



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PALERMO

DOTTORATO DI RICERCA

**“TECNOLOGIE PER LA SOSTENIBILITÀ ED IL
RISANAMENTO AMBIENTALE”**

XXIV ciclo – 2011/2013

**"La risorsa rinnovabile per la sostenibilità ambientale ed
energetica della filiera dei sistemi serra in Italia"**

**DOTTORANDO
DOTT. CARLO ALBERTO CAMPIOTTI**

TUTOR: PROF. GIUSEPPE ALONZO

CO-TUTOR: PROF. PELLEGRINO CONTE

COORDINATORE PROF. SEBASTIANO CALVO

INDICE

PREMESSA	5
CONSUMI DI ENERGIA	6
INCENTIVI	11
Fonti rinnovabili.....	11
Conto Energia	12
Conto Termico	12
Efficienza Energetica.....	12
AGRICOLTURA PROTETTA	14
Serre e apprestamenti protetti	16
Classificazione delle serre.....	17
Caratteristiche costruttive.....	18
Caratteristiche strutturali	19
Tipologie e caratteristiche dei materiali di copertura.....	21
NORMATIVE	25
European Standard EN13031-1	28
Standard Europei.....	29
IL MICROCLIMA IN SERRA	30
ENERGIA FOSSILE PER I SISTEMI SERRA	39
CARATTERISTICHE DELLA RADIAZIONE SOLARE	40
Posizione del sole	40
ENERGIA SOLARE AL SUOLO	43
FLUSSI TERMICI DELLA SERRA	46
Flusso termico convettivo	48
Calore latente	48
Flusso termico conduttivo	49
BILANCIO TERMICO DELLA SERRA	50
Fabbisogno termico.....	50
Energia solare ed energia termica.....	51
Energia termica per il riscaldamento.....	51
BILANCIO ENERGETICO DELLA SERRA	52
MODELLO DI BILANCIO TERMICO DEL SISTEMA SERRA	53
CASO STUDIO	57
ANALISI E METODI	66
La risorsa solare per le serre.....	68
La biomassa per le serre	70
DISCUSSIONE DEI RISULTATI	73
CONCLUSIONI	85
BIBLIOGRAFIA	88
Norme citate nel testo.....	90
APPENDICE	91
A.1. Decreti Ministeriali del 28 dicembre 2012 “Certificati Bianchi” e “Conto Termico”	92
A.2. Elementi di analisi economica per le caldaie a biomassa	100

PREMESSA

Il sistema agricolo comprende i settori agricoltura (settore primario che fornisce le materie prime), agro-industria e industria alimentare (comparti che operano la trasformazione e l'elaborazione delle materie prime), distribuzione (comparto che convoglia i prodotti ai consumatori finali) (Tab. 1). In particolare, le coltivazioni in serra rappresentano per il sistema agricolo nazionale un comparto produttivo di importanza significativa se consideriamo l'impiego di capitali associato a questo tipo di impresa sotto forma di macchine, prodotti chimici, sementi selezionate, sistemi di irrigazione e strutture di lavoro (1);(2).

Tab. 1 – Agricoltura in Italia e in Europa. Fonte: ISTAT, 2011; Eurostat, 2009

INDICATORI	ITALIA	EUROPA
SAU (Superficie Agricola Utilizzata)	12.885.186 ha (2011)	172.500.00 ha
SAT (Superficie Agricola Totale)	17.277.023 ha (2011)	240.000.000 ha (EU-27 + Ucraina)
OCCUPAZIONE	1.000.000 (occupati)	30.000.000 (occupati)
V.A. nel PIL	2-2,6 %	1,8 - 2 %

Infatti, sebbene rispetto alla SAU (Superficie Agricola Utilizzata) italiana, pari a 12.885.186 ha, la filiera nazionale delle serre ne rappresenti soltanto lo 0,032%, tuttavia lo spessore economico delle coltivazioni in serra risulta non inferiore a un fatturato complessivo di oltre 3 miliardi di Euro. Infatti, sulla base di una superficie coperta a serre pari a oltre 42.000 ettari (3), di cui 5.000 ha dedicati a colture orticole e oltre 37.000 ha per coltivazioni floricole (Tab.2), in termini di produzione primaria e strutture presenta un numero di imprese agricole (che si occupano di produzioni vegetale) pari a 31.256 su un totale di 107.118 (Tab. 3).

Tab. 2 - Le coltivazioni in serra e l'agricoltura italiana

COLTIVAZIONI	A. Superficie serricola (ha)	B. Superficie In piena area (ha)	C. Superficie agricola utilizzata (ha)	D. Produzioni in serra: quintali per orticoltura migliaia di pezzi per floricoltura	E. Produzioni in pieno campo: quintali per orticoltura migliaia di pezzi per floricoltura	F. Produzioni totali: quintali per orticoltura migliaia di pezzi per floricoltura	A/C superfici in serra	B/C superfici pieno campo	D/F produzioni in serra	E/F produzioni pieno campo
Floricoltura(a)	5.442	8.878	14.320	3.727.409	5.151.470	8.878.879	38%	62%	42%	58%
Orticoltura(b)	37.104	418.852	455.956	16.394.047	122.379.688	138.773.735	8%	92%	12%	88%
Totale	42.546	427.730	470.276							

Fonte: Elaborazioni ENEA UTEE-AGR su dati ISTAT (VI Censimento agricoltura 2010, annata agraria 2011)

Legenda:

(a) produzione di fiori , foglie e fronde

(b) le produzioni orticole includono: ortaggi, pomodoro, lattuga, valeriana, frutta (cocomero, melone, fragola)

La produzione in Q è quella totale e non quella raccolta

(c) Sono comprese nel totale orticoltura

(d) Aziende che producono fiori in pieno campo e in serra

(e) non sono considerate le superfici coperte a vigneto

Tab. 3 - Aziende che producono in serra e in pieno campo in Italia

COLTIVAZIONI	N. di aziende che producono in serra (2010)	N. di aziende che producono in pieno campo (2010)	N. di aziende che producono in serra (2007)	N. di aziende che producono in pieno campo (2007)
Floricoltura	8.865	7.988	8.985	8.759
Orticoltura	22.391	99.130	17.618	132304
TOTALE	31.256	107.118	26.603	141.063

Fonte: Elaborazioni UTEE-AGR su dati Istat, 2007 e Istat 2010

CONSUMI DI ENERGIA

In un quadro più generale, che considera 132 Mtep per i consumi energetici finali del nostro Paese al 2012, il sistema agricolo, nella sua accezione più ampia di agricoltura e industria alimentare, viene accreditato di oltre 16 Mtep di consumi energetici finali. Questo valore si riferisce all'impiego di gasolio, fitosanitari, fertilizzanti e materiali plastici (sia nelle serre che per la pacciamatura), ed include anche il consumo di energia elettrica, che TERNA riporta pari a 5,61 TWh (1,81% del bilancio elettrico nazionale nel 2010). La suddivisione dei flussi energetici tra i diversi comparti del sistema agricolo è mostrata nel diagramma di Figura 1 (4). Le voci riferite ai consumi finali di energia fossile (energia termica ed elettrica) per il settore Agricoltura (inclusa la pesca), presentano la seguente ripartizione:

- 3 Mtep per l'irrigazione, la lavorazione terra, i consumi per l'elettricità e per l'essiccazione;
- ulteriori 2,25 Mtep per il consumo di combustibili, fitosanitari, fertilizzanti, materiali plastici per le coltivazioni in serra e in pieno campo.

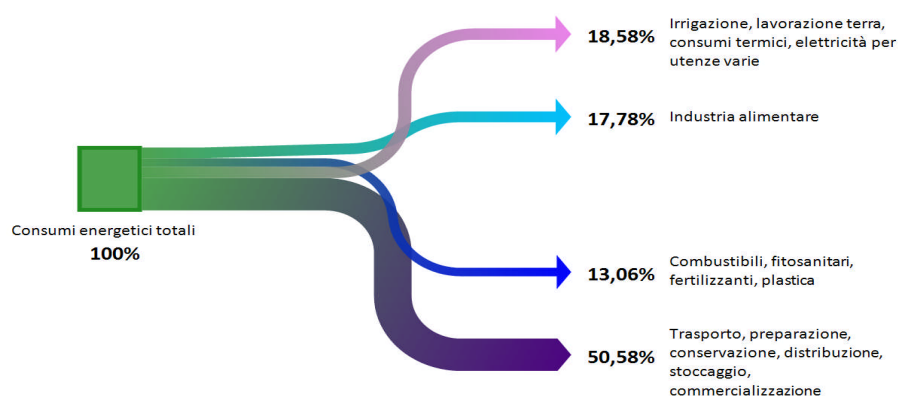


Figura 1 – Flussi energetici del sistema agricolo (agricoltura e industria alimentare)

Per quanto riguarda la filiera delle coltivazioni in serra, che definiamo dei sistemi serra se consideriamo la trasversalità tecnica che caratterizza questo tipo di impresa agricola, si riportano un consumo di energia fossile per la climatizzazione delle serre, pari a 0,706 Mtep, ai quali corrispondono oltre 2 Mt di emissioni di CO₂, con un fatturato economico stimato in circa 3 miliardi di Euro (Tab. 4). La stessa tabella mostra fatturati in miliardi di Euro pari a 2 in Spagna, 0,5 in Grecia,

circa 8 in Olanda. Agli aspetti economici si aggiungono quelli relativi all'energia consumata per le produzioni in serra, valutati complessivamente in 31,2 GWht (2,7 Mtep) e 3,7 GWhe (0,77 Mtep) (4).

Tab. 4 - Consumi di energia fossile e livelli economici per il comparto delle serre

Paese	Superficie (ha)	Valore economico	Riscaldamento (MWh)	Elettricità (MWh)
Italia	30.000	3	706.786	24.830
Olanda	10.311	6,8 – 7,7	29.510.800	3.723.000
Spagna	43.964	1,5 – 2,0	989.627	33.623
Grecia	5.646	0,5	87.644	1.700
Totale	89.921	circa 9,0	31.294.857	3.783.153
Mtep			2,7	0,77
MtCO ₂			7,5	2,1

Fonte: dati UTEE-AGR stimati per il Progetto Europeo Photogeogreen (dati 2009-2010)

In questo contesto, tuttavia, è sicuramente opportuno considerare che la produzione primaria ottenuta sotto serra contribuisce in modo fondamentale all'attivazione del comparto dell'industria alimentare. A tal proposito, ricordiamo che il valore aggiunto complessivo dell'agricoltura italiana (incluso quindi il comparto delle produzioni in serra), è di 28,1 mld. di Euro, a cui si aggiungono 25,7 miliardi di Euro dell'industria alimentare (pari al 9,4%). Le altre principali componenti sono rappresentate da circa 109 miliardi di valore della commercializzazione e distribuzione dei beni alimentari, 43,9 miliardi di valore aggiunto dei servizi di ristorazione, circa 24,2 miliardi di consumi intermedi agricoli e 17,9 miliardi di investimenti agroindustriali (5). Sulla base della Tabella 4, risulta evidente che la coltivazione in serra in Italia, e in più in generale in Europa, contribuisce in modo non secondario alle economie locali delle regioni che presentano forti insediamenti di serre (Figg. 2-3).

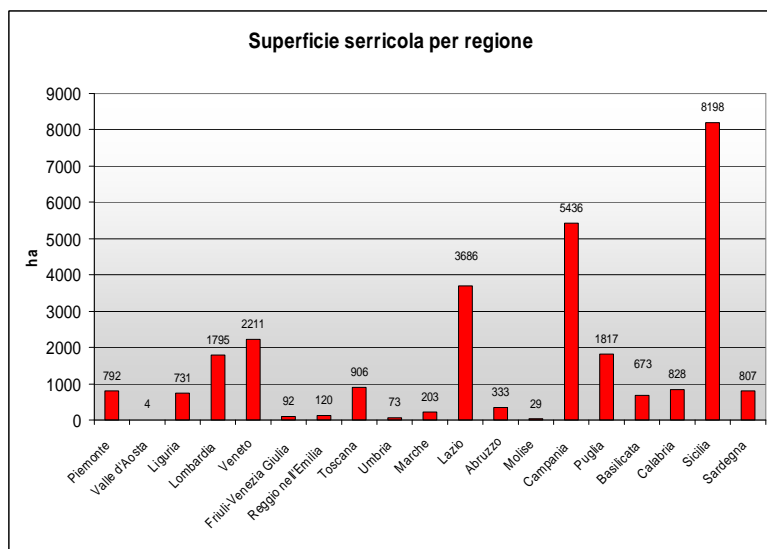


Fig. 2 – Distribuzione delle serre in Italia



Fig. 3 – Insediamenti di serre in Italia

Tuttavia, è opportuno sottolineare che i successi economici dell'impresa agricola delle serre sono stati sicuramente sostenuti da un uso elevato di macchinari, materiali plastici, fertilizzanti inorganici,

fitosanitari, che, in ultima analisi, hanno purtroppo contribuito a sviluppare un modello di sistema produttivo ed energetico che, a causa della forte dipendenza dalle risorse di energia fossile, ha avuto spesso ricadute negative sull'ambiente e sul territorio agricolo e rurale. Questa situazione, tuttavia, alla luce delle nuove esigenze dei consumatori verso modelli di produzione energeticamente sostenibili e in linea con esigenze di sicurezza alimentare ed ambientale (6), che potrebbero essere messe a rischio da un impiego eccessivo di fitosanitari e fertilizzanti di sintesi nelle produzioni vegetali in serra, è ormai sempre meno accettabile dai consumatori di prodotti vegetali e, in generale, dalla stessa società civile. E', infatti, fuori di dubbio che la crisi economica mondiale, iniziata nel 2009, oltre a causare problemi di carattere socio-economico ha, in ultima analisi, contribuito anche alla nascita di un processo di transizione energetica mirato a tenere insieme sia le esigenze che si riferiscono al sistema economico nei suoi connotati generali e sia alle priorità, ormai non più prorogabili, nei confronti di politiche Europee e, quindi, nazionali, mirate a sostenere la *de-carbonizzazione* dell'industria e dell'economia (7). Da qui, la spinta della stessa Commissione Europea sia verso un uso più razionale e sostenibile delle risorse energetiche naturali e da un altro lato a sia verso i governi nazionali per sviluppare e mettere in atto misure efficaci per sostenere la lotta al cambiamento climatico, l'impiego di energia rinnovabile, una maggiore attenzione all'affermazione delle imprese che praticano la "green economy" (8). Per la filiera dei sistemi serra, pertanto, si presentano nel quadro della "policy energetica ed ambientale" dell'Unione Europea, due distinte strategie ai fini della sostenibilità energetica ed ambientale dei sistemi serra, di cui la prima si riferisce alla necessità di eliminare il ricorso alle fonti fossili per la climatizzazione microclimatica mentre la seconda si riferisce alla transizione definitiva verso la risorsa rinnovabile e alla conseguente minimizzazione delle emissioni di CO₂ (9) (Tab. 5).

Tab. 5 - Emissioni di CO₂ per uso termico diretto di combustibile

Combustibile	Emissioni (grammi CO₂/kWh)
Gas metano	202
GPL	227
Gasolio	266
Olio combustibile	278
Carbone	398

Fonte: Docup – Obiettivo 2 (da G. Kom, Energie 6, Muzzio Editore 2003)

L'affermazione sempre più spinta della GDO (Grande Distribuzione Organizzata) nel comparto dei prodotti agroalimentari ha sostanzialmente imposto la necessità di una continuità annuale nell'offerta del prodotto da parte delle imprese agricole (destagionalizzazione) oltre alla richiesta di prodotti alimentari, caratterizzati da forti quantità e qualità di servizi incorporati, che di fatto impongono alle imprese dei sistemi serra una maggiore attenzione per la climatizzazione artificiale fine di assicurare la qualità dei prodotti vegetali nei tempi e nei modi richiesti dalla GDO . Contemporaneamente la crisi economica iniziata nel 2009 e le esigenze della società sempre più forti per una economia basata su criteri di sostenibilità energetica ed ambientale hanno di fatto riproposto il problema dell'uso di energia fossile e soprattutto la sua sostituzione con le energie rinnovabili. Sempre in riferimento alla problematica che attiene all'affermazione della GDO nell'ambito della commercializzazione delle produzioni vegetali, è opportuno sottolineare che nel 2009, in Italia, sono stati stimati 20 milioni di tonnellate di frutta, verdura e cereali sprecati, prodotto tra pieno campo e serra, non raccolto o non utilizzato dalla GDO (Grande Distribuzione

Organizzata) e dalle famiglie (Tab.6). In particolare, per lo spreco riferito alla GDO, spesso, è stato rilevato che la causa principale era costituita dalla mancanza nel prodotto vegetale di caratteristiche visive, dimensioni ed estetica rispetto al frutto, colore e conformazione (10).

Tab. 6 - Produzione totale e spreco delle coltivazioni ortive

Coltivazioni	Produzione totale (t)	Energia impiegata (tep)	tCO ₂	Spreco (t)	Energia associata allo spreco	tCO ₂ associate allo spreco	H ₂ O associata allo spreco (m ³)
Ortive in serra	1.571.244	55.826*	156.871	578.239	20.544	57.730	28.911.954*
Ortive in campo	12.793.621	193.925*	544.931	3.804.540	57.669	162.050	1.156.580.28
* 0,035 tep/ton ; ** 0,015 tep/ton							

In particolare, per le produzioni vegetali in serra, gli aspetti legati al consumo di energia costituiscono ormai un elemento di preoccupazione sia per i costi energetici e sia per le emissioni di CO₂, se consideriamo che un chilogrammo di pomodoro coltivato in serra nei Paesi del Nord-Europa richiede 26,73 MJ ed emette 1.459,4 g di CO₂/kg mentre un chilogrammo di lattuga ottenuto in serra richiede 22,9 MJ ed emette 1250,2 g di CO₂/kg (11, (12)). Per le stesse colture, si registrano valori inferiori fino a un terzo nei paesi del Sud-Europa (Tab. 7).

Tab. 7 - Consumi di energia per la produzione in serra e pieno campo

Coltura vegetale	Località	MJ* per kg di prodotto
Arance	Sud-Europa	6,80
Uva	Sud-Europa	7,80
Pomodoro	Sud-Europa	5,40
Fragole	Sud-Europa	8,60
Pomodoro in serra	Nord-Europa	26,73
Lattuga in serra	Nord-Europa	22,00
* 1 MJ = 0,278 kWh		

Infine, a sottolineare gli eccessi ormai sempre più diffusi verso una forte specializzazione del processo produttivo in serra, è significativo il consumo di energia sia diretta che indiretta che si registra per la coltivazione del pomodoro in Europa (13), (14), tenuto conto che mentre le produzioni in pieno campo mediamente raggiungono 5-10 t per ettaro, con i sistemi specializzati (sistemi soil-less) si arriva a quantitativi finali di produzione che risultano compresi tra 60 t e 300 t (Tab. 8).

Tab. 8 - Consumo di energia fossile, acqua e fertilizzanti il pomodoro in serra

Item	Sud Europa*		Centro-Nord Europa**	
	Richieste consumi annuali	€/ha/anno (% costi totali)	Richieste consumi annuali	€/ha/anno (% costi totali)
Energia fossile	0-7.000 GJ/ha	1.080 (2%)	11.000 GJ/ha	122.500 (~25%)
Acqua	10.000-20.000 m ³ /ha	5.000-10.000 per acqua desalinizzata	5.000-10.000 m ³ /ha	5.000-10.000 (1-2%)
Fertilizzanti	600-1.900 kg N/ha	Media 3.700 (7%)	1.100-1.600 kg N/ha	4.500-9.000 (1%)
Fitosanitari (composti attivi)	47 kg/ha	4.300 (8%)	31 kg/ha	6.000-16.000 incluso controllo biologico (2%)
Area totale	88.000 ha		23.000 ha	
Coltura (pomodoro)	10-30 kg/m ²	Reddito lordo 100.000	30-70 ⁽¹⁾ kg/m ²	Reddito lordo 500.000

1 tep equivale a 41,868 GJ oppure 11.630 kWh.
 * Southern Europe: Spain, Portugal, France, Italy, Greece and Cyprus;
 ** Central/Northern Europe: The Netherlands, Belgium, Germany, Denmark, Norway, Sweden, Finland, Great-Britain, Austria, Switzerland, and estimation for Eastern Europe;
 EFSA, 2010, Final reports on "Data-collection of existing data on protected crop systems (greenhouses and crops grown under cover) in European EU Member States", <http://www.efsa.europa.eu/en/scdocs/doc/31e.pdf>
 Fundacion Cajamar, 2009. Analisis de la campaña hortofrutícola de Almería. Campaña 2008/2009. Informes y monografías: 21;
 Vermeulen 2010, KWIN quantitative information for greenhouse horticulture 2009-2010, Wageningen UR Greenhouse Horticulture, Rapport 185;
 Euphoros consortium, 2011. Environmental and economic profile of present Greenhouse production systems in europe http://www.euphoros.wur.nl/NR/rdonlyres/FF27AE41-038D-41D1-BEEF B2CEB534E7B4/133857/DELIVERABLE5_Final_report_March2011.pdf;
 De Pascale & Maggio, 2005. Sustainable protected cultivation at a Mediterranean climate. Acta Horti 691: 29-42.

Sulla base delle considerazioni sia energetiche e sia ambientali finora riportate nonché in relazione al valore socio-economico che caratterizza la filiera dei sistemi serra in Italia, si è ritenuto di avviare una attività di ricerca finalizzata a verificare la potenzialità delle risorse energetiche costituite dall'energia solare e dalla biomassa solida, quali combustibili rinnovabili per la copertura integrale delle richieste energetiche della serricoltura nazionale.

In questo contesto, del resto, nonostante la maturità raggiunta dai sistemi tecnologici rinnovabili non è tuttavia ancora disponibile uno studio sistematico ed esauriente sulle soluzioni operative più utili per utilizzare la risorsa solare e la biomassa solida ai fini della climatizzazione microclimatica delle serre, sia estiva sia invernale, da parte degli imprenditori e delle numerose imprese che operano nel comparto delle serre. In altre parole, la ricerca ha finora preso in considerazione soprattutto il monitoraggio dei consumi energetici mentre ha riservato un'attenzione minore all'applicazione di tecnologie rinnovabili per le richieste di energia delle serre in termini di riscaldamento, raffreddamento, deumidificazione, luce artificiale per le serre.

INCENTIVI

Sono brevemente affrontati gli aspetti associati agli incentivi per le risorse rinnovabili e soprattutto quelli disponibili per i sistemi serra contemplati dai Decreti Ministeriali del 28 dicembre 2012, denominati Certificati Bianchi e Conto Termico (15), (16).

Fonti rinnovabili

Il PAN (Piano di Azione Nazionale) stabilisce un obiettivo di produzione di energia da fonti rinnovabili pari al 17% dei consumi finali di energia al 2020 (ENEA stima una forbice per i consumi totali di energia compresa tra 160 e 182 Mtep). Il primo meccanismo di sostegno alle fonti energetiche rinnovabili (FER) fu lanciato in Italia nel 1992, noto anche come "CIP6" dovuto principalmente alla L. n.9/91 ed ai due provvedimenti attuativi (il CIP 6/92 e il DM 25/09/92 (con cui sono stati stabiliti i prezzi incentivati per l'energia elettrica prodotta con impianti alimentati da fonti rinnovabili e "assimilate"). Nel 1999 è stato istituito in Italia un sistema di incentivazione dell'energia elettrica prodotta da fonti rinnovabili, definito con il nome di Certificati Verdi (CV). Sono titoli scambiabili/negoziabili sul mercato, corrispondenti ad una certa quantità di emissioni di CO₂, che vengono conferiti dal GSE al gestore di un impianto (alimentato da fonti rinnovabili) che produce energia, emettendo meno CO₂ di quanto farebbe un impianto alimentato con fonti fossili. Si tratta di un meccanismo piuttosto complesso derivante dalle previsioni del Decreto legislativo 16 marzo 1999, n. 79, il cosiddetto decreto Bersani, con il quale si è imposto l'obbligo agli operatori che immettono in rete più di 100 GWh/anno, che almeno il 2% dell'elettricità provenisse da impianti a fonti rinnovabili entrati in esercizio o ripotenziati, limitatamente alla producibilità aggiuntiva, in data successiva al 1/4/99. Tale obbligo è stato incrementato dello 0,35% dal 2004 al 2006 e dello 0,75% dal 2007 al 2012 e con la Legge 99/09 è stato trasferito ai distributori di energia elettrica. I produttori da fonti fossili che non riescono a trasformare ogni anno una percentuale della loro produzione da fossile a rinnovabile, devono comperare Certificati Verdi in quantità corrispondente alla quota non trasformata e consegnarla al GSE; ai produttori da fonti rinnovabili viene concesso, ogni anno, un Certificato Verde per ogni MWh prodotto, che essi possono commercializzare, cioè cedere ai produttori da fonti fossili che non hanno raggiunto il risultato richiesto.

La Finanziaria 2008 ha introdotto molte modifiche nel meccanismo, applicate un anno più tardi con il Dm rinnovabili (Dm Sviluppo economico 18 dicembre 2008). Le principali interessano la durata dei Certificati Verdi e l'introduzione della Tariffa Onnicomprensiva, e poiché le nuove regole si applicano agli impianti entrati in funzione dopo il 31 dicembre 2007, esistono impianti in Italia supportati con diversi meccanismi e valori incentivanti. Il decreto del 2008 cerca inoltre di rimediare alla perdita di valore di mercato dei CV, e prevede oltre a un prezzo di riferimento sul quale calcolare l'offerta del GSE, l'obbligo per lo stesso di ritiro dei "certificati in esubero" rispetto agli obblighi dei produttori da fonti fossili e quindi in esubero rispetto alle richieste di mercato. Infine il Dlgs 28/2011 di recepimento della direttiva europea (Direttiva 2009/28/CE), e il DM 6 luglio 2012 decretano la fine dei Certificati Verdi per gli impianti entrati in esercizio dopo il 31 dicembre 2012 e la transizione verso nuovi meccanismi di incentivazione. Alternativa ai Certificati Verdi e riservata a impianti qualificati IAFR (qualifica di impianto alimentato da fonti rinnovabili) di potenza nominale media annua non superiore ad 1 MW, o 0,2 MW per gli impianti eolici, esiste la cosiddetta Tariffa Onnicomprensiva, riconosciuta per un periodo di 15 anni, durante il quale resta fissa, in funzione della quota di energia immessa in rete, per tutti gli impianti (esclusi i fotovoltaici), secondo valori differenziati per fonte, che sono entrati in esercizio entro il 31 dicembre 2012. La tariffa onnicomprensiva è stata introdotta con la Finanziaria 2008 (legge 24 dicembre 2007, n. 244), il D.M. 18/12/08 e regolata dalla legge 23/7/09 n°99, è detta "onnicomprensiva" in quanto il

suo valore include una componente incentivante e una componente di valorizzazione dell'energia elettrica immessa in rete, quindi fino allo scadere dei 15 anni per gli operatori che la scelgono, la tariffa costituisce l'unica fonte di remunerazione dell'energia prodotta. A partire dal 2013, secondo il Decreto Interministeriale del 6 Luglio 2012 *"Incentivi per energia da fonti rinnovabili elettriche non fotovoltaiche"* ha comportato un regime di incentivazione differenziato per fonti rinnovabili, per dimensione degli impianti di generazione elettrica, e per data di costruzione o di allacciamento alla rete di distribuzione. In estrema sintesi si può esemplificare come segue:

Conto energia

Non essendo presente un'incentivazione uguale a quella per le FER per gli impianti solari fotovoltaici, il legislatore nel recepimento della Direttiva 2001/77/CE ha previsto un incentivo per la fonte solare pur mantenendo i "Certificati Verdi" come incentivo per le altre FER. Il Conto Energia, è un meccanismo che incentiva la produzione di energia elettrica prodotta da impianti fotovoltaici e impianti solari termodinamici connessi alla rete elettrica e dal suo esordio ne sono state istituite cinque versioni. Introdotto in Italia nel 2005, con il Decreto Ministeriale del 28 luglio 2005 (Primo Conto Energia) è attualmente regolato dal Decreto Interministeriale del 05 luglio 2012 (Quinto Conto Energia). Il V Conto Energia ridefinisce le modalità di incentivazione per la produzione di energia elettrica da fonte fotovoltaica ed è scaduto il 6 luglio 2013.

Decreto conto termico

Un altro meccanismo di incentivazione, introdotto con il Decreto Interministeriale del 28 dicembre 2012 *"Incentivazione della produzione di energia termica da fonti rinnovabili ed interventi di efficienza energetica di piccole dimensioni"* è il *Conto Termico* che eroga incentivi per promuovere interventi di piccole dimensioni per l'incremento dell'efficienza energetica e per la produzione di energia termica da fonti rinnovabili. Per le fonti rinnovabili termiche questo sistema promuove interventi di piccole dimensioni, tipicamente per usi domestici e per le piccole aziende. Il Conto termico incentiva i sistemi serre riscaldate con biomassa solida. Questi incentivi si configurano come contributi alle spese sostenute e vengono erogati in rate annuali per una durata variabile (fra 2 e 5 anni) in funzione degli interventi realizzati.

Efficienza Energetica

L'efficienza energetica è al centro della Strategia "Europa 2020" dell'UE per una crescita intelligente, sostenibile e inclusiva e della transizione verso un'economia basata su un uso efficiente delle risorse per rafforzare la sicurezza dell'approvvigionamento energetico e ridurre le emissioni di gas a effetto serra. L'efficienza energetica costituisce un elemento fondamentale della politica energetica europea. I principali strumenti normativi per gli Stati Membri dell'UE sono:

- il *Pacchetto 20-20-20 Clima e Energia* (20% di risparmio energia, 20% di riduzione CO₂, 20% di rinnovabili)

- il *Libro verde sull'efficienza energetica* - Strumento attraverso cui la Commissione europea invita le autorità pubbliche a rendere i cittadini e le imprese più responsabili in merito al risparmio energetico, premiando i comportamenti consapevoli;
- il *Piano d'azione per l'efficienza energetica* - Un set di proposte operative per migliorare del 20% l'efficienza energetica entro il 2020.

In particolare i diversi settori sono regolati dalle Direttive e Regolamenti:

- Direttiva 2006/32/CE: Direttiva ESD (Energy Service Directive) concernente gli usi finali e i servizi energetici;
- Direttiva 2010/31/UE sulla prestazione energetica nell'edilizia;
- Direttiva ErP 2009/125/CE: direttiva ErP (Energy related Products) riguardante la progettazione di prodotti che consumano energia o che influiscono sul consumo di energia;
- Direttiva 2010/30/UE : Direttiva per l'etichettatura dei prodotti che consumano energia;
- Direttiva 2009/28/UE : Direttiva sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili .

In Italia il primo Piano d'Azione Nazionale per l'Efficienza Energetica (PAEE 2007), presentato a luglio del 2007 in ottemperanza della Direttiva 2006/32/CE, ha individuato gli orientamenti per il raggiungimento degli obiettivi di miglioramento dell'efficienza energetica e dei servizi energetici. L'8 marzo 2011 la Commissione ha emanato per la consultazione un nuovo Piano (COM (2011) 109) nel quale ritiene che i più consistenti risparmi di energia possano essere realizzati nei seguenti settori:

- terziario (edifici residenziali e commerciali), con un potenziale di riduzione stimato rispettivamente al 27% e al 30%;
- industria manifatturiera, con possibilità di risparmio di circa il 25%;
- trasporti, con una riduzione del consumo stimata al 26%.

Questo secondo PAEE, 2011, rimarca il ruolo dell'efficienza energetica come strumento imprescindibile di riduzione dei consumi nell'ambito dei Paesi Membri, nel raggiungimento dell'obiettivo più ambizioso del - 20% al 2020 e al fine di avviare un uso efficiente delle risorse.

La predisposizione e l'aggiornamento periodico del Piano d'Azione per l'Efficienza Energetica da parte dell'ENEA, costituiscono un obbligo derivante dal recepimento della Direttiva 2006/32/EC (ESD). Il 14 novembre 2012 è stata pubblicata la direttiva 2012/27/UE sull'efficienza energetica. La direttiva fissa il termine del 5 giugno 2014 per il recepimento da parte degli Stati membri Ue delle relative disposizioni legislative, regolamentari e amministrative volte ad ottemperare i nuovi obblighi di riduzione dei consumi di energia. La nuova direttiva abroga, dal 5 giugno 2014, le direttive 2004/8/CE (relativa alla promozione della cogenerazione) e 2006/32/CE (relativa all'efficienza energetica negli usi finali) stabilendo un quadro comune per gli Stati Membri. I governi degli stati membri dovranno stabilire gli obiettivi nazionali per incrementare l'efficienza energetica con il fine di raggiungere l'obiettivo del 20% previsto dal "Pacchetto Clima Energia 20-20-20" ed elaborare un piano pluriennale per raggiungere questi obiettivi. Le misure di miglioramento dell'efficienza energetica considerano anche tecnologie rinnovabili in grado di ridurre il fabbisogno di energia primaria; per esempio, i meccanismi dei "Titoli di Efficienza Energetica" (noti come Certificati Bianchi) e delle detrazioni fiscali del 55%. Il meccanismo dei "Titoli di Efficienza Energetica" è stato introdotto nella legislazione italiana dai decreti ministeriali del 20 luglio 2004, e s.m.i. prevede che i distributori di energia elettrica e di gas

naturale raggiungano annualmente determinati obiettivi quantitativi di risparmio di energia primaria, espressi in Tonnellate Equivalenti di Petrolio risparmiate (TEP). Un certificato equivale al risparmio di una tonnellata equivalente di petrolio (TEP). Secondo ENEA, dal 2005 al 2011 il sistema dei TEE ha portato a un risparmio di circa 10 Mtep. Il quadro normativo nazionale sul meccanismo dei TEE è stato recentemente modificato con il decreto 28 dicembre 2012 *“Determinazione degli obiettivi quantitativi nazionali di risparmio energetico che devono essere perseguiti dalle imprese di distribuzione dell’energia elettrica e il gas per gli anni dal 2013 al 2016 e per il potenziamento del meccanismo dei certificati bianchi.”*, che definisce degli obiettivi quantitativi nazionali di risparmio energetico – crescenti nel tempo - per le imprese di distribuzione di energia elettrica e gas per gli anni dal 2013 al 2016 e introduce nuovi soggetti ammessi alla presentazione di progetti per il rilascio dei certificati bianchi.

Fonti: www.enea.it; www.energiaenergetica.enea.it; RAEE, 2012; RT/2010/27/ENEA

AGRICOLTURA PROTETTA

L’uso delle serre si fa risalire fin dai tempi dei romani (VIII a.C.) anche se già nel V secolo a.C. e soprattutto dal “Fedone” di Platone (17), sembrerebbe di capire che già allora si realizzassero spazi chiusi con clima artificiale per la crescita di piante. In particolare, i Romani utilizzavano materiali come mica e selenite per costruire ripari trasparenti dove coltivare piante alimentari. Plinio il Vecchio, riporta nella *Historia Naturalis* (18) che l'imperatore Tiberio (42a.C.-37a.C.) volesse quotidianamente cetrioli coltivati sotto strutture in legno e vetro. Ma è nel XIII sec. che si sviluppa la serra di concezione *moderna* come protezione di piante di origine esotica durante la stagione fredda. Nella prima metà del XVI secolo vengono realizzate all’interno degli orti botanici delle serre: 1513 a Roma nei Giardini Vaticani; 1545 a Padova l’orto botanico dell’università; 1549 a Pisa; 1569 a Bologna. In Francia sono numerose le «orangeries» costruite da De La Quintinye (19) durante il regno di Luigi XIV, alla fine del 1600. La prima "serra" dotata di riscaldamento e ventilazione risulta costruita a Heidelberg in Germania nel 1619 per coltivare alberi di arancio. Nel XVIII sec. con la rivoluzione industriale e il miglioramento di materiali e tecniche costruttive, cominciano i primi studi sull’apporto di nutrienti e di calore.

Un forte contributo di notorietà allo sviluppo delle serre, per la coltivazione soprattutto di fiori e alberi da frutto, si ha con la realizzazione del Crystal Palace a Londra nel 1851 in occasione della dell' Esposizione Internazionale. Solo all’inizio del XX sec. si diffondono le tecniche di riscaldamento, irrigazione, fertilizzazione. La denominazione di «serra» fu quindi estesa a tutte le protezioni con copertura costituita da qualsiasi materiale trasparente alla radiazione luminosa, da cui il termine più ampio «green-house» degli anglosassoni rispetto a quello più specifico di «glass-house» impiegato prima dell’avvento delle materie plastiche. Nell’area Mediterranea, tra il 1960 e il 1980, si affermano, dato il clima favorevole, strutture tipo «serra-tunnel». Secondo vari autori, le colture protette nel 1999 raggiungono un milione e mezzo di ettari (Tab. 10) a cui si deve aggiungere un milione di ettari di piccoli tunnel oltre a non meno di 200.000 ettari di serre negli ex-Paesi dell’Europa Centro-Orientale (20), (21), (22), (23). Sotto l’aspetto tecnologico (serra, impianti di fertirrigazione, ecc.) le serre si dividono in tre categorie:

Serre a bassa tecnologia (LTG). LTG hanno struttura molto semplice, copertura di plastica, scarso o nessun controllo climatico interno, molto spesso privi del sistema di riscaldamento. Le produzioni vegetali sono ottenute con tecniche colturali simili a quelle utilizzate nel pieno campo.

Serre a media tecnologia (MTG). MTG utilizzano struttura in metallo e materiale di copertura in plastica (spesso, rigida) o vetro. Il controllo climatico è presente. Nelle MTG spesso si utilizza come sistema di coltivazione la coltura fuori suolo e in questo tipo di serre. MTG sono generalmente impiegate per produrre ortaggi fuori stagione, fiori recisi e piante ornamentali da interno.

Serre ad alta tecnologia (HTG). HTG sono generalmente costruite con struttura in ferro zincato e vetro come materiale di copertura. HTG hanno sistemi di controllo e impianti di riscaldamento sia dell'aria che del substrato, ventilazione forzata, raffreddamento (cooling o fog system), controllo dell'umidità relativa, condizionamento della luce (ombreggiamento, illuminazione supplementare), concimazione carbonica. In HTG risulta massimizzata l'efficienza di uso della superficie e della manodopera. HTG sono utilizzate per piante ornamentali da interno in regioni con clima freddo.

