



Allegato B – APPROFONDIMENTI TECNICI

Indice

1. APPRESTAMENTI PROTETTIVI E SERRE – DEFINIZIONI
2. LE CARATTERISTICHE COSTRUTTIVE DELLE SERRE
 - 2.1 Le fondazioni
 - 2.2 La struttura portante
 - 2.2.1 aspetti distributivi
 - 2.2.2 i materiali da costruzione
 - 2.2.3 le tipologie costruttive
3. CARATTERISTICHE E TIPOLOGIE DEI MATERIALI DI COPERTURA
 - 3.1 Premessa
 - 3.2 Il vetro
 - 3.3 Le materie plastiche
 - 3.3.1 caratteristiche dei materiali plastici per coperture
4. IL CONDIZIONAMENTO DELL'AMBIENTE TERMICO
 - 4.1 Il riscaldamento dell'aria
 - 4.2 Il raffrescamento dell'aria
 - 4.2.1 la ventilazione
 - 4.2.2 l'ombreggiamento
 - 4.2.3 l'evaporazione dell'acqua
5. LA RADIAZIONE SOLARE E L'EFFETTO SERRA
 - 5.1 Generalità
6. EUROPEAN STANDARD EN 13031-1
7. STANDARD EUROPEI RIGUARDANTI I MATERIALI DI COPERTURA
8. BIBLIOGRAFIA

1. APPRESTAMENTI PROTETTIVI E SERRE – DEFINIZIONI

Tra le molte definizioni di serra reperibili nella letteratura tecnica, in questa sede si è ritenuto utile fare riferimento a quelle utilizzate in ambito UNI-EN per la definizione degli standard costruttivi di questi manufatti.

A questo proposito la norma italiana UNI 9936-92 *“Apprestamenti per colture orto-floro-frutticole coperti con materiali plastici”*, ora decaduta, definiva così gli apprestamenti per le colture protette:

“l'insieme di elementi che caratterizzano un ambiente confinato ed isolato da quello esterno, nel quale si vengono a determinare, prevalentemente per gli apporti di energia solare, condizioni climatiche adatte alla coltivazione delle piante”

Attualmente la progettazione e costruzione di serre è regolata dalla norma UNI 13031-1:2004 *“Serre: progettazione e costruzione. Parte 1: Serre per produzione commerciale”* che riprende lo Standard Europeo EN 13031-1 (2001)¹ nell'ambito del quale viene fornita la seguente definizione di serra:

Serra: una struttura utilizzata per la coltivazione e/o la protezione di piante e colture che sfrutta la trasmissione della radiazione solare sotto condizioni controllate per migliorare l'ambiente di crescita, con dimensioni tali da consentire alle persone di lavorare al suo interno.

In particolare lo Standard Europeo EN 13031-1 ha come oggetto quelle serre utilizzate a fini professionali per la produzione di piante e colture, definite *serre commerciali*, così definite:

Serra commerciale: una serra utilizzata per la produzione, a fini commerciali, di piante e colture nella quale la presenza dell'uomo è limitata ad una bassa frequentazione di solo personale autorizzato.

La definizione UNI-CEN, pur nella sua sinteticità, permette di comprendere quando una determinata struttura può definirsi serra, e quando no. Gli elementi discriminanti sono i seguenti:

- *tipo di utilizzo*: quando è adibita a coltivazione e/o protezione di piante;
- *caratteristiche dei materiali di copertura*: permettere la trasmissione della radiazione solare, utilizzando idonei materiali di copertura;
- *possibilità di condizionamento dell'ambiente*: soprattutto con riferimento alla temperatura (presenza di apposite luci per il passaggio dell'aria e, all'occorrenza, di impianti per il riscaldamento e il raffrescamento dell'aria);
- *ricavare idonee condizioni di lavoro*: attraverso la realizzazione di un ambiente di lavoro adeguato in termini di dimensione degli spazi (altezze, larghezza dei passaggi, ecc.) e della sicurezza del lavoro.

Di seguito, si procede alla caratterizzazione delle serre prendendo in considerazione:

- le caratteristiche costruttive;
- le tipologie e le caratteristiche dei materiali di copertura;
- i sistemi di condizionamento sotto il profilo termico.

¹ prEN “Greenhouses: Design and Construction. Part 1: Commercial Production Greenhouse” dell'European Committee for Standardization (CEN).

2. LE CARATTERISTICHE COSTRUTTIVE DELLE SERRE

Lo schema costruttivo di una serra comprende i seguenti elementi strutturali:

- il sistema di vincolo al terreno (fondazioni);
- la struttura portante, con la funzione di sopportare i carichi fissi e di esercizio che gravano su di essa;
- le strutture secondarie (di fissaggio), costituite da tutto ciò che serve a sostenere ed ancorare il materiale di copertura.

2.1 Le fondazioni

Le fondazioni per le serre, sempre di tipo superficiale, possono essere continue o discontinue.

Quelle continue, riconducibili allo schema costruttivo della trave rovescia, sono di norma realizzate in calcestruzzo armato (figura 2.1a).

Quelle discontinue sono invece costituite da plinti isolati, la cui consistenza dipende dalle dimensioni e caratteristiche del manufatto al quale sono collegate (figura 2.1b).

Da questo schema costruttivo, che identifica fondazioni di tipo permanente, differiscono quelle serre che vengono ancorate al terreno mediante sistemi riposizionabili, quali ad esempio le trivelle o le eliche (figura 2.2).

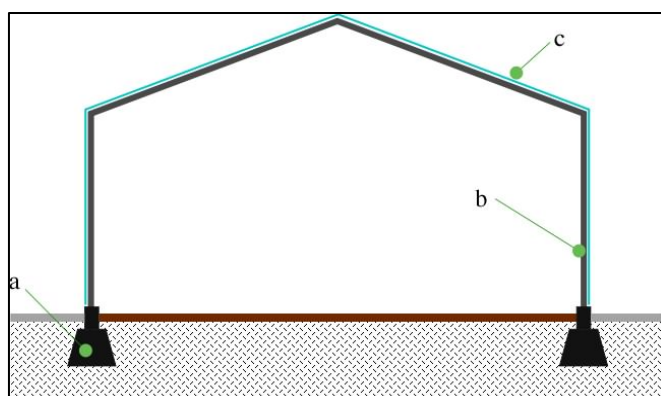


Figura 2.1 - Schema costruttivo di una generica serra:
a) fondazioni; b) struttura portante, principale e secondaria;
c) materiale di copertura.

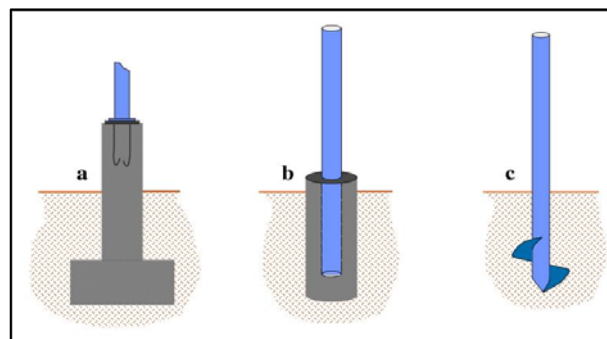


Figura 2.2 - Tipologie di fondazioni per le serre:
a) continue in calcestruzzo armato, b) discontinue, a plinto, c) riposizionabili.

2.2 La struttura portante

2.2.1 aspetti distributivi

L'attività di coltivazione all'interno di una serra può avvenire su un unico piano, oppure su piani sovrapposti (figura 2.3).

Le serre con un unico piano di coltivazione rappresentano la stragrande maggioranza dei casi; in esse la coltivazione avviene a livello del terreno, utilizzato come substrato di coltivazione o come piano di appoggio di vasi, oppure sistemate in apposite strutture emergenti (bancali, vasche idroponiche, ecc.), fissate a terra e/o sospese (figura 2.4).

Recente è la soluzione in cui il piano di coltivazione è collocato al primo piano, mentre il piano terra viene adibito alle lavorazioni (figura 2.5). Affinché tale tipologia sia considerata serra, l'ambiente destinato a operazioni di lavorazione diverse dalla coltivazione, unitamente alla superficie che ospita specifici impianti, non deve essere superiore al 20% della superficie coperta della serra; pertanto, qualora nella citata tipologia tale percentuale venga superata, si ricade nella fattispecie delle strutture agricolo-produttive a tipologia mista².

Nelle serre con tipologia a piani sovrapposti, riconducibile alle cosiddette *serre a torre* (o multipiano), la struttura si sviluppa prevalentemente in altezza andando a definire più piani (livelli) di coltivazione mobili.

Di seguito si farà riferimento solo a serre mono-piano, dato che quelle a piani di coltivazione sovrapposti rappresentano una rarità.

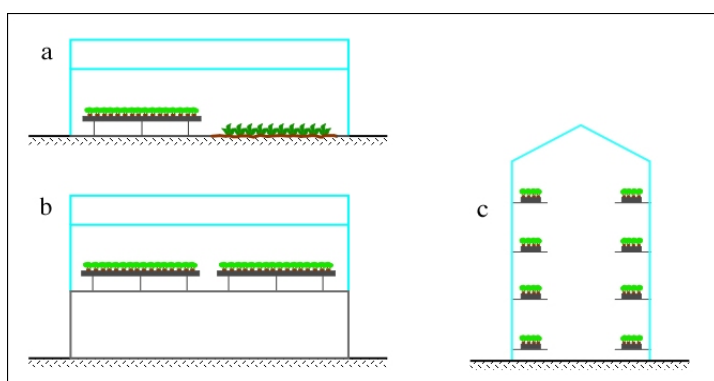


Figura 2.3 - Distribuzione dei piani di coltivazione in una serra: a) in unico piano a livello del terreno; b) in unico piano ad una quota sopraelevata rispetto al terreno; c) su più piani.

2.2.2 i materiali da costruzione

I materiali utilizzati per realizzare la struttura portante di una serra sono l'acciaio, l'alluminio, il legno, il cemento armato. La scelta fra l'uno o l'altro dipende dalle abitudini costruttive del luogo, dalla disponibilità di materiali, dalle condizioni economiche del luogo nelle quali si attua la produzione.

In Europa, e nell'ambiente padano-veneto in particolare, i materiali per la costruzione delle serre che hanno trovato ampia diffusione sono il legno e l'acciaio zincato a caldo, per le strutture portanti, e l'alluminio, soprattutto per le strutture portate (telai porta vetro o reggi plastica).

I motivi che hanno decretato l'affermazione dell'acciaio zincato e dell'alluminio sono i seguenti:

- possibilità di realizzare strutture con ampie luci libere da sostegni intermedi, a tutto vantaggio di un più agevole e corretto utilizzo degli spazi (posizionamento di bancali, impianti aerei, passaggi, ecc.);
- nessun ricettacolo a parassiti animali e vegetali (come succede invece con il legno);
- maggiore luminosità dovuta alla snellezza delle strutture di sostegno, principali e secondarie. In una serra di questo tipo, infatti, la superficie complessiva occupata dal materiale opaco risulta pari al 12% circa del totale, valore che viene invece largamente superato da qualsiasi altro materiale, a parità di dimensioni e di funzioni dell'involucro;
- ermeticità delle chiusure, elemento indispensabile per garantire una corretta climatizzazione dell'ambiente in termini di difesa dagli eccessi termici grazie alla tenuta delle giunzioni, delle battute degli elementi mobili (portoni, finestre, luci di colmo), dei sistemi di fissaggio del materiale di copertura;
- maggiore durata operativa;
- riduzione degli interventi di manutenzione;
- facilità di smontaggio e riutilizzo/riciclo delle strutture.

² Si veda l'Allegato 3 – complesso serricolo



Figura 2.4 - Sistemi di coltivazione in serre con unico piano di lavoro: a) sul terreno come substrato di coltivazione; b) c) d) su terreno come supporto; e) f) g) su bancali/vassoi; h) coltura idroponica.



Figura 2.5 - Serra con unico piano di lavoro sopraelevato: a) prospetto esterno con in evidenza (freccia) il piano di coltivazione, b) differenza di altezza della serra in oggetto con altre tradizionali, c) veduta dell'ambiente di lavoro interno, con in evidenza i binari per lo scorrimento dei bancali mobili (visibili a piano terreno).

2.2.3 le tipologie costruttive

Focalizzando l'attenzione sugli aspetti formali di una serra, con riferimento alla sezione trasversale, si possono riconoscere le seguenti tre tipologie (figura 2.6):

Serre tunnel (figura 2.6 A)

Sono serre a settore di arco più o meno ribassato la cui struttura portante risulta costituita da tubi in acciaio zincato calandrati a curvatura continua. Meno diffusa è la tipologia cosiddetta *a mansarda* nella quale le pareti longitudinali, seppure inclinate, sono costituite da elementi strutturali rettilinei. Queste serre, di norma realizzate a campata singola, sono sempre ricoperte da materiali plastici, film o lastre, con aperture laterali per il passaggio dell'aria (figura 2.7).

Serre a tetto curvilineo (figura 2.6 B)

Sono serre caratterizzate da un tetto a profilo curvilineo i cui elementi portanti, in tubo di acciaio zincato ad arco ribassato o di tipo gotico, si innestano su montanti verticali; quest'ultima soluzione consente, rispetto al gruppo precedente, di realizzare serre a campate multiple. Il materiale di copertura è di tipo plastico, sotto forma di film o lastre. Le luci per la ventilazione sono presenti sia in parete che al tetto (figura 2.8).

Serre con tetto a falde piane (figura 2.6 C)

Questo gruppo di serre è riconducibile a due fondamentali schemi costruttivi:

- le *serre a padiglione*, con tetto a due falde simmetriche, a campata singola o multipla; in queste serre la forma della singola campata, che definisce la luce libera utile, coincide con quella del telaio portante. La circolazione dell'aria è garantita da aperture laterali e di colmo (figura 2.9);
- le *serre tipo venlo*³, nelle quali la struttura portante è rappresentata da un portale costituito da colonne verticali e una trave reticolare orizzontale sul cui estradosso poggia la struttura portante secondaria del tetto, costituito da due o più ordini di falde simmetriche (figura 2.10). Questo tipo di serre viene di norma realizzato con campate multiple (figura 2.11).

In ambito europeo la distribuzione di queste tipologie è stata condizionata in primo luogo dal fattore climatico.

Nelle regioni del Nord e Centro Europa – caratterizzate da inverni freddi ed estati miti, con una bassa radiazione solare (vedi allegato), nella quale oltretutto la componente diffusa spesso prevale su quella diretta – sono attualmente presenti quasi esclusivamente serre del *tipo venlo* con copertura in vetro. In questo caso, infatti, la serra deve poter soddisfare due condizioni tra di loro contrastanti: minimizzare, attraverso l'uso del vetro ed un favorevole rapporto di forma (V/S), le perdite di calore, e sfruttare al massimo la radiazione diffusa⁴ con altezze in gronda che raggiungono (e talvolta superano) i 5,0 m.

