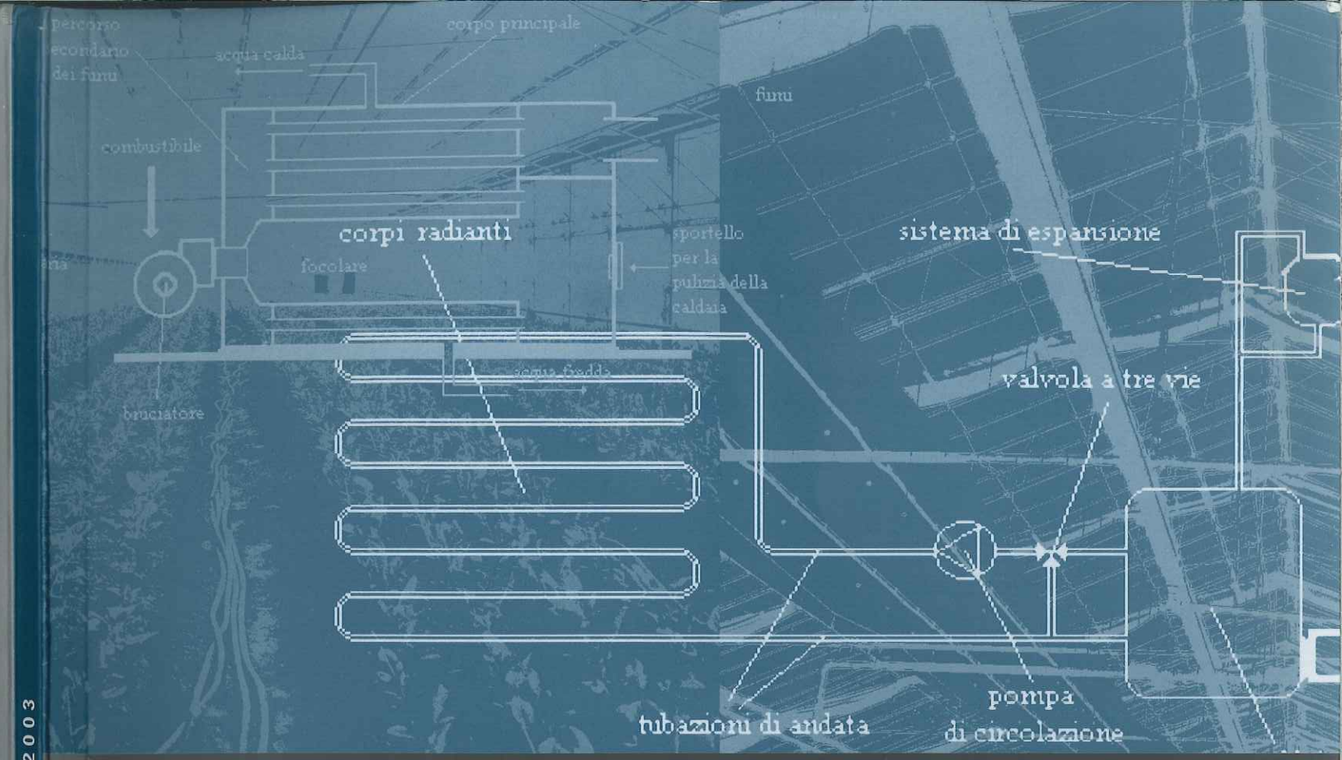
Quaderno ARSIA 2/2003

## Uso razionale delle risorse nel florovivaismo: i fabbisogni energetici

Il problema del risparmio energetico nelle serre interessa un settore produttivo caratterizzato da un'elevata competitività e, per tale motivo, le soluzioni tecniche proposte per la riduzione del consumo di gasolio dovranno risultare adeguate non solo sotto il profilo ambientale, ma anche sotto quello economico.
Nel Quaderno ARSIA 2/2003 si analizzano diverse soluzioni tecniche, facendo sempre riferimento sia all'esperienza dei tecnici che operano sul territorio, sia ai lavori dei ricercatori che negli anni passati si sono occupati del problema.

**L'ARSIA, Agenzia Regionale per lo Sviluppo e l'Innovazione nel settore Agricolo-forestale, istituita con la Legge Regionale 37/93, è l'organismo tecnico operativo della Regione Toscana per le competenze nel campo agricolo-forestale, acquacoltura-pesca e faunistico-venatorio.**

REGIONE TOSCANA




Quaderno ARSIA 2/2003

# Uso razionale delle risorse nel florovivaismo: i fabbisogni energetici

Quaderno ARSIA 2/2003

*Ringraziamenti*

Le informazioni fornite dai tecnici e operatori del settore di seguito citati sono risultate indispensabili per la stesura del presente manuale. A loro è indirizzato un sentito ringraziamento.

| | |
|---|---|
| d.ssa S. Scaramuzzi | Facoltà di Economia e Commercio. Università di Firenze |
| dott. L. Granucci | Ufficio statistica. Camera di Commercio, Industria, Artigianato e Agricoltura - Lucca |
| dott. C. Nesi | Settore agricoltura e foreste. Provincia di Lucca |
| Addetti al Servizio | Servizio UMA Provincia di Lucca |
| sig.na V. Mastromonaco | Vivai Mastromonaco, Bolgheri (LI) |
| dott. R. Ferretti | Settore pianificazione del territorio. Provincia di Pistoia |
| sig. P. Degl'Innocenti | Settore agricoltura e foreste. Provincia di Pistoia |
| sig.na S. Posarelli | Ufficio UMA Provincia di Pistoia |
| sig. R. Baldi | Rose Baldi, Capezzano Pianore (LU) |
| d.ssa A. Zuin | Ufficio studi e statistiche. Camera di Commercio, Industria, Artigianato e Agricoltura, Pistoia |
| dott. D. Grifoni | LAMMA Regione Toscana, Firenze |
| dott. L. Martella | UNA Flor, Roma |
| prof. V. Tellarini | Dipartimento di Economia dell'Agricoltura. Università di Pisa |
| d.ssa V. Colosimo | Dipartimento di Economia dell'Agricoltura. Università di Pisa |
| dott. R. Pinzauti | Ufficio Statistica della Regione Toscana |
| sig.na A. Tarani | Ufficio Statistica della Regione Toscana |
| Preside, docenti e tecnici | Istituto Tecnico Agrario Statale "D. Anzillotti" di Pescia (PT) In particolare si ringraziano per la loro collaborazione i professori A. Benassi, M. Giuntini, V. Pergola e A. Voirgar. |
| sig. Marco Cozzi | C.L. Servizi Tecnici s.n.c., Pieve a Nievole (PT) |

Azienda agricola "Franchi vivai", Pescia (PT)
Azienda agricola "Nannini Vasco e fratelli", Pescia (PT)
Azienda agricola "Oscar Tintori", Pescia (PT)
Azienda agricola "Vivai Pietro Pacini", Pescia (PT)
Azienda agricola "Bindi Sirio di Bindi Maurizio", Pescia (PT).

# Sommario

**Presentazione** 7
*Maria Grazia Mammuccini*

**Premessa** 9

**1. Analisi dei dati statistici** 13
1.1 I dati economici e tecnici 13
1.2 Il consumo di combustibili per il riscaldamento 19
1.3 I dati meteorologici 21

**2. Il sistema serra**
*Muzio Ceccatelli* 33
2.1 Le tipologie di serra 35
2.2 Le perdite di calore e il calcolo dei fabbisogni energetici 42
2.3 Gli impianti di riscaldamento utilizzati nelle serre 45
*2.3.1 I sistemi di distribuzione del calore* 47
*2.3.2 Il sistema di controllo dell'impianto di riscaldamento* 51

**3. La riduzione del consumo di energia nel processo di riscaldamento delle serre** 55
3.1 L'efficienza dell'impianto di riscaldamento 55
*3.1.1 La combustione* 56
*3.1.2 L'efficienza della combustione e la regolazione dei generatori* 59
*3.1.3 La coibentazione delle tubazioni di distribuzione dell'acqua calda* 66
*3.1.4 Le strategie di funzionamento dei sistemi di controllo* 67
3.2 L'efficienza della struttura 68
3.3 Le soluzioni agronomiche 70
3.4 Le possibilità di impiego di fonti energetiche alternative al gasolio 71

**4. Gli strumenti di supporto ad iniziative finalizzate al risparmio energetico nelle serre** 77
4.1 Gli strumenti di valutazione economica degli investimenti per il risparmio energetico 77
4.2 I software per ottimizzare gli impianti 80
4.3 Eco-label e risparmio energetico 87
4.4 Indagine sul rendimento dei generatori di calore 91

**APPENDICE A - Glossario e unità di misura** 93
**APPENDICE B - Le normative** 95
**APPENDICE C - La formazione del prezzo del gasolio** 99
**APPENDICE D - Moduli per la richiesta di combustibile a prezzo agevolato** 101

**Bibliografia** 109

# Presentazione

Fertilizzanti, energia, acqua costituiscono i principali fattori produttivi delle colture agrarie. Nel settore florovivaistico, così come in tutti gli altri settori dell'agricoltura, è in atto una lunga serie di iniziative, anche normative, volte a diminuire o, meglio, a razionalizzare l'uso di queste risorse, riconducendo le attività produttive sulla via di un'agricoltura più sostenibile.

L'ARSIA nel corso degli ultimi anni ha promosso e finanziato numerose iniziative tese a disegnare un quadro realistico della situazione regionale in merito all'impiego di queste risorse, con l'obiettivo di definire disciplinari di produzione integrata applicabili alle nostre realtà ed evitando di proporre inarrivabili ed utopistici protocolli produttivi.

Queste iniziative hanno consentito al tempo stesso di realizzare strumenti conoscitivi e operativi rivolti al tecnico e al coltivatore, strumenti utili per un operatore responsabile anche al di là degli obblighi assunti all'interno della misura 6.2 del Piano di Sviluppo Rurale della Regione Toscana.

Il Quaderno ARSIA 2/2003 sull'efficienza energetica delle serre è soltanto un primo contributo, al quale seguiranno a breve un secondo, relativo all'uso dei fertilizzanti, e un terzo dedicato alla gestione responsabile dell'acqua, risorsa preziosissima ed oggi oggetto di preoccupate attenzioni da parte di tutti.

L'augurio e la speranza, come sempre, sono di aver realizzato uno strumento gradito e, soprattutto, utile a tutti i florovivaisti.

Maria Grazia Mammuccini
*Amministratore ARSIA*

# Premessa

I sistemi produttivi basati sulla utilizzazione di serre consentono di ottenere elevati livelli quantitativi e qualitativi del raccolto, ma sono caratterizzati da un intenso impiego di mezzi tecnici. Analizzando questo genere di sistemi sotto il profilo del consumo energetico, è possibile distinguere:

- *il consumo di energia diretta*, rappresentato dal consumo di combustibile e dal consumo di elettricità;
- *il consumo di energia indiretta*, riferito alla quantità di energia impiegata per produrre, trasportare e smaltire al termine della loro vita utile i mezzi tecnici impiegati nel processo produttivo. L'acciaio, il vetro, le materie plastiche impiegate nella costruzione della serra, i fertilizzanti, gli antiparassitari, le piantine da trapianto, ecc. sono tutti mezzi tecnici di cui viene valutato il costo energetico.

La determinazione della quantità complessiva di energia diretta ed indiretta impiegata nel processo produttivo, permette di confrontare il consumo di risorse non rinnovabili (terreno coltivabile, acqua e combustibili fossili) in sistemi realizzati in pieno campo ed in serra.

L'analisi dei soli consumi di energia diretta, invece, risulta utile per effettuare una serie di valutazioni:

- *Valutazioni economiche* nel breve periodo. Il problema della riduzione del consumo di combustibile per il riscaldamento è sempre centrale nelle aziende della nostra regione poiché risulta essere tra le principali voci di costo del processo produttivo, ma assume maggiore importanza ciclicamente in corrispondenza con gli aumenti di prezzo dei prodotti petroliferi;
- *Valutazioni ambientali.* Il consumo di combustibile nel processo produttivo in serra coinvolge una serie di problematiche ambientali: impoverimento delle riserve di combustibili fossili, emissione nell'atmosfera di sostanze inquinanti a livello locale (composti chimici tossici per l'uomo e per l'ecosistema) ed emissioni dannose a livello globale (essenzialmente, emissioni coinvolte nel cosiddetto "effetto serra");
- *Valutazione dell'efficienza del sistema serra* (struttura ed impianti). Molti tecnici operanti nel settore considerano il consumo di combustibile per il riscaldamento come il migliore indicatore dello stato di efficienza dell'impianto di riscaldamento e della struttura.

Il consumo di energia diretta viene comunemente identificato con il consumo di gasolio poiché questo combustibile risulta essere quello maggiormente impiegato nella nostra regione per il riscaldamento delle serre. Conseguentemente, il problema del risparmio energetico nelle serre viene associato alla riduzione del consumo di gasolio.

L'obiettivo di ridurre il consumo di gasolio può essere conseguito in due modi: aumentando le produzioni per unità di combustibile utilizzata oppure riducendo il combustibile impiegato per metro quadro di serra. Nel primo caso si cerca di massimizzare le potenzialità produttive intensificando l'impiego dei mezzi tecnici, nel secondo caso vengono adottate tutte le soluzioni tecnicamente ed economicamente sostenibili per l'azienda allo scopo di ridurre il consumo di combustibile.

Si tratta di due approcci sostenuti da motivazioni profondamente diverse. La massimizzazione delle produzioni, sia pure accompagnata da una sufficiente attenzione per la qualità del prodotto, trova giustificazione nella ricerca di un ritorno economico nel breve periodo in mercati non particolarmente evoluti per quanto concerne l'attenzione verso l'impatto ambientale dei processi produttivi.

Gli investimenti effettuati sul sistema serra per ridurre il consumo di combustibili fossili sono

invece attuati in seguito ad iniziative politiche lungimiranti (legislazione più restrittiva e/o incentivi finanziari) legate alla maggiore attenzione manifestata dall'opinione pubblica verso le problematiche ambientali (effetto serra o riscaldamento globale, emissione di inquinanti, ecc.). Nei Paesi del Nord Europa prevale questo secondo tipo di approccio al problema e non sono mancate azioni concertate di governi e produttori specificamente indirizzate al settore delle colture protette. Nel nostro Paese, al contrario, tali questioni sembrano essere percepite con un maggiore distacco dall'opinione pubblica.

L'approccio più diffuso al problema del consumo energetico nelle serre è correttamente rappresentato in un dossier pubblicato nel corso dell'anno 2000 dalla Coldiretti (*I problemi della floricoltura e del vivaismo. Le proposte della Coldiretti*). Nel paragrafo intitolato *Le proposte per ridurre i costi delle aziende florovivaistiche*, è possibile leggere:

> "...il costo del gasolio per riscaldare le serre incide pesantemente sui costi di produzione e il suo aumento pone moltissime aziende fuori mercato (ad es. in Liguria nei primi sei mesi è passato dalle 350 alle oltre 700 lire/litro in alcuni periodi, e ancora subisce fluttuazioni notevoli).
> Per diminuire il costo del gasolio si potrebbe praticare una esenzione completa delle accise (circa il 30%). Qualora si giudicasse tale misura onerosa per le finanze dello Stato, si potrebbe riservare l'esenzione completa al solo carburante destinato alla coltivazione in serra per le colture da reddito, separandolo da quello destinato all'autotrazione: infatti, le aziende florovivaistiche consumano appena l'8% del gasolio agricolo totale, ed il relativo gettito per lo Stato italiano (circa 60 miliardi), modesto in rapporto a quello totale, rappresenta invece un onere sproporzionato per le serre, superiore a quello di altri partner europei.
> Per l'elettricità occorre abbassare le tariffe in funzione delle caratteristiche di utilizzo per le produzioni in serra (es. ore notturne, stagioni, ecc.), molto diverse da quelle stabilite per l'industria.
> Bisogna poi incentivare le aziende che adottano tecnologie a minore consumo energetico, come avviene in altri Paesi: in Olanda, ad esempio, le nuove serre ricevono sovvenzioni, come la riduzione degli interessi del 2%, se applicano varie misure, tra cui quelle finalizzate al risparmio energetico (programma "Grunabel"), e di queste misure hanno beneficiato ben il 40% delle serre costruite nel '98".

Successivamente, nel paragrafo *Le proposte per valorizzare e promuovere i fiori e le piante italiane* si affronta un argomento strettamente collegato a quello del risparmio energetico, ovvero la necessità di un eco-label in grado di caratterizzare, valorizzandole, le produzioni:

> "...Inoltre, pare opportuno valorizzare una immagine nazionale da legare anche alla tipicità del prodotto florovivaistico, in quanto al momento non è possibile utilizzare DOP e IGP: a tale proposito, occorre che il MIPAF sostenga a Bruxelles la richiesta di inserire fiori e piante nell'allegato 2 del Reg. CE 2081/92...
>
> ...In aggiunta a questa promozione tradizionale, considerata la maggiore sensibilità dei consumatori verso le questioni ambientali, occorre studiare l'adozione di marchi di 'ecocompatibilità' anche per fiori e piante, adeguando i sistemi di produzione e certificazione.
> In tal senso si stanno muovendo altri Paesi, ad esempio con il progetto FLP (*Flower Label Program*) degli importatori e dettaglianti tedeschi, o con il progetto MPS (*Milieu Project Sierteelt*) degli olandesi, al quale aderiscono oltre 3.500 aziende (principalmente dell'Olanda, ma anche di Belgio, Danimarca, Israele, Kenia, Tanzania e Zimbawe)...".

Tali esigenze trovano riscontro anche nell'analisi dei dati economici relativi al settore floricolo in Toscana. In *Strutture e dinamiche nel sistema agroindustriale toscano*, dell'osservatorio INEA per la Toscana (Pacciani *et al.*, 1998), possiamo leggere:

> "...Il mercato dei prodotti floricoli appare aver raggiunto uno stadio di maturità, che acuisce la già critica situazione della produzione, che sconta da un lato la polverizzazione produttiva, l'obsolescenza delle strutture e la senilizzazione degli addetti, dall'altro la concorrenza delle produzioni dei Paesi a basso costo di manodopera e d'energia.
> A fronte di una tendenza decrescente dei consumi, appare necessario basare la penetrazione del mercato su un prodotto di qualità e con un elevato contenuto di servizi aggiunti, affinché questi costituiscano un differenziale rispetto alle produzioni dei Paesi concorrenti, che peraltro risultano sempre più facilitati all'entrata nel nostro mercato da una progressiva liberalizzazione degli scambi (Accordi GATT), che ha ridotto del 50% i dazi esistenti sulle importazioni...".

In definitiva, i punti chiave che emergono anche dal contatto diretto con gli imprenditori toscani operanti nel settore delle colture protette, possono essere così riassunti:



1) il problema dei costi energetici è effettivamente un problema percepito dagli imprenditori anche a causa della concorrenza esercitata dai produttori che possono usufruire di un costo più basso della manodopera e/o di un clima più favorevole (imprenditori di Paesi terzi e del nostro meridione);
2) la soluzione al problema dei costi di riscaldamento viene spesso identificata con la riduzione delle imposte sul combustibile. Fra l'altro, le recenti iniziative promosse dalle organizzazioni degli agricoltori hanno portato ad una presa di posizione ufficiale del ministro Alemanno nell'agosto 2001 per eliminare le imposte di fabbricazione (accise) sul gasolio impiegato per il riscaldamento delle serre (si vedano le *Appendici B, C* e *D*).
   Gli investimenti su strutture ed impianti per ridurre il consumo energetico, pur essendo considerati utili, non sembrano rientrare tra le priorità riconosciute dalla maggioranza degli interessati;
3) Il marchio di qualità rappresenta un utile strumento non solo per promuovere le produzioni, ma anche per il risparmio energetico nelle serre. Nei Paesi del Nord Europa, ad esempio, sono stati promossi dei marchi legati alla eco-compatibilità delle produzioni (eco-label) che rappresentano fra l'altro uno strumento di supporto ad investimenti aventi come obiettivo la riduzione del consumo di combustibile per il riscaldamento delle serre.

Nel presente lavoro vengono recepiti i suddetti orientamenti, nella convinzione che nessuna iniziativa per ridurre il consumo di gasolio possa essere pienamente realizzata senza il consenso degli imprenditori. In questo senso, l'analisi dei dati statistici effettuata nel primo capitolo ha permesso di individuare i soggetti maggiormente interessati al problema del risparmio energetico e definire le specificità economiche e sociali del territorio in cui operano. Per quanto concerne quest'ultimo punto, in *L'agricoltura della Versilia e della Piana di Lucca, tra collina e pianura*, (Gouèrec e Tellarini, 1994), è possibile leggere:

> "... La floricoltura ... rappresenta l'attività più viva e dinamica dell'agricoltura della piana di Lucca e, soprattutto, della Versilia, ma anche perché essa è una produzione di assoluto interesse economico per un'area che trova fuori del settore agricolo gran parte degli stimoli produttivi più interessanti...
>
> ... la floricoltura ... a differenza degli altri comparti produttivi agricoli, appare attrattiva, per i potenziali imprenditori, per la sua redditività economica, ma anche per la sua struttura organizzativa: il floricoltore si avvicina di più all'imprenditore artigianale che all'agricoltore tradizionale ... questa attività necessita di una disponibilità di terreno estremamente ridotta e dunque è accessibile a molti investitori e non solo a quelli che disponevano già di un solido patrimonio fondiario familiare ... bastano già 5-7.000 metri quadri per pensare di avviare un'attività economicamente valida per almeno due unità lavorative...
>
> ... I floricoltori ... agricoltori, dunque, ma forse più imprenditori degli altri. I floricoltori, anche se beneficiano (?!) del trattamento riservato agli agricoltori, non svolgono la loro attività su un mercato finto, ma su un mercato in cui la concorrenza gioca e nel quale il prezzo corrisponde effettivamente all'incontro tra l'offerta e la domanda, senza che intervengano i meccanismi di sostegno dell'Unione Europea. Più imprenditori perché maggiori sono le dimensioni economiche delle aziende, familiari certo, ma che devono far frequentemente ricorso a mano d'opera o stagionale o fissa; il floricoltore molto spesso deve anche gestire il personale. Più imprenditori, infine, perché sul mercato vero sul quale commercializzano i loro prodotti si presentano spesso da soli per assicurare la vendita, e in questo ambiente concorrenziale devono dimostrare di avere reali qualità commerciali, oltre a quelle strettamente tecniche...".

Il problema del risparmio energetico nelle serre interessa dunque un settore produttivo caratterizzato da una elevata competitività e, per tale motivo, le soluzioni tecniche proposte per la riduzione del consumo di gasolio dovranno risultare adeguate non solo sotto il profilo ambientale, ma anche sotto quello economico.

In questo Quaderno ARSIA 2/2003, sono state analizzate una serie di soluzioni tecniche diverse facendo sempre riferimento sia all'esperienza dei tecnici che operano nel territorio, sia ai lavori dei ricercatori che negli anni passati si sono occupati del problema. Per quanto concerne le ricerche effettuate nel nostro Paese, si deve rilevare che i principali contributi ed i maggiori sforzi finanziari risalgono agli anni ottanta ed ai primi anni novanta. Tra le numerose pubblicazioni risalenti a quel periodo, ricordiamo il libro dell'ENEA intitolato *Un migliore uso dell'energia nelle serre. Manuale per serricoltori* pubblicato nel 1988. Tale manuale, alla cui stesura hanno partecipato numerosi tecnici coordinati dal dott. Lucio Triolo dell'ENEA e dal-

l'ing. Nicola Stolfi del CREAA-CIC, rappresenta ancora oggi una guida indispensabile per l'imprenditore che desideri razionalizzare le proprie scelte in materia energetica. La maggior parte delle informazioni tecniche in esso contenute sono ancora oggi attuali: a quindici anni di distanza, infatti, non sono state proposte innovazioni tecniche economicamente sostenibili tali da consentire una drastica riduzione del consumo di gasolio. Ancora oggi, infatti, gli investimenti per il risparmio energetico permettono di ottenere vantaggi significativi solo se vengono effettuati secondo una strategia complessiva attentamente calibrata sulle scelte produttive dell'imprenditore.

Anche per i suddetti motivi, la scelta dei contenuti per il Quaderno ARSIA 2/2003 ha privilegiato gli aspetti legati alle procedure di valutazione del risparmio energetico. La speranza degli autori è di avere fornito uno strumento utile non solo al tecnico, ma anche all'imprenditore nel momento in cui questi dovrà operare delle scelte per migliorare la propria struttura produttiva.

# 1. Analisi dei dati statistici

L'analisi dei dati statistici ha permesso di contestualizzare il problema del risparmio energetico nelle serre individuando i settori produttivi, le aree geografiche ed i soggetti maggiormente interessati nella nostra regione.

I dati a cui si è fatto riferimento per quanto concerne gli aspetti economico-produttivi sono quelli pubblicati a cura dell'Osservatorio Agro-Industriale per la Toscana (OAIT) promosso dall'INEA Toscana. Altre informazioni riguardanti le aree della Versilia e di Pescia, in cui si rileva la maggiore presenza di superfici a colture protette, sono state ricavate da studi specifici: oltre ai dati forniti dai competenti uffici UMA, è stato fatto riferimento ad uno studio pubblicato nel 1988 da Angeli e Gabbrielli (*Floricoltura. Struttura produttiva e mercato*), ad una ricerca commissionata a metà degli anni novanta alla Teseo Ricerche (*Indagine sulle aziende florovivaistiche della provincia di Lucca*) ed ai lavori riguardanti la provincia di Lucca effettuati dal prof. Tellarini, dalla d.ssa Colosimo e dai loro collaboratori del Dipartimento di Economia dell'Agricoltura dell'Università degli Studi di Pisa.

L'elaborazione dei dati disponibili non è tuttavia semplice soprattutto se si desidera inquadrare il problema del consumo di combustibile per il riscaldamento sotto il profilo tecnico per individuare, ad esempio, le tipologie di serra e gli impianti termici maggiormente diffusi. Più in generale, la frammentarietà delle informazioni è accompagnata in alcuni casi da contraddizioni peraltro evidenziate dagli stessi autori delle indagini. È stato pertanto necessario valutare i dati disponibili anche in funzione delle indicazioni ottenute dai tecnici dell'ARSIA e delle organizzazioni professionali che hanno un contatto diretto con gli imprenditori agricoli e con le loro problematiche.

## 1.1 I dati economici e tecnici

La prima domanda a cui si è cercato risposta nei dati statistici riguarda l'estensione della superficie a colture protette nella nostra regione e le aree maggiormente interessate da questo tipo di coltivazioni.

Per quanto concerne l'orticoltura (*tabb. 1.1* e *1.2*), la superficie complessiva in coltura protetta risultava nel 1996 di circa *400 ettari*.

> "... Le coltivazioni in serra ... *di ortaggi* ... la cui PV nel 1995 e nel 1996 è stimata dalla Regione Toscana in oltre 40 miliardi (contro i circa 25 delle annate 1990 e 1991), sono invece concentrate in alcune aree delle province di Lucca (Versilia) e Pisa (dove i dati disponibili evidenziano un fortissimo sviluppo, tanto che la PV in termini correnti è cresciuta di circa 24 volte rispetto a quella media 1990-1991), che insieme totalizzano quasi i due terzi della PV serricola. Le produzioni largamente più rappresentative sono il pomodoro da mensa (38% circa della PV in serra), che ha anche fatto registrare il maggiore incremento rispetto ai primi anni '90 insieme alla zucchina (28% della PV) e alla lattuga, mentre la fragola appare in forte regresso sia in termini di superfici investite che di valore ..."
>
> (Pacciani *et al.*, 1998).

Dati più recenti forniti dalla Regione Toscana, (*tabb. 1.1* e *1.2*) riportano per l'anno 2000 una superficie di circa *486 ettari* di ortaggi in coltura protetta. Le specie maggiormente coltivate risultano essere sempre pomodoro e zucchine mentre, per quanto riguarda la distribuzione geografica delle coltivazioni, si evidenzia un incremento generalizzato delle superfici rispetto ai dati del 1996 con l'unica eccezione della provincia di Lucca.

**Tab. 1.1 - Coltivazioni orticole effettuate in coltura protetta nelle annate 1995 e 1996 (dati medi biennali) ed evoluzione della Produzione Lorda Vendibile rispetto al 1990-1991**

| | | *superficie (ha)* | *produzioni (q)* | *valore (mil. di lire)* | *valore in %* | *variaz. % su '90-91* |
|---|---|---|---|---|---|---|
| TOSCANA | | 395 | 170.100 | 41.066 | 100,0% | +59,0 |
| di cui: | Pisa | 70 | 46.000 | 14.505 | 35,3% | +2.339 |
| | Lucca | 102 | 37.800 | 11.670 | 28,4% | +14,3 |
| | Firenze | 70 | 27.100 | 4.142 | 10,1% | -15,1 |
| | Livorno | 56 | 17.500 | 3.826 | 9,3% | -33,8 |

| | | *superficie (ha)* | *produzioni (q)* | *valore (mil. di lire)* | *valore in %* | *variaz. % su '90-91* |
|---|---|---|---|---|---|---|
| TOSCANA | | 395 | 170.100 | 41.066 | 100,0% | +59,0 |
| di cui: | Pomodoro | 91 | 65.500 | 15.492 | 37,7% | +116,4 |
| | Zucchine | 85 | 40.600 | 11.419 | 27,8% | +111,8 |
| | Fragola | 34 | 4.900 | 4.207 | 10,2% | -15,3 |
| | Lattuga | 47 | 15.000 | 2.739 | 6,7% | +113,6 |

Fonte: elaborazioni OAIT su dati Regione Toscana (Pacciani *et al.*, 1998).

**Tab. 1.2 - Coltivazioni orticole effettuate in coltura protetta nelle annate 2000 e 2001***

| | | *Anno 2000 (ha)* | *Anno 2001 (ha)* |
|---|---|---|---|
| Massa Carrara | | 39,33 | n. d. |
| Lucca | | 95,00 | 93,36 |
| Pistoia | | 17,32 | 16,95 |
| Firenze | | 89,00 | n. d. |
| Livorno | | 63,25 | 65,55 |
| Pisa | | 90,00 | 31,00 |
| Arezzo | | 33,00 | 28,00 |
| Siena | | 1,77 | 1,80 |
| Grosseto | | 51,60 | 56,62 |
| Prato | | 6,00 | 8,70 |
| *Totale regionale* | | *486,27* | *301,98 (dato parziale)* |
| di cui: | Pomodoro | 98,30 | 68,20 (dato parziale) |
| | Zucchine | 111,40 | 38,42 (dato parziale) |
| | Fragola | 44,80 | 50,85 (dato parziale) |
| | Lattuga | 57,38 | 26,85 (dato parziale) |
| | Melanzana | 42,45 | 7,78 (dato parziale) |
| | Popone | 7,18 | 46,55 (dato parziale) |

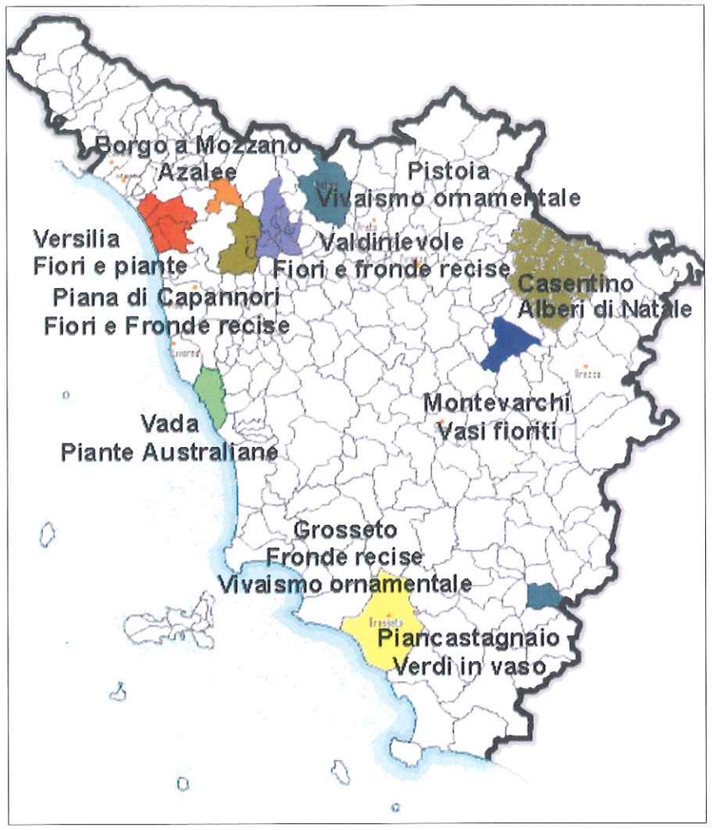
* Elaborazione su dati forniti dalla Regione Toscana.

Un dato di fatto condiviso dai tecnici operanti nel settore è che l'orticoltura in ambiente protetto praticata nella nostra regione utilizza nella maggioranza dei casi strutture molto semplici con uno scarso ricorso al riscaldamento. Per questo motivo, l'analisi dei dati ha riguardato essenzialmente il settore floro-vivaistico in cui i maggiori fabbisogni termici delle colture hanno favorito la diffusione di strutture e di impianti (inclusi i sistemi di riscaldamento) più evoluti e caratterizzati da un alto consumo energetico (*fig. 1.1*).