Tab. 10. Principali paesi in cui si sono diffuse le colture protette e quelle fuori suolo

Paese	Serre in plastica e tunnel in plastica (a)	Serre in vetro (b)	Totale serre e tunnels (a+b)	Piccoli tunnels	Totale area protetta	Colture fuori suolo (c)	% rispetto alla superficie protetta di serra c/(a+b)
Paesi del bacino del Mediterraneo							
Algeria	5.000	5	5.005	800	5.805		
Tunisia	1.307	14	1.321	11.000	12.321	30	2,3
Egitto	1.350		1.350	50.000	51.350	10	0,7
Marocco	10.000	550	10.550		10.550		
Israele	5.200	1.500	6.700	15.000	21.700	1.200	17,9
Turchia	14.000	10.800	24.800	1.500	26.300		
Cipro	235		235	300	535		
Spagna	51.000	4.800	55.800	17.500	73.300	4.000	7,2
Italia	6.1900	5.800	67.700	24.000	91.700	700	1,0
Francia	9.200	2.300	11.500	16.000	27.500	1.000	8,7
Grecia	3.000	2.000	5.000	4.500	9.500	300	6,0
Totale	162.192	27.769	189.961	140.600	330.561	7.240	3,8
Paesi nord-Europei							
Belgio	350	2.400	2.750	200	2.950	1.010	36,7
Olanda	400	6.000	6.400		6.400	4.000	62,5
Gran	2.500	1.860	4.360	1.400	5.760	600	13,8
Danimarca	20	100	120		120		
Finlandia	200	280	480		480		
Totale	3.470	10.640	14.110	1.600	15.710	5.610	39,7
Paesi asiatici							

Cina	1.249.000		1.249.000	714.000	1.963.000	814	
Corea	2.200		2.200		2.200		
Giappone	51.042	2.476	53.518	47.000	100.518	1.500	2,8
Totale	1.302.242	2.476	1.304.718	761.000	2.065.718	2.314	0,2
Americhe							
Usa	9.250	1.000	10.250	15.000	25.250	250	2,4
Canada	600	350	950		950	300	31,6
Mexico		1.200	1.200	4.200	5.400	50	4,2
Colombia		4.500	4.500		4.500		
Equador		2.700	2.700		2.700		
Totale	9.850	9.750	19.600	19.200	38.800	600	3,1
Totale			1.551.050	996.000	882.683	20.000	2,9
Fonte: Jouet, 2001; Jiang et al, 2004.							

Serre ed apprestamenti protetti

La norma italiana UNI 9936-92 *“Apprestamenti per colture orto-floro-frutticole coperti con materiali plastici”* (ora decaduta) definiva gli apprestamenti per le colture protette come: *“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, nell’ambito dell’UNI EN, per quanto concerne 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) nella quale viene fornita la seguente definizione di 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 si riferisce a serre utilizzate a fini professionali per la produzione di piante e colture, per questo definite serre commerciali:

“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”.

Secondo l’UNI-CEN una struttura serra è definita tale a seconda:

- del tipo di utilizzo, ovvero quando è adibita a coltivazione e/o protezione di piante;
- delle caratteristiche dei materiali di copertura, per permettere la trasmissione della radiazione solare, utilizzando appropriati materiali di copertura;
- della possibilità di condizionamento dell’ambiente, riferendosi alla temperatura;
- di idonee condizioni di lavoro: ambiente di lavoro adeguato in termini di dimensione degli spazi (altezza, larghezza dei passaggi, etc.) e della sicurezza del lavoro.

Classificazione delle serre

Le caratteristiche peculiari che distinguono una serra da altri sistemi di semplice protezione, sono date dall'uso di impianti di climatizzazione, dall'accessibilità e praticabilità al suo interno da parte dell'uomo e delle macchine. Tali requisiti richiedono determinate dimensioni, altezza, larghezza ovvero volume per unità di superficie coperta. Si può infatti parlare di serra a partire da volumi unitari di $1,8-2 \text{ m}^3$ per m^2 di superficie coperta (24).

La distribuzione delle varie tipologie di serre è strettamente condizionato dai fattori climatici, infatti nelle regioni del Nord e Centro Europa, dove gli inverni sono freddi e l'estati miti con una bassa radiazione solare, nella quale oltretutto la componente diffusa spesso prevale su quella diretta, sono presenti quasi esclusivamente serre del tipo Venlo con apertura in vetro.

La serra in questo caso deve poter soddisfare due condizioni: minimizzare, attraverso l'uso del vetro ed un favorevole rapporto di forma (V/S), le perdite di calore, e sfruttare al massimo la radiazione diffusa con altezze in gronda che raggiungono e/o superano i 5 m. vengono utilizzate serre multiple in unico blocco ($10.000-15.000 \text{ m}^2$, con rapporto lunghezza e larghezza di 1 a 3) riscaldate, soluzione più conveniente per le minori dispersioni termiche.

Esigenze opposte le troviamo nelle regioni del bacino del Mediterraneo, che sono caratterizzate da inverni miti ed estati molto calde, con elevata radiazione solare. Infatti la tipologia costruttiva di serra che si è sviluppata in quest'area è con tetto curvilineo più in generale a tunnel, con la grande diffusione dei materiali di copertura di tipo plastico che rappresentano il 90% della superficie coperta. Per quanto concerne l'aspetto formale delle serre, riferendosi alla sezione trasversale, si possono ricondurre a tre fondamentali tipologie:

Serra-tunnel, ovvero quegli apprestamenti mobili, non praticabili, a settore di arco più o meno ribassato la cui struttura portante risulta costituita da sostegni di vario tipo e con copertura in film plastico. Caratteristica fondamentale di questa tipologia è la semplicità, il basso costo e non necessita di manovalanza specializzata. Le dimensioni ottimali dipendono oltre dalla durata della copertura e dall'entità di forzatura che si vuol raggiungere, anche dalla specie che si deve coltivare. 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, con aperture laterali per il passaggio dell'aria, vengono ricoperte da materiali plastici, film o lastre di polietilene o PVC, il primo più economico il secondo presenta migliori caratteristiche fisiche a parità di flessibilità e leggerezza.

Serre a tetto curvilineo, 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; questa soluzione consente 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 in parete e al tetto.

Serre con tetto a falde piane simmetriche ed asimmetriche. Le serre con tetto a due falde simmetriche vengono chiamate *serre a padiglione*, hanno le pareti verticali e tetto a falde piane in cui la campata, può essere singola o multipla, definendo la luce libera utile, che coincide con quella del telaio portante, mentre la circolazione dell'aria è garantita da aperture collocate lungo i lati e al colmo. In questa tipologia rientrano le *serre Venlo*, in cui la struttura portante è

rappresentata da un portale costituito da colonne verticali ed una trave reticolare orizzontale sul cui estradosso poggia la struttura portante secondaria del tetto, costituito da due o più ordini di falde simmetriche. Questo tipo di serre viene di norma realizzato con campate multiple.

Caratteristiche costruttive

Le serre si differenziano secondo le modalità costruttive e i materiali utilizzati. Tali elementi vengono distinti in relazione alla loro funzione, quale:

- La struttura portante;
- Il sostegno del materiale di copertura;
- La copertura.

In genere il sistema strutturale di una serra comprende molteplici elementi che possono essere così schematizzati:

- Le fondazioni, ovvero il sistema di vincolo al terreno;
- La struttura primaria, ovvero quella portante, con la funzione di sopportare carichi permanenti ed accidentali che gravano su di essa, costituita da colonne di sostegno, incavallature e piedritti;
- Le strutture secondarie, ovvero quelle di fissaggio, costituite da tutto ciò che serve a sostenere e fissare il materiale di copertura, con porta vetro o reggiplastica e gli arcarecci.

Le diverse tipologie strutturali che caratterizzano gli apprestamenti per colture protette, quali i tunnel, le serre-tunnel con copertura ad arco, le serre a navata e le serre di tipo Venlo, nelle diverse configurazioni a campata singola o multipla, sono ulteriormente diversificate a causa delle svariate soluzioni geometriche, strutturali e costruttive adottate dalle industrie produttrici (Tab. 11). La geometria dei telai dipende dal materiale costruttivo e dal tipo di copertura che si intende adottare, dal tipo di colture, dagli impianti eventualmente presenti, dalle condizioni topografiche e climatiche del sito e dalle tradizioni costruttive legate all'area di realizzazione dell'intervento. Tuttavia l'altezza della serra deve essere tale da consentire lo svolgimento di tutte le operazioni colturali ed una efficiente ventilazione; una maggiore altezza significa maggiore uniformità di temperatura in senso verticale e quindi condizioni di ambiente più naturali.

In genere nel caso di serre in ferro e vetro si osservano altezze di 2,5-3 m sui lati e 4-5 m sulla linea di colmo, altezze inferiori si rilevano nel caso di serre in legno e plastica. Anche la sezione trasversale della serra può avere una certa importanza ai fini del rendimento termico e luminoso.

Tab. 11 – Misure di differenti tipologie di serra

	<i>TUNNEL</i>	<i>SERRE A PADIGLIONE CON TETTO SEMICIRCOLARE</i>	<i>SERRE A PADIGLIONE DOPPIA FALDA</i>
LUCE CAMPATA	6,40 - 16,00 m	6,40/9,00 m	6,00-7,00/8,50-9,00
MODULO STRUTTURALE	3,00 - 3,10/3,72 - 3,85 m	1,50/3,00/4,00	1,50/2,00/2,50
LUNGHEZZA	60,00/100,00 m	30,00/42,00 m	30,00-42,00-61,50/100,00 m
ALTEZZA DI GRONDA	2,00/3,00 m	2,00/3,00 m	-
ALTEZZA DI COLMO	3,50/6,00 m	3,00/5,00 m	2,80/3,30 m
INCLINAZIONE FALDE	21° - 30°	-	-
TOT. m²	380 - 1600	190 - 380	180 - 1000

Caratteristiche strutturali

Le strutture portanti delle serre devono presentare non solo buone caratteristiche di stabilità ma anche possedere una buona ermeticità con una ridotta superficie ombreggiante.

Ai fini della stabilità delle strutture si possono valutare i seguenti carichi:

- Carichi permanenti, dovuti al peso proprio del materiale strutturale e di copertura
- Carichi accidentali o di esercizio, dovuti alle apparecchiature installate alla struttura
- Carico da neve
- Carico vento
- Carichi dovuti alle azioni sismiche

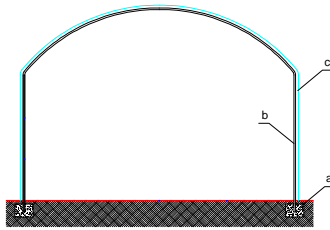
Ai fini del dimensionamento statico delle strutture si considerano le condizioni più sfavorevoli dei singoli carichi. Come materiale maggiormente impiegato nella realizzazione delle strutture delle serre troviamo il legno, il ferro e calcestruzzo armato, leghe di alluminio e materiali plastici. Il legno¹ presenta degli svantaggi come ad esempio: la ridotta ampiezza della campata per riuscire a contenere la sezione della struttura ed evitare azioni di ombreggiamento; ha una durata limitata che va dai 5 ai 10 anni a seconda il tipo di essenza utilizzata; una ridotta ermeticità dovuta alle deformazioni a cui è soggetto, ai molti trattamenti antidegradanti a cui deve sottoporsi (fungicidi ed insetticidi). Tuttavia ha il grande vantaggio di essere economico e la manutenzione non necessita di manovalanza specializzata; inoltre ha una bassa conducibilità termica che impedisce la condensazione d'acqua sulla struttura. Trova largo impiego la struttura in ferro ed acciaio, risulta più efficiente grazie alle ridotte sezioni, favorendo lo spazio utile e la luminosità. Presenta un alto grado di conducibilità termica, ma con questo materiale è possibile realizzare serre a migliore tenuta termica per il più stretto collegamento tra struttura e copertura, compatibilmente con le esigenze di carattere economico. Si ottiene un'efficiente aerazione con aperture più performanti, dislocandole sulle falde e sulle pareti. La struttura portante delle serre in ferro subisce un trattamento di galvanizzazione attraverso bagni di zinco metallico. Si utilizzano profilati pieni a doppio T o putrelle profilati tubolari rotondi o quadrati e capriate a traliccio per l'intelaiatura principale, oppure profilati sagomati a freddo ad U o ad L anche di modesto spessore, per la preparazione dei supporti o profilati porta vetro. La struttura portante è realizzata con materiali diversi: acciaio, legno, leghe leggere, calcestruzzo, resine sintetiche, materiali misti. Questa comprende:

- Le fondazioni
- I telai portanti principali
- Gli elementi portanti secondari.

I telai portanti principali e secondari (Fig. 4) sono essenzialmente costituiti da:

- Colonne portanti;
- Capriate realizzata con struttura reticolare e tiranti;
- Collegamenti di colmo e sul tirante;
- Controventature;
- Materiale di copertura.

¹ Le essenze più diffuse sono il castagno ed alcune conifere, destinate soprattutto per capriate ed arcarecci; per la intelaiatura dei telai in vetro vengono impiegati essenze pregiate come pitch-pine ed il tek.



- a. *Fondazioni*
- b. *Struttura portante, principale e secondaria*
- c. *Materiale di copertura*

Fig. 4 – Schema costruttivo di una generica serra

I telai portanti principali possono essere di due tipi:

- A orditura trasversale (disposti in posizione normale all'asse, a interasse costante)
- A orditura longitudinale (disposti parallelamente all'asse maggiore della serra)

Le serre a orditura portante trasversale sono quelle che utilizzano l'acciaio come materiale costruttivo di base. Può essere costituita da pilastri e capriate o da telai semplici monoblocco denominati portali, incernierati o incastrati al piede, con la parete laterale verticale oppure con la parete inclinata. Presenta il vantaggio di consentire campate di luce anche notevoli (10-12m), con evidente semplificazione nelle operazioni di meccanizzazione colturale.

L'orditura longitudinale, viene adottata nelle serre in legno o miste calcestruzzo-legno, ed è composta da palificazione collegate longitudinalmente e trasversalmente con tavole (arcarecci) che costituiscono l'ossatura principale sulla quale vengono collegati i telai porta vetro o reggi plastica. Gli elementi portanti secondari assolvono la doppia funzione di sostegno e ancoraggio degli elementi di copertura (profili porta vetro, porta lastra o di bloccaggio dei film plastici) e statica (controventamento della struttura primaria e sostegno del carico uomo durante le operazioni di manutenzione della copertura). Per il dimensionamento degli elementi strutturali si fa riferimento alle ipotesi di carico previste dalla norma specifica per le serre e alle leggi, decreti e norme tecniche, inerenti il calcolo e la verifica di sicurezza delle costruzioni in generale.

Le fondazioni presenti nelle serre (Fig. 5) permanenti sono di tipo superficiale, e si distinguono in continue e discontinue. Le fondazioni continue che di norma vengono realizzate in calcestruzzo armato, sono assimilabili allo schema costruttivo della trave rovescia.

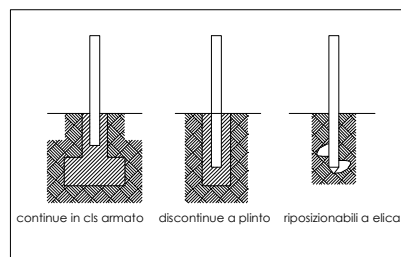


Fig. 5 - Tipologie di fondazioni per serre

La presenza di quelle discontinue, costituite da plinti isolati, dipendono dalle dimensioni e dai requisiti del manufatto al quale sono collegate. 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.

La difficoltà maggiore che deve assolvere una qualsiasi struttura impiegata in una serra è quella di riuscire a garantire leggerezza alla struttura (assicurando una ridotta superficie ombreggiante) con fondazioni idonee al caso. Anche se quest'ultime spesso si dimostrano del tutto inadeguate in quanto difficilmente vengono effettuate verifiche di resistenza sui terreni, per questo si tende per lo più a costruire fondazioni superficiali e di scarsa resistenza. Ai fini della stabilità delle strutture sono da considerare i seguenti carichi: permanenti, accidentali in esercizio e quelli dovuti dal vento, neve ed azioni sismiche.

Carichi permanenti comprendono il peso proprio del materiale delle strutture elementi di fissaggio e sostegno della copertura. Viene stimato che il peso del materiale di copertura varia a seconda del tipo e quindi da 7,5 kg/mq con il vetro lucido con spessore di 2-3 mm, da 11,5 kg/mq con il vetro giardinoiera o martellato con spessore 4-6 mm, da 17,5 kg/mq con il vetro greggio retinato spessore da 7-8 mm; assume il valore di 1-5 kg/mq con le lastre di plastica rigida, ed è trascurabile per il films plastici flessibili.

Mentre per il peso degli elementi strutturali viene stimato a seconda la larghezza della serra, e può essere considerato di 5-8 kg/mq in serre di alluminio di larghezza inferiore a 12 m coperte con lastre di plastica rigida o film, di 8-16 kg/mq in serre in legno a struttura longitudinale e di 12-18 kg/mq in serre in acciaio con larghezza di m 6-12 e copertura in vetro giardinoiera. Per carichi accidentali in esercizio si intendono tutte le apparecchiature che vengono appese alle strutture, in genere si considerano 15 kg/mq di superficie coperta. Mentre per le sollecitazioni dovute a vento, neve e sisma si fa riferimento alle normative vigenti .

Tipologie e caratteristiche dei materiali di copertura

La scelta dei materiali impiegati nella costruzione delle serre dipende fondamentalmente dalle condizioni ambientali ed economiche del luogo in cui si attua la produzione. In Europa e in particolare in Italia, i materiali impiegati per realizzare la struttura portante di una serra sono principalmente il legno, l'acciaio zincato a caldo, per le strutture portanti, l'alluminio per le strutture portate (telai porta vetro), e il calcestruzzo armato. In questi ultimi anni ci si è orientati verso l'impiego dell'acciaio zincato e dell'alluminio per i seguenti motivi:

1. 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, etc.);
2. Nessun ricettacolo a parassiti animali e vegetali (come succede con il legno);
3. Maggiore luminosità dovuta alla snellezza delle strutture di sostegno, principali e secondarie;
4. 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;

5. Maggiore durata della vita utile;
6. Riduzione degli interventi di manutenzione;
7. Facilità di smontaggio e riutilizzo/riciclo delle strutture.

I film plastici sono utilizzati nei tunnel specie in orticoltura e per le piante ornamentali a minor esigenza termica. Tra i film i materiali utilizzati sono: L.D.P.E., L.D.P.E. + cariche minerali, L.L.D.P.E. (solo in mescola), copolimeri E.V.A. (con % di V.A. variante dal 14 al 18%), coestrusi (films variamente accoppiati di L.D.P.E., EVA, L.D.P.E.+cariche), P.V.C. (polivinil cloruro). Per le serre si utilizzano soprattutto films con spessore mediamente variabile da 0,1 a 0,18 mm, ma si possono trovare films fino a 0,25 per grandi serre, e tra questi i materiali più comunemente utilizzati sono i film non termici (L.D.P.E.) e i film termici (copolimero EVA, L.D.P.E.+cariche minerali, P.V.C.). Le lastre, generalmente realizzate in P.V.C., P.R.F.V. (poliestere rinforzato fibra vetro), P.C. (policarbonato), P.M.M.A. (polimetilmetacrilato), possono presentarsi in forma piana, ondulata e alveolare. Il film in P.V.C., sebbene presenti un ottimo effetto serra e ottime caratteristiche ottiche, trova tuttavia larghissima applicazione soltanto in Giappone mentre è abbastanza limitata la sua diffusione in Europa. Nelle serre dei Paesi Europei e Mediterranei, il materiale più diffuso è l' L.D.P.E., che nelle sue varie forme e modificazioni (per aumentarne l'effetto serra si tende ad additarlo con cariche minerali di diverso tipo come metafosfati alcalini, silico-alluminati alcalino-terrosi e silicati vari in percentuale variante dal 2 al 5%), copre la quasi totalità del mercato (80% delle serre utilizzano questo polimero). Il vetro comune è tuttora il materiale più utilizzato, negli ultimi anni viene impiegato quello a bassa emissività, ottenuto dal trattamento in superficie in una delle due facce della lastra con ossidi metallici, in modo da ridurre le dispersioni termiche per irraggiamento. Anche i materiali plastici rigidi sono molto utilizzati, come il policarbonato, le resine poliesteri rinforzate e il policloruro di vinile (PVC). Il policarbonato ha avuto una notevole diffusione nelle coperture delle serre, sia a tunnel sia a doppia falda, mentre la resina poliestere interessa essenzialmente le serre a tunnel. Le scelte del materiale di copertura è strettamente connesso all'indirizzo colturale adottato, e chiamato a svolgere le seguenti funzioni:

- Protezione meccanica delle piante da eventi meteorici sfavorevoli quali pioggia, vento, neve, grandine, gelate, etc.
- Massima permeabilità al passaggio della radiazione visibile in termini quantitativi (minima riflettanza²) e qualitativi (ridotta modificazione² dello spettro di emissione della luce solare).
- Effetto serra, ovvero trasparenza verso l'infrarosso "corto" della radiazione solare ed impermeabilità alle radiazioni infrarosse "lunghe" riemesse dal terreno e dalle piante.

Altri elementi caratterizzanti il materiale di copertura sono la durata, il peso, la trasmittanza luminosa³ e termica, la dilatazione termica e il costo. La trasmissione delle radiazioni solari attraverso il materiale trasparente di copertura rappresenta l'85%-90% del flusso incidente, a causa dei fenomeni di assorbimento e riflessione legati alla copertura (Tab. 12). Delle radiazioni che penetrano in serra una percentuale del 10-15% vengono riflesse dal terreno e dalle piante (albedo). Pertanto, l'energia solare che rimane a disposizione delle piante nella serra oscilla tra il

² 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.

³ 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; $T=I_t/I_0$.

50 ed il 60% del flusso incidente, ma solo una piccola parte, 2-3%, viene trasformata attraverso la fotosintesi (Fig. 6).

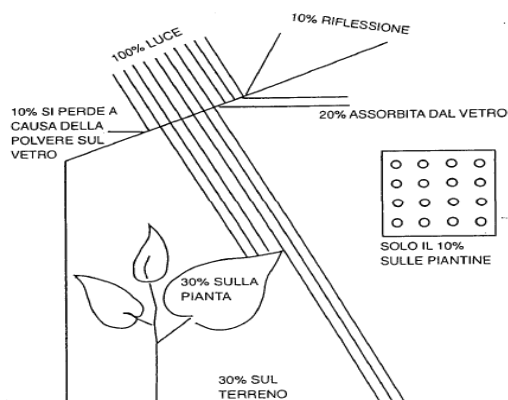


Fig. 6 – Comportamento della radiazione solare rispetto alla copertura, alla pianta e alle foglie

La luminosità di una serra dipende, come già detto, da fattori meteorologici dell’ambiente, dalle caratteristiche della costruzione ed in particolare del materiale di copertura. È noto come qualsiasi materiale di copertura utilizzato rifletta una frazione di luce compresa tra il 20 e 30% a livello della superficie, nel momento in cui i raggi solari la investono con una incidenza normale (25), (26).

Tab. 12 - Principali caratteristiche fisiche e dimensionali di alcuni materiali di copertura

Tipo di materiale	Dimensioni		Spessore (mm)	Peso (Kg/m ³)	Durata (anni)	Coefficiente dilatazione lineare (mm/°C)	Trasmissione termica (W/ m ² °C)	Trasmissione radiazione		
	Larghezza (m)	Lunghezza (m)						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	-	-		3-4 (12-36)!	0,12	10,7-5,5	92	91	60	
Laminati semirigidi o ondulati										
PREV	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

Ad esempio l’asimmetria del tetto modifica le condizioni di luminosità rispetto ad una posizione simmetrica. Infatti disponendo, la falda rivolta a Sud con una inclinazione di 27° sull’orizzontale e l’altra falda situata verso Nord con una inclinazione di 55° si ottiene, secondo dati di letteratura

scientifica⁴, una luminosità superiore dell'11% rispetto ad una serra con tetto simmetrico a versanti uguali ed inclinati di 35°. Un'ulteriore aumento della luminosità (11%) si ottiene portando sino a 65° la inclinazione della falda che guarda Nord⁵. Quando l'angolo di incidenza dalla posizione suddetta aumenta (da 90° a 180°), le perdite per riflessione si innalzano vertiginosamente fino ad un'incidenza radente (180°). Tali raggi non riescono a penetrare dentro la serra e sono totalmente riflessi dalla superficie del materiale di copertura (27). Nella pratica è opportuno che la serra abbia un orientamento Est-Ovest al fine di una buona luminosità nel periodo invernale (Fig. 7).

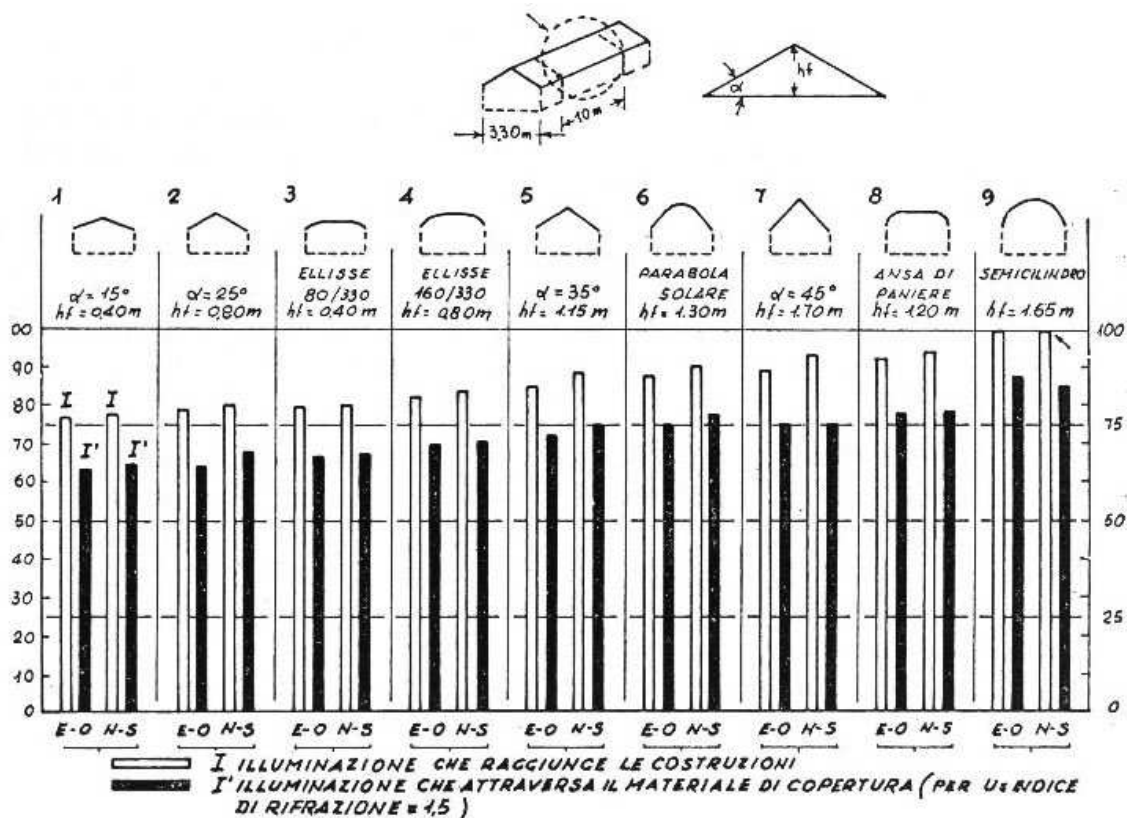


Fig. 7 - Quantità di luce ricevuta da una serra in relazione all'orientamento ed al tipo di tetto

⁴ A. Nisen, 1963, ricerche condotte a Gemloux

⁵ Questo tipo di copertura potrebbe risultare adatto in particolari situazioni ambientali, e cioè durante l'inverno ed in zone caratterizzate da scarsa luminosità.

NORMATIVE

Spesso la concentrazione di alcuni insediamenti serricoli diventa critica per l'ambiente e per il paesaggio; pertanto le diverse amministrazioni locali hanno stabilito dei vincoli sulla base di leggi regionali che disciplinano, dal punto di vista urbanistico, la realizzazione di questi particolari apprestamenti. I sistemi serra possono insistere o in aree prive di vincoli paesaggistico o in zone inserite in aree protette, oppure in zone in ambito di aree SIC (Siti Interesse Comunitario) e ZPS (Zone di Protezione Speciale). Le norme dovrebbero essere differenziate o valutate nell'ambito dei singoli distretti rurali. Le serre, dal punto di vista della tipologia dell'intervento edilizio, possono essere distinte in bioclimatiche o solari⁶ o per lo svolgimento dell'attività agricola. Le serre bioclimatiche sono strutture che attraverso lo sfruttamento passivo ed attivo dell'energia solare, o la funzione di spazio intermedio, consentono la riduzione dei consumi di combustibile fossile per il riscaldamento invernale. Nel caso di serre solari ovvero in cui queste sono progettate in modo da integrarsi nell'organismo edilizio e dimostrino, attraverso i calcoli, la loro funzione di risparmio energetico, sono considerate volumi tecnici e quindi non computabili ai fini volumetrici. La disciplina relativa alla costruzione delle serre per lo svolgimento dell'attività agricola varia a seconda che ci si trovi in zona agricola, che siano amovibili o che abbiano strutture in muratura. Di seguito la descrizione dei titoli abilitativi e le istanze edilizie che abilitano all'esecuzione dell'intervento:

- Nel caso in cui presentino una struttura in *muratura*, a livello nazionale i nuovi fabbricati sono soggetti all'Art.10 del Decreto del Presidente della Repubblica 06/06/2001, n. 380 "costituiscono interventi di trasformazione urbanistica ed edilizia del territorio e sono subordinati a permesso di costruire tutti gli interventi di nuova costruzione".
- Ai sensi dell'art. 6, comma 1, lettera a) del Decreto del Presidente della Repubblica 06/06/2001, n. 380, serre mobili stagionali, sprovviste di strutture in muratura, funzionali allo svolgimento dell'attività agricola, possono essere senza alcun titolo abilitativo, purché siano rispettate le prescrizioni degli strumenti urbanistici comunali, e comunque nel rispetto delle altre normative di settore aventi incidenza sulla disciplina dell'attività edilizia e, in particolare, delle norme antisismiche, di sicurezza, antincendio, igienicosanitarie, di quelle relative all'efficienza energetica nonché delle disposizioni contenute nel codice dei beni culturali e del paesaggio di cui al Decreto Legislativo 22/01/2004, n. 42.
- Una precisazione del Consiglio di Stato, Sez. V, 11/02/2003 n. 696 specifica che non ha importanza il tipo di ancoraggio: "...necessita di *concessione edilizia* il manufatto che, pur se non infisso al suolo ma soltanto aderente ad esso in modo stabile, è destinato ad una utilizzazione perdurante nel tempo, ... a nulla rilevando l'eventuale precarietà strutturale del manufatto".
- Ai sensi degli artt. 3, 10 del Decreto del Presidente della Repubblica 06/06/2001, n. 380 e dell'art. 27 e dell'art. 33 della Legge Regionale 11/03/2005, n. 12, le serre non aventi le caratteristiche di cui ai punti precedenti, salvo diversa disposizione dello strumento urbanistico

⁶ La realizzazione di serre bioclimatiche con le caratteristiche di cui all'art. 4, comma 4 della Legge Regionale 21/12/2004, n. 39, sono considerate volumi tecnici e come tali soggetti ai titoli abilitativi previsti per la tipologia della manutenzione straordinaria.

o del regolamento edilizio vigenti, sono considerate opere di nuova costruzione e sono soggette alla presentazione e rilascio del permesso di costruire. In alternativa è possibile presentare denuncia di inizio dell'attività edilizia ai sensi dell'art. 41, comma 1 della Legge Regionale 11/03/2005, n. 12.

- Ai sensi dell'art. 60, comma 1 della Legge Regionale 11/03/2005, n. 12, le serre stabili, con strutture in muratura, funzionali allo svolgimento dell'attività agricola, realizzate in zona agricola ai sensi della Legge Regionale 11/03/2005, n. 12, sono soggette alla presentazione e rilascio del permesso di costruire.

E' bene ricordare nel caso di impianti serricoli stabili destinati alle attività agricole è sempre opportuno che ci sia un progetto conforme alle norme ASL, Genio Civile e Vigili del Fuoco. È obbligatorio per la costruzione di una serra agricola richiedere una concessione edilizia quando è destinata a far fronte ad esigenze continuative connesse a coltivazioni ortofrutticole, presentando carattere di stabilità ed altera in modo duraturo l'effetto urbanistico – territoriale, a causa delle notevoli dimensioni. In ogni caso, è sempre necessario un attento esame della normativa regionale in materia in quanto, vi sono norme che, al verificarsi di determinate condizioni, consentono la realizzazione di alcune tipologie di serre agricole con diversi titoli abilitativi, quali: comunicazione, autorizzazione, concessione o addirittura senza alcuno. In caso di serre mobili stagionali, sprovviste di strutture in murature, funzionali allo svolgimento dell'attività agricola, pur non essendo richiesto alcun titolo abilitativo, è facoltà del cittadino presentare comunicazione di inizio attività edilizia totalmente libera al fine di notificare al Comune l'esecuzione dei lavori. Nel Testo Unico in materia di progettazione delle costruzioni, il DM 14/01/08 "il committente ed il Progettista, di concerto, sotto la loro responsabilità nei riguardi della pubblica incolumità, devono dichiarare nel progetto la vita utile nominale della struttura... La vita nominale di un'opera strutturale è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve poter essere usata per lo scopo al quale è destinata. La vita nominale dei diversi tipi di opere viene precisata nei documenti di progetto". In presenza di azioni sismiche, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso.

La classe d'uso delle strutture in oggetto è la classe I, alla quale appartengono le "costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli". Riferimento DM 14/01/2008 con relative istruzioni di applicazione definite nella circolare 617 del 02/02/2009. I carichi statici di progetto sono determinati sulla scorta della vita utile nominale e pertanto sono ammessi coefficienti di riduzione della loro entità secondo quanto previsto dal DM 14/01/08, apportando le correzioni al tempo di ritorno dei carichi accidentali consentite dalla presente norma. Tale procedura è in armonia con la recente norma europea, specifica per la progettazione delle serre, ovvero la norma EN 13031-1 del 01/11/2004 "serre: progettazione e costruzione" (28).

In base a questa norma, si assume il tempo di ritorno pari alla vita utile della struttura che è di fatto sensibilmente inferiore a quella degli edifici ad uso civile- industriale. I carichi accidentali previsti dal DM 14/01/08 devono essere pertanto ridotti secondo i coefficienti di riduzione ricavati dalle formule indicate dalla normativa. Nel caso di uso di impianto di riscaldamento è necessario applicare obbligatoriamente le norme antincendio. Per l'igiene e sicurezza dell'ambiente di lavoro si ricorda che il lavoro in serra rientra tra i lavori usuranti si fa riferimento alla normative comuni relative alla sicurezza sui luoghi di lavoro (T.U.S.L. 81/2008).

European Standard EN 13031-1

Attualmente in Europa a regolamentare l'attività di progettazione e costruzione delle serre è lo Standard Europeo EN 13031 che è andato a sostituire in ambito UE una moltitudine di altri standard costruttivi a cui ogni Paese faceva riferimento, compresa naturalmente l'Italia. Secondo il testo del Cen (29) le serre devono essere classificate a seconda della previsione di durata minima che il progetto costruttivo assegna loro. Tale durata dipende a sua volta da un altro parametro fondamentale la tolleranza che il materiale di rivestimento riesce ad avere rispetto agli spostamenti del telaio. Le serre vengono distinte in due classi principali, A e B che si differenziano per caratteristiche strutturali e diverse casistiche di rischio previste. L'appartenenza all'una o all'altra classe serve al progettista per determinare i cosiddetti stati limite, che possono essere definiti come situazione statiche oltre le quali la struttura non soddisfa più i requisiti prestazionali e di sicurezza stabiliti nel progetto. Si tratta di parametri utilizzati per tutte le costruzioni e che lo standard EN 13031-1 definisce per il caso particolare delle serre. Pertanto le serre sono definite di classe A quando il rivestimento per condizioni di progetto, non tollera gli spostamenti del telaio, quelle di classe B sono serre il cui rivestimento tollera lo spostamento dei telai. A seconda la classe di appartenenza viene attribuita una durata minima di vita della serra (Tab. 13):

Tab. 13 - Tratto da UNI 13031-1

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). Ad esempio riferendosi a delle 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;
- definizione delle sollecitazioni causate dal vento, dalla temperatura, dalla neve, dalla presenza di colture e attrezzature (incluse quelle mobili), dalla presenza di uomini e cose sul tetto per le operazioni di manutenzione e riparazione, a seguito di riparazioni;
- Spostamenti e deformazioni elastiche ammissibili per le strutture portanti e per quelle portate (telai di contenimento del materiale di copertura);
- 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 i seguenti argomenti:

- 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 dal 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, manutenzione e di una targa identificative del manufatto. Inoltre lo standard europeo si occupa 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 per qualche motivo è distaccato da essa, ad es. per non adeguata tensione.

Standard europei riguardanti i materiali di copertura

Due sono le norme che garantiscono la qualità dei materiali di copertura:

1. la UNI EN 13206:2002 "*film termoplastici di copertura per uso in agricoltura ed orticoltura*";
2. 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*".

UNI EN 13206:2002

Tale norma è la versione ufficiale italiana della norma europea EN 13206 (edizione marzo 2001). Sostituisce la UNI 9298 stabilendo le caratteristiche ed i requisiti che devono possedere i film plastici certificati per la copertura delle serre e dei vari tunnel (piccoli, medi e grandi). Stabilisce quali siano i requisiti fisici e meccanici dei film plastici trasparente e diffondente di polietilene e/o di copolimeri, destinati alla copertura permanente o temporanea di serre. La norma prende in considerazione materiali quali LDPE (Polietilene a bassa densità), LLDPE (Polietilene lineare a bassa densità), EVA (Etil Vinil Acetato) 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%).

Nella scelta dei film plastici vengono prese in considerazione le seguenti caratteristiche:

- trasmittanza totale alle radiazioni solari (visibili, infrarosso vicino e UV-A), come quantità di radiazione effetto serra, misurato con spettrofotometro nel campo delle radiazioni dell'infrarosso lontano (lunghezza d'onda compresa tra 7.000-20.000 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, E,⁷ 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;

⁷ Secondo la norma UNI EN 13206 (Appendice A, prospetto A1);

- 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, con tolleranza da +/- 5% per gli spessori e 0+2,4% per le larghezze.