Le regioni del bacino del Mediterraneo – caratterizzate da inverni miti ed estati molto calde, con elevata radiazione solare – presentano esigenze quasi opposte rispetto alle prime. Ecco dunque la grande diffusione dei materiali di copertura di tipo plastico (che rappresentano oltre il 90% della superficie coperta), spesso abbinati alle tipologie costruttive della serra tunnel e della serra a tetto curvilineo.

In tale contesto l'area padano-veneta rappresenta una sorta di cerniera tra le due macro-regioni climatiche dove, a prescindere dagli indirizzi produttivi, si ritrovano tutte le soluzioni sopra descritte.

³ Dal nome della città olandese presso la quale sono nate le prime realizzazioni.

⁴ Si veda anche il paragrafo "La radiazione solare".

Tipologie costruttive delle serre

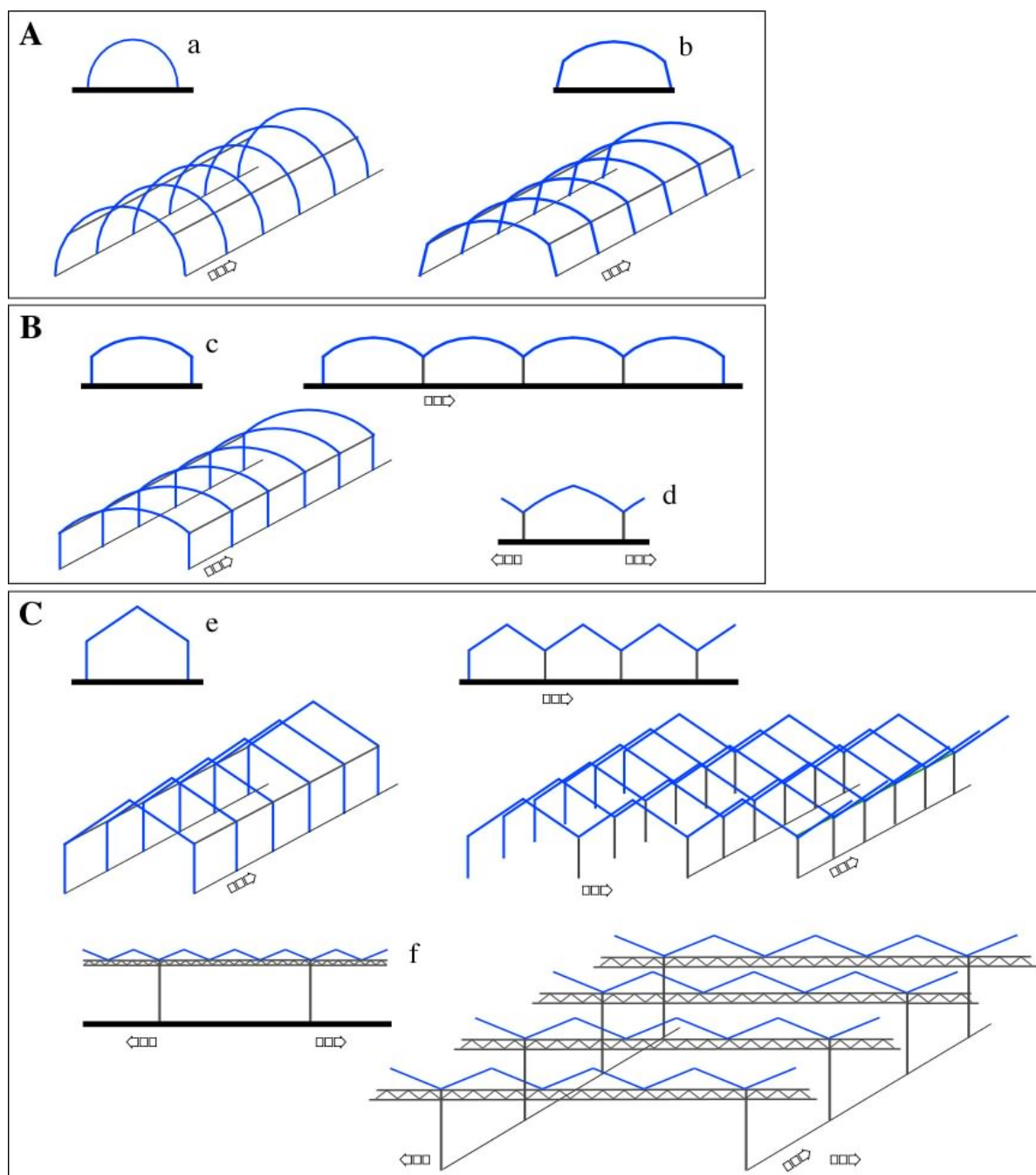


Figura 2.6 - Tipologie costruttive delle serre:

A) serre tunnel: nella versione convenzionale (a) con struttura ad arco e nella versione con struttura a mansarda (b).

B) serre a tetto curvilineo: nella versione con tetto ad arco (c) e con tetto "gotico" (d).

C) serre con tetto a falde piane: nella tipologia "a padiglione" (e) e in quella "tipo venlo" (f).

Serre tunnel



Figura 2.7 – Serre con tipologia a mansarda (a); serre con tipologia a tunnel (b, c)

Serre tunnel (a mansarda) – Serre a tetto curvilineo



Figura 2.8 – Serre a mansarda in film plastico con in evidenza le aperture laterali di ventilazione (a, b). Serre a tetto curvilineo a sezione circolare (c, d). Serre a tetto curvilineo delFigura 4.11 - Raffrescamento evaporativo e controllo dell'UR attraverso la nebulizzazione.

Serre con tetto a falde piane (serre a padiglione)

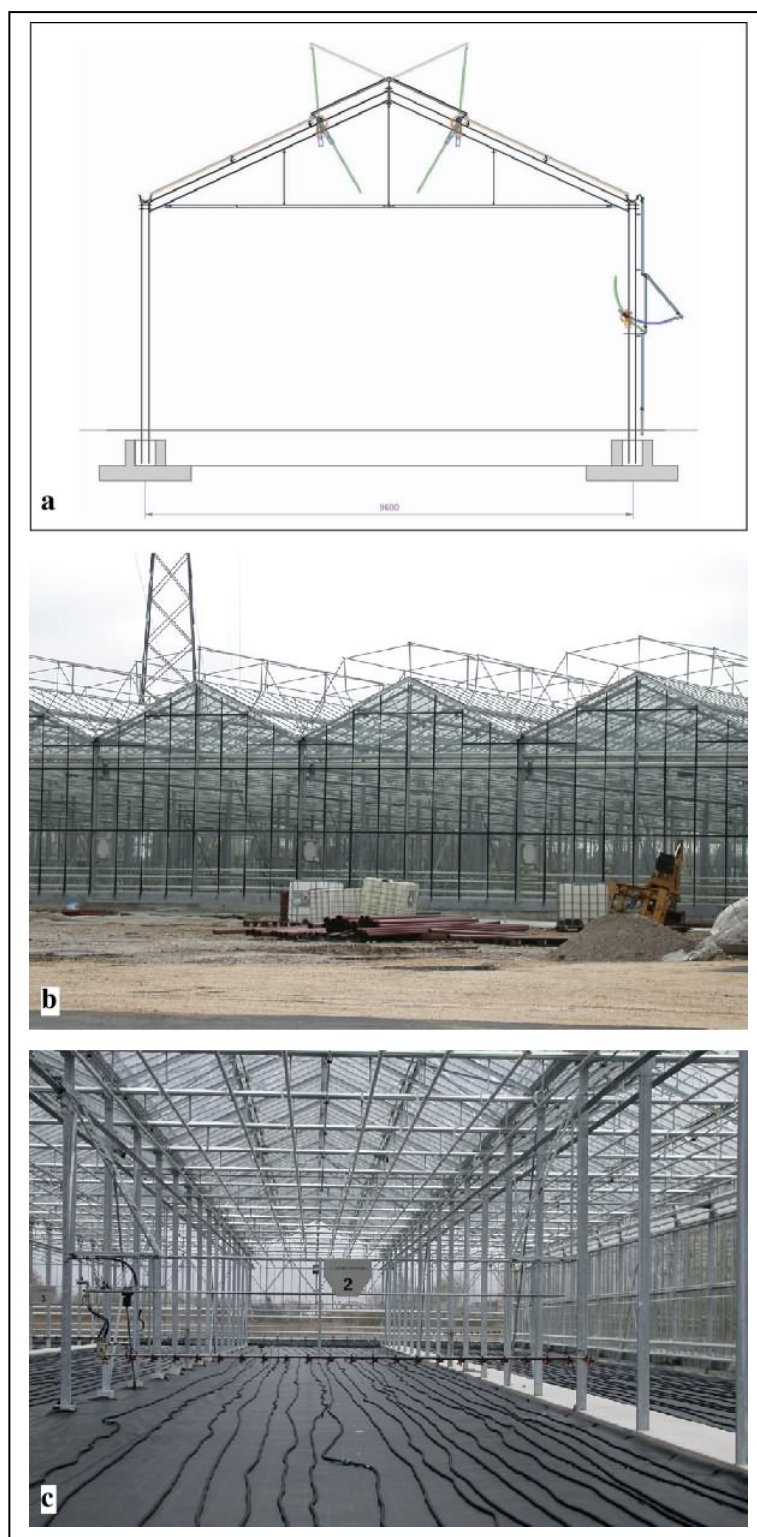


Figura 2.9 - Serre con tipologia a padiglione e copertura in vetro.
In a) lo schema costruttivo (fonte Idrotermserre).

Serre con tetto a falde piane (serre venlo)

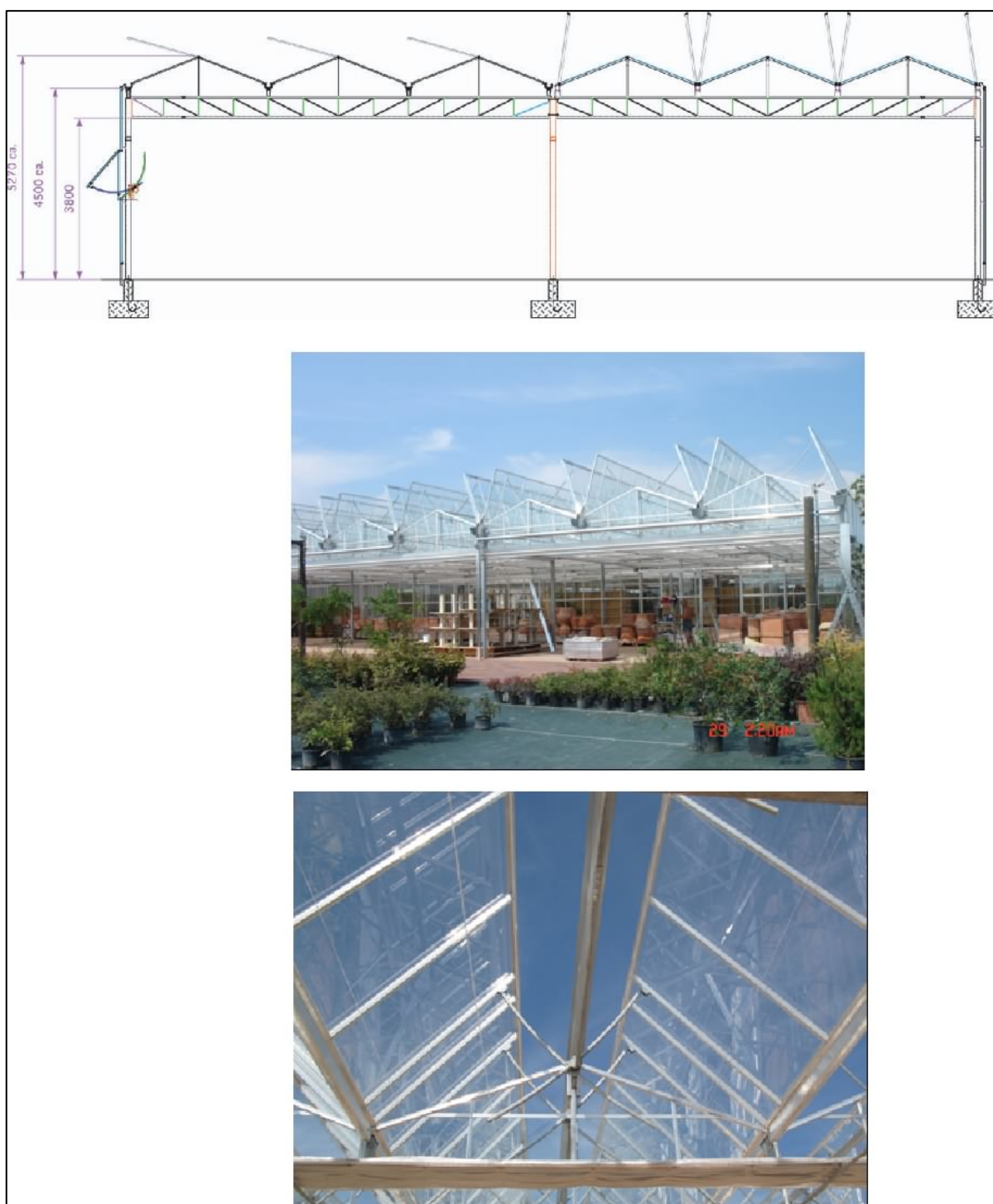


Figura 2.10 - In alto, schema costruttivo di una serra tipo venlo con due sistemi di apertura dei portelloni del tetto. Al centro e in basso, un esempio di queste serre con in evidenza la possibilità di ottenere la completa apertura del tetto (fonte Idrotermserre).

Serre con tetto a falde piane (serre venlo)



Figura 2.11 - Serre tipo venlo; in evidenza, segnate dalle frecce, le travature reticolari trasversali.

3. CARATTERISTICHE E TIPOLOGIE DEI MATERIALI DI COPERTURA

3.1 Premessa

Il materiale di copertura di una serra, quale che sia l'indirizzo produttivo adottato, è chiamato a svolgere le seguenti funzioni:

- protezione meccanica delle piante da eventi meteorici avversi quali pioggia, neve, grandine, gelate, vento, ecc.;
- massima permeabilità al passaggio della radiazione visibile in termini quantitativi (minima riflettanza⁵) e qualitativi (nulla o ridotta modificazione dello spettro di emissione della luce solare⁶);
- creazione dell'effetto serra, ovvero trasparenza verso l'infrarosso "corto" della radiazione solare ed impermeabilità alle radiazioni infrarosse "lunghe" riemesse dal terreno e dalle piante⁴.

Altri elementi caratterizzanti il materiale di copertura, da valutare al momento della realizzazione di una serra sono il peso, la durata, la trasmittanza luminosa⁷ e termica, la dilatazione termica, il costo.