Nelle *tabelle 1.3 e 1.4* sono riportate le superfici delle principali specie floricole coltivate in coltura protetta ed in piena aria e la relativa distribuzione geografica per provincia. La superficie complessiva coltivata a fiori in coltura protetta nella nostra regione, risultava nel 2000 di circa *345 ettari*. Le specie maggiormente coltivate in coltura protetta risultavano essere crisantemi multiflori, garofani, rose, fresie, gigli e gerbere (*tabb. 1.3-1.6*).



**Fig. 1.1 - Distribuzione geografica delle attività florovivaistiche in Toscana**




**Tab 1.3 - Superfici (ha) delle principali specie floricole in serra e piena aria in Toscana**

| | *1995* | | | *1996* | | | *2000* | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | *serra* | *p. aria* | *totale* | *serra* | *p. aria* | *totale* | *serra* | *p. aria* | *totale* |
| Calle | 13,3 | 4,9 | 17,1 | 12,2 | 5,9 | 18,1 | 15,8 | 6,0 | 21,8 |
| Crisantemi multiflori | 91,6 | 9,0 | 89,3 | 89,7 | 7,2 | 96,9 | 80,9 | 8,0 | 88,9 |
| Crisantemi uniflori | 16,4 | 9,7 | 26,8 | 18,0 | 9,9 | 27,9 | 20,5 | 12,6 | 33,1 |
| Fresie | 26,5 | — | 11,3 | 25,3 | — | 25,3 | 20,3 | 0,1 | 20,4 |
| Garofani americani | 34,8 | 16,4 | 47,2 | 34,6 | 15,6 | 50,2 | 25,3 | 15,5 | 40,8 |
| Garofani mediterranei | 11,3 | 16,4 | 25,2 | 11,2 | 15,7 | 26,9 | 20,5 | 13,2 | 33,7 |
| Altri garofani | 51,6 | 8,0 | 63,2 | 48,6 | 10,5 | 59,1 | 31,2 | 13,2 | 44,4 |
| Gerbere | 23,2 | — | 17,5 | 23,3 | — | 23,3 | 28,4 | 4,3 | 32,7 |
| Gigli | 16,8 | 36,4 | 58,0 | 24,1 | 32,6 | 56,6 | 29,1 | 31,6 | 60,7 |
| Gladioli | 9,0 | 51,6 | 58,6 | 8,5 | 47,6 | 56,0 | 5,2 | 42,2 | 47,4 |
| Iris | 15,9 | 16,4 | 39,5 | 15,0 | 17,6 | 32,6 | 8,1 | 17,3 | 25,4 |
| Rose | 29,3 | 17,9 | 47,8 | 28,1 | 18,1 | 46,2 | 31,4 | 13,7 | 45,1 |
| Altri fiori | 38,1 | 110,7 | 142,6 | 34,9 | 105,9 | 140,8 | 16,7 | 31,9 | 48,6 |
| Fronde ornamentali | 2,8 | 114,0 | 115,5 | 7,5 | 116,5 | 124,0 | 11,5 | 186,7 | 198,2 |
| *Totale* | *380,5* | *411,3* | *759,5* | *380,7* | *403,0* | *783,8* | *344,9* | *396,3* | *741,2* |

Fonte: elaborazioni OAIT su stime della Regione Toscana (Pacciani *et al.*, 1998) e IRPET, *Terzo rapporto sull'Economia Agricola della Toscana* 2001.

**Tab. 1.4 - Distribuzione provinciale delle principali produzioni floricole nel 1996 (valori percentuali calcolati sulle superfici investite)**

| | *Massa* | *Lucca* | *Pistoia* | *Firenze* | *Livorno* | *Pisa* | *Arezzo* | *Siena* | *Grosseto* | *Toscana* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Calle | — | 22,1 | 66,3 | 3,0 | 8,6 | — | — | — | — | 100,0 |
| Crisantemi multiflori | 4,1 | 24,2 | 63,5 | 2,4 | 2,5 | 0,5 | 2,1 | 0,1 | 0,7 | 100,0 |
| Crisantemi uniflori | 28,7 | 30,1 | 8,2 | 9,5 | 14,2 | — | 7,2 | 0,4 | 1,8 | 100,0 |
| Fresie | 2,0 | 26,9 | 71,1 | — | — | — | — | — | — | 100,0 |
| Garofani americani | — | 20,3 | 79,7 | — | — | — | — | — | — | 100,0 |
| Garofani mediterranei | — | 5,9 | 59,5 | 13,9 | 9,5 | 11,1 | — | — | — | 100,0 |
| Altri garofani | — | 34,5 | 60,9 | 0,2 | 2,7 | — | — | 1,7 | — | 100,0 |
| Gerbere | — | 53,2 | 42,9 | — | 3,9 | — | — | — | — | 100,0 |
| Gigli | 2,1 | 43,1 | 53,0 | 0,9 | — | 0,9 | — | — | — | 100,0 |
| Gladioli | 5,4 | 75,0 | 17,0 | 1,2 | 0,5 | 0,9 | — | 0,1 | — | 100,0 |
| Iris | 1,5 | 67,6 | 27,0 | 3,8 | — | — | — | — | — | 100,0 |
| Rose | 3,2 | 45,9 | 43,3 | 2,4 | 5,2 | — | — | — | — | 100,0 |
| Fronde | 0,0 | 38,9 | 22,8 | 0,0 | 2,3 | 0,0 | 0,0 | 0,5 | 35,5 | 100,0 |
| Totale fiori e fronde | 3,1 | 35,0 | 49,1 | 2,2 | 2,7 | 1,3 | 0,5 | 0,3 | 5,8 | 100,0 |
| Piante intere da vaso | 2,9 | 22,6 | 6,7 | 0,5 | 0,8 | 0,7 | 33,8 | 29,0 | 3,1 | 100,0 |

Fonte: elaborazioni OAIT su stime Regione Toscana (Pacciani *et al.*, 1998).

**Tab. 1.5 - Produzione Lorda Vendibile di fiori e piante da vaso e contributo alla PLV agricola toscana e florovivaistica italiana (milioni di lire)**

| | *Prezzi correnti* | *Prezzi costanti (*)* | *Percentuale PLV agricola toscana* | *Percentuale PLV floricola italiana* |
|---|---|---|---|---|
| 1983 | 156.574 | 186.867 | 7,4 | 11,4 |
| 1984 | 155.333 | 166.975 | 7,6 | 7,9 |
| 1985 | 174.411 | 174.411 | 9,0 | 8,8 |
| 1986 | 184.864 | 187.603 | 8,2 | 10,5 |
| 1987 | 319.541 | 317.125 | 13,8 | 14,8 |
| 1988 | 227.705 | 232.099 | 10,7 | 9,8 |
| 1989 | 191.562 | 194.696 | 8,5 | 8,1 |
| 1990 | 207.428 | 198.246 | 8,8 | 8,1 |
| 1991 | 186.950 | 181.197 | 7,7 | 8,1 |
| 1992 | 243.822 | 229.346 | 10,3 | 8,0 |
| 1993 | 302.368 | 293.634 | 12,6 | 9,2 |
| 1994* | 288.658 | 282.816 | 11,6 | 8,6 |
| 1995* | 317.916 | 289.604 | 11,3 | 8,2 |
| 1996* | 302.000 | 261.167 | 10,6 | 8,1 |

* I valori costanti sono relativi al 1985 per i dati riportati fino al 1993, mentre sono relativi al 1990 per i dati dal 1994 al 1996.
Fonte: elaborazioni OAIT su dati INEA (Pacciani *et al.*, 1998).

Per quanto concerne la diffusione territoriale, si deduce dalla *tab. 1.6* (relativa alla PLV del settore floricolo disaggregata su base provinciale) e dalla *tabb. 1.7a-1.7b* che tale attività è praticata in particolare nelle province di Pistoia e di Lucca. Dall'analisi delle produzioni disaggregate per specie coltivata e per provincia (*tab. 1.4*) risulta che tutte le specie censite sono coltivate nelle due province pur in presenza di evidenti specificità locali (garofani e fresie nella provincia di Pistoia, iris e gladioli nella provincia di Lucca, vasetteria nelle province di Arezzo e di Siena).

I dati riportati non riescono tuttavia a mettere in evidenza coltivazioni locali di una certa rilevanza come, ad esempio, le rose nella zona di Camaiore e le piante acidofile nella zona della Media Valle del Serchio (*tabb. 1.7a-1.7b*).

Sotto il profilo economico, infine, è interessante rilevare che il settore della floricoltura riveste ancora nella nostra regione una particolare importanza sia rispetto ad altri settori produttivi (289 miliardi di lire correnti, 11% della PLV agricola della regione Toscana nel 1999), sia in ambito nazionale (7,9% della PLV floricola nazionale nel



**Tab. 1.6 - Produzione Lorda Vendibile provinciale di fiori e piante da vaso in Toscana nel periodo 1990-96 (milioni di lire correnti)**

| | *1990* | *1991* | *1992* | *1993* | *1994* | *1995* | *1996* | *Inc. '90* | *Inc. '96* | *Var. % 96-95* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Massa | 8.030 | 6.968 | 8.309 | 9.617 | 8.791 | 7.667 | 7.501 | 3,8 | 2,5 | - 2,2 |
| Lucca | 79.512 | 77.553 | 92.854 | 115.857 | 103.798 | 117.266 | 111.972 | 37,6 | 36,9 | - 4,5 |
| Pistoia | 90.494 | 88.968 | 108.076 | 134.086 | 123.620 | 114.945 | 109.612 | 42,8 | 36,1 | - 4,6 |
| Firenze | 1.808 | 3.336 | 3.564 | 4.207 | 4.222 | 12.173 | 11.582 | 0,9 | 3,8 | - 4,8 |
| Livorno | 4.808 | 4.787 | 6.092 | 8.963 | 8.113 | 9.133 | 8.563 | 2,3 | 2,8 | - 6,2 |
| Pisa | 13.333 | 11.149 | 13.329 | 15.850 | 7.934 | 6.146 | 5.861 | 6,3 | 1,9 | - 4,6 |
| Arezzo | 3.500 | 6.000 | 10.300 | 10.000 | 13.665 | 21.294 | 20.687 | 1,7 | 6,8 | - 2,9 |
| Siena | 3.000 | 3.000 | 3.000 | 3.000 | 2.645 | 11.058 | 10.517 | 1,4 | 3,5 | - 4,9 |
| Grosseto | 6.969 | 6.852 | 9.704 | 10.371 | 15.869 | 18.235 | 17.358 | 3,3 | 5,7 | - 4,8 |
| Toscana | 211.454 | 208.613 | 255.198 | 311.951 | 288.658 | 317.916 | 303.653 | 100,0 | 100,0 | - 4,5 |

Nota: Le differenze esistenti rispetto ai valori riportati dall'INEA nella tabella 1.3 si devono alla diversa fonte dei dati.
Fonte: elaborazioni OAIT su dati IRPET (Pacciani *et al.*, 1998).

**Tab. 1.7a - Coltivazioni floricole in serra. Dati riferiti al 1998 disaggregati per provincia**

| | *Vaso (ha)* | *Fiori recisi (ha)* | *Totale (ha)* |
|---|---|---|---|
| Massa | 2,5 | 15,4 | 17,9 |
| Lucca | 16,5 | 119,2 | 135,7 |
| Pistoia | 40,0 | 194,0 | 234,0 |
| Firenze e Prato | 3,5 | 3,9 | 7,4 |
| Livorno | 2,5 | 10,7 | 13,2 |
| Pisa | 20,0 | 5,1 | 25,1 |
| Arezzo | 10,0 | 4,0 | 14,0 |
| Siena | 27,0 | 0,1 | 27,1 |
| Grosseto | 13,8 | 0,8 | 14,6 |
| *Totale* | *135,8* | *353,3* | *489,1* |

Fonte: IRPET

**Tab. 1.7b - Distribuzione nella provincia di Lucca delle principali specie di fiore reciso****

| | *Superficie (m²)* | *Incidenza (%)* |
|---|---|---|
| Gladioli | 859.700 | 23,3 |
| Rose | 399.500 | 10,8 |
| Fronde ornamentali | 410.910 | 11,1 |
| Lilium | 373.350 | 10,1 |
| Crisantemi | 190.220 | 5,2 |
| Iris | 143.300 | 3,9 |
| Tulipani | 136.300 | 3,7 |
| Crisantemina | 130.000 | 3,5 |
| Altro | 1.048.480 | 28,4 |
| *Totale* | *3.691.760* | *100* |

** Colosimo *et al.*, 1998.

**Tab. 1.8 - Distribuzione nella provincia di Lucca delle principali specie di piante in vaso *****

| | *Superficie (m²)* | *Incidenza (%)* |
|---|---|---|
| Gerani | 157.800 | 17,6 |
| Stelle di Natale | 152.200 | 16,9 |
| Ciclamini | 61.700 | 6,9 |
| Crisantemi | 53.750 | 6,0 |
| Ortensia | 39.750 | 4,4 |
| Alloro | 36.700 | 4,1 |
| Pittosporo | 32.200 | 3,6 |
| Azalea | 27.966 | 3,1 |
| Lauro | 25.050 | 2,8 |
| Altro | 311.595 | 34,7 |
| *Totale* | *898.711* | *100* |

*** Colosimo *et al.*, 1998.

**Tab. 1.9 - Superficie coltivata a fiori nella provincia di Lucca. Dati disaggregati per indirizzo produttivo e per distribuzione geografica[1]**

| | *SAF coperta (m²)* | *SAF cop. / SAF tot. (%)* | *SAF riscaldata (m²) (m²)* | *SAF risc. / SAF cop. (%)* |
|---|---|---|---|---|
| Aziende che coltivano solo fiori recisi | 1.582.200 | 43,2 | 1.145.700 | 75,0 |
| Aziende che coltivano solo piante in vaso | 363.700 | 44,8 | 323.600 | 89,0 |
| Aziende ad indirizzo misto | 107.600 | 44,8 | 95.000 | 88,3 |
| *Totale della provincia di Lucca* | *1.999.500* | *43,5* | *1.564.300* | *78,2* |
| Aziende della Versilia | 1.620.700 | 59,4 | 1.315.400 | 81,2 |
| Aziende della Piana di Lucca | 359.600 | 19,7 | 236.800 | 65,9 |
| Aziende della Valle del Serchio | 19.200 | 50,9 | 12.100 | 63,0 |
| *Totale della provincia di Lucca* | *1.999.500* | *43,5* | *1.564.300* | *78,2* |

[1] Rielaborato da Teseo Ricerche, 1996 e da Colosimo *et al.*, 1998.

**Tab. 1.10 - Indirizzi produttivi (superfici, produzione e valori) per l'annata agraria 1999 nella provincia di Pistoia**

| *Prodotti* | *Superficie (ha)* | *Produzione (kg x 1000)* | *Valori (lire x 1000)* |
|---|---|---|---|
| Pomodoro | 58 | 986 | 640.400 |
| Altre ortive in piena aria | 200 | 2.510 | 2.510.000 |
| Altre ortive in serra | 18 | 740 | 933.750 |
| Fiori recisi piante da interni | 418 | | 229.900.000 |
| VIVAI | | | |
| pieno campo | 5.016 | | 285.912.000 |
| contenitore | 840 | | 168.000.000 |
| *Totale* | *5.856* | | *453.912.000* |

Fonte: Amministrazione Provinciale di Pistoia.

1999) (vedi *tabb. 1.5-1.8-1.9*).

Per quanto concerne specificamente la provincia di Lucca, è possibile effettuare un'analisi più dettagliata facendo riferimento alle *tabb. 1.6, 1.7, 1.8 e 1.9*. Dai dati riportati, risulta che nel 1996 operavano 559 aziende floricole; 436 di queste coltivavano sotto copertura e 317 erano dotate di impianti di riscaldamento. Il rapporto tra superficie floricola complessiva e superficie floricola sotto copertura risultava di circa il 43,5%, mentre il rapporto tra superficie floricola complessiva sotto copertura e superficie riscaldata era di circa il 78%. In valore assoluto, risultavano circa 200 ettari di superficie coperta coltivata a fiori di cui circa 156 ettari riscaldati.

Le specie maggiormente coltivate risultavano essere rispettivamente per i fiori recisi gladioli, rose, fronde ornamentali e lilium, mentre per le piante in vaso gerani e stelle di Natale.

Per quanto concerne la provincia di Pistoia, i dati forniti dall'Amministrazione provinciale riportano 418 ettari di superficie agricola coltivata a fiori (evidentemente sia in piena aria, sia in serra) nell'annata agraria 1999 (*tab. 1.10*). Ipotizzando che le percentuali tra superficie a fiori totale, coperta e riscaldata siano simili per le province di Pistoia e di Lucca, si può stimare in circa 182 ettari la superficie a fiori coperta ed in circa 142 ettari la superficie a fiori riscaldata.

Si deve rilevare che le indagini statistiche disponibili non riescono a porre in evidenza le tipologie di serra e gli impianti di riscaldamento maggiormente diffusi nella nostra regione. Dai contatti avuti con gli operatori ed i tecnici operanti nel settore, risulta che il gasolio è il combustibile maggiormente impiegato pur in presenza di tipologie di impianti termici molto diversificate. Per quanto concerne le tipologie di serra impegate per l'attività floro-vivaistica, si può invece affermare che esiste una grande eterogeneità nelle soluzioni adottate.



## 1.2 Il consumo di combustibili per il riscaldamento

Come accennato in precedenza, il sistema serra è caratterizzato da un elevato fabbisogno energetico. In *Un migliore uso della energia nelle serre*, ENEA, Roma, 1988, è possibile leggere:

> "... la superficie a colture è ... nel 1985 di circa 20.000 ettari (di cui approssimativamente 16.500 destinati a colture orticole e 3.500 a colture floricole) ...
> ... gli impianti di riscaldamento sono presenti in circa il 20% delle serre e la climatizzazione costituisce la voce più importante dei consumi energetici diretti ... tanto che l'energia spesa per tutte le altre operazioni colturali (irrigazione, meccanizzazione e pratiche colturali) non supera mediamente il 5% del totale.
> I consumi per la climatizzazione sono stati stimati per il 1984 nell'ordine di 140.000 tep, che corrispondono al 3% dei consumi diretti di energia spesi per tutta la produzione agricola vegetale italiana ... per le colture in pieno campo il consumo specifico relativo è di 0,25 tep/ha • anno; mentre sui 20.000 ha di colture protette, si registrano consumi specifici relativi di 7 tep/ha • anno. Naturalmente ben più alti sarebbero i consumi specifici calcolati in corrispondenza della superficie destinata solamente alle serre riscaldate ...
> ... per le serre risultano importanti anche i consumi energeticic indiretti: cioè quelli connessi ai materiali strutturali e ai materiali di copertura. Approssimativamente in ogni metro quadrato di superficie coperta con materiali plastici sono incorporati 10.000-12.000 kcal e in ogni metro quadrato di copertura in vetro sono incorporati circa 80.000 kcal.
> Rispetto ad altri Paesi europei l'Italia presenta, per le sue condizioni climatiche, una situazione più favorevole relativamente ai consumi di prodotti petroliferi per il riscaldamento. Ad esempio per la coltura di pomodoro ai 10 kg di gasolio per m² per anno mediamente necessari in Italia, corrispondono 34 kg per il Belgio, 48 kg per il Regno Unito e 55 kg per la Svezia.
> ... in Italia ... i costi relativi ai consumi diretti di energia per la climatizzazione incidono mediamente per il 20-30% (con punte del 50%) sui costi totali di produzione".

Inoltre in *Risparmio energetico nella Meccanizzazione agricola*, RENAGRI, Roma, 1990, si può leggere:

> "... notevoli, ma variabili sono le esigenze energetiche sia termiche sia elettriche delle serre. Le prime derivano dall'accennata esigenza di riscaldamento durante i periodi più freddi dell'anno; le seconde sono prevalentemente connesse con l'esigenza di ventilazione e raffrescamento in estate, illuminazione artificiale in inverno, umidificazione dell'aria e irrigazione del terreno. Queste esigenze sono molto varie, ma sempre molto consistenti.
> Sui 25.000 ha circa costituenti la superficie terricola italiana, circa 4.000 sono, secondo dati ENEA, quelli prevedenti il riscaldamento. Sempre secondo l'ENEA, i consumi relativi variano – in funzione delle colture e delle collocazioni geografiche – fra minimi dell'ordine di 2-3 kgep/m² • anno[1] e massimi dell'ordine di 30 kgep/m² • anno. Assumendo, pertanto, un valore medio di 5-6 kgep/m² • anno si può calcolare un consumo complessivo di 220.000-250.000 tep/anno oltre al consumo elettrico valutato in circa 10.000 tep/anno.
> ... si può arrivare nel riscaldamento a punte anche di 50 kgep/m² • anno ...".

Nel caso della nostra regione, il gasolio risulta il combustibile maggiormente utilizzato per il riscaldamento delle serre. Per il reperimento dei dati statistici si è fatto riferimento agli uffici UMA (Utenti Macchine Agricole) delle amministrazioni provinciali; questi infatti rappresentano il riferimento istituzionale per gli imprenditori agricoli che desiderino ottenere il combustibile a prezzo agevolato (vedi *Appendice B - Le normative*).

Gli addetti dell'ufficio UMA della provincia di Lucca stimano in circa 7.000.000 kg/anno il gasolio richiesto per il riscaldamento delle serre; tale dato è considerato sostanzialmente costante negli ultimi anni. Per quanto concerne invece la provincia di Pistoia, il gasolio assegnato per il riscaldamento delle serre risulta essere di 754.390 kg per l'anno 2000; le richieste hanno riguardato 2020 "ditte beneficiarie". È interessante rilevare che a metà degli anni ottanta, Angeli e Gabbrielli nella già citata ricerca, riportavano un fabbisogno di 4.200.000 kg/anno per il riscaldamento delle serre nella provincia di Pistoia.

Per quanto concerne la dinamica del prezzo del gasolio, si deve rilevare che il suo prezzo è pressocché raddoppiato negli ultimi anni; nella *tab. 1.11* è riportato l'andamento del prezzo del gasolio agricolo negli anni 1998, 1999 e 2000 mentre nella *tab. 1.12* sono confrontati i prezzi del combustibile in Italia ed in altri Paesi europei.

[1] ep = equivalenti petrolio. È l'energia prodotta dalla quantità di petrolio indicata (in chilogrammi o tonnellate). kgep = 10.000 kcal.

**Tab. 1.11 - Confronto dei prezzi (lire/kg) del gasolio agricolo con accisa negli anni 1998, 1999, 2000****

| *Settimana n.* | *1998 (lire / kg)* | *1999 (lire / kg)* | *2000 (lire / kg)* | *Variazione 1999-1998 (%)* | *Variazione 2000-1999 (%)* |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 613,5 | 501 | 843,5 | - 18 | 68 |
| 2 | 601 | 507,5 | 832,5 | - 16 | 64 |
| 3 | 587,5 | 528,5 | 762,5 | - 10 | 44 |
| 4 | 582,5 | 513 | 779,5 | - 12 | 52 |
| 5 | 574,5 | 505,5 | 783 | - 12 | 55 |
| 6 | 577,5 | 499 | 786,5 | - 14 | 58 |
| 7 | 571 | 493,5 | 775 | - 14 | 57 |
| 8 | 569 | 495 | 796,5 | - 13 | 61 |
| 9 | 559,5 | 504 | 780 | - 10 | 55 |
| 10 | 551,5 | 504 | 815 | - 9 | 62 |
| 11 | 543,5 | 529,5 | 847,5 | - 3 | 60 |
| 12 | 532 | 539,5 | 797,5 | 1 | 48 |
| 13 | 564 | 571 | 798,5 | 1 | 40 |
| 14 | 557,5 | 579,5 | 806 | 4 | 39 |
| 15 | 557,5 | 580 | 791,5 | 4 | 36 |
| 16 | 552 | 578,5 | 776,5 | 5 | 34 |
| 17 | 561,5 | 583 | 797 | 4 | 37 |
| 18 | 553,5 | 582 | 798,5 | 5 | 37 |
| 19 | 560,5 | 585 | 817,5 | 4 | 40 |
| 20 | 554 | 565 | 802,5 | 2 | 42 |
| 21 | 541 | 565 | 832 | 4 | 47 |
| 22 | 538,5 | 549,5 | 826 | 2 | 50 |
| 23 | 526,5 | 542,5 | 831 | 3 | 53 |
| 24 | 529 | 556,5 | 820 | 5 | 47 |
| 25 | 522,5 | 582,5 | 847,5 | 11 | 45 |
| 26 | 529,5 | 596,5 | 857,5 | 13 | 44 |
| 27 | 526,5 | 611 | 874,5 | 16 | 43 |
| 28 | 520 | 630 | 863,5 | 21 | 37 |
| 29 | 528,5 | 642,5 | 864 | 22 | 34 |
| 30 | 522 | 625,5 | 892 | 20 | 43 |
| 31 | 521,5 | 626 | 861,5 | 20 | 38 |
| 32 | 512,5 | 630,5 | 865,5 | 23 | 37 |
| 37 | 531 | 658,5 | 1.095 | 24 | 66 |
| 38 | 537,5 | 672,5 | 1.105 | 25 | 64 |

** Ai prezzi indicati è necessario detrarre 177,02 lire di sconto fiscale per il gasolio destinato al florovivaismo.
Per le settimane dalla 1 alla 32 il prezzo è riferito alla staffetta petrolifera, mentre per le settimane 37 e 38 il riferimento è il deposito costiero di Porto Marghera (documentazione a cura dell'associazione produttori florovivaisti "Flormarca" di Treviso).

**Tab. 1.12 - Prezzi dei combustibili per riscaldamento nel florovivaismo*****

| | *Italia* | *Olanda* | *Belgio* | *Germania* | *Danimarca* |
|---|---|---|---|---|---|
| Gasolio (lire / kg) | 1.069 | 299 | 686 | 564 | 699 |
| Metano (lire / mc) | 615 | 260 | | | |

*** Riferimento ad ottobre 2000 (elaborazioni a cura di U.N.A.Flor.).



## 1.3 I dati meteorologici

Una approfondita descrizione delle caratteristiche climatologiche della nostra regione è stata effettuata nell'ambito del programma interregionale di ricerca "Supporti per il settore floricolo" (si veda, ad esempio, Bindi e Fibbi, 1999); nel presente lavoro si è invece scelto di riportare prevalentemente i dati utili a valutare i fabbisogni energetici del sistema termodinamico serra. In particolare, la scelta dei dati è stata effettuata in funzione delle informazioni richieste dai software di simulazione e dalle formule empiriche utilizzati per la stima dei consumi energetici (vedi capitolo 6).

I dati meteorologici riportati di seguito nella *tab. 1.13* non hanno necessità di commenti; si ritiene tuttavia ooportuno ricordare che:

- la nostra regione è compresa tra i 44° N ed i 42° N di latitudine mentre le zone maggiormente interessate dalle coltivazioni in serra (la zona di Pescia e la Versilia) si trovano intorno ai 43,9° N di latitudine. Tali dati risultano indispensabili per l'elaborazione dei dati relativi alla durata del giorno, all'altezza del sole, all'angolo di azimut e alle curve isoradiative;
- il dato relativo al "vento filato" (in km) permette di ricavare la velocità del vento in km/h dividendo il valore riportato per il numero di ore a cui si riferisce. La conversione dal valore espresso in km/h al valore espresso in m/sec, può essere effettuato moltiplicando il dato per 0,2778.

**Tab. 1.13 - Durata del giorno (intervallo tra alba e tramonto in ore e minuti) per i giorni 1 e 17 dei mesi dell'anno a diverse latitudini***

| *Latitudine e giorno del mese* | | *Gen.* | *Feb.* | *Mar.* | *Apr.* | *Mag.* | *Giu.* | *Lug.* | *Ago.* | *Set.* | *Ott.* | *Nov.* | *Dic.* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Latitudine | 1 | 10h 15′ | 10h 46′ | 11h 33′ | 12h 29′ | 13h 20′ | 13h 57′ | 14h 03′ | 13h 34′ | 12h 46′ | 11h 53′ | 10h 59′ | 10h 22′ |
| 30° N | 17 | 10h 27′ | 11h 12′ | 12h 02′ | 12h 57′ | 13h 42′ | 14h 04′ | 13h 52′ | 13h 11′ | 12h 18′ | 11h 25′ | 10h 36′ | 10h 14′ |
| Latitudine | 1 | 09h 23′ | 10h 10′ | 11h 18′ | 12h 39′ | 13h 54′ | 14h 49′ | 14h 58′ | 14h 16′ | 13h 05′ | 11h 47′ | 10h 29′ | 09h 33′ |
| 40° N | 17 | 09h 42′ | 10h 47′ | 12h 00′ | 13h 20′ | 14h 27′ | 15h 00′ | 14h 42′ | 13h 41′ | 12h 24′ | 11h 06′ | 09h 55′ | 09h 20′ |
| Latitudine | 1 | 08h 10′ | 09h 20′ | 10h 58′ | 12h 55′ | 14h 41′ | 16h 04′ | 16h 18′ | 15h 14′ | 13h 31′ | 11h 39′ | 09h 48′ | 08h 24′ |
| 50° N | 17 | 08h 38′ | 10h 15′ | 11h 58′ | 13h 53′ | 15h 30′ | 16h 22′ | 15h 53′ | 14h 23′ | 12h 32′ | 10h 40′ | 08h 58′ | 08h 06′ |

* Si ricorda che il nostro Paese è compreso tra i 47° N ed i 37° N di latitudine.
La Toscana è compresa tra i 44° N ed i 42° N di latitudine (da Benincasa *et al.*, 1985).

**Tab. 1.14 - Coordinate del sole il 21 dicembre e il 21 marzo a varie latitudini e a diverse ore del giorno****

| | *21 dicembre* | | | *21 marzo* | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | *ora* | *α - angolo altezza del sole* | *β - angolo di azimut* | *ora* | *α - angolo altezza del sole* | *β - angolo di azimut* |
| Latitudine 46° N | 12.00 | 21° | 0° | 12.00 | 44° | 0° |
| | 8.00 e 16.00 | 2° | 52° | 7.00 e 17.00 | 11° | 79° |
| Latitudine 44° N | 12.00 | 23° | 0° | 12.00 | 46° | 0° |
| | 8.00 e 16.00 | 3° | 52° | 7.00 e 17.00 | 11° | 79° |
| Latitudine 42° N | 12.00 | 25° | 0° | 12.00 | 48° | 0° |
| | 8.00 e 16.00 | 5° | 53° | 7.00 e 17.00 | 11° | 80° |
| Latitudine 40° N | 12.00 | 27° | 0° | 12.00 | 50° | 0° |
| | 8.00 e 16.00 | 6° | 53° | 7.00 e 17.00 | 11° | 80° |
| Latitudine 38° N | 12.00 | 29° | 0° | 12.00 | 52° | 0° |
| | 8.00 e 16.00 | 7° | 53° | 7.00 e 17.00 | 11° | 81° |

** Dati ENEA, 1988.

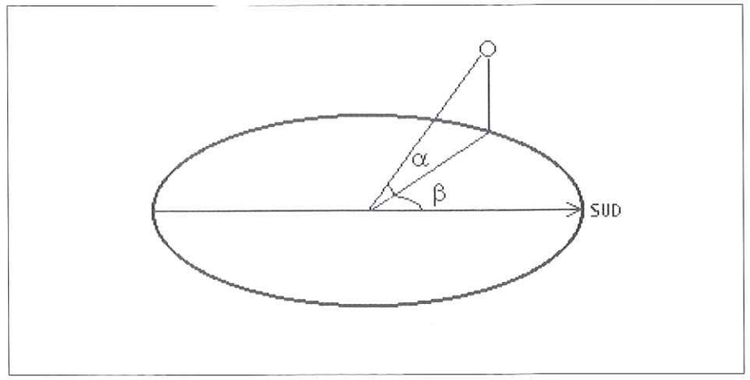



**Fig. 1.2 - Coordinate per individuare la posizione del sole (α = angolo altezza del sole; β = angolo di azimut)**

**Tab. 1.15 - Temperature medie, massime e minime su base mensile, calcolate per il periodo 1951-1993**

| | *Viareggio (lat.: 43.88; quota: 3 m s.l.m.)* | | | *Pescia (lat.: 43.91; quota: 62 m s.l.m.)* | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | *max.* | *min.* | *media* | *max.* | *min.* | *media* |
| Valore annuo: | 19,7 °C | 10,8 °C | 15,25 °C | 19,7 °C | 9,1 °C | 14,4 °C |
| Gennaio | 12,3 °C | 3,7 °C | 8 °C | 10,3 °C | 2,4 °C | 6,35 °C |
| Febbraio | 12,7 °C | 4,2 °C | 8,45 °C | 11,8 °C | 2,9 °C | 7,35 °C |
| Marzo | 14,8 °C | 6,3 °C | 10,55 °C | 14,7 °C | 4,9 °C | 9,8 °C |
| Aprile | 17,6 °C | 9,1 °C | 13,35 °C | 18,2 °C | 7,6 °C | 12,9 °C |
| Maggio | 21,4 °C | 12,8 °C | 17,1 °C | 22,7 °C | 10,9 °C | 16,8 °C |
| Giugno | 24,8 °C | 16,2 °C | 20,5 °C | 26,5 °C | 14,1 °C | 20,3 °C |
| Luglio | 27,9 °C | 18,7 °C | 23,3 °C | 30,1 °C | 16,4 °C | 23,25 °C |
| Agosto | 28,1 °C | 18,4 °C | 23,25 °C | 29,9 °C | 16,4 °C | 23,15 °C |
| Settembre | 25,5 °C | 15,8 °C | 20,65 °C | 26,1 °C | 14 °C | 20,05 °C |
| Ottobre | 21,6 °C | 11,8 °C | 16,7 °C | 20,8 °C | 10,3 °C | 15,55 °C |
| Novembre | 16,7 °C | 7,7 °C | 12,2 °C | 14,7 °C | 6,5 °C | 10,6 °C |
| Dicembre | 13,4 °C | 4,7 °C | 9,05 °C | 11 °C | 3,4 °C | 7,2 °C |

Elaborazione effettuata sui dati forniti da La.M.M.A. - Regione Toscana.