UNI 10452:1995

Tale norma si riferisce alle lastre ondulate ed alveolari a base di materie plastiche trasparenti, incolori 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 ondulati; policloruro di vinile bi orientato (PVC): tipo ondulato; policarbonato (PC): tipo alveolare (protetto a UV); poliestere rinforzato con fibre di vetro (PRFV); tipo ondulato (protetto UV). Le caratteristiche delle lastre avviene in base alla trasmittanza totale alle radiazioni incidenti, effetto serra, resistenza meccanica e durata nel tempo in esercizio (per la quale devono essere garantiti oltre 10 anni). Altre due norme per i materiali di protezione per l'agricoltura, sono:

UNI EN 13655-2003

Tale norma rappresenta la versione ufficiale in lingua italiana della norma europea (2002). Essa viene applicata ai film trasparenti, chiari e diffusi (termici) ed ai film neri e bianco/neri di polietilene e suoi copolimeri che sono destinati alla pacciamatura di vegetali, frutta e floreali. Lo spessore dei film considerati va da 10 µm a 250 µm.

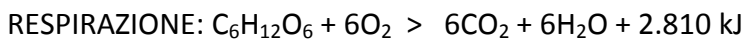
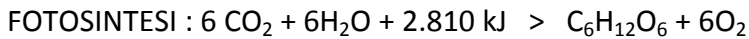
UNI 10406:1995

Tale norma si riferisce a reti a base di fibra polietilenica, impiegate in agricoltura per l'ombreggiamento delle colture orto-floro-frutticole, sia in terra sia in pieno campo, ed in questo caso esercitano anche un'azione antigrandine. Essa stabilisce la definizione, la classificazione e i requisiti di tali reti ad uso agricolo.

IL MICROCLIMA IN SERRA

I parametri microclimatici modificati dalle coperture delle serre e che influenzano maggiormente la fisiologia delle piante sono la temperatura, la radiazione, l'umidità dell'aria, il vento e la concentrazione di CO₂ nell'aria. La temperatura influenza direttamente la velocità di tutte le reazioni biochimiche delle piante (come per esempio la respirazione, la fotosintesi, le altre reazioni anaboliche e cataboliche, ecc.), modulando numerosi fenomeni macroscopici (crescita, traspirazione, ecc.). La gestione ottimale delle produzioni vegetali in ambiente protetto è fortemente condizionato sia dai fattori climatici interni (temperatura dell'aria, ventilazione, umidità relativa, radiazione solare e illuminazione, sanità vegetale) sia dalle interazioni tra i diversi fattori in rapporto alle condizioni microclimatiche (soprattutto dalle interazioni tra radiazione

solare, luce, temperatura, umidità) nei vari stadi di crescita e sviluppo fisiologico e produttivo. Le piante con il processo chimico della *fotosintesi* convertono l'anidride carbonica (CO₂) e l'acqua (H₂O) in materiale vegetale mediante l'impiego dell'energia luminosa che proviene dal sole. In questo modo, l'energia si conserva sotto forma di sostanza organica (zuccheri, grassi). Le piante con il processo chimico della respirazione producono l'energia di cui hanno necessità per tutte le attività che sono indispensabili per i processi di crescita, sviluppo e produzione di biomassa degli organismi vegetali. Per ognuno di tali processi è possibile individuare un livello termico minimo ed uno massimo, al disotto ed al disopra del quale il processo in esame si interrompe (Figg. - 8-9-10). In modo semplice possiamo esprimere i due processi (fotosintesi e respirazione) con la seguente equazione:



Per ogni processo è inoltre individuabile una temperatura ottimale alla quale il processo stesso avviene alla massima velocità. I livelli termici ottimali sono funzione della specie, della *cultivar* e della fase di crescita in cui si trova la coltura (30).

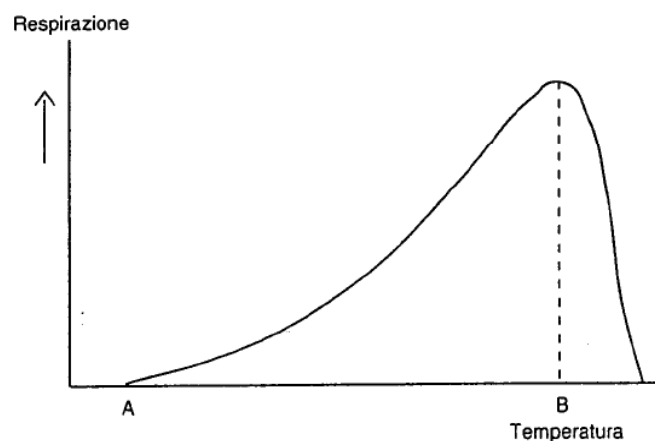


Fig. 8 – Il punto A è il minimo di temperatura al quale la pianta può sopravvivere. La respirazione aumenta con la temperatura fino al punto B (circa 40 °C)

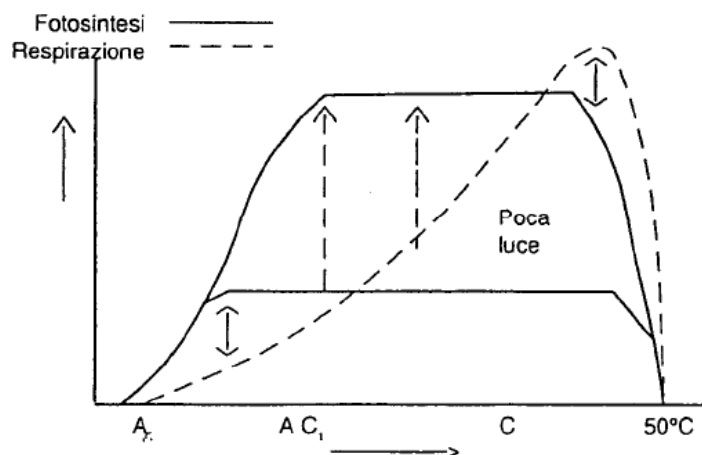


Fig. 9 – A basse temperature la fotosintesi aumenta molto più rapidamente della respirazione. Alla temperatura A si ha la differenza più grande; alla temperatura C non sono più disponibili gli zuccheri per la crescita. Quando si ha una restrizione della luce, valgono le stesse considerazioni, ma a temperature molto più basse (A1 e C1).

La serra, sia nel caso di strutture fisse che mobili, influenza direttamente il microclima in cui le colture svolgono il loro ciclo biologico. Alcuni di questi effetti rappresentano un obiettivo dell'apprestamento protettivo stesso (ad esempio l'innalzamento della temperatura in alcune strutture di protezione per la forzatura delle colture), mentre altri sono altamente indesiderati (es: la riduzione dell'intensità luminosa causata da alcune reti antigrandine). Queste alterazioni del microclima hanno effetti diretti sulla biologia e sulla fisiologia delle piante e quindi su diversi aspetti di interesse economico (lunghezza del ciclo produttivo, produttività della coltura, ecc.).

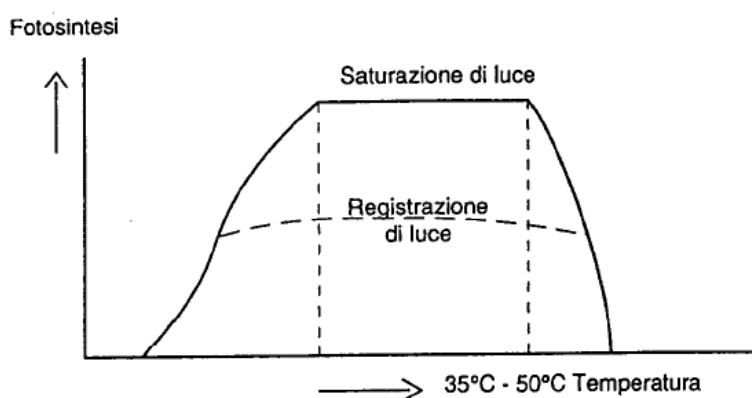


Fig. 10 – All'inizio la fotosintesi aumenta con l'aumentare della temperatura. Sopra i 35 °C la fotosintesi diminuisce e a circa 50 °C la pianta muore.

In particolare all'aumentare dell'intensità luminosa la fotosintesi aumenta fino ad un valore limite detto punto di saturazione per la luce oltre il quale ulteriori incrementi nell'intensità luminosa non determinano aumenti apprezzabili in fotosintesi. Poiché la qualità e la quantità della radiazione solare condizionano direttamente la crescita della coltura, i materiali di copertura devono avere curve di trasmissività che non limitino eccessivamente l'ingresso della radiazione visibile. La diminuzione dell'intensità della radiazione, favorisce l'aumento della riflessione da parte della copertura e delle piante ed i valori interni netti utilizzabili dalle piante si abbassano (della radiazione che colpisce la pianta soltanto il 2-5% viene utilizzata dalle foglie per la fotosintesi) (Fig. 11). Solo parte dello spettro luminoso è comunque utilizzabile dalle piante ai fini fotosintetici. Tale frazione della luce definita radiazione foto-sinteticamente attiva (PAR, *Photosynthetically Active Radiation*) comprende le radiazioni luminose con lunghezza d'onda tra i 400 ed i 700 nm, con una sensibilità foto-sintetico massima nelle regioni del blu (425-450 nm) e del rosso (575-675 nm) (31).

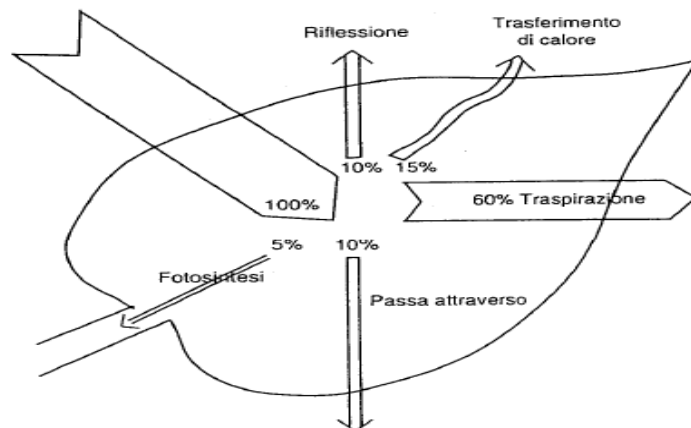


Fig. 11 - Per la migliore intercettazione della luce da parte della coltura occorrono circa 5 m² di superficie fogliare per 1 m² di terreno coperto.

La temperatura dell'aria che si registra nei sistemi vegetali protetti è funzione di una serie di scambi termici (irradiazione, convezione, conduzione, rinnovamento dell'aria, ecc.) che avvengono con l'ambiente esterno (tramite le pareti) e con il terreno. Nell'ottica di un bilancio energetico, per poter ridurre gli scarti di temperatura tra l'interno e l'esterno della serra si può pensare di ridurre le perdite di calore nel terreno e nelle pareti. Le dispersioni attraverso le pareti possono essere ridotte scegliendo materiali plastici sempre più impermeabili alle radiazioni IR lunghe ri-emesse dall'interno dell'ambiente protetto (effetto serra) al fine di creare un microclima di comfort per le piante (Tab. 14).

Tab. 14 – Temperature medie indicate per la coltivazione di piante in serra

Livelli termici dell'aria interna per le principali colture vegetali in serra		
Specie	Temperature ottimali (°C)	
	giorno	notte
Orticole	20-24	12-16
<i>Pomodoro</i>	21-26	13-18
<i>Lattuga</i>	17-22	10-13
<i>Melone</i>	22-28	15-18
Floricole	19-25	14-16
<i>Rosa</i>	20-24	14-16
<i>Crisantemo</i>	17-21	16-17
<i>Gerbera</i>	21-27	12-16

Fonte: ENEA UTEE-AGR 2011-2013, elaborazione effettuata sulla base di differenti fonti bibliografiche (ENEA, USDA, NASA)

La temperatura esprime lo stato termico della materia e ne rappresenta una proprietà intensiva. L'energia termica è invece una proprietà estensiva della materia in quanto varia con l'estensione del sistema in cui essa è conservata. La temperatura può essere considerata come una potenziale misura dell'energia riferita allo stato di agitazione termica di microparticelle: la differenza termica tra due corpi indica infatti il potenziale di un'interazione termica o meglio un potenziale trasferimento di calore. Le piante non riscaldano i loro tessuti con la respirazione, se non in maniera trascurabile, e, rispetto agli animali, entrano facilmente in equilibrio termico con l'ambiente che le circonda.

Se per esempio sottoponiamo una pianta ad una potenza radiante relativamente bassa ($<150 \text{ W/m}^2$) la scarsa quantità di energia assorbita viene facilmente dispersa per conduzione-convezione nell'aria circostante e per traspirazione. Pertanto, le temperature delle foglie e dell'atmosfera circostante rimangono simili (1 o 2 °C di differenza). Dunque, il flusso energetico tra un oggetto e il suo ambiente in condizioni di equilibrio è pari a zero.

Oltre che dall'incidenza dei fattori climatici, i processi di scambio energetico tra pianta e ambiente dipendono dalla conformazione (spessore, forma e dimensioni) della foglia e dalle caratteristiche fisiologiche (traspirazione e periodo di apertura/chiusura degli stomi) peculiari della specie considerata. Le foglie spesse, per esempio, avendo un'elevata capacità termica si riscaldano più lentamente delle foglie sottili anche se, in certi casi, sotto elevati carichi luminosi, raggiungono temperature notevolmente più alte. La temperatura della pianta e, in particolare, la temperatura fogliare, variano, sia in serra che in pieno campo, in maniera parallela con la temperatura dell'ambiente circostante. La differenza tra temperatura fogliare e la temperatura dell'aria dipende anche dal tipo di radiazione assorbita: da questo punto di vista, rispetto alla radiazione infrarossa corta, che viene quasi totalmente riflessa, la luce visibile sembra di gran lunga più efficace per aumentare la temperatura fogliare.

Piante con foglie apparentemente identiche poste in identiche condizioni climatiche hanno spesso, in funzione delle loro capacità traspirative, una diversa risposta termica. Se l'aria è molto calda, la temperatura fogliare può raggiungere livelli molto bassi poiché buona parte dell'energia acquisita dall'ambiente viene dispersa mediante traspirazione. La velocità del vento può causare un incremento o una diminuzione della temperatura fogliare a seconda che la temperatura dell'aria sia più alta o più bassa di quella della foglia; inoltre, una variazione dell'umidità relativa modifica l'intensità della traspirazione e quindi la temperatura fogliare. Con l'assorbimento di energia emanata dal sole o da altri corpi radianti (tubi radianti, lampade elettriche ad alta radiazione termica etc.) i valori di temperatura fogliare si elevano al di sopra dei valori di temperatura dell'aria. In serra la temperatura fogliare è più alta che in pieno campo ed è anche maggiore delle temperature dell'aria interna ed esterna poiché la temperatura fogliare dipende dal flusso termico totale e, all'interno della serra, i flussi termici convettivi sono sempre più bassi di quelli che si verificano all'aperto. Dato che la radiazione termica ad onda lunga non attraversa la plastica o il vetro della serra, le piante scambiano radiazione termica solo con la copertura.

La concentrazione ambientale di CO₂ è anch'essa in grado di influenzare la velocità della fotosintesi. In generale, all'aumentare della concentrazione di CO₂ la velocità fotosintetica aumenta fino a un livello di saturazione in corrispondenza di una determinata concentrazione di CO₂ oltre la quale non si verificano ulteriori incrementi di fotosintesi. Una soglia ottimale di CO₂ in serra (da 900 a 1.400 ppm rispetto alla concentrazione di 330 ppm presente nell'atmosfera) è molto importante per la coltura, poiché regola direttamente il quantitativo di fotosintetati prodotti. Se la serra rimane chiusa per molto tempo, gli scarsi ricambi di aria comportano, specialmente nelle ore più calde, una riduzione della concentrazione di CO₂ (Figure 12)

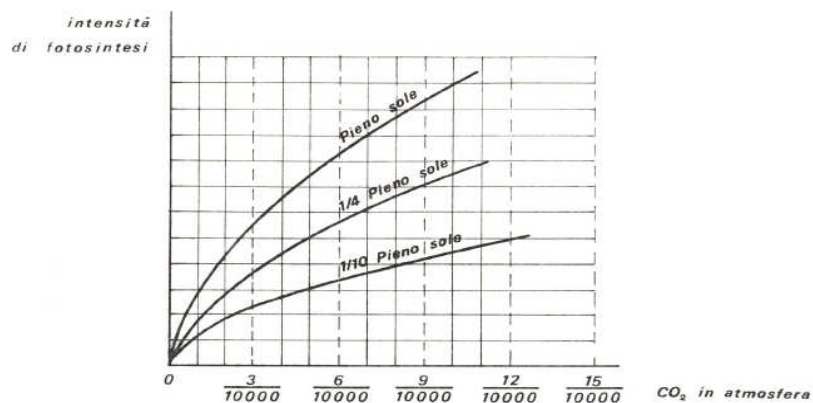


Fig. 12 – Relazione tra fotosintesi e contenuto di CO₂ in atmosfera

La velocità di assimilazione della CO₂ per via fotosintetica è funzione dell'intensità luminosa, e può essere influenzata dal tipo di copertura. Per esempio nel pomodoro, quando si passa da una intensità luminosa di 0,01 a 0,21 Cal cm⁻² min⁻¹, l'assorbimento di CO₂ aumenta progressivamente.

L'umidità dell'aria influenza diversi processi fisiologici e biologici delle piante. Le cause di variazione dell'umidità relativa in un ambiente confinato sono da ricondurre principalmente alla evapo-traspirazione delle piante, alla temperatura interna della serra e alla ventilazione, sia essa naturale che artificiale. I valori di umidità relativa in una serra possono essere sia superiori che inferiori a quelli dell'ambiente esterno a seconda della temperatura presente nella serra. Il deficit di saturazione, in inglese Vapor Pressure Deficit (VPD), è dato dalla differenza tra l'umidità assoluta presente nell'aria interna alla serra e l'umidità di saturazione (Tab. 15). La relazione tra le variabili temperatura, umidità relativa e umidità assoluta si individuano attraverso il diagramma di psicrometrico.

Tab. 15 - Vapor Pressure Deficit (kPa) a differenti temperature e umidità relative

Temperatura (°C)	UMIDITA' RELATIVA (%)							
	99	95	90	85	80	70	60	50
15	0,07	0,085	0,171	0,256	0,341	0,512	0,683	0,853
20	0,024	0,117	0,234	0,351	0,468	0,701	0,935	1,170
25	0,032	0,158	0,317	0,477	0,633	0,950	1,269	1,584
30	0,042	0,212	0,424	0,636	0,849	1,273	1,697	2,122
35	0,056	0,281	0,562	0,843	1,124	1,687	2,252	2,811

Fonte: (32)-Jarvis, 1992

Qualità della luce, si intende l'effetto della luce sull'accrescimento delle piante, ed è uno degli aspetti meno conosciuti ed i riferimenti bibliografici a riguardo sono scarsi. La luce visibile (400-700 nm) è il fattore ambientale determinante per l'accrescimento e lo sviluppo delle piante. La luce (proveniente dal sole o da una lampada) sotto l'aspetto fisico può essere interpretata mediante la teoria elettromagnetica ondulatoria (la radiazione elettromagnetica come propagazione nello spazio delle oscillazioni di un campo elettromagnetico e dell'energia che a queste è associata) oppure mediante la teoria corpuscolare (la radiazione elettromagnetica come sequenza di pacchetti di energia chiamati *fotoni*) (33).

Nel primo caso, il livello di energia della luce è funzione della sua lunghezza d'onda: più corta è la

lunghezza d'onda e più alto è il livello di energia. Il fenomeno della propagazione dell'energia raggiate (proveniente dal sole oppure emessa da un corpo) può essere interpretato con la teoria elettromagnetica ondulatoria (la radiazione elettromagnetica come propagazione nello spazio delle oscillazioni di un campo elettromagnetico e dell'energia che a queste è associata) oppure mediante la teoria corpuscolare (la radiazione elettromagnetica come sequenza di pacchetti di energia chiamati fotoni). In particolare, la radiazione elettromagnetica è caratterizzata dai parametri di *frequenza* (che costituisce il numero di oscillazioni compiute dal campo elettromagnetico per secondo e si esprime in herz) e di *lunghezza d'onda* (che rappresenta la distanza tra due punti successivi nei quali l'onda assume lo stesso valore). La corrispondenza tra una frequenza e la relativa lunghezza d'onda è data dalla formula $\lambda = v/f$ dove v è la velocità di propagazione dell'onda o come suol dirsi, la velocità della luce, che dipende dal mezzo nel quale viaggia la radiazione (è massima nello spazio vuoto). Di seguito si riporta la classificazione relativa allo spettro delle onde elettromagnetiche (Tab. 16).

Tab. 16 - Onde elettromagnetiche

<i>Denominazione</i>	<i>Frequenza (hertz)</i>	<i>Lunghezza d'onda (λ)</i>	<i>Lunghezza d'onda (λ) (di interesse per le piante)</i>
Raggi gamma (Y)	> 30 milioni THz	< 10 pm	
Raggi X	30.000 e 30	Tra 10 pm e 10 nm	Tra 100 e 10 nm
Raggi ultravioletti (UV)	750 e 30.000 THz	Tra 10 e 400 nm	< 380 nm
Radiazione visibile	Tra 385 e 750 THz	Tra 0,4 e 0,78 μ m	Tra 380 e 760 nm
Radiazione infrarossa (IR)	Tra 0,3 e 385 THz	Tra 0,78 μ m e 1 mm	Tra 1 mm e 760 nm
Microonde (TV, radar)	Tra 0,3 e 300 GHz	Tra 1 mm e 1 m	
Radio (medie)	Tra 0,3 e 300 MHz	Tra 1 m e 1 km	
Radio (lunghe)	Tra 30 e 300 kHz	Tra 1 e 10 km	
kilohertz (kHz) = 1000 Hz = 10^3 Hz;			
La radiazione visibile è definita luce in quanto suscita nell'osservatore la sensazione visiva.			

Sulla base dello spettro della luce solare (*Solar light spectrum*), si suddivide la radiazione in: radiazione ultravioletta (U.V.-*Ultraviolet radiation*) tra 290-380 nm che si può ulteriormente classificare in U.V.A (zona dello spettro con le lunghezze d'onda più basse) e U.V.B (zona dello spettro con le rimanenti lunghezze d'onda), luce visibile (PAR-*Photosynthetically active radiation*) tra 380-780 nm, radiazione all'infrarosso corto (I.R.corto-*Short infrared waves*) tra 780-2000 nm, radiazione all'infrarosso lungo (I.R. lungo-*Long infrared waves*) tra 2.000-14.000 nm.

L'intensità e la qualità della luce che penetra all'interno della serra dipendono anche dai valori di trasmittanza, permeabilità all'IR (infrarosso) e trasparenza alla radiazione visibile dei materiali di copertura impiegati oltre che dall'ombreggiamento determinato dalle strutture portanti.

La *trasmittanza* è la capacità a lasciarsi attraversare dall'energia radiante incidente e viene calcolata come rapporto tra le intensità di energia ricevuta ed emergente misurate sulle due facce del materiale. La trasmissione della radiazione è diretta o diffusa a seconda che, incidendo su una faccia, emerga dall'altra in direzione parallela al raggio incidente o si ripartisca in tutte le direzioni.

Le piante utilizzano prevalentemente la luce, con lunghezze d'onda comprese tra 400 e 700 nm (Tab. 17), come fonte di energia per il processo della fotosintesi.

Tabella 17. Classificazione della radiazione che interviene nella fisiologia vegetale

[PPAR (Photo-Physiologically Active Region)]

Luce naturale del giorno	λ (nm)
Ultravioletto	290 - 380
Violetto	380 - 440
Blu	440 - 495
Verde	495 - 570
Giallo	570 - 595
Arancio	595 - 625
Rosso	625 - 700
Infrarosso vicino (NIR)	700 - 3000
Infrarosso lontano (FAR)	3.000 - 100.000

Il Committee on crop terminology della Crop Science Society of America (34)-Shibles, 1976) ha sviluppato alcune definizioni specifiche per studi sulla fotosintesi:

PAR (photosynthetic active radiation), misurato in $\mu \text{ moli} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$. Le piante utilizzano l'intervallo tra 400 e 700 nm (al quale corrispondono circa 300-400 $\mu \text{ moli} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$) (Fig. 13).

PPAR (Photo-Physiologically Active Region): la regione dello spettro utile ai fenomeni fisiologici.

PPFD (densità di flusso fotonico foto sintetico): densità del flusso fotonico nell'intervallo tra 400 e 700 nm rappresenta, in pratica, il numero di fotoni incidenti a 400 e 700 nm per unità di tempo sull'unità di superficie. Si misura in $\text{moli} \cdot \text{m}^{-2}$ per giorno.

Mediamente sul globo terrestre è di 26 $\text{moli} \cdot \text{m}^{-2}$ per giorno. La radiazione solare globale che arriva sulla terra a mezzogiorno in una giornata di sole, corrispondono approssimativamente 1800-2000 $\mu \text{ moli} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. La quantità di luce che colpisce la pianta viene misurata sulla base della quantità di

PPF (Photosynthetic Photon Flux) nella regione del PAR si riferisce al numero dei fotoni per secondo che colpiscono la pianta. Per scopi pratici, si preferisce misurare i fotoni di luce con il simbolo " μmol " che definisce 6×10^{17} fotoni (1 mole, poiché è pari al Numero di Avogadro, definisce 6×10^{23} fotoni definita anche come "1 Einstein" (E)). L'irradianza (o illuminazione) si misura in Watt / m^2 oppure in micromoli di fotoni su metro quadrato al secondo ($\mu \text{moli} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$). Pertanto, i livelli di irradiazione si possono misurare in micro-Einstein oppure in PPF ($\text{Watt} \cdot \text{m}^{-2}$). Si possono utilizzare le seguenti conversioni: $1 \mu \text{mole} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2} = 1 \mu \text{E} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2} = 6 \cdot 10^{17} \text{fotoni} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2} = 0,203 \div 0,219 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ (http://www.egc.com/useful_info_lighting.php).

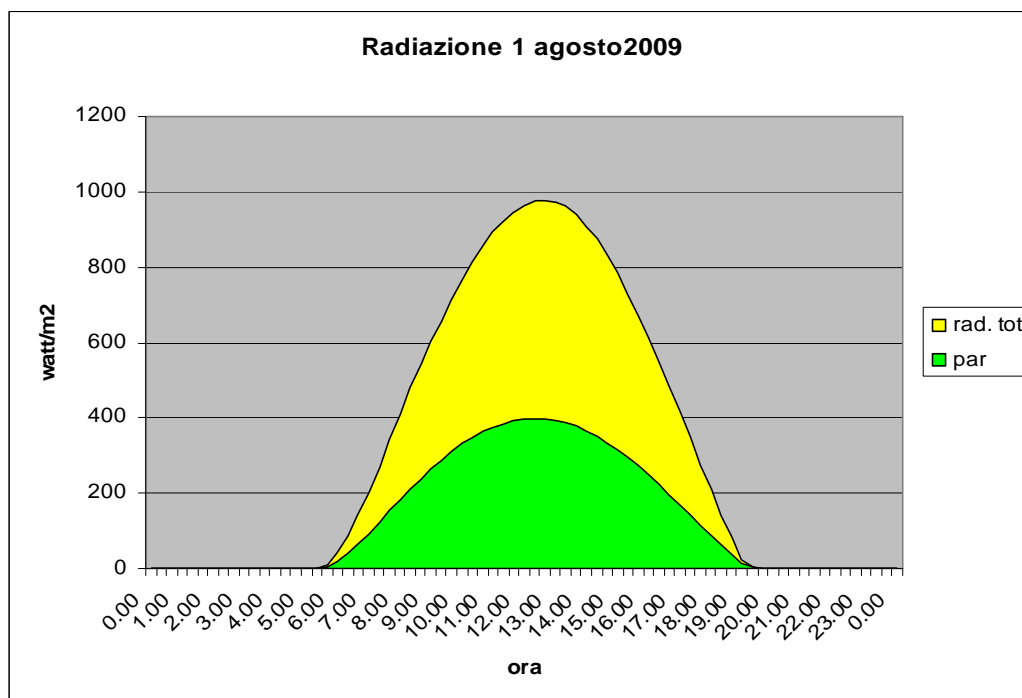


Fig. 13 – Radiazione totale e PAR misurato nell’area di Santa Croce Camerina (Ragusa)

Per quanto riguarda la radiazione luminosa per la crescita e sviluppo delle piante la Tabella 18 riporta i valori espressi in $\mu\text{mol}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$ consigliati per le diverse specie vegetali.

Tab. 18 Livelli di luce raccomandati per diverse specie vegetali [$\mu\text{mol}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$]

Violetta africana	150 - 250
Piante da foglia ornamentali	150 - 250
Garofano	250 - 450
Crisantemo	250 - 450
Giglio	250 - 450
Geranio	250 - 450
Poinsettia	250 - 450
Cetriolo	250 - 450
Lattuga	250 - 450
Fragola	250 - 450
Rosa	450 - 750
Pomodoro	450 - 750

Fonte: (35)-Dr. Louis D. Albright, Cornell University; Plant Growth Chamber Handbook, Iowa Agriculture and Home Economics Experiment Station Special Report No. 99.

ENERGIA FOSSILE PER I SISTEMI SERRA

La climatizzazione delle serre in Italia rappresenta una pratica ormai consolidata nelle regioni del Centro-Nord, soprattutto nei confronti del riscaldamento, mentre è ancora poco diffusa nelle regioni meridionali, data la presenza di un clima più favorevole rispetto alle regioni del Nord Italia. La Tab. 20 riporta una sintesi relativamente ai dati presenti in bibliografia rispetto ai consumi energetici delle serre. Per le zone comprese tra i paralleli 40° nord e 43° nord riferiti ai versanti tirrenici e adriatici, Bianchi (36) ha riportato fabbisogni energetici specifici per serre riscaldate tra dicembre e marzo, per un numero di 350 ore, pari a 220 kcal/m² di superficie coperta e per ora di funzionamento, corrispondenti a un valore totale di 77.000 kcal/m². Tali valori sono in accordo sia con quelli mostrati Tab. 20, riportati da Chiapale (37), per le aree serricole presenti in Francia e sia con quelli raccolti con il Programma Thermie da Campiotti (38; 39). La Malfa (40) riportava come in Italia le richieste termiche stagionali delle serre non raggiungevano i 5-6 kg di gasolio/m². Campiotti ha raccolto dati specifici che hanno consentito la stima riportata nella Tab. 21 (41; 42)

Tab. 19 – Consumi di energia fossile per le coltivazioni in serra in Italia

Fonte	Superficie coperta (ha)	Consumi energetici (tep) ¹
Bianchi, 1977	< 15.000	160 *10 ³
Fiorelli, 177	< 15.000	115 *10 ³
Bodria, 1978	< 15.000	112 *10 ³
La Malfa, 1983	17.000	150 *10 ³
Campiotti, 2010	30.000	350 *10 ³
Campiotti, 2013	42.000	760 *10 ³

¹ 1 tep equivale a 41,868 GJ oppure 11.630 kWh

Tab. 20 - Valori delle potenze termiche installate e di energia richiesta rispetto alle differenze di temperatura tra interno/esterno (dati per serre con un solo film di copertura)

ΔT° (interno-esterno)	Potenza media termica installata		Potenza richiesta	
	Kcal/m ² * h	W/m ²	Kcal/m ² * h	W/m ²
5°C	100	115	45	50
10°C	150	175	90	105
20°C	250	290	180	210

Fonte: Chiapale, J.P. et al. (1980), Acta Horticulturae 115, 443 -502.

Tab. 21 - Potenze medie dei sistemi serra (W/m²)

Paese	Potenze energetiche (W/m ²)
Olanda, Germania	250 - 280
Nord Italia	150 - 200
Centro Italia	100 - 150
Sud Italia	30 - 50
Israele - Tunisia	50 - 110

CARATTERISTICHE DELLA RADIAZIONE SOLARE

La densità di potenza della radiazione solare raccolta fuori dell'atmosfera su una superficie normale alla radiazione solare ha un valore che, in relazione alle diverse distanze che la terra assume nei confronti del sole durante il suo moto di rivoluzione (passa da una distanza di 147×10^6 km a 152×10^6 km) risulta mediamente contenuta tra 1.400 W/m^2 e circa 1.300 W/m^2 . pari a $1.163 \text{ kcal/m}^2/\text{h}$ e a $4.781 \text{ kJ/m}^2/\text{h}$. Per motivi di praticità di calcolo si assume il valore medio di 1.400 W/m^2 (*costante solare*), l'intensità della radiazione che giunge sull'orbita della terra, che in relazione alla rotazione della terra intorno al proprio asse e alla distribuzione su tutta la sua superficie sferica, si riduce come media su un intero anno a 343 watt per metro quadrato negli strati alti dell'atmosfera (44), (45). La luce è scomponibile in diversi colori, corrispondenti alle varie lunghezze d'onda. La luce è visibile per l'occhio umano solo all'interno di un determinato intervallo di lunghezze d'onda ($\lambda = 0,4 - 0,8 \text{ }\mu\text{m}$). Le frequenze immediatamente al di sotto dell'intervallo sono dette *ultraviolette*, quelle immediatamente al di sopra *infrarosse*. Al passaggio nell'atmosfera, alcune lunghezze d'onda vengono attenuate, come rappresentato in Figura 14. Maggiore è la porzione di atmosfera da attraversare (*Air Mass, AM*), più basso è il profilo dello spettro di frequenza. La radiazione che arriva sulla terra, in funzione della latitudine, dell'altitudine, dell'esposizione, della località e della nuvolosità, rappresenta il 51% (radiazione globale) della quantità registrata al limite superiore dell'atmosfera, che si riduce (a causa dell'albedo) fino al 47%. Gli organismi vegetali presenti sulla terra utilizzano della radiazione solare soltanto uno 0,03% dell'energia che entra nell'atmosfera che, tuttavia, consente annualmente la produzione attraverso la fotosintesi di una quantità di energia di circa $15 \times 10^{20} \text{ J}$ (il consumo mondiale di energia è pari a $11 \times 10^{20} \text{ J/anno}$).

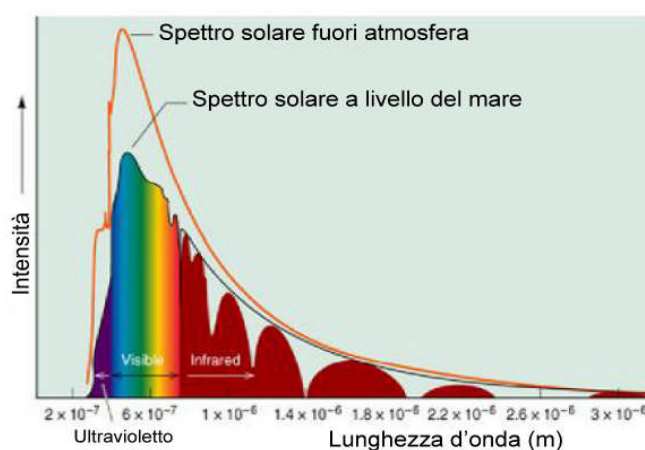


Fig. 14 - Densità spettrali dell'energia solare sulla superficie atmosfera e terrestre

Posizione del sole

La composizione del moto di rotazione della Terra e della sua rivoluzione intorno al Sole avvengono con una velocità costante di $15^\circ/\text{ora}$ (avendosi una rotazione completa della Terra, pari a 360° , in 24 h). Per determinare la posizione del Sole nella volta celeste, si ricorre generalmente a due angoli: l'*altezza solare* (α) e l'*azimut* (γ). Il primo rappresenta l'angolo tra una superficie orizzontale e la retta che la congiunge con il Sole. Il secondo indica l'angolo tra la

proiezione orizzontale della congiungente osservatore-Sole e la direttrice nord-sud. In Fig. 15 sono riportate le rappresentazioni grafiche dei due angoli.

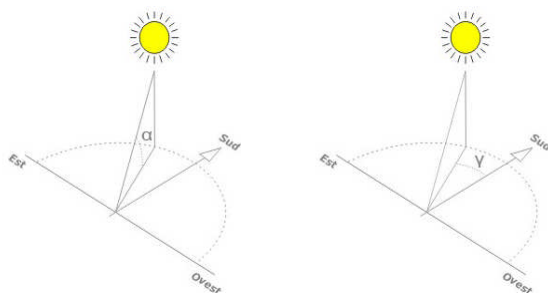


Fig. 15 - Angoli di altezza (α) e di azimut solare (γ)

Per determinare questi angoli, si fa ricorso all'*angolo di declinazione* (δ , angolo tra la direzione dei raggi solari a mezzogiorno e il piano equatoriale) e all'*angolo orario* (ω , angolo tra il Sole e la sua posizione a mezzogiorno). In Fig. sono rappresentati i due angoli visti da un osservatore terrestre. In particolare si definisce angolo orario ω , l'angolo formato dal piano meridiano passante per l'osservatore con il piano meridiano passante per il Sole (Figura 16).

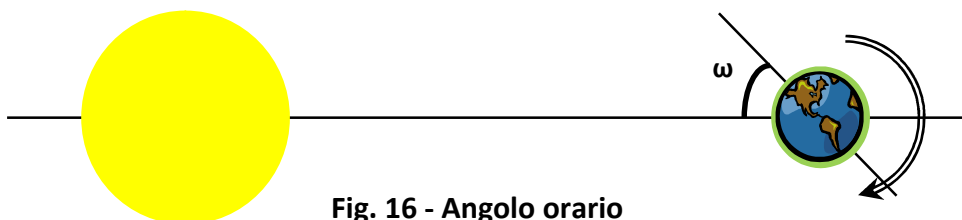


Fig. 16 - Angolo orario

L'angolo orario vale zero a mezzogiorno, è positivo al mattino e negativo al pomeriggio. Il piano di rivoluzione della Terra intorno al Sole, definito piano dell'eclittica, non risulta essere ortogonale all'asse di rotazione terrestre. Difatti il nostro pianeta possiede una inclinazione del suo asse rispetto alla normale al piano di rivoluzione intorno al Sole pari a $23^{\circ}44'$ (Figura 17).

