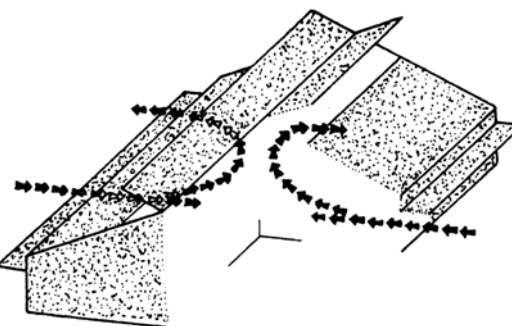




Ventilazione naturale

L'effetto camino sfrutta la variazione della densità dell'aria al variare della temperatura.

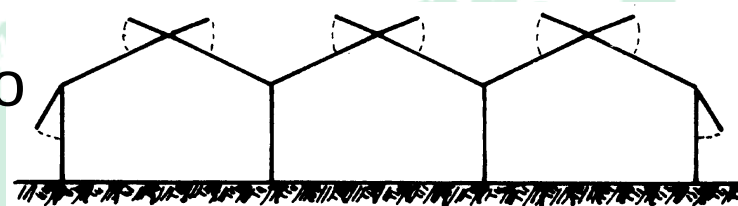
L'aria calda, più leggera, esce dall'apertura di colmo e crea una depressione che favorisce l'ingresso di aria fredda dalle aperture laterali.



La portata di ventilazione, aumenta con:

- L'ampiezza delle aperture;
- La differenza di temperatura tra interno ed esterno;
- La differenza di quota tra aperture al colmo e aperture di ventilazione.

Inoltre l'efficacia della ventilazione diminuisce all'aumentare del numero di campate.

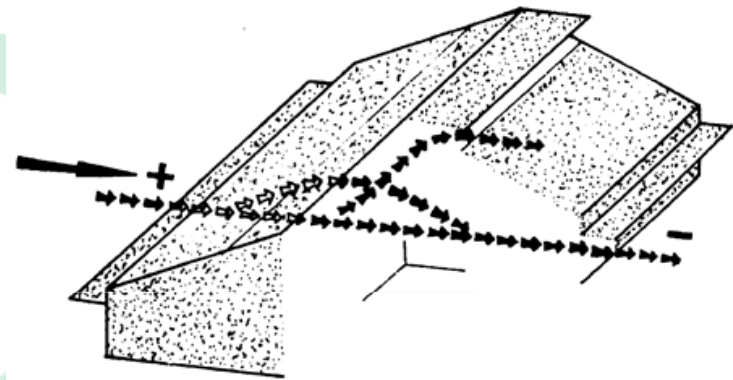




Ventilazione naturale

L'effetto vento diventa predominante per velocità del vento superiori a 2-3 m/s.

Il vento crea una depressione in corrispondenza delle aperture di colmo che tende ad aspirare verso l'esterno l'aria calda che si trova nella parte più alta.



- Se le aperture laterali sono aperte l'aria esterna entra in serra analogamente a quanto visto per l'effetto camino.
- Se le aperture laterali sono chiusse o non presenti, l'aria esterna entra in serra dalla parte più bassa della apertura di colmo, riducendo di molto l'efficacia della ventilazione.
- Se però, la velocità del vento è elevata (>8 m/s), le aperture laterali vanno chiusse.



Ventilazione naturale

Per una migliore riuscita della ventilazione naturale:

- La superficie delle aperture laterali deve essere almeno pari a quella della superficie di colmo.
- La superficie finestrata non deve essere inferiore al 20% della superficie coperta
- La direzione prevalente del vento deve essere perpendicolare all'asse longitudinale della serra.



Ventilazione naturale

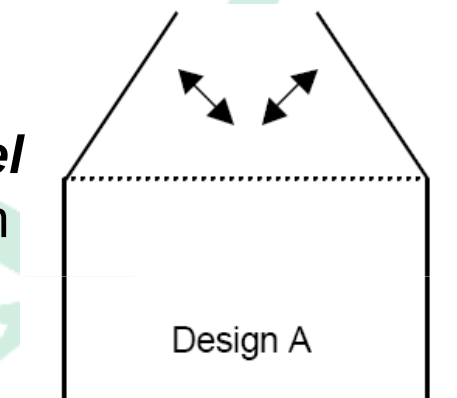
Serre open roof

Sono dotate di tetto completamente apribile. Adatte in zone a clima caldo, offrono i seguenti vantaggi:

- Temperature massime diurne contenute;
- Utilizzo dell'intera radiazione PAR a fini fotosintetici.

La tipologia più complessa è quella cosiddetta **Open Panel** dotata di falde incernierate al livello della linea di gronda in grado di ruotare interamente fino a diventare verticali:

- ▲ consente di installare una completa dotazione di impianti;
- ▲ può utilizzare materiali di copertura sia rigidi che flessibili
- ▼ richiede una copertura con trattamento anti-UV da entrambi i lati
- ▼ ha un costo più elevato rispetto ad una serra tradizionale.





Ventilazione forzata

Nel caso in cui la ventilazione naturale fosse insufficiente, sarà necessario dotare la serra di impianti di ventilazione forzata.

Il sistema più utilizzato è quello in depressione (ovvero in estrazione) per il miglior rendimento dei ventilatori ed il maggiore benessere assicurato alle piante.

La portata d'aria da asportare viene fissata sulla base di 30-50 ricambi orari.

Si utilizzano ventilatori assiali con pale elicoidali posizionati sulla testata o sulle pareti laterali della serra.





Ventilazione forzata

Al solo fine di assicurare condizioni microclimatiche uniformi e una circolazione d'aria sufficiente possono essere installati ventilatori per il ricircolo dell'aria con flusso d'aria orizzontale o verticale.



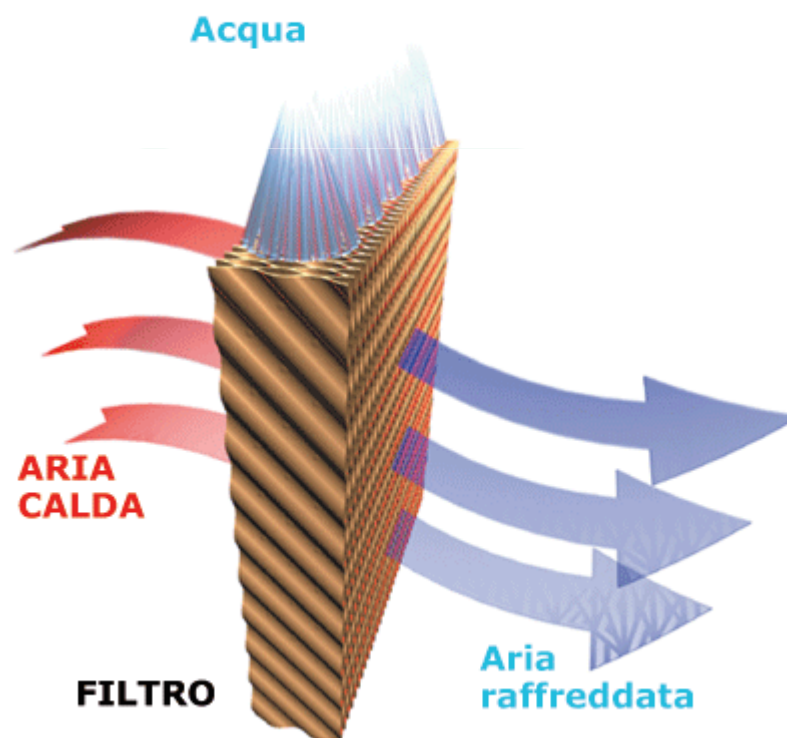


Raffrescamento evaporativo

Spesso, specie nei climi caldi, in abbinamento ai ventilatori in estrazione, si associano dei pannelli evaporativi per realizzare un vero e proprio impianto di raffrescamento evaporativo (*fan and pad cooling system*).