**Tab. 1.16 - Indice di "Plant hardiness" ****

| | *Viareggio* | *Pescia* |
|---|---|---|
| "Plant hardiness" stimato | - 3,56 °C | - 7,64 °C |
| errore | - 1,04 °C | 0,84 °C |

** Ovvero la più bassa temperatura che ogni anno ci si può aspettare venga raggiunta in un determinato punto. I valori sono stati stimati attraverso una rete neurale che utilizza i dati (elaborati con software WG-LARS) rilevati dalle stazioni dell'Ufficio Idrografico e Mareografico Nazionale (da Bindi e Fibbi, 1999).



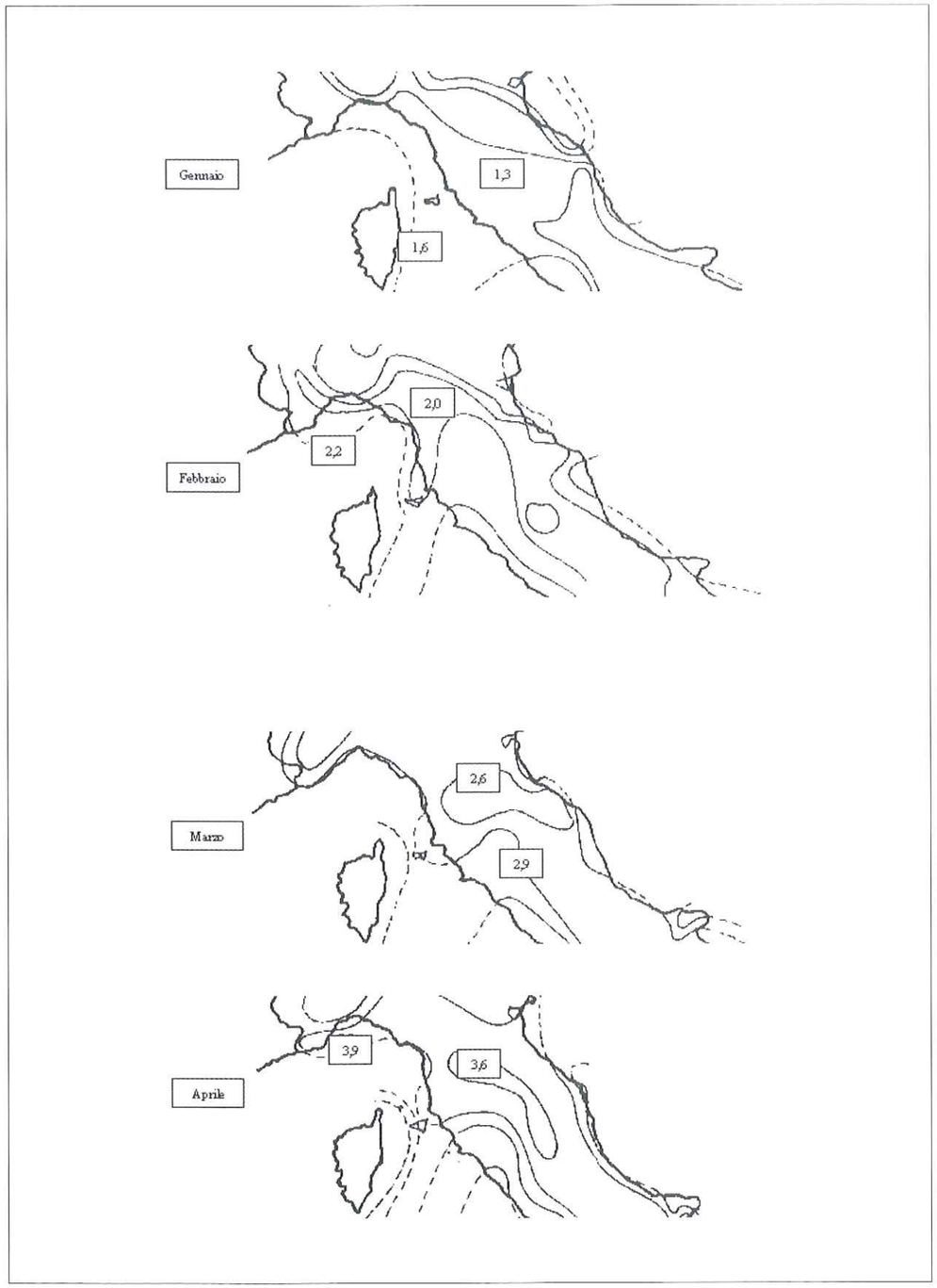



**Fig. 1.3 Curve isoradiative nei mesi di gennaio-aprile (valori medi mensili in kWh/m² per giorno su superficie orizzontale – da Benincasa *et al.*, 1985).**

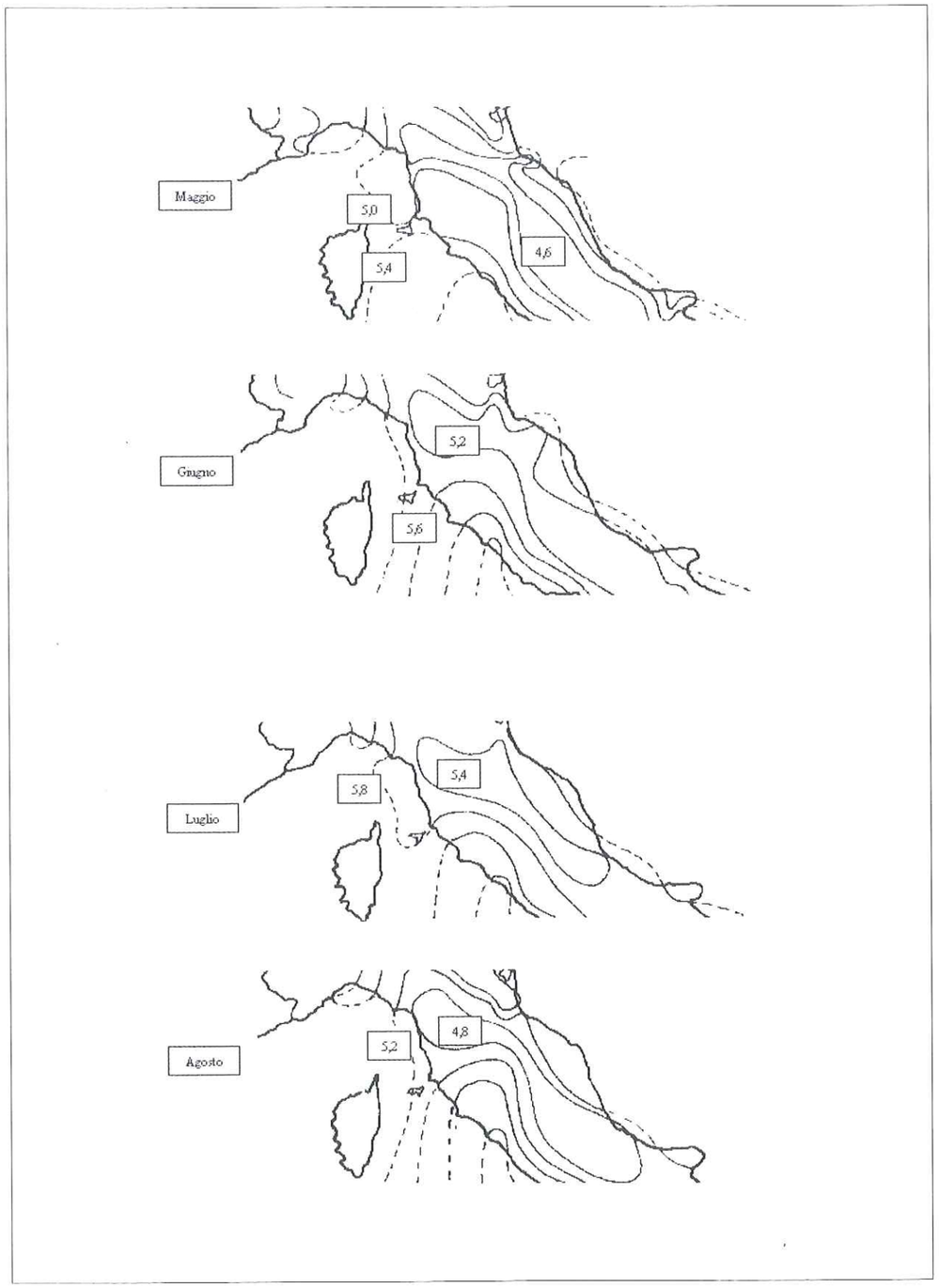



**Fig. 1.4 - Curve isoradiative nei mesi di maggio-agosto (valori medi mensili in kWh/m² per giorno su superficie orizzontale – da Benincasa *et al.*, 1985)**



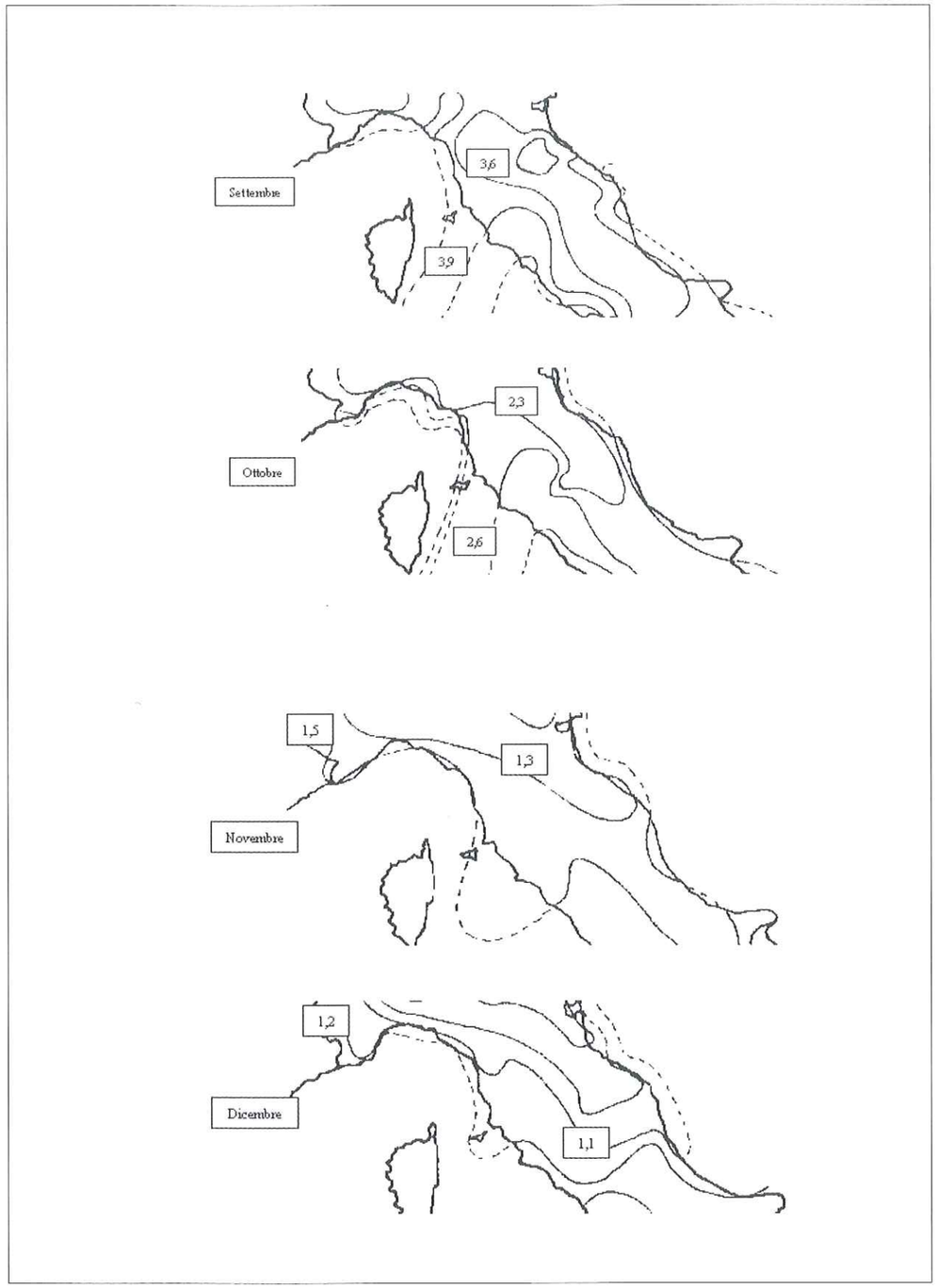



**Fig. 1.5 - Curve isoradiative nei mesi di settembre-dicembre (valori medi mensili in kWh/m² per giorno su superficie orizzontale – da Benincasa *et al.*, 1985)**

**Tab. 1.17 - Dati climatici rilevati dalla centralina installata presso il Ce.Spe.Vi. di Pistoia (lat. 43° 56′ N - quota 60 m s.l.m.)**

| | *Temperatura media°C* | *Temperatura max°C* | *Temperatura min°C* | *Vento filato km* | *Radiaz. solare gl. kW/m²* | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| medie gennaio | 6,24 | 11,24 | 1,74 | 99,49 | 1,33 | Medie giorn. |
| | 11,61 | 16,61 | 9,40 | 277,73 | 2,31 | Max. giorn. |
| | 0,39 | 5,03 | -5,53 | 29,57 | 0,34 | Min. giorn. |
| | | | | 3.084,17 | 41,49 | Somme |
| medie febbraio | 7,14 | 13,23 | 2,50 | 105,24 | 2,01 | Medie giorn. |
| | 11,91 | 17,83 | 8,39 | 253,44 | 3,60 | Max. giorn. |
| | 2,29 | 7,51 | -4,84 | 38,81 | 0,44 | Min. giorn. |
| | | | | 2.972,44 | 57,34 | Somme |
| medie marzo | 9,90 | 15,91 | 3,61 | 148,70 | 3,10 | Medie giorn. |
| | 14,13 | 21,44 | 10,79 | 340,77 | 5,11 | Max. giorn. |
| | 4,86 | 9,43 | -3,51 | 59,14 | 0,69 | Min. giorn. |
| | | | | 4.610,70 | 95,89 | Somme |
| medie aprile | 12,40 | 18,57 | 6,14 | 151,96 | 3,79 | Medie giorn. |
| | 16,93 | 25,13 | 11,74 | 294,49 | 6,39 | Max. giorn. |
| | 8,40 | 11,83 | -0,21 | 66,63 | 0,80 | Min. giorn. |
| | | | | 4.558,00 | 113,37 | Somme |
| medie maggio | 17,94 | 24,60 | 11,09 | 148,33 | 5,31 | Medie giorn. |
| | 21,77 | 30,26 | 15,37 | 270,37 | 7,50 | Max. giorn. |
| | 13,44 | 17,27 | 6,44 | 81,86 | 1,61 | Min. giorn. |
| | | | | 4.598,11 | 164,54 | Somme |
| medie giugno | 21,23 | 28,21 | 13,73 | 144,90 | 6,33 | Medie giorn. |
| | 25,34 | 33,64 | 18,20 | 241,07 | 7,80 | Max. giorn. |
| | 16,53 | 21,01 | 9,04 | 88,13 | 2,16 | Min. giorn. |
| | | | | 4.135,21 | 178,77 | Somme |
| medie luglio | 23,66 | 30,86 | 16,06 | 152,79 | 6,27 | Medie giorn. |
| | 27,14 | 35,71 | 20,14 | 297,76 | 7,64 | Max. giorn. |
| | 19,41 | 24,33 | 11,70 | 85,69 | 2,90 | Min. giorn. |
| | | | | 4.736,03 | 193,99 | Somme |
| medie agosto | 23,76 | 31,44 | 16,27 | 144,40 | 5,40 | Medie giorn. |
| | 27,17 | 36,09 | 20,20 | 224,53 | 6,86 | Max. giorn. |
| | 18,93 | 23,37 | 11,01 | 87,00 | 2,17 | Min. giorn. |
| | | | | 4.476,71 | 167,29 | Somme |
| medie settembre | 18,54 | 25,59 | 11,84 | 125,90 | 3,93 | Medie giorn. |
| | 22,59 | 30,49 | 17,04 | 217,43 | 5,51 | Max. giorn. |
| | 14,83 | 19,53 | 6,39 | 65,64 | 1,06 | Min. giorn. |
| | | | | 3.583,86 | 111,89 | Somme |
| medie ottobre | 15,19 | 21,60 | 9,80 | 92,24 | 2,44 | Medie giorn. |
| | 19,99 | 26,63 | 16,43 | 220,41 | 3,91 | Max. giorn. |
| | 10,11 | 14,44 | 3,11 | 37,39 | 0,50 | Min. giorn. |
| | | | | 2.859,69 | 76,39 | Somme |
| medie novembre | 9,37 | 14,50 | 4,90 | 100,73 | 1,41 | Medie giorn |
| | 16,29 | 20,86 | 13,61 | 244,20 | 2,47 | Max. giorn. |
| | 2,74 | 7,87 | -3,16 | 32,89 | 0,37 | Min. giorn. |
| | | | | 3.021,06 | 42,39 | Somme |
| medie dicembre | 6,55 | 11,20 | 2,40 | 95,82 | 1,03 | Medie giorn. |
| | 12,48 | 17,22 | 10,60 | 306,37 | 1,93 | Max. giorn. |
| | 0,28 | 4,28 | -5,20 | 17,28 | 0,23 | Min. giorn. |
| | | | | 2.970,60 | 31,88 | Somme |

Elaborazione effettuata sui dati rilevati dal gennaio 1995 al novembre 2001.



**Tab. 1.18 - Dati meteorologici rilevati a Lido di Camaiore (area comunale: lat. 43° 53′ N - quota: 5 m s.l.m.) dalla stazione agrometeorologica della Regione Toscana**

| | *Temperatura massima (°C)* | | | *Temperatura minima (°C)* | | | *Temperatura media (°C)* | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | *media* | *max.* | *min.* | *media* | *max.* | *min.* | *media* | *max.* | *min.* |
| Valore annuo: | 20,6 | | | 9,4 | | | 14,9 | | |
| Gennaio | 12,6 | 22,2 (91) | 3,9 (93) | 2,4 | 12,9 (96) | -7,5 (00) | 7,3 | 15,0 (91) | -0,6 (00) |
| Febbraio | 13,3 | 19,1 (93) | 4,3 (91) | 1,9 | 12,2 (94) | -7,5 (93) | 7,5 | 14,0 (93) | 0,2 (93) |
| Marzo | 16,1 | 25,4 (91) | 6,1 (98) | 5,0 | 14,7 (91) | -4,2 (93) | 10,5 | 18,6 (91) | 3,3 (98) |
| Aprile | 18,3 | 27,9 (92) | 9,5 (91) | 7,2 | 13,8 (00) | -1,3 (97) | 12,7 | 18,9 (92) | 6,8 (91) |
| Maggio | 23,7 | 31,1 (99) | 13,4 (91) | 11,5 | 18,5 (00) | 5,4 (94) | 17,6 | 23,0 (99) | 10,0 (91) |
| Giugno | 27,0 | 36,2 (98) | 15,9 (94) | 14,7 | 20,7 (01) | 6,3 (94) | 20,9 | 26,7 (98) | 13,6 (94) |
| Luglio | 29,8 | 36,2 (93) | 22,6 (00) | 16,9 | 22,4 (91) | 10,8 (91) | 23,4 | 28,0 (93) | 18,2 (00) |
| Agosto | 30,0 | 36,1 (92) | 22,1 (98) | 17,6 | 22,9 (94) | 9,4 (95) | 23,7 | 27,6 (92) | 17,6 (98) |
| Settembre | 25,9 | 31,4 (98) | 17,4 (98) | 14,1 | 21,5 (94) | 5,0 (98) | 19,8 | 25,0 (98) | 13,8 (95) |
| Ottobre | 21,3 | 28,7 (90) | 11,6 (91) | 10,8 | 20,2 (90) | 1,0 (97) | 15,8 | 23,9 (90) | 7,3 (97) |
| Novembre | 16,1 | 24,4 (93) | 5,9 (93) | 6,5 | 17,1 (98) | -3,7 (98) | 11,0 | 19,3 (93) | 1,7 (98) |
| Dicembre | 12,6 | 21,7 (97) | 2,3 (96) | 3,0 | 14,8 (00) | -6,3 (98) | 7,5 | 16,4 (97) | -2,3 (96) |

I dati riportati si riferiscono ad un periodo di undici anni: dal 1990 al 2001.

**Tab. 1.19 - Dati meteorologici rilevati a Pistoia (Santomato: lat. 43° 57′ N - quota: 390 m s.l.m.) dalla stazione agrometeorologica della Regione Toscana**

| | *Temperatura massima (°C)* | | | *Temperatura minima (°C)* | | | *Temperatura media (°C)* | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | *media* | *max.* | *min.* | *media* | *max.* | *min.* | *media* | *max.* | *min.* |
| Valore annuo: | 20,4 | | | 9,3 | | | 14,5 | | |
| Gennaio | 10,8 | 16,4 (01) | 3,6 (01) | 2,9 | 11,3 (01) | -6,8 (00) | 6,6 | 13,4 (01) | -1,0 (00) |
| Febbraio | 12,9 | 20,5 (98) | 3,9 (01) | 2,9 | 10,7 (97) | -5,0 (99) | 7,7 | 13,3 (98) | 0,8 (99) |
| Marzo | 16,0 | 23,9 (01) | 7,0 (98) | 5,4 | 12,1 (01) | -3,2 (98) | 10,3 | 15,6 (01) | 2,8 (98) |
| Aprile | 17,9 | 25,7 (00) | 8,9 (97) | 6,7 | 12,2 (98) | -1,7 (01) | 12,0 | 17,2 (00) | 6,5 (01) |
| Maggio | 25,1 | 32,1 (97) | 13,7 (97) | 12,1 | 15,7 (00) | 7,0 (97) | 18,1 | 22,3 (97) | 9,4 (97) |
| Giugno | 28,5 | 35,6 (98) | 17,5 (98) | 14,4 | 18,8 (97) | 6,8 (01) | 21,0 | 25,8 (98) | 14,2 (98) |
| Luglio | 30,5 | 36,4 (98) | 21,2 (00) | 16,4 | 20,6 (01) | 9,8 (00) | 23,1 | 27,9 (01) | 16,6 (00) |
| Agosto | 31,9 | 38,3 (98) | 21,7 (98) | 17,6 | 23,1 (98) | 10,7 (98) | 24,0 | 28,2 (01) | 17,1 (00) |
| Settembre | 26,4 | 33,5 (97) | 18,3 (98) | 13,7 | 19,0 (97) | 6,8 (01) | 19,5 | 25,5 (97) | 12,7 (01) |
| Ottobre | 20,8 | 28,4 (01) | 7,9 (97) | 11,4 | 18,3 (01) | 2,4 (97) | 15,5 | 22,4 (97) | 6,1 (97) |
| Novembre | 13,9 | 22,7 (99) | 5,6 (98) | 5,9 | 14,5 (99) | -2,7 (01) | 9,5 | 16,6 (98) | 2,5 (98) |
| Dicembre | 10,3 | 17,5 (01) | 2,9 (01) | 2,7 | 11,4 (00) | -6,9 (01) | 6,3 | 13,7 (00) | -1,9 (01) |

I dati riportati si riferiscono ad un periodo di cinque anni: dal 1997 al 2001.

**Tab. 1.20 - Dati meteorologici rilevati a Porcari (Coop l'Unitaria: lat. 43° 50' N - quota: 8 m s.l.m.) dalla stazione agrometeorologica della Regione Toscana**

| | *Temperatura massima (°C)* | | | *Temperatura minima (°C)* | | | *Temperatura media (°C)* | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | *media* | *max.* | *min.* | *media* | *max.* | *min.* | *media* | *max.* | *min.* |
| Valore annuo: | 20,4 | | | 15,4 | | | 13,8 | | |
| Gennaio | 11,4 | 18,6 (97) | 3,4 (99) | 0,7 | 10,2 (01) | -9,7 (00) | 5,6 | 13,2 (98) | -3,1 (00) |
| Febbraio | 12,8 | 20,7 (98) | -1,5 (00) | -0,1 | 10,7 (97) | -9,5 (00) | 6,0 | 14,1 (97) | -4,4 (00) |
| Marzo | 16,5 | 24,3 (01) | 5,7 (98) | 3,8 | 11,9 (01) | -4,3 (98) | 10,0 | 14,7 (97) | 1,8 (98) |
| Aprile | 17,9 | 24,8 (00) | 10,4 (97) | 5,8 | 12,8 (98) | -3,2 (97) | 11,8 | 16,9 (00) | 5,8 (01) |
| Maggio | 24,6 | 31,5 (97) | 14,6 (97) | 11,0 | 16,9 (00) | 5,9 (97) | 17,8 | 21,6 (97) | 10,6 (97) |
| Giugno | 27,6 | 37,8 (00) | 18,4 (97) | 13,5 | 19,8 (01) | 6,2 (01) | 20,6 | 25,8 (98) | 14,8 (01) |
| Luglio | 29,8 | 35,9 (98) | 21,2 (00) | 14,8 | 20,4 (98) | 8,5 (00) | 22,6 | 26,1 (97) | 16,6 (00) |
| Agosto | 31,4 | 38,0 (98) | 19,9 (00) | 15,5 | 20,5 (98) | 6,6 (98) | 23,2 | 27,7 (98) | 16,9 (98) |
| Settembre | 26,6 | 34,2 (97) | 16,9 (98) | 11,6 | 18,4 (98) | 4,4 (01) | 18,7 | 25,2 (97) | 11,6 (01) |
| Ottobre | 21,5 | 29,9 (01) | 10,0 (97) | 9,5 | 18,1 (01) | 1,0 (97) | 14,9 | 21,8 (97) | 7,3 (97) |
| Novembre | 14,4 | 24,0 (99) | 5,5 (98) | 4,0 | 13,4 (97) | -5,5 (99) | 8,8 | 16,7 (98) | 1,5 (98) |
| Dicembre | 10,8 | 17,6 (00) | 2,4 (99) | 0,6 | 11,2 (99) | -9,3 (01) | 5,4 | 13,1 (00) | -3,2 (01) |

I dati riportati si riferiscono ad un periodo di cinque anni: dal 1997 al 2001.

**Tab. 1.21 - Dati meteorologici rilevati a Montecarlo (San Giuseppe: lat. 43° 51' N - quota: 250 m s.l.m.) dalla stazione agrometeorologica della Regione Toscana**

| | *Temperatura massima (°C)* | | | *Temperatura minima (°C)* | | | *Temperatura media (°C)* | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | *media* | *max.* | *min.* | *media* | *max.* | *min.* | *media* | *max.* | *min.* |
| Valore annuo: | 20,1 | | | 10,1 | | | 14,9 | | |
| Gennaio | 10,8 | 16,9 (99) | 3,2 (99) | 3,2 | 12,4 (01) | -5,6 (00) | 6,8 | 14,1 (01) | 0,0 (00) |
| Febbraio | 13,1 | 19,1 (01) | 5,0 (99) | 3,9 | 11,0 (01) | -3,5 (99) | 8,3 | 13,7 (97) | 1,2 (99) |
| Marzo | 16,2 | 24,7 (01) | 5,9 (98) | 6,6 | 14,0 (01) | -2,1 (98) | 11,0 | 17,9 (01) | 2,7 (98) |
| Aprile | 17,5 | 24,7 (00) | 9,8 (97) | 7,8 | 12,9 (00) | 0,3 (01) | 12,3 | 17,6 (01) | 7,8 (98) |
| Maggio | 24,0 | 30,9 (97) | 12,5 (97) | 13,0 | 18,2 (01) | 6,6 (98) | 18,3 | 23,3 (97) | 9,6 (97) |
| Giugno | 27,5 | 35,2 (01) | 17,6 (98) | 15,8 | 23,1 (01) | 11,4 (98) | 21,6 | 27,5 (01) | 14,4 (98) |
| Luglio | 30,2 | 36,4 (01) | 20,6 (00) | 17,6 | 23,1 (01) | 10,1 (00) | 23,7 | 29,9 (01) | 17,0 (00) |
| Agosto | 31,4 | 38,8 (01) | 20,8 (00) | 18,3 | 23,2 (01) | 11,6 (98) | 24,5 | 30,2 (01) | 18,1 (00) |
| Settembre | 25,8 | 32,9 (97) | 17,8 (98) | 14,4 | 19,0 (98) | 7,9 (01) | 19,8 | 24,9 (97) | 14,0 (01) |
| Ottobre | 20,8 | 31,0 (01) | 8,6 (97) | 12,0 | 19,2 (01) | 3,9 (97) | 16,0 | 24,5 (01) | 6,7 (97) |
| Novembre | 13,7 | 23,6 (99) | 4,1 (97) | 6,2 | 14,8 (99) | -2,1 (01) | 9,8 | 17,8 (99) | 2,5 (97) |
| Dicembre | 10,2 | 23,7 (01) | 2,1 (01) | 2,9 | 13,1 (00) | -5,6 (01) | 6,4 | 14,6 (00) | -1,8 (01) |

I dati riportati si riferiscono ad un periodo di cinque anni: dal 1997 al 2001.



**Tab. 1.22 - Dati meteorologici rilevati a Pescia (I.T.A.S.: lat. 43° 54' N - quota: 75 m s.l.m.) dalla stazione agrometeorologica dell'Istituto Tecnico Agrario Statale "D. Anzillotti"**

| | *Temperatura massima (°C)* | | | *Temperatura minima (°C)* | | | *Temperatura media (°C)* | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | *media* | *max.* | *min.* | *media* | *max.* | *min.* | *media* | *max.* | *min.* |
| Valore annuo: | 21,2 | | | 10,3 | | | 14,8 | | |
| Gennaio | 11,1 | 12,0 (98) | 10.1 (00) | 2,9 | 6,0 (01) | 0,5 (02) | 5,9 | 8,0 (01) | 4,2 (02) |
| Febbraio | 13,7 | 15,1 (98) | 11,7 (99) | 3,7 | 5,7 (02) | 1,2 (99) | 7,3 | 8,9 (02) | 5,2 (99) |
| Marzo | 17,0 | 19,4 (02) | 15,7 (00) | 6,3 | 9,8 (01) | 4,1 (98) | 10,5 | 12,7 (01) | 8,9 (98) |
| Aprile | 18,9 | 19,9 (02) | 17,8 (98) | 8,3 | 9,1 (00) | 6,8 (01) | 12,9 | 13,5 (02) | 11,8 (01) |
| Maggio | 25,6 | 26,9 (00) | 24,5 (02) | 13,2 | 13,7 (00) | 12,2 (98) | 18,9 | 19,8 (00) | 18,2 (02) |
| Giugno | 29,8 | 30,9 (00) | 29,0 (01) | 15,9 | 17,2 (02) | 15,0 (01) | 22,6 | 23,7 (02) | 21,5 (01) |
| Luglio | 31,5 | 32,7 (98) | 30,3 (00) | 17,8 | 18,4 (99) | 16,6 (00) | 24,2 | 25,0 (98) | 23,1 (00) |
| Agosto | 32,9 | 34,4 (01) | 30,1 (02) | 18,4 | 19,2 (99) | 17,6 (02) | 24,7 | 25,9 (01) | 22,7 (02) |
| Settembre | 26,8 | 28,9 (99) | 25,4 (01) | 14,5 | 16,4 (99) | 12,8 (01) | 19,5 | 21,5 (99) | 18,0 (01) |
| Ottobre | 22,1 | 24,7 (01) | 20,5 (98) | 12,6 | 13,6 (01) | 11,8 (98) | 16,1 | 17,8 (01) | 14,9 (98) |
| Novembre | 14,5 | 15,2 (99) | 13,4 (98) | 6,4 | 8,3 (00) | 5,4 (98) | 9,4 | 10,6 (00) | 8,4 (98) |
| Dicembre | 10,8 | 12,9 (00) | 9,6 (98) | 3,6 | 6,5 (00) | 1,7 (01) | 6,2 | 8,9 (00) | 4,8 (01) |

I dati riportati si riferiscono ad un periodo di circa cinque anni: dal gennaio 1998 al settembre 2002.
I valori indicati come "max." e "min." sono riferiti alla media del mese e non a valori giornalieri come nelle precedenti tabelle.