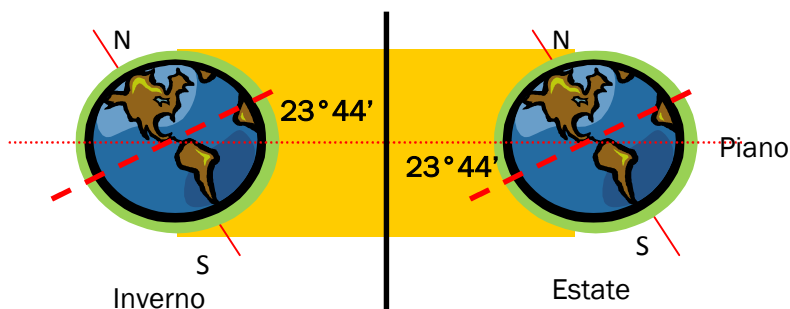


Fig. 17 - Inclinazione asse terrestre

Questa inclinazione fa sì che l'altezza del Sole sull'orizzonte, a mezzogiorno, non sia sempre uguale ma che sia massima al solstizio di estate e minima al solstizio invernale. In pratica è come se il sole apparentemente si spostasse in alto od in basso rispetto all'orizzonte. Agli equinozi il sole sarà allo

zenit all'equatore mentre lo stesso avverrà ai tropici rispettivamente al solstizio estivo ed a quello invernale. Per effetto della declinazione l'altezza del sole sull'orizzonte si sposterà periodicamente nell'arco dell'anno, per cui, a mezzogiorno, l'angolo che la radiazione compie con la superficie terrestre in località con latitudine ϕ sarà compreso tra $\phi + 23^{\circ}44'$ al solstizio estivo e $\phi - 23^{\circ}44'$ al solstizio invernale (Fig. 18).

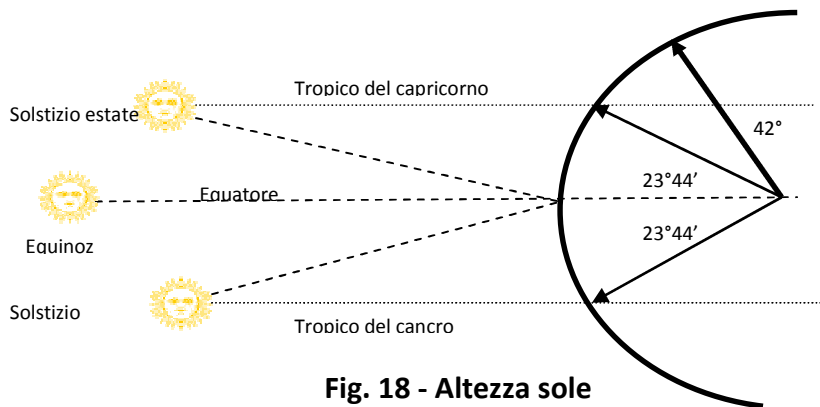


Fig. 18 - Altezza sole

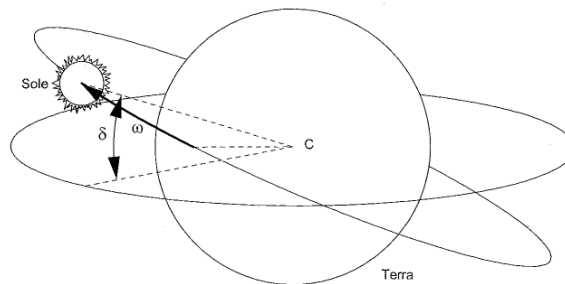


Fig. 19 - Angoli di declinazione e orario visti da un osservatore sulla Terra

L'angolo di declinazione (Fig. 19), come abbiamo detto, tiene conto dell'effetto dovuto all'inclinazione dell'asse terrestre, pari a circa 23.45° . Questo non è un valore costante: l'entità dell'inclinazione varia ciclicamente tra 21.5° e 24.5° nell'arco di 41.000 anni circa, pertanto le variazioni di δ possono essere considerate trascurabili. La declinazione, ossia l'angolo che la direzione dei raggi solari formano, a mezzogiorno, con la direzione dello zenit sul piano equatoriale, si può calcolare in modo approssimato, tramite la relazione: $\delta = 23.45 \sin[360 \cdot (d_n + 284) / 365]$ che fissa la declinazione come costante per l'intero giorno (Figura 20) (46).

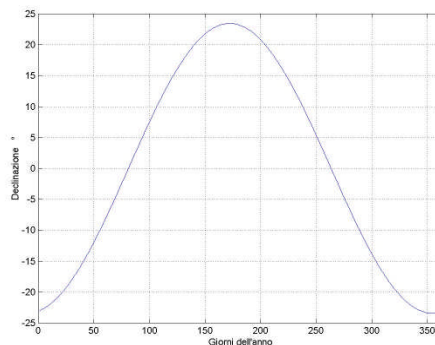


Fig. 20 - Variazione declinazione nell'anno

ENERGIA SOLARE AL SUOLO

In quanto esposto sinora si è ipotizzato che la radiazione che investe l'atmosfera arrivi in modo diretto sulla superficie terrestre, a meno delle riduzioni legate alle manifestazioni di assorbimento molecolare. Nella realtà una parte della radiazione incidente viene diffusa nell'atmosfera a causa dei fenomeni di scattering molecolare o per il pulviscolo presente.

La radiazione diffusa non appare più come proveniente da un punto della volta celeste ma si presenta come uniformemente distribuita su tutte le direzioni. Al suolo riceviamo, pertanto, una certa quantità di radiazioni sotto forma di radiazione diretta ed un'altra parte come radiazione diffusa. La suddivisione tra radiazione diretta e diffusa dipende principalmente dalle condizioni meteorologiche : con il cielo coperto la radiazione è quasi tutta diffusa mentre con cielo sereno la radiazione diffusa è una percentuale minima (10-15 %) della radiazione totale. La conoscenza della percentuale di radiazione diretta e diffusa diviene di interesse qualora si utilizzassero sistemi di raccolta dell'energia solare che siano sensibili solo ad una delle due forme di radiazione.

I sistemi basati sulla raccolta di energia su piani inclinati riescono, invece, a sfruttare anche la componente diffusa. La radiazione diffusa varia durante il giorno in relazione alla posizione del sole, e quindi correlabile alla variazione oraria della radiazione extra atmosferica su un piano orizzontale.

Nel caso di superficie inclinata parte della radiazione diffusa non viene raccolta e quindi si ha una riduzione dell'energia collezionabile durante l'anno. Questa diversità tra radiazione diretta e diffusa sul piano di raccolta ci porta a riconsiderare l'angolazione del piano rispetto la superficie terrestre. Se per la diretta si ha un beneficio innalzando il piano sino ad un angolo di tilt pari alla latitudine, per effetto della radiazione diffusa sarebbe consigliabile ridurre questo angolo. La decisione è strettamente legata alla quantità di radiazione diffusa che si può avere in una determinata località in relazione alle condizioni meteorologiche che si presentano durante l'anno. In condizioni estreme, ove la radiazione diffusa predomina in modo rilevante sulla radiazione diretta, potrebbe essere conveniente ridurre notevolmente l'inclinazione, sino ad annullarla, per favorire la massima raccolta della radiazione diffusa.

La tipologia di dispositivo di raccolta dell'energia solare può essere un ulteriore elemento di influenza sulla scelta dell'angolo di inclinazione. Infatti i dispositivi che lavorano in modo proporzionale con l'energia incidente (come i pannelli fotovoltaici) possono essere posti anche con angoli minori nel caso prevalga la componente diffusa. Invece i dispositivi di raccolta che hanno bisogno di forti intensità di radiazione o che lavorano con una radiazione superiore ad una certa soglia debbono poter sfruttare al massimo la radiazione diretta e quindi ricercano una inclinazione pari a quella della latitudine. Una ulteriore fonte di raccolta della radiazione, è stabilita da quella piccola componente riflessa dal terreno, nota come albedo. Questa radiazione dipende molto dal sito ove si colloca la superficie di raccolta della radiazione solare e può variare fortemente stagionalmente (si pensi alla diversa riflettanza in presenza di neve durante l'inverno). Per l'inclinazione della superficie si ha un comportamento opposto a quello della radiazione diffusa: un minore inclinazione riduce la possibilità di raccolta della radiazione riflessa.

La variabilità della intensità di radiazione nel tempo ci induce ad utilizzare, come indicatore degli effetti radiativi del sole, l'energia che si raccoglie per unità di superficie. Matematicamente questo vuol dire eseguire l'integrale nel tempo della potenza di radiazione raccolta. Nel caso di

radiazione diretta questa energia possiede un massimo per angolo di tilt uguale alla latitudine e per angolo di azimut nullo (orientamento verso sud). Avendosi una grande dipendenza da fattori temporali, spaziali e meteorologici la grandezza che meglio indica le caratteristiche locali di un sito è data dalla radiazione media giornaliera, espressa in kWh/m² per giorno, o alternativamente quella mensile od annuale. La radiazione media presuppone che sia stata eseguita una statistica valida su un numero sufficiente di dati storici raccolti in punti precisi del territorio : è appunto l'analisi di queste serie storiche che consente di qualificare, dal punto di vista solare, una determinata località. Generalmente, la radiazione media giornaliera, su base mensile od annuale, è quella raccolta su un piano orizzontale e rappresenta quella globale senza distinzione tra la diretta e la diffusa. Quella effettiva subisce scostamenti entro il 20%, in più od in meno, dal valore mediato a causa della diversità delle condizioni meteorologiche. In Italia la differenza di latitudine incide sui valori medi giornalieri: la zona settentrionale presenta radiazione minima a dicembre con valori intorno 1 kWh/m² contro 1.5 kWh/m² al centro e 2 kWh/m² al meridione. In estate il massimo della radiazione nella zona settentrionale tocca i 6.2 kWh/m² a fronte di 6.5 e 6.8 kWh/m² rispettivamente al centro ed al sud, comprese le isole (47). I dati della radiazione solare al suolo su piano orizzontale consentono di qualificare le diverse regioni geografiche (Fig. 21).

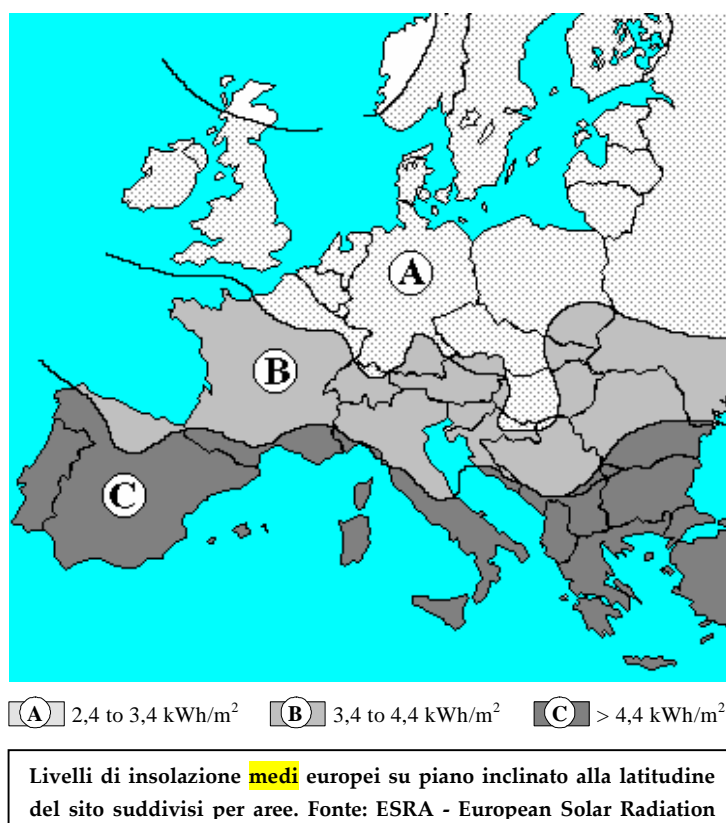


Fig. 21 - Radiazione solare in Europa

Esistono alcune relazioni empiriche che ci aiutano a valutare quanto vale la componente diffusa (espressa sempre in media) in un determinato sito geografico in funzione della radiazione media globale. In alcune località queste informazioni sono ottenute direttamente essendovi installate delle apparecchiature di misura per il rilevamento di entrambe le componenti della radiazione. La

parte diffusa su piano orizzontale è ricavabile dalla relazione di Liu e Jordan (48) :

$$H_{d,0} = H_0 (a + b H_0 / Q_0)$$

essendo H_0 la radiazione globale su piano orizzontale e Q_0 la medesima radiazione esterna all'atmosfera. I coefficienti a e b dipendono dalla località ove la radiazione insiste, e nel caso di Roma $a = 0,881$ e $b = - 0,972$. La componente diretta si estrae dalla globale sottraendovi la componente diffusa. Nel caso di superficie inclinata la radiazione media subisce delle variazioni in relazione agli angoli di inclinazione (*tilt*) e di azimut. Come detto precedentemente l'angolo di tilt ideale dovrebbe essere all'incirca uguale alla latitudine ma esso subisce scostamenti in funzione delle componenti diffusa e diretta. La determinazione dell'angolo ideale viene eseguito mediante il calcolo della radiazione diffusa e diretta durante l'anno in modo da massimizzare la raccolta di energia durante l'intero periodo. Dai valori medi su superficie orizzontale possono essere estrapolati quelli su superfici piane inclinate sfruttando le relazioni :

$$E_{dir} = E_{dir,0} * R$$

$$E_{dif} = E_{dif,0} * (1 + \cos \beta)/2$$

$$E_{rif} = (E_{dir,0} + E_{dif,0}) * r * (1 - \cos \beta)/2$$

avendo indicato con r la riflettività del terreno e con R il coefficiente che tiene conto del posizionamento della superficie (funzione dell'inclinazione e dell'azimut). In località favorevoli è possibile raccogliere annualmente circa 2.000 kWh da ogni metro quadrato di superficie. Lungo le coste dell'Italia Meridionale ed Insulare domina un clima a grande scala di tipo mediterraneo, con livelli di irraggiamento medio annuo (Fig. 22), del tutto accettabili per applicazioni pratiche (49).

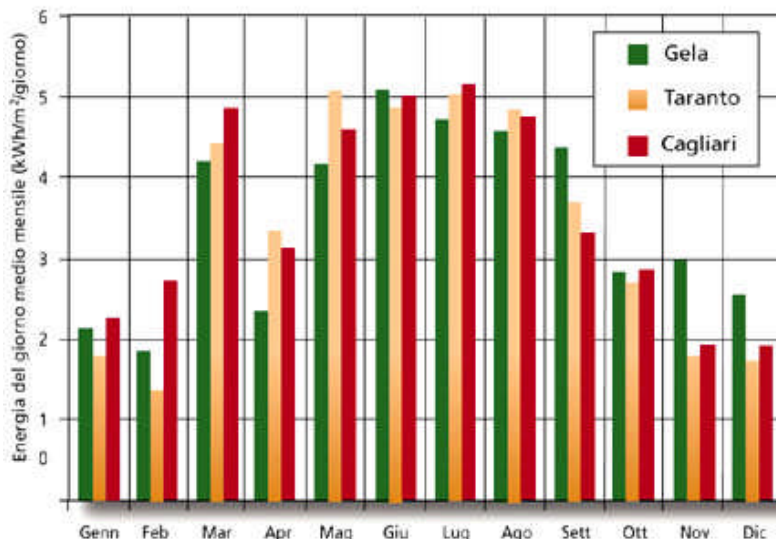


Fig. 22 - Energia media giornaliera in alcuni siti di riferimento

Per l'Italia, geograficamente compresa tra le latitudini 35° e 45° Nord, la radiazione solare media incidente sul territorio ha un valore globale pari a 1.000-1.100 kWh/m².anno per le regioni settentrionali e di 1.300-1.350 kWh/m².anno, equivalenti all'energia contenuta in 90÷120 kg di

gasolio, con rapporti tra radiazione estiva e invernale di 6÷7 al Nord e di 3,5÷4,5 al Sud, con punte di irraggiamento medio annuo fino a 1.600÷1.800 kWh/m² per alcune aree specifiche della Sicilia (50). La radiazione annua è calcolata come integrale della intensità di radiazione incidente lungo l'intero periodo di riferimento.

La stessa radiazione giunta al suolo è equivalente a quella prodotta da una intensità di radiazione pari ad 1 kW/m² che persiste per un periodo di tempo tale da uguagliare la radiazione globale reale: $E_g = h_e * I_r = h_e * 1 \text{ kW/m}^2$. Valori indicativi per le ore sole equivalenti (h_e) sono 3,8 per Milano, 4,1 per Roma e 4,5 per Palermo. Le ore equivalenti coincidono con la radiazione media giornaliera mediata su un anno e sono a volte indicate in kWh/m² giorno.

I problemi connessi con l'utilizzazione della risorsa solare per la climatizzazione delle serre sono riconducibili alla discontinuità dell'energia solare durante l'anno e di conseguenza allo sviluppo di idonei sistemi e processi sia per accumulare l'energia prodotta sia per distribuirla nella forma più compatibile con i limiti di rendimento dei pannelli captatori e delle modalità di distribuzione alle piante. Facendo riferimento alla quantità di energia prodotta con un impianto fotovoltaico al fine di coprire le richieste elettriche di un sistema serra, in una tipica zona del Meridione un metro quadrato di moduli fotovoltaici è in grado di produrre un'energia media giornaliera pari a 0,3÷0,4 kWh_{el} nel periodo invernale e pari a 0,6÷0,8 kWh_{el} in quello estivo.

FLUSSI TERMICI DELLA SERRA

Per effetto della radiazione solare la temperatura della serra risulta più alta rispetto a quella dell'aria esterna. Spesso, però, i livelli termici raggiunti non sono sufficienti e, soprattutto in particolari periodi dell'inverno, per garantire la qualità e la quantità delle produzioni ortofloricole si ricorre al riscaldamento artificiale. L'approntamento dell'energia necessaria per raggiungere i livelli termici desiderati richiedono la conoscenza delle caratteristiche termiche della serra e dei modi con cui in l'energia vi si propaga. La radiazione solare viene variamente assorbita, riflessa o trasmessa dalla vegetazione, dal suolo e dai materiali di costruzione della serra (51). Per comprendere le modalità con cui si verificano questi fenomeni è utile richiamare il concetto di corpo nero. Un corpo nero, corpo ideale, assorbe la totalità della radiazione incidente e di conseguenza emette la più elevata quantità di energia termica. Questa energia viene irradiata (corpo radiante) in tutte le direzioni. Il terreno e la vegetazione della serra, assorbendo energia solare, si comportano come corpi radianti. Essi, secondo la legge di Stefan-Boltzmann:

$$E_b = \sigma T^4 \quad (\text{W} \cdot \text{m}^{-2})$$

in cui:

$$\sigma = \text{costante di Stefan-Boltzmann} = 5,6697 \cdot 10^{-8} \text{ (W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}\text{)};$$

T = temperatura assoluta di un corpo nero (K);

emettono energia radiante in quantità proporzionale alla 4^a potenza della loro temperatura assoluta. La lunghezza d'onda di questo flusso energetico dipende inoltre dal tipo e dalla superficie del materiale radiante nonché dalla composizione del miscuglio gassoso che l'avvolge.

Per la 1^a legge della termodinamica:

$$\rho + \alpha + \tau = 1$$

dove:

ρ = riflettanza; α = assorbanza; τ = trasmittanza.

Un corpo reale assorbe una quantità di radiazione inferiore a quella assorbita da un corpo nero e pertanto emette meno energia radiante. La legge di Kirchoff dice che l'emissività (ϵ) di una superficie reale è uguale alla sua assorbanza: ciò si applica strettamente soltanto alla radiazione monocromatica ma può essere considerato vero anche per la radiazione totale. Pertanto, possiamo considerare $\epsilon = \alpha$. I valori di ϵ , ρ , α e di τ dipendono sia dal materiale che dalla lunghezza d'onda della radiazione. Nel vetro, ad esempio, la trasmittanza è circa 0,9 per il PAR, mentre è quasi zero per la radiazione infrarossa. All'interno della gamma di radiazioni emesse da un corpo radiante esiste una lunghezza d'onda, specifica per quel corpo, secondo la quale viene rilasciata la più alta frazione di energia (52).

Per la Legge di Wien, tale lunghezza d'onda, definita come *lunghezza d'onda del massimo*, è inversamente proporzionale alla temperatura assoluta: un corpo ad elevata temperatura emette quindi molta energia radiante a ridotta lunghezza d'onda del massimo e viceversa. Il sole ha temperatura e potenza radiante notevoli ed emette, prevalentemente nel campo del visibile e dell'infrarosso corto, con lunghezza d'onda del massimo intorno a 5.000 Å (banda del giallo); il terreno e le piante, al suo confronto, hanno invece basse temperature e rilasciano una quantità di energia modesta, prevalentemente sottoforma di radiazioni infrarosse lunghe con lunghezza d'onda del massimo intorno a 90.000 - 100.000 Å.

Pertanto, se l'irraggiamento solare apporta calore alla serra tramite l'IR corto e la banda del visibile, la vegetazione e il suolo la disperdono sottoforma di radiazioni infrarosse lunghe: l'incremento di temperatura prodotto all'interno dell'ambiente protetto è dovuto *all'effetto serra*, cioè alla capacità della copertura trasparente di lasciarsi attraversare dalle radiazioni a lunghezza d'onda minore (IR corto, visibile e UV) ostacolando il passaggio delle onde lunghe rilasciate dai corpi interni alla serra. L'intensità con cui si verifica questo fenomeno influenza la *resa termica della serra* cioè la sua attitudine a riscaldarsi durante il giorno e a trattenere durante le ventiquattro ore il calore accumulato. Ciò dipende dal *coefficiente di trasmissione* o *permeabilità (P)* all'IR lungo che caratterizza ciascun materiale di copertura. La dispersione di calore per irraggiamento dipende anche dal rapporto volume della serra/superficie coperta. Un rapporto elevato consente di mantenere più stabile e senza brusche variazioni la temperatura interna, contenendo entro certi limiti la caduta termica notturna, in quanto una maggiore massa d'aria funziona da regolatore della stessa (funzione volano).

Inoltre, le perdite di calore vengono parzialmente contenute dalla condensa che si forma sulla parte interna della serra la quale assorbe gran parte delle radiazioni infrarosse. Con materiali di copertura molto permeabili all'IR lungo si può verificare, in condizioni di cielo sereno e scarsa ventosità, il fenomeno *dell'inversione termica*. L'aria a contatto col suolo, si riscalda per effetto dell'irraggiamento terrestre e, perdendo densità, si sposta in alto, cedendo calore all'esterno,

mentre in basso viene sostituita da aria fredda proveniente dalle fessure. All'esterno della serra, invece, lo scambio radiativo con il cielo assume una certa importanza. Il cielo viene considerato come un corpo nero con temperatura tra 0 e -20 K al di sotto della temperatura dell'aria. La radiazione da questo emessa dipende comunque anche dalla sua nuvolosità (53).

Flusso termico convettivo

La propagazione del calore per convezione é data dal processo di scambio termico che si realizza tra una superficie solida e un fluido con essa a contatto. Il movimento del fluido, nel caso della convezione naturale, dipende da variazioni di densità, ovvero di temperatura, mentre nel caso della convezione forzata esso viene innescato meccanicamente. In ogni caso il tasso di trasferimento termico tra la superficie e il fluido dipende dalla legge di Newton:

$$Q = A h (T_s - T_w) \quad (W)$$

dove:

A = superficie (m²);

h = coefficiente di trasferimento termico convettivo (W m⁻² K⁻¹);

T_s - T_w = differenza di temperatura tra la superficie e la massa fluida (K).

Le correnti convettive del fluido in un sistema chiuso hanno l'effetto di uniformare la temperatura della massa. Se consideriamo una serra, l'aria a contatto con il suolo e la vegetazione si riscalda e, diminuendo di densità, sale verso la sommità dove, attraverso le fessure o la porosità della copertura, fluisce verso l'esterno. Per il calo di pressione viene conseguentemente richiamata dal basso aria fredda esterna che, a sua volta, riscaldandosi, risale verso l'alto fuoriuscendo fino al raggiungimento di un equilibrio isotermico tra aria interna ed esterna che dipende dalla velocità del vento e dall'umidità'. L'aria ha bassa inerzia termica e il calore all'interno della sua massa si propaga quasi esclusivamente per convezione. Le correnti convettive e il tasso di ricambio dipendono dalla differenza di temperatura e pressione nei diversi punti della massa gassosa. Per risolvere l'equazione precedente si considera il numero di Nusselt (Nu) che rappresenta il rapporto tra il calore trasferito per convezione e il calore trasferito tramite conduzione (54):

$$Nu = h L/\lambda$$

dove L = dimensione standard del sistema.

Calore latente

Si riferisce al calore che, quando viene somministrato a un corpo, ne provoca il suo cambiamento di stato, a temperatura costante. In questo caso l'effetto provocato dal calore non consiste un

aumento della temperatura, ma in una trasformazione dello stato fisico della materia. Si distingue dal calore sensibile che è il calore che, quando viene somministrato ad un corpo, provoca invece un aumento della sua temperatura. Per effetto del calore latente di vaporizzazione il miscuglio gassoso dell'aria contiene vapor d'acqua. La condensazione di questo vapore d'acqua su una superficie qualsiasi avviene con rilascio di calore (verso la superficie) e dipende dalla sua concentrazione, e quindi dall'umidità assoluta dell'aria. Il tasso di trasferimento di massa viene espresso come:

$$Q_m = mA (X_s - X_\omega) \quad (\text{Kg s}^{-1})$$

dove:

m = coefficiente di trasferimento di massa ($\text{Kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$);

X_s = umidità assoluta della superficie ($\text{Kg} \cdot \text{Kg}^{-1}$);

X_ω = umidità assoluta della massa fluida ($\text{Kg} \cdot \text{Kg}^{-1}$);

A = superficie (m^2).

Nel contesto della serra, i processi più importanti in cui è implicato il calore latente sono la traspirazione delle piante, l'evaporazione d'acqua dal suolo e la sua condensazione sulla superficie interna della copertura.

Flusso termico conduttivo

Quando all'interno di un corpo solido esiste un gradiente di temperatura, l'energia termica viene trasferita per conduzione dalla regione più calda a quella più fredda del corpo. In questo caso, il tasso di trasferimento termico è dato dall'equazione di Fourier:

$$Q = \lambda/L A (T_1 - T_2) \quad (\text{W})$$

dove:

λ = conduttività termica del corpo ($\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$);

L = spessore del materiale (m);

A = sezione attraverso la quale viene propagato il calore (m^2);

$T_1 - T_2$ = differenza di temperatura (K).

Il calore propagato per conduzione è direttamente proporzionale alla differenza termica e alla conduttività del corpo e inversamente proporzionale allo spessore che attraversa. Questa relazione monodimensionale può essere utilizzata per descrivere la conduzione del calore sia attraverso il materiale di copertura sia all'interno della serra.

In quest'ultimo caso, se viene considerata la zona limitrofa alle pareti della serra, la distribuzione della temperatura va considerata secondo due direzioni. Anche se la sua inerzia termica è

maggiore di quella dell'aria, la temperatura del suolo varia con le stagioni, mentre le escursioni termiche sono limitate e dipendono dalle caratteristiche strutturali e di tessitura del terreno.

BILANCIO TERMICO DELLA SERRA

La predizione delle temperature dell'aria interna in funzione delle condizioni meteorologiche esterne oppure il calcolo dell'energia necessaria per raggiungere un prefissato livello termico sono possibili se si conosce il bilancio energetico di tutti i componenti che interagiscono termicamente all'interno della serra. In genere si assume che abbiano maggiore importanza i flussi termici conduttivi e le perdite di calore per infiltrazione, da cui la perdita termica totale per unità di superficie può essere espressa come:

$$q = q_c + q_i \quad (\text{W m}^{-2})$$

dove:

$$q_c = \text{flusso di calore per conduzione (W m}^{-2}\text{)}$$

$$q_i = \text{flusso per infiltrazione d'aria (W m}^{-2}\text{)}.$$

Fabbisogno termico

La valutazione della richiesta di calore può essere calcolata, in prima approssimazione, facendo ricorso al coefficiente globale di scambio di calore U:

$$Q = A_c * U * (T_i - T_e) \quad (\text{W})$$

Il calore richiesto per metro quadrato di superficie di serra è:

$$q = A_c/A_g * U * (T_i - T_e) \quad (\text{W/m}^2)$$

in cui:

U = coefficiente globale di scambio di calore tra l'esterno e l'interno della serra;

A_c (m^2) = area della copertura della serra;

A_g (m^2) = area della superficie coperta della serra (area di coltivazione);

T_i ($^{\circ}\text{C}$) = temperatura desiderata all'interno della serra;

T_e ($^{\circ}\text{C}$) temperatura minima esterna di riferimento.

Il coefficiente globale U dipende dal materiale di copertura, dal sistema di riscaldamento, dalla

velocità del vento, dal sistema di irrigazione, dalla nuvolosità e dalla pioggia, ecc. Per velocità del vento inferiori a 4 m/sec, sono consigliati i seguenti valori di U:

6-8 W/m²K per coperture in film singolo;

4-5,5 W/m²K per coperture in film doppio;

5 W/m²K per coperture in vetro semplice;

2,5 W/m²K per coperture in vetro doppio o doppio strato alveolare.

Energia solare ed energia termica

Per una serra tradizionale (a padiglione) si assume, in generale, che la serra si comporti come una superficie orizzontale pari all'area coperta. Quindi, abbiamo:

$$Q_s = f * \tau * A_g * I \quad (W)$$

dove:

Q_s = quantità di energia termica prodotta dalla radiazione solare in serra per unità di tempo;

f = fattore di conversione ossia frazione di radiazione convertita in calore;

τ = trasparenza media del materiale di copertura;

I = intensità di radiazione globale.

Per m² di superficie si ha:

$$q_s = f * \tau * I$$

La trasparenza media è di 0,55 - 0,70 per i polimetacrilati, policarbonato, film semplice e vetro; mentre per il doppio film è di 0,5 - 0,6. Il fattore f varia in funzione del tipo di coltura tra 0,5 e 0,75.

Energia termica per il riscaldamento

Dal bilancio termico della serra deriva che l'effettiva energia termica richiesta dall'impianto di riscaldamento è data dalla differenza tra la quantità di calore dispersa (q_d) e quella apportata dalla radiazione solare (q_s).

Quindi:

$$Q_t = q_d - q_s = A_c/A_g * U * (T_i - T_e) - f * \tau * I \quad (W/m^2)$$

La quantità di calore Q_t dovrebbe essere calcolata ora per ora, utilizzando i valori di T_e e di I rilevati nel sito considerato. Di seguito si riportano i valori di U (Tab. 21) utili e i valori dell'intensità di radiazione solare per la progettazione dei carichi termici delle serre (Tab. 22).

Tab. 21 - Valori di U ($W\ m^{-2}\ K^{-1}$) per la valutazione del carico termico delle serre

	Velocità del vento		
	nulla	Debole *	forte
Copertura			
Film plastico	8,3	8,3	10,4
Vetro semplice	6,9	7,6	8,7
Doppio strato (vetro+plastica)	5,2	5,8	6,9
Doppio strato (vetro+vetro)	4,7	4,6	5,8
Polycarbonato	3,4	3,9	4,4
Hortiplus	5,2	5,6	6,5

* Il vento è definito debole quando iniziano a muoversi le foglie

Tab. 22 - Stima dei valori di intensità della radiazione solare globale rispetto alla latitudine in alcuni mesi dell'anno (rilevati alle ore 12 solari). Q_{max} : $kcal*m^{-2}*h^{-1}$ (A) oppure $W*m^{-2}$ (B)

Latitudine	dicembre		marzo		giugno		settembre	
	A	B	A	B	A	B	A	B
32° N	470	550	735	855	905	1050	790	915
38° N	390	455	670	780	885	1025	730	845
44° N	305	355	590	685	855	995	665	770

Fonte: (55) - Protected cultivation in the Mediterranean climate. FAO, 1990.

BILANCIO ENERGETICO DELLA SERRA

In relazione a quanto finora riportato, è evidente che una trattazione completa del bilancio energetico con $\sum H=0$ del sistema serra non può prescindere da un calcolo che tenga conto di differenti flussi di energia che interagiscono tra di loro, dei quali i principali sono indicati nella Tab. 23.

Tab. 23 – Parametri dei principali flussi di energia in serra

Parametri	Aria interna (a)	Pianta (p)	Suolo (f)	Tetto (r)	Condizionamento (h)	Sole (sr)	Aria esterna (ea)	Cielo (s)
Aria	*	c, l	c, l	c, l	c	-	i	-
Pianta	c, l	*	r	r	r	sr	-	r'
Terreno	c, l	r	k	r	r	sr	-	r'
Tetto	c, l	r	r	*	r	sr	c	r'

c = convezione; k = conduzione; sr = radiazione solare; r' = trasmissività del tetto se superiore a 0
l = calore latente; radiazione; i = infiltrazioni e/o perdite di calore

Aria: $cH_p + cH_f + cH_r + (cH_r) + iH = 0$
Canopy vegetale: $cH_a + lH_a + rH_f + rH_r + (rH_h) + srH + rH_s = 0$
Suolo: $cH_a + lH_a + rH_p + kh_f + rH_r + (rH_h) + srH + rH_s = 0$
Tetto: $cH_a + lH_a + rH_p + rH_f + (rH_h) + srH + cH_{ea} + rH_s = 0$
Condizionamento (riscaldamento/raffreddamento): $cH_a + rH_p + rH_f + rH_r + hH = 0$

Fonte (51)

Tenuto conto dell'assenza di inerzia termica della struttura, definiti l'inerzia della *canopy* vegetale e i meccanismi dei flussi di calore nel terreno, è possibile definire il bilancio termico totale della serra. Per i nostri scopi tuttavia si può fare riferimento a una trattazione più semplice, di seguito descritta. In generale, il sistema serra disperde energia (calore) attraverso le pareti per convezione, conduzione e irraggiamento. Il bilancio termico di un sistema serra risulta positivo nelle giornate miti e con sole (l'energia che entra è maggiore dell'energia che esce) mentre risulta negativo di notte o nelle giornate rigide o prive di sole. Quando la temperatura interna della serra scende sotto il valore di temperatura necessario per le piante diventa necessario il riscaldamento artificiale

MODELLO DI BILANCIO TERMICO DEL SISTEMA SERRA

In accordo con quanto finora riportato rispetto al calcolo del bilancio termico di una serra e del carico termico necessario a mantenere le condizioni microclimatiche adatte alla crescita e allo sviluppo delle colture vegetali, si propone un modello di bilancio e calcolo del carico termico di una serra sulla base dello scambio di calore calcolato per un'unità di superficie di terreno coperto (54). In particolare la Fig.23 illustra i principali flussi e scambi di calore che caratterizzano il sistema serra.

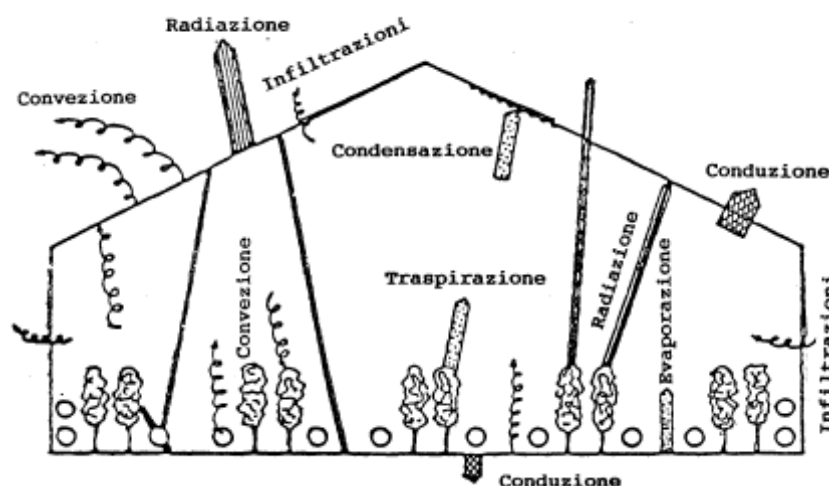


Fig. 23 – Flussi energetici nel sistema serra

Il bilancio termico di un sistema serra è dato, in prima approssimazione da:

$$q = q_k + q_i + q_l \quad (\text{W/m}^2)$$

mentre quello totale con:

$$Q = A_g * q \quad (\text{W})$$

dove:

q_k	(W/m^2)	flusso di calore scambiato per conduzione;
q_i	(W/m^2)	flusso di calore per infiltrazioni di aria esterna;
q_l	(W/m^2)	flusso di calore che entra per irraggiamento solare;

A_g (m²) superficie del terreno sotto la serra.

La quantità di flusso di calore scambiato per conduzione può essere calcolata con la relazione:

$$q_k = A_c/A_g * (T_i - T_e) * h \quad (\text{W/m}^2)$$

dove:

A_c (m²) area della copertura;
 T_i (K) temperatura dell'aria interna;
 T_e (K) temperatura dell'aria esterna;
 h (W/m²*K) coefficiente di scambio termico (conduzione e convezione) della copertura.

Il coefficiente di scambio termico h in realtà tiene conto non solo degli scambi di calore attraverso la copertura dovuti a fenomeni di conduzione e di convezione, bensì anche di quelli generati da fenomeni radiativi. E' possibile calcolare tale coefficiente attraverso la seguente formula empirica:

$$h = b * h_0 \quad (\text{W/m}^2 * \text{K})$$

dove: $h_0 = 1/(R_i + R_k + R_e)$ (W/m²*K)

con:

R_i resistenza termica della superficie interna della copertura (W/m²*K)
 R_k resistenza termica del materiale di copertura (W/m²*K)
 R_e resistenza termica della superficie esterna della copertura (W/m²*K)
 b fattore di correzione per la velocità del vento (W/m²*K)

R_i rappresenta le resistenze termiche che si verificano con il passaggio di calore per conduzione e convezione. Il valore di questo coefficiente dipende principalmente dal tipo di riscaldamento installato nella serra il quale determina la stratificazione della temperatura dell'aria interna alla serra e la velocità che l'aria assume nell'attraversare la copertura della serra.

R_k dipende esclusivamente dalle caratteristiche del materiale di copertura. Nel caso in cui la copertura risulti composizione di più materiali allora: $R_k = \text{somma } (j) R_j$

R_e dipende principalmente dalla velocità del vento e dall'intensità della radiazione solare.