L'aria esterna, attraversando i pannelli tenuti costantemente umidificati, si raffredda poiché cede calore sensibile che si trasforma nel calore latente necessario per far evaporare l'acqua.

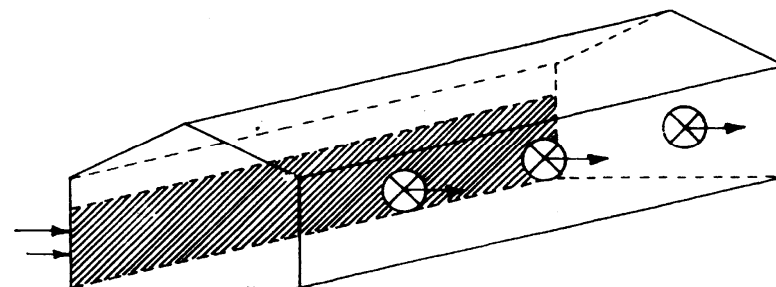
Il sistema necessita di una serra sufficientemente ermetica ed ha lo svantaggio di creare condizioni ambientali non uniformi.



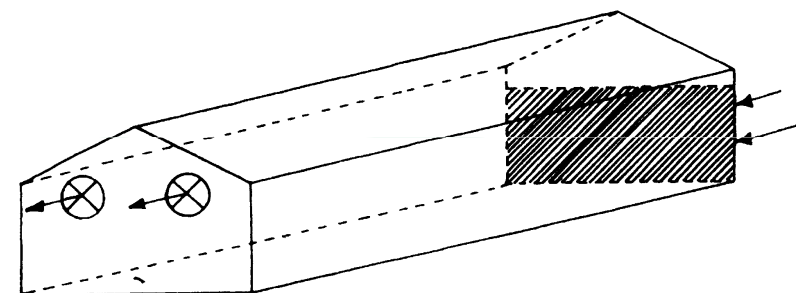


Raffrescamento evaporativo

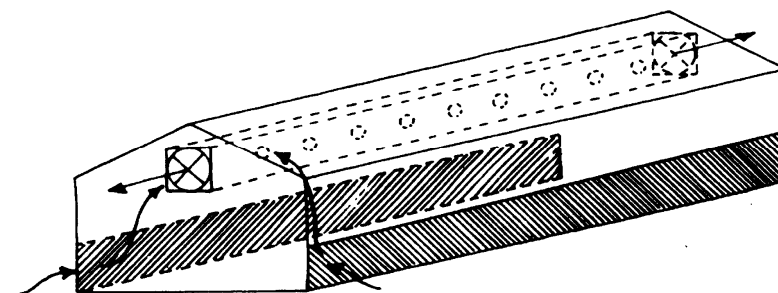
Per serre molto lunghe si adotterà la disposizione trasversale sulle pareti laterali, con ventilatori posti a distanza di 10 m.



Per serre di lunghezza minore di 60 m, la disposizione longitudinale sulle pareti di testata.



La disposizione mista con pannelli longitudinali e ventilatori in testata collegati da un condotto perforato, assicura migliore uniformità di condizioni, ma è realizzabile solo per serre di modeste dimensioni.

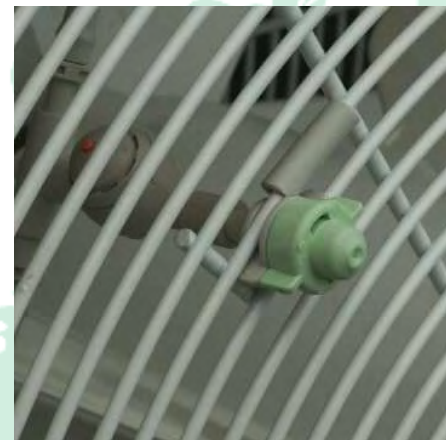




Raffrescamento evaporativo

Un sistema che utilizza un principio analogo è quello che utilizza ventilatori accoppiati a erogatori di acqua a bassa pressione (4-5 bar).

Il basso valore di pressione fa sì che vi sia il rischio di ottenere gocce d'acqua che precipitano verso il basso aumentando il rischio di patologie per le piante.





Fog system

In alternativa è possibile utilizzare il *fog system* in cui l'umidificazione avviene per mezzo di ugelli nebulizzatori ad alta pressione (70 bar) e bassa portata (4-5 l/h), posti su tubi di distribuzione posti all'altezza della line di gronda.

In tal modo si ottengono gocce estremamente piccole (<10 micron) che evaporano restando sospese in aria, senza quindi precipitare sulle coltivazioni.

Con questo sistema si ottengono condizioni ambientali più uniformi, anche grazie alla presenza di ventilatori la cui portata è generalmente minore rispetto a quelli usati per il *fan and pad system*.





Concimazione carbonica

Al controllo della ventilazione è legato il problema della concentrazione ottimale di CO₂ nell'ambiente serra.

- Infatti, nei periodi più freddi, quando la ventilazione è minore, la concentrazione di CO₂ durante le ore diurne può scendere fino a 120–150 ppm contro le 300–350 ppm naturalmente presenti in atmosfera, con rilevanti conseguenze sull'attività fotosintetica.
- In altri casi, indipendentemente dalle condizioni di ventilazione, si sceglie di mantenere in serra una concentrazione di CO₂ più elevata (da 2 a 4 volte) rispetto alla concentrazione atmosferica, per aumentare la fotosintesi.

Per soddisfare entrambe le esigenze si ricorre alla concimazione carbonica ovvero all'introduzione artificiale di CO₂ in serra.



Concimazione carbonica

La CO₂ necessaria può essere:

- Prodotta in azienda, come sottoprodotto del riscaldamento a combustibili fossili. I fumi di scarico vengono fatti passare da un condensatore attraverso il quale la CO₂ viene recuperata e stoccata in un apposito serbatoio. Poiché il funzionamento è analogo a quello di una caldaia a condensazione, si ottiene anche un aumento del rendimento dell'impianto di riscaldamento.
- Prodotta esternamente: La CO₂ viene acquistata e stoccata in fase liquida in un serbatoio esterno alla serra.





Concimazione carbonica

Per l'immissione in serra la CO₂ liquida viene gassificata attraverso un evaporatore e avviata al sistema di distribuzione.

La tipologia più utilizzata per la distribuzione è quella con tubi in plastica (LDPE/PVC/PET) forati posti in corrispondenza delle piante.