Come anticipato nel precedente paragrafo i materiali di copertura utilizzati nel settore serricolo sono il vetro e le materie plastiche, ciascuno dei quali caratterizzato da uno specifico comportamento e conseguente campo di applicazione.

Le principali caratteristiche delle coperture in vetro e in materiali plastici sono raccolte nella tabella 3.1 e nelle figure 3.1 e 3.2.

Di seguito si procede ad una breve esposizione delle caratteristiche dei materiali utilizzati più di frequente nelle serre.

3.2 Il vetro

Il vetro è disponibile sotto forma di lastre di dimensioni e spessori standardizzati nelle tipologie "lucido" e "traslucido" (o "grezzo"). Tra le due la prima è quella che si è di fatto diffusa nel settore professionale, a sua volta disponibile nel tipo "doppio" (spessore 4 mm) e "semidoppio" (spessore 3 mm).

Il vetro lucido, a superfici piane e parallele, lascia passare la luce solare senza diffonderla, potendo così provocare un'illuminazione disomogenea e causare ustioni alle piante, inconvenienti che sono ovviati con il ricorso a "tinteggiature" e/o all'uso di appositi schermi.

Il vetro traslucido presenta invece almeno una delle superfici lavorate (da cui il nome di *martellato*, *giardiniera*, *rigato*, *stampato*, *retinato*, ecc.), favorendo pertanto la diffusione della luce.

Il vetro non è in grado di trasmettere lunghezze d'onda superiori a 4.600 nm, ed è pertanto caratterizzato da un notevole *effetto serra*, dato che la radiazione infrarossa emessa dal terreno e dalle piante è compresa tra 5.000 e 35.000 nm.

La difesa dalle violente grandinate, che possono provocare danni alla copertura – abbandonato l'utilizzo del vetro retinato (vetro armato con fili metallici, dello spessore di 7 mm) troppo pesante e costoso – viene affidata oggi esclusivamente a lastre di vetro temperato (caratterizzato da una maggiore resistenza a rottura e dal vantaggio di frantumarsi in piccoli pezzi non taglienti), oppure, più di frequente, a reti antigrandine, posizionate sopra il tetto, e all'occorrenza stese usufruendo di un'apposita intelaiatura (figura 3.3).

⁵ Per riflettanza si intende la porzione di radiazione incidente che una determinata superficie è in grado di riflettere; essa è data dal rapporto tra l'intensità del flusso radiante riflesso e l'intensità del flusso radiante incidente.

⁶ Si veda anche il paragrafo "La radiazione solare".

⁷ La trasmittanza (T) è la frazione I_t del flusso radiante incidente I_0 che attraversa il materiale, riferito ad una determinata lunghezza d'onda; $T = I_t/I_0$

Accanto alle tipologie di vetro sin qui descritte, sul mercato sono disponibili anche lastre a doppia parete e lastre a bassa emissività, entrambe in grado di contenere il consumo energetico di una serra.

Le lastre a *doppia parete* (nella cui intercapedine viene immessa anidride carbonica o aria disidratata) sono caratterizzate da valori di trasmittanza sensibilmente inferiori a quelle convenzionali; sono però più costose, più pesanti e tali da ridurre la trasmissione della radiazione visibile. Per questi motivi la loro diffusione è risultata assai limitata.

Le lastre a *bassa emissività* presentano un coefficiente di riflessione nell'infrarosso più elevato rispetto a quelle convenzionali grazie alla presenza di un sottile film di ossido di stagno nella faccia esposta verso l'esterno. Questo tipo di lastre perde comunque parte della sua efficacia con cielo coperto o in presenza di forte vento, condizioni nelle quali prevalgono le perdite di calore di tipo convettivo.

3.3 Le materie plastiche

I manufatti plastici utilizzabili per le coperture di coltivazioni orticole e floricole si possono suddividere in tre gruppi:

- a) **film plastici flessibili**
- b) **laminati semirigidi o ondulati**
- c) **lastre rigide e lastre rigide alveolari**

In linea di principio le materie plastiche possono sostituire il vetro nei casi in cui la coltivazione possa essere attuata in una serra che non necessita di una dotazione impiantistica troppo complessa.

In questi casi, infatti, caratteristiche come il basso peso, la facilità di montaggio, il costo contenuto, compensano i difetti intrinseci di questi materiali quali un non sempre ottimale effetto serra, la tendenza a formare condensa, la fotolabilità, il decadimento delle caratteristiche meccaniche e spettroradiometriche a causa dell'usura (sfregamenti con le strutture metalliche) e/o il contatto con alcuni prodotti chimici utilizzati in ambiente protetto.

Fattori tutti che riducono il tempo di utilizzo di buona parte di questi prodotti a non più di 4-5 anni (tabella 3.1).

I vantaggi comunque insiti nell'impiego delle coperture in materiali plastici ne hanno decretato una crescente diffusione, favorita anche dal continuo progresso tecnologico indirizzato ad ottenere materiali sempre più durevoli grazie all'impiego di additivi, in grado di rallentare i fenomeni che accelerano l'invecchiamento del materiale.

Nella tabella 3.2 sono schematizzati i pregi e i difetti dei materiali di copertura per serre, raggruppati come vetro e prodotti plastici (in film o in lastra).

Qualche ulteriore informazione sulla condensa e sui negativi effetti che essa provoca all'interno di una serra. Due sono le modalità attraverso le quali essa si manifesta: sotto forma di gocce oppure di film; la prima è sicuramente quella più dannosa, dato che la goccia, oltre che provocare l'indesiderata bagnatura di piante ed attrezzature, accentua i fenomeni di riflessione (fino al 15%), con riduzione della quantità di radiazione trasmessa. A tale proposito sono presenti sul mercato materiali di copertura che presentano caratteristiche anti-condensa sotto forma di additivi (nei film plastici) o come trattamento superficiale (nelle lastre). In entrambi i casi il risultato è la trasformazione della goccia in un film, che fluisce lungo i lati della copertura per essere infine raccolto in apposite canalette. Questo scorrimento viene ad esempio favorito nelle serre con copertura in film plastico con tetto gotico (rispetto a quella ad arco, vedi figura 2.6), proprio grazie alla pendenza più accentuata della falda ricurva.

Una sensibile riduzione delle perdite di calore trasmesso attraverso le pareti – con positivi risultati per quanto riguarda anche il contenimento della condensa – è oltretutto conseguibile con l'utilizzo del doppio film plastico “gonfiato” che consente di ottenere valori di trasmittanza termica fino a 3 volte inferiori rispetto alle pareti con film singolo, e non molto dissimili da quelle di materiali ben più costosi (figure 3.4, 3.5 e tabella 3.1).

3.3.1 caratteristiche dei materiali plastici per coperture

a) **I film plastici flessibili** sono preparati con polietilene (PE), cloruro di polivinile (PVC) ed etilene vinil acetato (EVA).

Il Polietilene (PE) si adatta perfettamente ad essere soffiato e ridotto in un film flessibile di buona trasparenza, caratteristiche che tuttavia diminuiscono sensibilmente con l'aumentare dello spessore. Presenta un campo di utilizzo compreso tra -40 °C (al di sotto del quale diventa rigido) e +65-70 °C (sopra il quale si rammollisce). È impermeabile all'acqua ed al vapore acqueo, mentre è permeabile ai gas, soprattutto all'anidride carbonica e all'ossigeno.

È disponibile come polietilene a bassa densità (LDPE) e polietilene a bassa densità a catena polimerica lineare (LLDPE), che rispetto al primo presenta migliori caratteristiche di resistenza meccanica, fatto che consente di realizzare film con minori spessori.

Il PE è il materiale più utilizzato in serricoltura, con buone caratteristiche meccaniche, ottima trasmittanza alla radiazione solare visibile (simile a quella del vetro) e scarsa opacità all'infrarosso lungo, cioè un ridotto effetto serra.

Sono presenti in commercio materiali trattati con additivi per aumentare la resistenza all'invecchiamento da radiazioni ultraviolette e per accentuare l'effetto serra (ridotta permeabilità al FIR).

I film di Cloruro di polivinile (PVC) sono impermeabili all'acqua, poco permeabili all'ossigeno e all'anidride carbonica e permeabili al vapore acqueo. Nonostante le buone caratteristiche ottiche il loro utilizzo viene limitato dal costo, dalla fragilità (maggiore rispetto al PE) e dalle problematiche connesse allo smaltimento.

L'Etilene vinil acetato (EVA) è caratterizzato da buone caratteristiche ottiche, meccaniche e termiche. Risultano disponibili sul mercato particolari tipologie di film in EVA in grado di: diffondere la luce per oltre il 40% di quella trasmessa; con l'aggiunta di additivi che riducono la tensione superficiale dell'acqua di condensa, evitano la formazione di gocce e le negative conseguenze che esse provocano, ovvero il gocciolamento e la riduzione della trasmittanza luminosa; con microbolle a celle chiuse migliorano le caratteristiche climatizzanti del materiale, sia riducendo la quota di radiazione infrarossa in ingresso (NIR), che opponendosi alla emissione dell'infrarosso lontano (PAR), in quest'ultimo caso contribuendo ad accentuare l'effetto serra.

Esistono infine materiali, quali l'*etilene tetra fluoroetilene (ETFE)* e il *polivinil idene fluoruro (PVDF)* caratterizzati da una elevata trasparenza alla luce visibile incidente (94-95%), con un buon effetto serra e con una durata di oltre 10 anni; per il momento il loro utilizzo nel settore serricolo è comunque frenato dall'elevato costo, di circa 10 €/m², contro 0,50-0,75 €/m² di LDPE ed EVA.

b) **I laminati semirigidi**, piani o ondulati, sono realizzati in poliestere (PRFV), cloruro di polivinile (PVC), polimetilmetacrilato (PMMA).

Il poliestere, fiberglass reinforced plastic (PRFV), altrimenti noto come vetroresina, viene utilizzato sotto forma di lastre piane e ondulate, disponibili in diversi spessori. Questo materiale è soggetto all'erosione della superficie esposta alle intemperie, fatto che comporta una sensibile perdita della trasmittanza luminosa dopo 5-6 anni; l'inconveniente può essere attenuato utilizzando lastre con uno strato protettivo di polivinil fluoruro.

Il polimetilmetacrilato (PMMA), disponibile sotto forma di lastre ondulate (vedrilser) oppure piane (vedril), presenta caratteristiche di trasparenza simili a quelle del vetro, mantenute per oltre 15 anni.

c) **Le lastre rigide**, disponibili come lastre piene o lastre alveolari, ottenute per estrusione.

Particolare interesse riveste l'impiego di queste ultime grazie alle loro doti di leggerezza e resistenza meccanica, anche se a scapito di una riduzione della trasmittanza luminosa (7-10%).

Dei due materiali utilizzati, il polimetilmetacrilato (PMMA) e il policarbonato (PC), il primo, oltre alla già menzionata ottima trasmittanza luminosa (migliore rispetto al policarbonato), presenta un costo da 4 a 5 volte superiore al quello del vetro e, rispetto al policarbonato, una minore resistenza all'impatto da grandine ed una maggiore pericolosità in caso di incendio. Il policarbonato, per suo conto, tende a perdere un 10% della trasparenza dopo 5 anni (ingiallimento), fenomeno che può essere attenuato utilizzando lastre con un trattamento anti-ingiallimento sulla superficie esterna.

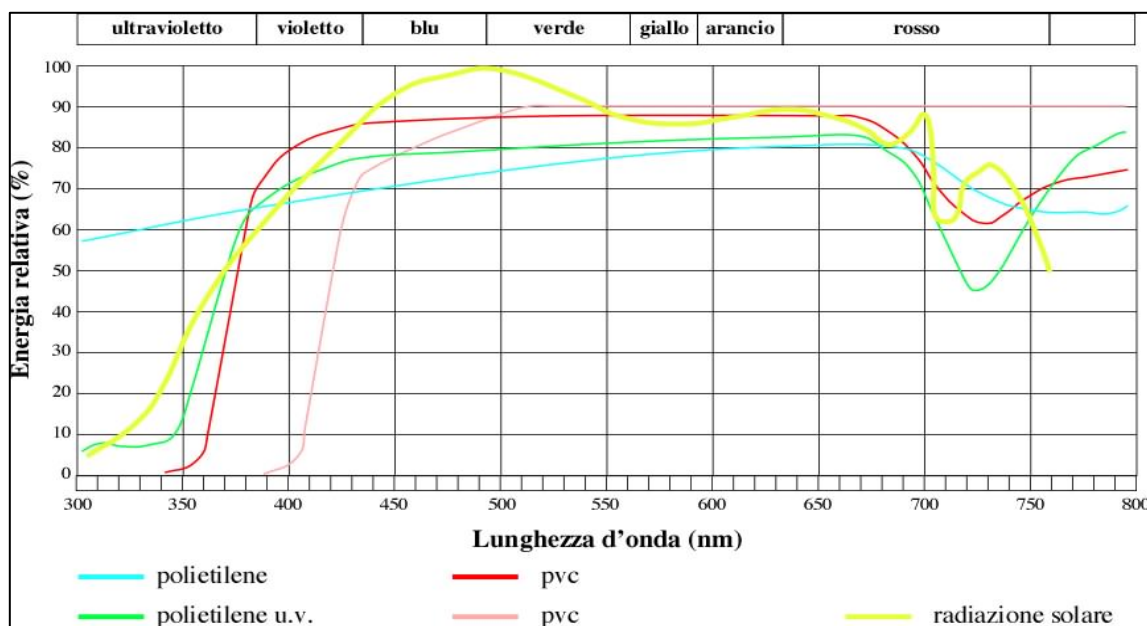


Figura 3.1 – Spettro radiometrico di film plastici utilizzati come materiale di copertura nelle serre messo a confronto con quello solare (fonte ASABE Standards 2009).