Una formula semplificata che calcola la perdita di calore per le infiltrazioni di aria esterna è la seguente:

$$q_i = h_i * (T_i - T_e) \quad (\text{W/m}^2)$$

dove il coefficiente di scambio termico è:

$$h_i = (n * V * d * C_p)/(A_g * 3.600) \quad (\text{W/m}^2 * \text{K})$$

con:

$n = n_1 * c$ vol/h quantità di aria scambiata;

V	m ³	volume dell'aria nella serra;
d	kg/m ³	densità dell'aria;
Cp	J/kg / K	calore specifico dell'aria a pressione costante.
c	-	fattore di correzione

Le infiltrazioni di aria esterna dipendono in particolare dal tipo di serra, dal materiale di copertura, dalla direzione e dalla velocità del vento. La quantità di calore che entra per effetto della radiazione solare incidente è data dalla seguente equazione:

$$q_i = I * \tau * \gamma \quad (\text{W/m}^2)$$

dove:

- I intensità della radiazione solare (globale) (W/m²) ;
 τ trasmissività della serra;
 γ coefficiente di assorbimento della serra: in media 0,3 < γ < 0,7.

Le tabelle 24-25-26-27 riportano i coefficienti utili alla progettazione delle richieste termiche delle serre (54).

Tab. 24 - Valori dei parametri per la progettazione delle richieste termiche della serra

Sistemi di riscaldamento	Fattore di correzione
Tubi metallici radianti a 1 m di altezza	b= 1+0,0683*(w-1)
Convettori laterali	b= 1+0,0612*(w-1)
Manichette radianti sul suolo	b= 1+0,0472*(w-1)
Fan - jet	b= 1+0,0947*(w-1)
Sistema water-to-air (posizione rialzata e velocità elevata)	b= 1+0,0660*(w-1)
Sistema water-to-air (posizione rialzata e velocità bassa)	b= 1+0,0827*(w-1)
w= velocità del vento (m/s)	

Tab. 25 - Influenza della velocità del vento sul coefficiente di trasferimento del calore

Sistemi di riscaldamento	Ri (m ² K W ⁻¹)
Tubi metallici radianti a 1 m di altezza	0,090
Convettori laterali	0,105
Manichette radianti sul suolo	0,127
Fan-jet	0,109
Sistema water-to-air (posizione rialzata e velocità elevata)	0,115
Sistema water-to-air (posizione rialzata e velocità bassa)	0,115

Tab. 26 - Valori della resistenza termica interna di diversi materiali di copertura

Materiale di copertura	Rk (m ² K W ⁻¹)
Vetro singolo	0,01
Film plastico singolo (PVC, PE)	0,01
Film plastico doppio, con intercapedine con intercapedine d'aria di 5 mm	0,08
Film plastico doppio, con intercapedine d'aria di 12 mm	0,15
Copertura plastica rigida, doppio strato, con intercapedine d'aria di 6 mm	0,09
Copertura plastica rigida, doppio strato, con intercapedine d'aria di 12 mm	0,11

Copertura plastica rigida, doppio strato, con intercapedine d'aria di 15 mm	0,24
---	------

Tab. 27 - Valori dei tassi di infiltrazione aria per differenti tipologie di serre

Tipologia di serra	Tasso di infiltrazione aria (vol/hr)
Serra in vetro a singola campata (singola copertura in vetro)	$n1=0,40+w^*$ 0,450
Serra in vetro a doppia campata (singola copertura in vetro)	$n1=0,55+w^*$ 0,180
Serra in vetro a singola campata (doppia copertura in vetro)	$n1=0,37+w^*$ 0,135
Serra con copertura in plastica	$n1=0,25+w^*$ 0,100
w= velocità del vento (m/s)	

Di seguito si riportano i valori relativi ai coefficienti di trasferimento del calore riferiti alla distribuzione del calore nel sistema serra attraverso l'impiego di manichette radianti in plastica (tabelle 28-29-30).

Tab.28 - Coefficiente di trasferimento calore di manichette di plastica lisce (diametro 25 mm) (W/m²/K)

Temperatura acqua (°C)	Temperatura interna serra (°C)									
	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
40	10,97	11,61	11,14	11,04	10,91	10,78	10,61	10,42	10,83	10,62
60	12,28	12,27	12,25	12,23	12,21	12,18	12,16	12,13	12,11	12,07
80	13,41	13,43	13,27	13,25	13,30	13,32	13,34	13,36	13,36	13,39
Fonte: (54)										

Tab.29 - Coefficiente di trasferimento calore di manichette di plastica lisce (diametro 32 mm) (W/m²/K)

Temperatura acqua (°C)	Temperatura interna serra (°C)									
	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
40	10,78	10,83	10,88	10,61	10,66	10,72	10,37	10,40	10,45	10,51
60	11,91	11,98	11,87	11,95	12,02	11,90	11,99	11,85	11,95	11,78
80	12,96	13,04	13,40	13,10	13,02	13,04	13,06	13,00	12,94	13,04
Fonte (54)										

Tab.30 - Coefficiente di trasferimento calore di manichette di plastica corrugate (W/m²/K)

Differenza temperatura acqua (Te-Tu) (°C)	10	20	30	40	50
Diametro 20 mm*	9,96	9,53	10,17	10,96	10,44
Diametro 25 mm*	9,15	9,35	9,66	9,92	10,07
Fonte: (54)					

Calcolo del fabbisogno di acqua calda

In accordo con il sistema di distribuzione di calore, che per i sistemi di riscaldamento con biomassa solida (UNI EN 303-5) richiede principalmente la distribuzione di calore mediante acqua, si riporta il

calcolo relativo all'impiego di manichette radianti, il fabbisogno di acqua calda è collegato alla quantità di calore di una serra dalla formula:

$$Q = C * (T_1 - T_2) * p \text{ (W)}$$

dove:

Q	(W)	quantità di calore in Watt;
C	(J/kg/K)	coefficiente di scambio termico dell'acqua;
T ₁	(K)	temperatura di entrata dell'acqua;
T ₂	(K)	temperatura di uscita dell'acqua;
p	(kg/s)	portata acqua circolante

da cui si ricava:

$$\text{portata} = Q/[C*(T_1 - T_2)] \text{ (kg/s)}$$

CASO STUDIO

Ai fini del riscaldamento di serre, vengono descritte cinque possibili proposte impiantistiche e per ognuna di esse ne calcola il fabbisogno termico. Non viene riportato il calcolo relativo alla quantità di calore che entra nella serra per effetto della radiazione solare in quanto siamo interessati a determinare il fabbisogno termico durante la notte o nelle prime ore della mattina, quando l'intensità della radiazione solare è tale da poter essere trascurata. Quanto detto ci permette di poter assumere: $q_l = 0$.

Viceversa, durante il giorno la radiazione solare incidente può portare a temperature interne eccessive della serra, con pericolo di stress termico per le colture. Al fine di non raggiungere alte temperature interne e per proteggere le piante dai raggi diretti del sole è spesso necessario installare un telo di ombreggiamento (esterno od interno) con ombreggiamento al 65/70%.

In funzione delle colture di cui è prevista la produzione, la tipologia delle serre prescelta è il tunnel arco circolare con montanti verticali ed aperture laterali.

Le strutture sono 5 di cui:

- a) 4 serre di dimensioni 8 x 24 pari a 192 mq (Fig. 24) con le seguenti caratteristiche tecniche:
 - altezza alla gronda mt 1,70;
 - altezza al colmo mt 3,70;
 - aperture laterali h mt 1;

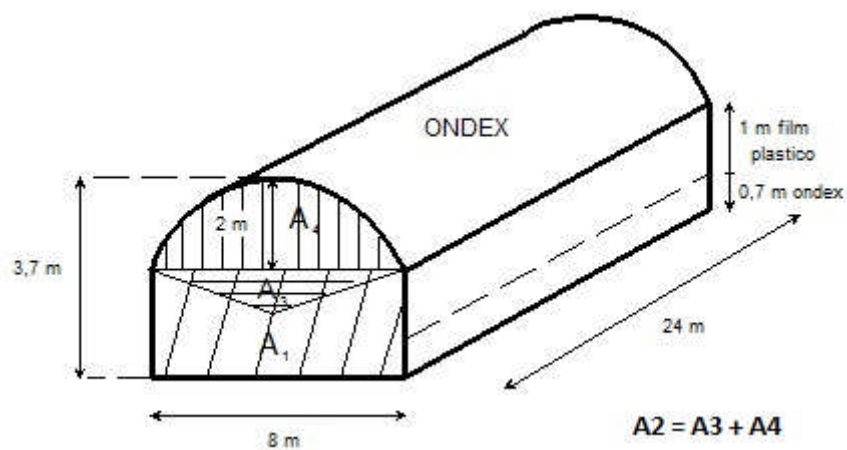


Fig. 24 – Tipologia di serra

b) Una serra di dimensioni 19,5 x 24 pari a 468 mq (Fig. 25) con le seguenti caratteristiche tecniche:

- tre arcate accoppiate da mt 6,5;
- altezza alla gronda mt 1,70;
- altezza al colmo mt 4,70;
- aperture laterali h mt 1.

Il materiale di copertura considerato è in ondex per la tipologia con struttura 8 x 24 e il film termico in doppio strato con intercapedine d'aria per la tipologia con struttura 19,5 x 24. Le aperture, 3 x 2 mq, di accesso sono poste alle testate anteriore e posteriore. Le aperture laterali dell'altezza 1 m sono realizzate a ghigliottina con film plastico che si avvolge su un asse motorizzato e controllato da un termostato. Le testate e le tamponature (cm 70 h) sono in ondex.

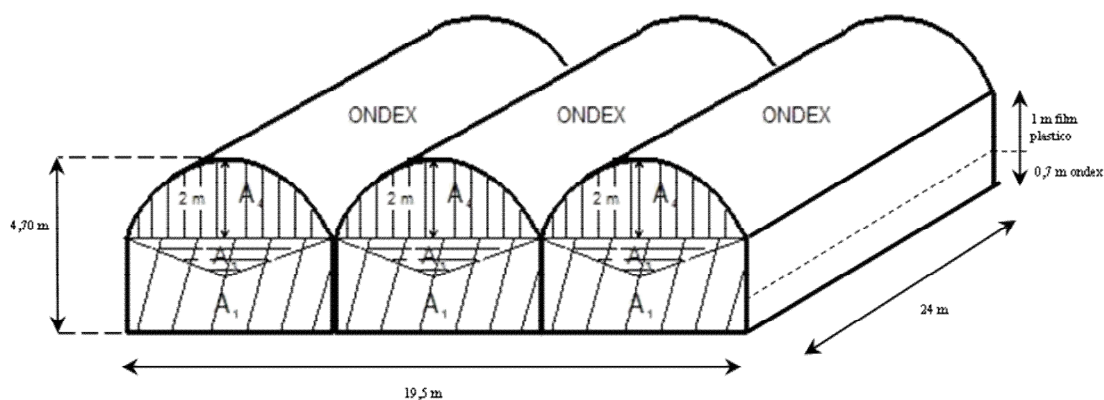


Fig. 25 – Tipologia di serra multiarcata

Sistemi di riscaldamento

Le tecnologie di produzione previste e i sistemi di riscaldamento valutati (Tab. 31) sono:

- | | |
|------------------------------------|-------------------------------|
| 1. acclimatamento gerbera | mq 192 in struttura 8 x 24 |
| 2. acclimatamento carciofo | mq 192 in struttura 8 x 24 |
| 3. fiori recisi garofano | mq 468 in struttura 19,5 x 24 |
| 4. fiori recisi gerbera fuorisuolo | mq 192 in struttura 8 x 24 |
| 5. fiori recisi gerbera fuorisuolo | mq 192 in struttura 8 x 24 |

Tab.31 – Sistemi di riscaldamento valutati per il modello energetico proposto

N° serra	Tipo di coltura	Tipo di riscaldamento adottato	
		dell'aria	del terreno
1	accl. gerbera	aeroterma	tubi lisci nei bancali
2	accl. carciofo	tubi alettati	tubi lisci nei bancali
3	garofano	aeroterma - tubi corrugati sul terreno	-----
4	gerbera fuori suolo	hortiterm - tubi corrugati sul terreno	tubi corrugati nel terreno
5	gerbera fuori suolo	tubi alettati - tubi corrugati	tubi corrugati nel bancale

Esempio serra n° 1

copertura in ondex;

aperture laterali a ghigliottina in film plastico h 1 m;

lunghezza 24 m

larghezza 8 m

h alla gronda 1,7 m

h al colmo 3,7 m

Calcolo Area esterna

Calcolo area della testata della serra

$$A_1 = 8 * 1,7 = 13,6 \text{ (m}^2\text{)}$$

$$r^2 = 4^2 + (r - 2)^2 \text{ (m}^2\text{)}$$

da cui si ricava: r = 5 m

$$\text{Arco testata} = 2 * (\arcsen(4/5)) = 2 * (53,13^\circ) = 106,26^\circ$$

$$A_2 = (r^2 * 3,14)/360 * \text{Arco testata} = 23,18 \text{ m}^2$$

$$A_3 = 2 * (4 * (r-2)/2) = 12 \text{ m}^2$$

$$A_4 = A_2 - A_3 = 11,18 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{test}} = 2 * (13,6 + 11,18) = 49,56 \text{ m}^2$$

Calcolo area laterale

$$A_{\text{lat ondex}} = 0,7 * 24 * 2 = 33,6 \text{ m}^2$$

$$A_{lat} \text{ politene} = 1,0 * 24 * 2 = 48 \text{ m}^2$$

$$A_{lat-tot} = 33,6 + 48 = 81,6 \text{ m}^2$$

Calcolo area copertura

$$\text{Arco testata} = 106,26^\circ$$

$$(r * 2 * 3,14)/360 * 106,26 = 9,273 \text{ m}$$

$$A_{cop} = 9,273 * 24 = 222,6 \text{ m}^2$$

quindi l'area totale è:

$$A_{tot} = 49,56 + 81,6 + 222,6 = 353,76 \text{ m}^2$$

$$A_g = 24 * 8 = 192 \text{ m}^2$$

$$V = 24,78 * 24 = 594,72 \text{ m}^3$$

$$T_{emin} = -5^\circ\text{C} = 268,15 \text{ K}$$

$$T_{imin} = 20^\circ\text{C} = 293,15 \text{ K} \quad \text{da cui si ricava: } DT = 25 \text{ K}$$

$$w_i = 3 \text{ m/s}$$

$$b \text{ (fattore di correzione)} = 1 + 0,0660 * (w_i - 1) = 1,132$$

Tale fattore, che permette di considerare nel calcolo l'influenza della velocità del vento sul coefficiente di scambio termico h , dipende principalmente dal tipo di riscaldamento installato nella serra. Per i valori delle diverse resistenze si fa riferimento alle tabelle già riportate sui valori dei coefficienti per la progettazione di serre:

$$h_0 = 1/(R_i + R_k + R_e) = 1/(0,083 + 0,01 + 0,035) = 7,8125 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$b * h_0 = 8,844 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$n_1 = 0,45 \text{ vol/h (serre coperte con film plastico e ben coibentate)}$$

$$c \text{ (fattore di correzione)} = 1 \text{ da cui si ricava: } n = 0,45 \text{ vol/h}$$

$$h_i = (0,45 * 594,72 * 1,2 * 1046,5)/(192 * 3600) = 0,486 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$q_k = 353,76/192 * 8,844 * 25 = 407,38 \text{ W/m}^2$$

$$q_i = 0,486 * 25 = 12,15 \text{ W/m}^2$$

quindi:

$$q = 407,38 + 12,15 = 419,53 \text{ W/m}^2 \quad \text{da cui:}$$

$$\mathbf{Q = 192 * 419,53 = 80549,76 \text{ W} = 69260,33 \text{ Kcal/h}}$$

CALCOLO DEL FABBISOGNO DI ACQUA CALDA PER LA SERRA 1

Temperatura in entrata	(K)	310,15
------------------------	-----	--------

Temperatura in uscita	(K)	300,15
-----------------------	-----	--------

Capacità termica dell'acqua	(J/Kg K)	4,186
-----------------------------	----------	-------

$$\text{portata} = 80549,76/[4,186 * (310,15 - 300,15)] = 1924,266 \text{ Kg/s}$$

$$= 69260,33/[1*(37 - 27)] = 6926,033 \quad \text{litri/h} = 1,92 \text{ litri/s}$$

Esempio serra n° 2

copertura in ondex,

aperture laterali a ghigliottina in film plastico h 1 m;

lunghezza 24 m

larghezza 8 m

h alla gronda 1,7 m

h al colmo 3,7 m

Le dimensioni di questa serra sono le stesse della serra n°1, quindi non vengono riportati i calcoli relativi alla determinazione delle diverse aree che la compongono. Tenendo presente il sistema di riscaldamento installato in questa serra:

$$b \text{ (fattore di correzione)} = 1 + 0,0472 * (w_i - 1) = 1,0944$$

$$h_0 = 1/(R_i + R_k + R_e) = 1/(0,122 + 0,01 + 0,035) = 5,988 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$b * h_0 = 6,553 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Anche in questo caso la serra è coperta con film plastico ed è ben coibentata e possiamo assumere: $n_1 = 0,45 \text{ vol/h}$

$$c \text{ (fattore di correzione)} = 1 \text{ da cui si ricava: } n = 0,45 \text{ vol/h}$$

$$h_i = (0,45 * 594,72 * 1,2 * 1,046,5) / (192 * 3.600) = 0,486 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$q_k = 353,76 / 192 * 6,553 * 25 = 301,85 \text{ W/m}^2$$

$$q_i = 0,486 * 25 = 12,15 \text{ W/m}^2$$

$$\text{quindi: } q = 301,85 + 12,15 = 314 \quad \text{W/m}^2$$

$$\text{da cui: } Q = 192 * 314 = 60288 \text{ W} = 51838,35 \text{ kcal/h}$$

Considerazioni analoghe a quelle fatte per la serra n°1 permettono di non considerare la quantità di calore che entra nella serra per effetto della radiazione solare.

CALCOLO DEL FABBISOGNO DI ACQUA CALDA PER LA SERRA n. 2

- Temperatura in entrata (K) 310,15

- Temperatura in uscita (K) 300,15

- Capacità termica dell'acqua (J/kg K) 4,186

$$\text{portata} = 60288 / [4,186 * (310,15 - 300,15)] = 1440,230 \quad \text{kg/s}$$

$$= 51838,35 / [1 * (37 - 27)] = 5183,835 \text{ litri/h} = 1,44 \text{ litri/s}$$

Esempio serra n° 3

copertura in film polietilene long-life doppio gonfiato

aperture laterali a ghigliottina in film plastico h 1 m

testate e parte bassa (0,70 m) laterale in ondex

lunghezza 24 m

larghezza 19,5 m (tre navate da 6,5 m)

h alla gronda 1,7 m

h al colmo 3,7 m

Calcolo Area esterna

Calcolo area testata

$$A_1 = 6,5 * 1,7 = 11,05 \text{ m}^2$$

$$r^2 = 10,5625 + (r - 2)^2 \quad (\text{m}^2)$$

da cui si ricava: $r = 3,64 \text{ m}$

$$\text{Arco testata} = 2 * (\arcsen(3,25/3,64)) = 2 * (63,33^\circ) = 126,46^\circ$$

$$A_2 = (r^2 * 3,14)/360 * \text{Arco testata} = 14,62 \text{ m}^2$$

$$A_3 = 2 * (3,25 * (r-2)/2) = 5,36 \text{ m}^2$$

$$A_4 = A_2 - A_3 = 9,25 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{test}} = 6 * (11,05 + 9,25) = 121,845 \text{ m}^2$$

Calcolo area laterale

$$A_{\text{lat ondex}} = 0,7 * 24 * 2 = 33,6 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{lat politene}} = 1,0 * 24 * 2 = 48 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{lat-tot}} = 33,6 + 48 = 81,6 \text{ m}^2$$

Calcolo area copertura

$$\text{Arco testata} = 126,46^\circ$$

$$(r * 2 * 3,14)/360 * 126,46 = 8,05 \text{ m}$$

$$A_{\text{cop}} = 8,05 * 24 * 3 = 579,6 \text{ m}^2$$

quindi l'area totale è:

$$A_{\text{tot}} = 121,845 + 81,6 + 579,6 = 783,045 \text{ m}^2$$

$$A_g = 24 * 19,5 = 468 \text{ m}^2$$

$$V = 60,9225 * 24 = 1462,14 \text{ m}^3$$

$$T_{\text{emin}} = -5^\circ\text{C} = 268,15 \text{ K}$$

$$T_{\text{jmin}} = 15^\circ\text{C} = 288,15 \text{ K} \quad \text{da cui si ricava:} \quad DT = 20 \text{ K}$$

$$w_j = 3 \text{ m/s}$$

$$b \text{ (fattore di correzione)} = 1 + 0,0660 * (w_j - 1) = 1,132$$

Tale fattore, che permette di considerare nel calcolo l'influenza della velocità del vento sul coefficiente di scambio termico h , dipende principalmente dal tipo di riscaldamento installato nella serra. Per i valori delle diverse resistenze si fa riferimento alle tabelle già riportate per i coefficienti da utilizzare per la progettazione di serre.

$$R_i = (0,127+0,083)/2 = 0,105, \text{ da cui:}$$

$$h_0 = 1/(R_i+R_k+R_e) = 1/(0,105+0,15+0,035) = 3,4483 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$b * h_0 = 3,903 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$n_1 = 0,45 \text{ vol/h}$$

Questo è il valore di n_1 nel caso di serre coperte con film plastico e ben coibentate.

c (fattore di correzione) = 1 da cui si ricava: $n = 0,45 \text{ vol/h}$

$$h_i = (0,45 * 1462,14 * 1,2 * 1046,5)/(468 * 3600) = 0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$q_k = 783,045/468 * 3,903 * 20 = 130,61 \text{ W/m}^2$$

$$q_i = 0,5 * 20 = 9,81 \text{ W/m}^2$$

$$\text{quindi: } q = 130,61 + 9,81 = 140,42 \text{ W/m}^2$$

da cui:

$$Q = 468 * 140,42 = 65716,56 \text{ W} = 56506,07 \text{ Kcal/h}$$

CALCOLO DEL FABBISOGNO DI ACQUA CALDA PER LA SERRA n. 3

- Temperatura in entrata	(K)	310,15
- Temperatura in uscita	(K)	300,15
- Capacità termica dell'acqua	(J/kg K)	4,186

$$\text{portata} = 65716,56/[4,186*(310,15-300,15)] = 1.569,913 \text{ kg/s}$$

$$= 56506,07/[1*(37 - 27)] = 5.650,607 \text{ litri/h} = 1,57 \text{ litri/s}$$

Esempio serra n°4

DATI DI PROGETTO

Temperatura minima esterna	-5 °C
Temperatura minima interna	15 °C
Superficie della serra tipo	468 mq
Superficie trasparente	783,04 mq
Portata teorica	36 m ³ /h
Portata reale	30 m ³ /h
Trasmissività superficiale	6,3 kcal/h mq°C (ondex)
Trasmissività superficiale	9 kcal/h mq°C (polietene)

Trasmissività del terreno	4 kcal/h	
Temperatura alla sorgente	39 °C	
Temperatura utile	36 °C	
Pressione fluido	1,5 atm	
Salto termico teorico	20 °C	
Fabbisogno energetico medio	56.506,07	Kcal/h

CALCOLO DEL FABBISOGNO TERMICO PER LA SERRA n° 4

copertura in ondex

aperture laterali a ghigliottina in film plastico di h 1 m

lunghezza 24 m

larghezza 8 m

h alla gronda 1,7 m

h al colmo 3,7 m

Le dimensioni di questa serra sono le stesse della serra n°1, quindi non vengono riportati i calcoli relativi alla determinazione delle diverse aree che la compongono. Tenendo presente il sistema di riscaldamento installato in questa serra possiamo assumere:

$$b \text{ (fattore di correzione)} = 1 + 0,0612 \cdot (w_i - 1) = 1,1224$$

$$h_0 = 1/(R_i + R_k + R_e) = 1/(0,105 + 0,01 + 0,035) = 5,988 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$b \cdot h_0 = 6,721 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Anche in questo caso la serra è coperta con film plastico ed è ben coibentata e possiamo assumere: $n_1 = 0,45 \text{ vol/h}$

$$c \text{ (fattore di correzione)} = 1$$

da cui si ricava: $n = 0,45 \text{ vol/h}$

$$h_j = (0,45 \cdot 594,72 \cdot 1,2 \cdot 1046,5) / (192 \cdot 3600) = 0,486 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$q_k = 353,76 / 192 \cdot 6,721 \cdot 25 = 309,58 \text{ W/m}^2$$

$$q_j = 0,486 \cdot 25 = 12,15 \text{ W/m}^2$$

quindi:

$$q = 309,58 + 12,15 = 321,73 \text{ W/m}^2$$

da cui:

$$Q = 192 \cdot 321,73 = 61772,72 \text{ W} = 53071,98 \text{ Kcal/h}$$

Considerazioni analoghe a quelle fatte per la serra n°1 permettono di non considerare la quantità di calore che entra nella serra per effetto della radiazione solare.

CALCOLO DEL FABBISOGNO DI ACQUA CALDA PER LA SERRA n. 4

- Temperatura in entrata	(K)	310,15
- Temperatura in uscita	(K)	300,15
- Capacità termica dell'acqua	(J/Kg K)	4,186

$$\text{portata} = 61772,72 / [4,186 * (310,15 - 300,15)] = 1474,503 \text{ Kg/s} = 53.071,98 / [1 * (37 - 27)] = 5.307,198 \text{ litri/h} = 1,47 \text{ litri/s}$$

Esempio serra n° 5

copertura in ondex;

aperture laterali a ghigliottina in film plastico h 1 m;

lunghezza 24 m

larghezza 8 m

h alla gronda 1,7 m

h al colmo 3,7 m

Le dimensioni di questa serra sono le stesse della serra n°1, quindi non vengono riportati i calcoli relativi alla determinazione delle diverse aree che la compongono. Tenendo presente il sistema di riscaldamento installato in questa serra possiamo assumere:

$$b \text{ (fattore di correzione)} = 1 + 0,0472 * (w_i - 1) = 1,0944$$

$$R_i = (0,122 + 0,127) / 2 = 0,124, \text{ da cui:}$$

$$h_0 = 1 / (R_i + R_k + R_e) = 1 / (0,124 + 0,01 + 0,035) = 5,917 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$b * h_0 = 6,475 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Anche in questo caso la serra è coperta con film plastico ed è ben coibentata e possiamo assumere: $n_1 = 0,45 \text{ vol/h}$

$$c \text{ (fattore di correzione)} = 1$$

da cui si ricava: $n = 0,45 \text{ vol/h}$

$$h_i = (0,45 * 594,72 * 1,2 * 1046,5) / (192 * 3600) = 0,486 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$q_k = 353,76 / 192 * 6,475 * 25 = 298,25 \text{ W/m}^2$$

$$q_i = 0,486 * 25 = 12,15 \text{ W/m}^2$$

$$\text{quindi: } q = 298,25 + 12,15 = 310,4 \text{ W/m}^2$$

$$\text{da cui: } Q = 192 * 310,4 = 59596,8 \text{ W} = 51244,02 \text{ Kcal/h}$$

Considerazioni analoghe a quelle fatte per la serra n°1 permettono di non considerare la quantità di calore che entra nella serra per effetto della radiazione solare.

CALCOLO DEL FABBISOGNO DI ACQUA CALDA PER LA SERRA n. 5

Temperatura in entrata	(K)	310,15
Temperatura in uscita	(K)	300,15
Capacità termica dell'acqua	(J/Kg K)	4,186

$$\begin{aligned} \text{portata} &= 59596,8 / [4,186 * (310,15 - 300,15)] = 1423,717 \text{ kg/s} \\ &= 51244,02 / [1 * (37 - 27)] = 5124,402 \text{ litri/h} \\ &= 1,42 \text{ litri/s} \end{aligned}$$

La tabella 32 riporta la sintesi relativa alle potenze termiche istantanee necessarie a contrastare le dispersioni di calore, in funzione dei diversi sistemi di riscaldamento presi in considerazione.

Per un calcolo teorico della energia termica necessaria al mantenimento della temperatura interna prefissata (20 °C), le equazioni di bilancio riferito alla potenza termica devono essere integrate nell'intervallo di tempo in cui è richiesto effettivamente il riscaldamento artificiale. Ovviamente, si deve disporre dell'andamento in funzione del tempo di tutte le variabili implicate.

Tab. 32 - Tabella riassuntiva delle potenze termiche e dell'energia dei sistemi di riscaldamento proposti, calcolati secondo il modello semplificato

Sistema Serra	Tipologia	Kcal/h	W
Serra 1	Una arcata	69260,33	80549,76
Serra 2	Una arcata	51838,35	60288,00
Serra 3	Tre arcate	56506,07	65716,56
Serra 4	Una arcata	53071,98	61772,72
Serra 5	Una arcata	51244,02	59596,80

ANALISI E METODI

Particolare attenzione è stata dedicata alla individuazione della entità delle richieste energetiche in relazione alla disponibilità della risorsa rinnovabile, per assicurare la continuità di fornitura dell'energia alternativa (*fattore entità*) nell'arco di tempo (*fattore disponibilità*) in cui è richiesta la climatizzazione del sistema serra. Pertanto, tra i contenuti tecnici proposti dalla presente tesi, viene presentato un modello matematico di valutazione termica della serra utile per modulare il carico termico dei sistemi serra in funzione di diversi sistemi di riscaldamento e in accordo con le richieste termiche che risultano funzionalmente compatibili nelle diverse fasce climatiche. Le temperature di comfort da assicurare all'interno della serra per la coltivazione di piante sono state considerate e valutate mediante l'unità di misura dei Gradi Giorno (Growing Degree Days, GDD), in relazione alle fasce climatiche che caratterizzano la penisola italiana (56). Per le attività di ricerca portate avanti con questa tesi, sono stati considerati ai fini del comfort microclimatico dei sistemi serra le unità di misura Grado Giorno (GG), in modo da semplificare il calcolo integrale dell'energia richiesta (vedi Caso Studio). In particolare, sono stati considerati, per ciascuna fascia climatica, le indicazioni sulla sommatoria, estesa a tutti i giorni di un periodo annuale convenzionale di riscaldamento, delle sole differenze positive giornaliere tra la temperatura dell'ambiente,

convenzionalmente fissata a 20 °C, e la temperatura media esterna giornaliera.

Esempio: se la temperatura media giornaliera in una data area, il 30 Novembre, è pari a 12°C, i gradi giorno del 30 Novembre saranno 8. Infatti **20°C** (temperatura convenzionale) – **12°C** (temperatura media giornaliera del 30 Novembre) = **8 GG** del 30 Novembre. La somma di tutti i Gradi Giorno rilevati tra il 15 ottobre ed il 30 aprile di ogni anno ci danno l'indicazione delle temperature di una data stagione.

Un valore di Gradi Giorno basso indica una temperature media giornaliera prossima alla temperatura fissata per l'ambiente (20° C). Al contrario, valori di Gradi Giorno elevati, indicano una temperatura media giornaliera nettamente inferiore rispetto alla temperatura convenzionale di riferimento (20°C). Maggiore è il valore dei Gradi Giorno, minore è la temperatura media rilevata e di conseguenza, il "FREDDO CLIMATICO" del periodo di rilevamento (Tab. 33).

Tab. 33 - Tabella delle zone climatiche

Zona climatica	Periodo di accensione	Orario consentito
A	1° dicembre - 15 marzo	6 ore giornaliere
B	1° dicembre - 31 marzo	8 ore giornaliere
C	15 novembre - 31 marzo	10 ore giornaliere
D	1° novembre - 15 aprile	12 ore giornaliere
E	15 ottobre - 15 aprile	14 ore giornaliere
F	nessuna limitazione	nessuna limitazione

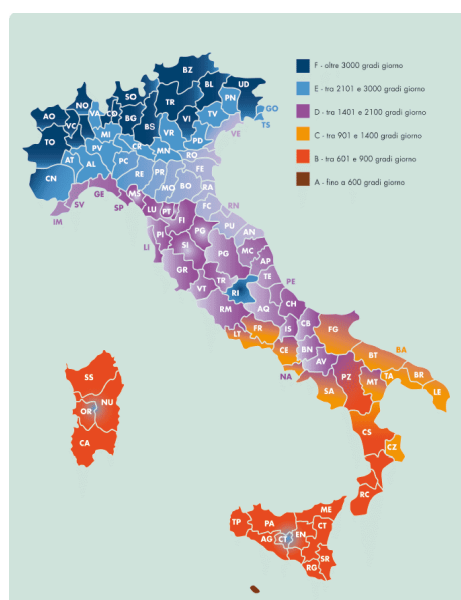


Fig. 26 – Fasce climatiche

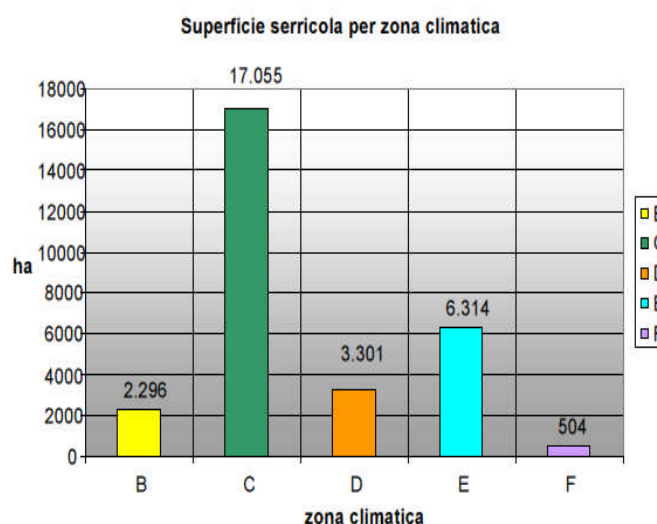


Fig. 27 - Presenza di serre nelle diverse fasce climatiche

La risorsa solare per le serre

Il modello utilizzato per la caratterizzazione solare delle località, in termini di latitudine, longitudine e altitudine, con riferimento ai suoi valori di azimut, per definire un valore univoco di irraggiamento medio annuo per metro quadro di superficie orizzontale, è stato quello proposto dall' ENEA-SOLTERM (57). Il metodo seguito per la stima della componente diffusa dell'irraggiamento è stato quello di *Liu-Jordan*. Il calcolo dell'irraggiamento globale medio mensile (H) è stato sviluppato sulla base delle due componenti di radiazione, diretta, diffusa, e dell'irraggiamento su superficie orizzontale. In alternativa, i valori delle componenti diretta e diffusa su superficie orizzontale, per una qualunque località italiana, possono essere reperiti nella norma UNI 10349.

Il calcolo dell'irraggiamento globale medio mensile (H) è stato sviluppato sulla base delle due componenti di radiazione, diretta, diffusa, e dell'irraggiamento su superficie orizzontale. In alternativa, i valori delle componenti diretta e diffusa su superficie orizzontale, per una qualunque località italiana, possono essere reperiti nella norma UNI 10349. La domanda di energia sia termica sia elettrica, che su base annua varia in relazione diretta con le utenze energetiche disponibili, per le diverse aree climatiche della penisola, è stata considerata in funzione delle caratteristiche climatiche delle località e con il livello tecnologico dei sistemi serra.

I dati relativi alla Radiazione Globale delle località geografica che ricadono nelle diverse fasce climatiche della penisola sono stati reperiti attraverso la rete ENEA. In particolare, per i valori riportati, valgono le seguenti definizioni:

Irraggiamento: la potenza istantanea che colpisce una superficie, espressa in KW/m²; spesso chiamata anche semplicemente radiazione, radianza od ancora intensità di radiazione.

Insolazione: l'energia, cioè l'integrale dell'irraggiamento in un certo tempo e riferito ad una certa superficie. Si utilizza spesso il suo valore medio giornaliero e si misura in KW/m²giorno. La media giornaliera si può riferire ad un arco di tempo annuale oppure mensile, od ancora secondo altre estensioni temporali. In ogni caso è un valore mediato nelle 24 ore comprendente anche le ore di assenza del sole e tutte le vicissitudini legate alla nuvolosità del sito.

Radiazione: I dati della radiazione tratti dall'ENEA sono espressi in MJ/m²giorno. Per ottenere i valori in KWh/m²giorno occorre dividere il valore per 3,6:

$$H_n \left[\frac{kWh}{m^2 \text{ giorno}} \right] = \frac{1}{3.6} H_n \left[\frac{MJ}{m^2 \text{ giorno}} \right]$$

L'irraggiamento solare al suolo, radiazione globale, è stato considerato sulla base della somma di tre componenti, diretta, diffusa, e di albedo (riflessa) (Fig. 28).

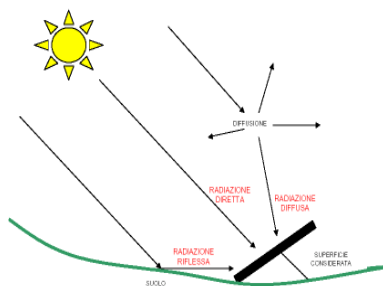


Fig. 28- Componenti dell'Irraggiamento Solare

Il modello utilizzato si riferisce alla caratterizzazione energetica della località, in termini di latitudine, longitudine e altitudine, con riferimento ai suoi valori di azimut per ottenere un valore univoco di irraggiamento medio annuo per metro quadro di superficie orizzontale. I dati, le coordinate geografiche e il calcolo della H_h seguono la procedura tratta dal sito dell'ENEA. La radiazione globale sul piano orizzontale (H_h) è data dalla somma delle due frazioni, diretta, H_b e diffusa, H_d . La procedura corregge la frazione diretta tenendo conto dell'eventuale presenza di ostacoli (ombreggiamenti dovuti a manufatti vicini, configurazioni particolari del suolo ecc.) che intercettano i raggi diretti sole-superficie (58).

Per ottimizzare l'energia captata mediamente in un anno è necessario un posizionamento con azimut nullo (orientamento direzione sud) ed un'inclinazione pari alla latitudine meno 10° . Se invece si vuole ottimizzare l'energia captata nella sola stagione estiva si adottano dei valori d'inclinazione pari alla latitudine meno $20-30^\circ$; per quanto riguarda il periodo invernale le inclinazioni devono essere pari alla latitudine più $10-15^\circ$. Queste semplici regole consentono di massimizzare l'energia captata, poiché il pannello fotovoltaico offre alla radiazione solare la massima superficie attiva per produrre energia elettrica (quando la superficie del pannello fotovoltaico si trova in condizione di ortogonalità con i raggi del sole). Il calcolo dell'irraggiamento globale medio mensile (H) è stato sviluppato in accordo con le componenti di radiazione diretta diffusa, nonché con l'irraggiamento su superficie orizzontale (H_h) disponibile dai dati ENEA.

Nella tabella 34 sono riportati alcuni valori tipici del fattore di albedo.