La regolazione della concentrazione di CO₂ può avvenire:

- Con timer
- In funzione del grado di illuminazione
- In funzione della misura della concentrazione di CO₂



Impianti di riscaldamento

Laddove i sistemi passivi non sono sufficienti a mantenere valori di temperatura ottimali è necessario ricorrere ad impianti di riscaldamento. Questi possono essere classificati in:

- Impianti con caldaia centralizzata e sistema di distribuzione del calore
 - ✓ Tubi radianti
 - ✓ Aerotermi
 - ✓ Riscaldamento basale e a pavimento
- Generatori di aria calda fissi
- Generatori di aria calda portatili



Impianti centralizzati

Tubi radianti

Sono costituiti da:

- Centrale termica: costituita da una o più caldaie poste esternamente all'area di coltivazione, provvede al riscaldamento del fluido termovettore (acqua, vapore, olio diatermico, etc.)
- Sistema di distribuzione del calore: costituito da tubazioni semplici o alettate che si dipartono dalla centrale termica e vengono variamente disposte all'interno della serra. Trasportano il fluido termovettore e diffondono il calore per convezione e irraggiamento.



Impianti centralizzati

Tubi radianti

Natura del fluido riscaldante

- Acqua calda 60°C - 80°C (più diffuso)
- Acqua surriscaldata 120°C -140°C ottenuta utilizzando impianti in pressione (0,7 - 1 MPa)
- Vapore a bassa (0,5 atm), media (3 atm) o alta pressione (>3 atm)
- Olio diatermico (250°C - 280°C)



Impianti centralizzati

Tubi radianti

- ▼ Sistema di riscaldamento statico
 - La distribuzione del calore dipende dalla disposizione dei tubi e dalla loro superficie
 - Notevoli gradienti di temperatura specie sul piano verticale
- Inerzia termica
 - ▲ lento raffreddamento della serra in caso di interruzione nel funzionamento
 - ▼ Diffusione del calore lenta



Impianti centralizzati

Tubi radianti

Per impianti superiori a 1MW si preferisce collegare più caldaie in serie:

- ▲ Graduazione delle accensioni
- ▲ Possibilità di riparazioni



Negli impianti tradizionali la caldaia è alimentata a gasolio o gas.

Recentemente sono state introdotte caldaie a biomassa che stentano ad affermarsi per i maggiori costi di impianto e per la necessità di stoccaggio del combustibile.

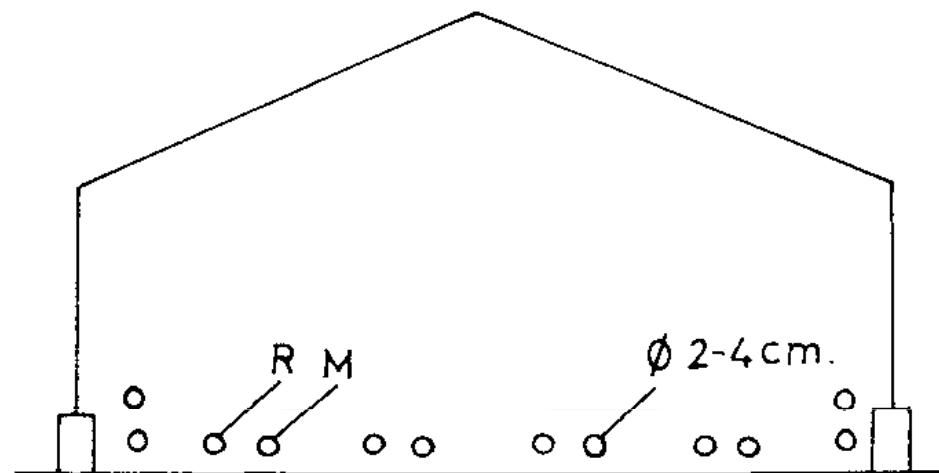


Impianti centralizzati

Tubi radianti

Il sistema di distribuzione è solitamente a circolazione forzata, ovvero con la presenza di una pompa che mette in circolo il fluido termovettore.

In tal modo i tubi di mandata e di ritorno possono essere posizionati alla stessa altezza.



La *regolazione della temperatura* può avvenire:

- regolando la portata del fluido;
- regolando la temperatura del fluido miscelando quello caldo uscente dalla caldaia con quello freddo che torna dai tubi radianti.



Impianti centralizzati

Tubi radianti

Il sistema di riscaldamento con tubi radianti può essere configurato in modo da prevederne l'utilizzo anche come sistema di trasporto di attrezzature nelle interfile





Impianti centralizzati

Tubi radianti

Altre soluzioni prevedono l'utilizzo di circuiti di tubi regolabili in altezza. In tal modo la zona più riscaldata viene innalzata con il crescere della coltura.





Impianti centralizzati

Aerotermi

Sono costituiti da:

- Centrale termica: provvede al riscaldamento di acqua, vapore o altro fluido.
- Tubazioni di mandata e di ritorno che trasportano il fluido verso e da gli elementi diffusori detti aerotermi.
- Aerotermi: costituiti da uno scambiatore di calore in acciaio, all'interno del quale scorre il fluido riscaldato, e da un ventilatore.