**Tab. 1.23 - Dati meteorologici rilevati a Lido di Camaiore (area comunale: lat. 43° 53' N - quota: 5 m s.l.m.) dalla stazione agrometeorologica della Regione Toscana**

| | *Radiazione globale (W/m²/h)* | | | *Temperatura del suolo (°C)* | | *Velocità del vento (m/sec)* | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | *media* | *max.* | *min.* | *- 20 cm* | *- 40 cm* | *media* | *max.* | *min.* |
| Valore annuo: | 158 | | | 15,5 | 16,5 | 1,1 | | |
| Gennaio | 71 | 239 (98) | 4 (01) | 6,6 | 8,2 | 0,8 | 3,0 (99) | 0,1 (93) |
| Febbraio | 101 | 202 (93) | 6 (99) | 6,8 | 8,3 | 1,0 | 3,8 (95) | 0,2 (93) |
| Marzo | 137 | 257 (95) | 5 (00) | 10,4 | 11,4 | 1,2 | 4,8 (00) | 0,3 (00) |
| Aprile | 170 | 285 (96) | 14 (93) | 13,6 | 14,3 | 1,3 | 5,3 (91) | 0,4 (94) |
| Maggio | 223 | 368 (96) | 10 (96) | 18,4 | 18,8 | 1,2 | 3,7 (91) | 0,6 (01) |
| Giugno | 247 | 374 (99) | 22 (95) | 22,4 | 22,6 | 1,3 | 3,2 (93) | 0,5 (94) |
| Luglio | 266 | 367 (98) | 44 (91) | 25,2 | 25,2 | 1,2 | 3,5 (93) | 0,5 (00) |
| Agosto | 237 | 305 (96) | 30 (98) | 25,3 | 25,6 | 1,1 | 2,6 (96) | 0,4 (90) |
| Settembre | 179 | 295 (96) | 11 (99) | 20,9 | 21,9 | 1,1 | 4,7 (94) | 0,3 (94) |
| Ottobre | 111 | 209 (98) | 6 (99) | 16,3 | 17,8 | 1,0 | 3,1 (92) | 0,1 (93) |
| Novembre | 74 | 275 (90) | 2 (00) | 11,5 | 13,3 | 1,0 | 4,1 (00) | 0,1 (94) |
| Dicembre | 60 | 147 (97) | 4 (99) | 7,4 | 9,3 | 0,9 | 5,3 (93) | 0,1 (93) |

I dati riportati si riferiscono ad un periodo di undici anni: dal 1990 al 2001.

**Tab. 1.24 - Dati meteorologici rilevati a Porcari (Coop l'Unitaria: lat. 43° 50' N - quota: 8 m s.l.m.) dalla stazione agrometeorologica della Regione Toscana**

| | *Radiazione globale (W/m²/h)* | | | *Temperatura del suolo (°C)* | | *Velocità del vento (m/sec)* | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | *media* | *max.* | *min.* | *- 20 cm* | *- 40 cm* | *media* | *max.* | *min.* |
| Valore annuo: | 154,3 | | | n. d. | n. d. | n. d. | | |
| Gennaio | 58 | 133 (99) | 6 (01) | n. d. | n. d. | n. d. | n. d. | n. d. |
| Febbraio | 98 | 178 (97) | 9 (00) | n. d. | n. d. | n. d. | n. d. | n. d. |
| Marzo | 135 | 256 (97) | 19 (01) | n. d. | n. d. | n. d. | n. d. | n. d. |
| Aprile | 165 | 290 (97) | 19 (00) | n. d. | n. d. | n. d. | n. d. | n. d. |
| Maggio | 229 | 339 (00) | 40 (01) | n. d. | n. d. | n. d. | n. d. | n. d. |
| Giugno | 266 | 342 (99) | 28 (97) | n. d. | n. d. | n. d. | n. d. | n. d. |
| Luglio | 269 | 333 (98) | 89 (99) | n. d. | n. d. | n. d. | n. d. | n. d. |
| Agosto | 236 | 305 (99) | 31 (98) | n. d. | n. d. | n. d. | n. d. | n. d. |
| Settembre | 179 | 256 (00) | 15 (99) | n. d. | n. d. | n. d. | n. d. | n. d. |
| Ottobre | 108 | 244 (98) | 8 (99) | n. d. | n. d. | n. d. | n. d. | n. d. |
| Novembre | 65 | 247 (97) | 8 (01) | n. d. | n. d. | n. d. | n. d. | n. d. |
| Dicembre | 50 | 102 (99) | 5 (01) | n. d. | n. d. | n. d. | n. d. | n. d. |

I dati riportati si riferiscono ad un periodo di cinque anni: dal 1997 al 2001.

**Tab. 1.25 - Dati meteorologici rilevati a Montecarlo (San Giuseppe: lat. 43° 51' N - quota: 250 m s.l.m.) dalla stazione agrometeorologica della Regione Toscana**

| | *Radiazione globale (W/m²/h)* | | | *Temperatura del suolo (°C)* | | *Velocità del vento (m/sec)* | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | *media* | *max.* | *min.* | *- 20 cm* | *- 40 cm* | *media* | *max.* | *min.* |
| Valore annuo: | 148,6 | | | 17,1 | 16,9 | 1,16 | | |
| Gennaio | 55 | 117 (97) | 5 (01) | 7,2 | 8,2 | 1,0 | 5,4 (99) | 0,1 (99) |
| Febbraio | 92 | 169 (97) | 8 (00) | 8,2 | 8,5 | 1,2 | 4,9 (99) | 0,1 (99) |
| Marzo | 124 | 232 (97) | 19 (01) | 11,6 | 11,4 | 1,4 | 5,3 (98) | 0,4 (98) |
| Aprile | 160 | 276 (97) | 15 (99) | 14,5 | 14,0 | 1,4 | 4,0 (01) | 0,7 (01) |
| Maggio | 225 | 346 (98) | 38 (01) | 20,2 | 18,9 | 1,2 | 3,4 (98) | 0,6 (98) |
| Giugno | 259 | 364 (99) | 29 (97) | 25,2 | 23,6 | 1,1 | 2,7 (97) | 0,7 (97) |
| Luglio | 261 | 317 (98) | 80 (99) | 28,4 | 26,7 | 1,2 | 2,8 (99) | 0,6 (99) |
| Agosto | 227 | 338 (97) | 29 (98) | 29,0 | 27,8 | 1,1 | 3,8 (98) | 0,8 (98) |
| Settembre | 173 | 255 (01) | 14 (99) | 23,3 | 23,3 | 1,1 | 3,5 (00) | 0,5 (00) |
| Ottobre | 102 | 198 (99) | 6 (98) | 18,4 | 18,9 | 1,0 | 4,5 (97) | 0,4 (97) |
| Novembre | 61 | 125 (98) | 5 (00) | 11,6 | 12,9 | 1,1 | 4,2 (01) | 0,2 (01) |
| Dicembre | 44 | 91 (97) | 4 (97) | 7,2 | 8,6 | 1,1 | 5,0 (01) | 0,3 (01) |

I dati riportati si riferiscono ad un periodo di cinque anni: dal 1997 al 2001.



**Tab. 1.26 - Numero di ore di mensili con insolazione superiore ai 150 W/m² rilevate dalle stazioni agrometeorologiche della Regione Toscana ubicate a Lido di Camaiore, Porcari e Montecarlo****

| | *Numero di ore mensili con insolazione superiore ai 150 W/m²* | | |
|---|---|---|---|
| | *Porcari* | *Lido di Camaiore* | *Montecarlo* |
| Gennaio | 112 | 97 | 94 |
| Febbraio | 153 | 144 | 163 |
| Marzo | 212 | 219 | 221 |
| Aprile | 258 | 251 | 239 |
| Maggio | 337 | 329 | 298 |
| Giugno | 354 | 346 | 350 |
| Luglio | 373 | 358 | 365 |
| Agosto | 316 | 328 | 324 |
| Settembre | 273 | 282 | 256 |
| Ottobre | 190 | 178 | 197 |
| Novembre | 122 | 119 | 119 |
| Dicembre | 94 | 92 | 81 |

I dati riportati si riferiscono ad un periodo di cinque anni: dal 1997 al 2001.
** Lido di Camaiore (area comunale: lat. 43°53'N - quota: 5 m s.l.m.), Porcari (Coop l'Unitaria: lat. 43°50'N - quota: 8 m s.l.m.) e Montecarlo (San Giuseppe: lat. 43°51'N - quota: 250 m s.l.m.).

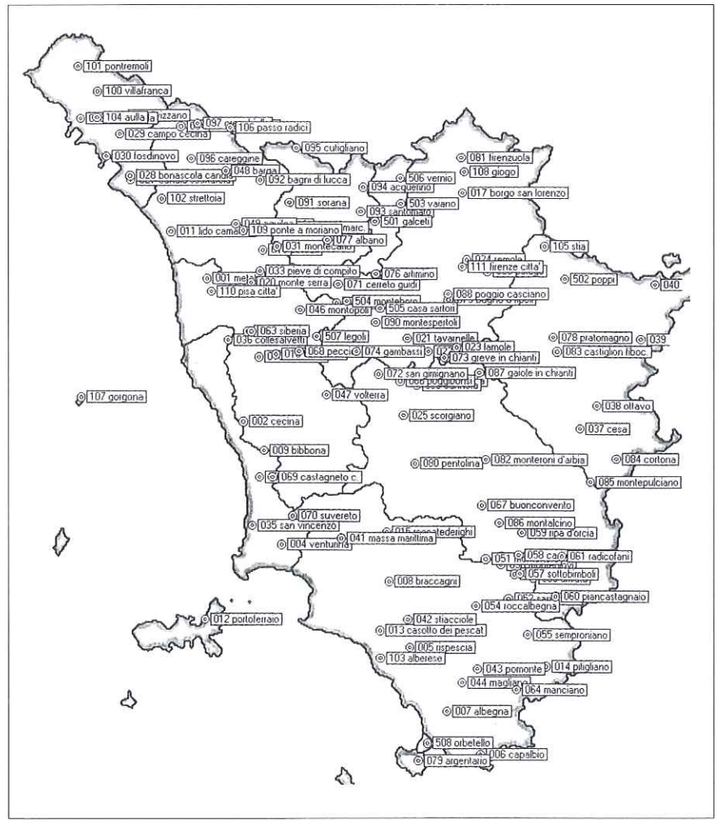



**Fig. 1.6 - Ubicazione delle centraline agrometeorologiche della rete di rilevamento della Regione Toscana**

# 2. Il sistema serra

*Muzio Ceccatelli*

Una serra può essere considerata il principale sistema per captare e trattenere il calore del sole. In altri termini, la serra non è solamente una struttura in grado di proteggere dalle avversità atmosferiche le piante in essa coltivate, ma un vero e proprio collettore solare che contribuisce ad ottimizzare gli apporti di luce e di calore.

In questo senso, la capacità di utilizzare l'energia solare dipende innanzitutto dalle caratteristiche del luogo in cui la struttura viene realizzata (orientamento, pendenza del terreno, altezza sul livello del mare, presenza di difese naturali) e dalle caratteristiche climatiche e microclimatiche (temperatura, ventosità, radiazione luminosa, ecc.). Tali aspetti devono essere considerati in funzione delle esigenze delle colture che si desidera effettuare e di considerazioni di ordine economico legate alla redditività di queste. Per tali motivi, non esiste una serra "tipo" ma, in funzione delle caratteristiche dell'area in cui si opera, potrà essere individuata la soluzione più adatta a soddisfare le esigenze delle colture compatibilmente con le prospettive di ritorno economico dell'investimento.

Alcuni tipi di coltivazione hanno reso fino ad oggi economicamente conveniente un condizionamento climatico della serra legato non solo ai fattori naturali, ma anche a specifici impianti di riscaldamento e/o di raffrescamento installati nella struttura. Il sistema serra risulta in questo caso molto complesso; il punto di partenza per comprenderne il funzionamento è comunque sempre l'analisi dei flussi di energia legati ai fattori naturali.

Il principale fattore naturale che influenza il funzionamento del sistema è la radiazione solare. Nella *tab. 2.1* sono riportate le diverse componenti della radiazione solare classificate in base alla loro lunghezza d'onda.

Nella *fig. 2.1* viene invece schematizzata l'energia associata con le diverse componenti della radiazione solare al di fuori dell'atmosfera, della radiazione solare al suolo e della radiazione emessa dai corpi, inclusa la superficie terrestre, riscaldati dal sole. Circa il 98% della radiazione emessa dal sole è compresa tra le lunghezze d'onda di 300 nm e di 3000 nm; prima di raggiungere l'atmosfera, vi è un picco a 480 nm corrispondente alla radiazione a cui è associata la maggiore quantità di energia.

Esistono sostanzialmente due componenti rilevanti per le attività svolte nella serra: la componente che rende possibile la fotosintesi (denominata PAR, *Photosynthetically Active Radiation*) e le componenti dell'infrarosso che sono alla base sia del cosiddetto "effetto serra" sia, nel caso dell'infrarosso corto associato alla PAR, di effetti fotomorfogenetici sulla coltura (germinazione dei semi, allungamento dello stelo, espansione delle foglie, ecc.).

**Tab. 2.1 - Composizione della radiazione solare**

| | | *Lunghezza d'onda (λ) (nm)* |
|---|---|---|
| Radiazioni cosmiche | | 0,00005 |
| Raggi gamma | | 0,001-0,14 |
| Raggi X | | 1-15 |
| Ultravioletto | corto | 15-280 |
| | medio | 280-315 |
| | lungo | 315-380 |
| Visibile | violetto | 380-440 |
| | blu | 440-490 |
| | verde | 490-565 |
| | giallo | 565-595 |
| | arancione | 595-620 |
| | rosso | 620-760 |
| Infrarosso | corto | 760-1.000 |
| | medio | 1.000-2.000 |
| | lungo | 2000-26.000 |
| Onde radio | | 26.000-100.000 |

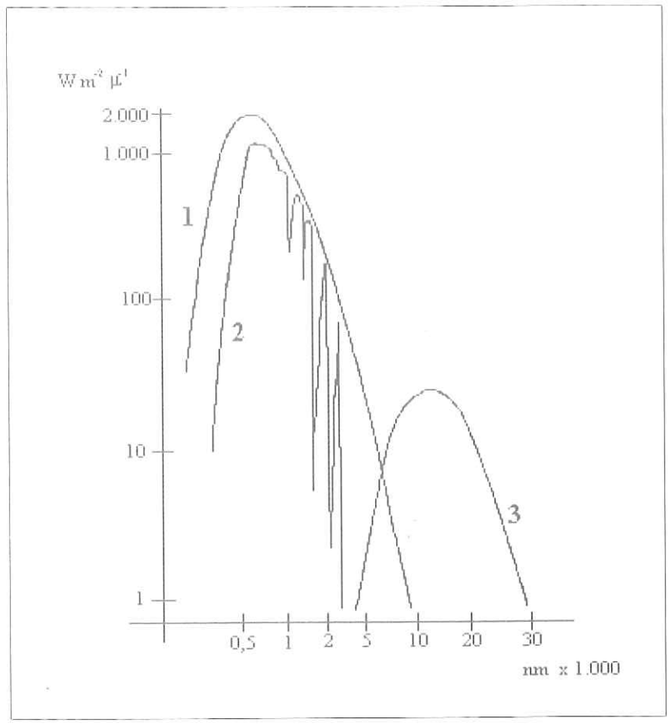



**Fig. 2.1 - Caratteristiche (energia e lunghezza d'onda) della radiazione solare fuori dall'atmosfera (1), della radiazione solare al suolo (2) e della radiazione emessa dalla superficie terrestre (3)**

La radiazione luminosa utilizzata per la fotosintesi è compresa tra le lunghezze d'onda di 380 nm e di 710 nm; si tratta di radiazioni che ricadono nel campo del visibile, anche se è necessario sottolineare che la sensibilità dell'occhio umano a tali radiazioni è assai diversa rispetto a quella delle piante per la fotosintesi. L'incidenza della PAR sulla radiazione globale è di circa il 50%, con piccole variazioni durante il giorno o a seconda della stagione. Le piante, tuttavia, riescono ad utilizzare per la fotosintesi solamente il 5% dell'energia solare; il resto riscalda la pianta stessa ed i corpi circostanti.

Per quanto concerne le radiazioni infrarosse, come si può vedere nella *fig. 2.1*, le componenti a lunghezza d'onda maggiore vengono attenuate nel passaggio dell'atmosfera; l'emissione da parte della superficie terrestre riguarda invece essenzialmente le radiazioni infrarosse a maggiore lunghezza d'onda.

Il cosiddetto "effetto serra" consiste nell'aumento della temperatura dell'aria all'interno della struttura ad opera delle radiazioni infrarosse medie e lunghe emesse dal terreno, dalla coltura e dai manufatti presenti nella serra a loro volta riscaldati dalla radiazione solare. Tale fenomeno è reso possibile dalle specifiche caratteristiche del materiale con cui viene realizzata la copertura della serra: trasparente alla componente infrarosso corto della radiazione solare e "opaco" alle radiazioni emesse dai corpi presenti all'interno della serra (vedi *fig. 2.2*).

Maggiore sarà la quantità di energia associata alla radiazione solare che penetra all'interno della serra, più efficace sarà il riscaldamento dell'aria al suo interno. In generale, la quantità di energia che attraversa una superficie trasparente dipende principalmente dalla intensità della radiazione incidente, dal suo angolo di incidenza (ovvero dell'angolo con cui la radiazione colpisce la copertura) e dal coefficiente di trasparenza del materiale. Questi ultimi due fattori sono influenzati principalmente dalla forma e dall'orientamento della serra e dalle caratteristiche del materiale di copertura impiegato per la sua realizzazione. L'intensità della radiazione solare è invece dipendente dalla latitudine, dal giorno e mese dell'anno oltre che dalle condizioni meteorologiche. Per ciascuna area potrà pertanto essere stimato l'apporto di energia solare; a tale riguardo si rimanda al paragrafo 1.3 in cui sono riportati una serie di dati riguardanti l'intensità



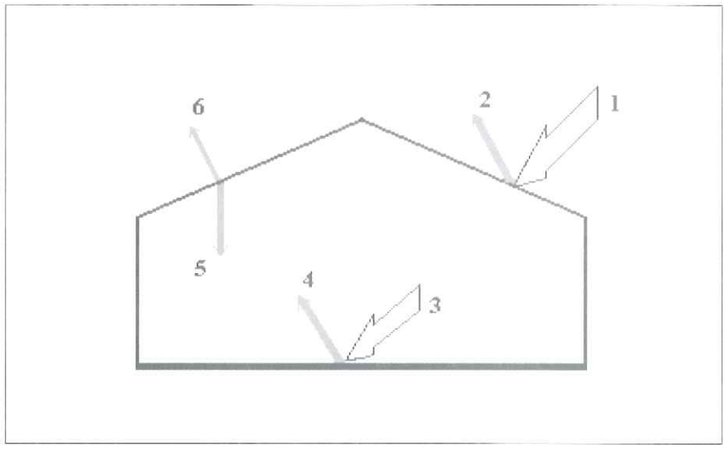



**Fig. 2.2 - Schematizzazione dell'effetto serra. 1) radiazione solare incidente; 2) radiazione solare riflessa; 3) radiazione solare che ha attraversato il materiale di copertura; 4) radiazione emessa dal terreno e dagli altri corpi presenti all'interno della serra; 5) radiazione dispersa all'esterno della serra; 6) radiazione riflessa all'interno della serra**

della radiazione luminosa per le zone di maggiore interesse della nostra regione. In alcuni casi, e cioè ove sono disponibili appositi sensori, è stata riportata oltre alla radiazione diretta anche la radiazione diffusa. Quest'ultima deriva dalla diffusione della radiazione solare ad opera dei gas presenti nell'atmosfera e delle nubi; nelle giornate nuvolose risulta prevalente rispetto alla radiazione diretta. Anche la radiazione diffusa è importante per il corretto sviluppo della coltura e per l'"effetto serra", ma i materiali di copertura presentano caratteristiche diverse rispetto ai due diversi tipi di radiazione.

La radiazione luminosa non è tuttavia l'unico fattore naturale che deve essere considerato qualora si desideri migliorare l'efficienza della serra; il riscaldamento ad opera della radiazione solare è infatti limitato dalle dispersioni di energia legate a fattori ambientali quali la velocità e direzione del vento e le temperature minime dell'aria all'esterno della serra (si veda il paragrafo 2.2). Inoltre, la necessità di mantenere condizioni ambientali ottimali per la coltura presente all'interno della serra (in particolare temperatura ed umidità relativa), obbliga a periodiche operazioni di arieggiamento anche durante il periodo invernale.

Problematiche assolutamente diverse si manifestano invece durante i mesi più caldi, quando l'"effetto serra", che risultava fondamentale sotto il profilo energetico durante il periodo invernale, deve essere in qualche modo limitato allo scopo di evitare di raggiungere temperature eccessive. In questo caso vengono utilizzati dei dispositivi per ottenere l'ombreggiamento, la ventilazione (naturale o forzata) ed il raffrescamento evaporativo.

## 2.1 Le tipologie di serra

Le serre prefabbricate vengono attualmente offerte sul mercato nelle dimensioni più varie; dai 100 mq a ben oltre i 2000 mq. A seconda della forma della sezione trasversale, tali serre possono essere suddivise in (*fig. 2.3*):

- serre a padiglione regolare (serre a doppia falda);
- serre a padiglione con tetto semicircolare (serre a volta ellittica su piedritti o serre-tunnel);
- tunnel (serre a volta semicircolare).

Le serre a padiglione regolare così come quelle a tetto semicircolare possono essere affiancate formando delle strutture a più campate.

Nel caso delle serre a padiglione, inoltre, pos-

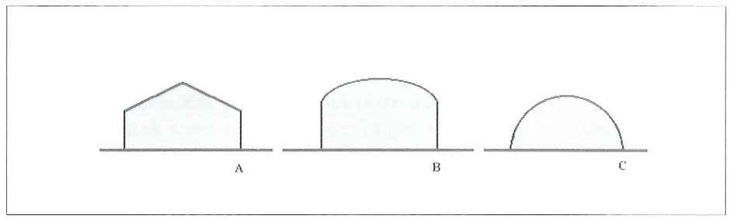



**Fig. 2.3 - Classificazione delle serre in funzione della forma della sezione: A) serre a padiglione regolare; B) serre a padiglione con tetto semicircolare; C) tunnel**

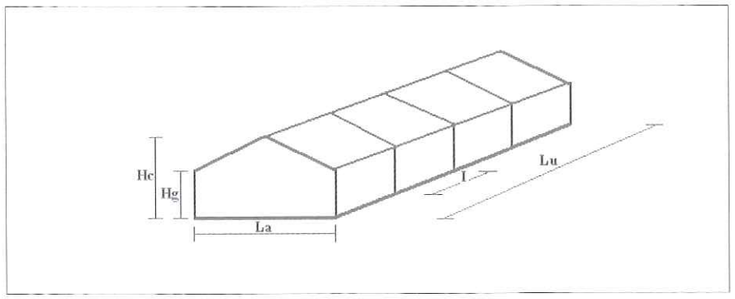



**Fig. 2.4 - I principali parametri dimensionali di una serra**

sono essere realizzate strutture a più falde sulla singola campata (serre tipo Venlo) che, pur avendo un costo sensibilmente maggiore rispetto alle serre a doppia falda, presentano i seguenti vantaggi:

- maggiore pendenza delle falde con migliore trasmissione della radiazione solare incidente e minore formazione di condensa;
- altezza al colmo contenuta e alleggerimento alla spinta del vento;
- aumento delle aperture di ventilazione e loro protezione dall'azione dei venti;
- possibilità di installare aperture più efficienti;
- possibilità di installare facilmente un telo ombreggiante esterno a sviluppo orizzontale.

I principali parametri dimensionali delle serre sono (*fig. 2.4*):

- la larghezza o luce della campata (La);
- la lunghezza della serra (Lu);
- il modulo strutturale ovvero l'interasse tra due elementi strutturali – travi e pilastri – (I);
- l'altezza di colmo (Hc);
- l'altezza di gronda (Hg).

Tali parametri assumono per le diverse tipologie di serra i valori riportati nella *tab. 2.2*.

Per quanto concerne l'efficienza delle serre descritte in precedenza, è necessario considerare anche il loro diverso rendimento energetico a seconda della forma e dell'orientamento dell'asse longitudinale.

La scelta dell'orientamento della serra è in genere effettuata per poter captare nel miglior modo possibile la radiazione solare durante l'inverno. La captazione della radiazione solare dipende dall'altezza del sole (i raggi del sole dovrebbero formare con la superficie della copertura un angolo compreso tra 45° e 90°) e dall'ombreggiamento provocato dalla struttura. Nel caso di una serra singola, ad esempio, la migliore captazione della radiazione solare in inverno viene ottenuta con un orientamento est-ovest. A tale riguardo, è interessante osservare i risultati di una prova sperimentale effettuata in Inghilterra (circa 50° di latitudine) su serre singole:

| | *Trasmissione della luce* | |
|---|---|---|
| *Orientamento* | *(%) a metà estate* | *(%) a metà inverno* |
| Nord - Sud | 64 | 48 |
| Est - Ovest | 66 | 71 |

Nel caso delle serre a padiglione, inoltre, anche l'inclinazione delle falde (in particolare di quella rivolta a sud) influisce sulla intercettazione della radiazione luminosa. Una regola empirica permette di determinare l'inclinazione ottimale della falda aggiungendo 20° alla latitudine del luogo in cui è ubicata la serra: in questo modo, i raggi del sole risulteranno perpendicolari alla falda durante i mesi invernali. In pratica, tuttavia, le pendenze adottate

**Tab. 2.2 - I più diffusi valori dimensionali per le principali tipologie di serra**

| | *Serre a padiglione regolare (doppia falda)* | *Serre a padiglione con tetto semicircolare* | *Tunnel* |
|---|---|---|---|
| Luce della campata | 6,4 - 16 m | 6,4 m (fino a 9 m) | 6 - 7 - 8,5 - 9 m |
| Modulo strutturale | 3 - 3,1 - 3,72- 3,85 m | 1,5 - 3 - 4 m | 1,5 - 2 - 2,5 m |
| Lunghezza | 60 o 100 m max. | 30 o 42 m max. | 30 - 42 - 61,5 - 100 m max. |
| Altezza di gronda | 2 - 3 m | 2 - 3 m | — |
| Altezza di colmo | 3,5 - 6 m | 3 - 5 m | 2,8 - 3,3 m |
| Inclinazione delle falde | 21° - 23° | — | — |



**ESEMPIO - Gli indici dimensionali**

**Serra 1** – Caratteristiche:
- serra singola a padiglione regolare;
- altezza di colmo: 4,5 m;
- larghezza: 10 m;
- lunghezza: 50 m;
- superficie vetrata (*Sv*): 860 m²;
- superficie coperta (*Sc*): 500 m²;
- volume (*V*): 1.750 m³;
- indice Sv/Sc = 1,72;
- indice V/Sc = 3,5.

**Serra 2** – Caratteristiche:
- serra singola a padiglione regolare;
- altezza di colmo: 4,5 m;
- larghezza: 10 m;
- lunghezza: 100 m;
- superficie vetrata: 1.648 m²;
- superficie coperta: 1.000 m²;
- volume: 3.500 m³;
- indice Sv/Sc = 1,64;
- indice V/Sc = 3,5.

**Serra 3** – Caratteristiche:
- serra doppia a padiglione regolare;
- altezza di colmo: 4,5 m;
- larghezza: 20 m (10 m + 10 m);
- lunghezza: 25 m;
- superficie vetrata: 795 m²;
- superficie coperta: 500 m²;
- volume: 1.750 m³;
- indice Sv/Sc = 1,59;
- indice V/Sc = 3,5.

➢ Si confronti la serra 1 con la serra 2. La forma è identica, ma la lunghezza della serra 2 è doppia. Il rapporto Sv/Sc è più alto nel caso della serra più piccola. Questa avrà pertanto maggiori dispersioni di energia.

➢ Si confronti la serra 1 con la serra 3. A parità di superficie coperta, la serra a doppia campata ha un miglior rapporto Sv / Sc e quindi minori dispersioni di energia.

➢ Il rapporto V/Sc è costante per le tre serre. Il volume è infatti influenzato prevalentemente dall'altezza di colmo, uguale nei tre casi. Il maggior volume della serra 2 permette comunque di evitare brusche variazioni di temperatura.

➢ Si ricorda che il riferimento per il calcolo della struttura serra è lo standard EN 13031-1.

sono inferiori a quelle ottimali per ragioni energetiche (una pendenza maggiore significa anche una maggiore superficie disperdente), economiche (costi di costruzione più elevati), e costruttive. Bisogna inoltre considerare che in inverno sono frequenti le giornate nuvolose in cui prevale la radiazione diffusa rispetto a quella diretta; in questi casi, l'inclinazione della falda non ha influenza sulla intercettazione della radiazione luminosa.

Per quanto concerne la forma della serra, il rapporto tra superficie esterna e superficie coperta è un primo indice di efficienza energetica in quanto a parità di superficie coperta, più grande è la superficie esterna maggiori sono le perdite di calore. Questo significa che le serre più piccole hanno in proporzione maggiori dispersioni di calore rispetto a serre di dimensioni più grandi. Affiancare le serre creando delle strutture a due, tre o più campate può portare a dei vantaggi per quanto concerne l'efficienza energetica (diminuisce infatti la superficie esterna per metro quadro coperto), ma crea sicuramente dei problemi anche sotto il profilo dell'illuminazione e dell'aereazione.

Un altro indice dimensionale di una certa importanza è il rapporto tra volume della serra e superficie coperta che è funzione soprattutto dell'altezza di colmo. Una cubatura elevata rende la massa d'aria riscaldata dall'effetto serra una sorta di volano termico che ostacola improvvise variazioni di temperatura. Questo è un fenomeno particolarmente utile nelle serre fredde, ma in quelle riscaldate la maggiore cubatura comporta sicuramente un consumo energetico più elevato.

Oltre alla forma, l'altro elemento che maggiormente caratterizza le serre è il materiale di copertura utilizzato per il manufatto. La scelta del materiale di copertura durante la fase progettuale non è infatti solamente un problema di sostenibilità economica dell'investimento rispetto alla redditività della coltura, ma anche un problema tecnico che condiziona la scelta del tipo di serra e le sue dimensioni. Le principali caratteristiche dei materiali di copertura sono nell'elenco che segue.

### *Costo economico*

La scelta del materiale in funzione di questo parametro è un problema complesso: è infatti necessario considerare non solamente la sostenibilità dell'investimento in funzione della redditività della coltivazione, ma anche in funzione di:

- caratteristiche ottiche e fisiche (efficacia del condizionamento ambientale);
- durata (degradazione delle caratteristiche ottiche e resistenza alle intemperie);
- costo della struttura portante richiesta dal materiale di copertura;
- facilità di montaggio della copertura.

### *Trasmissione del calore*

Il calore viene trasmesso all'esterno della serra attraverso la copertura influenzando la possibilità di mantenere le temperature desiderate senza l'in-

tervento del riscaldamento artificiale.

L'indice utilizzato per caratterizzare i diversi materiali è il *coefficiente "K" di conducibilità termica*; più alto risulta il valore di tale coefficiente, maggiori sono le dispersioni di calore che si possono verificare. Questo processo è legato non solamente alle caratteristiche ed allo spessore del materiale di copertura, ma soprattutto alla presenza o meno di una copertura doppia. Qualora la doppia copertura sia realizzata creando una intercapedine tra le lastre o i film utilizzati, le prestazioni migliorano sensibilmente, ma si verifica anche una riduzione della trasparenza. Inoltre, nel caso in cui l'intercapedine non risulti sigillata, si possono verificare depositi di polvere o di altro materiale che peggiorano ulteriormente le caratteristiche ottiche della copertura.

*Trasparenza alle radiazioni PAR*

Tali radiazioni influenzano la fotosintesi e la fotomorfogenesi della coltura. In genere tutti i materiali hanno buone caratteristiche di trasparenza alle radiazioni nel campo del PAR e tale parametro non risulta limitante per la scelta del materiale.

*Trasparenza alle radiazioni nel campo dell'infrarosso corto*

Tali radiazioni hanno influenza sulla fotomorfogenesi della coltura e soprattutto permettono l'"effetto serra". Anche in questo caso, tale parametro non risulta limitante per la scelta del materiale.

*Opacità alle radiazioni nel campo dell'infrarosso lungo*

Impedendo alle radiazioni nel campo dell'infrarosso lungo di essere irradiate all'esterno della serra, si ottiene il riscaldamento della massa di aria presente nella struttura. In generale, tutti i materiali rigidi impiegati per le coperture presentano una elevata opacità; più articolate, invece, risultano le prestazioni dei film plastici (vedi *tab. 2.5*).

*Dilatazione termica*

Al variare delle stagioni e delle temperature si possono verificare dei rigonfiamenti oppure delle fessure nella copertura che fanno sensibilmente aumentare le perdite di calore. Il vetro ha valori molto bassi di dilatazione termica al contrario dei materiali plastici e risulta pertanto meno soggetto a questo genere di problematiche.