Tab. 34 - Valori tipici del fattore di albedo

<i>Superfici riflettenti</i>	<i>Coefficienti</i>
Neve	0,75
Superfici acquose	0,07
Suolo (creta, marne...)	0,14
Strade sterrate	0,04
Bosco in inverno	0,07
Bosco in autunno	0,26
Asfalto invecchiato	0,22
Foglie morte	0,3
Erba secca	0,2
Erba verde	0,26
Tetti o terrazzi in bitume	0,13
Pietrisco	0,2
Superfici scure di edifici	0,27
Superfici chiare di edifici	0,6

La domanda di energia elettrica che su base annua varia in relazione diretta con le utenze energetiche disponibili, per le aree meridionali della penisola, in particolare per le ex-Regioni Convergenza, è compresa in un *range* tra 20.000 e 90.000 $\text{kWh}_{\text{el}} \cdot \text{a}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$, in accordo con le caratteristiche sia climatiche che tecnologiche della serra. L' Atlas for Solar Radiation in Europa, riporta che i valori di radiazione totale tra febbraio e ottobre che si rilevano nel Nord Europa e rispettivamente nel Sud Europa tra settembre e maggio sono pari a circa 1000 kWh/m^2 . Più in dettaglio abbiamo, per le aree Mediterranee abbiamo i seguenti valori di energia fotovoltaica: $2.600 \text{ kWh/m}^2/\text{year}$ in Spagna (Andalucia), $2.300 \text{ kWh/m}^2/\text{year}$ in Grecia (Crete), 1.900

kWh/m²/year in Sicilia (Sicily). Tra le applicazioni possibili per l'energia fotovoltaica nel comparto dei sistemi serra abbiamo l'applicazione rispetto ai seguenti sistemi:

- fertirrigazione, pompaggio, elettrovalvole, automazione e computer per il controllo climatico;
- ventilazione (motorizzazione and automazione, fans);
- cooling (cooling pad, fog-system);
- schermi termici (motorizzazione, automazione);
- riscaldamento (quando sono richieste basse quantità di energia termica);
- illuminazione artificiale (5 to 10 W m⁻²).

La biomassa per le serre

Per biomasse si intende: “la parte biodegradabile dei prodotti, rifiuti e residui provenienti dall'agricoltura (comprendente sostanze vegetali e animali), dalla silvicoltura e dalle industrie connesse, nonché la parte biodegradabile dei rifiuti industriali e urbani”. In generale, è biomassa tutto ciò che ha matrice organica, ovvero il materiale organico costituito o derivato da organismi vegetali o loro componenti, utilizzabile in processi di trasformazione termochimica o biochimica. A seconda della provenienza, le biomasse possono essere classificate in *biomasse residuali* e in biomasse derivanti da *coltivazioni energetiche*. Appartengono alla prima categoria i residui e gli scarti di origine forestale, agricola e agro-industriale, nonché la frazione umida dei rifiuti solidi urbani. Le biomasse derivanti da coltivazioni energetiche sono a loro volta classificabili in colture oleaginose (come colza, soia, girasole, palma, ecc.) dalle quali si producono oli vegetali e biodiesel, colture alcoligene (come la canna da zucchero, il sorgo zuccherino, la barbabietola da zucchero, il mais, ecc.) dalle quali si produce etanolo, e da colture lignocellulosiche (che includono specie legnose perenni come il pioppo, la robinia, l'eucaliptus, ecc., e specie erbacee perenni come la canna comune e il miscanto, oppure specie erbacee annuali (sorgo da fibra) impiegate per produrre sostanza secca combustibile. In particolare, per quanto riguarda l'Italia, il Piano di Azione Nazionale (PAN) sulle rinnovabili affida un ruolo fondamentale alle biomasse: infatti queste andranno a coprire, rispetto al totale delle FER, il 19% del totale di consumi di elettricità (18.780 GWh), il 54% per quel che riguarda le richieste di energia per calore e raffrescamento (5.670 ktep) e l'87% per il settore dei trasporti (2.530 ktep). La Tab. 34, riporta il contributo della biomassa secondo le diverse posizioni di MiSe, Amici della Terra, Aper (Associazione Produttori Energie Rinnovabili), Coldiretti. Le biomasse comunemente utilizzate in campo nazionale per la produzione di energia termica e/o elettrica sono costituite essenzialmente da legna (22,8 milioni di t nel 2009, di cui l'83% circa impiegate per il riscaldamento domestico) e residui forestali, agricoli ed agroindustriali. Si stima che, nel nostro Paese, il valore economico complessivo dei combustibili legnosi è di circa ai 2.300 milioni di euro/anno (si stima un consumo di pellet al 2012 di oltre 1.500.000 t (fonte: AIEL-Associazione Italiana Energie Agroforestali-2010).

Le biomasse combustibili⁸ si trovano in commercio generalmente sotto forma di ciocchi o

⁸ Allegato X alla Parte Quinta del Testo Unico Ambiente DLg 152-2006: “a) materiale vegetale prodotto da coltivazioni dedicate; b) materiale vegetale prodotto da trattamento esclusivamente meccanico di coltivazioni agricole non dedicate; c) materiale vegetale prodotto da interventi selvicolturali, da manutenzione forestale e da potatura; d) materiale vegetale prodotto dalla lavorazione esclusivamente meccanica di legno vergine e costituito da cortecce, segatura, trucioli, *chips*, refili e tondelli di legno vergine, granulati e cascami di sughero vergine, tondelli, non

tronchetti di legno, bricchette, cippato di legna e pellet. La classificazione qualitativa dei biocombustibili solidi è definita a livello europeo dalla specifica tecnica CEN/TS 14961 (Solid biofuels, fuel specification and classes, 2005) sulla base della quale nel 2007 è stata pubblicata in Italia la specifica tecnica UNI/TS 11264 'Caratterizzazione di legna da ardere, bricchette e cippato'. La conversione energetica della biomassa mediante combustione diretta avviene all'interno di apparecchi ad uso termico, impianti per la produzione di energia elettrica o impianti cogenerativi (generazione simultanea in un unico processo di energia termica ed elettrica e/o meccanica).

Il processo di combustione della biomassa, durante il quale l'energia chimica contenuta nel combustibile viene liberata sotto forma di calore, coinvolge molti aspetti e fenomeni chimico-fisici di notevole complessità. In condizioni ideali esso avviene attraverso reazioni di ossidazione complete che portano allo sviluppo di calore ed alla formazione di acqua e anidride carbonica. Gli apparecchi termici alimentati a biomassa legnosa sono disponibili sul mercato a partire da pochi kW, adatti per il riscaldamento domestico di singole stanze o piccole unità abitative, fino ad arrivare ad impianti di grossa taglia con potenze superiori al MW, impiegati per il riscaldamento di grandi utenze o in reti di teleriscaldamento o per la produzione di calore ad uso industriale. Tuttavia, gli apparecchi alimentati a biomassa trovano applicazione prevalentemente per la produzione di calore in impianti di piccola e media taglia. Considerando il fatto che il PAN, che definisce la strategia del Governo in merito alla politica energetica sulle FER da qui al 2020, assegna alla bioenergia, in tutte le sue forme, un "peso" pari al 45% del totale, gli investimenti in questo settore dovranno essere sostenuti da una legislazione adeguata, che tenga conto anche degli sviluppi tecnologici e dell'affermarsi di nuove possibili opzioni, come ad esempio la biomassa per la filiera dei sistemi serra. Il DLgs. n. 28 del 2011, con il quale l'Italia recepisce la Direttiva RES, rappresenta di fatto la nuova legge quadro sulle energie rinnovabili di riferimento per il settore delle fonti energetiche rinnovabili, bioenergia inclusa.

Tab. 34 – Contributo della biomassa agli usi finali di energia in Italia e in Europa

Fonte di energia	Densità di Potenza* (W/m ²)		Usi elettrici 2009-2010	Usi termici 2009-2010	Target 2020 Elettricità	Target 2020 Riscaldamento raffrescamento
	Bassa	Alta	Mtep	Mtep	Mtep	Mtep
Biomassa	0,5	0,6	1,8 (PAN)	2,24 (PAN) 7,88 (FIRE)	5,6 (PAN)	5,0 (Aper) 5,5 (PAN) 10,9 (Amici della Terra)

Il potenziale delle biomasse al 2020 si stima tra 10 e 15,80 Mtep (ENEA; CETA-Coldiretti)

PAN (Piano di Azione Nazionale), indica un contributo delle biomasse agli usi finali del 2010 pari a: calore 2,24 Mtep; elettrico 0,74 Mtep, biocombustibili 1,19 Mtep. TOTALE: 4,17 Mtep (non si tiene conto dei rifiuti).

Il Piano d'Azione per la Biomassa della Commissione Europea (2005) stima un potenziale per l'Europa di **188 Mtep per il 2010 e di 227 Mtep al 2020**.

1 tep = 11628 kWh per quanto riguarda i combustibili.

1 tep = 5347,59 kWh per i consumi elettrici.

Nell'Italia centro-meridionale e nelle isole, sono stati censiti non meno di 2 milioni di ettari di terreni inutilizzati e/o abbandonati dall'agricoltura convenzionale per insussistenza di reddito

contaminati da inquinanti; e) materiale vegetale prodotto dalla lavorazione esclusivamente meccanica di prodotti agricoli; f) sansa di oliva disoleata avente le caratteristiche riportate nella tabella seguente, ottenuta dal trattamento delle sansa vergini con n-esano per l'estrazione dell'olio di sansa destinato all'alimentazione umana, e da successivo trattamento termico, purché i predetti trattamenti siano effettuati all'interno del medesimo impianto; [...]"

agrario, che potrebbero rivestire un'importanza rilevante per lo sviluppo di filiere agro-energetiche a sostegno dell'agricoltura protetta (59, 60). Di seguito una stima della biomassa reperibile in Italia secondo l'ENEA (Tab. 35)

Tab. 35 – Stima del potenziale di biomassa in Italia (dati ENEA)

*Stima del potenziale di biomassa in Italia (dati ENEA)
con riferimento alla quantità di legna direttamente accessibile*

REGIONE	paglie [kton/a]	potature [kton/a]	sanse + [kton/a]	totale foreste [kton/a]
Piemonte	2.479	110	48	257
Valle D'Aosta	0	2	0	1
Lombardia	3.617	40	17	242
Veneto	1.745	367	75	91
Trentino-Alto Adige	2	65	13	35
Friuli-Venezia Giulia	593	56	11	65
Liguria	4	19	5	96
Emilia-Romagna	1.557	398	63	237
Toscana	724	238	64	365
Marche	539	58	17	32
Lazio	437	248	57	112
Umbria	430	102	14	67
Abruzzo	229	290	55	60
Molise	163	31	29	44
Campania	317	287	66	120
Basilicata	452	50	12	65
Puglia	1.219	814	370	46
Calabria	212	1.012	190	154
Sicilia	732	598	186	26
Sardegna	260	121	29	65
TOTALE	15.711	4.906	1.320	2.181

Di particolare interesse, le coltivazioni di biomassa dedicate sia erbacee annuali (sorgo) sia perennanti (miscanto, canna comune, panico) per la produzione di pellets, briquettes, chips. Le biomasse utilizzate in campo nazionale per la produzione di energia termica e/o elettrica sono costituite essenzialmente da legna (22,8 milioni t nel 2009, di cui l'83% circa per il riscaldamento domestico, senza considerare quella raccolta e utilizzata al di fuori dei circuiti commerciali, i residui forestali, agricoli ed agroindustriali. La Tab. 36 riporta i dati tecnici della biomassa.

Tab. 36 – Dati sulle caratteristiche energetiche della biomassa solida

DATI SULLE CARATTERISTICHE ENERGETICHE DELLA BIOMASSA

Biomassa	Diametro, (mm)	Lunghezza (mm)	Umidità (%)	NCV, (MJ/kg)	Potenze caldaia (kW)
Pellets	2-20	6-30	<= 11	>= 16,9	15 - 60
Briquettes	20 - 120	< 400	<= 18	>= 16,9	50 - 100
Chips	n/a	5 - 50	<60	6 - 15	200 - 400

Tipo di risorsa energetica	Unità di misura	Quantità per 100 kWh di calore
Gasolio	litro	12 - 18
Chips	kg	40 - 50
Bricchetti	kg	30 - 40
Pellets	kg	30 - 40

BIOMASSA	PCI	w (% di acqua)
Pellet	4,7 kW/kg	
Briquetts	4,7 kW/kg	
Chips	3,4 kWh/kg	w=30%
Chips	2,8 kWh/kg	w=40%

Per i poteri calorifici, per le quattro tipologie di biomassa solida considerate come combustibile si considera un valore medio del potere calorifico inferiore stabilito dalla norma UNI 14961 per le varie classi (A1, A2, B) di ogni combustibile (Tab. 37).

Tab. 37 – Poteri calorifici secondo la UNI 14961

Biomassa	kWh/kg
Legna a ciocchi (UNI EN 14961-5)	4
Pellets (UNI EN 14961-2)	4,4
Cippato (UNI EN 14961-4)	3,3
Bricchette (UNI EN 14961-3)	4,1

Il riscaldamento di serre, con superfici di 1.000 m², richiede mediamente l'impiego di caldaie a griglia fissa con potenze nominali fino a 100 kW, mentre per superfici di serre superiori si impiegano caldaie fino a 400-500 kW di potenza munite di griglia mobile (di solito alimentate con cippato di biomasse legnose). Per serre di 1.000 m² ed impieghi non inferiori alle 2.000 ore annuali di riscaldamento sono richiesti consumi di biomassa fino a 150 t/anno. Nei confronti del bilancio delle emissioni di CO₂, inoltre, il pellet rispetto all'impiego di sistemi di riscaldamento a gasolio, tenuto conto dei rispettivi poteri calorifici (1 kg di pellet equivale a circa 0,40 kg di gasolio), consente una riduzione media di CO₂ compresa tra 0,5-1 ton/m³ di biomassa. Volendo prevedere una autonomia di 1 mese, sono necessari circa 30 quintali di legna che occupano un volume di circa 7,5 m³, considerando un volume specifico medio di 400 kg/m³. Una caldaia da 250 kW, alimentata con un cippato caratterizzato da un potere calorifico di 12-14 MJ/kg, consuma circa 80-100 kg/h di cippato e quindi per una autonomia di circa 1 mese, con un funzionamento giornaliero di circa 10 ore, richiede un serbatoio di accumulo della capacità di 25.000 kg, corrispondenti ad un volume di circa 100-120 m³, considerando un volume specifico medio di 250 kg/m³.

DISCUSSIONE DEI RISULTATI

Le attività di studio e ricerca della tesi hanno previsto la raccolta e l'elaborazione sia dei dati di radiazione solare (reperiti sul sito internet dell'ENEA) e sia i dati sulla potenzialità della biomassa solida da mettere funzionalmente in relazione con la climatizzazione delle serre. Sulla base dei dati raccolti sui consumi medi di energia elettrica dei sistemi serra (Tab. 38) e rispettivamente quelli sulle potenze medie impiegate nella serricoltura ai fini della climatizzazione termica dei sistemi serra sulla base dei dati raccolti in Italia e in Europa (Tab. 39), sono state valutate le potenzialità del solare fotovoltaico e della biomassa solida per le richieste elettriche e termiche delle serre. I dati sull'energia termica per le serre sono reperibili dalla bibliografia riportata in questa tesi (42), (45).

La risorsa fotovoltaica (in Italia non meno di 12 GW installati al 2012 con previsioni di 23 GW al 2016 secondo APER) viene per i sistemi serra viene riferita all'applicazione di pannelli FV non necessariamente integrati con la struttura serra ma in posizioni funzionali alla produzione elettrica mediante le soluzioni produttive e/o commerciale più funzionali per l'azienda serricola (stand-alone o associati alla rete elettrica).

Tab. 38 - Stima del consumo elettrico giornaliero di una serra in zona a clima mediterraneo

Operazione	Potenza	Primavera	Estate	Autunno	Inverno
	installata[kW]	(kWh.d ⁻¹ .ha ⁻¹)	(kWh.d ⁻¹ .ha ⁻¹)	(kWh.d ⁻¹ .ha ⁻¹)	(kWh.d ⁻¹ .ha ⁻¹)
Aperture	18	15	4.5	15	2.5
Ombreggiamento	5	0,20	0,20	0,20	0,20
Irrigazione	20	8,5	16	8,5	4.2
Riscaldamento	5	12	-	12	21
Ventilazione	15	120	-	120	210
Cooling (Fog)	75	-	225	-	-
Ventilazione	15		90		
Sistemi di	1	12	12	12	12
TOTALE		167,7	347,7	167,7	249,9

Tab. 39- Energia termica per i sistemi serra

Energia per le serre	
Sud Europa (area Mediterranea)	Centro-Nord Europa
5 - 7 kg equivalenti petrolio /anno/m ²	40 - 80 kg equivalenti petrolio /anno/m ²

Sono particolarmente utili anche le seguenti pubblicazioni non inserite in bibliografia:

Campiotti, C.A., et Al., 1991. Sviluppo di un modello di calcolo per valutare il consumo termico di sistemi di riscaldamento per serre di tipo mediterraneo. *Colture Protette*, 4.

Campiotti C., F. Dondi, M. Scoccianti, F. Di Carlo, C. Bibbiani, L. Incrocci, G. Alonzo. 2009. Preliminary results of a PV closed greenhouse system for high irradiation zones in South Italy. *International Symposium GreenSys2009*, June 14-19, 2009. *Acta Hort.* 893, ISHS 2011.

Per tale scopo si è utilizzato il modello di calcolo matematico appositamente sviluppato e il modello ENEA-Soltec utilizzato per valutare la disponibilità di energia solare. Attraverso entrambi i modelli di calcolo, rispettivamente per l'energia solare e per i carichi termici delle serre, sono state valutate le potenzialità applicative del solare fotovoltaico per le utenze elettriche e della biomassa solida per coprire le richieste termiche dei sistemi serra. In particolare è stato organizzato un foglio di calcolo elettronico con il quale sono state effettuate le necessarie elaborazioni nei confronti dei dati raccolti e le conseguenti valutazioni tecniche. Le Figg30-31, mostrano la disponibilità di radiazione solare utilizzabile ai fini della conversione fotovoltaica. Per verificare l'applicazione del solare fotovoltaico sono state definite sia le ore di funzionamento delle utenze elettriche, stimate in circa 357 ore e sia la disponibilità annuale della radiazione solare rispetto all'energia elettrica necessaria per le diverse apparecchiature.

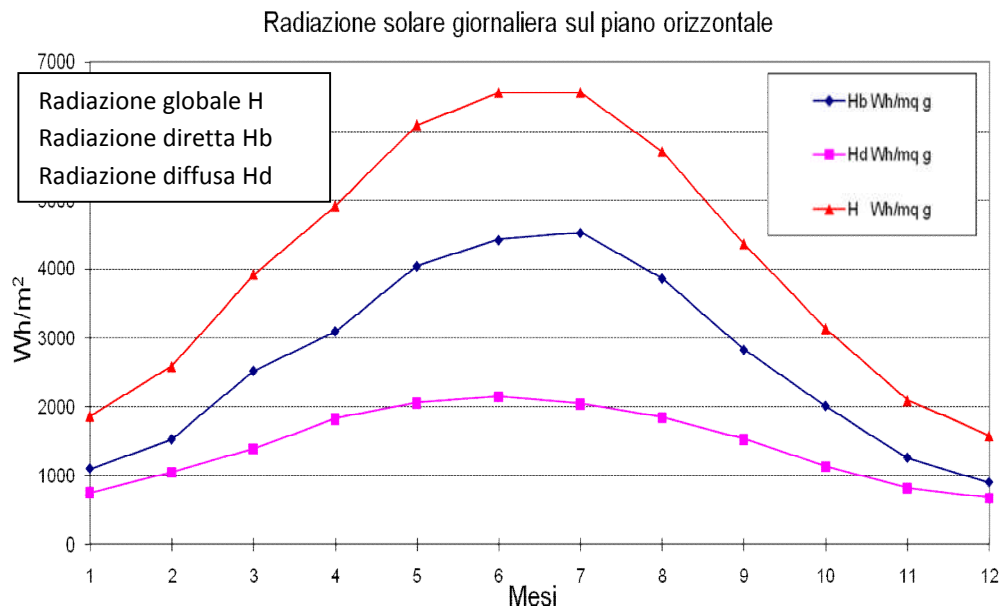


Fig. 30 – Radiazione solare sul piano orizzontale in Italia

Radiazione giornaliera

Alla fine del giorno d la radiazione globale giornaliera su piano orizzontale, $H_g(d)$, viene calcolata come frazione di quella extra-atmosferica, $H_{0g}(d)$:

$$H_g(d) = \frac{\sum_h G(h)}{\sum_h G_0(h)} \cdot H_{0g}(d)$$

dove le somme sono riferite alle sole ore h a cui si sono stimati i valori $G(h)$.

La radiazione giornaliera media mensile per il mese m , $\bar{H}_{gm}(m)$, si ricava come media aritmetica degli n valori giornalieri $H_g(d)$ disponibili nel mese ($n \leq$ numero di giorni del mese):

$$\bar{H}_{gm}(m) = \frac{\sum_d H_g(d)}{n}$$

La risoluzione spaziale dei valori stimati dall'Heliosat risulta di circa $7 \times 7 \text{ km}^2$: ad una località si attribuisce un valore che è la radiazione media incidente su un trapezoide di queste dimensioni centrato sulle sue coordinate.

(Fonte: Petrarca S., Cogliani E., Spinelli F. "La radiazione solare globale al suolo in Italia")

Modello ENEA per il calcolo della frazione della radiazione diffusa rispetto alla globale

Definizioni:

H_{glob} : radiazione globale (diretta+diffusa) al suolo [sul piano orizzontale]

H_o : radiazione extra-atmosferica (anche: extraterrestre) [sul piano orizzontale]

K_T : coefficiente di trasmissione globale al suolo $= H_{glob} / H_o$

H_{diff} : radiazione diffusa al suolo [sul piano orizzontale]

K : frazione della radiazione diffusa rispetto alla globale = H_{diff} / H_{glob}

Tutte le quantità sono riferite al *dato giornaliero medio mensile*.

La procedura di calcolo richiede che sia nota K in funzione di K_T . E' possibile scegliere fra le seguenti tre correlazioni:

1) correlazione adottata dalla stessa Norma UNI 8477 :

$$K = 0.881 - 0.972 K_T$$

2) correlazione ENEA-SOLTERM, stabilita per l'Italia, in base alle misure della *Rete attinometrica dell'ENEA*:

$$K = 1 - 1.165 (0.0695 + 0.8114 K_T)$$

3) correlazione Iqbal (da M. Iqbal, *An Introduction to Solar Radiation*, pag. 257):

$$K = 0.958 - 0.982 K_T$$

Gli andamenti delle tre correlazioni sono numericamente confrontabili. Va notato che H_o - e conseguentemente il calcolo di K_T - dipende dal valore della *costante solare Isc*, per la quale sono disponibili in letteratura le seguenti misure:

$Isc = 1.353 \text{ W/m}^2$: NASA, 1971

$Isc = 1.367 \text{ W/m}^2$: WRC, 1981

La correlazione ENEA-SOLTERM è stata stabilita in base alla seconda delle due misure; le correlazioni UNI e Iqbal invece sulla base della misura meno recente; di ciò si tiene opportunamente conto nella procedura correggendo il termine K_T del fattore

$$f = 1.367/1.353$$

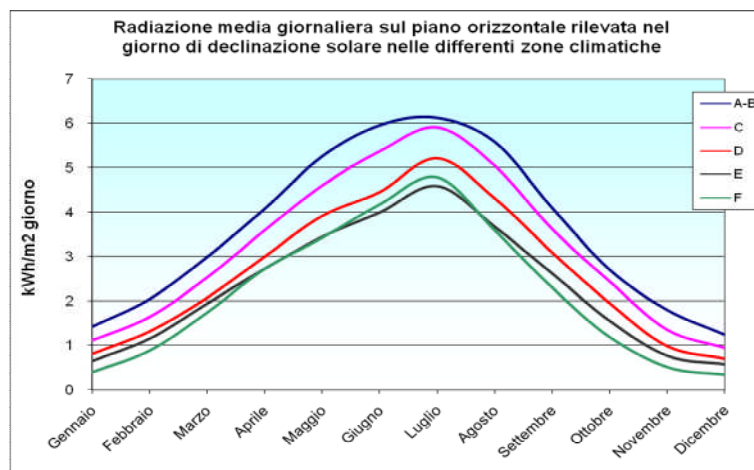


Fig. 31 – Radiazione media giornaliera sul piano orizzontale

Parimenti, la Tab.39 e la Fig.40 mostrano le richieste termiche dei sistemi serra in relazione alle fasce climatiche e ai diversi livelli previsti per le temperature interne delle serre.

Tab. 39 - Consumo energetico in base alle temperature interne della serra (20°C; 16°C; 12°C)

Zone climatiche	Valori di richiesta energetica espressa in kWh/m ² /anno			
	Livello termico 20°C	Livello termico 16°C	Livello termico 12°C	Potenza specifica media richiesta (W/m ²)
A-B	120	42	21	30-50
C	214	97	44	75-100
D	343	215	97	100-125
E	474	287	192	125-175
F	546	420	215	>175

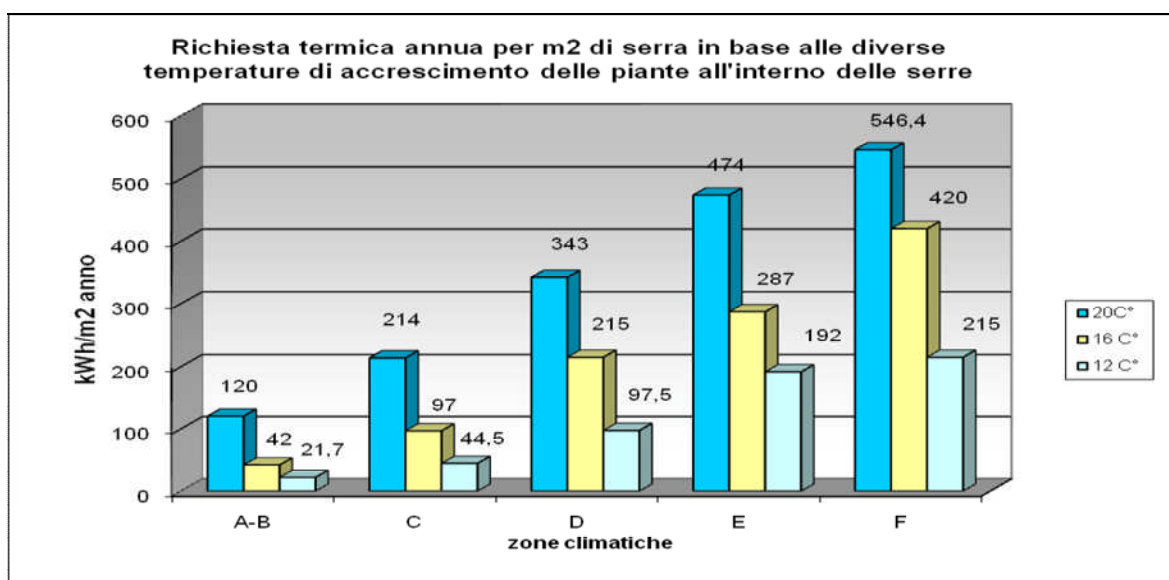


Fig. 40 – Richieste termiche delle serre (kWh/m²/anno)

Le richieste termiche delle serre sono state valutate mediante l'equazione sotto riportata e in relazione al numero di ore di riscaldamento necessarie per mantenere i profili di temperatura adeguati alla fascia climatica, alla tipologia di serra e alle temperature richieste dalle colture (Tab. 40). In particolare, le valutazioni sono state riferite a serre-tunnel coperte con film plastico, con un coefficiente globale di dispersione termica (U) pari a 8 W/m² K.

Tab. 40 – Dati tecnici utilizzati per la valutazione delle richieste termiche dei sistemi serra in Italia

N. oreanno di riscaldamento in serra	Fascia	Da [GG]	A [GG]	Ore giornaliere	Data inizio	Data fine
	320	A	-∞	600	6	1° dicembre
B		601	900	8	1° dicembre	31-mar
480	C	901	1400	10	15-nov	31-mar
1200	D	1401	2100	12	1° novembre	15-apr
1800	E	2101	3000	14	15-ott	15-apr
2300	F	3000	+∞	nessuna limitazione (tra le ore 5 e le ore 23 di ciascun giorno)		

L'unità di riferimento considerata per l'energia termica è stato il metro quadrato di serra riscaldata mentre il fabbisogno energetico è stato individuato in funzione del parametro Ac/As , che rappresenta il rapporto tra la superficie della copertura trasparente e la superficie di base della serra. Per il rendimento di impianto (caldaia a biomassa) si è assunto un valore pari a 0,9. Pertanto il fabbisogno di energia è stato calcolato con l'espressione:

$$Q = (Ac/As) \cdot U \cdot (Ti - Te) \cdot h / \eta_c \cdot 10^{-3} \quad (\text{kWh/anno/m}^2)$$

dove:

- Q = energia primaria necessaria per il riscaldamento (kWh/anno/m²)
- Ac = superficie della copertura trasparente della serra, incluse pareti frontali e laterali (m²)
- As = superficie di base della serra (m²).
- Ti = temperatura aria interna (°C).
- Te = temperatura aria esterna (°C).
- U = coefficiente globale di dispersione termica (W/m² K).
- h = ore di funzionamento dell'impianto.
- η_c = rendimento medio della caldaia = 0,9.

I dati sono stati organizzati in accordo con il seguente calcolo (elaborato su base mensile):

$$f(x) = (Ac/As) \cdot U \cdot (Ti - T_{(GG)}) - [H_{(GG)} \cdot \eta_{(H)}]$$

- $T_{(GG)}$ = temperatura media giornaliera riferita alle fasce climatiche
- $H_{(GG)}$ = radiazione globale media giornaliera
- $\eta_{(H)}$ = coefficiente di penetrazione della radiazione in serra (0,5)
- U = coefficiente globale di dispersione termica (W/m² K) = 8
- Ac/As = 1,5

Il calcolo annuo per ogni fascia è dato da:

12

$$\sum_{x=1}^{12} f(x) = (Ac/As) \cdot U \cdot (Ti - T_{(GG)}) - [H_{(GG)} \cdot \eta_{(H)}]$$

$x=1$

con x = mesi dell'anno

Le valutazioni sono state quindi riportate in grafico per ciascuna delle fasce climatiche presenti in Italia.

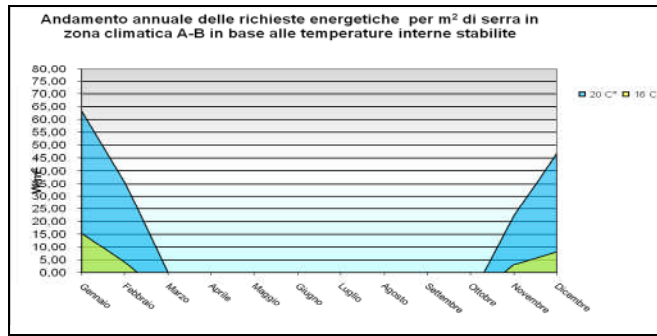


Fig. 32 – Potenze termiche medie giornaliere per m² di serra per differenti temperature

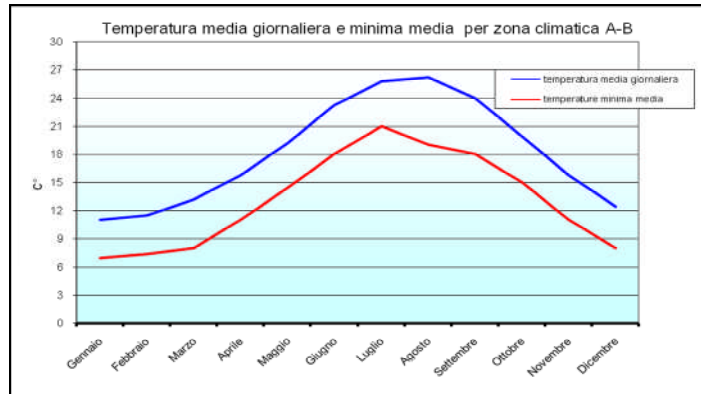


Fig. 33 – Temperature medie giornaliere

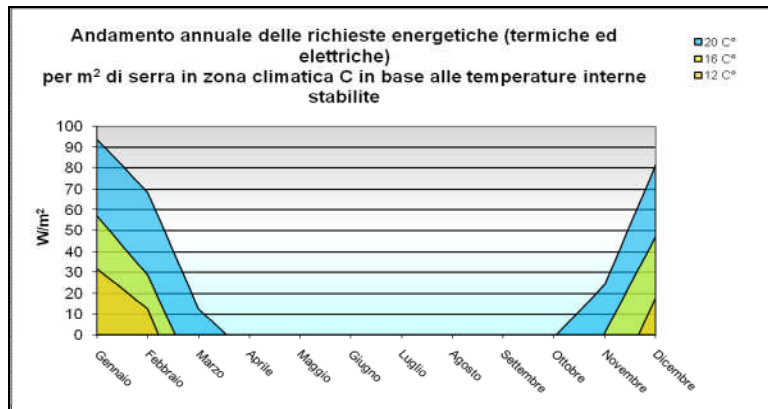


Fig. 34 –Potenze termiche medie giornaliere per m² di serra per differenti temperature

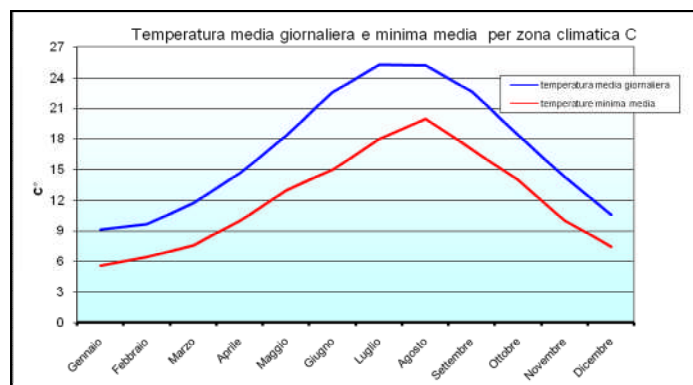


Fig. 35 – Temperature medie giornaliere

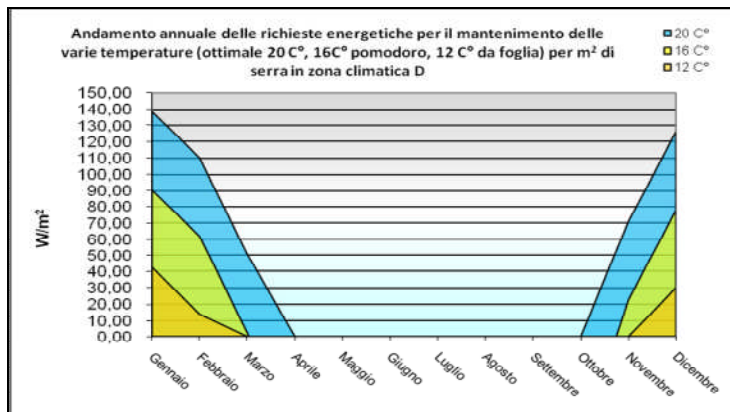


Fig. 36 – Potenze termiche medie giornaliere per m² di serra per differenti temperature

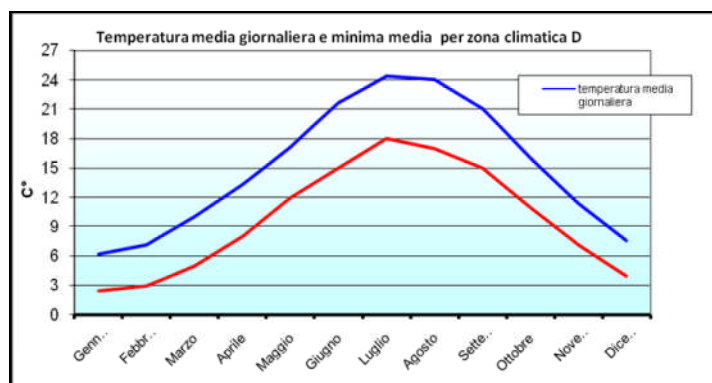


Fig. 37 – Temperature medie giornaliere

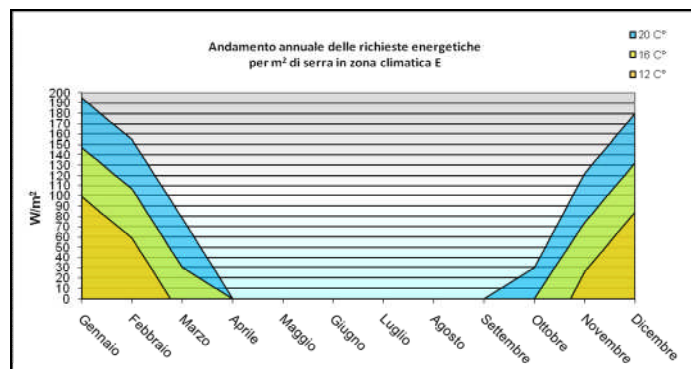


Fig. 38 – Potenze termiche medie giornaliere per m² di serra per differenti temperature interne

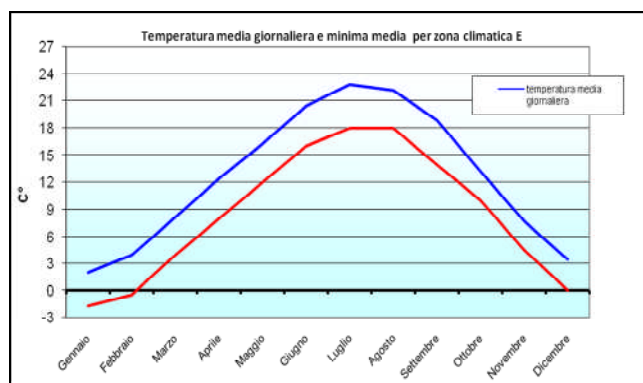


Fig. 39 – Temperature medie giornaliere

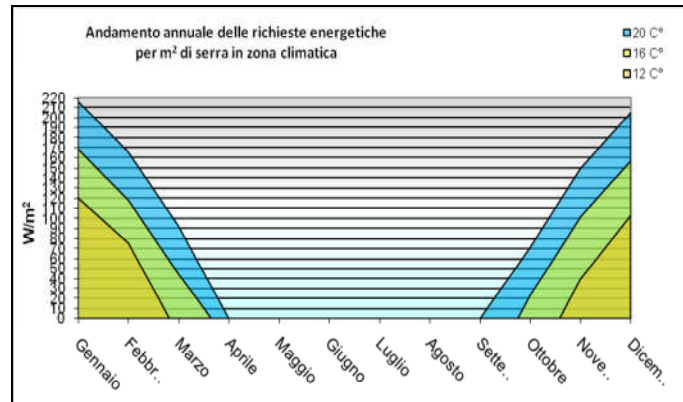


Fig. 40 – Potenze termiche medie giornaliere per m² di serra per differenti temperature interne

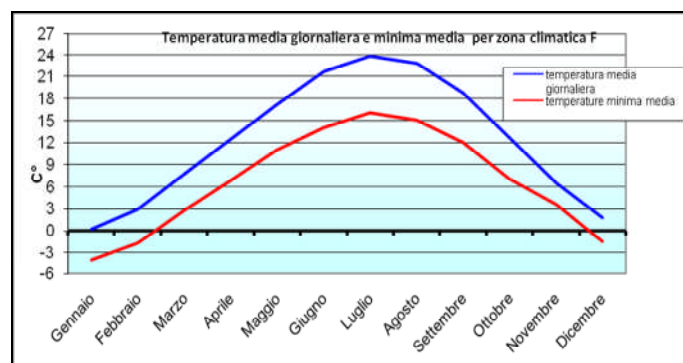


Fig. 41 – Temperature medie giornaliere

I dati ottenuti con le elaborazioni effettuate con il foglio di calcolo utilizzato, si sono dimostrati sostanzialmente in accordo con i dati già disponibili in bibliografia e soprattutto con quelli definiti attraverso tre anni di attività di ricerca e di sperimentazione previsti dalla tesi. Le potenze energetiche per la copertura delle richieste termiche dei sistemi serra sono mediamente comprese tra 50-100 W/m² (fasce climatiche A-B-C) e tra 150-200 W/m² (fasce climatiche D-E-F), in relazione alla tipologia di serra e al suolo coperto dalla coltura vegetale oltre che in accordo con gli intervalli temporali stabiliti per il riscaldamento artificiale.