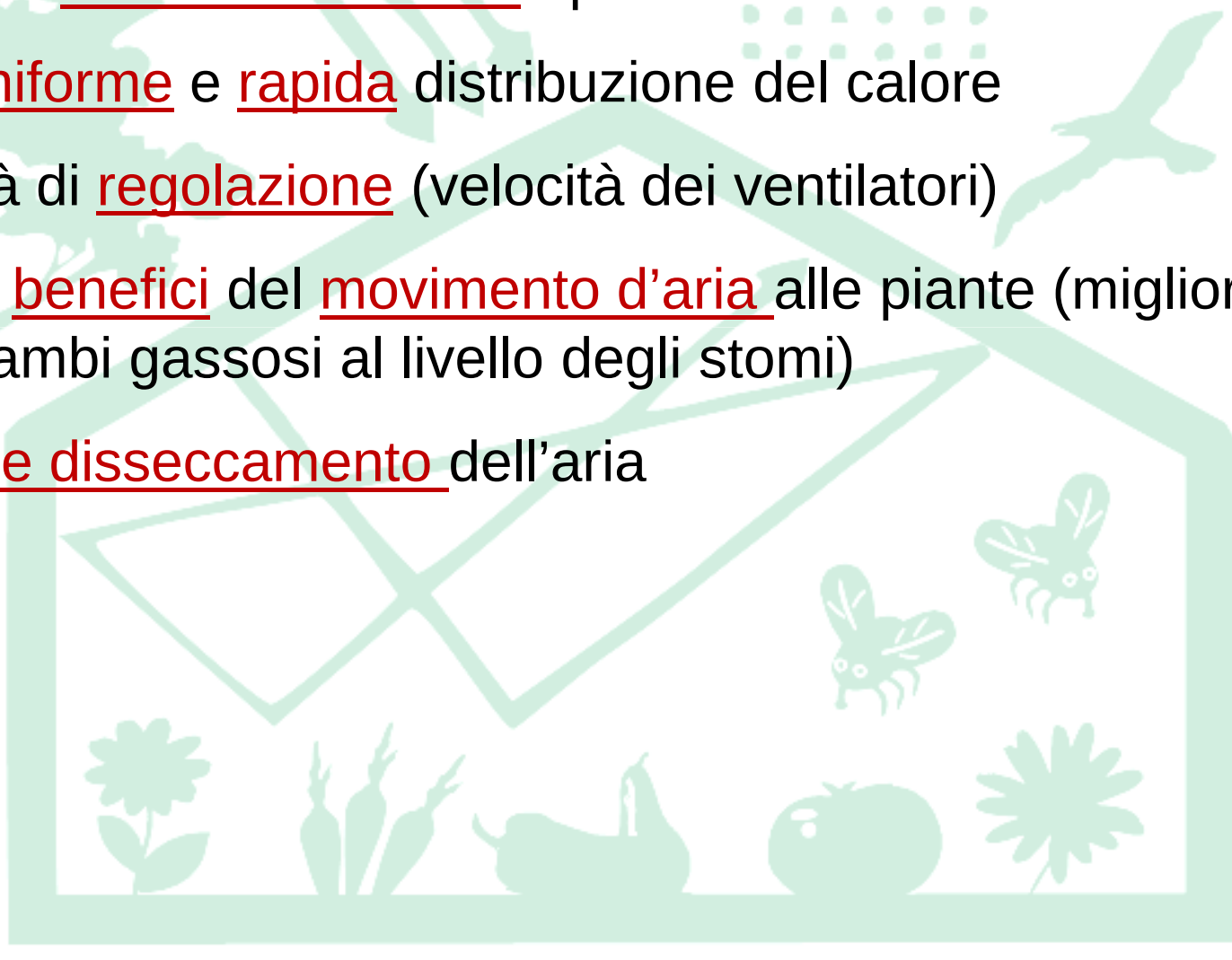




Impianti centralizzati Aerotermini

Si tratta di un sistema dinamico e pertanto consente:

- più uniforme e rapida distribuzione del calore
- facilità di regolazione (velocità dei ventilatori)
- effetti benefici del movimento d'aria alle piante (migliora gli scambi gassosi al livello degli stomi)
- minore disseccamento dell'aria





Impianti centralizzati Aerotermini

La configurazione più utilizzata prevede la distribuzione dell'aria in direzione orizzontale.

Gli aerotermini sono sospesi al centro di ogni campata all'altezza della linea di gronda.

Per ottenere una distribuzione uniforme del calore è indispensabile collegare agli aerotermini delle tubazioni in plastica trasparente forate per tutta la lunghezza.

Normalmente non si superano i 60 m di lunghezza.





Impianti centralizzati

Riscaldamento basale

I tubi, anziché l'aria della serra, riscaldano il substrato di coltivazione con tubazioni di acqua calda.

Si utilizzano caldaie che riscaldano l'acqua a 40-45 °C e tubi in PE di 25-30 mm di diametro. L'uso su bancale può prevedere:

- il riscaldamento diretto del substrato di coltivazione
- il riscaldamento indiretto del substrato contenuto in vasi che vengono appoggiati sul bancale.
- Il riscaldamento sotto il bancale.





Impianti centralizzati

A pavimento

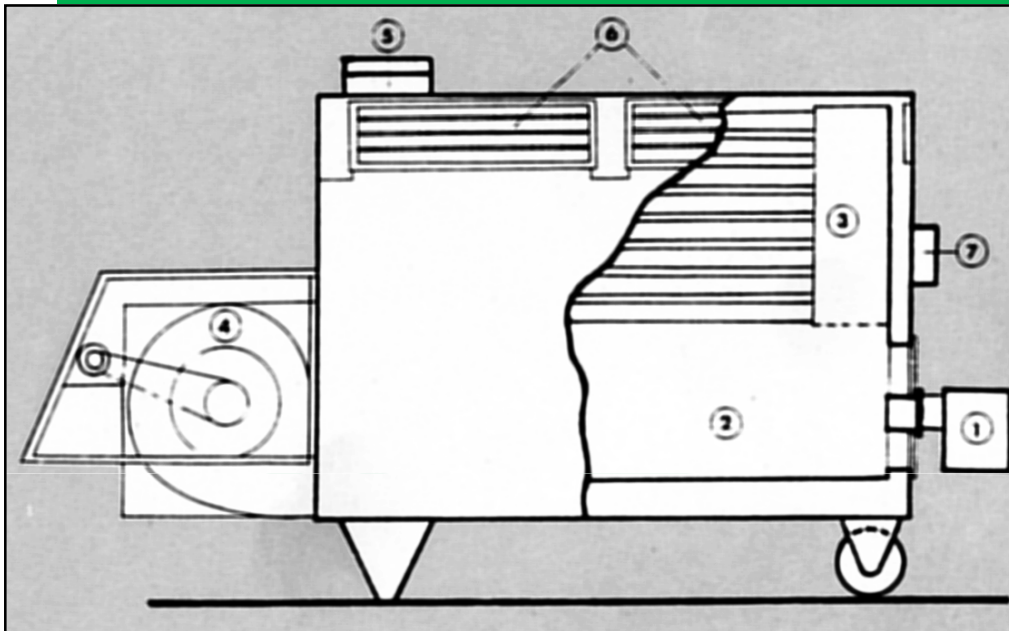
Ulteriore alternativa, più adatta per piante ornamentali in vaso da appoggiare al suolo, si può prevedere il riscaldamento a pavimento con tubi interrati o in superficie.

In quest'ultimo caso il riscaldamento del substrato è minore, ma sono stati riscontrati risultati positivi nell'accrescimento grazie alla maggiore temperatura sottochioma.





Generatori di aria calda



- ① bruciatore
- ② camera di combustione
- ③ scambiatore di calore
- ④ ventilatore
- ⑤ scarico fumi
- ⑥ bocchette di distribuzione
- ⑦ quadro termostati

In alternativa agli aerotermi.
Alimentazione a gas o gasolio.

- ▲ Basso costo d'installazione
- ▲ Possibilità di spostamento
- ▼ Maggiori costi di esercizio
- ▼ Bassa inerzia termica: rapido raffreddamento in caso di interruzione di funzionamento
- ▼ Condizioni termo-idrometriche non uniformi





Generatori di aria calda

Ai generatori si può accoppiare un sistema di distribuzione dell'aria calda composto da una canalizzazione primaria che si sviluppa lungo un lato della serra ed una canalizzazione secondaria realizzata in PVC forato.

L'aria calda viene emessa nella parte più bassa e più vicino alle piante.





Generatori di aria calda





Generatori di aria calda

Recentemente sono stati introdotti generatori di aria calda alimentati con combustibili solidi (cippato, pellet, gusci di nocciole, gusci di mandorle, etc...).

Il loro utilizzo è tuttavia limitato sia dal costo elevato che dall'ingombro eccessivo determinato dalla necessità di prevedere una tramoggia di carico del combustibile.