*Peso e facilità di montaggio*

Questi due parametri hanno influenza in fase progettuale sul tipo di struttura adottato e quindi sul costo sostenuto per la costruzione della serra. In particolare il peso condiziona il calcolo statico delle strutture assieme ad eventi climatici quali la neve o il vento e rappresenta il cosiddetto "carico permanente".

*Durata e resistenza alle intemperie*

I materiali plastici presentano una degradazione delle caratteristiche fisiche ed ottiche con il passare del tempo.

Per quanto concerne la resistenza alle intemperie, una eventuale rottura della copertura può essere provocata dalla grandine, dalla neve o dal vento.

L'esame dei materiali di copertura in funzione delle caratteristiche elencate in precedenza può essere effettuato distinguendo in primo luogo i diversi tipi di vetro dalle materie plastiche e suddividendo queste ultime in film plastici, laminati semirigidi o ondulati, lastre rigide o alveolari.

*Vetro*

Il vetro presenta:

- elevata trasmissione delle radiazioni nel campo del visibile (91%);
- bassa trasmissione (elevata opacità) dell'infrarosso lungo (1%);
- elevata resistenza alla trazione;
- inerzia nei confronti dei pesticidi;
- basso coefficiente di dilatazione lineare;
- buona durata, non essendo soggetto ad alterazioni da agenti fisici o chimici.

Commercialmente è possibile reperire diversi tipi di vetro per l'impiego specifico; ad esempio, il tipo "giardiniera", il vetro retinato (che presenta un'elevata resistenza a rottura e quindi alla grandine) ed il vetro "hortiplus". Quest'ultimo tipo è ricoperto sulla faccia esterna da un sottile strato di ossido di stagno che, pur riducendo la trasmissione della radiazione luminosa nel campo del visibile (82%), riduce anche la trasmissione del calore all'esterno della serra. Questo tipo di vetro, presenta inoltre un maggiore assorbimento delle radiazioni infrarosse che, riscaldandolo, permettono di ridurre il fenomeno della condensa. Il vetro hortiplus, secondo quanto dichiarato dal costruttore, permette di ottenere una riduzione del consumo di energia dal 20 al 35% rispetto alla copertura in vetro.

*Materiali plastici*

I materiali plastici utilizzati nella realizzazione delle serre, possono essere suddivisi in:

- *laminati flessibili o film plastici*
  polietilene (PE)
  cloruro di polivinile (PVC)
  etilvinilacetato (EVA)



- *laminati semirigidi o ondulati*
  poliestere (vetroresina) (PRFV)
  PVC
  polimetacrilato ondulato (vedrilser) (PMMA)
- *lastre rigide o alveolari*
  policarbonato (PC)
  polimetalacrilato (vedril) (PMMA).

La trasmissione delle radiazioni nel campo del visibile dei materiali plastici è in molti casi inferiore rispetto al vetro e tali differenze risultano ancora di più accentuate se si esamina la trasmissione della radiazione diffusa (vedi *tab. 2.5*). Per quanto riguarda l'opacità alle radiazioni nel campo dell'infrarosso lungo, le lastre rigide o semirigide presentano valori non molto dissimili da quelli del vetro, mentre i film plastici hanno nella maggior parte dei casi valori piuttosto elevati che comportano un "effetto serra" meno accentuato. I film plastici in EVA, tuttavia, si differenziano sia per una elevata opacità alla radiazione IR lunga, sia per un effetto anticondensa che impedisce il gocciolamento. Per quanto concerne la conduzione del calore (coefficiente "K"), le lastre di plastica rigida presentano valori migliori rispetto al vetro, i laminati semirigidi valori simili (peraltro con una maggiore superficie disperdente, se ondulate), mentre i film plastici hanno valori assai peggiori.

Anche nel caso della durata, i materiali plastici presentano caratteristiche dissimili a seconda del tipo: il policarbonato manifesta una diminuzione della trasparenza dopo alcuni anni (diminuzione del 10% in 5 anni), mentre il polimetalacrilato può rimanere pressocché inalterato per 15 anni. I film plastici sono invece soggetti ad una rapida degradazione delle caratteristiche ottiche: la trasparenza diminuisce del 5-10% all'anno per cui la loro vita media è limitata ad un massimo di 4 anni.

In alcuni casi, si può trarre vantaggio dall'accoppiamento (doppio strato) dei materiali plastici. Questa soluzione permette di aumentare l'opacità della copertura alla radiazione IR media e lunga, ma, oltre ad avere un costo economico superiore al singolo strato, comporta una diminuzione più o meno forte della trasparenza nel campo del PAR (radiazione fotosinteticamente attiva) (vedi *tab. 2.6*). L'adozione del doppio strato deve pertanto essere valutata in funzione delle coltivazioni che si intende effettuare. Risultano comunque diffuse nella nostra regione serre a volta ellittica in cui il tetto è stato realizzato con un doppio film plastico. L'intercapedine d'aria viene mantenuta in pressione mediante un piccolo ventilatore allo scopo di evitare il contatto tra i due strati e la conseguente diminuzione dell'isolamento termico.

Oltre alle caratteristiche dei materiali di copertura è importante considerare, nella valutazione del rendimento energetico di una serra, anche la sua ermeticità. Tale caratteristica, ma anche la solidità e la durata della serra, dipendono da come è stato effettuato il fissaggio del materiale di copertura. Nelle serre in acciaio vengono comunemente utilizzati dei profili portavetro a cui vengono fissate in vario modo le lastre della copertura. La soluzione riportata nella *fig. 2.5* risulta particolarmente vantaggiosa in quanto permette di avere una minima superficie metallica a contatto con l'esterno. I metalli, infatti, sono materiali che conducono molto bene il calore; la struttura metallica di supporto, può quindi rendere possibili dei "ponti termici" tra l'interno e l'esterno della serra attraverso cui viene trasmesso il calore. A tale proposito, si ricorda che l'alluminio ha una conducibilità termica circa tre volte maggiore rispetto all'acciaio.

Per quanto concerne l'ermeticità della serra, questa viene ottenuta attraverso guarnizioni, profili para-aria e profili per i punti di giuntura delle lastre. Nel caso dei materiali plastici, caratterizzati da un elevato coefficiente di dilatazione, il problema è anche quello di evitare lesioni, spaccature e deformazioni in particolare se le lastre risultano perfettamente incastrate nella struttura di supporto. Il fissaggio viene in questo caso effettuato con viti o bulloni passanti (più numerosi per le lastre ondulate) assieme ad apposite guarnizioni nei punti di contatto in modo da consentire una certa dilatazione del materiale plastico al variare delle temperature.

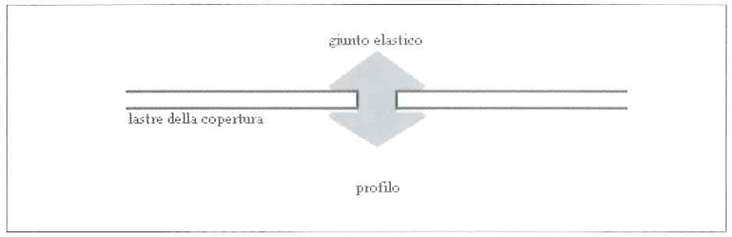



**Fig. 2.5 - Esempio di fissaggio delle lastre della copertura per mezzo di profilo con canalette di raccolta della condensa e giunto elastico**

**Tab. 2.3 - Pregi e difetti dei principali materiali impiegati per la copertura delle serre**

| | *Pregi:* | *Difetti:* |
|---|---|---|
| vetro | ottima trasmissione nel visibile | |
| | ottima opacità all'infrarosso lungo | peso elevato |
| | prezzi contenuti | fragilità |
| | buona durata | scarsa resistenza alle intemperie |
| | basso coeeficiente di dilatazione lineare | |
| lastre rigide | facilità di montaggio | prezzo elevato |
| | resistenza alle intemperie | caratteristiche ottiche non stabili nel tempo |
| | bassa trasmissione del calore all'esterno | formazione di alghe e muffe |
| | elevata rigidità | alto coefficiente di dilatazione lineare |
| lastre semirigide | facilità di montaggio | caratteristiche ottiche non stabili nel tempo |
| | leggerezza | alto coefficiente di dilatazione lineare |
| | resistenza alle intemperie | |
| film plastici | | caratteristiche ottiche non stabili nel tempo |
| | ottima trasmissione nel visibile | elevata trasmissione del calore all'esterno |
| | prezzi contenuti | durata limitata |
| | | bassa resistenza alla rottura |
| | | fenomeni di condensa |

**Tab. 2.4 - Coefficienti di conducibilità termica (K) di film plastici singoli e doppi**

| | | | *K (kcal / h • m² •°C)* |
|---|---|---|---|
| Film singolo | PVC 0,2 mm | | 7,93 |
| | PE 0,2 mm | | 11,55 |
| | EVA 0,1 mm | | 9,3 |
| Doppio film senza intercapedine | PVC interno | PE esterno | 5,17 |
| | PE interno | PVC esterno | 6,46 |
| | EVA interno | PE esterno | 6,89 |
| Doppio film con intercapedine | PVC int. 0,06 mm | PVC est. 0,2 mm | 3,01 |
| | PE int. 0,06 mm | PE est. 0,2 mm | 8,62 |
| | PVC int. 0,06 mm | PE est. 0,2 mm | 3,87 |
| | EVA int. 0,06 mm | PE est. 0,2 mm | 2,93 |

**Tab. 2.5 - Riduzione della trasparenza nel campo della PAR in seguito all'utilizzazione di un doppio strato**

| *Materiale di copertura* | *Numero di strati* | *% trasmissione PAR* |
|---|---|---|
| Vetro (3,2 mm) | 1 | 88 |
| Vetro (3,2 mm) | 2 | 77 |
| Vetro (basso contenuto di ferro, 3,2 mm) | 1 | 90-92 |
| Vetro (basso contenuto di ferro, 3,2 mm) | 2 | 81-85 |
| PRFV (chiaro, 0,64 mm) | 1 | 88 |
| PRFV (chiaro, 0,64 mm) | 2 | 77 |
| PE (0,1 o 0,15 mm, stabilizzato UV) | 1 | 87 |
| PE (0,1 o 0,15 mm, stabilizzato UV) | 2 | 76 |
| PE (0,1 o 0,15 mm, assorbente per IR) | 1 | 82 |
| PE (0,1 o 0,15 mm, assorbente per IR) | 2 | 67 |
| ETFE (etilen tetrafluoroetilene) (Tezfel) | 1 | 95 |
| ETFE (etilen tetrafluoroetilene) (Tezfel) | 2 | 90 |



**Tab. 2.6 - Principali caratteristiche di alcuni materiali impiegati per la copertura delle serre***

| | *Spessore (mm)* | *Trasparenza (%)* *Radiazione visibile diretta* | *Radiazione visibile diffusa* | *Infrarosso lungo* | *Durata (anni)* | *Peso (kg / m²)* | *Coeff. di conducibilità termica (K) (kcal/h • m² •°C)* | *Coeff. di dilatazione lineare ($10^{-5}$ m/°C)* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| PE | 0,1 | 91 | 90 | 79 | 3 –4 | 0,208 | 13,4 | |
| PE lunga durata | 0,1 | 89 | 86 | 76 | 4 | 0,208 | 13,4 | |
| PVC | 0,1 | 92 | 91 | 60 | 3 – 4 | 0,120 | 9,2 | |
| EVA | 0,1 | 92 | 76 | 39 | | | 10,8 | |
| PRFV | 1 – 1,5 | 80 | | 4 | 7 – 8 | 1,3 – 1,9 | 5,8 | 3,6 |
| PVC | 0,9 | 82 | | 5 | 10 | 1,45 | 7 | |
| PMMA | 1,5 - 2,3 | 92 | | 1 | 7 – 8 | 2 – 3 | 6 | 7,5 |
| Vetro | 4 | 91 | 91 | 1 | | 11,5 | 5,8 | 0,5 |
| PMMA | 16 | 83 | 70 | 1 | 15 | 5 | 2,5 | 7,5 |
| PC alveolare | 4,5 | 77 | | | 5 | 1 | 3,9 | 6,5 |
| PC alveolare | 6 | 78 | 62 | 3 | 5 | 1,3 | 3,6 | 6,5 |
| PC alveolare | 16 | 77 | | | 5 | 2,7 | 2,8 | 6,5 |
| PC lunga durata | 4,5 | 79 | | | 10 | 1 | 3,9 | 6,5 |
| PC lunga durata | 6 | 80 | | | 10 | 1,3 | 3,6 | 6,5 |
| PC lunga durata | 8 | 80 | | | 10 | 1,7 | 3,3 | 6,5 |
| PC lunga durata | 10 | 80 | | | 10 | 2 | 3,1 | 6,5 |

* I materiali sono stati suddivisi in 3 gruppi: dall'alto laminati flessibili o film pastici, laminati semirigidi o ondulati, lastre rigide o alveolari.

**Tab. 2.7 - Dimensioni commerciali dei principali materiali di copertura**

| | *Materiali* | *Larghezza (mm)* | *Lunghezza (mm)* |
|---|---|---|---|
| Lastre nervate | Plexiglass (PMMA) | 600 | 2.000 - 2.500 - 3.000 - 3.500 - 4.000 - 5.000 - 6.000 |
| | | 980 | 3.000 - 3.500 - 4.000 - 5.000 - 6.000 |
| | | 1.200 | 2.000 - 2.500 - 3.000 - 3.500 - 4.000 - 5.000 - 6.000 |
| | Policarbonato (PC) | 1.200 1.250 | 3.000 - 4.000 - 5.000 - 6.000 |
| | | 1980 | 4.000 - 5.000 - 6.000 |
| | | 2.500 | 3.000 - 6.000 |
| | Vedril QS (PMMA) | 600 | 3.000 - 4.000 - 5.000 - 6.000 |
| | | 1.053 | 3.000 - 4.000 - 5.000 - 6.000 |
| | | 1.200 | 3.000 - 4.000 - 5.000 - 6.000 |
| | Vedril BS (PMMA) | 700 | 3.000 - 4.000 - 5.000 - 6.000 |
| | | 1.200 | 3.000 - 4.000 - 5.000 - 6.000 |
| Lastre ondulate | Vedrilser (PMMA) | 1.300 | 4.200 |
| | Ondex (PVC) | 1.090 | A richiesta |
| | Elyplast (PRFV) | 1.000 3.000 | 2.500 - 4.000 |
| Film plastici | Pylane (PE) | 6.000 12.000 | A richiesta |
| Vetro | Giardiniera | 600 | 1.500 - 2.000 |
| | Hortiplus | 600 | 1.500 - 2.000 |

Fonte: ENEA, 1988.

## 2.2 Le perdite di calore e il calcolo dei fabbisogni energetici

Le perdite di calore in una serra avvengono quando la temperatura interna è più bassa rispetto alla temperatura esterna. L'intensità con cui si verificano tali perdite dipende soprattutto dalle caratteristiche di trasmissione del calore del materiale di copertura. Il coefficiente che descrive tale caratteristica è denominato *"coefficiente di conducibilità termica" (K)* ed i relativi valori per i diversi materiali sono stati riportati nel precedente paragrafo alla *tab. 2.5*. L'unità di misura del coefficiente K più comunemente adottata è kcal/h • m² •°C.

Le perdite per conduzione attraverso il materiale di copertura non sono tuttavia l'unica causa di dispersione del calore in una serra (*fig. 2.6*); le dispersioni di calore possono essere suddivise in:

*Dispersioni per conduzione e per convezione*

Questa voce comprende le perdite di calore che si verificano attraverso il materiale di copertura. Come detto in precedenza, si tratta della più importante fonte di dispersione del calore; alcuni autori attribuiscono un valore di circa il 75% sul totale delle dispersioni di calore alle perdite attraverso il materiale di copertura.

Le dispersioni aumentano con l'aumentare della velocità del vento all'esterno della serra e dell'aria all'interno. Anche la formazione di condensa all'interno della copertura facilita queste perdite di calore (il passaggio di calore è più facile da liquido a solido che non da gas a solido).

La formula che consente di calcolare le perdite per conduzione attraverso la copertura trasparente della serra, è la seguente (vedi esempio):

$$Q = K \cdot S_t \cdot (t_i - t_e)$$

Q = perdite di calore per conduzione attraverso la copertura (kcal/h);
K = coefficiente di conducibilità termica del materiale di copertura (kcal/h • m² •°C);
$S_t$ = superficie trasparente della serra (m²);
$t_i$ = temperatura interna della serra che si desidera mantenere (°C);
$t_e$ = temperatura esterna alla serra (°C).

Altre perdite avvengono attraverso la struttura (i cosiddetti "ponti termici" descritti nel precedente paragrafo) e attraverso il suolo o il pavimento della serra. Le dispersioni attraverso il suolo o il pavimento della serra possono raggiungere, secondo alcuni ricercatori, il 10% delle dispersioni totali.

*Dispersioni per irraggiamento*

Si tratta delle perdite dovute al passaggio attraverso il materiale di copertura di una parte delle radiazioni nel campo dell'infrarosso lungo emesse dal suolo e dai vegetali. Come risulta dai dati riportati nel precedente paragrafo, i film plastici possiedono una elevata trasparenza alle radiazioni nel campo dell'infrarosso lungo.

In questo caso, la presenza di condensa sul materiale di copertura riduce la dispersione per irraggiamento; l'acqua, infatti, non è trasparente all'infrarosso lungo.

*Dispersioni per ricambio dell'aria*

Il ricambio dell'aria all'interno della serra è necessario allo scopo di mantenere condizioni ambientali ottimali per lo sviluppo della coltura. Gli impianti automatizzati di climatizzazione consentono di effettuare il ricambio dell'aria per mantenere livelli accettabili di umidità relativa oppure per abbassare le temperature nelle ore più calde della giornata.

In ogni caso, risulta sempre positivo mantenere una sia pur limitata circolazione dell'aria in modo da migliorare il microclima intorno alla pianta.

Il ricambio dell'aria può tuttavia essere causato anche dalla non perfetta ermeticità della serra (si veda il paragrafo precedente e le problematiche relative al fissaggio dei materiali di copertura).

Le perdite per ricambio dell'aria aumentano con l'aumentare della differenza di temperatura tra interno ed esterno della serra e con l'aumentare della velocità del vento. Alcuni ricercatori attribuiscono a questo genere di dispersioni una incidenza del 10-20% sul totale.

Una volta raggiunta la temperatura dell'aria considerata ottimale per lo sviluppo della coltura all'interno della serra, l'apporto di energia dal sole o artificiale deve compensare le perdite di calore allo scopo di mantenere tali condizioni ambientali.

**ESEMPIO - Calcolo delle perdite di calore per conduzione attraverso la copertura**

Nel caso di una serra in vetro con superficie vetrata ($S_t$) di 860 m², utilizzando il valore K per il vetro di 5,8 – vedi *tab. 2.5* – ed ipotizzando una differenza di temperatura di 10°C tra interno ed esterno, è possibile calcolare la dispersione oraria di calore per conduzione attraverso la copertura nel seguente modo:

$$Q = K \cdot S_t \cdot (t_i - t_e) = 5{,}8 \cdot 860 \cdot 10 = 49.880 \text{ kcal/h}$$



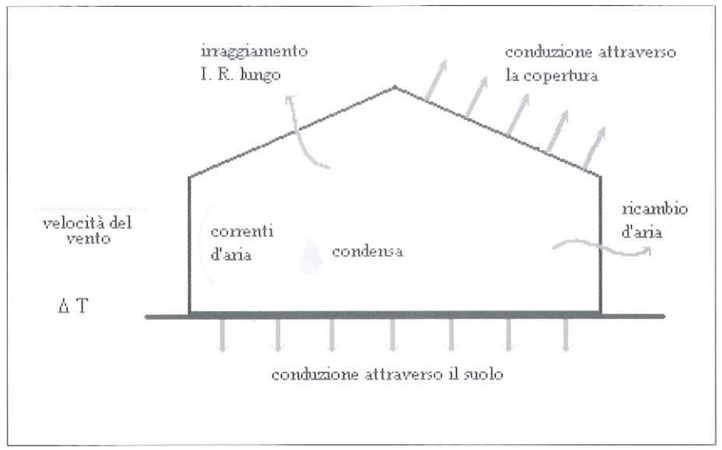



**Fig. 2.6 - Schematizzazione delle perdite di calore nella serra e dei fattori ambientali che le influenzano (velocità del vento, differenza di temperatura tra interno ed esterno della serra, condensa e correnti d'aria all'interno della struttura)**

Questo processo può essere schematizzato con la seguente equazione del bilancio termico della serra:

$$Q_1 = Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5$$

$Q_1$ = apporto di energia (artificiale o dal sole);
$Q_2$ = dispersioni attraverso la copertura per conduzione-convezione;
$Q_3$ = dispersioni attraverso la copertura per irraggiamento;
$Q_4$ = dispersioni attraverso il suolo o il pavimento;
$Q_5$ = dispersioni dovute al ricambio di aria.

Dal punto di vista pratico, risulta interessante riuscire a calcolare il fabbisogno di calore necessario per mantenere una determinata temperatura dell'aria all'interno della serra nei periodi più freddi dell'anno. Tale quantità di calore viene denominata "fabbisogno termico della serra" e viene misurato in kcal/h. Esso coincide con la somma delle dispersioni energetiche per conduzione, convezione ed irraggiamento, sottratti gli apporti di energia solare ed artificiale.

Il calcolo del fabbisogno termico della serra è piuttosto complesso a causa del numero di variabili in gioco; sono state pertanto sviluppate delle procedure semplificate di calcolo.

Una formula di semplice impiego, ma che permette di ottenere solamente un valore indicativo è la seguente:

$$Q = K_r \cdot S \cdot (t_i - t_e)$$

Q = fabbisogno termico della serra (kcal/h);
$K_r$ = coefficiente globale di trasmissione del calore (kcal/h • m² •°C);
S = superficie totale della copertura (m²);
$t_i$ = temperatura interna della serra che si desidera mantenere (°C);
$t_e$ = temperatura esterna alla serra (°C).

Si tratta di una formula molto simile a quella esaminata in precedenza e relativa alle perdite per conduzione attraverso il materiale di copertura. Esistono tuttavia delle significative differenze: il coefficiente $K_r$ di trasmissione del calore è un coefficiente globale che dovrebbe comprendere le più importanti fonti di dispersione del calore. I valori riportati nella *tab. 2.8* sono, infatti, più alti rispetto a quelli del coefficiente K di conduzione del calore attraverso la copertura riportati nel paragrafo precedente. Il fattore S, inoltre, considera la copertura nel suo complesso, superfici trasparenti e non, anche se la superficie di queste ultime deve essere dimezzata.

I limiti della suddetta formula, risiedono nel fatto che non sono prese in esame tutte le possibili fonti di dispersione. Questo è però accettabile se il dato così calcolato viene utilizzato per dimensionare l'impianto di riscaldamento della serra; in tale caso, infatti, il dimensionamento viene effettuato ipotizzando le peggiori condizioni ambientali. Queste si verificano nelle prime ore del mattino in inverno e ciò comporta che:

- il contributo energetico dell'energia solare può essere trascurato;
- le perdite attraverso il suolo possono essere trascurate poiché la temperatura del terreno è allo stesso livello di quella dell'aria;
- l'attività della coltura è minima e non vengono

**ESEMPIO - Determinazione del fabbisogno termico di una serra**

Serra a padiglione regolare con copertura a doppio strato in vetro e plastica.
altezza di colmo: 4,5 m altezza di gronda: 2,5 m larghezza: 10 m lunghezza: 30 m
temperatura esterna: - 2°C temperatura interna: + 18°C

Determinazione di $K_r$: dalla tabella 2.8 considerando un vento debole. $K_r = 5$.

Determinazione di S:
superficie delle pareti laterali: 135 m² superficie delle testate: 75 m² superficie delle falde: 330 m²
metà della superficie di un cordolo lungo il perimetro della serra: 10 m² S = 550 m²

Determinazione di $t_i - t_e$: $t_i - t_e = 18 + 2 = 20°C$ $Q = 5 \bullet 550 \bullet 20 = 55.000$ kcal/h

**Tab. 2.8 - Valori del coefficiente globale di trasmissione del calore (Kr) in kcal / h • m² •°C ****

| *Velocità del vento:* | *nulla* | *debole* | *forte* |
|---|---|---|---|
| Film plastico | 7,2 | 8 | 9 |
| Vetro singolo | 6 | 6,6 | 7,5 |
| Doppio strato (vetro + plastica) | 4,5 | 5 | 6 |
| Hortiplus | 4,5 | 4,9 | 5,6 |
| Doppio strato (vetro + vetro) | 3,5 | 4 | 5 |
| Policarbonato | 3 | 3,4 | 3,8 |

** Fonte: ENEA, 1988.

effettuate operazioni colturali all'interno della serra;
- non si ricorre alla ventilazione e quindi le perdite per ricambio di aria sono limitate.

Le perdite per irraggiamento, che non sono trascurabili, possono invece essere comprese nel coefficiente $K_r$ in quanto risultano correlate al materiale di copertura.

Per quanto concerne i valori di temperatura da impiegare nella formula, il valore di $t_i$ corrisponde alla temperatura più alta che si vuole mantenere all'interno della serra durante la notte. Il valore di $t_e$, invece, dipende dalla presenza o meno di un impianto per il riscaldamento integrativo: se è prevista l'installazione, $t_e$ può corrispondere alla temperatura minima assoluta raggiunta in zona negli ultimi anni, in caso contrario $t_e$ sarà uguale alla temperatura media minima stagionale calcolata su più anni.

Un'altra procedura semplificata di calcolo del fabbisogno energetico di una serra, è stata sviluppata dalla NGMA (*National Greenhouse Manufacturers Association* - l'associazione statunitense dei costruttori di serre). In questo caso, oltre alle perdite per conduzione attraverso il materiale di copertura (Q), vengono considerate anche le perdite per il ricambio di aria (I).

$$Q = U \bullet S_t \bullet (t_i - t_e)$$

N.B. - Il coefficiente U rappresenta il coefficiente di conducibilità termica in BTU/h • ft² • °F. $S_t$ è espresso in $ft_2$ ed i valori di temperatura in °F.

$$I = 0{,}02 \bullet A_c \bullet V \bullet (t_i - t_e)$$

in cui
I = perdita di calore per ricambio d'aria (BTU/h);
$A_c$ = numero stimato di ricambi di aria per ora;
V = volume della serra (ft³).
$(t_i - t_e)$ = differenza di temperatura tra interno ed esterno della serra (°F).

N.B. - Nella formule sono adottate unità di misura del sistema anglosassone.

Per quanto concerne l'applicazione di tale procedura, la NGMA suggerisce di effettuare dei calcoli valutando una differenza di temperatura di 1 °F; in questo modo, è possibile effettuare una comparazione dell'efficienza di serre di tipo diverso.



**Tab. 2.9 - Coefficiente di conducibilità termica e numero stimato di ricambi di aria per ora**

| *Tipo di copertura* | *U (coefficiente di conducibilità termica in BTU/h • ft² • °F)* | *$A_c$ (numero di ricambi di aria per ora)* |
|---|---|---|
| Film plastico | 1,15 | 0,8 |
| Vetro | 1,13 | 1 - 4* |
| PRFV | 1 | 1 |
| Copertura con schermi termici | 0,4 - 0,65 | 0,3 - 0,6 |

* I valori più alti sono riferiti a serre in cattivo stato di manutenzione. Fonte: Documentazione della NGMA.

**Tab. 2.10 - Numero stimato di ricambi di aria per ora**

| *Tipo di copertura* | *$A_c$ (numero di ricambi di aria per ora)* |
|---|---|
| Film plastico doppio strato | 0,5 - 1 |
| Pannelli acrilici o policarbonato | 1 |
| Vetro nuova costruzione o nuovo FRP | 0,75 - 1,5 |
| Vetro, vecchia costruzione, buone condizioni | 1 - 2 |
| Vetro, vecchia costruzione, cattive condizioni | 2 - 4 |

Fonte: Nelson P.V., 1998.

## 2.3 Gli impianti di riscaldamento utilizzati nelle serre

La scelta del tipo di impianto di riscaldamento da adottare è complessa ed è condizionata da motivazioni non solo di ordine tecnico, ma anche economico; non esiste l'impianto di riscaldamento ideale, ma quello che soddisfa maggiormente le esigenze del coltivatore in base all'ambiente in cui si trova ad operare, al tipo di coltivazione ed al tipo di serra.

In linea generale, l'impianto di riscaldamento dovrebbe riuscire a mantenere una temperatura uniforme all'interno della serra senza provocare un eccessivo movimento delle masse di aria. La velocità delle correnti di aria provoca infatti un aumento delle perdite di calore, mentre una uniformità del riscaldamento permette di ottenere produzioni omogenee.

Il riscaldamento nella zona basale o anche radicale permette inoltre di accelerare lo sviluppo della coltura grazie al microclima più favorevole che viene a crearsi in prossimità delle piante. Si ottiene inoltre un significativo risparmio energetico in quanto il riscaldamento è localizzato dove vi è maggiore necessità e la temperatura dell'aria all'interno della serra può essere mantenuta ad un livello più basso.

La flessibilità di impiego in funzione delle strutture disponibili e delle coltivazioni che si prevede di effettuare è un altro fattore che condiziona la scelta dell'impianto di riscaldamento.

Gli impianti di riscaldamento maggiormente diffusi nelle serre sono costituiti da un generatore di calore, comunemente denominato *caldaia*, che riscalda per mezzo di uno *scambiatore termico* un *fluido termovettore* rappresentato dall'aria della serra (*generatori di aria calda*) oppure da acqua a temperatura inferiore ai 100°C (*generatori di acqua calda*). L'acqua calda, distribuita attraverso condutture di andata e di ritorno, riscalda la serra per mezzo di corpi radianti oppure per mezzo di aerotermi, ovvero convettori di aria dotati di uno scambiatore alimentato dall'acqua calda.

Un *generatore di acqua calda* è costituito da un corpo principale, dal focolare e dal percorso secondario dei fumi.

Il corpo principale contiene l'acqua da riscaldare e, nel caso delle caldaie a tubi di fumo (le più diffuse), le tubazioni entro cui scorrono i fumi della combustione.

Il focolare è costituito da un dispositivo per bruciare il combustibile (bruciatore per i combustibili liquidi e gassosi, griglia per i combustibili solidi) e da una camera di combustione. Quest'ultima può avere forma e dimensioni diverse in relazione al tipo di combustibile impiegato; nel caso di combustibili liquidi o gassosi ha generalmente forma cilindrica di lunghezza e diametro proporzionali alla fiamma del bruciatore con la quale è accoppiata. Se i combustibili sono solidi, la camera deve poter contenere una carica sufficiente, disposta su di una superficie adeguata in modo da consentire un buon governo del fuoco.

Il percorso secondario dei fumi è costituito, in generale, da canali di varia forma quali tubi lisci o

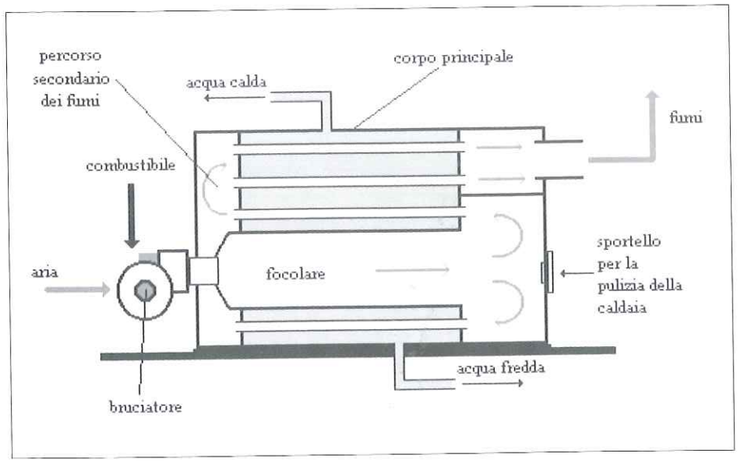



**Fig. 2.7 - Schema di un generatore di acqua calda a tubi di fumo**

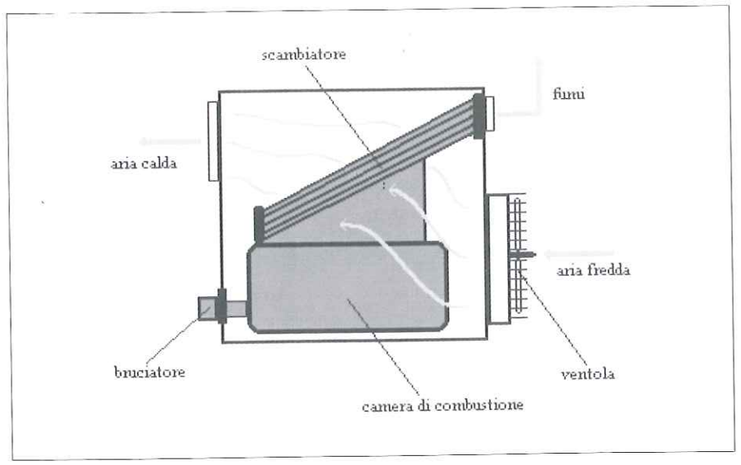



**Fig. 2.8 - Schema di un generatore di aria calda**

sagomati, lungo i quali i prodotti della combustione completano lo scambio termico con l'acqua per poi confluire nel collettore dei fumi ed essere scaricati all'esterno.