Per quanto riguarda la copertura delle richieste di energia elettrica attraverso l'impiego del solare fotovoltaico, l'elaborazione dei dati relativi a un impianto fotovoltaico di 70 kWp (Fig. 42 e Tab. 41), sviluppata sulla base di una superficie serre di 10.000 m² (1 ha), in funzione delle ore di funzionamento delle utenze elettriche e della produzione fotovoltaica media giornaliera, mostra una copertura integrale delle richieste di energia elettrica eccetto che per un breve periodo nei mesi invernali.

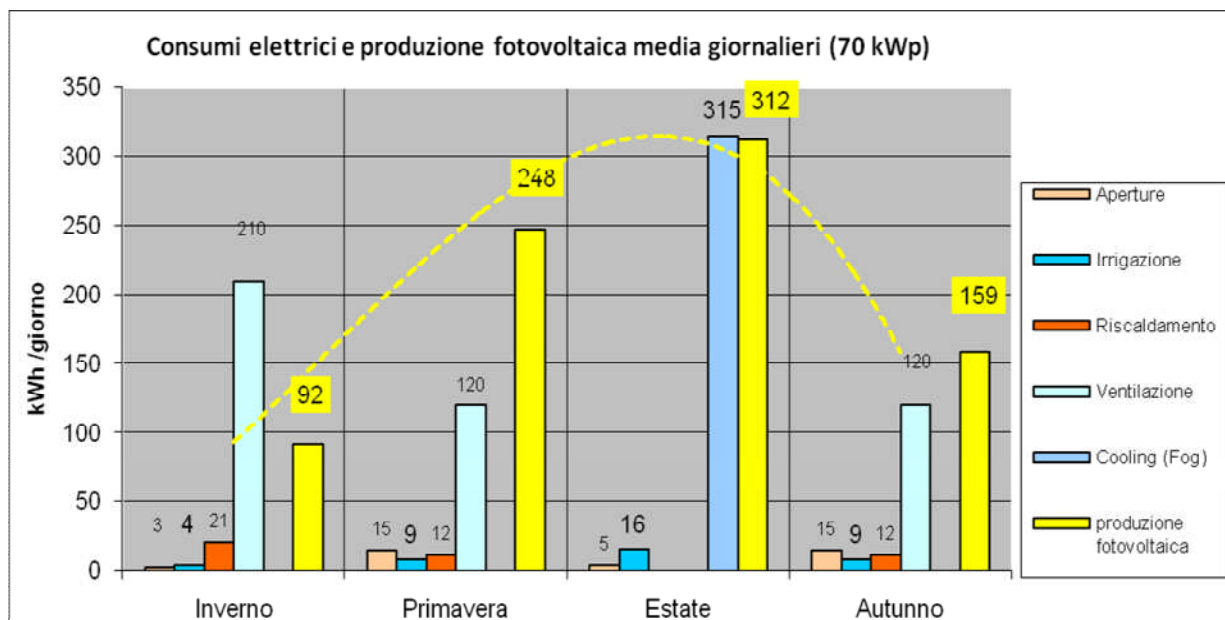


Fig. 42 – Produzione fotovoltaica (la linea gialla mostra la produzione FV riporta la produzione in kWh/giorno mentre gli altri numeri esprimono le ore di funzionamento delle utenze elettriche

Tab. 41 - Dati di calcolo per impianto fotovoltaico 70 KW

Energia richiesta dall'utenza	83.970,00	KWh/anno
Irraggiamento Solare su Piano orizzontale(Dati	1.366,50	kWh/m ² anno
Irraggiamento Solare sul Piano dei Moduli	1.503,67	kWh/m ² anno
Ore equivalenti giorno	4,12	
Energia richiesta dall'utenza giornalmente	230,05	KWh/giorno
Rendimento complessivo	0,80	
<i>Percento di energia per auto consumo</i>	100%	
Potenza di installazione del Campo fotovoltaico	69,80	Kwe
Moduli Fotovoltaici con potenza di Picco	180	Watt
Numero di moduli	388	

<i>Caratteristiche dei Moduli</i>		
Superficie moduli per kWp	7,1	m ² /kWp
Superficie totale moduli	498,4	m ²
<i>Quantità di energia elettrica generata in un anno</i>		
Assumiamo il valore medio annuale per heq	1.503,67	heq
Assumiamo il valore medio giornaliero per heq	4,12	heq
ENERGIA PRODOTTA DAI MODULI	104.962,50	kWh/anno
ENERGIA PRODOTTA DAL CAMPO		
Eel = numero (moduli) x (Wp) x (heq) · ρ · 365 =		
ρ è il rendimento medio del sistema Fotovoltaico	83.970	kWh/anno

Sulla base del modello di calcolo utilizzato per definire la disponibilità e l'intensità dell'energia

solare, la soluzione proposta (70 kW), riferita a una struttura comunque significativa in termini di dimensioni e consumi elettrici, potrebbe tuttavia superare un eventuale deficit di energia fotovoltaica attraverso il ricorso da parte dell'azienda agricola a un accordo contrattuale di fornitura con la società di servizi elettrici adatto a una gestione ottimale dell'energia elettrica prodotta in surplus durante l'anno per avere la sicurezza della continuità di fornitura elettrica per le utenze della serra. Per una maggiore informazione rispetto alla congruità del solare fotovoltaico per le serre è stata valutata anche una soluzione riferita a un sistema serra di 2000 m² provvisto con una potenza fotovoltaica di 19,9 kWp (Tab.42), che, in generale rappresenta la superficie media familiare per questo tipo di impresa agricola. I dati mettono in evidenza che per questa soluzione è possibile la copertura integrale delle richieste di energia elettrica annuali.

Tab. 42 - Dati di calcolo per impianto fotovoltaico di 19,9 kW

Energia richiesta dall'utenza	23.900,00	kWh/anno
Irraggiamento Solare su Piano orizzontale(Dati	1.366,50	kWh/m ² anno
Irraggiamento Solare sul Piano dei Moduli	1.503,67	kWh/m ² anno
Ore equivalenti giorno	4,12	
Energia richiesta dall'utenza giornalmente	65,48	kWh/giorno
Rendimento complessivo	0,80	
<i>Percento di energia per auto consumo</i>	100%	
Potenza di installazione del Campo fotovoltaico	19,87	Kwe
Moduli Fotovoltaici con potenza di Picco	180	Watt
Numero di moduli	110	
<i>Caratteristiche dei Moduli</i>		
Superficie moduli per kWp	7,1	mq/kWp
Superficie totale moduli	141,9	mq
<i>Quantità di energia elettrica generata in un anno</i>		
Assumiamo il valore medio annuale per heq	1.503,67	heq
Assumiamo il valore medio giornaliero per heq	4,12	heq
ENERGIA PRODOTTA DAI MODULI	29.875,00	kWh/anno
ENERGIA PRODOTTA DAL CAMPO Eel = numero (moduli) x (Wp) x (heq) · ρ · 365 = ρ è il rendimento medio del sistema Fotovoltaico	23.900	kWh/anno

Per quanto riguarda l'impiego della biomassa solida, occorre considerare che sebbene lo sviluppo tecnologico raggiunto dal comparto delle caldaie a biomassa consenta ormai la completa copertura di qualsiasi livello termico richiesto dalla eventuale specializzazione dei sistemi serra, tuttavia il successo economico del riscaldamento con caldaie a biomassa solida non può non tenere conto dei costi dovuti all'approvvigionamento della biomassa in termini di distanza dai siti di produzione e dalla dimensione dei locali di stoccaggio. La Fig. 43 mostra il quantitativo di biomassa necessario a coprire le richieste della filiera dei sistemi serra in Italia.

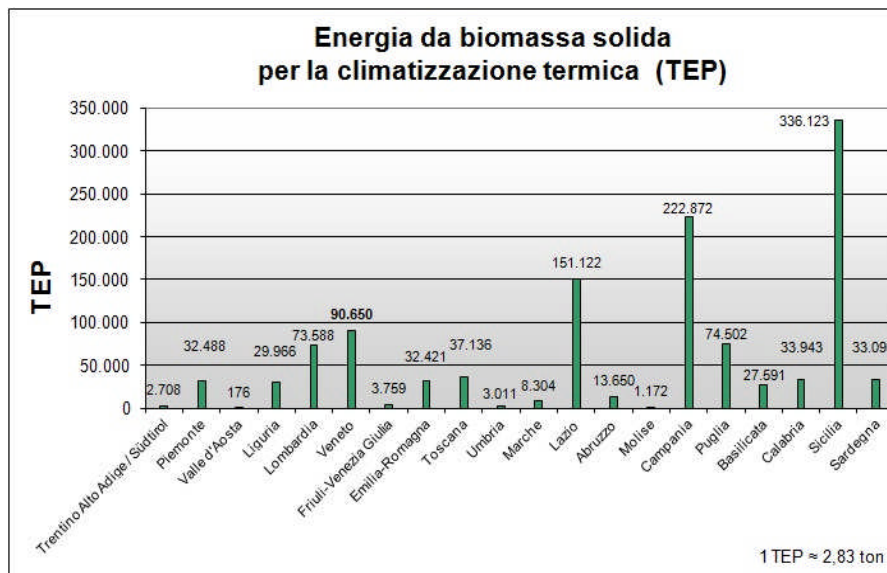


Fig. 43 – Biomassa per la copertura delle richieste termiche della filiera dei sistemi serra

E' evidente che una soluzione di successo del riscaldamento a biomassa per i sistemi serra dipende certamente anche dalla possibilità di produrre in proprio la biomassa e da un corretto dimensionamento e gestione operativa della caldaia a biomassa. Infatti, tra le peculiarità tecniche della caldaia a biomassa per la climatizzazione termica di un sistema serra è fondamentale da un lato definire in modo appropriato gli elementi tecnici indicati come carico termico medio (*base-load*) e carico di picco (*peak-load*), soprattutto in relazione agli stessi elementi che, come sappiamo, si riscontrano anche nelle richieste della serra. In pratica, si tratta di trovare le soluzioni tecniche più opportune per consentire di ottenere una sovrapposizione ottimale delle curve di funzionamento relative alla caldaia a biomassa e alle richieste termica della serra. A questo scopo, l'impiego di un accumulatore-tampone (*buffer*) costituito da un deposito di acqua è in grado di minimizzare la frequenza delle fasi di accensione-spegnimento che la caldaia oppone alle richieste termiche della serra (in generale, un range di 20-30 l/kW di potenza nominale sono sufficienti ai fini del dimensionamento del buffer). Un ulteriore elemento da prendere in considerazione per raggiungere la soluzione più adeguata sotto il profilo tecnico ed economico è rappresentato dalla scelta di utilizzare un sistema di distribuzione del fluido riscaldato dalla caldaia a biomassa costituito da elementi radianti posti il più possibile adiacenti alle piante coltivate e con superfici di scambio adatte a soddisfare le temperature richieste dalla coltura vegetale.

A questo proposito è utile il riferimento al *Caso studio* riportato nelle pagine precedenti di questa tesi, che mostra esempi di sistemi di riscaldamento di due tipologie di serra che operano in condizioni di picco (-5°C) e sulla base di differenti sistemi di riscaldamento alimentati mediante acqua calda a 38 °C, sviluppati secondo il modello matematico proposto per definire le potenze e l'energia termica richieste dai sistemi serra. Si evince, infatti, che le condizioni ottimali di temperatura (20 °C) sono ottenute con un minore impegno di potenza termica mediante l'impiego di manichette radianti. Per illustrare la percentuali di carico termico di una caldaia a biomassa, in relazione alle ore di funzionamento e al carico termico, è stata sviluppata la figura sotto riportata (Fig. 44) . In modo chiaro, si evidenzia come il funzionamento di *peak-load* rappresenti soltanto il 5% del riscaldamento annuale a biomassa rispetto al 95% di funzionamento *base-load*.

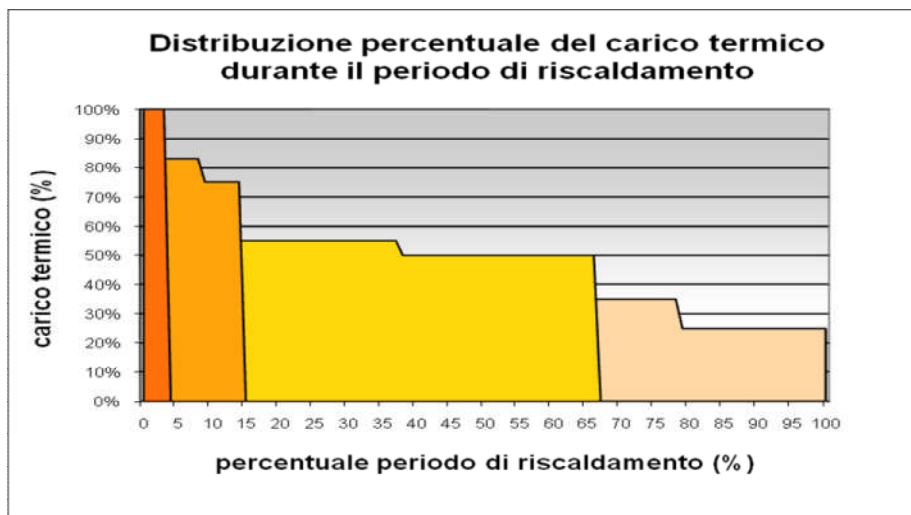


Fig. 44 – Distribuzione del carico termico

A nostro avviso, tra le considerazioni più opportune, oltre all’installazione di un sistema di accumulo, è utile il ricorso a una semplice termoventilazione con una caldaia a biomassa di piccole dimensioni al fine di consentire la copertura integrale della richiesta termica della serra. La Fig. 45, infine, mette evidenza che mentre le richieste medie di energia elettrica sono praticamente costanti durante l’anno, quelle termiche sono indicativamente richieste soprattutto per consentire alla serra di mantenere una temperatura interna non inferiore ai 15 °C.

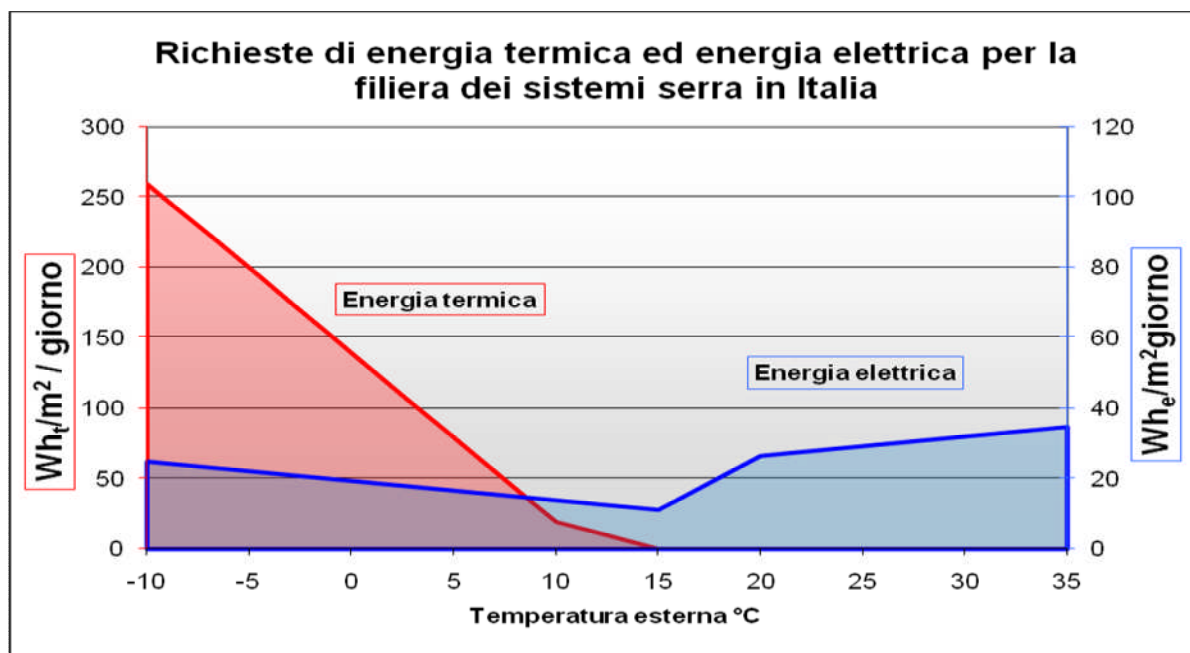


Fig. 45 - Richieste termiche ed elettriche della filiera dei sistemi serra

Una considerazione sicuramente importante ai fini della gestione energetica della filiera dei sistemi serra in Italia che scaturisce dai dati presentati può essere certamente riferita alla determinazione delle potenze energetiche da utilizzare ai fini della climatizzazione sostenibile delle serre. Questo risultato, che è stato possibile sulla base dei due modelli di calcolo sviluppati ai fini della determinazione delle richieste elettriche e termiche delle serre apre prospettive sicuramente utili per la progettazione di impianti termici per i sistemi serra in Italia alimentati con

la risorsa rinnovabile. I dati tecnici ed energetici sia elettrici e sia termici dei sistemi serra sono stati elaborati in funzione delle quantità di energia rispettivamente richieste dai sistemi serra durante le ore di funzionamento della climatizzazione artificiale nelle sei fasce climatiche.

CONCLUSIONI

Scopo principale dello studio e della ricerca di questa tesi è stata l'individuazione e lo sviluppo di un modello sostenibile per la filiera dei sistemi serra in Italia, con specifico riferimento alla risorsa solare fotovoltaica e alla biomassa solida, per coprire le richieste di energia elettrica e di energia termica per la climatizzazione delle serre.

Nella prima parte, la tesi ha delineato un quadro generale dei consumi di energia del sistema agricolo, definito secondo l'accezione più ampia di agricoltura (produzione primaria) + industria alimentare (principalmente trasformazione dei prodotti vegetali). Quindi sono stati affrontati in modo specifico i consumi di energia fossile del comparto delle serre per la climatizzazione artificiale degli ambienti protetti. Le attività hanno previsto sia un'analisi dei consumi di energia del sistema agricolo nel suo complesso e sia un'analisi preventiva condotta sulle principali esperienze di ricerca già effettuate e presenti in bibliografia nei confronti della determinazione delle potenze energetiche e dell'energia necessarie per mantenere il comfort microclimatico delle serre.

I risultati hanno messo in evidenza che, a fronte di un consumo di energia complessivo del sistema agricolo quantificati in 16,31 Mtep al 2012, nella quota di 5,2 Mtep che può essere riferita al settore agricoltura, la filiera dei consumi di energia per la climatizzazione delle serre raggiunge un valore di energia pari a 0,73 Mtep, che corrisponde al 14% dei consumi di energia del settore agricoltura, sebbene i sistemi serra rappresentino soltanto lo 0,032 della SAU (Superficie Agricola Coltivata).

In particolare, questi consumi si riferiscono principalmente ai consumi di energia diretta (combustibili per il riscaldamento e energia elettrica per le utenze della serra impegnate nei processi di climatizzazione (raffrescamento, condizionamento, ventilazione, fertirrigazione) e per i servizi (soprattutto luce).

Pertanto non sono stati inclusi i consumi indiretti relativi all'impiego della plastica per le coperture e la pacciamatura dei sistemi serra, stimati in oltre 1,4 Mtep dovuti all'energia per la produzione dei materiali plastici, che tuttavia sono stati riportati all'interno dei consumi di energia del settore agricoltura. La tesi ha preso in considerazione anche un'esposizione generale degli aspetti che si riferiscono alla fisiologia vegetale in termini di crescita e sviluppo delle piante coltivate. Inoltre è stata condotta un'analisi dei modi con i quali si manifesta e si rileva la radiazione solare nonché un'analisi sui flussi di energia che caratterizzano i sistemi serra. Ai fini dei calcoli per le valutazioni relative alle necessità termiche dei sistemi serra è stato sviluppato un apposito modello matematico di semplice applicazione. Sono state riportate brevemente le policy Europee sulla sostenibilità energetica ed ambientale in riferimento alle energie rinnovabili e all'efficienza energetica.

I dati riportati e le considerazioni espresse nella presente tesi di dottorato mettono in evidenza le forti potenzialità e il ruolo della risorsa rinnovabile in termini di solare fotovoltaico e di biomassa solida per la copertura integrale delle richieste di energia sia

elettrica sia termica della filiera dei sistemi serra in Italia.

La prospettiva relativa alla costruzione di una filiera dei sistemi serra energeticamente sostenibile risulta certamente stimolante sebbene il raggiungimento di tale obiettivo pone ancora qualche interrogativo in termini tecnici, energetici, economici e forse anche legislativi. In particolare, in termini tecnici tali problemi sono principalmente connessi con l'utilizzazione della risorsa solare per le richieste di energia elettrica e riconducibili essenzialmente alla discontinuità dell'energia solare durante l'anno e di conseguenza alla necessità di impiegare strategie colturali e idonei sistemi e processi produttivi per massimizzare il monitoraggio sulla disponibilità e sulla produzione e uso dell'energia elettrica fotovoltaica prodotta durante l'anno. Per quanto riguarda invece l'uso della biomassa solida (pellet, brichette, chips), sebbene in linea generale sicuramente adatta al riscaldamento di serre, il suo impiego ottimale, tuttavia, non può prescindere dall'adozione di soluzioni capaci di coniugare efficientemente la funzionalità e l'efficienza delle caldaie a biomassa con le richieste termiche dei sistemi serra, soprattutto per evitare il sovradimensionamento della caldaia a biomassa, con i conseguenti problemi di ordine operativo, quali i continui cicli di accensione/spegnimento della caldaia per soddisfare i diversi momenti di carico termico medio e carico termico di picco.

I risultati di questo triennio di attività di ricerca per l'elaborazione della presente tesi, ai quali si aggiungono i dati provenienti da altre esperienze di ricerca, sono sicuramente importanti al fine di indicare agli operatori della filiera dei sistemi serra le soluzioni migliori in termini di tecnologie applicabili ed economicamente valide nell'ambito dell'obiettivo generale costituito dalla minimizzazione dei costi energetici dell'azienda serricola.

Il passaggio verso una diffusione ed accettazione ad ampio raggio all'interno del mondo dell'agricoltura e delle imprese nonché la produzione da parte dell'industria dei sistemi energetici più adatti e più competitivi per la migliore commercializzazione ed applicazione del solare fotovoltaico e della biomassa solida rappresentano fasi indispensabili ai fini dell'attivazione di un nuovo comparto produttivo nel settore dell'agricoltura e nella possibilità di nuove professionalità e di nuovi posti di lavoro.

Dal punto di vista energetico ed economico, le disponibilità offerte dagli incentivi governativi a favore dell'Efficienza Energetica e dell'uso del riscaldamento a biomassa attraverso i Decreti Certificati Bianchi e Conto termico costituiscono elementi di indubbio sostegno per sostenere gli investimenti nella risorsa rinnovabile e nella coltivazione in serra. Per quanto riguarda gli aspetti legislativi è evidente che la "certezza" degli incentivi è condizione indispensabile per creare le condizioni e le convinzioni più ampie tra gli agricoltori e le imprese per investire nella sostenibilità energetica ed ambientale dell'impresa serricola. Come si evidenzia dai dati riportati, la possibilità di coprire integralmente con l'energia rinnovabile le richieste di energia elettrica e termica apre la prospettiva concreta oltre che rispetto all'autosufficienza energetica della "nicchia di mercato" rappresentata dalla filiera dei sistemi serra (e per associazione dell'intero settore agricoltura), anche nei confronti dell'affermazione di un modello di sviluppo energetico ed economico sostenibile e decentrato alternativo a quello attuale che ancora si avvale fortemente delle energie fossili per i processi produttivi in agricoltura.

In questo contesto, non è secondario sottolineare che la stessa peculiarità che caratterizza le produzioni in serra in termini di impiego di ingenti quantitativi di energia fossile oltre all'energia diretta per la climatizzazione termica anche quella indiretta dovuta ai fertilizzanti, ai fitosanitari,

alle materie plastiche, potrebbe sicuramente trarre vantaggi di ordine economico da un modo di produrre meno intenso rispetto alla specializzazione delle produzioni ma più in sintonia oltre che con i sistemi rinnovabili anche con la problematica legata agli impatti ambientali.

In questo senso, l'affermazione di sistemi di climatizzazione sostenibili per le serre potrà contribuire a rivalutare positivamente il comparto delle produzioni in serra che spesso è considerato in modo negativo da una parte del mondo dei consumatori. La piena affermazione delle tecnologie rinnovabili proposte necessita naturalmente di studi, ricerche ed esperienze continui per ottimizzare la dimensione dell'agricoltura protetta rispetto alle esigenze di sostenibilità provenienti ormai dagli stessi settori del commercio e dell'industria dell'agroalimentare. In ultima analisi, l'applicazione delle risorse rinnovabili, come dimostrato dai dati e dalle relative valutazioni riportate nelle pagine precedenti, oltre ai benefici di ordine energetico (risparmio di 0,76 Mtep) ed ambientale (risparmio di oltre 2 Mt di CO₂) relativi possono trovare ampia utilizzazione per un uso commerciale ed industriale alla luce dei Decreti Ministeriali del 28 dicembre 2012, Certificati Bianchi e Conto termico, che contengono le norme e le disposizioni applicative ai fini dell'incentivazione delle serre riscaldate con la biomassa solida (si veda annex). La climatizzazione delle serre con energie rinnovabili non ha ancora trovato larga diffusione soprattutto a causa di una scarsa recettività del sistema agricolo ad accogliere innovazioni come quelle rappresentate dai sistemi serra fotovoltaici, dall'uso della biomassa come combustibile e dall'applicazione di nuove tipologie strutturali del sistema serra. Per quanto riguarda, invece, i sistemi greenery, la scarsa diffusione è associata alla necessità di elaborare piani di sviluppo, da parte degli enti locali, mirati all'integrazione delle essenze vegetali come strumento per qualificare la sostenibilità energetica ed ambientale degli edifici civili. Inoltre, accanto alla necessità di nuove conoscenze tecniche richieste agli agricoltori e ai tecnici, la sostenibilità economica, energetica ed ambientale delle innovazioni proposte richiede anche lo sviluppo di filiere produttive a "circuito corto", dalle fasi di installazione alla coltivazione delle piante, alla gestione e alla manutenzione degli impianti e delle strutture, per assicurare il rendimento ottimale dei sistemi produttivi rinnovabili. In generale, le barriere più significative che ancora impediscono l'integrazione ottimale delle tecnologie rinnovabili in agricoltura e in modo specifico nella filiera dei sistemi serra sono sostanzialmente le seguenti:

- barriere istituzionali: iter burocratici eccessivamente complessi e normativa che potrebbe dare luogo a interpretazioni diverse.
- barriere sociali: insufficiente conoscenza dei benefici conseguibili dall'integrazione delle rinnovabili nel sistema produttivo da parte degli operatori coinvolti.
- barriere economiche/finanziarie: difficoltà di accesso al credito e scarsa disponibilità finanziaria propria per la realizzazione degli investimenti nelle rinnovabili.
- barriere tecniche: necessità di reperire informazioni e dati scientifici sulle tecnologie energetiche "green" e sulla loro disponibilità a livello nazionale, regionale e locale;
- barriere ambientali: vincoli paesaggistici a protezione degli ecosistemi locali e delle aree naturali, che spesso entrano in competizione con le necessità degli agricoltori.

BIBLIOGRAFIA

- (1). Campiotti C., C.Viola, M. Scoccianti. 2012. Efficienza Energetica in Agricoltura. RAEE 2011. Rapporto Annuale Efficienza Energetica. 2013 ENEA. ISBN 78-88-8286-27-4.
- (2). Campiotti C., Giuseppe Alonzo, Monica Patricia Ardeleanu. 2013. Energy challenge and Agriculture in Italy. PEEC **2013**, Bucharest, 7th March 2013.
- (3). 6° Censimento dell'Agricoltura. Istat 2010.
- (4). Campiotti C., Viola C., Alonzo G., Bibbiani C., Giagnacovo G., Scoccianti M., Tumminelli G. Sustainable Greenhouse Horticulture in Europe. Journal of Sustainable Energy, 2012. ISSN 2067 – 5534.
- (5). SRM 2013. La filiera agroalimentare. Un sud che innova e produce. Vol.2.
- (6). Campiotti C., Corinna Viola, Matteo Scoccianti, Giuseppe Alonzo. 2012. Agroalimentare e sviluppo economico sostenibile: energia, efficienza energetica, ambiente e cibo. Rivista di Studi sulla sostenibilità, Franco Angeli editore. n. speciale 2012.
- (7). ENEA, RAEE 2012.
- (8). ENEA, PAEE 2012.
- (9). G. Kom, Energie 6, Muzzio Editore 2003.
- (10). Campiotti C., Corinna Viola, M. Scoccianti, G. Giagnacovo, G. Lucerti. 2012. Le filiere del sistema agricolo per l'energia e l'efficienza energetica. RT/20111/11/ENEA.
- (11). Saunders C., Barber A., Taylor G. (2006). *Food miles – Comparative energy emissions performance of New Zealand's agriculture industry*. Research report n.285, July 2006. Testo disponibile al sito: www.lincoln.ac.nz.
- (12). Saunders C., Hayes P. (2007). *Air fresh transport of fresh fruit and vegetables*. Research report n.299, October 2007. Testo disponibile al sito: www.lincoln.ac.nz.
- (13). Stanghellini C. EFSA, 2010, Final reports on “Data-collection of existing data on protected crop systems (greenhouses and crops grown under cover) in European EU Member States”, <http://www.efsa.europa.eu/en/scdocs/doc/31e.pdf>.
- (14). Stanghellini C. Euphoros consortium, 2011. Environmental and economic profile of present Greenhouse production systems in europe <http://www.euphoros.wur.nl/NR/rdonlyres/FF27AE41-038D-41D1-BEEF>
- (15). www.enea.it; www.energiaenergetica.enea.it
- (16). MiSE. <http://www.sviluppoeconomico.gov.it/>
- (17). <http://it.wikipedia.org/wiki/Fedone>
- (18). http://it.wikipedia.org/wiki/Naturalis_historia
- (19). http://it.wikipedia.org/wiki/Jean_Baptiste_de_La_Quintinie
- (20). Jouët, J.P., 2001-Plastics in the world. *Plasticulture*, 2 (120): 108-126.
- (21). Jiang, W.J., Qu, D.Y., Mu, D., Wang, L.R. 2004. Protected cultivation of horticultural crops in China. *Hort. Rev.* 30:115-162.
- (22). Campiotti C. et al. 2010. Renewable energy for greenhouse agriculture. *Journal of Sustainable Energy*, Vol.1, No.2, June 2010.
- (23). Campiotti C., G. Alonzo, A. Belmonte, C. Bibbiani, F. Di Carlo, F. Dondi, M. Scoccianti. 2009. Renewable energy and innovation for sustainable greenhouse districts. CIE 2009 “Clean and Available Energy”. 15 th Conference of Energy Engineering, 4-5 June, 2009, Baile Felix (Oradea-Romania). University of Oradea, Fascicle of Energy Engineering, vol.15, 2009, I.S.S.N. 1224 – 1261.
- (24). R. Tesi, “Colture protette, ortoflorovivaismo in ambiente mediterraneo”, Edagricole, Sesta edizione Milano 2008.
- (25). *Plasticulture 2000*. CIPA. Vol.1-N119
- (26). Caruso G., relatore Prof. Sciortino A., , “Materiali plastici flessibili per la copertura delle serre”, Università degli studi di Palermo – Facoltà di Agraria 2002-2003;
- (27). Nisen A. *L'éclaircissement naturel de serres*. Ed.J. Duculot S.A., Gembloux, 1969.
- (28). M. Petrulli, “approfondimento 18/11/2008 – Maggioli Editore – edilizia ed urbanistica;
- (29). Comitato Europeo Normazione.
- (30). *Plants as Solar Collectors. Optimizing productivity for energy*. Series E, Volume 4. D. Reidel publishing company. CEE. 1983.

- (31). Jacob A. Nelson and Bugbee B. Supplemental greenhouse lighting: Return on Investment for Led and HPS fixtures. <http://cpl.usu.edu/ledandhps>.
- (32). Jarvis W. Managing diseases in greenhouse crops.1992. APS Press. ISBN n. 0-89054-122-1.
- (33). Tibbitts T.W and Kozlowski T.T. Controlled environment guidelines for plant research. Academic Press. ISBN n.0-12-690950-4. 1979.
- (34). Shibles, 1976
- (35). Louis D. Albright, Cornell University; Plant Growth Chamber Handbook, Iowa Agriculture and Home Economics Experiment Station Special Report No. 99.
- (36). Bianchi A. Risparmio energetic negli apprestamenti protetti: soluzioni costruttive e impianti. L'Italia agricola. Anno 122-n.1. 1985.
- (37). Chiapale, J.P. et al. (1980), Acta Horticulturae 115, 443 -502.
- (38). Campiotti C. "Development of a Model for Using Geothermic Energy as heat for greenhouses in the Mediterranean area". Programme Thermie 1991-94, No. GE/41/92/IT/HE. Doc.ENEА (92) N.477/C.A. 1992-1994.
- (39). Campiotti C. "Utilization of Geothermal Water Effluents in Greenhouses for Special Crops in Windy and Humid Areas for Mediterranean area". Programme Thermie 1994-98, No.GE/359/94/PO/IT. Doc.ENEА (94) N.604/C.A. 1994-1998.
- (40). La Malfa g. 1983. Energia nelle colture protette. Riv. di Agron., 1Suppl.: 114-130.
- (41). Campiotti C, 1988. Using geothermic energy as heat source for greenhouse heating. ISHS Acta Horticulturae 263, 165-174.13.
- (42). Campiotti C., C. Bibbiani, F. Dondi, C. Viola. 2010. Efficienza energetica e energie rinnovabili per l'agricoltura protetta. Ambiente, Risorse e Salute. N. 126, luglio-settembre 2010.
- (43). Smil V. Energy. A Beginner's Guide. 2006. ISBN n. 978-1-85168-452-6.
- (44). Robotti C. A. Impieghi dell'energia solare. UTET. 1978.
- (45). Campiotti C. et al. 2009. Energia rinnovabile in agricoltura. RT/2009/24/Biotec.
- (46). Groppi F., Zuccaro C. (2007). *Impianti solari fotovoltaici a norma CEI (IV Edizione aggiornata)*. Editoriale Delfino.
- (47). Archivio Climatico dell'ENEА: clisun.casaccia.enea.it
- (48). Caffarelli A., De Simone G. (2007). *Sistemi fotovoltaici: progettazione e valutazione economica in Conto Energia*. Maggioli.
- (49). Falcione M., Farinelli U., Zorzoli G.B. Elettricit  dal sole. AIIE, Maggioli Ed. 2010.
- (50). Riva G. Approvvigionamento energetico e tecnologie di conversione. Ed. Agricole. 1990.
- (51). ENEА. Energy conservation and renewable energies for green house heating. FAO, CNRE n.2, Guidelines.
- (52). Demeyer A. et al. 1981. La conversion bioenergetique du rayonnement solaire et les biotechnologies. ISBN n.2-85206-090-6.
- (53). http://it.wikipedia.org/wiki/Temperatura_di_colore
- (54). Popovski k. Heating Greenhouses with geothermal energy. Skopje, 1993.
- (55). FAO. Protected cultivation in the Mediterranean climate, 1990. ISBN n. 92-5-102719-X.
- (56). Allegato A del D.P.R. n.412/93.
- (57). ENEА SOLTERM. www.enea.it
- (58). Colaci V. et al. Studio di fattibilit  tecnica di un sistema fotovoltaico per il sito di Santa Croce Camerina, nella Sicilia Sud-Orientale. RT/2010/26/ENEА.
- (59). Quaderno Biomasse e bioenergia. ENEА, Luglio 2011.
- (60). MiSE 2011. PAN (Piano d'Azione Nazionale).