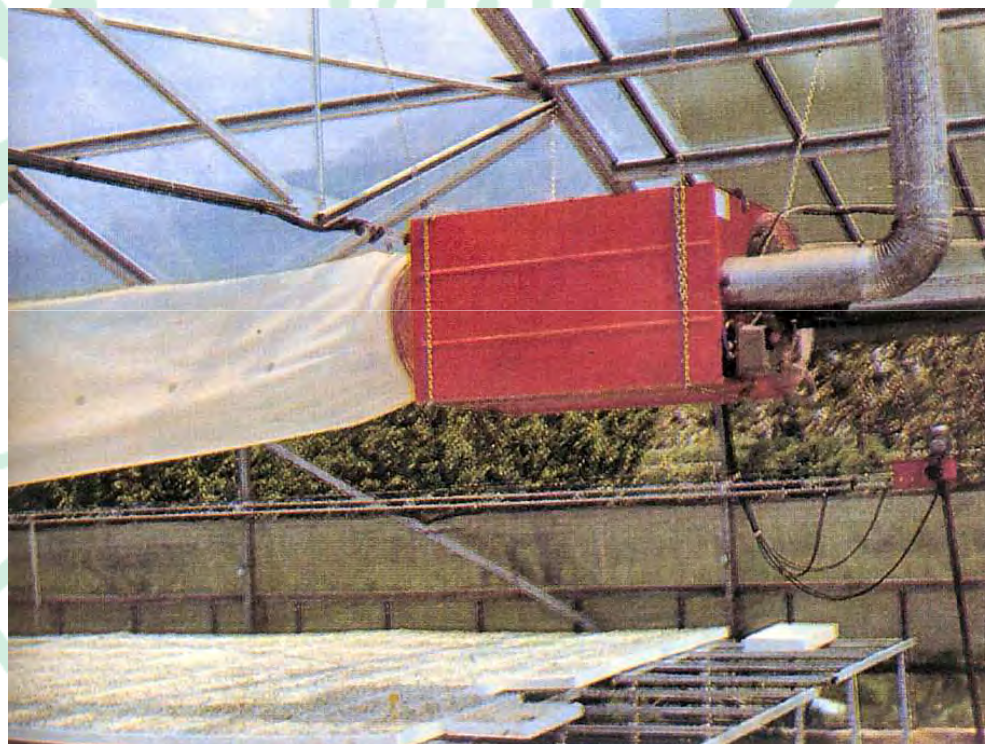


Generatori di aria calda

Esistono anche in versione pensile simili agli aerotermi

- ▲ Minore ingombro
- ▼ Maggiore ombreggiamento

Anche in questo caso, al fine di ottenere condizioni microclimatiche più uniformi, a ciascun generatore viene di norma applicato un tubo forato in polietilene trasparente che distribuisce l'aria calda per tutta la lunghezza della serra.



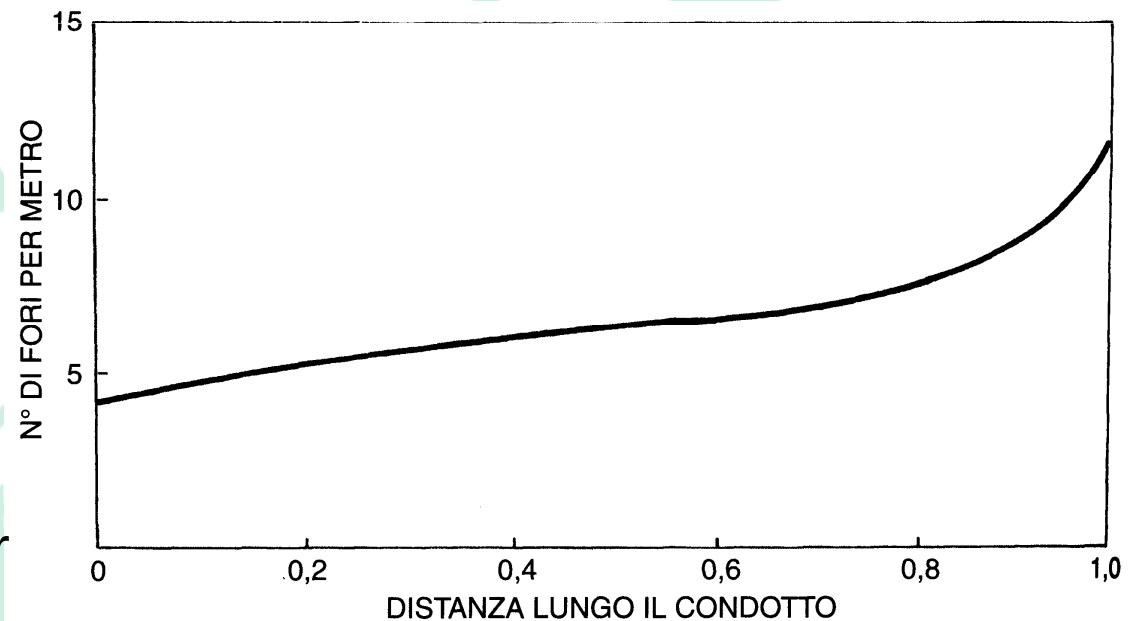


Generatori di aria calda

- Diametro delle guaine: 30-40 cm;
- Posizionamento: all'altezza della linea di gronda;
- Aspirazione aria: dal basso per prelevare aria più fredda;
- Lunghezza massima: 50-60 m;

Il numero dei fori per metro sarà crescente con la distanza dal generatore secondo il diagramma riportato.

Il rapporto tra area complessiva dei fori e area della sezione della guaina deve essere minore di 2 per non creare eccessive perdite di pressione.





Generatori di aria calda portatili

Hanno funzione di soccorso antigelo a basso costo.

A gas generalmente propano o butano

- ▼ I gas (CO_2 e etilene) e il vapore acqueo prodotti dalla combustione rimangono all'interno della serra.
- ▼ Elevato costo di esercizio



A gasolio o kerosene:

- ▼ Necessitano di un sistema di smaltimento all'esterno dei gas di combustione.
- ▲ Minore costo di esercizio



Elettriche:

- ▲ Non hanno problemi di gas di scarico
- ▼ Costo di esercizio molto elevato.