Nelle comuni caldaie a combustibili liquidi, il calore viene ceduto all'acqua per circa la metà nel focolare e per l'altra metà nel percorso secondario dei fumi. Nei tubi entro cui scorrono i fumi caldi, la quantità di calore scambiata è fortemente legata alla pulizia delle superfici (*fig. 2.7*).

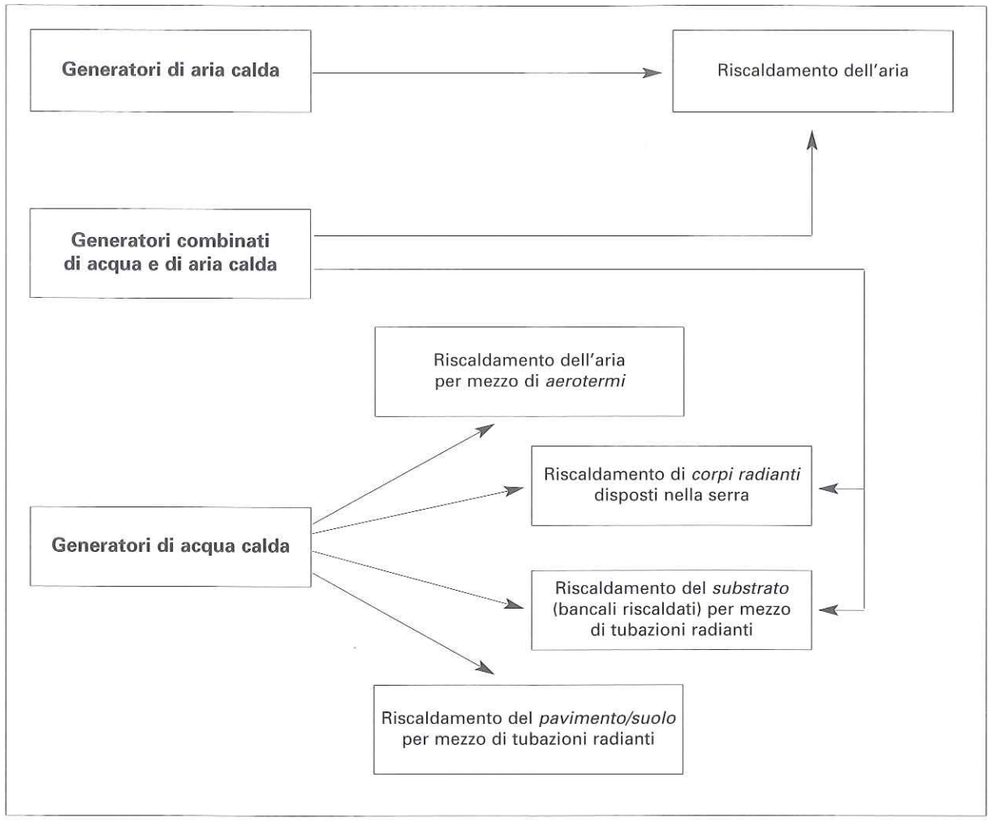
Nel caso dei *generatori di aria calda* l'aria fredda viene convogliata, grazie ad un apposito ventilatore, sulla camera di combustione e sullo scambiatore termico entro cui fluiscono i fumi della combustione, per poi essere immessa nell'ambiente da riscaldare (*fig. 2.8*).

Il ventilatore può essere di tipo assiale (a ventola elicoidale), oppure di tipo centrifugo. Nel primo caso si ha un minore ingombro longitudinale accompagnato da una maggiore rumorosità; nel secondo caso si ottiene un minore ingombro longitudinale, una minore rumorosità, ma anche, in genere, un maggiore consumo di energia elettrica a parità di lavoro svolto.

Per quanto concerne la manutenzione, è importante che la macchina termica sia dotata di una apertura attraverso cui accedere facilmente allo scambiatore per pulirlo da residui e incrostazioni: questo permette non solo di migliorare in modo significativo il rendimento della macchina, ma anche di ridurre l'impatto ambientale.

Un aspetto tecnico riguardante i generatori di






calore, è la pressione esistente nella camera di combustione. La combustione nel focolare sviluppa fumi che passano nei tubi dello scambiatore e da qui nel camino. In questo percorso, i fumi incontrano una certa resistenza al moto dovuta all'attrito con le superfici di scambio e con le superfici del camino. La differenza di peso specifico tra i fumi caldi del camino e l'aria fredda in ingresso crea tuttavia una depressione detta *tiraggio* che permette di mantenere il flusso di aria all'interno della caldaia.

Nelle *caldaie pressurizzate*, l'aria è invece immessa nel focolare con una certa pressione grazie alla presenza di un ventilatore sul bruciatore; ciò permette di ottenere una serie di vantaggi:

- maggiore velocità dei fumi e quindi migliore scambio termico grazie al maggiore sfruttamento delle superfici di scambio;
- maggiore rendimento di combustione. Se l'aria viene immessa solamente grazie al tiraggio, si deve spesso operare in eccesso di aria e quindi con rendimenti bassi (si veda il paragrafo 3.1). Nelle caldaie pressurizzate, invece, l'afflusso di aria è costante e quindi si può regolare il suo apporto in maniera ottimale.

L'unico inconveniente delle caldaie pressurizzate deriva dal fatto che è necessario un maggiore consumo di energia elettrica per alimentare il ventilatore del bruciatore.

### *2.3.1 I sistemi di distribuzione del calore*

Gli impianti di riscaldamento delle serre sono caratterizzati non solamente dal tipo di caldaia impiegata, ma anche dal sistema di distribuzione del calore. Di seguito vengono riportate le tipologie maggiormente diffuse nella nostra regione.

#### *Gli impianti di riscaldamento dell'aria*

Il riscaldamento dell'aria nella serra avviene per mezzo di aerotermi. Con il termine *aerotermi* si

**Tab. 2.11 - Vantaggi ed inconvenienti degli impianti di riscaldamento che utilizzano generatori di aria calda**

| *Vantaggi* | *Inconvenienti* |
|---|---|
| Rapidità dell'intervento di riscaldamento. | Irregolare distribuzione dell'aria calda. |
| Non risultano indispensabili dei sistemi di distribuzione del calore prodotto dal generatore. | Ristagno di aria calda nella parte superiore della serra con conseguente aumento delle perdite di calore. |
| Basso costo di acquisto e di gestione. | Temperatura dell'aria eccessiva e dannosa alle colture investite direttamente dal flusso. |
| Flessibilità di impiego. | Consumo elevato di energia elettrica a parità di calore prodotto rispetto ad altri sistemi di riscaldamento. |

indicano tutti i generatori di aria calda dotati di ventilatori per la diffusione. È comunque possibile distinguere i generatori in cui l'aria calda viene riscaldata dallo scambiatore di fumo (vedi *fig. 2.8*) dagli aerotermi i cui scambiatori sono alimentati dall'acqua calda prodotta da una apposita caldaia. Inoltre, nel caso in cui le apparecchiature utilizzate lo rendano possibile, il riscaldamento dell'aria può essere associato al riscaldamento con tubi radianti migliorando il condizionamento ambientale.

Gli aerotermi possono essere sospesi all'interno della serra oppure essere installati a terra; in quest'ultimo caso possono essere fissi oppure dotati di ruote. Se collegati all'esterno per mezzo di serrande, inoltre, sono in grado di effettuare il raffrescamento mediante una ventilazione forzata.

Ottenere un riscaldamento uniforme della serra è il principale problema degli impianti ad aria calda. L'aria si stratifica innanzitutto in senso verticale; l'aria fredda in basso e l'aria calda in alto perché più leggera. La stratificazione verticale rende meno efficiente il riscaldamento in quanto il calore si concentra in prossimità del tetto della serra dove è meno utile e dove si disperde più facilmente. Tale fenomeno è ulteriormente accentuato nelle serre alte e di elevata cubatura. Per ridurre questo tipo di dispersioni, possono essere adottati generatori in grado di riscaldare a bassa temperatura (circa 36°C) grandi quantità di aria con una bassa velocità di uscita.

Per quanto riguarda la distribuzione del calore in senso orizzontale, è possibile rendere più uniformi le temperature all'interno della serra anche se difficilmente si potranno ottenere le prestazioni degli impianti a corpi radianti. Una soluzione largamente diffusa prevede la canalizzazione dell'aria per mezzo di un condotto in polietilene opportunamente forato. La migliore distribuzione

**Tab. 2.12 - Distanza dei fori nella condotta in polietilene di distribuzione dell'aria**

| *Lunghezza del tubo* | *Distanza dei fori* |
|---|---|
| Da 0 a 5 m | 100 cm |
| Da 5 a 12 m | 80 cm |
| Da 12 a 20 m | 66 cm |
| Da 20 a 30 m | 60 cm |
| Da 30 a 35 m | 50 cm |
| Da 35 a 40 m | 40 cm |
| Da 40 a 45 m | 35 cm |

Fonte: ENEA, 1988.

dell'aria viene ottenuta attraverso una canalizzazione a livello del terreno, ma non sempre il tipo di coltura lo consente; in questo caso si ricorre ad un condotto disposto in alto nella serra con i fori che dirigono verso il basso l'aria calda.

La superficie interessata dal riscaldamento con una distribuzione canalizzata dell'aria calda è di 45-50 m in lunghezza e di 8-10 m in larghezza. Il condotto in polietilene è in genere largo circa 60 cm e lungo non più di 45 m; i fori sono distribuiti in modo da ridurre la distribuzione di aria in prossimità del generatore (ove l'aria è più calda ed ha velocità maggiore) e favorirla nella parte terminale (*tab. 2.12*).

Altro aspetto fondamentale per ottenere una buona distribuzione dell'aria calda, è il corretto posizionamento dei generatori. Nel caso dei generatori autonomi di aria calda è necessario valutare, oltre al posizionamento, l'installazione nella serra di una seconda apparecchiatura: in tal modo non solo si ottiene una migliore distribuzione dell'aria calda, ma si ottiene anche una maggiore flessibilità



di regolazione, si riducono i danni in caso di guasto ad uno dei generatori e si può ridurre la velocità dell'aria calda emessa.

*Gli impianti di riscaldamento a corpi radianti*

Gli impianti di riscaldamento a corpi radianti si basano sulla cessione all'ambiente del calore dell'acqua calda, prodotta da una o più caldaie, che circola nel sistema. I corpi radianti sono costituiti da tubazioni in acciaio (lisce oppure alettate), o da tubazioni in plastica (ad esempio, polietilene ad alta densità). Come si vede dallo schema della *fig. 2.9*, le tubazioni di andata e di ritorno trasportano l'acqua calda dalla caldaia ai corpi scaldanti e viceversa. La circolazione dell'acqua è assicurata da una pompa di mandata mentre un sistema di espansione previene eventuali inconvenienti dovuti ad un eccessivo aumento di pressione nel circuito provocata dall'ebollizione dell'acqua.

La temperatura dell'acqua in uscita dalla caldaia è in genere intorno agli 80-85°C mentre quella di ritorno è di 65-70°C; una temperatura dell'acqua di ritorno inferiore ai 50°C può infatti favorire dei processi di corrosione all'interno della caldaia. La differenza di temperatura tra andata e ritorno è chiamata "*salto termico*". Il salto termico consigliato per questo tipo di impianti è di circa 15°C; valori più bassi, infatti, pur consentendo una migliore resa dei corpi scaldanti, comportano una spesa maggiore per le tubazioni e per la pompa di circolazione in quanto la portata di acqua risulta maggiore. Valori superiori comportano invece una minore resa dei corpi scaldanti.

Per quanto concerne il riscaldamento ambientale per mezzo di tubi radianti, questi possono essere disposti in vario modo: in alto, lungo le pareti laterali oppure poggiati sul terreno in prossimità delle piante. Quest'ultima soluzione risulta la migliore sotto il profilo energetico; la distribuzione del calore, infatti, avviene ove si presentano le maggiori necessità.

Gli impianti a corpi radianti distribuiscono in modo uniforme il calore e permettono di realizzare una buona forzatura della coltura, ma, rispetto ai generatori di aria calda, richiedono un elevato investimento iniziale, hanno costi di gestione più alti e sono molto meno flessibili nell'impiego.

*Gli impianti di riscaldamento del substrato*

Il riscaldamento del substrato di coltivazione consente di ottenere per le specie e per le varietà che ne consentono l'applicazione:

- uno sviluppo ottimale delle piante;
- una loro maggiore precocità;
- una riduzione delle dispersioni di calore in quanto l'impianto crea un microclima ideale a ridosso delle coltivazioni e la temperatura dell'aria può essere mantenuta ad un livello più basso.

I sistemi di riscaldamento del substrato vengono suddivisi in:

1) impianti di riscaldamento del pavimento/suolo;
2) impianti di riscaldamento dei bancali.

*1) Gli impianti di riscaldamento del pavimento*

Ogni volta che la tecnica di coltivazione e la redditività della coltura lo consente, è consigliabile realizzare una pavimentazione all'interno dell'apprestamento protetto sia per ridurre i consumi energetici (la pavimentazione viene costruita su di uno strato di isolante termico), sia per favorire le operazioni colturali e la meccanizzazione.

Due possibili soluzioni (schematizzate nella *fig. 2.10*), sono:

- una soletta in calcestruzzo dotata di rete elet-

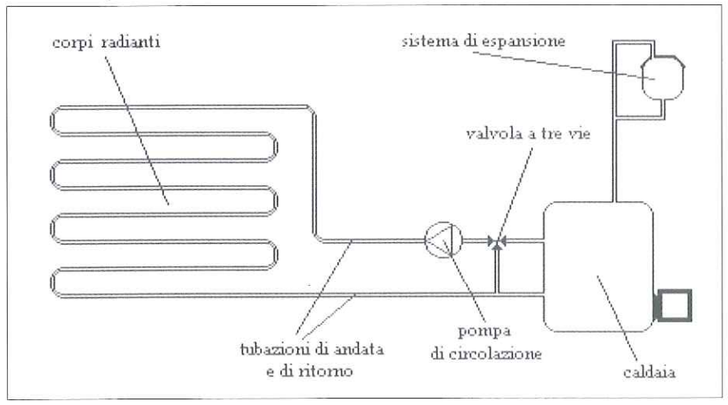



**Fig. 2.9 - Schema di un impianto di riscaldamento a corpi radianti**

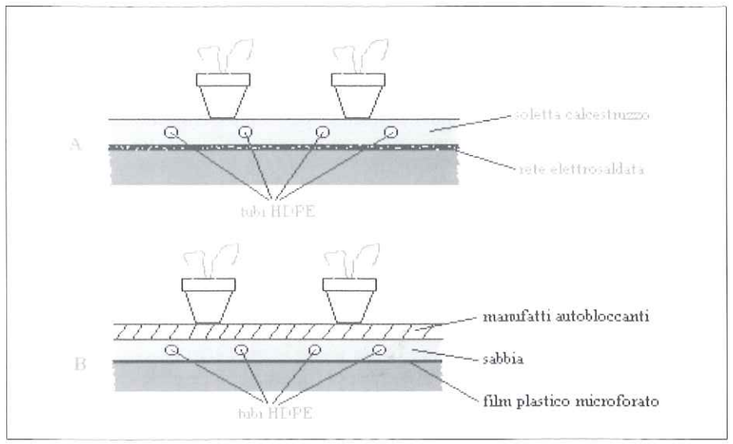



**Fig. 2.10 - Impianti di riscaldamento del pavimento: A) in soletta di calcestruzzo, B) in pavimento realizzato con manufatti autobloccanti. Tubi HDPE = tubi radianti in polietilene ad alta densità**

trosaldata di ripartizione portante i tubi annegati all'interno;

- una pavimentazione in manufatti autobloccanti di cemento armato sopra un letto di sabbia nel quale sono alloggiati i tubi percorsi dall'acqua calda.

La soletta in calcestruzzo rende necessaria la realizzazione di idonee pendenze e di canalette per lo scolo dell'acqua. Il pavimento in calcestruzzo, inoltre, favorisce la formazione di polveri lungo le superfici di calpestio.

Sembra invece più vantaggiosa la realizzazione di pavimentazioni in manufatti autobloccanti. In questo caso, infatti, la realizzazione del pavimento è semplificata; dopo il livellamento, il terreno viene ricoperto con un telo microforato in materiale plastico con funzione di ripartizione del carico. Il telo viene successivamente ricoperto con uno strato di sabbia dello spessore di circa 5 cm nel quale vengono annegati i tubi di riscaldamento. Infine vengono posizionati i manufatti autobloccanti, opportunamente scelti dello spessore più idoneo in funzione del carico previsto.

**Tab. 2.13 - Fabbisogno di calore per metro quadro di superficie per mantenere una determinata temperatura del terreno**

| *Temperatura del terreno (°C)* | *Riscaldamento continuo (kcal/h • m²)* | *Riscaldamento notturno (kcal/h • m²)* |
|---|---|---|
| 15 | 53 | 128 |
| 18 | 63 | 153 |
| 20 | 70 | 170 |
| 22 | 77 | 187 |
| 25 | 88 | 213 |

Fonte: ENEA, 1988.

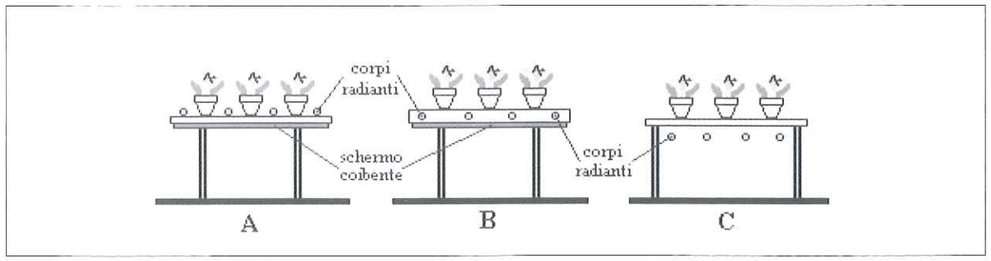



**Fig. 2.11 - I sistemi di riscaldamento dei bancali. A) corpi radianti nella parte superiore del bancale; B) corpi radianti inseriti nel bancale; C) corpi radianti disposti al di sotto del bancale**



Il riscaldamento può interessare anche il suolo; in questo caso, le tubazioni in plastica di 22-27 mm di diametro sono disposte alla profondità di circa 40 cm e ad una distanza l'una dall'altra di circa 30 cm al centro della serra e di circa 15 cm ai lati. La loro temperatura di esercizio è di circa 50°C.

Il calcolo del fabbisogno termico (così come riportato in ENEA, 1988), dipende dalla temperatura del terreno che si desidera mantenere, dallo spessore di terreno riscaldato e dalla intermittenza nel funzionamento dell'impianto (notturno oppure continuo). Un elenco dei fabbisogni per metro quadrato rilevati sperimentalmente, è riportato nella *tab. 2.13*.

Si deve notare che il suolo rappresenta una buona massa termica; in alcuni casi può quindi essere previsto un preriscaldamento del terreno che permette durante il funzionamento a regime di consumare minore potenza e, quindi, minore combustibile.

*2) Gli impianti di riscaldamento dei bancali*

Il riscaldamento dei bancali si può realizzare installando i corpi radianti nella parte superiore, all'interno o nella parte inferiore del bancale (*fig. 2.11*). Nei primi due casi, l'energia erogata si concentra prevalentemente nel substrato; per evitare eccessive dispersioni, sarebbe pertanto opportuno che il fondo del bancale fosse coibentato con lastre di polistirolo o di poliuretano di 2-3 cm di spessore.

Se invece i tubi sono installati al di sotto del bancale, il riscaldamento interessa anche l'aria.

Le tubazioni in plastica di 15-18 cm di diametro sono collocate ad una distanza di 15-20 cm l'una dall'altra e la temperatura dell'acqua a regime non supera i 50°C.

Il fabbisogno termico per questi sistemi di riscaldamento risulta, per 1 m² di bancale mantenuto ad una temperatura di 20-25°C, di circa 100 kcal/h nel caso di riscaldamento continuo e di circa 160 kcal/h nel caso di riscaldamento notturno.

Il riscaldamento dei bancali può essere accompagnato da un impianto di riscaldamento dell'aria; in questo caso, il fabbisogno complessivo di calore della serra che viene soddisfatto attraverso il riscaldamento del substrato può variare dal 30-40% fino a raggiungere l'80%.

### *2.3.2 Il sistema di controllo dell'impianto di riscaldamento*

Il sistema di controllo dell'impianto di riscaldamento rappresenta uno dei punti chiave su cui intervenire per ottimizzare il sistema termodinamico serra. Un efficace mantenimento dei valori climatici prefissati permette infatti di valorizzare le potenzialità produttive della struttura che si sta utilizzando.

I sistemi di controllo dell'impianto di riscaldamento di una serra, sono costituiti da uno o più sensori per la rilevazione della temperatura, da una centralina per l'elaborazione dei dati e da uno o più attuatori per l'azionamento e la regolazione del generatore di calore (*fig. 2.12*). La centralina aziona gli attuatori in funzione sia delle informazioni provenienti dai sensori, sia delle impostazioni memorizzate. La centralina può inoltre essere dotata di un timer o di un orologio per l'azionamento temporizzato del generatore di calore.

A seconda della tipologia di impianto:

- il controllo dell'impianto di riscaldamento può essere integrato in un vero e proprio sistema di controllo climatico in grado di intervenire anche su altri parametri ambientali (umidità relativa, luminosità, ecc.) regolando i ricambi di aria o controllando l'apertura degli schermi termici;
- i sensori possono essere predisposti per la rilevazione della temperatura dell'aria, del substrato e dell'acqua nelle tubazioni di mandata e di ritorno;
- la centralina può adottare un'elettronica più o meno sofisticata a seconda della complessità delle funzioni svolte (strategie di controllo evolute, pos-

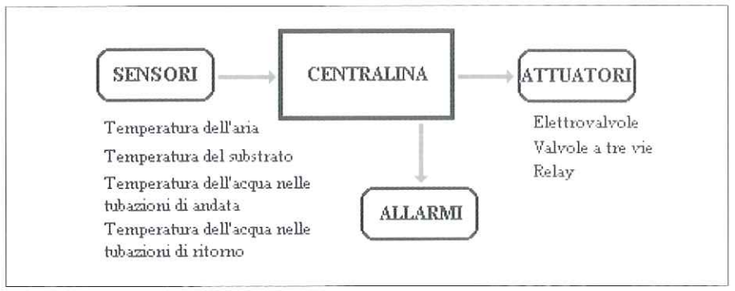



**Fig. 2.12 - Schema di un generico sistema di controllo dell'impianto di riscaldamento in una serra**

**Le modalità di controllo Proporzionale, Integrativo e Derivativo**

| | |
|---|---|
| *Proporzionale* | Il generatore di calore è regolato in funzione della differenza tra temperatura dell'aria rilevata e temperatura dell'aria prefissata. |
| *Integrativo* | Il generatore di calore viene regolato qualora il valore di temperatura rilevato si discosti per un certo periodo di tempo da quello prefissato.<br>Con una modalità di controllo esclusivamente proporzionale, una piccola differenza tra valore rilevato e valore prefissato può permanere all'infinito. Con la modalità di controllo integrativo, ciò non è possibile: dopo un certo periodo di tempo il generatore di calore viene nuovamente regolato. |
| *Derivativo* | Il generatore di calore viene regolato in funzione del tasso di incremento dell'errore (differenza tra temperatura rilevata e temperatura prefissata).<br>Questa modalità di controllo permette di fare fronte ad improvvise variazioni climatiche con sistemi di riscaldamento dotati di una bassa inerzia termica. |

sibilità di pianificare il riscaldamento su una o più zone di coltivazione, ecc.);

- gli attuatori possono essere semplici relay, ma anche elettrovalvole o valvole a tre vie controllate dalla centralina.

La principale funzione svolta da un sistema di controllo della temperatura all'interno di una serra, è comunque quella di mantenere tale parametro ambientale entro i valori prefissati al variare delle condizioni climatiche esterne. A tale scopo, il sistema di controllo interviene sul sistema di riscaldamento seguendo delle specifiche modalità di azionamento. Le strategie di controllo che un sistema può adottare sono di tipo P (proporzionale), PI (proporzionale e integrativo), PD (proporzionale e derivativo) oppure PID (proporzionale integrativo e derivativo).

Per quanto riguarda gli impianti dotati di generatori di acqua calda (vedi *fig. 2.9*), il sistema di controllo può essere in grado di ricevere informazioni dal sensore della temperatura dell'aria, dal sensore della temperatura dell'acqua a valle della pompa di mandata e dal sensore della temperatura dell'acqua sulla tubazione di ritorno. I dati, elaborati in funzione della temperatura ambientale desiderata, serviranno a pilotare con una procedura di tipo PI oppure PID la valvola a tre vie che regola l'impianto di riscaldamento.

Nel caso dei generatori di aria calda, invece, la regolazione avviene attraverso dei dispositivi di tipo "acceso-spento" (ON-OFF). Questi arrestano il funzionamento dell'apparecchiatura quando viene raggiunto un determinato livello di temperatura e la mettono nuovamente in funzione quando la temperatura nella serra scende al di sotto di un valore prefissato. La differenza tra questi due valori di temperatura può essere indicata come "differenziale"; il mantenimento della temperatura desiderata nella serra, ma anche l'usura del generatore ed il consumo di energia, dipendono dalla corretta scelta dei valori limite del differenziale in funzione delle esigenze della coltura e del tipo di struttura in cui si opera.

Se nella serra è presente più di un generatore di aria calda oppure se il generatore è in grado di funzionare su più di un livello di riscaldamento, può essere adottato il cosiddetto "step control": i generatori vengono azionati contemporaneamente solo se la temperatura rilevata si discosta sensibilmente da quella prefissata, mentre per scostamenti più limitati entra in funzione un unico generatore.

Ad esempio:

| | | |
|---|---|---|
| *step 1* | La temperatura rilevata è di inferiore di 3°C rispetto al valore prefissato | Viene azionato il I° generatore |
| *step 2* | La temperatura rilevata è di inferiore di 6°C rispetto al valore prefissato | Viene azionato anche il II° generatore |

Un'efficace modalità di controllo del sistema deve comunque essere accompagnata da un corretto dimensionamento dell'impianto di riscaldamento, da una adeguata disposizione dei sensori e da una regolare manutenzione degli stessi.

Il sensore o i sensori di temperatura dell'aria all'interno della serra, ad esempio, dovrebbero essere in grado di rilevare la temperatura media. A tale scopo, vista la presenza di gradienti termici all'interno della struttura, è necessario adottare una serie di accorgimenti:

- il sensore dovrebbe essere posto al centro della serra, lontano da flussi di aria calda o fredda, lontano da parti dell'impianto di distribuzione del calore e protetto dalla radiazione solare;
- il sensore dovrebbe essere collocato all'altezza del punto di accrescimento della pianta;
- se l'elemento sensibile è posto in una capannina o in un'altra struttura di protezione, dovrebbe essere investito da un flusso di aria a 3-5 m/sec (sufficiente per il campionamento della temperatura dell'aria della serra, ma non in grado di raffreddare eccessivamente il sensore).

La manutenzione dei sensori, inoltre, dovrebbe essere effettuata almeno ogni sei mesi. Un errore anche di pochi gradi centigradi può infatti provocare un inutile ed economicamente dannoso consumo di combustibile.

Anche se il sistema di controllo dell'impianto di riscaldamento influisce sensibilmente sull'efficienza del sistema serra, la sua scelta può risultare difficoltosa. In effetti, le caratteristiche delle apparecchiature commerciali sono di difficile valutazione da parte della maggioranza dei potenziali acquirenti.

In generale, si può affermare che un sistema di controllo destinato ad essere installato in una serra dovrebbero essere caratterizzato da:

- *Affidabilità.* La serra è un ambiente fortemente ostile per la componentistica elettronica: elevate temperature, elevata umidità relativa, accumulo di sporcizia e di sostanze corrosive, sovratensioni sulla linea di alimentazione. Nonostante ciò, le apparecchiature elettroniche impiegate debbono garantire elevati standard di sicurezza di funzionamento in quanto un guasto potrebbe provocare danni economicamente rilevanti alla coltivazione.
- *Precisione.* La precisione del sistema di controllo consiste nella capacità di mantenere i valori desiderati di temperatura nella serra. La precisione deriva essenzialmente da due fattori: la validità del dato rilevato dal sensore di temperatura e la validità delle procedure adottate per mantenere il valore di temperatura desiderato all'interno della serra (in altri termini, l'entità delle fluttuazioni intorno al valore di temperatura prefissato).
- *Funzionalità.* La centralina dovrebbe risultare di facile utilizzo per l'agricoltore: innanzitutto dovrebbe essere facilmente programmabile mediante comandi intuitivi e dovrebbe essere corredata di strumenti di supporto come, ad esempio, dei chiari manuali di funzionamento. In secondo luogo, l'apparecchiatura dovrebbe essere in grado di svolgere compiti adeguati alla tipologia di impianto controllato in modo da non risultare eccessivamente costosa o complessa rispetto alle effettive esigenze dell'imprenditore.
- *Basso costo.* Il sistema di controllo deve essere caratterizzato non solamente da un basso prezzo di acquisto, ma anche da un basso costo di installazione e di manutenzione.

A questo proposito, la NGMA ha studiato una serie di domande che permettono all'agricoltore di effettuare una scelta maggiormente consapevole del sistema di controllo. Tali domande, in alcuni casi adattate alla specifica situazione del nostro Paese, vengono riportate di seguito.

- *La disponibilità dei ricambi del sistema è garantita 24 ore su 24?*
- *I dispositivi fuori uso possono essere cambiati da un tecnico presente sul posto o è necessario ricorrere*

**La inevitabile evoluzione dei sistemi di controllo**

I sistemi di controllo utilizzati nelle serre, così come tutte le apparecchiature elettroniche, subiscono un rapido processo di obsolescenza causato dalla continua immissione sul mercato di componentistica a prezzi più bassi e con prestazioni spesso migliorate. Nel caso specifico, tale processo è probabilmente rallentato dalla constatazione che l'impegno economico necessario per sviluppare la parte hardware e software di un sistema innovativo rischia di non essere compensato dalle vendite del prodotto. Recentemente, tuttavia, sono comparsi sul mercato dei componenti e dei dispositivi che potrebbero portare alla realizzazione di sistemi di controllo per serre a basso costo, facilmente adattabili a specifiche esigenze ed in grado di implementare strategie di funzionamento evolute.

Per quanto concerne i sensori, ad esempio, l'azienda svizzera Sensirion ha immesso sul mercato dei dispositivi in grado di rilevare contemporaneamente temperatura ed umidità relativa le cui caratteristiche sono:

- un bassissimo prezzo. Si tratta di circa 17 euro per quantitativi minimi (da uno a dieci pezzi);
- il circuito di conversione analogico-digitale è presente sul componente stesso;
- i sensori vengono forniti già tarati.

Tali caratteristiche permettono di ipotizzare una notevole semplificazione delle procedure di manutenzione dei sistemi di controllo presenti nella serra: l'agricoltore invece di effettuare la periodica manutenzione dei sensori potrebbe semplicemente sostituire l'elemento sensibile.

L'uscita in formato digitale del sensore, inoltre, potrebbe facilitare lo sviluppo di sistemi distribuiti in cui le informazioni vengono scambiate tra centralina, sensori ed attuatori senza rischio di errori per mezzo di semplici ed economiche cablature.

*al personale dell'azienda che ha prodotto il sistema?*
- *È possibile consultare un tecnico dell'azienda produttrice per telefono nel caso di malfunzionamenti o guasti?*
- *Il fornitore prevede un corso per istruire gli addetti all'impiego del sistema?*
- *Il manuale d'uso è sufficientemente chiaro e documentato in modo tale che semplici problemi possano essere risolti dall'utente senza l'intervento dell'assistenza?*
- *Il sistema può essere controllato e/o aggiornato per via remota tramite telefono?*
- *È possibile aggiornare il software? Gli aggiornamenti sono gratuiti?*
- *È possibile adattare il software ad esigenze specifiche? Quali sono i costi?*
- *Quale è il costo di installazione del sistema?*
- *Quando, come e da chi viene effettuato il collaudo? Che cosa viene garantito con il collaudo?*
- *Quale è il costo della manutenzione ordinaria del sistema?*
- *Quando sono previste le operazioni di calibrazione dei sensori e, eventualmente, degli attuatori? A quale costo?*
- *Quanto costa sostituire i sensori?*
- *È possibile impiegare sensori di altre marche?*
- *Come funzionano le procedure di allarme e di autodiagnostica del sistema?*
- *Ogni quanti secondi avviene il rilevamento del dato attraverso i sensori?*
- *Il sistema può adattarsi ad esigenze specifiche del coltivatore? In che modo?*
- *Quali dispositivi di protezione dalle sovratensioni sono stati utilizzati nel sistema?*

# 3. La riduzione del consumo di energia nel processo di riscaldamento delle serre

La riduzione del consumo di combustibile fossile utilizzato per il riscaldamento delle serre può essere ottenuta:
- migliorando l'efficienza del sistema di riscaldamento;
- riducendo le dispersioni di calore della serra;
- migliorando la gestione del sistema serra (scelta di varietà e specie microterme, scelta delle metodologie di coltivazione, ecc.);
- ricorrendo ad energie alternative per il riscaldamento.