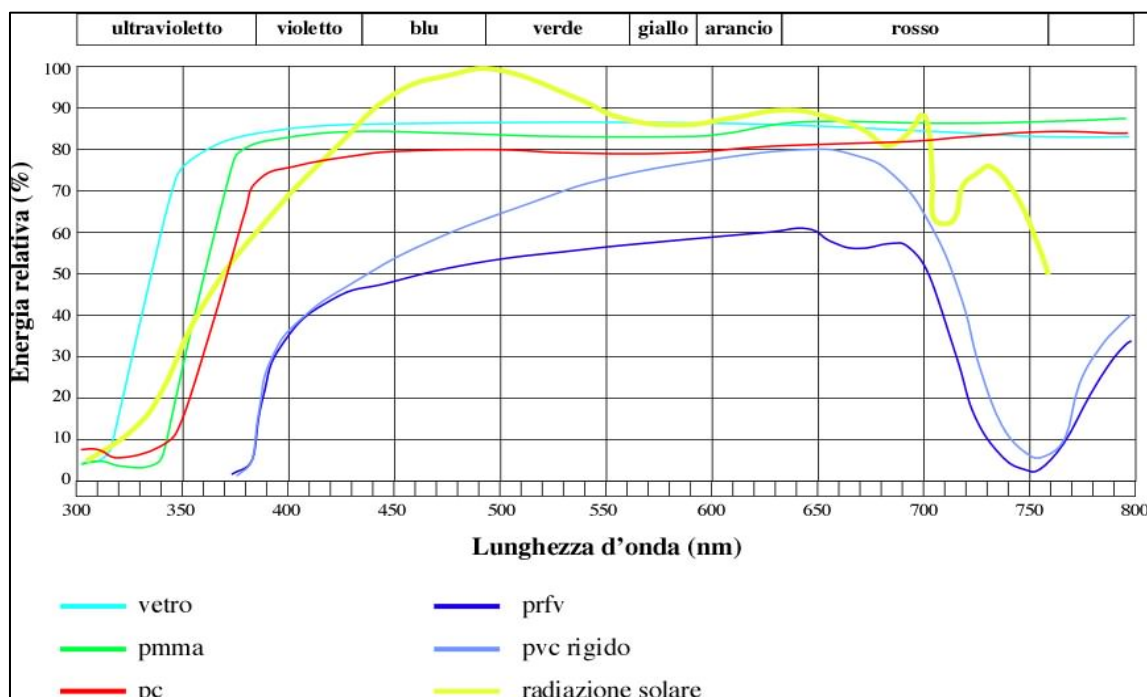


Figura 3.2 – Spettro radiometrico di lastre in materiale plastico e di vetro utilizzati come materiale di copertura nelle serre messi a confronto con quello solare. (fonte ASABE Standards 2009).



Tabella 3.1 – Principali caratteristiche fisiche e dimensionali di alcuni materiali di copertura per serre

Tipo di materiale	Dimensioni		Spessore	Peso	Durata	Coefficiente dilatazione lineare	Trasmittanza termica	Trasmittanza radiazione		
	Larghezza (m)	Lunghezza (m)	(mm)	(Kg/m²)	(anni)	(mm/°C)	(W/ m² °C)	Visibile diretta (%)	Visibile diffusa (%)	IR lontano (%)
Vetro	0,6	1,5-2,0	4	11,5		0,005	6,7	89	91	0
Film plastici										
PE	6,0-12,0	*	0,1-0,2	0,21	3-4		15,6-7,5	91 (89)#	90 (86)#	79 (76)#
EVA	-	-			12-36!		12,6-6,8	92	76	39
PVC	-	-		0,12	3-4 (12-36)!		10,7-5,5	92	91	60
Laminati semirigidi o ondulati										
PRFV	1,0-3,0	2,5-4,0	1,0-1,5	1,3-1,9	7,8	0,036	6,7	80		4
PVC	1,1	*	0,9	1,4	10		8,1	82		5
PMMA	1,3	4,2	1,5-2,3	2,0-3,0	7,8	0,075	7	92		0
Lastre rigide e alveolari										
PMMA	6	2,0-6,0	16	5	15	0,075	2,9-5,9	83	70	0
PC	1,2-2,5	3,0-6,0	4,5-6,0-16,0	1,0-2,7	5	0,065	4,5-3,3	77	62	3

(*) a richiesta

(#) a lunga durata

(!) a lunga vita

**Tabella 3.2 – Pregi (+) e difetti (-) dei materiali di copertura per serre, raggruppati come vetro e prodotti plastici (in film o in lastra)**

materiale	vetro	film	lastre
-----------	-------	------	--------

Caratteristiche ottiche:

– trasmittanza PAR	+	+	
– effetto serra	+	–	+
– trasparenza (nel tempo)	+	–	+/-

Caratteristiche fisico-meccaniche:

– dilatazione lineare	+		–
– resistenza meccanica	–	–	+
– rigidità	–		+
– peso	–		
– durata di esercizio	+	–	
– formazione condensa		–	
– trasmittanza termica		–	+
– sviluppo alghe e muffe			–

Altro:

– costo			–
– facilità di montaggio		+	+



Intelaiatura per reti antigrandine

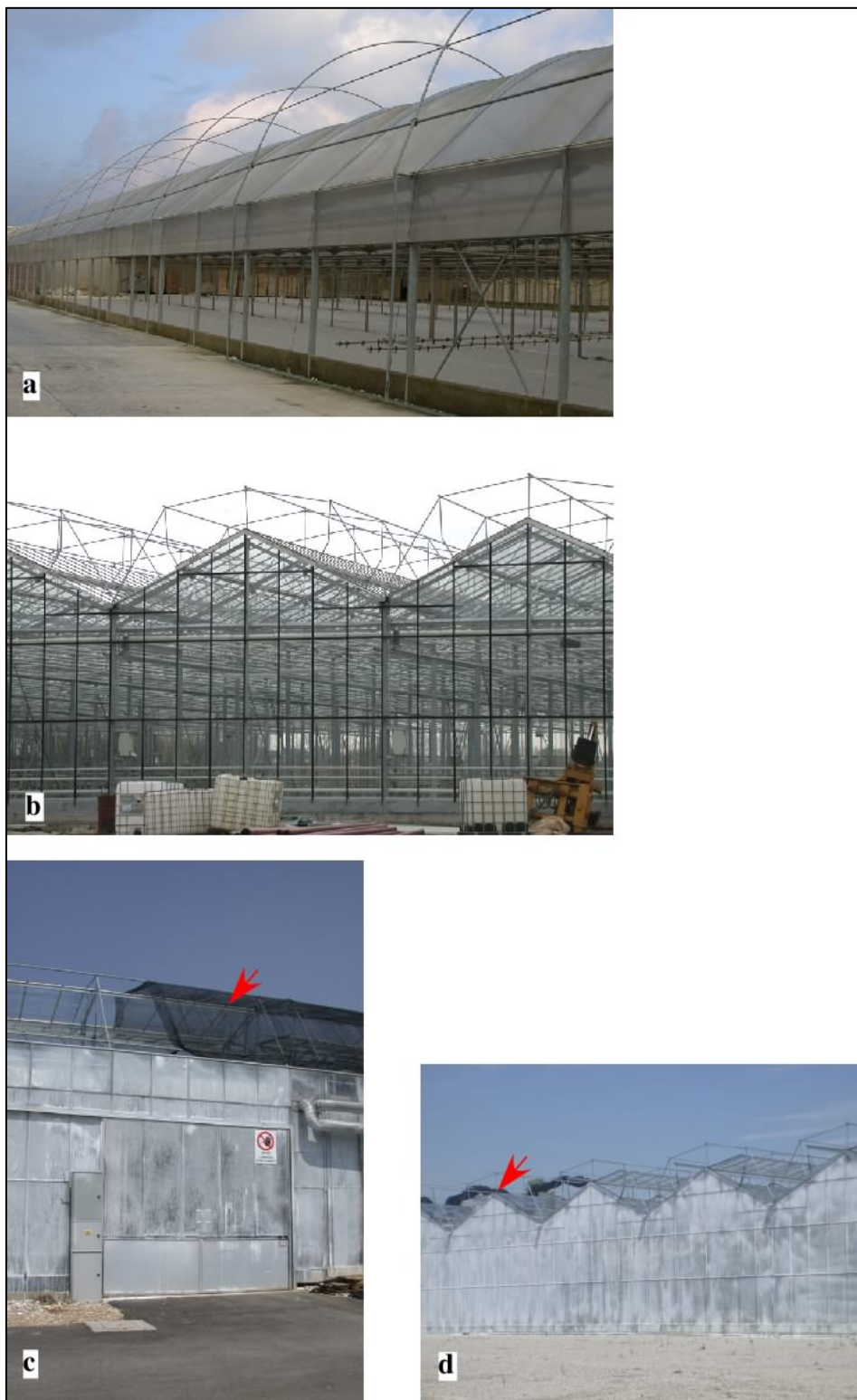


Figura 3.3 – Supporti per il posizionamento dei teli con funzione antigrandine/ombreggiamento (a, b) e serre con i suddetti teli parzialmente stesi (c, d).



Materie plastiche



Figura 3.4 - Serra con copertura in doppio film plastico con in evidenza la condensa formata da piccole gocce (foto a). Particolare del ventilatore utilizzato per la destratificazione dell'aria (foto b).



Materie plastiche

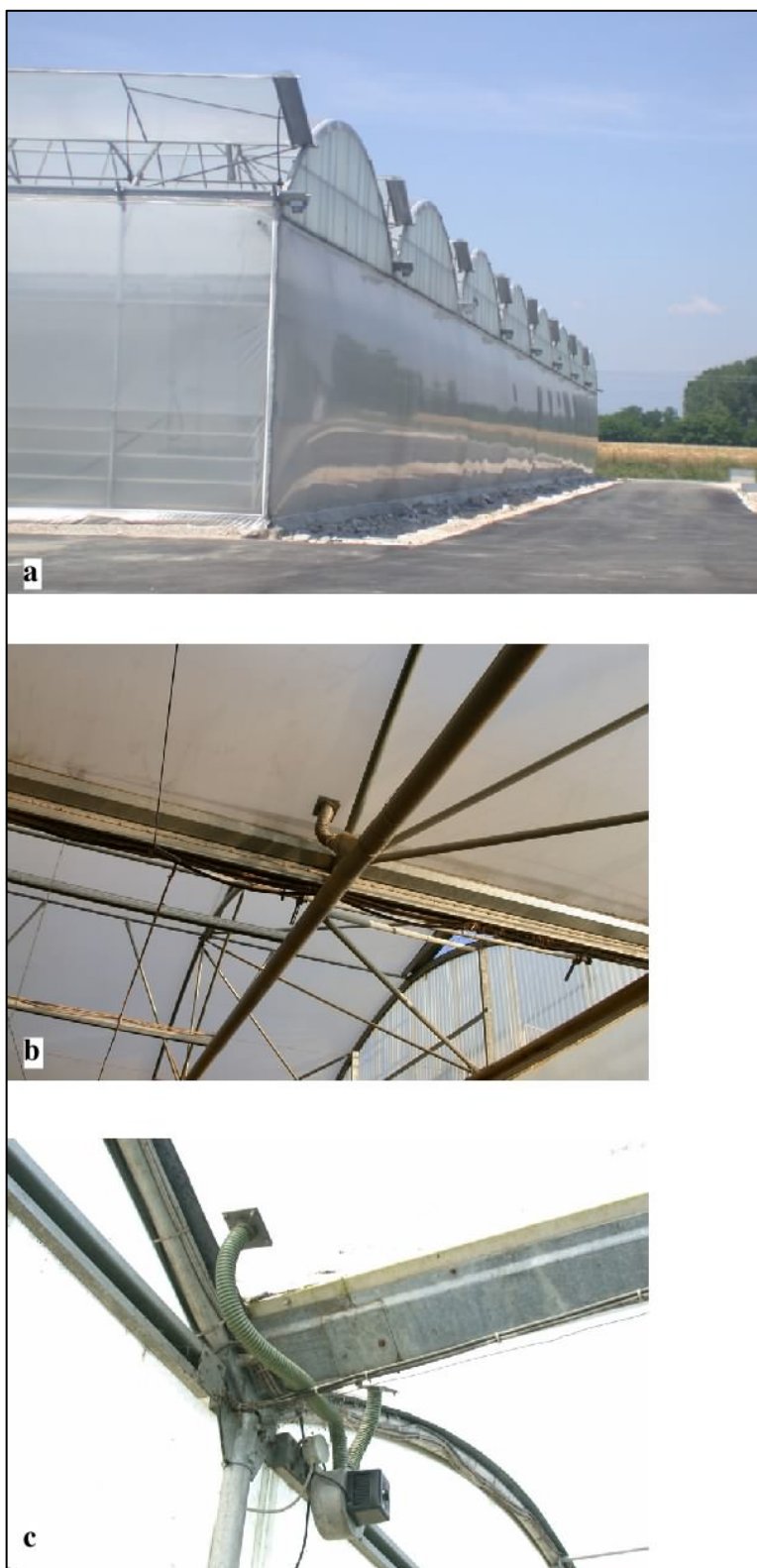


Figura 3.5 – Serre con copertura in doppio film plastico (foto a); particolari dei ventilatori utilizzati per mantenere in pressione lo strato d'aria (foto b e c).



4. IL CONDIZIONAMENTO DELL'AMBIENTE TERMICO

Il condizionamento dell'ambiente termico di una serra si esplica attraverso interventi di climatizzazione aventi lo scopo di garantire idonee condizioni produttive a prescindere dall'andamento meteorologico dell'ambiente esterno, e potrà essere eseguito in misura tanto più accurata quanto migliori saranno le caratteristiche costruttive della serra e più completa la sua dotazione impiantistica.

Il condizionamento termico di una serra si attua mediante il riscaldamento o il raffrescamento dell'aria, a seconda del periodo stagionale.

4.1 Il riscaldamento dell'aria

Il riscaldamento dell'aria di una serra può avvenire affidandosi al solo effetto serra oppure ricorrendo anche a sistemi artificiali.

La prima condizione caratterizza le cosiddette *serre fredde*, nelle quali la regolazione della temperatura è condizionata dall'andamento climatico esterno e dalle caratteristiche costruttive della serra, che vedono coinvolti fattori quali l'irraggiamento solare, la temperatura dell'aria, il tipo di materiale di copertura e la cubatura unitaria, nonché dall'ermeticità delle finestrate. Il mantenimento, all'interno della serra, di una temperatura dell'aria superiore a quella esterna dipende, oltre che dall'effetto serra⁸, anche dall'entità delle dispersioni di calore, entrambe influenzate dal tipo di materiale di copertura e dalla cubatura unitaria della serra⁹. Gli elementi essenziali rivolti al controllo climatico all'interno delle serre sono di tipo passivo, in quanto agiscono sui flussi naturali di massa ed energia in modo da regolarne il flusso senza aggiunte o sottrazioni dirette. Tuttavia queste serre, prive di un impianto di riscaldamento fisso, possono godere di un *riscaldamento di soccorso*, garantito da attrezzature mobili, al fine di evitare danni alle strutture e/o alle piante, ad esempio in occasione di consistenti nevicate o di abbassamento della temperatura al di sotto del limite di tolleranza delle piante.

La seconda condizione è invece tipica delle *serre calde*, nelle quali cioè il controllo della temperatura dipende, oltre che dai sopra menzionati fattori, anche dalla presenza di un impianto fisso di riscaldamento, le cui finalità possono essere le seguenti:

- *riscaldamento minimo*, in grado di mantenere, un livello termico sufficiente all'accrescimento delle piante;
- *riscaldamento di forzatura*, tale da garantire, all'interno della serra, le condizioni termiche ideali per l'esecuzione della coltura.