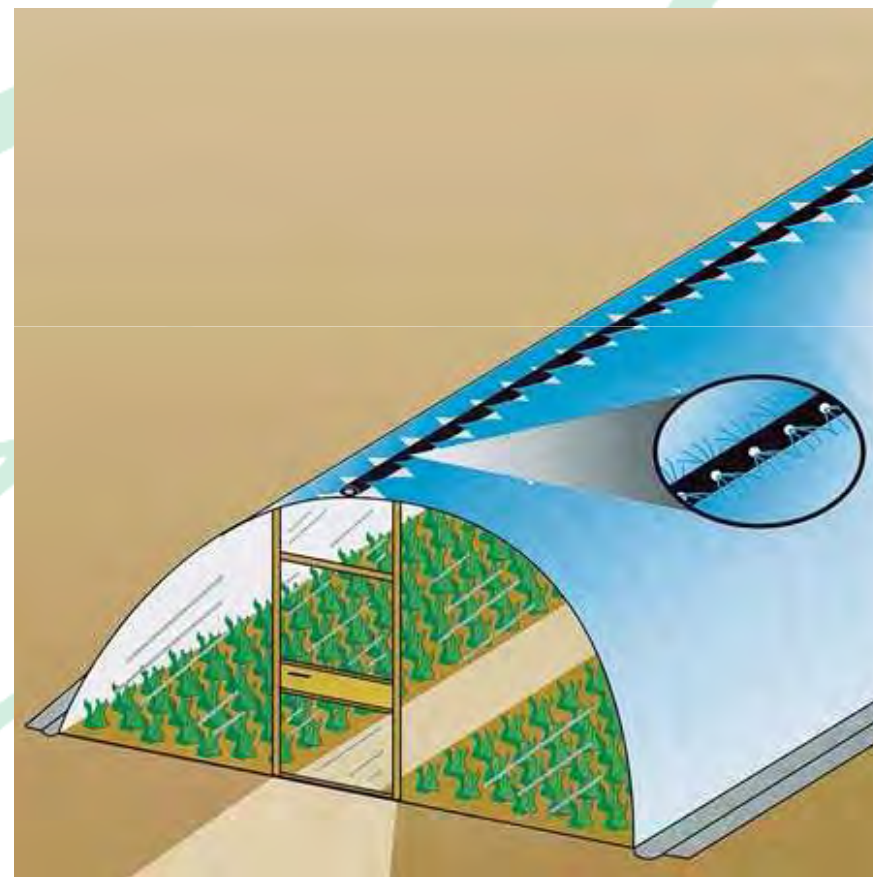


Idroserre

Un semplice sistema antibrina è costituito dalle cosiddette idroserre. Il funzionamento prevede l'aspersione di acqua sulla copertura della serra in corrispondenza di condizioni climatiche caratterizzate da basse temperature esterne e cielo limpido.

Il film di acqua che si forma sulla copertura funziona da coibente ritardando il raffreddamento notturno dell'aria interna.

Al fine di limitare il consumo di acqua è indispensabile provvedere alla raccolta delle acque da utilizzare con ricircolo.





Sistemi di controllo automatico

Le serre sono degli ambienti estremamente difficili da controllare. Poiché sono realizzate con materiali trasparenti o semi-trasparenti, il microclima è caratterizzato da flussi energetici consistenti in grado di determinare repentini cambiamenti.

Per questo motivo gli impianti devono essere estremamente reattivi e pilotati da sistemi di controllo efficaci in grado di effettuare le scelte corrette per mantenere i valori dei parametri microclimatici all'interno degli intervalli ottimali.

Deve essere chiaro che il sistema di controllo non può sopperire ad eventuali deficit di progettazione della serra.

Se la serra non è dotata delle attrezzature e degli impianti necessari per creare le condizioni microclimatiche ottimali (in relazione al clima esterno ed alle esigenze delle piante coltivate) anche con un sistema di controllo avanzato non si potranno ottenere risultati soddisfacenti.



Sistemi di controllo automatico

Compito di un sistema di controllo è la gestione ottimale delle attrezzature e impianti esistenti al fine di ottenere:

- Efficienza energetica: riduzione del costo di elettricità e combustibili;
- Riduzione del consumo di acqua;
- Riduzione dei fertilizzanti e dei prodotti chimici;
- Riduzione dei pesticidi grazie alla creazione di un microclima sfavorevole all'instaurarsi di molte malattie e di piante più robuste in grado di difendersi meglio dagli attacchi;
- Maggiore qualità e uniformità della produzione;
- Aumento della produttività dei lavoratori che possono dedicarsi ad attività più qualificate;
- Aumento delle informazioni disponibili per l'allevatore che viene così aiutato nei processi decisionali.



Sistemi di controllo automatico

L'efficienza del sistema di controllo cresce all'aumentare delle attrezzature ed impianti connessi e gestiti.

I sistemi più importanti che possono essere oggetto di controllo sono:

- Impianti di riscaldamento e raffrescamento
- Ventilazione (aperture e/o ventilatori)
- Schermi termici
- Ombreggiamento e illuminazione artificiale
- Gestione di CO₂
- Fertirrigazione
- Trattamenti chimici

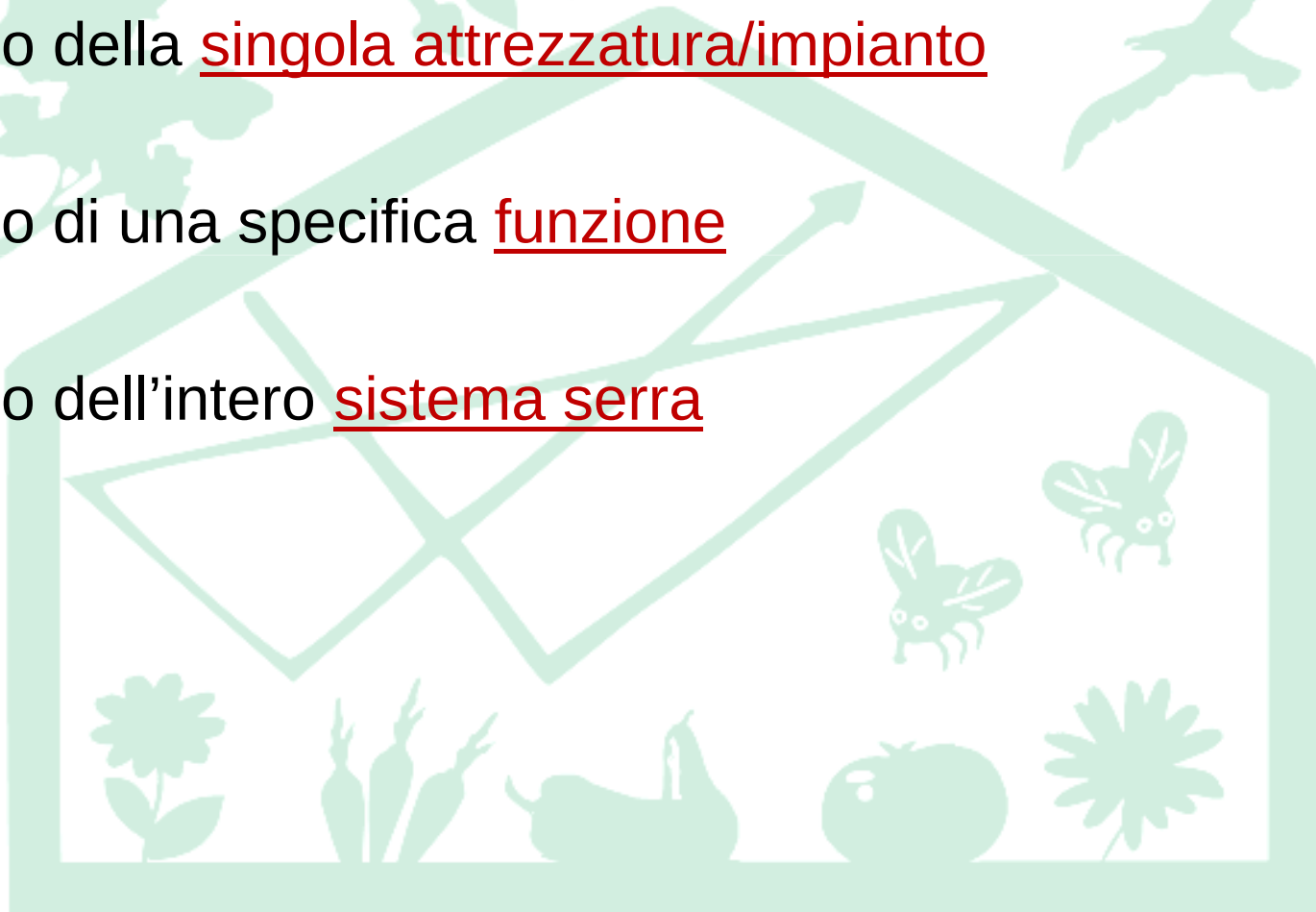
Benché si tratti di sistemi indipendenti, l'attivazione di ciascuno di essi può avere influenze reciproche sugli altri, cosicché un controllo integrato ne aumenta l'efficienza.