NORME CITATE

- **UNI 9936-92** - "Apprestamenti per colture orto-floro-frutticole coperti con materiali plastici" (ora decaduta) definiva gli apprestamenti per le colture protette come: *"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"*;
- **UNI 13031-1:2004** - "Serre: progettazione e costruzione. Parte 1: serre per produzione commerciale" che riprende lo standard europeo EN 13031-1 (2001) nella quale viene fornita la seguente definizione di 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"*;
- **UNI EN 13206:2002** - "Film termoplastici di copertura per uso in agricoltura ed orticoltura";
- **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"
- **UNI EN 13655-2003** - "Materie plastiche - Film termoplastici per pacciamatura per uso in agricoltura ed orticoltura";
- **UNI 10406:1995** - "Reti per agricoltura. Reti antigrandine in fibra polietilenica. Definizione, classificazione e requisiti;
- **UNI EN 303-5** - "Caldaie per riscaldamento - Parte 5: Caldaie per combustibili solidi, con alimentazione manuale o automatica, con una potenza termica nominale fino a 500 kW - Terminologia, requisiti, prove e marcatura";
- **UNI 10349:1999** - "Riscaldamento e raffrescamento degli edifici. Dati climatici";
- **UNI/TS 11264** - "Caratterizzazione di legna da ardere, bricchette e cippato";
- **UNI 14961:2012** - "Biocombustibili solidi - Specifiche e classificazione del combustibile", recepimento della CEN/TS 14961- Solid biofuels, fuel specification and classes, 2005.
- **UNI 8477:1983** - Energia solare. Calcolo degli apporti per applicazioni in edilizia. Valutazione dell' energia raggiante ricevuta.

MISURE ED EQUIVALENZE ENERGETICHE

UNITA' DI MISURA	
ENERGIA	POTENZA
1 Wh = W*h	1 watt (1 W) = 1 N*m/s = J/s
1 kWh = 1.000 Watts/ora	1 kW = 1.000 Watts
1 kWh = 860 kcalorie = 3.600.000 J	1 kW = 860 kcal/h
1 kcal = 4186 J = 0,00116 kWh	1 W = 0,860 kcal/h
1 CV/h = 0,736 kWh	1 kcal/h = 1,163 W = 0,00116 kW
Per i calcoli con le soluzioni idroponiche: 1 ppm = 1 mg / di acqua per litro	
EQUIVALENZE ENERGETICHE	
1 tep = tonnellata equivalente di petrolio = 10.000.000 kcal = 11.630 kWh	
1 tec = tonnellata equivalente di carbone = 7.000.000 kcal	
Entalpia dell'acqua a 30 °C = 30 kcal/kg (126 kJ/kg)	
Entalpia dell'acqua a 100 °C = 100 kcal/kg 8419 kJ/kg)	
1 kWh termico = 860 kcal (energia netta utilizzabile)	
1 kWh elettrico = 2870 kcal (al 30% di efficienza della produzione di energia elettrica)	
1 W = 1 Js ⁻¹ = 0,859 kcal/h = 0,239 cal/sec	
1 Joule = 0,000278 Wh	
1 cal = 0,001163 Wh	
1 kW = 1.000 Joule/1 sec	
1 kcal/mh°C = 1,16 W/m°C	
1 BTU = 252 cal = 0,252 kcal = 1.055 Joule	
1 BTU/h = 0,293 W	
POTERI CALORIFICI	
Risorsa energetica	Kcal/kg
Acqua a 100 °C	100
Petrolio greggio	10.000
Gas naturale	8.200
UNITA' TERMOMETRICHE	
$T_k = T_c + 273,15$	$T_c = T_k - 273,15$
$^{\circ}C = 5/9 (^{\circ}F - 32)$	$^{\circ}F = 32 + (^{\circ}C * 9/5)$

APPENDICE

Annex 1 - Decreti Ministeriali del 28 dicembre 2012

DECRETO 28 DICEMBRE 2012 "CERTIFICATI BIANCHI"
SCHEMA TECNICA N. 40E - INSTALLAZIONE DI IMPIANTO DI RISCALDAMENTO ALIMENTATO A BIOMASSA LEGNOSA NEL SETTORE DELLA SERRICOLTURA

1. ELEMENTI PRINCIPALI

1.1 Descrizione dell'intervento

Categoria di intervento ¹ :	CIV T) Settori residenziale, agricolo e terziario: generazione di calore/freddo per climatizzazione e produzione di acqua calda
Vita Utile ² :	U= 5 anni
Vita Tecnica ² :	T= 15 anni
Settore di intervento:	Agricolo- serra
Tipo di utilizzo	Riscaldamento serre orto-floro-vivaistiche.
Condizioni di applicabilità della procedura	
La presente procedura si applica all'installazione di caldaie adibite all'alimentazione degli impianti di riscaldamento utilizzati nel settore delle serre, con i seguenti requisiti:	
– efficienza di conversione non inferiore all'85%;	
– rispetto delle emissioni come previsto nella classe 5 della Norma UNI EN 303-05.	
Le biomasse utilizzate possono presentarsi sotto forma di pellet, bricchette, ciocchi e cippato, pellet non legnoso per uso non industriale, con caricamento manuale o automatico.	

1.2 Calcolo del risparmio di energia primaria

Metodo di valutazione ³	Valutazione standardizzata
Unità fisica di riferimento (UFR) ²	1 m ² di serra al suolo coltivata, riscaldata e asservibile dalla potenza termica del generatore di calore a biomassa
Risparmio Specifico Lordo (RSL) di energia primaria conseguibile per singola unità fisica di riferimento (tep/anno/m²) si ricava dalle tabelle seguenti.	
La procedura prende in considerazione le installazioni di dispositivi a biomasse sia in nuove realizzazioni serricole sia in sostituzione di dispositivi esistenti alimentati da fonte non rinnovabile.	
Le tabelle seguenti riportano il valore dei risparmi specifici lordi in tep/anno al metro quadrato di superficie As per una determinata fascia climatica e in funzione del rapporto Ac/As, che tiene conto delle dimensioni della serra, in cui:	
- Ac è la superficie, espressa in metri quadrati, che delimita verso l'esterno il volume della serra. Rappresenta l'area della copertura trasparente della serra con incluse le pareti frontali e laterali.	
- As è la superficie di base della serra, espressa in metri quadrati.	

Serra con copertura in film plastico RSL (tep/anno/m²)						
		Zone climatiche (GG)				
		600-900	900-1.400	1.400-2.100	2.100-3.000	3.000 - +∞
Ac/As	< 1,5	0,0052	0,0083	0,0252	0,0447	0,0463
	1,5 - 1,8	0,0069	0,0109	0,0333	0,0590	0,0611
	> 1,8	0,0079	0,0125	0,0383	0,0680	0,0704

Serra con copertura in lastre di policarbonato plastico RSL (tep/anno/m²)						
		Zone climatiche (GG)				
		600-900	900-1.400	1.400-2.100	2.100-3.000	3.000 - +∞
Ac/As	< 1,5	0,0031	0,0050	0,0151	0,0268	0,0278
	1,5 - 1,8	0,0041	0,0065	0,0200	0,0354	0,0367
	> 1,8	0,0047	0,0075	0,0230	0,0408	0,0422

Serra con copertura in lastre di vetro RSL (tep/anno/m²)						
		Zone climatiche (GG)				
		600-900	900-1.400	1.400-2.100	2.100-3.000	3.000 - +∞
Ac/As	< 1,5	0,0057	0,0091	0,0277	0,0492	0,0509
	1,5 - 1,8	0,0075	0,0120	0,0366	0,0649	0,0672
	> 1,8	0,0087	0,0138	0,0422	0,0748	0,0774

Serra con copertura in in doppio telo con aria insufflata o sigillata (tep/anno/m²)						
		Zone climatiche (GG)				
		600-900	900-1.400	1.400-2.100	2.100-3.000	3000+
Ac/As	< 1,5	0,0026	0,0041	0,0126	0,0224	0,0231
	1,5 - 1,8	0,0034	0,0054	0,0166	0,0295	0,0305
	> 1,8	0,0040	0,0063	0,0192	0,0340	0,0352

Serra con copertura in vetro + film plastico interno o esterno (tep/anno/m²)						
		Zone climatiche (GG)				
		600-900	900-1.400	1.400-2.100	2.100-3.000	3000+
Ac/As	< 1,5	0,0042	0,0066	0,0202	0,0358	0,0370
	1,5 - 1,8	0,0055	0,0087	0,0266	0,0472	0,0489
	> 1,8	0,0063	0,0100	0,0307	0,0544	0,0563

Serra con copertura in doppio vetro (tep/m ² /anno)						
		Zone climatiche (GG)				
		600-900	900-1.400	1.400-2.100	2.100-3.000	3000+
Ac/As	< 1,5	0,0031	0,0049	0,0148	0,0263	0,0272
	1,5 - 1,8	0,0040	0,0064	0,0196	0,0347	0,0359
	> 1,8	0,0046	0,0074	0,0225	0,0399	0,0413

Coefficiente di addizionalità ² :	$\alpha = 100\%$
Coefficiente di durabilità ² :	$\beta = 2,65$
Quote dei risparmi di energia primaria [tep/anno] ² :	
Risparmio netto contestuale (RNc)	$RNc = \alpha \cdot RSL \cdot N_{UFR}$
Risparmio netto anticipato (RNa)	$RNa = (\beta - 1) \cdot RNc$
Risparmio netto integrale (RNI)	$RNI = RNc + RNa = \beta \cdot RNc$
Titoli di Efficienza Energetica riconosciuti all'intervento ⁴ :	
Tipo II per risparmi ottenuti da dispositivi installati in zone metanizzate..	
Tipo III per risparmi ottenuti da dispositivi installati in zone non metanizzate.	

2. NORME TECNICHE DA RISPETTARE

Per le serre sono richiesti i riferimenti alle Norme UNI, in particolare:

- UNI EN 13206:2002 "Film termoplastici di copertura per uso in agricoltura ed orticoltura".
- UNI 10452:1995 "Lastre ondulate ed alveolari di materiale plastico trasparente, incolore o traslucido per serre ed apprestamenti analoghi.
- Norma UNI-EN 13031-1 - "Serre: calcolo e costruzione - Parte 1: serre di produzione".
- Norma UNI EN 303-05:2010 Caldaie per combustibili solidi, con alimentazione manuale e automatica, con potenza termica nominale fino a 500 kW.
- Norma UNI EN 12809:2004 Caldaie domestiche indipendenti a combustibile solido. Potenza termica nominale non maggiore di 50 kW. Requisiti e metodi di prova.
- Norma UNI 10683:2005 Generatori di calore alimentati a legna o da altri biocombustibili solidi. Requisiti di installazione.

Per le biomasse utilizzate è richiesta la conformità alle classi di qualità previste dalle Norme UNI, in particolare:

- pellet: classi A1/A2 della Norma UNI EN 14961-2;
- bricchette: classi A1/A2 e B della Norma UNI EN 14961-3;
- cippato: classi A1/A2 e B della Norma UNI EN 14961-4;
- ciocchi: classi A1/A2 e B della Norma UNI EN 14961-5;
- pellet non legnoso per uso non industriale : classe A della Norma UNI EN 14961- 6.

3. DOCUMENTAZIONE DA CONSERVARE⁵

- Identificazione delle serre oggetto degli interventi;
- Identificativi ATECO 2007: n. 01.13.20 ; n. 01.19.20 ; n. 01.25.00; n. 01.3
- Descrizione del sito e della sua potenzialità produttiva;

- Descrizione dell'impianto realizzato, con uno schema semplificato e le caratteristiche tecniche delle apparecchiature installate;
- Fatture relative agli acquisti degli impianti;
- Evidenza della provenienza della biomassa;
- Fattura d'acquisto con dichiarazione di conformità alla Norma relativa;
- Indicazione del fascicolo aziendale per la produzione propria.

Note:

1. Tra quelle elencate nella Tabella 2 dell'Allegato A alla deliberazione 27 ottobre 2011, EEN 9/11.
2. Di cui all'articolo 1, comma 1, dell'Allegato A alla deliberazione 27 ottobre 2011, EEN 9/11.
3. Di cui all'articolo 3, dell'Allegato A alla deliberazione 27 ottobre 2011, EEN 9/11.
4. Di cui all'articolo 17, dell'Allegato A alla deliberazione 27 ottobre 2011, EEN 9/11.
5. Eventualmente in aggiunta a quella specificata all'articolo 14 dell'Allegato A alla deliberazione 27 ottobre 2011, EEN 9/11.

Scheda tecnica n. 7T – Impiego di impianti fotovoltaici di potenza elettrica inferiore a 20 kW

1. ELEMENTI PRINCIPALI

1.1 Descrizione dell'intervento

Categoria di intervento ¹ :	CIV-GEN) piccoli sistemi di generazione elettrica ² e cogenerazione
Vita Utile ² :	U = 5 anni
Vita Tecnica ² :	T = 20 anni
Settore di intervento:	-
Tipo di utilizzo:	-
Condizioni di applicabilità della procedura: Gli impianti oggetto di intervento non accedono ai benefici previsti dal regime del c.d. Conto Energia (ai sensi dei decreti ministeriali DM 8/7/2005, DM 19/2/2007, DM 6/8/2010, DM 5/5/2011 e s.m.i.).	

1.2 Calcolo del risparmio di energia primaria

Metodo di valutazione ³ :	Valutazione Standardizzata	
Unità fisica di riferimento (UFR) ² :	impianto fotovoltaico di potenza elettrica < 20 kW	
Risparmio Specifico Lordo (RSL) di energia primaria conseguibile per singola unità fisica di riferimento:		
$RSL = kW_p \cdot h_{eq} \cdot k_1 \cdot 0,187 \quad [10^{-3} \text{ tep/UFR/anno}]$		
dove:		
kW _p è la potenza di picco dell'impianto [kW]		
h _{eq} è il numero di ore annue equivalenti, ricavabile dalla Tabella 1 riportata di seguito [h/anno];		
k ₁ è un coefficiente adimensionale che varia in funzione dell'inclinazione β dei moduli fotovoltaici rispetto all'orizzontale. (k ₁ = 0,70 se β è maggiore di 70°, negli altri casi k ₁ = 1). [-]		
Tabella 1 - Determinazione del coefficiente h _{eq} :		
Fascia solare	Province	h _{eq} [h/anno]
1	Alessandria, Aosta, Arezzo, Asti, Belluno, Bergamo, Biella, Bolzano, Como, Cuneo, Gorizia, Lecco, Lodi, Mantova, Milano, Novara, Padova, Pavia, Pistoia, Pordenone, Prato, Torino, Trieste, Udine, Varese, Verbania, Vercelli, Verona, Vicenza	1282
2	Ancona, Aquila, Ascoli, Bologna, Brescia, Cremona, Ferrara, Firenze, Forlì, Genova, Isernia, La Spezia, Lucca, Massa C., Modena, Parma, Perugia, Pesaro, Piacenza, Ravenna, Reggio Emilia, Rieti, Rimini, Rovigo, Salerno, Savona, Siena, Sondrio, Teramo, Terni, Trento, Treviso, Venezia, Viterbo	1424
3	Avellino, Benevento, Cagliari, Campobasso, Chieti, Foggia, Frosinone, Grosseto, Imperia, Livorno, Macerata, Matera, Pescara, Pisa, Potenza, Roma	1567
4	Bari, Brindisi, Caserta, Catanzaro, Crotone, Latina, Lecce, Messina, Napoli, Nuoro, Oristano, Reggio Calabria, Sassari, Taranto, Vibo Valenzia	1709
5	Agrigento, Caltanissetta, Catania, Cosenza, Enna, Palermo, Ragusa, Siracusa, Trapani	1852

Coefficiente di addizionalità ² :	$\alpha = 100 \%$
Coefficiente di durabilità ² :	$\tau = 3,36$
Quote annue dei risparmi di energia primaria [tep/a] ² :	
Risparmio netto contestuale (RNc)	$RNc = \alpha \cdot RSL \cdot N_{UFR}$
Risparmio netto anticipato (RNa)	$RNa = (\tau - 1) \cdot RNc$
Risparmio netto integrale (RNI)	$RNI = RNc + RNa = \tau \cdot \alpha \cdot RSL \cdot N_{UFR}$
Tipo di Titoli di Efficienza Energetica riconosciuti all'intervento ⁴ :	Tipo I

2. NORME TECNICHE DA RISPETTARE

Per i moduli fotovoltaici è richiesta la certificazione in relazione alla rispondenza alle norme:

- CEI EN 61215 per i moduli in silicio cristallino
- CEI EN 61646 per i moduli in silicio amorfo

In tutti i casi in cui rientrano nel campo di applicazione della norma CEI EN 61000-3-2 gli "inverter" devono essere costruiti in conformità alla norma stessa per quanto riguarda i disturbi condotti lato c.a. e devono comunque essere conformi a tutte le norme di prodotto per questo tipo di dispositivo.

3. DOCUMENTAZIONE SUPPLEMENTARE ⁵ DA CONSERVARE

Nome, indirizzo e numero telefonico di ogni cliente partecipante.

Note:

¹ Tra quelle elencate nella Tabella 2 dell'Allegato A alla deliberazione 27 ottobre 2011, EEN 9/11.

² Di cui all'articolo 1, comma 1, dell'Allegato A alla deliberazione 27 ottobre 2011, EEN 9/11.

³ Di cui all'articolo 3 della deliberazione 27 ottobre 2011, EEN 9/11.

⁴ Di cui all'articolo 17 della deliberazione 27 ottobre 2011, EEN 9/11.

⁵ Eventualmente in aggiunta a quella specificata all'articolo 14, comma 3, dell'Allegato A alla deliberazione 27 ottobre 2011, EEN 9/11.

CONTO TERMICO

Per gli interventi di cui all'articolo 4, comma 2, lettera b), l'incentivo è calcolato secondo le seguenti formule:

Caldaie a biomassa:

$$I_{a\ tot} = P_n \cdot h_r \cdot C_i \cdot C_g$$

dove

$I_{a\ tot}$	è l'incentivo annuo in euro;
C_i	è il coefficiente di valorizzazione dell'energia termica prodotta espresso in €/kWh, definito in Tabella 5 distinto per tecnologia installata;
P_n	è la potenza termica nominale dell'impianto;
h_r	sono le ore di funzionamento stimate in relazione alla zona climatica di appartenenza, come riportate in Tabella 6;
C_g	è il coefficiente premiante riferito alle emissioni di polveri distinto per tipologia installata come riportato nella Tabella 7 per le caldaie a legna e nella Tabella 8 per le caldaie a pellets.

Stufe a pellets, stufe a legna e termocamini:

$$I_{a\ tot} = 3,35 \cdot \ln(P_n) \cdot h_r \cdot C_i \cdot C_g$$

dove

$I_{a\ tot}$	è l'incentivo annuo in euro;
C_i	è il coefficiente di valorizzazione dell'energia termica prodotta espresso in €/kWh, definito in Tabella 5, distinto per tecnologia installata;
P_n	è la potenza termica nominale dell'impianto;
h_r	sono le ore di funzionamento stimate in relazione alla zona climatica di appartenenza, come riportate in Tabella 6;
C_g	è il coefficiente premiante riferito alle emissioni di polveri distinto per tipologia installata come riportato nella Tabella 9 per i termocamini e le stufe a legna e nella Tabella 10 per le stufe a pellets.

Tabella 5 – Coefficienti di valorizzazione dell'energia termica prodotta da impianti a biomassa.

Tipologia di intervento	C_i per gli impianti con potenza termica nominale inferiore o uguale a 35 kW	C_i per gli impianti con potenza termica nominale maggiore di 35 kWt e inferiore o uguale a 500 kWt	C_i per gli impianti con potenza termica nominale maggiore di 500 kWt
Caldaie a biomassa	0,045 (€/kWht)	0,020 (€/kWht)	0,018 (€/kWht)
Termocamini e stufe a legna	0,040 (€/kWht)	-	-
Termocamini e stufe a pellets	0,040 (€/kWht)	-	-

Tabella 6 – Ore di funzionamento stimate in relazione alla zona climatica di appartenenza

Zona climatica	h_r
A	600
B	850
C	1100
D	1400
E	1700
F	1800

Tabella 7 – Coefficiente moltiplicativo C_e applicabile alle caldaie a legna (escluso pellet) in relazione ai livelli di emissione di particolato primario.

Caldaie a legna (escluso il pellet)	
Particolato primario totale comprensivo della frazione condensabile (PPBT) (*) <small>(mg/Nm3 r.t. al 13% O2)</small>	C_e
30 < Emissioni ≤ 40	1
20 < Emissioni ≤ 30	1,2
Emissioni ≤ 20	1,5

(*) Valutato secondo quanto previsto nelle tabelle 11 e 12

Elementi analisi economica per le caldaie a biomassa

In accordo con il Decreto Conto Termico, del 28 dicembre 2012, si riportano le valutazioni relative al riscaldamento delle serre con biomassa solida nel quadro degli incentivi previsti dal Decreto Conto Termico.

Tab.1 - Dati di calcolo

Potenza impianto	30	kW	200	581	1000
Costo corpo caldaia	4000	€	24200	55643	152500
Costo conduzione manutenzione	300	€/anno	500	1000	3500
Costo totale investimento	4300	€	24700	56643	156000

Tab. 2 - Ricavi annui da incentivo per zona climatica (euro)

Zona climatica	Potenza generatore			
	30(KW)	200(KW)	581(KW)	1000 (KW)
a	369	2880	7530	12960
b	523	4080	10667	18360
c	677	5280	13805	23760
d	861	6720	17569	30240
e	1046	8160	21334	36720
f	1107	8640	22589	38880

Tab. 3 - Ricavi totali per zona climatica (euro)

Zona climatica	Potenza generatore			
	30(KW)*	200(KW)**	581(KW)**	1000(KW)**
a	738	14.400	37.648,8	64800
b	1.046	20.400	53.335,8	91800
c	1.354	26.400	69.022,8	118800
d	1.723	33.600	87.847,2	151200
e	2.092	40.800	106.671,6	183600
f	2.215	43.200	112.946,4	194400

*2 anni , ** 5anni

Dalla tabella 3, riferita soltanto all'andamento dell'investimento per la zona climatica C, si nota come per potenze di 30 kW l'incentivo previsto dal DM, alla fine del periodo (2 anni) l'investimento è ripagato al 31,4 %. Il calcolo considera il costo del corpo caldaia ma non è considerato il risparmio economico derivante dal mancato acquisto di gasolio in quanto si utilizza la biomassa (che presenta un costo più basso).

Per potenze di 200 kW, dove la durata dell'incentivo è di 5 anni, l'investimento iniziale è coperto al 100% e per potenze di 581 KW l'investimento è coperto al 100% dopo il quarto anno con un guadagno di 13379 Euro nel quinto anno. Da notare che sulla base dell'incentivo i ricavi totali per le zone climatiche D, E, F sono di molto superiori e quindi l'investimento viene ripagato molto prima dei 5 anni. Nella tabella 4 è stimato in costo d'acquisto della biomassa per zona climatica riferito alle ore di utilizzo previste dal DM .

Tab.4 - Spesa per acquisto biomassa

Zona climatica	Potenza generatore			
	30(KW)*	200 (KW)**	581 (KW)**	1000 (KW)**
a	1.167	3.531	10.259	17.657
b	1.654	5.003	14.533	25.014
c	2.140	6.474	18.808	32.371
d	2.724	8.240	23.937	41.200
e	3.308	10.006	29.067	50.029
f	3.502	10.594	30.776	52.971

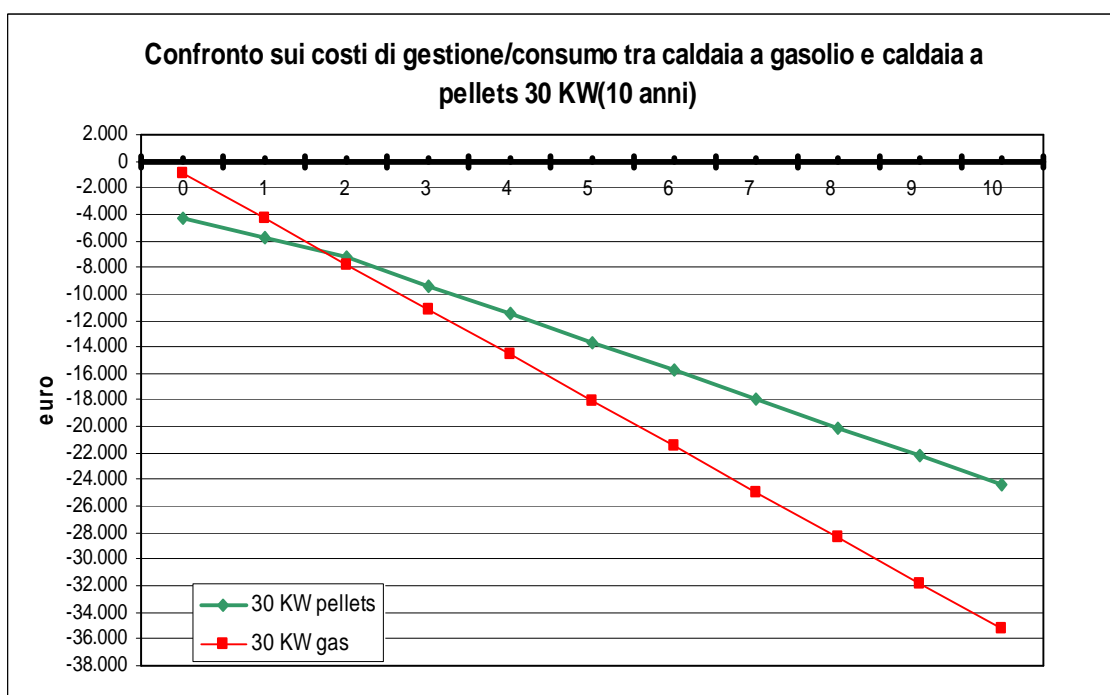
* pellets: 227 Euro a tonnellata; ** cippato: 103 euro a tonnellata

La tabella 5 stima in costo d'acquisto del gasolio per zona climatica riferito alle ore di funzionamento previste dal DM.

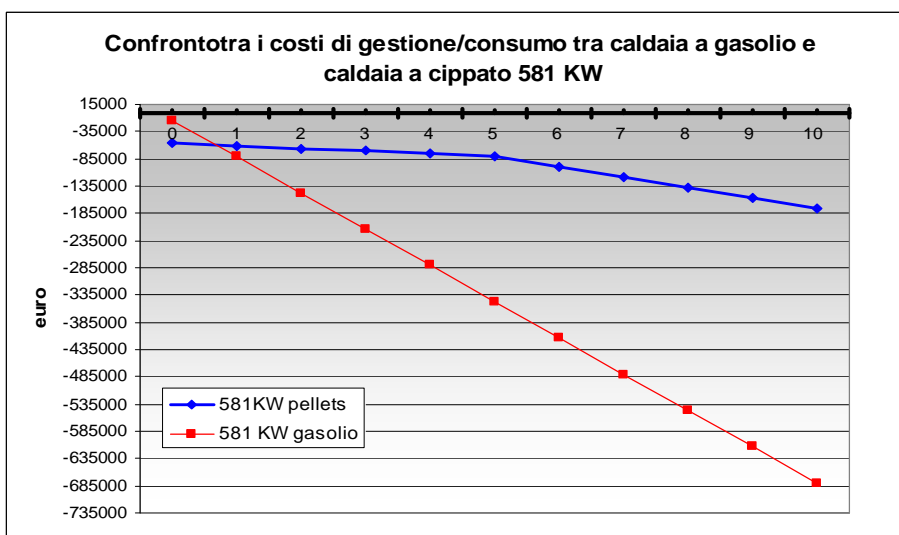
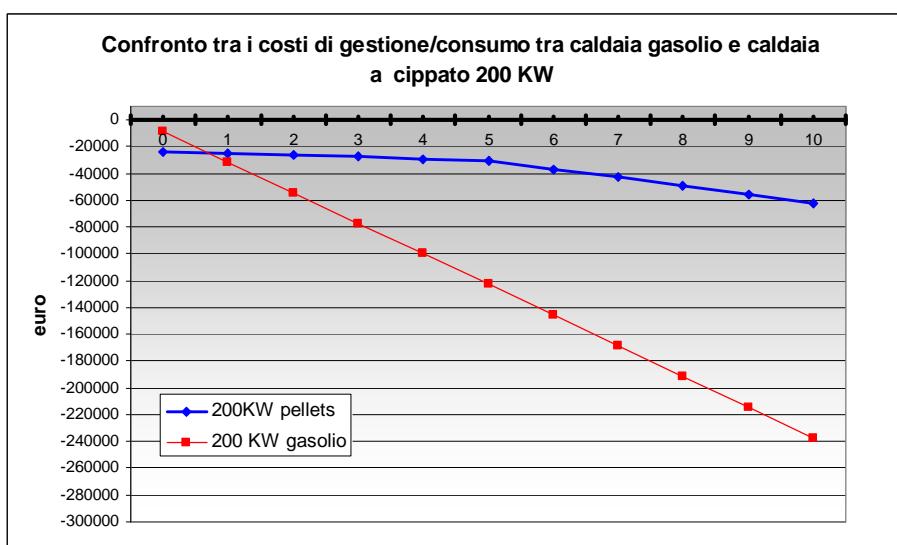
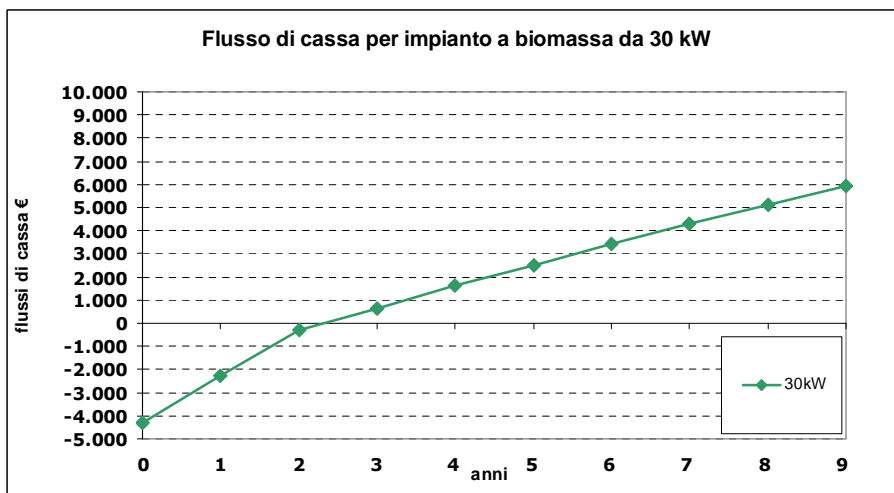
Tab.5 - Spesa per acquisto gasolio (1,04 euro litro)

Zona climatica	Potenza generatore			
	30(KW)	200(KW)	581(KW)	1000(KW)
a	1.872	12.480	36.254	62.400
b	2.652	17.680	51.360	88.400
c	3.432	22.880	66.466	114.400
d	4.368	29.120	84.593	145.600
e	5.304	35.360	102.720	176.800
f	5.616	37.440	108.763	187.200

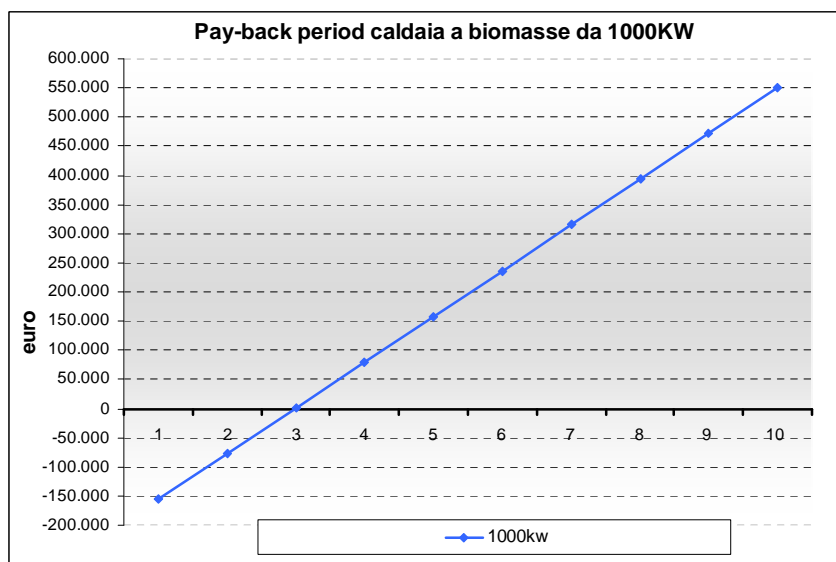
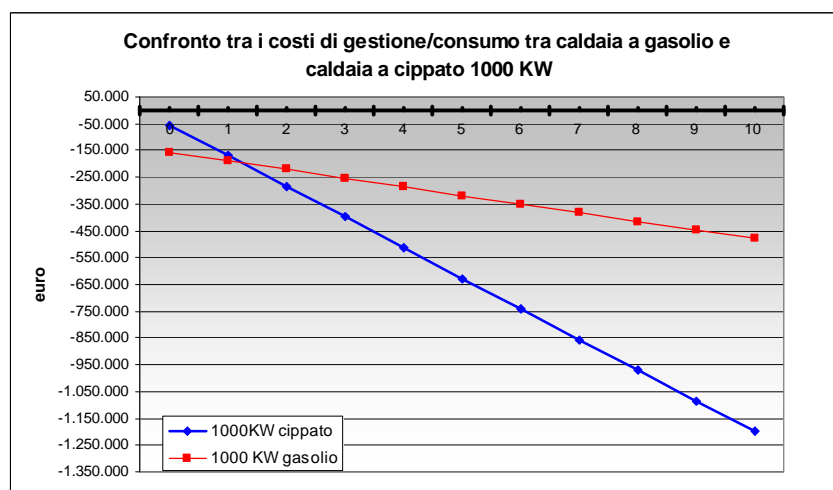
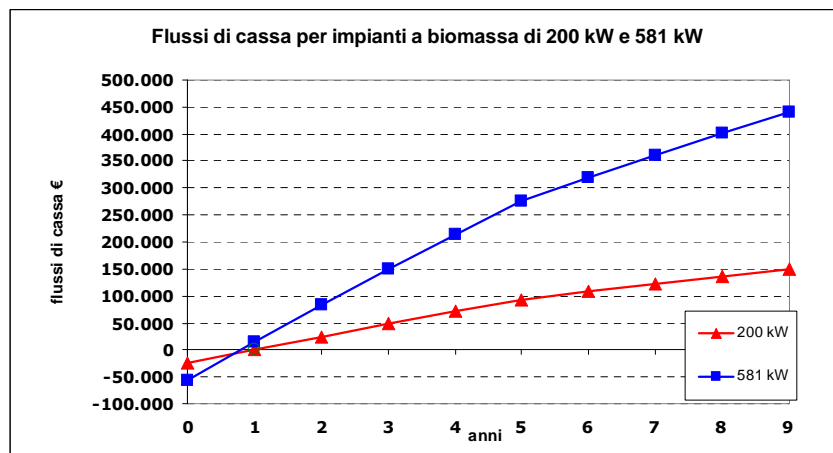
Il grafico sotto riportato mostra l'andamento dei costi per i primi 10 anni per le due tipologie di caldaie da 30 kW.



Nel grafico seguente viene calcolato il PBP (Pay-Back Period) generato dalla sostituzione della caldaia a gas con una caldaia a pellet includendo l'incentivo e il risparmio scaturito dal mancato acquisto di gas.



Nel grafico che segue viene calcolato il PBP generato dalla sostituzione della caldaia a gasolio da 200 e 581 kW mediante una caldaia a cippato di pari potenza. Il grafico include l'incentivo e il risparmio scaturito dal mancato acquisto di gasolio.



Per quanto riguarda la Scheda 40E e 7T si riporta brevemente il calcolo del risparmio di energia primaria conseguibile per unità fisica di riferimento (UFR), in relazione all'applicazione delle due schede in zona C per una serra in plastica ($U=8$). In particolare per la scheda 40E l'espressione per calcolare l'energia primaria per il riscaldamento, utilizzata per la stesura della scheda 40E. Il risparmio di energia primaria è valutato in relazione al consumo evitato di combustibile fossile, ed è considerato addizionale al 100%. Nel settore serricolo il combustibile di riferimento è il gasolio,

pertanto i titoli riconosciuti sono di tipo III. Per la suddivisione del territorio nazionale in zone climatiche si è fatto riferimento al DPR 412/93, avendo apportato le opportune correzioni al numero di ore di funzionamento dell'impianto in relazione alle esigenze del sistema serra.

N. ore anno di riscaldamento in serra	Fascia	Da [GG]	A [GG]	Ore giornaliere	Data inizio	Data fine
320	A	-∞	600	6	1° dicembre	15-mar
480	B	601	900	8	1° dicembre	31-mar
1200	C	901	1400	10	15-nov	31-mar
1800	D	1401	2100	12	1° novembre	15-apr
1800	E	2101	3000	14	15-ott	15-apr
2300	F	3000	+∞	nessuna limitazione (tra le ore 5 e le ore 23 di ciascun giorno)		

L'unità di riferimento è il metro quadrato di serra riscaldata ed il fabbisogno energetico è individuato in funzione del parametro A_c/A_s tra la superficie della copertura trasparente e la superficie di base della serra. Assumendo un rendimento di impianto pari a 0,9 il fabbisogno di energia può essere calcolato con l'espressione:

$$Q = (A_c/A_s) \cdot U \cdot (T_i - T_e) \cdot h / \eta_c \cdot 10^{-3} \text{ (kWh/anno/m}^2\text{)}$$

dove:

- Q = energia primaria necessaria per il riscaldamento (kWh/anno/m²)
- A_c = superficie della copertura trasparente della serra, incluse pareti frontali e laterali (m²)
- A_s = superficie di base della serra (m²)
- T_i = temperatura aria interna (°C)
- T_e = temperatura aria esterna (°C)
- U = coefficiente globale di dispersione termica (W/m² °K)
- h = ore di funzionamento dell'impianto
- η_c = rendimento medio della caldaia = 0,9

La tabella sotto riportata mostra un confronto tra le Schede Standard 7T e 40E rispetto all'incentivo previsto dal Decreto Certificati bianchi, conseguibile rispettivamente sulla base di un insediamento di serre di 2000 m² e di 10000 m² (1 ha).

Aspetti economici per la filiera dei sistemi serra localizzati in Area Climatica C per una serra con U=8				
<i>Certificati Bianchi in agricoltura</i>	Serra 2000 m ² (UFR = 2000)		Serra 10000 m ² (1 ha) (UFR = 10000)	
	Potenza installata (kW)	Euro in TEE (5 anni)*	Potenza installata (kW)	Euro in TEE (5 anni)**
Scheda tecnica 40E: Riscaldamento a biomassa di sistemi serra	200	28885	1000	382720
Scheda tecnica 7T: Impiego di impianti FV di potenza elettrica inferiore a 20 kW	19,9***	10684	19,9	10684

* non è incluso il costo dell'investimento in termini di caldaia a biomassa e sistema serra;

** non è incluso il valore della produzione; non è incluso il costo gasolio.

*** l'energia elettrica prodotta è sufficiente per coprire le richieste medie annue (vedi tesi).