Gli impianti di riscaldamento di tipo fisso, a seconda del volume e del numero di serre da riscaldare, possono essere presenti all'interno di ciascuna unità produttiva, con attrezzature di medio-piccola potenza termica, oppure costituire un impianto di tipo centralizzato (figura 4.1).

Gli impianti di riscaldamento in uso nelle serre, siano essi di tipo mobile o fisso, si distinguono in base al tipo di fluido termovettore (acqua, vapore, aria, raggi infrarossi) (figura 4.2) e al tipo di combustibile utilizzati (gasolio, metano di rete, gas di petrolio liquefatto, biomasse lignocellulosiche, ecc.).

⁸ Vedasi paragrafo "La radiazione solare".

⁹ Serre fredde con una elevata cubatura unitaria, a parità di altre condizioni, sono caratterizzate da una maggiore inerzia termica.



Figura 4.1 – Alcuni sistemi per la fornitura di energia termica nelle serre: a) impianto centralizzato a servizio di più unità di coltivazione in un grande complesso serricolo; b) bruciatore per la produzione di aria calda a servizio di una sola serra; c) cappa a tubo radiante con relativo bruciatore; d) cogeneratore alimentato a metano di rete; e) ed f) caldaia a biomassa alimentata con cippato di legno e i residui dell'attività di coltivazione.



Figura 4.2 – Alcuni sistemi per il riscaldamento delle serre: a) aerotermo per il riscaldamento a zone della serra; b) e c) sistema di riscaldamento misto costituito da tubazioni radianti (freccie rosse) e sistema fan-jet (freccie blu).



4.2 Il raffrescamento dell'aria

L'effetto serra, se da un lato rappresenta un aspetto favorevole per il bilancio termico durante l'inverno e parte delle stagioni intermedie, diventa un inconveniente d'estate, a causa dell'eccessivo innalzamento termico che esso provoca, per contrastare il quale si interviene con interventi di mitigazione quali la ventilazione, l'ombreggiamento, l'evaporazione dell'acqua.

4.2.1 la ventilazione

La ventilazione, ovvero il ricambio dell'aria in una serra, svolge la duplice funzione di limitare l'innalzamento termico dell'aria, evitando così pericolosi eccessi di temperatura e di favorire il mantenimento di un livello igrometrico idoneo alle esigenze delle piante.

La ventilazione può essere naturale oppure forzata.

La ventilazione naturale

La ventilazione si dice naturale quando il ricambio dell'aria avviene in modo passivo, cioè senza consumo di energia, grazie alla differenza di temperatura/pressione tra l'ambiente interno e quello esterno ed alla conseguente presenza di aperture di ventilazione per l'aria in ingresso e per quella in uscita presenti lungo le pareti longitudinali e/o sul tetto.

La ventilazione naturale può avvenire per effetto vento o per effetto camino (figura 4.3); nell'uno o nell'altro caso è necessario porre particolare cura nella definizione delle caratteristiche dimensionali e geometriche della serra.

Nel caso della ventilazione per effetto vento, il ricambio dell'aria avviene grazie alla depressione generata dal vento che lambisce la struttura e/o che attraversa la serra passando dalle aperture laterali; fondamentali risultano in entrambi i casi la velocità e la direzione del vento.

Nel caso della ventilazione per effetto camino, la depressione è generata dalla differenza di temperatura tra l'aria calda all'interno della serra e quella dell'ambiente esterno, a temperatura inferiore. Oltre che dalla differenza di temperatura, l'entità del ricambio dell'aria dipende anche dalla differenza di quota tra le luci di ingresso e di uscita dell'aria.

La ventilazione naturale risulta scarsamente efficace con vento debole o assente (nei sistemi fondati sull'effetto vento), oppure quando la differenza di temperatura tra l'ambiente interno e quello esterno è ridotta o nulla (nei sistemi fondati sull'effetto camino).

Le aperture poste lungo le pareti longitudinali possono aprirsi dal basso in alto (o viceversa), per avvolgimento oppure per rotazione laterale (figura 4.4); le aperture sul tetto possono aprirsi con meccanismo a bilanciere, a sportello oppure per avvolgimento (figura 4.5).

La ventilazione forzata

La ventilazione forzata, o meccanica, è indispensabile nelle serre di grandi dimensioni nelle quali, in considerazione dell'eccessiva distanza tra le aperture laterali, non è possibile garantire idonee condizioni per la circolazione dell'aria con sistemi naturali; risulta inoltre indispensabile in qualsiasi unità produttiva nella quale sia necessario mantenere un determinato livello termo-igrometrico, a prescindere dalle condizioni meteorologiche esterne; per ulteriori dettagli si rimanda al paragrafo "L'evaporazione dell'acqua" dato che il ricambio dell'aria di tipo forzato è sovente strettamente associato al raffrescamento evaporativo.

Ventilazione naturale

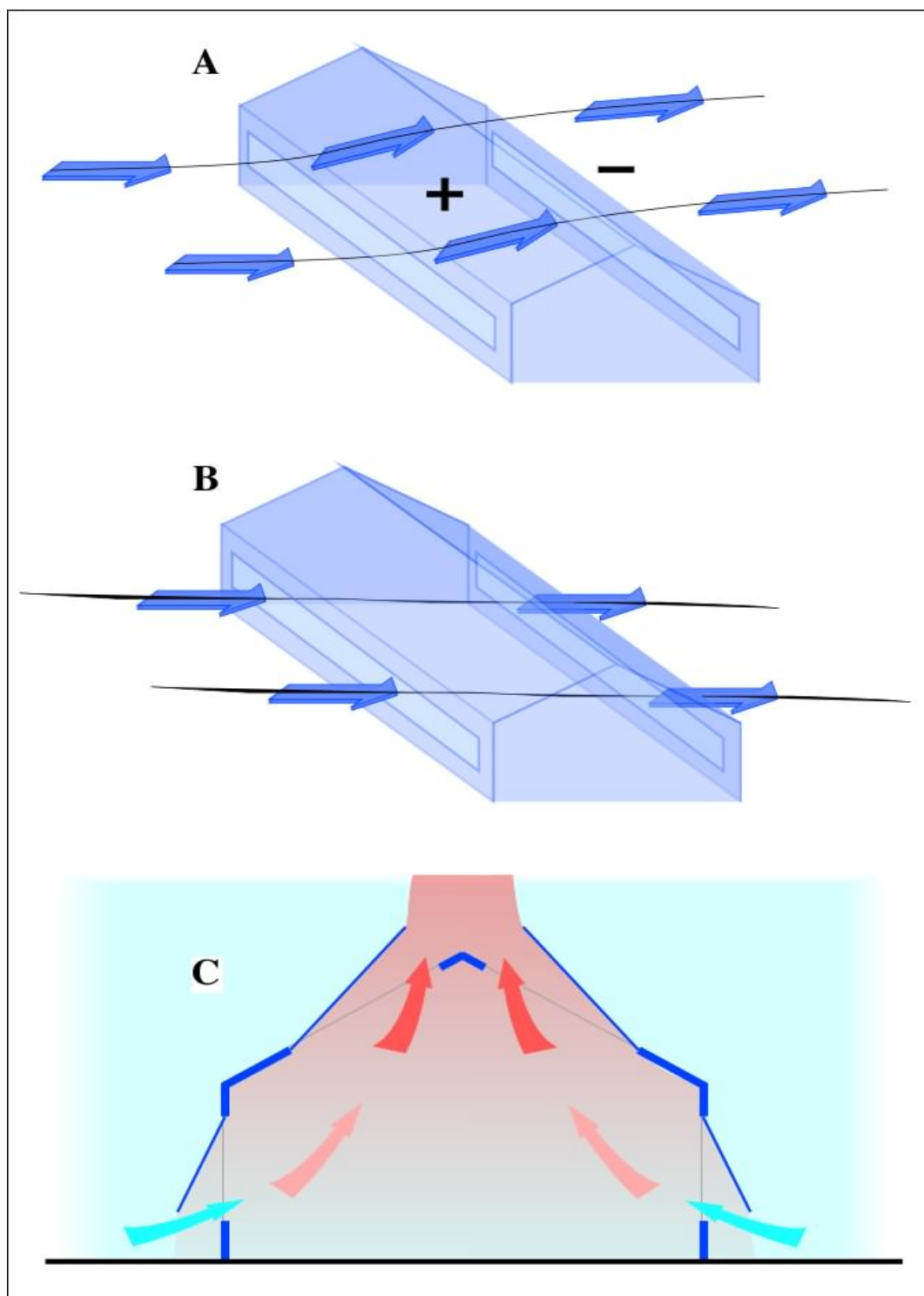


Figura 4.3 - Modalità di ricambio dell'aria in una serra per ventilazione naturale:

A) per effetto vento grazie alla differenza di pressione dell'aria tra le zone investite direttamente dal flusso (+) e quelle nelle quali si instaurano condizioni di depressione (-);

B) grazie al passaggio diretto della corrente d'aria all'interno della serra attraverso le aperture laterali;

C) per effetto camino.



Ventilazione naturale



Figura 4.4 – Aperture laterali di serre: a) serra tunnel; b) serra a mansarda; c) serra a padiglione (segnata dalla freccia).



Ventilazione naturale



Figura 4.5 - Aperture al tetto per serre:
serre a tetto curvilineo (a, b); serra a mansarda con copertura a doppi telo plastico (c); serra a mansarda con copertura in vetro (d, e).



4.2.2 l'ombreggiamento

L'ombreggiamento, finalizzato al controllo della temperatura nell'ambiente di coltivazione deve essere in grado di trasmettere una frazione sufficiente della radiazione solare visibile ($0,38\div0,76$ micron) e schermare quanto più possibile le radiazioni dell'infrarosso corto ($0,76\div2,5$ micron).

L'ombreggiamento si consegue con i seguenti mezzi:

- la tinteggiatura delle pareti con latte di calce o prodotti alternativi;
- l'impiego di reti ombreggianti all'interno o all'esterno della serra;
- l'impiego di tessuti con funzione di ombreggiamento e di schermo termico.

La *tinteggiatura delle pareti*, ottenuta utilizzando una miscela di latte di calce e colla vinilica o gesso è un mezzo efficace ed economico, che presenta però lo svantaggio di non poter essere regolato in funzione della luce esterna (figura 4.6). Peraltro, si rileva che possono sussistere problemi nel recupero della permeabilità delle pareti.

Le *reti ombreggianti*, posizionate all'esterno o all'interno della serra e costituite in plastica in poliestere ad alta resistenza, garantiscono un ombreggiamento variabile dal 30 al 70% in funzione della tramatura della rete.

I *tessuti per ombreggiamento* vengono sempre posizionati all'interno della serra, in posizione orizzontale, ad una quota all'incirca corrispondente con la linea di gronda (figura 4.7). Essi sono costituiti o da tessuti leggeri di filato acrilico di diverso colore o da tessuti non tessuti di poliestere o polipropilene di colore bianco. La loro movimentazione avviene con meccanismi di vario tipo controllati da sensori di luce e di temperatura (figura 4.8). L'utilizzo di un telo ombreggiante con funzione di schermo termico (garantita dalla presenza di un materiale riflettente nel lato rivolto verso terra) consente oltretutto di ridurre il volume da riscaldare della serra, a tutto vantaggio del contenimento dei consumi energetici.



Figura 4.6 – Riduzione della radiazione solare con il sistema dell'imbiancatura delle pareti.



Tessuti per ombreggiamento



Figura 4.7 - Tessuti con funzione di schermo termico e per il contenimento delle dispersioni di calore dall'ambiente di coltivazione.



Ombreggiamento (movimentazione schermi)

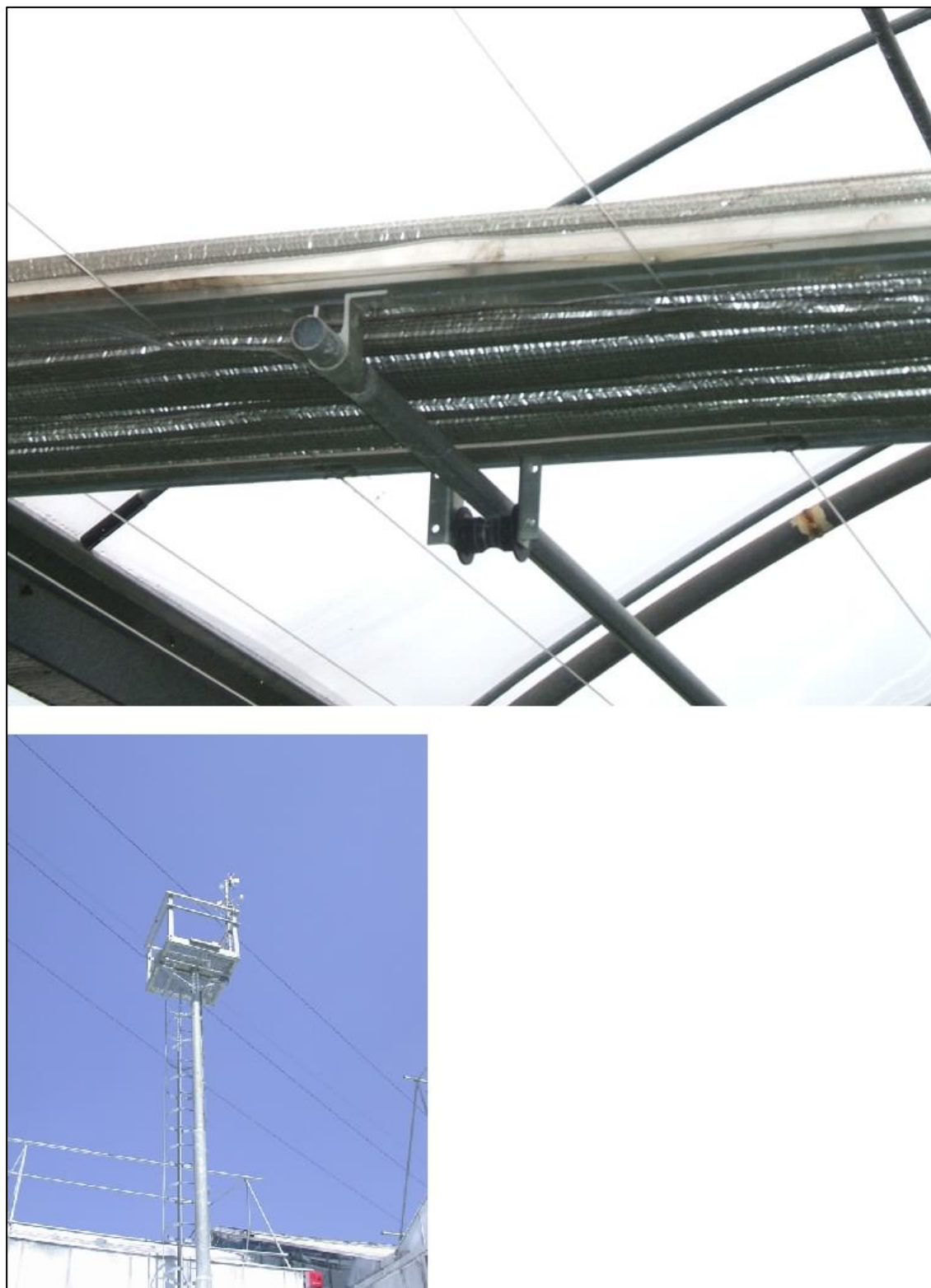


Figura 4.8 – In alto, particolare di un dispositivo per la movimentazione degli schermi in una serra; in basso, esempio di centrale meteorologica in servizio presso un complesso serricolo dotata di sensori per la rilevazione della temperatura dell'aria, dell'insolazione, della velocità del vento e della piovosità.