Sistemi di controllo automatico

Si possono individuare tre livelli di controllo automatico:

- Controllo della singola attrezzatura/impianto
- Controllo di una specifica funzione
- Controllo dell'intero sistema serra





Sistemi di controllo automatico

➤ Controllo della singola attrezzatura/impianto

Effettuato con dispositivi che controllano singolarmente le attrezzature/impianti presenti (accensione ventilatori, apertura/chiusura delle aperture di ventilazione, etc.)

➤ Controllo di una specifica funzione

Effettuato con dispositivi che controllano tutte le attrezzature/impianti dedicate ad una particolare funzione (gestione della temperatura, della fertirrigazione, etc.).

Ad esempio un controller per la temperatura può gestire impianti di riscaldamento, raffrescamento, ventilazione naturale e forzata.



Sistemi di controllo automatico

➤ Controllo dell'intero sistema serra

Prevede il controllo contemporaneo di tutti gli impianti/attrezzature della serra.

Sono sistemi integrati che necessitano di una centralina computerizzata per poter monitorare e controllare tutte le variabili climatiche contemporaneamente.





Sistemi di controllo automatico

Per poter effettuare un qualsiasi sistema di controllo automatico è necessario utilizzare dispositivi di comando.

Le tipologie più semplici sono quelle a termostato e a timer:

Il **termostato** agisce da semplice interruttore on/off al raggiungimento di una prefissata temperatura (*set-point*).

E' necessario predisporre più termostati per i diversi impianti o, in alternativa, termostati multi-stage con diversi set-point programmabili che corrispondono all'accensione o allo spegnimento di uno specifico impianto.

Il **timer** può essere un semplice dispositivo di controllo per gli impianti di irrigazione o illuminazione artificiale.

Al basso costo di questi dispositivi corrisponde una modesta efficacia nel controllo del microclima.





Sistemi di controllo automatico

Maggiore efficacia si può ottenere con i cosiddetti Step controllers che svolgono la funzione di più termostati.

Essi suddividono le possibili azioni sugli impianti in step a formare una sequenza di operazioni.

Ad esempio, avendo a disposizione tre ventilatori, due generatori di aria calda, tre aperture di ventilazione e un sistema di raffrescamento a pannelli evaporativi, uno step controller potrebbe gestirli come segue:

- Riscaldamento – Step 1 1 generatore di aria calda
- Riscaldamento – Step 2 2 generatori di aria calda
- Raffrescamento – Step 1 1 ventilatore e tre aperture
- Raffrescamento – Step 2 2 ventilatori e tre aperture
- Raffrescamento – Step 3 3 ventilatori e pannelli evaporativi



Sistemi di controllo automatico

Un altro vantaggio degli *Step controllers* risiede nella possibilità di posizionare il sensore di temperatura e umidità relativa dell'aria in qualsiasi punto della serra, distante dal controller vero e proprio che può essere posizionato in un ambiente meno aggressivo al di fuori dell'ambiente di coltivazione.

Gli *step controllers* appositamente realizzati per essere utilizzati in serra integrano funzionalità specifiche, tra le quali ad esempio:

- Impostazione di valori differenti giorno/notte.
- Inibizione parziale o totale del raffrescamento di notte.
- Ritardo configurabile tra l'esecuzione di uno step e il successivo per evitare continue attivazioni/disattivazioni in caso di condizioni ambientali estremamente variabili (es. raffiche di vento).



Sistemi di controllo automatico

I sistemi con controllo computerizzato integrato (ICC) combinano le funzionalità di più *step controllers*, integrando anche la gestione della fertirrigazione, il controllo dell'illuminazione, della CO₂ ed eventuali timer.

Un unico sistema ICC è quindi in grado di gestire tutte le funzioni della serra senza necessità di ulteriori dispositivi.

Il sistema è anche in grado di gestire la serra in zone che necessitano di condizioni microclimatiche differenti.

In questo caso i costi diventano competitivi rispetto ai sistemi con più *step controllers*.

I sistemi ICC svolgono anche un'importante ruolo di supporto decisionale, poiché mettono a disposizione dell'allevatore l'insieme continuo dei dati registrati dai sensori collegati.



Sistemi di controllo automatico

Per il controllo di più zone, i sistemi ICC possono essere classificati in:

Sistemi centralizzati

I sensori in input e gli attuatori in output di tutte le zone sono collegati ad un unico processore centrale.

- ▼ Il sistema richiede un cablaggio esteso
- ▼ Un guasto all'unità centrale compromette l'intero sistema