## 3.1 L'efficienza dell'impianto di riscaldamento

Come è stato visto nel paragrafo 2.3, il generatore di calore riscalda il fluido termovettore (aria o acqua) grazie al calore prodotto dalla combustione di sostanze denominate combustibili (nella maggior parte delle serre è il gasolio). Successivamente un sistema di distribuzione del fluido termovettore provvede a riscaldare la serra. Le perdite di calore si verificano sia nei generatori di calore, sia nel sistema di distribuzione del fluido termovettore.

Nei generatori di calore, in teoria, tutto il calore prodotto bruciando il combustibile nel focolare dovrebbe essere trasferito al fluido termovettore. Nella realtà ciò non accade mai in quanto avvengono delle dispersioni di calore durante il funzionamento e il rendimento termico del generatore è sempre inferiore ad 1. Nei generatori di calore più moderni, il rendimento oscilla tra l'86 ed il 92% (tale rendimento deve essere superiore, a seconda della categoria della caldaia e della sua anzianità di servizio, a dei valori fissati per legge - vedi *Appendice B*).

Le perdite che si possono verificare in un generatore di calore sono di diverso tipo: facendo riferimento allo schema della *fig. 3.1*, si possono verificare:

*Perdite di calore attraverso i fumi*

Sono denominate anche perdite per calore sensibile (in quanto percepibili dai sensi dell'utilizzatore) e sono correlate sia alla temperatura dei fumi, sia alla quantità dei fumi generati nella combustione. Si tratta delle perdite quantitativamente più consistenti, ma che possono essere contenute attraverso la periodica pulizia delle superfici di scambio e mediante una attenta regolazione del generatore (si veda il paragrafo successivo).

*Perdite per combustione incompleta*

Le perdite per combustione incompleta derivano dalla non completa utilizzazione del combustibile e dell'energia ad esso associata. Le cause possono essere di diversa natura: una cattiva miscelazione con il comburente (e quindi una insufficiente disponibilità di ossigeno), oppure la presenza di zone fredde nella camera di combustione. La combustione incompleta provoca anche un incremento dell'impatto ambientale per la presenza nei fumi di incombusti solidi e gassosi (monossido di carbonio, idrocarburi di diverso tipo incombusti, ecc.) (si veda il paragrafo successivo).

*Perdite per irraggiamento*

La caldaia, anche se ben coibentata, irradia calore nel locale in cui è stata installata. Questo tipo di dispersioni di calore non possono essere evitate; rimangono inoltre inalterate in valore assoluto al variare del regime di funzionamento del generatore.

*Altre perdite*

Si tratta di perdite dovute a cause varie: calore perso con gli spurghi, calore incorporato nei residui solidi della combustione, ecc.

Per quanto concerne il sistema di distribuzione del calore, è necessario distinguere gli impianti in

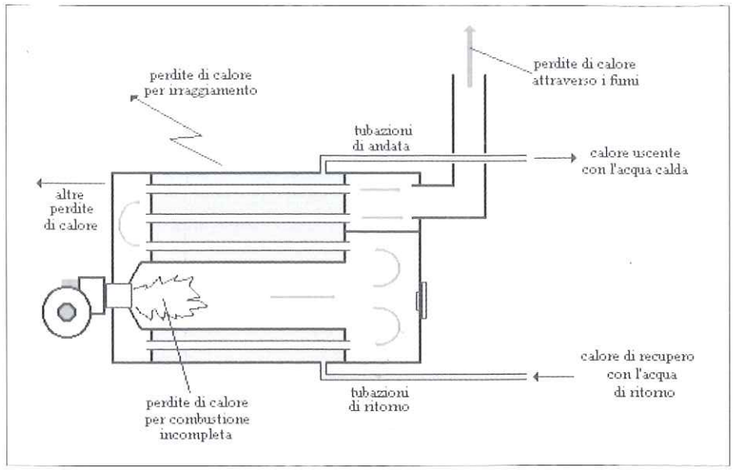



**Fig. 3.1 - Schema di un generatore di acqua calda con indicazione delle perdite di calore**

cui il fluido termovettore è l'aria calda da quelli a corpi radianti.

Negli impianti di riscaldamento ad aria calda l'efficienza nella distribuzione del calore dipende da come viene fatta circolare l'aria nell'ambiente.

Negli impianti a corpi radianti in cui il fluido termovettore è l'acqua calda, l'efficienza nella distribuzione del calore dipende dal livello di coibentazione delle tubazioni di andata e di ritorno.

Gli aspetti tecnici dei sistemi di distribuzione del calore maggiormente legati alla fase progettuale dell'impianto di riscaldamento sono stati esaminati nel precedente paragrafo; di seguito sono riportati, dopo un esame dei principi di base del processo di combustione, gli interventi per il risparmio energetico che possono essere effettuati su impianti esistenti.

### *3.1.1 La combustione*

La combustione può essere definita come "un processo di ossidazione, a mezzo dell'ossigeno dell'aria, che sviluppa energia in forma termica. Le sostanze combustibili sono pertanto quelle capaci, una volta innescato il processo, di bruciare. L'aria, che contiene ossigeno, è detta *comburente*. Le sostanze combustibili contengono carbonio, idrogeno ed anche zolfo...".

Affinché sia possibile effettuare una combustione, è pertanto necessario:

1) il combustibile;
2) l'aria che funge da comburente;
3) l'innesco della combustione.

I *combustibili* sono costituiti essenzialmente da carbonio e da idrogeno; dalla combustione delle sostanze composte da questi due elementi chimici si ottiene energia (dall'idrogeno in misura sensibilmente superiore rispetto al carbonio), vapore acqueo e anidride carbonica. Quest'ultima viene considerata un inquinante essendo il principale gas ad effetto serra.

Nei combustibili possono essere presenti delle *impurità* quali lo zolfo, il vanadio ed il sodio. La combustione dello zolfo, ad esempio, oltre a fornire minore energia rispetto al carbonio ed all'idrogeno porta alla formazione di composti quali l'anidride solforosa e solforica che risultano non solo inquinanti, ma anche estremamente dannosi per gli impianti. Una bassa percentuale di zolfo è pertanto un indice della qualità del combustibile.

I combustibili liquidi derivano dal petrolio greggio; il petrolio greggio è un miscuglio di idrocarburi che possono essere separati con vari metodi. Al termine del processo di separazione effettuato nelle raffinerie, vengono ottenuti:

- Idrocarburi volatili
- DPL (Distillati di Petrolio Leggeri) che includono le benzine
- Petrolio lampante o cherosene
- Gasolio (letteralmente, gas da olio, deriva infatti da un processo di distillazione)
- Oli combustibili.

I combustibili che possono essere impiegati nei generatori degli impianti di riscaldamento per le serre sono di diverso tipo: gasolio, metano, GPL, olio combustibile, nafta, sottoprodotti delle industrie agrarie, biomasse, ecc. In alcune macchine termiche risulta possibile, attraverso la sostituzione del bruciatore e con poche altre modifiche, alimentare la stessa apparecchiatura con combustibili diversi; tale possibilità deve tuttavia essere valutata con estrema attenzione, in quanto può portare ad una rilevante riduzione dell'efficienza del generatore. Nel caso di impiego di combustibili solidi, è comunque necessario ricorrere alla utilizzazione di caldaie progettate per l'impiego specifico.



**Classificazione dei combustibili**

| | | |
|---|---|---|
| Combustibili solidi | Naturali | Carboni fossili (torba, lignite, antracite)<br>Legna |
| | Derivati | Carbone<br>Sottoprodotti dell'agroindustria<br>(sansa di olive, vinaccia esuasta, ecc.)<br>Sottoprodotti dell'industria del legno |
| Combustibili liquidi | Naturali | Petrolio greggio |
| | Derivati | Benzine (DPL-Distillati leggeri del petrolio)<br>Gasolio<br>Diversi tipi di olio combustibile |
| Combustibili gassosi | Naturali | Metano |
| | Derivati | GPL<br>Biogas |

Vi sono diversi parametri che caratterizzano i combustibili; per quanto concerne il calore sviluppato durante la combustione, vengono utilizzati gli indici che seguono.

- Il *potere calorifico superiore*. È la quantità di calore che si rende disponibile per effetto della combustione completa in condizioni costanti e riportando i prodotti della combustione alla temperatura iniziale del combustibile e del comburente. Viene espresso in MJ/kg o kcal/kg nel caso dei combustibili solidi e liquidi e in MJ/m$^3$ o kcal/m$^3$ nel caso dei combustibili gassosi.
- Il *potere calorifico inferiore*. Questo valore può essere determinato sottraendo al potere calorifico superiore il calore di condensazione del vapore di acqua formatosi durante la combustione. Il calore associato alla formazione del vapore di acqua durante il processo di combustione non viene recuperato nei generatori comunemente utilizzati (si tratta del fumo bianco che si vede uscire dal camino); per questo motivo, conviene sempre fare riferimento al potere calorifico inferiore piuttosto che a quello superiore. Anche questo indice è espresso in MJ/kg o kcal/kg nel caso dei combustibili solidi e liquidi e in MJ/m$^3$ o kcal/m$^3$ nel caso dei combustibili gassosi.

Per quanto riguarda le fasi di trasporto e di immagazzinamento dei combustibili, due importanti indici per la predisposizione delle misure di sicurezza contro il pericolo di incendio, sono:

Il punto di infiammabilità rappresenta la temperatura minima alla quale la quantità di vapori di combustibile è sufficiente a formare con l'aria una miscela che può infiammarsi, ma senza che la combustione continui.

Il punto di accensione è la temperatura alla quale il vapore viene prodotto in quantità tale da instaurare una combustione continua anche dopo l'allontanamento della fiamma che ne ha provocato l'accensione.

Per bruciare un combustibile, è necessario portarlo a contatto con una determinata quantità di *comburente*. Il comburente è rappresentato dall'ossigeno contenuto nell'aria in una percentuale di circa il 20% in volume. La quantità di aria strettamente necessaria alla combustione viene indicata come *aria teorica* e dipende dalla composizione chimica del combustibile; è comunque tanto maggiore quanto più elevato è il potere calorifico del combustibile.

### Le principali caratteristiche dei combustibili solidi

• *Umidità.* Si tratta della quantità di acqua contenuta nel combustibile.
• *Ceneri.* Sono le sostanze solide incombuste che formano il residuo di una combustione completa.
• *Sostanze volatili.* Sono le sostanze incombuste allontanate con i fumi in una combustione completa.
• *Carbonio fisso.* Si tratta di un valore utilizzato per la stima del calore sviluppato durante la combustione.
Le analisi per la determinazione dei valori delle suddette caratteristiche vengono effettuati su campioni prelevati secondo precise procedure in modo da rendere comparabili i risultati.

### Le principali caratteristiche dei combustibili liquidi

• *Viscosità.* Indica l'attitudine di un liquido a scorrere con maggiore o minore facilità. Varia fortemente con la temperatura. È una caratteristica di grande interesse per gli oli combustibili in quanto è in relazione con la facilità di pompaggio e di polverizzazione. La classificazione degli oli combustibili in densi, semifluidi, fluidi e fluidissimi è effettuata sulla base della loro viscosità.
• *Peso specifico.* È il rapporto tra peso e volume.
• *Acqua e sedimenti.* È una caratteristica negativa degli oli combustibili in quanto la presenza di tali sostanze può provocare pulsazioni, ritorni di fiamma, ostruzioni di fori e di condotte, erosione di ugelli e di parti meccaniche, ecc.
L'acqua deriva da infiltrazioni, mentre i sedimenti sono costituiti da gomme, resine, carbonio libero, fango, sabbia, incrostazioni, ruggine e stracci accumulati durante il processo produttivo. La loro quantità non deve superare il 2% in peso.
• *Punto di scorrimento.* Il punto di scorrimento è la temperatura al di sotto della quale l'olio combustibile solidifica.
• *Tenore di zolfo.* La materia prima da cui derivano i combustibili liquidi, il petrolio greggio, risulta più o meno ricco di zolfo a seconda dell'area geografica di provenienza. Durante il processo di raffinazione, i composti ricchi di zolfo si concentrano negli oli combustibili; il gasolio, derivando dalla distillazione degli oli combustibili, contiene una minore quantità di zolfo rispetto a questi. Le normative prevedono dei limiti massimi alla presenza dello zolfo nei combustibili: ad esempio, la direttiva comunitaria 99/32/CE (vedi *Appendice B*). Lo zolfo è un elemento indesiderabile nei combustibili; infatti, se bruciato durante la combustione, produce calore in misura minore rispetto al carbonio ed all'idrogeno e dà luogo alla formazione di composti che hanno sia un rilevante impatto ambientale, sia una azione corrosiva sulle parti metalliche.
I composti chimici derivanti dalla combustione dello zolfo sono l'anidride solforosa e l'anidride solforica che, ossidando, formano a loro volta dei vapori di acido solforico. Questi ultimi, se condensano all'interno della caldaia, provocano corrosioni. Per evitare danni alla caldaia, i fumi della combustione devono essere mantenuti ad una temperatura superiore a quella a cui si verifica la condensazione dei vapori di acido solforico (il *punto di rugiada acido*, corrispondente ad una temperatura superiore a quella di condensazione del vapore di acqua). Una temperatura dei fumi eccessiva, d'altra parte, comporta un significativo incremento delle dispersioni di calore.
• *Ceneri.* Si trovano soprattutto negli oli combustibili, anche se in quantità minima (0,02-0,05%). Nonostante i bassi quantitativi presenti, hanno una incidenza rilevante sulla formazione della fuliggine e sul processo di corrosione.

### Le principali caratteristiche dei combustibili gassosi (metano e GPL)

Le principali caratteristiche dei combustibili gassosi più diffusi, essenzialmente metano e GPL, sono il potere calorifico e, per il GPL, la composizione del gas. Il metano viene estratto da giacimenti, mentre con il termine di GPL (Gas di Petrolio Liquefatto) si indicano gli idrocarburi derivanti dai processi di lavorazione del petrolio e dei suoi derivati. Questi sono essenzialmente propano e butano; risultano gassosi a temperatura ordinaria, ma, se sottoposti ad una pressione anche modesta, divengono liquidi e come tali possono essere immagazzinati e trasportati.
L'impiego del metano e del GPL per il riscaldamento delle serre presenta una serie di vantaggi: non vengono depositate sulle superfici di scambio termico significative quantità di residui, non contengono zolfo, possono bruciare con eccessi di aria sensibilmente più bassi rispetto a quelli necessari per i combustibili liquidi con conseguente riduzione delle dispersioni di calore attraverso i fumi e se la combustione è completa non producono sostanze inquinanti tossiche per l'uomo. I fumi della combustione del metano e del GPL possono rimanere a temperature basse senza pericolo di condensazione di sostanze corrosive, nel caso del metano, inoltre, non è necessario l'immagazzinamento ed il pagamento avviene dopo il consumo.
Le limitazioni di impiego sono essenzialmente legate alle precauzioni che è necessario adottare per evitare scoppi e, per il metano, alla presenza di un metanodotto a cui rifornirsi.



**Tab. 3.1 - Caratteristiche di alcuni combustibili solidi, liquidi e gassosi**

| | *Legno umido* | *Legno secco* | *Gasolio* | *Oli combustibili ** | *Metano* | *GPL (miscela di propano e di butano 30/70)* |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Potere calorifico inferiore | 3.000-4.000 kcal/kg | 4.500 kcal/kg | 10.200 kcal/kg | 9.760 kcal/kg | 8.500 kcal/m³ | 26.500 kcal/m³ |
| Tenore di zolfo | Trascurabile | | 0,2 max % in massa | da 0,3 a 4,0 max % in massa | assente | assente |
| Peso specifico | 0,6-1,3 kg/dm³ | 0,3-1 kg/dm³ | 0,83-0,86 kg/dm³ | 0,92-0,99 kg/dm³ | 0,55 relativo all'aria | 1,9 relativo all'aria |
| Ceneri | 1 % in massa | | assenti | da 0,05 a 0,2 max % in massa | | |
| Aria teorica per la combustione | | | | | 9,5 vol. aria/vol. gas | 28,6 vol. aria/vol. gas |
| Contenuto massimo di $CO_2$ nei fumi per una combustione | 20,07 (% vol.) | | 15,1 (% vol.) | 15,6-15,8 (% vol.) | 11,65 (% vol.) | 13,8-14,1 (% vol.) |

* I valori riportati sono compresi entro un intervallo poiché si riferiscono ai diversi tipi di oli combustibili (o.c.): gli o.c. fluidissimi BTZ, gli o.c. fluidi BTZ, gli o.c. semifluidi BTZ, gli o.c. densi ATZ e gli o.c. densi BTZ.

Nella pratica, occorre impiegare una quantità maggiore di aria per la combustione rispetto al valore teorico; la parte in più viene indicata come *eccesso di aria (E)* e viene espressa in percentuale.

L'eccesso di aria dipende dalla composizione chimica del combustibile, dal tipo di focolare, dal tipo di bruciatore e dalla potenza del generatore di calore. Il rapporto tra la quantità di aria realmente impiegata e quella strettamente indispensabile dal punto di vista teorico, si chiama *coefficiente di eccesso di aria (e)*.

Durante la combustione può accadere che l'aria, e quindi l'ossigeno, non sia in quantità sufficiente per bruciare tutto il combustibile. In questo caso, l'idrogeno contenuto nel combustibile brucia meglio del carbonio e riesce ad utilizzare tutto l'ossigeno necessario per la sua combustione non lasciandone a sufficienza per il carbonio. La reazione del carbonio con l'ossigeno in difetto produce monossido di carbonio (CO) e si parla di *combustione incompleta*. Lo sviluppo di calore è inoltre di circa il 30% inferiore rispetto ad una combustione completa.

Affinché la combustione avvenga non è sufficiente che siano a contatto il combustibile ed il comburente, ma occorre anche un *innesco* per avviare la reazione; in altri termini, è necessario portare una parte del combustibile ad una temperatura sufficientemente elevata, denominata *temperatura di accensione*. Questa può essere di 250°C per il legno secco, di 330°C per l'olio combustibile e di 645°C per il metano.

**ESEMPIO – L'eccesso di aria**

Se il coefficiente di eccesso di aria (e) è 1,30
l'eccesso di aria (E) è pari al 30%.
In altri termini, sono utilizzate 30 parti di aria in più rispetto alle 100 teoricamente necessarie.

Una volta innescata la reazione di combustione, se fosse possibile bruciare completamente il combustibile con la quantità di ossigeno strettamente necessaria e se tutta l'energia fosse utilizzata per riscaldare i prodotti della combustione, si otterrebbe la *massima temperatura della fiamma*. Questo valore puramente teorico è di 1.500-1.800°C per gli oli combustibili e di 1.900-2.000°C per i combustibili gassosi. Le temperature che si rilevano nella realtà sono più basse a causa dell'eccesso di aria, della combustione incompleta e della formazione di incombusti; si misura infatti una temperatura di 1.250-1.550°C per gli oli combustibili e di 1.650-1.800°C per i combustibili gassosi.

#### *3.1.2 L'efficienza della combustione e la regolazione dei generatori*

L'efficienza complessiva dell'impianto di riscaldamento dipende fra l'altro da una corretta combustione e dalla efficacia con cui l'energia contenuta nel combustibile viene trasferita al fluido termovettore (aria o acqua). Questo aspetto risulta molto importante sotto il profilo operativo in quanto una attenta regolazione e manutenzione

### I parametri utilizzati per caratterizzare il generatore di calore

La *potenza al focolare* è la quantità di calore che si sviluppa nel focolare nell'unità di tempo. Essa è data dal prodotto della quantità (kg o $m^3$) di combustibile bruciato in un'ora per il potere calorico inferiore del combustibile (vedi paragrafo 3.1.1). Il valore della potenza utile è più basso del valore della potenza al focolare a causa delle perdite che si verificano nel generatore. Anche la potenza al focolare è misurata in kcal / h.
La *potenza utile* è la quantità di calore che può essere ceduta al fluido termovettore nella unità di tempo. La potenza utile è misurata in kcal / h.
Il *rendimento termico utile* è dato dal rapporto:

$$\eta = \frac{\text{potenza utile (calore utilizzato)}}{\text{potenza al focolare (calore speso)}}$$

Nel caso dei generatori di acqua calda, il calore utilizzato è dato dalla differenza tra il calore uscente con l'acqua calda ed il calore di recupero introdotto nel generatore con l'acqua di ritorno.
Si può fare riferimento anche al rendimento termico convenzionale o rendimento di combustione, che è dato dal rapporto:

$$\eta_c = \frac{\text{potenza al focolare} - \text{perdite di calore attraverso i fumi}}{\text{potenza al focolare}}$$

Il rendimento termico convenzionale è legato alla efficienza della combustione, mentre il rendimento termico utile è un indice della efficienza complessiva del generatore.

del generatore di calore permette di ottenere una significativa riduzione dei costi di riscaldamento. Una corretta messa a punto della caldaia permette infatti di ridurre sia le perdite di calore attraverso i fumi sia le perdite per combustione incompleta.

#### *Considerazioni generali*

Il primo aspetto da controllare in un generatore di calore è l'*eccesso di aria* con cui avviene la combustione; come detto nel precedente paragrafo, un eccesso di aria è indispensabile per evitare che una parte del combustibile non venga bruciato per mancanza di ossigeno e che si formino sostanze inquinanti quali il *monossido di carbonio* (la cui presenza viene considerata indice di combustione incompleta) e sostanze incombuste gassose e solide (*fuliggine*). Un eccesso di aria, tuttavia, comporta sempre una dispersione di calore in quanto la parte di aria non utilizzata viene comunque riscaldata e convogliata al camino. L'eccesso di aria fa anche abbassare la temperatura dei fumi e fa aumentare sia il contenuto di anidride solforica nei fumi, sia la temperatura del *punto di rugiada acido* (la temperatura di condensazione dei vapori di acido solforico, strettamente correlata alla concentrazione di anidride solforica nei fumi).

*L'eccesso di aria deve pertanto essere contenuto nei limiti strettamente necessari ad assicurare una combustione completa.*

*D'altra parte una quantità di aria in eccesso non necessariamente permette di ottenere una combustione completa.*

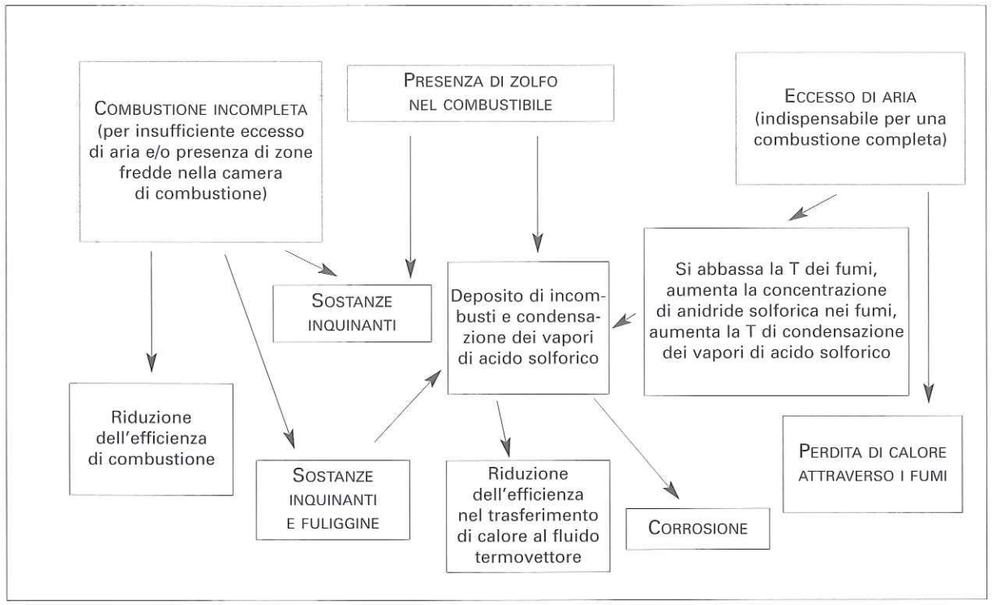
L'eccesso di aria non garantisce che la combustione sia completa; questo fenomeno può essere dovuto al raffreddamento del combustibile e del comburente durante il processo di combustione. In altri termini, all'interno della camera di combustione si possono formare delle *zone fredde* in cui la temperatura è inferiore a 900-1.000°C: in questi casi il carbonio presente nei combustibili non riesce a reagire completamente con l'ossigeno.

Le zone fredde nella camera di combustione possono essere dovute a:

- una forma della fiamma non adeguata alle dimensioni della camera di combustione. La fiamma può risultare troppo larga, troppo lunga oppure disassata a causa di una errata regolazione del bruciatore oppure per un errato abbinamento del bruciatore con la camera di combustione. In questi casi la fiamma può lambire le pareti che, trovandosi ad una temperatura inferiore a quella di accensione del combustibile, impediscono una reazione completa tra combustibile e comburente;
- infiltrazioni di aria all'interno della camera di combustione. L'aria può in questi casi abbassare la temperatura della fiamma al di sotto della temperatura di accensione.

Un'altra causa di combustione non completa,






anche in presenza di un adeguato eccesso di aria, può essere rappresentata dal cattivo funzionamento del bruciatore che non riesce a formare una miscela sufficientemente omogenea tra combustibile e comburente.

Il secondo aspetto da esaminare nella messa a punto di un generatore di calore è la *temperatura dei fumi*. Il rilevamento delle temperature è di norma facilitato dalla presenza di aperture (di norma sulla canna fumaria), in cui inserire i sensori degli appositi strumenti.

*La temperatura dei fumi non deve essere eccessiva poiché verrebbero favorite le dispersioni di calore; una temperatura dei fumi troppo bassa può invece favorire la condensazione dei vapori di acido solforico all'interno della caldaia.*

Una temperatura dei fumi troppo alta è causata dal mancato trasferimento di una parte di calore al fluido termovettore attraverso lo scambiatore. Questo calore viene disperso nell'atmosfera con i fumi.

Per quanto riguarda l'anidride solforica (derivante dallo zolfo presente come impurità nei combustibili), si mantiene allo stato gassoso e viene espulsa con i fumi finché la temperatura rimane al di sopra del punto di rugiada. Se invece la temperatura dei fumi si abbassa fino a consentire il passaggio dallo stato gassoso a quello liquido dei vapori di anidride solforica, si formano sulle parti del generatore lambite dai fumi i caratteristici depositi gialli che hanno un forte potere corrosivo sulle parti in acciaio.

Premesso che la quantità di zolfo varia a seconda del tipo di combustibile, è in ogni caso necessario evitare che la temperatura dei fumi scenda al di sotto di determinati valori (punto di rugiada acido) per evitare la condensazione dei vapori di acido solforico ed aumentare la vita utile del generatore. Nel caso dei generatori di acqua calda, ad esempio, è necessario verificare che la temperatura del fluido termovettore sia sufficientemente elevata in modo da impedire la formazione di condensa sulle zone più fredde dello scambiatore.

Nella *fig. 3.2* è schematizzata una combustione in un generatore di acqua calda ed i punti dove effettuare le misurazioni o analisi allo scopo di migliorarne l'efficienza:

A1 = analisi dei composti chimici presenti nei fumi
A2 = analisi del combustibile
T1 = rilevamento della temperatura dei fumi
T2 = rilevamento della temperatura dell'acqua di ritorno
T3 = rilevamento della temperatura dell'aria comburente
F1 = rilevamento del flusso di combustibile
F2 = rilevamento del flusso di aria comburente.

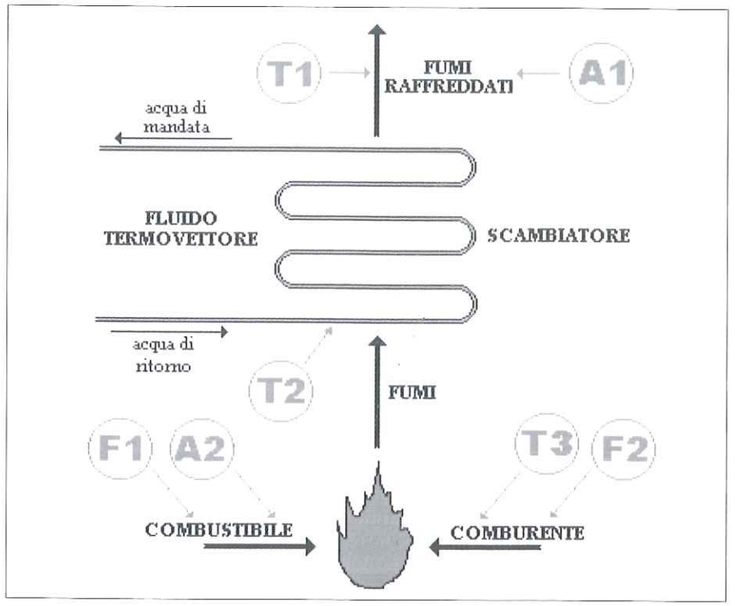



**Fig. 3.2 - Schema della combustione in un generatore di acqua calda. A1, A2, T1, T2, F1, F2 rappresentano i punti su cui effettuare le misurazioni o analisi per migliorare l'efficienza della combustione**

I suddetti rilevamenti devono essere effettuati con una strumentazione e con capacità operative specifiche; per motivi di costi e di tempo, tuttavia, il generatore viene solitamente regolato controllando solo alcuni di questi parametri. Ad esempio, per determinare l'eccesso di aria vengono analizzate solamente le quantità di anidride carbonica ($CO_2$), monossido di carbonio (CO) ed ossigeno ($O_2$) presenti nei fumi. L'anidride carbonica deriva dalla reazione chimica del carbonio contenuto nel combustile con l'ossigeno dell'aria. La stessa reazione in difetto di ossigeno, porta alla formazione di monossido di carbonio. La presenza di ossigeno deriva dall'eccesso di aria. I valori delle concentrazioni di questi elementi nei fumi, opportunamente elaborati per mezzo di formule e di diagrammi, consentono di stimare l'eccesso di aria e valutare se questo sia adeguato a garantire una combustione completa associata ad una ridotta dispersione di calore attraverso i fumi.

### *Il processo di combustione del gasolio*

Il gasolio per essere bruciato deve innanzitutto essere polverizzato in minuscole particelle allo scopo di favorire il contatto del combustibile con l'ossigeno dell'aria. Una parte di queste passa allo stato gassoso per l'alta temperatura della fiamma e viene bruciato. La parte di combustibile non evaporata viene comunque in parte bruciata, mentre il resto rimane incombusto e forma la *fuliggine*. Il dispositivo che provvede alla polverizzazione del gasolio, alla sua miscelazione con l'aria ed all'accensione della miscela tra gasolio ed aria è il *bruciatore*.

Facendo riferimento ad un generico bruciatore ad aria soffiata (ovvero un bruciatore in cui l'aria comburente viene convogliata sulla fiamma tramite un ventilatore), è possibile distinguere le seguenti parti (*fig. 3.3*):

- *presa d'aria con serranda di regolazione*. Ha la funzione di aumentare o di diminuire la quantità di aria utilizzata come comburente tramite la regolazione della serranda;
- *pompa del combustibile*. Si tratta di una pompa aspirante-premente che spinge il combustibile dal serbatoio all'ugello di polverizzazione con una pressione di circa 10-12 bar. È dotata di filtro ed essendo di tipo volumetrico aspira sempre la stessa quantità di combustibile. La sua portata è sempre superiore a quella dell'ugello, per cui l'eccedenza di combustibile ritorna al serbatoio attraverso un apposito circuito;
- *ugello di polverizzazione*. Ha la funzione di polverizzare in minuscole particelle il gasolio immesso sotto pressione in modo da poterlo miscelare perfettamente con l'aria. Il diametro dell'orifizio di uscita è variabile in funzione della portata di combustibile da erogare. Gli ugelli sono contraddistinti dal valore della portata espressa in GPh (vedi *Appendice A*), dal tipo di cono della fiamma e dall'angolazione in gradi del cono stesso;
- *testa di combustione*. La parte terminale del bruciatore assicura la corretta miscelazione di combustibile e comburente nonché la stabilità della fiamma. Il dispositivo più importante presente nella testa di combustione è lo *stabilizzatore* (denominato anche disco turbolatore o diffusore come nella *fig. 3.3*). Questo è costituito da un disco di acciaio con un foro centrale e delle fenditure disposte radicalmente; viene posto davanti all'ugello ed assicura all'aria un movimento rotatorio che favorisce la penetrazione dei filetti di aria nel combustibile polverizzato.