4.2.3 l'evaporazione dell'acqua

In questo caso, per abbassare la temperatura dell'ambiente di coltivazione si sfrutta il fenomeno del *raffrescamento evaporativo* con sistemi riconducibili al *cooling* (raffrescamento evaporativo con pannelli) ed al *fog* (raffrescamento evaporativo per nebulizzazione).

Attraverso questo fenomeno l'aria (quella di ricambio o quella ambiente) cede calore all'acqua – permettendone il passaggio di stato da liquido ad aeriforme – riducendo così la sua temperatura ed aumentando l'umidità relativa (UR) in misura tanto più consistente quanto più bassa risulta l'UR di partenza dell'aria.

Infatti, il passaggio di stato dell'acqua alla fase gassosa o solida avviene mediante assorbimento o cessione di calore; il passaggio dalla fase liquida a quella gassosa avviene con l'assorbimento di 600 Kcal per grammo.

Il *sistema cooling* prevede l'abbinamento di pannelli in materiale poroso e di ventilatori assiali, gli uni contrapposti agli altri, in modo da creare all'interno della serra un adeguato flusso d'aria, trasversale oppure longitudinale (figura 4.9).

I ventilatori assiali, con pale del diametro compreso tra 0,8 e 1,2 m, una portata d'aria che arriva a 35.000 m³/h ed una potenza installata di 0,75 kW, operano in estrazione e sono in numero tale da garantire un ricambio d'aria di 40÷60 volumi all'ora. Questi ventilatori lavorano a basso numero di giri (350÷500 giri/minuto) e sono posizionati a non più di 8 m l'uno dall'altro al fine di garantire la massima uniformità di flusso dell'aria nella serra. A ventilatore fermo un sistema di serrande mobili ne garantisce la chiusura.

Nella parete opposta sono invece presenti i pannelli evaporativi, costituiti da un materiale poroso (trucioli di legno o cellulosa alveolare con trattamento anti marcescenza), con una elevata superficie evaporante ed una permeabilità all'aria tale da garantire un flusso d'aria di almeno 2.000 m³/ora per metro quadrato (figura 4.10).

Durante il funzionamento dei ventilatori ciascun pannello viene mantenuto bagnato da un flusso d'acqua che garantisce una portata specifica di circa 2 litri al minuto per metro quadrato.

La perfetta tenuta all'aria della serra è requisito essenziale per il buon funzionamento del sistema, poiché tutta l'aria aspirata dai ventilatori deve affluire soltanto attraverso i pannelli.

Con il *sistema fog* il raffrescamento evaporativo viene garantito da una serie di ugelli nebulizzatori che polverizzano l'acqua ad una pressione di 35÷40 atmosfere (figura 4.11).

La densità degli ugelli, posti ad un'altezza da terra di circa 2 m, è tale da garantire un'erogazione di 4 litri d'acqua al minuto ogni 20÷25 metri quadrati di superficie coperta. Completano il sistema alcuni ventilatori, di potenza e dimensioni inferiori a quelli utilizzati per il cooling, che garantiscono l'uniformità di distribuzione dell'aria e dell'umidità.

In altri casi la nebulizzazione dell'aria avviene con ugelli disposti a corona lungo la circonferenza di un ventilatore; in questo modo la corrente d'aria creata dal ventilatore diffonde la nube di microgocce prodotta dagli ugelli.

Altri sistemi prevedono la nebulizzazione dell'acqua in gocce finissime per l'azione combinata di erogatori d'acqua e di un disco rotante ad elevata velocità.



Raffrescamento evaporativo (cooling): schema

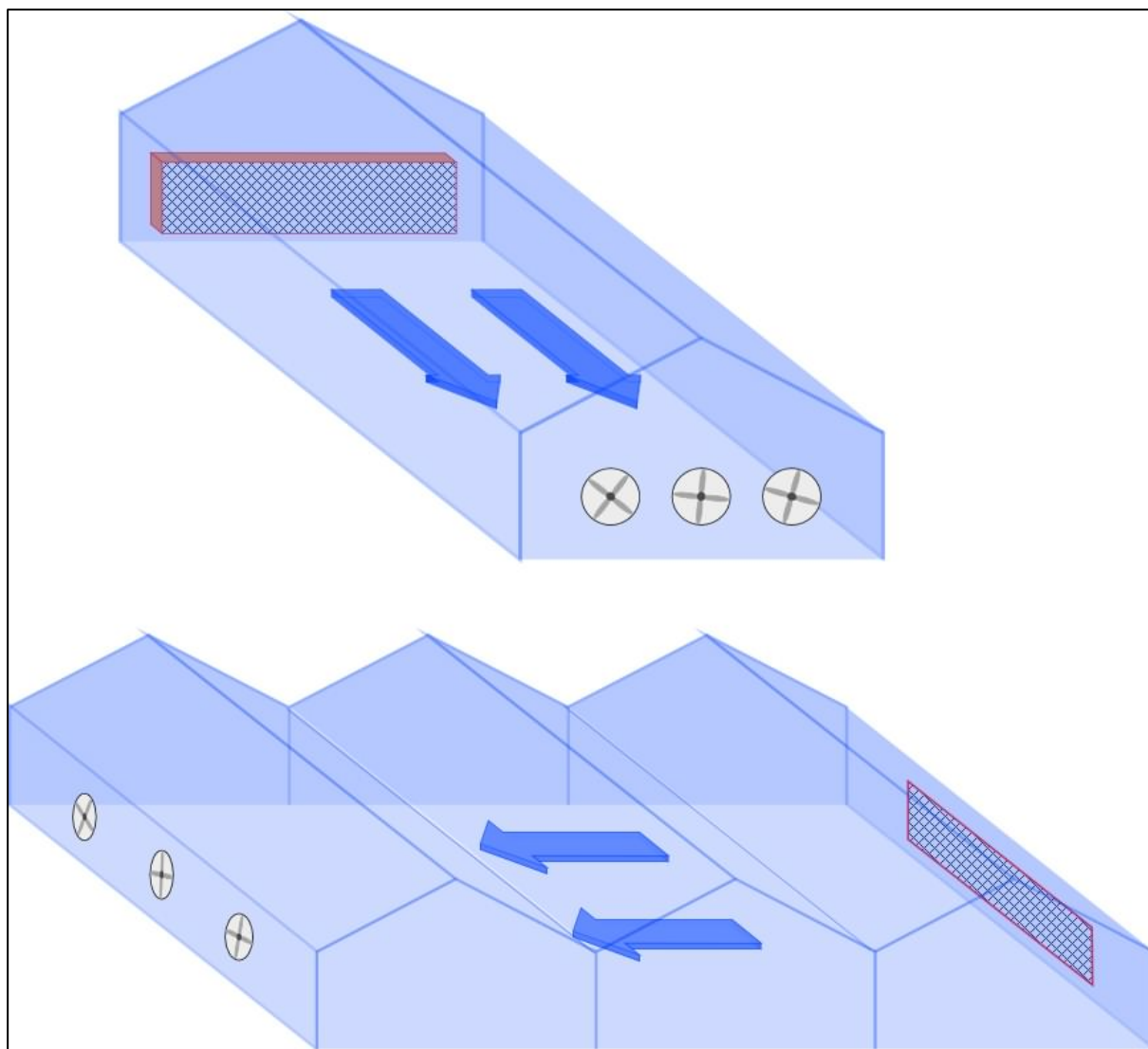


Figura 4.9 - Modalità di raffrescamento evaporativo di una serra mediante cooling con flusso dell'aria longitudinale (in alto) e trasversale (in basso).



Raffrescamento evaporativo (cooling)

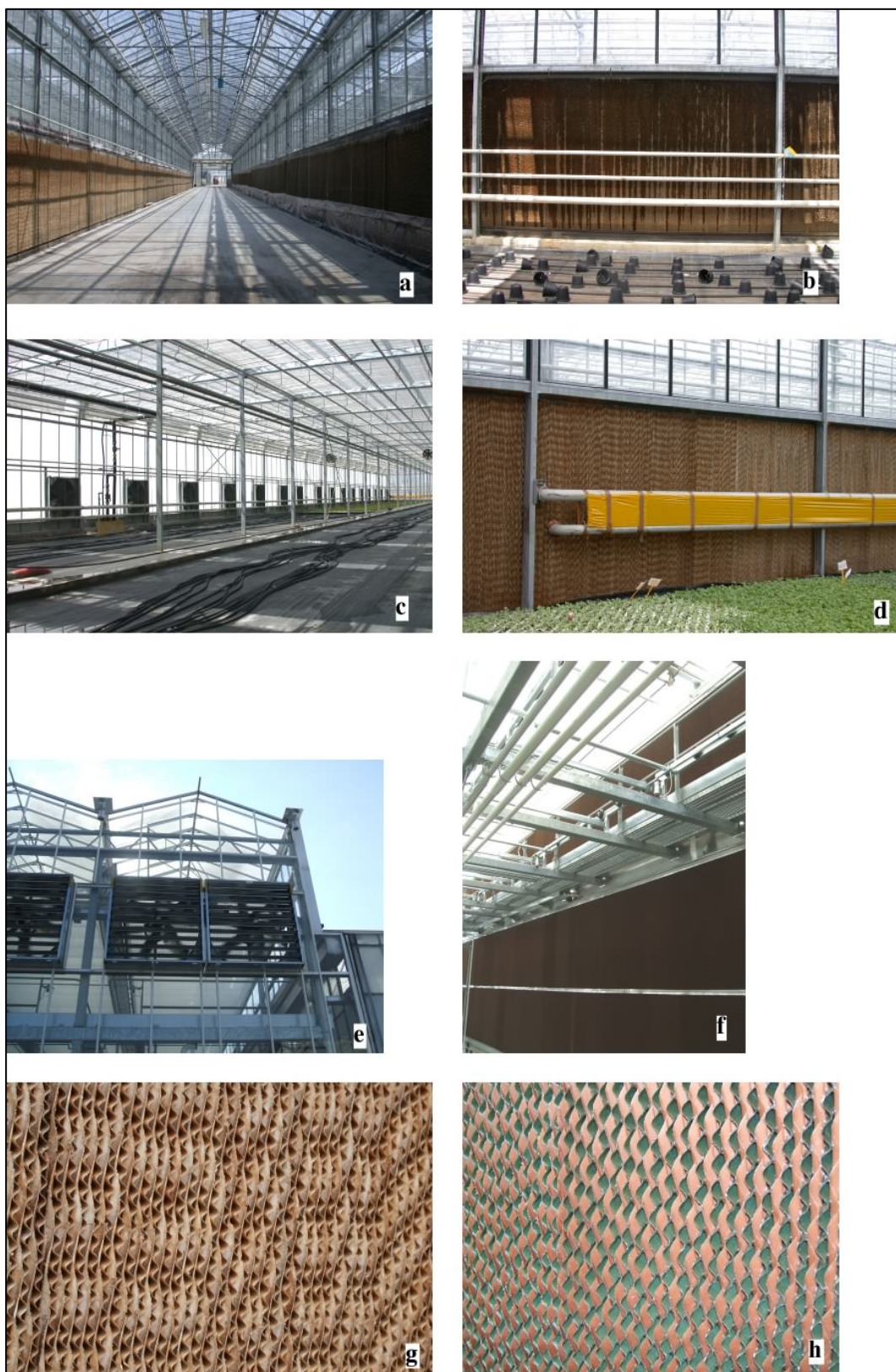


Figura 4.10 - Sistemi di raffrescamento evaporativo nelle serre attraverso il cooling.



Raffrescamento evaporativo (fog)



Figura 4.11 - Raffrescamento evaporativo e controllo dell'UR attraverso la nebulizzazione.



5. LA RADIAZIONE SOLARE E L'EFFETTO SERRA

5.1 Generalità

Per *radiazione solare* si intende l'emissione e la propagazione di energia, proveniente dal sole, sotto forma corpuscolare (particelle) e di onda (radiazione elettromagnetica).

La radiazione solare che arriva al limite superiore dell'atmosfera terrestre, una infinitesima parte di quella emessa dal sole, ammonta a circa 1.350 W/m^2 all'anno, entità conosciuta con il termine di *costante solare*, mentre al suolo ne arrivano circa 1.000 W/m^2 .

Gran parte della radiazione solare è rappresentata dalle radiazioni elettromagnetiche, dato che l'emissione delle radiazioni corpuscolari, costituita da ioni positivi ed elettroni, è irregolare e legata all'attività delle macchie solari. L'elemento caratterizzante è la *lunghezza d'onda* λ che consente di ripartire lo spettro elettromagnetico della radiazione solare nelle seguenti categorie:

tipo	lunghezza d'onda λ (nm)
raggi gamma	$0,001 \div 0,14$
raggi X	$1 \div 15$
radiazione ultravioletta (UV)	$15 \div 380$
radiazione visibile	$380 \div 760$
radiazione infrarossa (IR)	$760 \div 26.000$
onde radio	$26.000 \div 100.000$

Della radiazione solare che raggiunge la Terra, la cosiddetta *radiazione incidente*, un 35% viene riflessa nello spazio dalle nubi e dall'albedo; la quota rimanente, la cosiddetta *radiazione netta*, penetra negli strati più interni dell'atmosfera dove viene assorbita e dispersa per un 18% circa, mentre la quota rimanente, pari ad un 47%, corrispondente alla radiazione effettiva, raggiunge la superficie terrestre, in parte sotto forma di radiazione *diretta* (26%), in parte come radiazione *indiretta* e *diffusa* (21%) (figura 5.1A).

La superficie terrestre, a sua volta, riemette radiazione termica, in prevalenza nel campo dell'infrarosso lungo, che viene in piccola parte dispersa nello spazio e in misura prevalente riflessa all'interno dell'atmosfera (figura 5.1B).

L'atmosfera assorbe la quasi totalità della radiazione solare a bassa lunghezza d'onda (raggi gamma e X), buona parte della radiazione ultravioletta (assorbita dallo strato di ozono situato tra i 12 e 25 km di altezza) e parte di quella infrarossa.