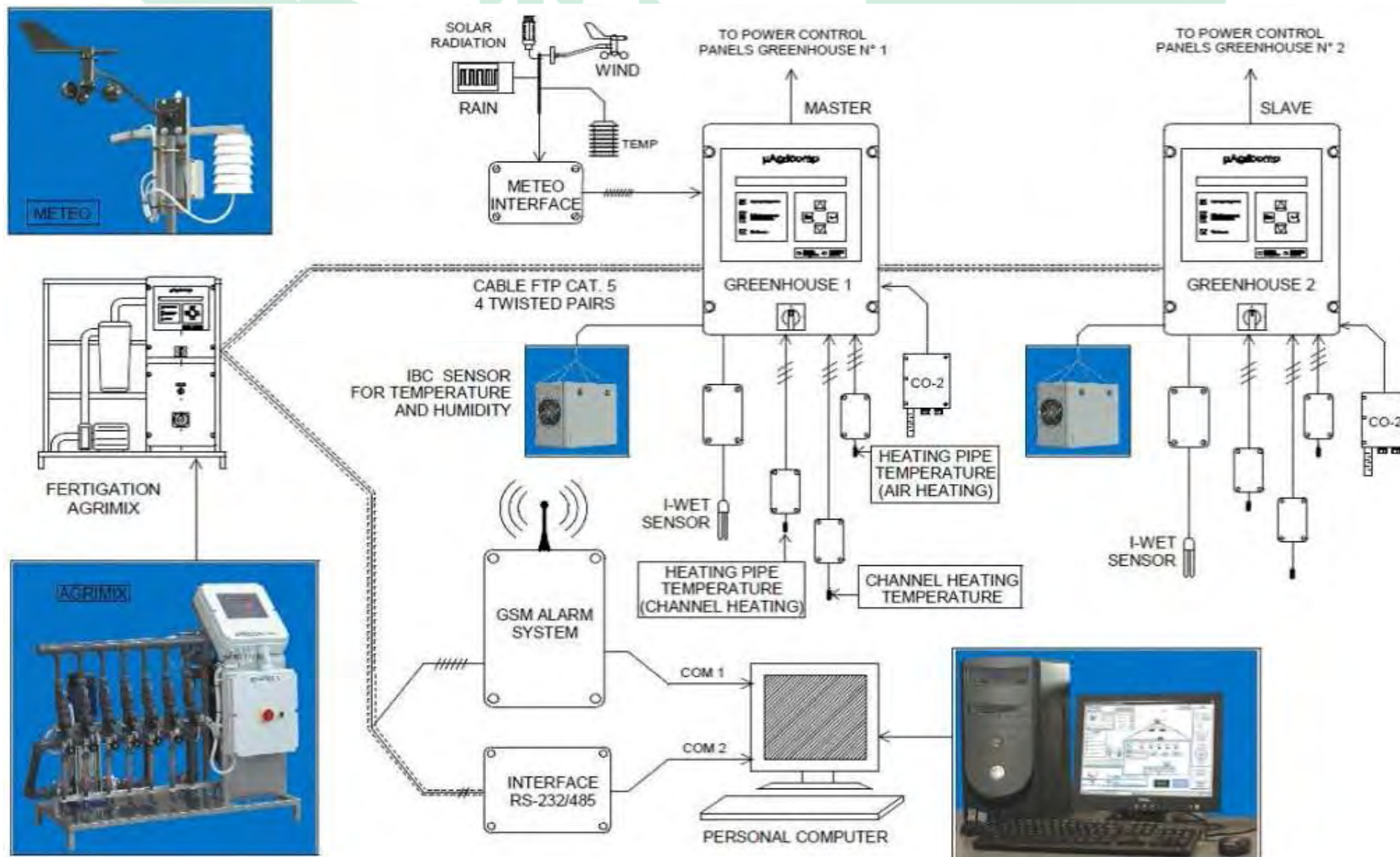
Sistemi distribuiti

Costituiti da più unità di controllo, ciascuna con un suo processore, connessi tra loro per scambiarsi informazioni.

- ▲ Il sistema ha un cablaggio più snello: ciascuna unità è posta in prossimità dei sensori e degli attuatori della zona controllata.
- ▲ Un guasto ad una unità non compromette il funzionamento delle altre unità.
- ▲ Il sistema è facilmente espandibile con l'aggiunta di ulteriori unità.



Sistemi di controllo automatico





Sistemi di controllo automatico

Ciascun dispositivo di controllo è predisposto, o può essere programmato, per rispondere con strategie diverse agli input provenienti dai sensori cui è collegato. Tra queste:

- **Feedback:** è la tipologia più semplice. L'azione viene intrapresa confrontando il valore attuale della variabile con quello impostato.

Es.: se la temperatura scende sotto il valore impostato si accende il riscaldamento.

- **Proporzionale:** L'azione intrapresa è commisurata all'entità dello scostamento tra il valore attuale della variabile e valore impostato.

Es.: più la temperatura dell'aria sale, maggiore sarà il grado di apertura delle finestre di ventilazione.





Sistemi di controllo automatico

- **Integrale:** l'azione intrapresa è commisurata al tempo durante il quale il valore misurato della variabile si discosta da quello impostato.
Spesso è utilizzato insieme al controllo proporzionale.
Es.: il grado di apertura delle finestre sarà elevato anche in presenza di temperatura poco al di sopra di quella impostata, se però questa condizione dura da molto tempo.
- **Variazionale:** l'azione intrapresa è commisurata alla velocità di variazione dei valori della variabile.
Es.: ad un rapido innalzamento della temperatura corrisponderà un grado elevato di apertura delle finestre di ventilazione.





Sistemi di controllo automatico

- **Feed-forward**: algoritmo predittivo in grado di calcolare gli effetti che la condizione attuale avrà sulla variabile monitorata. L'azione viene intrapresa prima che si abbia lo scostamento della variabile dal valore impostato. Il sistema si può basare su:
 - Equazioni di bilancio energetico della serra.
 - Reti neurali o logica fuzzy ovvero tecniche di intelligenza artificiale che basano la previsione sull'analisi di serie storiche di dati analoghi.





Sistemi di controllo automatico

L'affidabilità dell'algoritmo dipende dal livello di dettaglio della modellazione matematica e dal numero di variabili in input.

Per prevenire le conseguenze di una previsione errata si può accoppiare con un algoritmo di tipo feed-back.

Es.: il sistema calcola la variazione di temperatura e umidità relativa dell'aria interna che si verificherà per un cambiamento in corso delle condizioni climatiche (abbassamento della temperatura, aumento della velocità del vento, etc.) e attiva gli impianti che ritiene necessari a prevenire tali variazioni.



Sistemi di controllo automatico Fertirrigazione

Nell'ambito dei sistemi di automazione, particolare attenzione va prestata agli impianti di fertirrigazione.

I fertirrigatori computerizzati permettono la suddivisione della serra in numerosi settori, ciascuno con la propria ricetta e il proprio programma di irrigazione.

Le singole ricette sono ottenute per miscelezione dei singoli componenti (da 2 a 6) delle soluzioni madre oltre ad una soluzione acida che viene aggiunta per ottenere il pH desiderato.

Il sistema inoltre monitorizza la conducibilità elettrica (EC) e il pH della soluzione.





Sistemi di controllo automatico Fertirrigazione

L'attivazione di ogni programma di irrigazione può avvenire:

- Manualmente
- A tempo
- Con integratori solari: dispositivo che calcola l'integrale (la somma) della quantità di luce che giunge sulla serra. Più alto è il valore maggiore sarà il consumo d'acqua da parte delle piante. Quando si raggiunge il valore impostato, l'impianto viene attivato.
- Con la misura del VPD: differenza tra la pressione di vapore misurata e quella a saturazione.
- Con la misura dell'umidità del substrato di coltivazione
 - ✓ Misura diretta con sonde che misurano il contenuto volumetrico d'acqua
 - ✓ Misura indiretta con il peso del contenitore del substrato



Sistemi di controllo automatico

Wireless Sensor Network

In tema di monitoraggio ambientale, particolare interesse stanno ottenendo le cosiddette **WSN “Wireless Sensor Network”**.

Infatti l'implementazione dei sistemi di controllo tradizionali richiede l'utilizzo di sensori che richiedono un consistente lavoro di cablaggio con costi di installazione e manutenzione.

Il sistema WSN si basa su piccoli apparecchi in grado di

- rilevare grandezze fisiche (temperatura, umidità ecc.)
- elaborare i dati rilevati grazie ad un processore on-board
- comunicare tra loro con tecnologia wireless a corto raggio.





Sistemi di controllo automatico

Wireless Sensor Network

Ogni apparecchio costituisce un nodo sensore della rete.

Ciascun nodo sensore invia i dati ad uno o più nodi speciali detti sink o bridge, che hanno il compito di raccogliere i dati e trasmetterli ad un computer che si occuperà della gestione della serra con uno dei metodi visti in precedenza.

Se le distanze sono elevate o c'è il rischio di interferenze si utilizzano anche i nodi mesh che fungono da ripetitori di segnale.