La radiazione solare che alla fine interagisce con la superficie terrestre, ed in particolare con l'ambiente biotico, è dunque rappresentata da una parte della radiazione ultravioletta, dalla radiazione visibile e da quella infrarossa (IR vicino)¹⁰, le cui rispettive lunghezze d'onda risultano così suddivise:

tipo:	lunghezza d'onda λ (nm):
radiazione ultravioletta (UV)	
UV-C	$15 \div 280$
UV-B	$280 \div 315$
UV-A	$315 \div 380$

¹⁰ Le onde radio sono poco rappresentate e significative.



tipo:	lunghezza d'onda λ (nm):
radiazione visibile (PAR)	
violetto	380÷440
blu	440÷490
verde	490÷565
giallo	565÷595
arancione	595÷620
rosso	620÷760
radiazione infrarossa (IR)	
IR vicino (NIR)	760÷1000
IR medio	1.000÷2.000
IR lontano (FIR)	2.000÷26.000

La *radiazione ultravioletta* (UV), ad elevato contenuto energetico, interagisce con lo sviluppo delle piante nella gamma degli UV-B e UV-A¹¹, questi ultimi in combinazione con la luce blu. Le radiazioni ultraviolette alterano le coperture in plastica, determinandone l'invecchiamento; da qui l'utilizzo, nei materiali plastici di copertura, di appositi additivi con funzione di protezione e stabilizzazione.

La *radiazione visibile*, conosciuta con l'acronimo PAR (Photosynthetically Active Radiation), è quella che risulta direttamente coinvolta nei meccanismi fotosintetici e di sviluppo delle piante, in particolare con le lunghezze d'onda del blu e del rosso.

La radiazione visibile arriva sulla superficie terrestre in forma prevalentemente *diretta*, oppure *diffusa*, a seconda delle condizioni di copertura nuvolosa dell'atmosfera.

L'importanza di questo fatto influenza la scelta dei materiali di copertura per quanto riguarda la trasmittanza alla luce nelle sue componenti diretta e diffusa (tabella 3.1) e la tipologia della serra.

Nelle regioni in cui prevale la radiazione luminosa diretta, come quelle che si affacciano nel Bacino Mediterraneo, le serre vengono realizzate in maniera da evitare la presenza di zone d'ombra, sia utilizzando materiali che tendono a diffondere la luce che adottando forme atte a privilegiare lo sviluppo della falda piuttosto che quella della parete (serre a padiglione).

Nelle aree geografiche in cui prevale la radiazione diffusa, pur caratterizzate da una luminosità complessiva inferiore, le piante all'interno di una serra godono di una illuminazione più omogenea grazie sia all'impiego di materiali trasparenti alla radiazione diffusa (ad esempio il vetro) che alla realizzazione di serre con una più accentuata altezza in gronda delle pareti, come ad esempio le serre tipo venlo.

La *radiazione infrarossa* (IR) proveniente dal sole è caratterizzata da una lunghezza d'onda compresa tra 700 e 3.000 nm, che definisce il cosiddetto *infrarosso vicino* (NIR, Near Infrared Radiation); l'infrarosso vicino apporta sostanzialmente calore, mentre di fatto nulla è l'interazione con l'attività fotosintetica delle piante. All'interno di una serra questo apporto di calore costituisce un elemento favorevole durante le stagioni più fredde e un inconveniente durante l'estate.

Le lunghezze d'onda al di sopra dei 3.000 nm e fino a 26.000 nm, caratterizzano l'*infrarosso lontano* (FIR, Far Infrared Radiation); queste radiazioni non fanno parte della radiazione solare, bensì vengono emesse dai corpi che si riscaldano a seguito della loro esposizione all'infrarosso vicino.

Nel caso di una serra l'emissione nell'infrarosso lontano interessa il terreno, le piante ed ogni oggetto in essa contenuto. In tal senso possiamo riconoscere un parallelismo tra il sistema "atmosfera-superficie terrestre" e

¹¹ Le radiazioni UV-C non raggiungono la superficie terrestre.

quello “materiale di copertura-materiali al suo interno”; nel secondo, al pari del primo, la radiazione dell’infrarosso lontano potrà generare un effetto serra più o meno intenso a seconda della permeabilità del materiale di copertura verso essa. Sulla base di quanto si è visto nel paragrafo dei materiali di copertura il vetro e il PMMA, risultando opachi all’infrarosso lontano, determinano un accentuato effetto serra; altri materiali, come ad esempio il PE e il PVC, essendo invece trasparenti, riducono l’effetto serra.

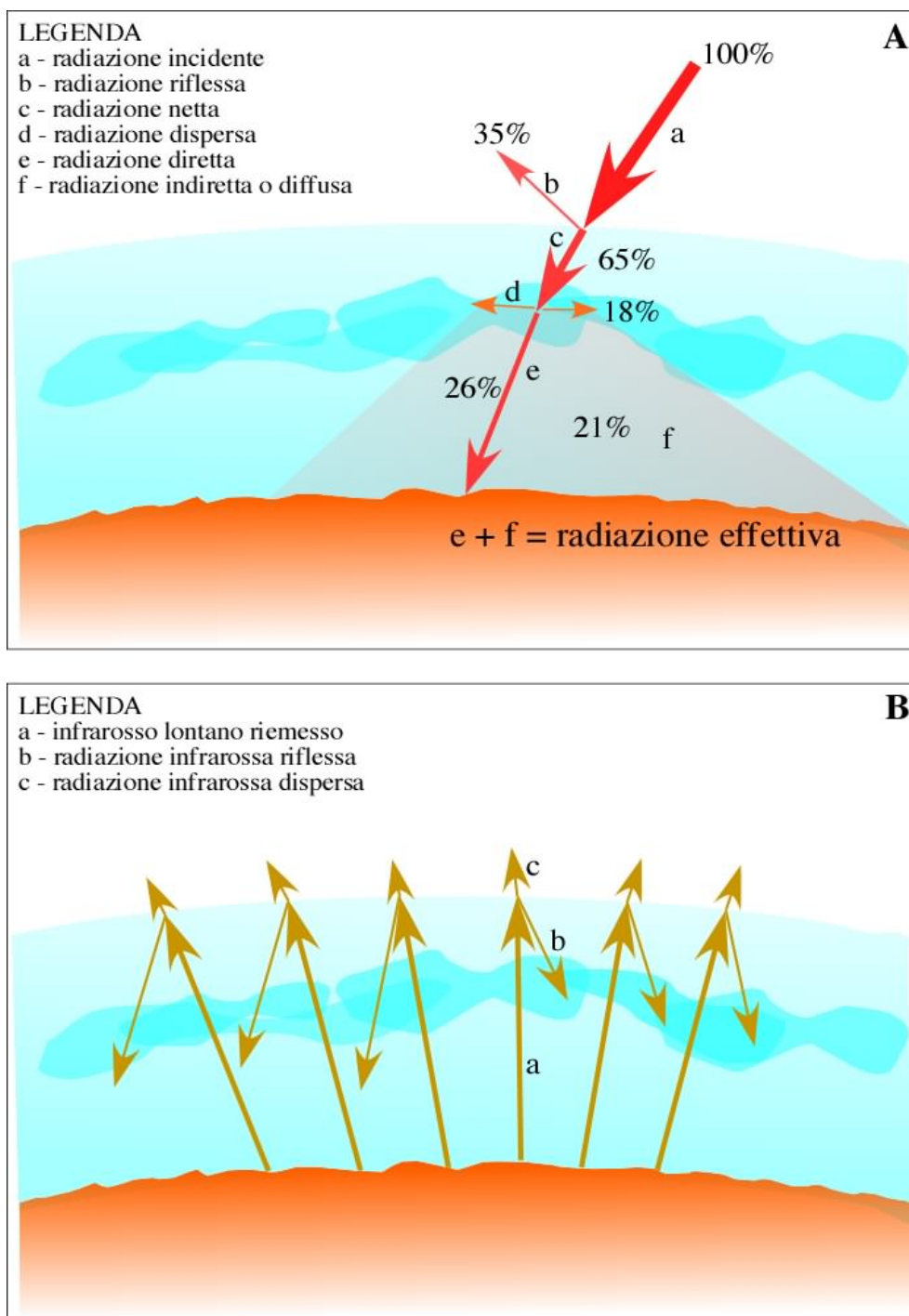


Figura 5.1 - Destino della radiazione solare incidente fino al suo contatto con la superficie terrestre (A). Schematizzazione dell'effetto serra come conseguenza della ri-emissione, da parte della superficie terrestre, di radiazioni nella lunghezza d'onda dell'infrarosso lontano (B).

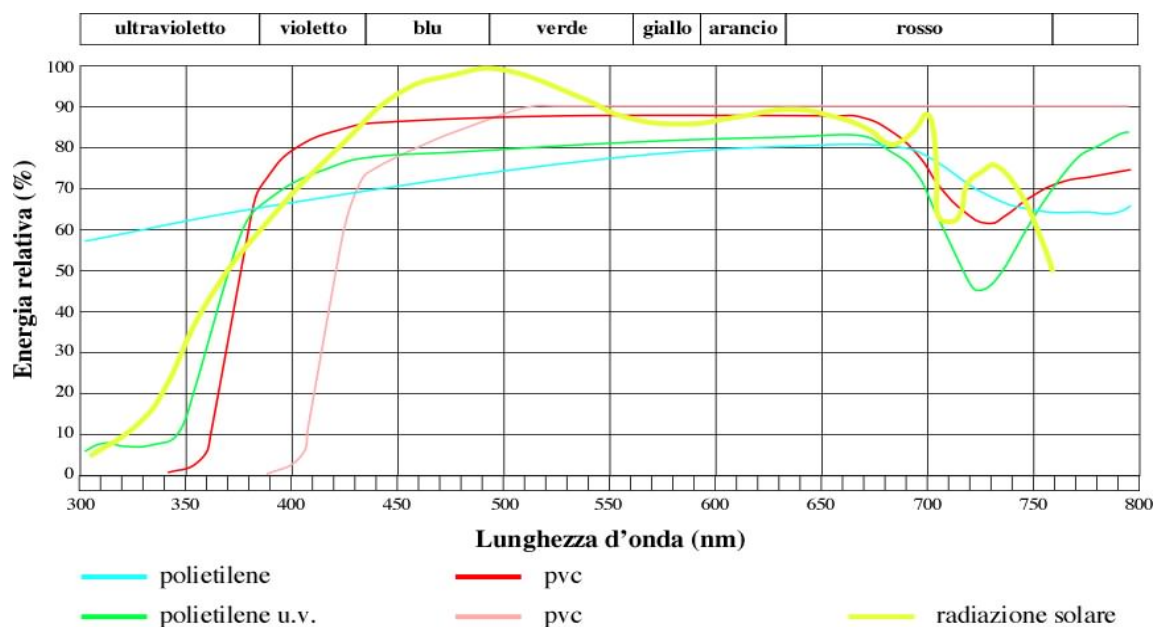


Figura 3.1 – Spettro radiometrico di film plastici utilizzati come materiale di copertura nelle serre messo a confronto con quello solare (fonte ASABE Standards 2009).

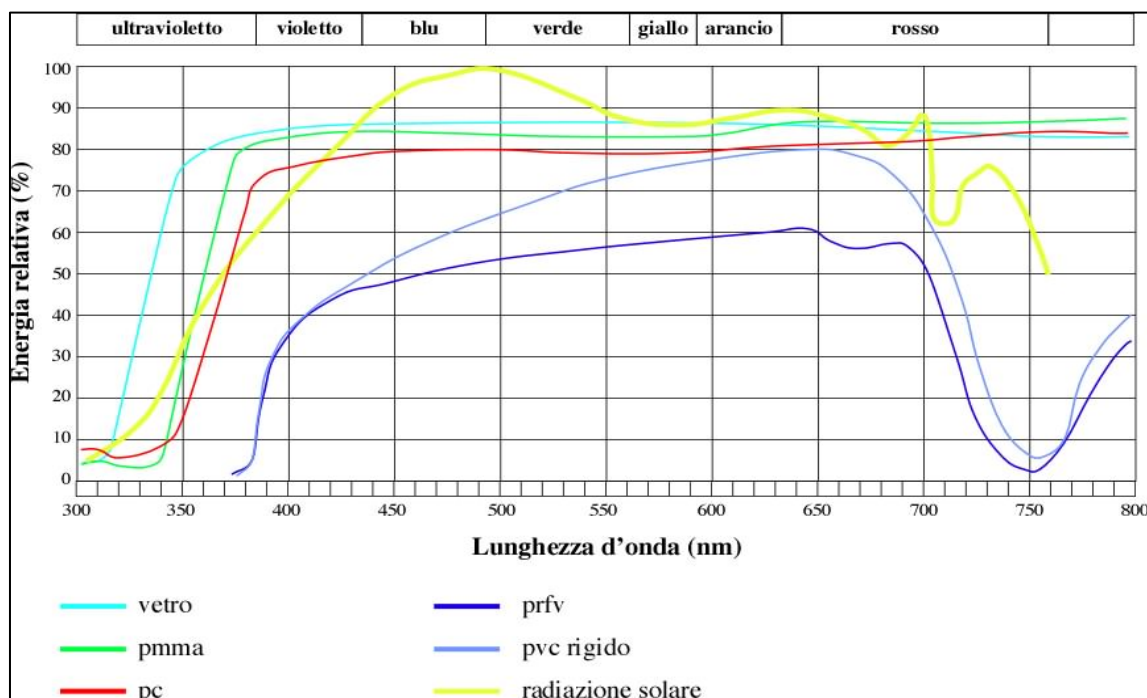


Figura 3.2 – Spettro radiometrico di lastre in materiale plastico e di vetro utilizzati come materiale di copertura nelle serre messi a confronto con quello solare. (fonte ASABE Standards 2009).



Tabella 3.1 – Principali caratteristiche fisiche e dimensionali di alcuni materiali di copertura per serre

Tipo di materiale	Dimensioni		Spessore	Peso	Durata	Coefficiente dilatazione lineare	Trasmittanza termica	Trasmittanza radiazione		
	Larghezza (m)	Lunghezza (m)	(mm)	(Kg/m²)	(anni)	(mm/°C)	(W/ m² °C)	Visibile diretta (%)	Visibile diffusa (%)	IR lontano (%)
Vetro	0,6	1,5-2,0	4	11,5		0,005	6,7	89	91	0
Film plastici										
PE	6,0-12,0	*	0,1-0,2	0,21	3-4		15,6-7,5	91 (89)#	90 (86)#	79 (76)#
EVA	-	-			12-36!		12,6-6,8	92	76	39
PVC	-	-		0,12	3-4 (12-36)!		10,7-5,5	92	91	60
Laminati semirigidi o ondulati										
PRFV	1,0-3,0	2,5-4,0	1,0-1,5	1,3-1,9	7,8	0,036	6,7	80		4
PVC	1,1	*	0,9	1,4	10		8,1	82		5
PMMA	1,3	4,2	1,5-2,3	2,0-3,0	7,8	0,075	7	92		0
Lastre rigide e alveolari										
PMMA	6	2,0-6,0	16	5	15	0,075	2,9-5,9	83	70	0
PC	1,2-2,5	3,0-6,0	4,5-6,0-16,0	1,0-2,7	5	0,065	4,5-3,3	77	62	3

(*) a richiesta

(#) a lunga durata

(!) a lunga vita



6. STANDARD EUROPEI EN 13031-1

Greenhouses: Design and construction - Part 1: Commercial production greenhouses

Lo Standard Europeo EN 13031 andrà a sostituire in ambito UE una moltitudine di altri standard costruttivi che ciascuna Nazione, sino ad ora, aveva emanato per regolamentare l'attività di progettazione e costruzione delle serre nel proprio territorio.

Data l'importanza di questo fatto si ritiene opportuno fornire alcune sintetiche informazioni sulle sue principali caratteristiche, dato che da ora in poi tutti i manufatti rientranti nella definizione di "serre commerciali"¹² che verranno realizzati nel territorio italiano dovranno obbedire a tale disciplina.

Lo Standard Europeo si pone come obiettivo quello di definire i requisiti di tipo costruttivo, funzionale e di durata per la progettazione e la costruzione, a scopo commerciale, di serre destinate alla produzione di tipo professionale di piante¹³.

Lo Standard, a tale proposito, utilizza due criteri di classificazione: a) la durata minima di progetto del manufatto e b) la tolleranza verso gli spostamenti del materiale di copertura da parte del telaio.

Con riferimento a quest'ultimo parametro le serre verranno definite di **Classe A** quando il telaio, per condizioni di progetto, non ammette tali tolleranze, oppure di **Classe B** quando tali tolleranze, sempre per progetto, sono ammesse.

La combinazione dei due criteri porterà alla definizione delle seguenti classi tipologiche di serre:

CLASSE	Durata minima di vita da progetto		
	15 anni	10 anni	5 anni
A	A15	A10	-
B	B15	B10	B5

L'appartenenza ad una di queste classi tipologiche prescinde dal tipo di materiale utilizzato per la realizzazione delle strutture portanti (acciaio, alluminio, legno, calcestruzzo armato) e da quello per la copertura (vetro o materie plastiche).

Per le serre con copertura in vetro lo Standard prescrive una durata di progetto di almeno 15 anni, mentre per quelle destinate ad ospitare colture di pregio e/o impianti sofisticati esso consiglia una durata minima di progetto di 10 anni.

Lo Standard Europeo prende in considerazione ogni aspetto che possa influenzare la qualità e la sicurezza del progetto strutturale e funzionale, in relazione alla classe tipologica della serra, di seguito brevemente elencati:

- definizione delle tolleranze costruttive degli elementi strutturali, inclusi i sistemi di contenimento dei materiali di copertura;
- accorgimenti volti a contrastare la corrosione e il deterioramento dei materiali;

¹² Sono in preparazione norme specifiche anche per le serre per la vendita al pubblico e per serre di uso domestico.

¹³ Sono in preparazione norme specifiche anche per le serre per la vendita al pubblico e per serre di uso domestico.



- c) definizione delle sollecitazioni causate dal vento, dalla temperatura, dalla neve, dalla presenza colture e attrezzature (incluse quelle mobili), dalla presenza di uomini e cose sul tetto per le operazioni di manutenzione e riparazioni, a seguito di riparazioni;
- d) spostamenti e deformazioni elastiche ammissibili per le strutture portanti e per quelle portate (telai di contenimento del materiale di copertura);
- e) norme per poter eseguire in sicurezza qualsiasi operazione di ordinaria manutenzione e di riparazione del manufatto.

Lo Standard Europeo è corredato da 9 Allegati tecnici che approfondiscono gli argomenti sopra menzionati, come ad esempio:

- il comportamento strutturale dei materiali di copertura, vetro e plastiche (film e lastre), anche se, di fatto, vengono fornite prescrizioni solo per il primo, mancando attualmente riferimenti tecnici per le seconde;
- le sollecitazioni provocate da vento e neve, con riferimento alle forme strutturali a padiglione o a tunnel, con unica campata o campate multiple;
- la costituzione di un manuale d'uso e manutenzione e di una targa identificativa del manufatto.

Va infine rilevato come lo Standard Europeo si occupi¹⁴ anche del comportamento strutturale delle serre con struttura ad arco coperte da film plastico, non solo nei confronti delle sollecitazioni dovute al vento ed alla neve nell'ideale situazione di contatto e tensione del film alla struttura portante, ma anche quando il film risulti per qualche motivo distaccato da essa, ad esempio per una non adeguata tensione.

7. STANDARD EUROPEI RIGUARDANTI I MATERIALI DI COPERTURA

Due sono le Norme che garantiscono la qualità dei materiali di copertura, la UNI EN 13206:2002 “Film termoplastici di copertura per uso in agricoltura ed orticoltura” e la UNI 10452:1995 “Lastre ondulate ed alveolari di materiale plastico trasparente, incolore o traslucido per serre ed apprestamenti analoghi. Tipi, dimensioni, requisiti e metodi di prova”, delle quali vengono forniti di seguito i tratti generali.

Norma numero: **UNI EN 13206:2002**

Titolo: **Film termoplastici di copertura per uso in agricoltura e orticoltura**

La presente norma è la versione ufficiale in lingua italiana della norma europea EN 13206 (edizione marzo 2001). La norma stabilisce i requisiti fisici e meccanici per film di materia plastica trasparente e diffondente di polietilene e/o di copolimeri che sono destinati alla copertura permanente o temporanea di serre.

Questa norma sostituisce la UNI 9298 stabilendo le caratteristiche ed i requisiti che devono possedere i film certificati per la copertura delle serre e di tunnel (piccoli, medi e grandi).

La Norma prende in considerazione materiali quali LDPE, LLDPE, EVA/C, E/BA e loro mescolanze e ripartisce i film in tre categorie:

film normale con buona trasmittanza totale (88-86%) e basso effetto serra;

film termico con elevata trasmittanza totale (89-87%) ed elevato effetto serra (55-75%);

film a luce diffusa con minore trasmittanza totale (85-80) ed elevato effetto serra (60-75%).

¹⁴ Annex I (Informative) Calculation method for fil covered greenhouses.



Nella valutazione dei film plastici vengono prese in considerazione le seguenti caratteristiche e requisiti:

- trasmissione totale alle radiazioni solari* (visibili, infrarosso vicino e UV-A), come quantità di radiazione solare incidente trasmessa dal film all'interno della serra;
- effetto serra*, misurato con spettrofotometro nel campo delle radiazioni dell'infrarosso lontano (lunghezza d'onda compresa tra 7.000 e 20.000 nm) trattenute all'interno della serra;
- resistenza meccanica*, valutata come carico di rottura, resistenza alla lacerazione, resistenza all'urto, allungamento percentuale a rottura;
- durata di esercizio*, stabilito in base all'allungamento percentuale a rottura del film, che dopo una esposizione prestabilita dalla stessa Norma, deve risultare superiore al 50% di quanto stabilito dalla norma ISO 4892-2; i materiali vengono classificati in classi, contraddistinte dalle lettere N, A, B, C, D, corrispondenti a film per durata stagionale, annuale, lunga vita, con riferimento alle condizioni di intensità luminosa della Sicilia, la regione che presenta i valori più elevati di tale parametro;
- rispetto ambientale*, secondo cui il materiale, una volta cessata la sua funzione, dovrebbe essere raccolto e riciclato, senza procurare danno all'ambiente;
- uniformità di spessore e larghezza*, sulla base di tolleranze che vanno da $\pm 5\%$ per gli spessori e $0+2,4\%$ per le larghezze.

Norma numero: **UNI 10452:1995**

Titolo: **Lastre ondulate ed alveolari di materiale plastico incolore, trasparente o traslucido per serre ed apprestamenti analoghi. Tipi, dimensioni, requisiti e metodi di prova**

Riguarda le lastre ondulate ed alveolari a base di materie plastiche trasparenti, incolore o traslucide da impiegare nella copertura di serre. Definisce il profilo, la forma, le dimensioni e le caratteristiche qualitative dei diversi tipi di lastre, indicando i relativi metodi di prova. In particolare si applica alle lastre di polimetilmetacrilato (PMMA); tipi alveolari e ondulato; policloruro di vinile biorientato (PVC): tipo ondulato; policarbonato (PC): tipo alveolare (protetto a UV); poliestere rinforzato con fibre di vetro (PRFV); tipo ondulato (protetto UV).

La caratterizzazione delle lastre avviene in base alla trasmissione totale alle radiazioni incidenti, effetto serra, resistenza meccanica e durata nel tempo in esercizio (per la quale devono essere garantiti oltre 10 anni).

Si menzionano, per completezza espositiva le seguenti due Norme sulle reti per agricoltura, dato che alcune di esse trovano largo impiego anche nel settore serricolo come mezzi antigrandine.

Norma numero: **UNI 10406:1995**

Titolo: **Reti per agricoltura. Reti antigrandine in fibra polietilenica. Definizione, classificazione e requisiti**

Stabilisce i requisiti delle reti antigrandine di colore nero a base di fibre di polietilene (UNI 8025) destinate alla protezione di colture orto-floro-frutticole stabilendone caratteristiche meccaniche di durata in esercizio.

Norma numero: **UNI 10334:1995**

Titolo: **Reti per agricoltura. Reti ombreggianti in fibra polietilenica. Definizione, classificazione e requisiti**

Stabilisce la definizione, la classificazione e i requisiti delle reti a base di fibra polietilenica destinate all'ombreggiamento di colture orto-floro-frutticole. Tali reti sono impiegate per l'ombreggiamento delle colture, sia in terra sia in pieno campo, ed in questo caso esercitano anche un'azione antigrandine.

**8. BIBLIOGRAFIA**

1. AA.VV. - Manuale per un lavoro sicuro in agricoltura - Regione Veneto.
2. ASABE STANDARDS 2009 - Commercial Greenhouse Design and Layout - ASAE EP460 JUL 1993 (R2004).
3. Battistel P. - Sistema a serra chiusa, climatizzare a basso costo - L'Informatore Agrario, 21/08.
4. Briassoulis D., Waaijenberg D., Gratraud J., von Elsner B. - Mechanical Properties of Covering Materials for Greenhouses: Part 1, General Overview - J. of Agricultural Engng res. (1997) 67, 81-96.
5. Briassoulis D., Waaijenberg D., Gratraud J., von Elsner B. - Mechanical Properties of Covering Materials for Greenhouses: Part 2, Quality Assessment - J. of Agricultural Engng res. (1997) 67, 171-217.
6. Dal Sasso P., Scarascia Mugnozza G., Marinelli G. - Dalle matrici ambientali le proposte per la mitigazione dell'impatto delle serre. Colture Protette, n° 2 2007 pp.63-73.
7. Dal Sasso P., Scarascia Mugnozza G., Marinelli G. - Le serre e il territorio: servono norme anche sul piano urbanistico. Colture Protette, n° 3 2007 pp. 73-79.
8. Daponte T. - Multilayer Greenhouse Films - in Greenhouse Systems, Automation, culture, and Environment - Proc. from the Greenhouse Systems International Conference, New Brunswick, New Jersey July 20-22, 1994, NRAES-72.
9. Dilara P.A., Briassoulis D. - Standard Testing Methods for Mechanical Properties and Degradation of Low Density Polyethylene (LDPE) Films Used as Greenhouse Covering Materials: a Critical Evaluation - Elsevier, Polymer Testing 17 (1998) 459-585.
10. Gupta M. J., Chandra P. - Effect of greenhouse design parameters on conservation of energy for greenhouse environmental control - Energy 27 (2002) 777-794.
11. Iribarne L., Torres J.A., Pena A. - Using computer modeling techniques to design tunnel greenhouse structures - Computers in Industry 58 (2007) 403-415.
12. Kittas C., Bartzanas T., Jaffrin A. - Temperature gradients in a Partially Shaded large Greenhouse equipped with Evaporative Cooling Pads - Biosystems Engng (2003) 85 (1), 87-94.
13. Kozai T. - Direct solar light transmission into single-span greenhouses - Agricultural Meteorology, 18 (1977) 327-338.
14. Leitfaden, Bioenergie im Gartenbau - Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V.
15. Marucci A. - Materiali di copertura per tunnel e serre - L'Informatore Agrario, 33/06.
16. Montanari V., Trentini L. - Le serre e i materiali di copertura - L'Informatore Agrario, Suppl. 48/97.
17. Pacini L. - La certificazione dei materiali plastici applicati in agricoltura - L'Informatore Agrario, 34/01.
18. Pacini L. - Aggiornamento sui materiali plastici impiegati in agricoltura - L'Informatore Agrario, n° 30/98.
19. Pacini L. - I materiali in plastica certificati nel vivaismo orticolo - L'Informatore Agrario, Suppl. 48/97.
20. Scarascia Mugnozza G., Dal Sasso P. - Film biodegradabili: aumenta il loro impiego nelle colture protette. Colture Protette, n° 8 2007 pp. 85-94.
21. Trentini L. - I mezzi tecnici per la forzatura della coltura - L'Informatore Agrario, Suppl. n° 3/98.
22. von Elsner B., Briassoulis D., Waaijenberg D., Mistriotis A., von Zabelitz C., Gratraud J., Russo G., Suay-Cortes R. - Review of Structural and Functional Characteristics of Greenhouses in European Union Countries: Part I, Design Requirements - J. of Agricultural Engng res. (2000) 75, 1-16.



23. von Elsner B., Briassoulis D., Waaijenberg D., Mistriotis A., von Zabelitz C., Gratraud J., Russo G., Suay-Cortes R. - Review of Structural and Functional Characteristics of Greenhouses in European Union Countries: Part II, Typical Designs - J. of Agricultural Engng res. (2000) 75, 111-126.
24. UNI EN 13031-1 Serre: progettazione e costruzione. Parte 1: Serre per produzione commerciale. Novembre 2004.
25. UNI EN 13206:2002 Film termoplastici di copertura per uso in agricoltura ed orticoltura (marzo 2001).
26. UNI 10452:1995 Lastre ondulate ed alveolari di materiale plastico trasparente, incolore o traslucido per serre ed apprestamenti analoghi. Tipi, dimensioni, requisiti e metodi di prova.
27. Valli F., Benetti M., Nediani V., Landini V. - Riscaldare con più efficienza grazie ai nuovi teli plastici - L'Informatore Agrario, 21/08.
28. Waaijenberg D. - Design, Construction and Maintenance of Greenhouse Structures. Proc. IS on Greenhouses, Environmental Controls & In-house Mechanization for Crop Production in the Sub-tropics. Acta Hort. 710, ISHS 2006.