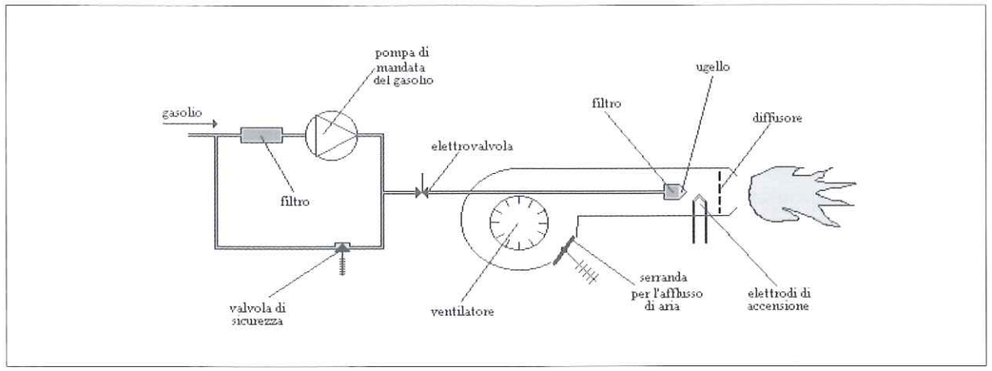



**Fig. 3.3 - Schema di funzionamento di un bruciatore per gasolio**

Il funzionamento del bruciatore può essere suddiviso nelle seguenti fasi:

- *Avviamento*. Viene azionata la ventola ed aperta la serranda di afflusso dell'aria comburente. Viene azionata anche la pompa di mandata del gasolio, ma, poiché l'elettrovalvola di alimentazione dell'ugello è ancora chiusa, il gasolio ritorna nella tubazione di afflusso.
- *Preventilazione*. In questa fase viene effettuato il lavaggio della camera di combustione attraverso l'immissione di aria pulita per una durata di circa quindici secondi.
- *Accensione*. Viene azionata l'elettrovalvola ed il combustibile può arrivare all'ugello. Il flusso di combustile polverizzato si miscela con l'aria proveniente dal ventilatore e viene acceso ad opera degli elettrodi.
- *Arresto del bruciatore*. L'elettrovalvola viene chiusa e cessa l'afflusso di gasolio all'ugello. La pompa di mandata del gasolio ed il ventilatore vengono spenti mentre la serranda di afflusso dell'aria viene chiusa lentamente.

### *Le operazioni di regolazione e di manutenzione del generatore*

Il corretto dimensionamento dell'impianto di riscaldamento ovvero la scelta del generatore in funzione sia del calore che è in grado di generare, sia del fabbisogno energetico della serra, è un compito che spetta al progettista. Non meno importante è il ruolo del fornitore dell'impianto; questi dovrebbe garantire il corretto abbinamento tra bruciatore e camera di combustione. Gli aspetti esaminati di seguito, rappresentano pertanto delle indicazioni per l'agricoltore in modo che questi sia in grado di esprimere un primo giudizio sulla correttezza del lavoro svolto. Si raccomanda, infatti, che le operazioni di messa a punto, manutenzione e regolazione dell'impianto siano eseguite da personale specializzato in modo da garantire la sicurezza dell'impianto, un adeguato consumo di combustibile ed un ridotto impatto ambientale.

*La portata del bruciatore*. La portata, espressa in kg/h o kg/s per i combustibili liquidi, indica la quantità di combustibile che il bruciatore è in grado di bruciare nella unità di tempo. Il valore di tale parametro dipende dalle caratteristiche della pompa e dell'ugello e risulta fondamentale per determinare il consumo di combustibile ed il calore prodotto alla fiamma in un generatore.

Ogni bruciatore è caratterizzato da un *campo di portata* che rappresenta l'intervallo tra la portata minima e la massima in cui il dispositivo può funzionare correttamente, ovvero con un rendimento di combustione rispondente a quanto stabi-

**Esempio - Determinazione della portata del bruciatore**

Una caldaia a gasolio con potenza al focolare di 200.000 kcal/h, ha il seguente consumo di combustibile (potere calorifico inferiore del gasolio = 10.200 kcal/kg):

200.000 : 10.200 = 19,61 kg/h

Sapendo che il peso specifico medio del gasolio è di circa 0,84 kg/l, si può calcolare la portata:

19,61 : 0,84 = 23,34 l/h

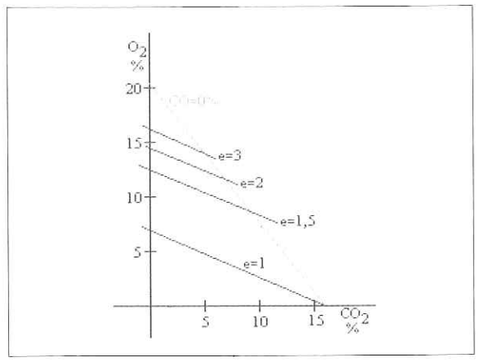



**Diagramma 1 - triangolo di Ostwald**

lito dalla normativa.

La messa a punto della portata del bruciatore viene effettuata scegliendo il tipo di ugello e regolando la pompa di mandata del gasolio.

*L'osservazione della fiamma.* L'osservazione del colore della fiamma permette innanzitutto di valutare l'eccesso di aria con cui si verifica la combustione. Nel caso del gasolio, il colore della fiamma è giallo-bianco con sfumature azzurre per eccessi di aria bassi, mentre è giallo rossastro per eccessi di aria elevati. Il colore della fiamma in difetto di aria risulta scuro. Intorno alla fiamma, l'atmosfera dovrebbe essere limpida e non devono esservi scintillii.

L'osservazione della fiamma permette inoltre di verificare che questa non lambisca le pareti della camera di combustione e quindi non risulti a contatto di zone fredde. A tale riguardo, è necessario ricordare che l'inconveniente non deve essere evitato attraverso un aumento dell'eccesso di aria poiché si avrebbe anche un aumento delle perdite di calore attraverso i fumi e la formazione di fuliggine non sarebbe ridotta, ma solamente resa meno visibile per la maggiore diluizione. La forma e le dimensioni della fiamma devono invece essere rese compatibili con la geometria della camera di combustione attraverso la regolazione delle distanze dei dispositivi che compongono la testata del bruciatore (ad esempio, lo stabilizzatore). Se anche questo non fosse sufficiente, si deve verificare che il tipo di ugello utilizzato ed in particolare l'angolazione del getto sia idoneo alla camera di combustione (vedi anche il punto precedente).

*La regolazione dell'eccesso di aria.* Una prima regolazione dell'eccesso di aria eseguita attraverso l'esame del colore della fiamma dovrebbe comunque essere seguita da una messa a punto più accurata attraverso l'analisi dei fumi. A tale scopo, è sufficiente misurare le concentrazioni di anidride carbonica ($CO_2$), monossido di carbonio (CO) ed ossigeno ($O_2$) riportando i dati su appositi diagrammi e tabelle per stimare l'eccesso di aria con cui avviene la combustione.

Il diagramma denominato *triangolo di Ostwald*, ad esempio, permette di determinare l'eccesso di aria in funzione delle concentrazioni di anidride carbonica e di ossigeno per uno specifico combustibile.

Il *diagramma 1* sopra rappresentato è valido per la combustione del gasolio e per una percentuale di monossido di carbonio (CO) uguale allo 0% (combustione completa). Riportando i valori di anidride carbonica e di ossigeno rilevati sul diagramma, il punto di incontro deve risultare sull'ipotenusa (rappresentata in grigio). Se il punto di incontro è all'interno del triangolo, la combustione non è completa e devono essere consultati diagrammi inserendo la percentuale di monossido di carbonio rilevata. Se il punto di incontro è all'esterno, si è verificato un errore nell'analisi dei fumi. Nel caso di una combustione teorica completa del gasolio senza eccesso di aria, la percentuale di ossigeno nei fumi è ovviamente 0 e la percentuale di anidride carbonica è del 15,1%. Il coefficiente di eccesso di aria (e) è in questo caso uguale ad 1.

L'eccesso di aria varia normalmente a seconda del tipo di impianto da un minimo del 5% (E = 5%, e = 1,05) per i generatori di media potenza al 20% (E = 20%, e = 1,2) ed oltre per i generatori di minore potenza a gasolio.

La presenza di monossido di carbonio nei fumi è associata a forti perdite di calore: per ogni punto percentuale in volume di monossido di carbonio nei fumi si ha una diminuzione nel rendimento della combustione di circa il 5%.

La percentuale massima ammessa dalla legge di monossido di carbonio nei fumi è dello 0,1% in volume, essendo tale gas fortemente tossico.

*Il controllo degli incombusti solidi nei fumi.* Gli incombusti solidi presenti nei fumi derivano da una combustione incompleta; si tratta essenzialmente di residui di carbonio che formano la fuliggine o la cosiddetta fuliggine acida (particolarmente pericolosa per l'azione corrosiva svolta sugli impianti) se assorbono i vapori di acido solforico.

Il metodo con cui vengono misurati gli incombusti è il metodo della opacità di Bacharach; la formazione di incombusti solidi viene correlata all'annerimento determinato dal fumo, prelevato con un apposito strumento, su di un filtro di carta di caratteristiche prestabilite. La macchia viene confrontata con 10 campioni numerati dallo 0 al 9.

Per il gasolio, il valore rilevato non deve superare il numero 2, per l'olio combustibile deve essere inferiore al numero 6, mentre per tutti gli altri combustibili deve essere inferiore al numero 8.

Le normative prevedono inoltre che i fumi non devono avere un contenuto in particelle solide superiore a 0,25 g/m³ di fumo in condizioni standard (fumo secco, 15°C e 1013 mbar).

Il controllo della temperatura dei fumi. La temperatura dei fumi deve trovarsi entro un ben preciso intervallo; al di sopra del limite superiore dell'intervallo aumentano le dispersioni di calore, al di sotto del valore inferiore i vapori di acido solforico si condensano sullo scambiatore. La temperatura dei fumi risulta prima dello scambiatore di circa 700°C, mentre dopo lo scambiatore si riduce a circa 180°C. Le normative (DPR 22 dicembre 1970, regolamento attuativo della legge 615/66) prescrivono che la temperatura dei fumi allo sbocco nell'atmosfera non debba essere inferiore a 90°C. Molto spesso si suggerisce di mantenere una differenza tra temperatura ambiente e temperatura dei fumi di 180-220°C.

Per evitare la condensazione dei fumi, nei generatori di acqua calda si controlla la temperatura dell'acqua di ritorno e si cerca di impedire che scenda al di sotto di determinati valori (in genere circa 50°C). Al momento dell'accensione, inoltre, la temperatura dell'acqua deve salire rapidamente; negli impianti è spesso presente una valvola miscelatrice che diluisce l'acqua di ritorno con l'acqua calda appena prodotta in modo da mantenere temperature sufficientemente elevate del fluido termovettore all'interno della caldaia.

Il calcolo delle dispersioni di calore attraverso i fumi nel caso della combustione completa del gasolio può essere effettuato con la seguente formula:

$$P = (0{,}52 + 0{,}007 \cdot CO_2) \cdot \frac{t_f - t_a}{CO_2}$$

P = Perdite di calore espresse in percentuale;
$CO_2$ = contenuto percentuale dell'anidride carbonica nei fumi;

**Il bilancio termico per un generatore di calore**

Il bilancio termico esprime i flussi di energia termica in un generatore di calore, comprendendo nell'energia termica anche l'energia contenuta nei composti chimici e soggetta ad essere trasformata in energia termica.
Facendo riferimento ad un intervallo di tempo unitario, il bilancio termico può essere così espresso:

$$q_c = q_u + q_f + q_d$$

$q_c$ rappresenta la potenza termica al focolare e viene calcolata come :

$$q_c = H \bullet p$$

in cui H è potere calorifico inferiore del combustibile e p è la portata del bruciatore, $q_u$ è la potenza utile.

$q_f$ rappresenta la dispersione del calore attraverso i fumi e viene calcolato come:

$$q_f = K_s \bullet \frac{t_f - t_a}{CO_2} \bullet \frac{q_c}{100}$$

in cui $K_s$ è per il gasolio e per l'olio combustibile uguale a $(0{,}52 + 0{,}007 \bullet CO_2)$,
$CO_2$ è il contenuto percentuale dell'anidride carbonica nei fumi, $t_f$ è la temperatura dei fumi in°C, e $t_a$ la temperatura dell'aria in°C.
$q_d$ sono le altre perdite, in particolare per irraggiamento, e viene calcolato come:

$$q_d = P \bullet \frac{q_c}{100}$$

In cui P sono le perdite di calore in percentuale, ricavate da un apposito diagramma riportato nella norma UNI – CTI 7936. Le perdite, indicate in percentuale, sono espresse in funzione della potenza al focolare. Tale percentuale varia tra 6% e 1%.

$t_f$ = temperatura dei fumi in°C;
$t_a$ = temperatura dell'aria in°C.

La *pulizia dello scambiatore termico.* Gli incombusti che si depositano all'interno del circuito dei fumi abbassano la trasmissione del calore; uno strato di 1 mm di fuliggine equivale ad uno strato di 0,5 mm di lana di roccia. La fuliggine agisce pertanto come un vero e proprio isolante termico tra i fumi caldi ed il fluido termovettore.

I depositi e le incrostazioni possono avere però anche un'azione corrosiva sulle superfici metalliche; a questo proposito è necessario distinguere le zone a bassa temperatura del circuito dei fumi da quelle ad alta temperatura.

Nelle zone ad alta temperatura, si formano dei depositi a base di sali di vanadio e di sodio presenti come impurità nei combustibili solidi e liquidi. Questi sali aderiscono alle superfici di scambio in forma liquida o pastosa e, intercettando altre ceneri ed altri incombusti, possono raggiungere spessori notevoli fino all'intasamento dei condotti. Oltre all'azione corrosiva, favoriscono anche la trasformazione dell'anidride solforosa e solforica in acido solforico.

Nelle zone a bassa temperatura, risultano più dannosi composti chimici dello zolfo: anidride solforosa e solforica che, in presenza del vapore di acqua, si trasformano in acido solforico. I depositi formati dalla condensazione dei vapori di questi composti, dal caratteristico colore giallo, hanno un forte potere corrosivo sulle superfici metalliche e tendono ad accumularsi riducendo gli scambi termici o occludendo i condotti.

È evidente la necessità di una periodica pulizia della caldaia, rispettando le indicazioni fornite dalla casa costruttrice; al momento della scelta del generatore, è inoltre opportuno verificare la presenza di una apertura che consenta un facile accesso per questo tipo di operazioni.

### *3.1.3 La coibentazione delle tubazioni di distribuzione dell'acqua calda*

I generatori di acqua calda sono dotati di una rete di distribuzione che provvede a portare il fluido dalla caldaia ai corpi radianti e viceversa attraverso le tubazioni di andata e di ritorno. La rete di distribuzione è una fonte significativa di dispersione del calore tanto più elevata quanto:

- più alta è la temperatura dell'acqua circolante;
- più grande è il diametro delle tubazioni;
- più bassa è la temperatura dell'ambiente in cui si trovano le tubazioni;
- maggiore è il numero di ore di funzionamento;
- maggiore è la distanza tra la caldaia ed il corpo scaldante.

Per contro, è possibile ridurre al minimo le perdite di calore coibentando perfettamente tutte le parti del sistema di distribuzione (tubazioni, valvole, curve, ecc.) per mezzo di isolanti termici in lana di vetro, lana minerale o schiume sintetiche. Possono essere impiegate guaine coibenti con diametro interno corrispondente a quello della tubazione da ricoprire, mentre le giunzioni dovranno essere unite con mastice e nastro adesivo (*tab. 3.4*).

Di seguito viene riportato un esempio di calcolo delle dispersioni di calore relativo ad una rete di distribuzione dell'acqua calda che utilizza i valori riportati nelle *tabb. 3.2 e 3.3.*

Nel caso in cui le tubazioni della rete di distribuzione dell'acqua calda siano installate nel sottosuolo, è necessario costruire un cunicolo di dimensioni adeguate, ispezionabile e con il fondo in pendenza per il drenaggio dell'eventuale acqua di infiltrazione. Le tubazioni verranno inoltre montate sospese per mezzo di apposite staffe di sostegno in modo da garantire una ulteriore riduzione delle dispersioni di calore. I dati per il dimensionamento dei cunicoli sono riportate nella *tab. 3.5* e nella *fig. 3.4.*

**ESEMPIO - Determinazione delle perdite di calore in una tubazione**

L'esempio è relativo ad un impianto di riscaldamento ad acqua calda. La temperatura dell'acqua nelle tubazioni di andata è di 80°C ($t_m$), mentre in quelle di ritorno è di 60°C ($t_r$). La temperatura ambiente è di 5°C ($t_a$). Il tubo ha un diametro di due pollici.
La differenza di temperatura viene calcolata come differenza tra la temperatura media (temperatura di mandata e temperatura di ritorno) e la temperatura ambiente:

$$t = [(t_m + t_r) / 2] - t_a = [(80 + 60) / 2] - 5 = 65°C$$

Dalle tabelle 3.2 e 3.3 si ricava che, nel caso di un metro di tubo non coibentato, si ha una perdita 117 kcal/h, mentre per un metro di tubo coibentato si avrà una perdita di 23 kcal/h (circa cinque volte meno).



**Tab. 3.2 - Perdite di calore in 1 m di tubo NON isolato in funzione del suo diametro e della differenza di temperatura tra acqua calda e temperatura ambiente (i valori sono espressi in kcal/h)**

| | Differenza di temperatura (°C) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| *Diametro tubazione (pollici)* | *25* | *35* | *45* | *55* | *65* | *75* |
| 3 / 8 " | 15 | 21 | 29 | 37 | 45 | 53 |
| 1 / 2 " | 17 | 26 | 36 | 46 | 55 | 65 |
| 3 / 4 " | 19 | 31 | 42 | 54 | 65 | 76 |
| 1 " | 23 | 36 | 49 | 62 | 75 | 89 |
| 1 1 / 4 " | 27 | 43 | 58 | 74 | 90 | 106 |
| 1 1 / 2 " | 30 | 47 | 65 | 82 | 99 | 117 |
| 2 " | 35 | 55 | 76 | 97 | 117 | 138 |
| 2 1 / 2 " | 43 | 68 | 94 | 119 | 145 | 170 |
| 3 " | 56 | 88 | 121 | 154 | 186 | 219 |
| 4 " | 61 | 97 | 134 | 170 | 206 | 242 |

Fonte: ENEA, 1988.

**Tab. 3.3 - Perdite di calore in 1 m di tubo coibentato in funzione del suo diametro e della differenza di temperatura tra acqua calda e temperatura ambiente (i valori sono espressi in kcal/h)**

| | Differenza di temperatura (°C) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| *Diametro tubazione (pollici)* | *25* | *35* | *45* | *55* | *65* | *75* |
| 3 / 8 " | 2 | 4 | 6 | 7 | 9 | 11 |
| 1 / 2 " | 3 | 5 | 7 | 9 | 11 | 13 |
| 3 / 4 " | 4 | 6 | 8 | 11 | 13 | 15 |
| 1 " | 5 | 7 | 10 | 12 | 15 | 18 |
| 1 1 / 4 " | 5 | 9 | 12 | 15 | 18 | 21 |
| 1 1 / 2 " | 6 | 9 | 13 | 16 | 20 | 23 |
| 2 " | 7 | 11 | 15 | 19 | 23 | 28 |
| 2 1 / 2 " | 9 | 14 | 19 | 24 | 29 | 34 |
| 3 " | 10 | 16 | 21 | 27 | 33 | 39 |
| 3 1 / 2 " | 11 | 18 | 24 | 32 | 37 | 44 |
| 4 " | 12 | 19 | 27 | 34 | 41 | 48 |

Fonte: ENEA, 1988.

### *3.1.4 Le strategie di funzionamento dei sistemi di controllo*

Le strategie di controllo tradizionali permettono di mantenere i valori di temperatura impostati dall'operatore mediante le procedure illustrate nel paragrafo 2.3.2.

La scelta della temperatura ottimale viene normalmente effettuata sulla base delle esperienze e delle conoscenze dell'imprenditore. Esistono tuttavia delle strategie avanzate di funzionamento del sistema di controllo che permettono di effettuare tale scelta facendo riferimento a modelli biologici più o meno evoluti. Questo genere di strategie può trarre vantaggio dalla possibilità che il sistema sia in grado di mettere in relazione, in modo automatizzato, il valore di temperatura da mantenere con

**Tab. 3.4 - Spessore del coibente utilizzato per i tubi di distribuzione dell'acqua calda**

| *Diametro del tubo (in pollici)* | *Spessore del coibente (mm)* |
|---|---|
| 3 / 8 " | 20 |
| 1 / 2 " | 25 |
| 3 / 4 " | 30 |
| 1 " | 30 |
| 1 1 / 4 " | 30 |
| 1 1 / 2 " | 30 |
| 2 " | 40 |
| 2 1 / 2 " | 40 |
| 3 " | 40 |
| 3 1 / 2 " | 50 |
| 4 " | 50 |

Fonte: ENEA, 1988.

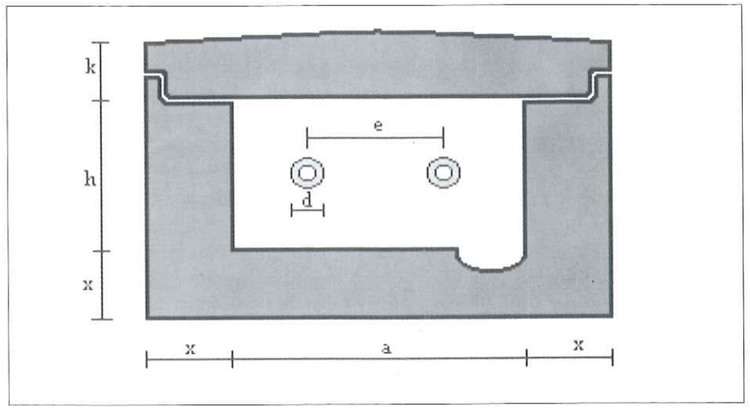



**Fig. 3.4 - Parametri dimensionali di un cunicolo per la rete di distribuzione dell'acqua calda**

**Tab. 3.5 - Dimensionamento del cunicolo in funzione del diametro (d) dei tubi comprensivo dello spessore dell'isolante. I valori sono espressi in mm**

| *D* | *a • h* | *x* | *k* | *e* |
|---|---|---|---|---|
| 40 - 50 | 600 • 300 | 150 | 100 | 300 |
| 50 - 80 | 800 • 400 | 150 | 100 | 300 |
| 80 - 150 | 1.000 • 500 | 200 | 120 | 550 |
| 175 - 200 | 1.300 • 650 | 200 | 120 | 700 |

Fonte: ENEA, 1988.

altri parametri ambientali oppure di elaborare le informazioni e di definire volta per volta il livello di temperatura da mantenere.

L'obiettivo è ottenere una riduzione del consumo energetico mantenendo inalterata la qualità del prodotto. Piccole riduzioni dei livelli di temperatura, infatti, consentono di ottenere significativi risparmi di combustibile (vedi paragrafo 4.1).

Le strategie avanzate di funzionamento, la cui applicazione deve essere valutata anche in funzione della specie e della varietà coltivata, possono prevedere:

1) un prolungamento della temperatura diurna nella prima parte della notte e una riduzione della temperatura notturna in funzione della durata della temperatura diurna;
2) un aumento della temperatura diurna ed una diminuzione di quella notturna mantenendo il valore medio su base giornaliera uguale a quello delle impostazioni tradizionali;
3) "*split night temperature*". La temperatura viene mantenuta più alta nella prima parte della notte e più bassa nella seconda parte, ma il valore medio corrisponde alla temperatura notturna normalmente impostata;
4) periodi (alcune settimane) in cui i livelli della temperatura notturna sono mantenuti a valori di 4-8°C più bassi rispetto ai valori normalmente impostati.

## 3.2 L'efficienza della struttura

L'efficienza di una serra dipende innanzitutto dalla qualità del progetto, dai materiali utilizzati e dal loro assemblaggio; è tuttavia importante effettuare anche una regolare manutenzione allo scopo di mantenere il più a lungo possibile inalterate le caratteristiche originali. In particolare, risulta necessario intervenire tempestivamente per riparare le rotture o le piccole fessure nella copertura attraverso cui penetra aria fredda all'interno della serra; l'impegno richiesto per questo genere di operazioni risulta limitato rispetto ai benefici in termini di risparmio nei costi di riscaldamento che è possibile ottenere.

L'efficienza di una serra può tuttavia essere migliorata anche senza effettuare interventi sulle sue parti fondamentali attraverso l'installazione di schermi termici. Si tratta in questo caso di un vero e proprio investimento, più o meno consistente a seconda del livello di automazione che si desidera



ottenere nella fase di apertura e chiusura degli schermi. Anche questo investimento deve essere valutato con degli strumenti di analisi economica (si veda il paragrafo 4.1) e, se conveniente, prontamente realizzato per mantenere l'azienda competitiva. In teoria, sarebbe opportuno valutare fin dalla fase di progettazione della serra, se sia necessario installare tali dispositivi; in caso positivo, l'installazione durante la fase di realizzazione della serra risulta più agevole e meno costosa.

Gli schermi termici sono dei teli trasparenti o opachi (in questo caso sono neri nella parte esterna, e riflettenti – "alluminizzati" – in quella interna), che vengono posti tra la coltivazione e la copertura della serra. Possono essere impegati per ombreggiare la coltura durante l'estate, ma soprattutto permettono di ridurre il consumo di energia per il riscaldamento durante l'inverno. Gli schermi termici agiscono essenzialmente in tre modi:

- attraverso la formazione di una massa di aria che funge da isolante termico tra la copertura e lo schermo. Gli schermi termici agiscono in questo modo sulla causa principale di dispersione di calore; le dispersioni attraverso la copertura incidono per circa il 70% sul totale delle perdite di calore. Per poter essere efficaci, gli schermi devono assicurare una buona ermeticità dell'intercapedine compresa tra telo e copertura. Nella pratica, tuttavia, ciò non risulta essere sempre possibile. Se la convenienza del doppio telo è stata accertata, è opportuno orientarsi fin dalla fase di progetto della serra su di un doppio film distanziato con aria compressa (l'intercapedine è in questo caso perfettamente ermetica) come tetto.
- riducendo il volume di serra da riscaldare. In ogni caso, la distanza tra il telo e la coltura non deve essere inferiore a 40 cm
- riducendo le dispersioni per irraggiamento, se i teli risultano "alluminizzati" sulla faccia interna.

Per contro, esistono anche dei problemi legati all'impiego di questi dispositivi:

- una riduzione della luminosità all'interno della serra. L'effetto ombreggiante è sempre presente e varia tra il 5% ed il 25% ed oltre di riduzione della luminosità. I valori più elevati di riduzione della luminosità si verificano nel caso di schermi completamente trasparenti tenuti aperti anche durante il giorno;
- la necessità di una graduale apertura degli schermi al mattino in modo da impedire che la massa di aria fredda presente nella intercapedine tra gli schermi e la copertura investa repentinamente la coltura provocando uno stress termico. Questo fenomeno risulta particolarmente pericoloso quando la massa d'aria racchiusa nella intercapedine è consistente ovvero quando lo schermo è disposto a livello della gronda e non lungo le falde del tetto;
- l'aumento dell'umidità relativa nella zona di coltivazione ed i problemi di condensa che si possono verificare sui teli.

I materiali utilizzati per la realizzazione degli schermi termici sono di diverso tipo: materiali plastici di diversa natura e spessore, teli non tessuti, teli "alluminizzati", ecc. Le principali caratteristiche su cui basare la scelta, sono le seguenti:

- trasmissione della radiazione luminosa e potere ombreggiante
- trasmissione del calore
- riflessioni delle radiazioni termiche
- resistenza e flessibilità
- permeabilità al vapore d'acqua
- durata.

I materiali impiegati per la realizzazione degli schermi termici, possono essere suddivisi schematicamente in due categorie:

A) *Materiali permeabili al vapore acqueo* (teli in fibra e acrilico, teli in poliestere trasparente, teli in poliestere e alluminio alternati a strisce). Possiedono le seguenti caratteristiche:
- permeabilità al vapore acqueo;
- rischio ridotto di condensa sui teli e sulle piante;
- utilizzazione solamente durante la notte;
- costo elevato;
- durata maggiore rispetto ai teli impermeabili.

B) *Materiali impermeabili al vapore acqueo* (film plastici e simili). Possiedono le seguenti caratteristiche:
- impermeabilità al vapore acqueo
- aumento del rischio di condensa sui teli e sulle piante
- buona trasmissione del calore per irraggiamento
- non sono ombreggianti
- è possibile l'impiego per l'intera giornata a causa della trasparenza
- costo limitato
- durata inferiore rispetto ai teli permeabili.

L'entità del risparmio energetico che è possibile conseguire con questo genere di dispositivi è funzione di una serie di fattori: condizioni climatiche esterne alla serra, sistemi di riscaldamento e di distribuzione del calore utilizzati, ermeticità della serra e dell'intercapedine tra teli e copertura, velo-

**Tab. 3.6 - Risparmio energetico in percentuale ottenibile adottando un doppio schermo, a diverse velocità del vento**

| *Velocità del vento (m/sec)* | *0* | *2* | *4* | *6* |
|---|---|---|---|---|
| Telo non tessuto (fibertex) | 30% | 37% | 42% | 46% |
| Polietilene (film) | 33% | 41% | 42% | 50% |
| Poliestere + alluminio | 50% | 54% | 57% | 59% |

Fonte: ENEA, 1988.

**Tab. 3.7 - Classificazione di alcune specie da fiore in base alle loro esigenze termiche notturne**

| *Specie a basse esigenze termiche* | *Specie a medie esigenze termiche* | *Specie ad alte esigenze termiche* |
|---|---|---|
| *T notturna 2-10°C* | *T notturna 10-14°C* | *T notturna 16-20°C* |
| • Garofano | • Gerbera | • Crisantemo |
| • Ficus | • Ciclamino | • Poinsettia |
| | • Geranio | • Croton |
| | • Philodendron Sel | • Dieffenbachia |
| | | • Philodendron Per |

cità del vento. È quindi piuttosto difficile indicare con precisione l'entità del risparmio energetico che è possibile ottenere; la Ngma, l'organizzazione dei costruttori di serre americani, riporta una riduzione del 50-60% dei costi annui di riscaldamento (dato sperimentale). I ricercatori operanti nel nostro Paese riportano, nei loro lavori, valori oscillanti tra il 35% ed il 15%. Nella tab. 3.6 sono stati riportati dei dati sperimentali sul risparmio energetico in una serra in vetro con differenti tipi di telo e per diverse velocità del vento.

I dati relativi al risparmio energetico ottenibile con i doppi teli debbono essere moltiplicati per il coefficiente 0,7 nel caso in cui questi siano impiegati solamente di notte (cioè, quando si stima venga utilizzato il 70% del fabbisogno complessivo di calore).

## 3.3 Le soluzioni agronomiche

Le soluzioni di natura agronomica per ridurre il consumo di combustibile per il riscaldamento riguardano le tecniche di produzione adottate, le specie o le varietà che si desidera coltivare e le strategie di controllo dei parametri climatici (già esaminate nel paragrafo 3.1.4). Le scelte dell'imprenditore in questo caso incidono non solamente sul "come produrre", ma anche sul "che cosa produrre" e sono guidate da una serie di motivazioni anche di ordine psicologico.

Le tecniche di coltivazione maggiormente efficienti dal punto di vista energetico sono quelle che permettono di concentrare il calore prodotto dall'impianto di riscaldamento nella zona basale della pianta. Tra le altre, si ricorda la tecnica di coltivazione fuori suolo NFT (*Nutrient Film Technique*); tale metodologia di coltivazione consiste in un sottile strato di soluzione nutritiva che fluisce ininterrottamente all'interno di una canaletta bagnando le radici nude della coltura. La soluzione nutritiva può essere sia riscaldata, sia raffreddata ottenendo un efficiente condizionamento del microclima in prossimità della coltivazione.

Più interessante, anche perché di più semplice applicazione, può essere la scelta di coltivare specie o varietà con ridotte esigenze climatiche ("microterme"), oppure, ove possibile, rivedere in funzione del risparmio energetico la successione colturale adottata. Si tratta ovviamente di scelte che, coinvolgendo le strategie commerciali dell'imprenditore, possono risultare estremamente delicate.

Nella *tab. 3.7*, a titolo di esempio, è stata riportata una classificazione di alcune specie da fiore in base alle esigenze termiche notturne.

Di seguito, vengono riportate le schede relative alle esigenze climatiche di alcune specie da fiore. I parametri ambientali riportati sono i seguenti:

- *Temperatura di crescita.* Rappresenta il valore ottimale della temperatura notturna o diurna;
- *Temperatura ottimale del substrato.* Si tratta della temperatura in corrispondenza della quale l'apparato radicale raggiunge il massimo sviluppo e la massima funzionalità;
- *Temperatura alla fioritura.* È la temperatura ottimale per l'induzione fiorale;
- *Temperatura minima biologica.* Si tratta della temperatura di arresto della crescita, ovvero della temperatura alla quale l'organismo interrompe la propria attività vegetativa;
- *Temperatura massima biologica.* Rappresenta la temperatura al di sopra della quale la pianta manifesta squilibri biologici e quindi diminuzione di crescita e di produzione;
- *Temperatura letale.* È la temperatura alla quale si producono danni irreversibili alla pianta, con possibilità di morte nel caso di durata prolungata. Se sono riportati due valori, il più alto si riferisce alle fasi di più intensa attività vegetativa.



## 3.4 Le possibilità di impiego di fonti energetiche alternative al gasolio

Da molti anni, i ricercatori che operano nel campo delle colture protette propongono soluzioni alternative all'impiego dei derivati del petrolio per il riscaldamento delle serre. Alcune di queste proposte rimangono ancora oggi a livello sperimentale probabilmente per l'impegno tecnico e finanziario richiesto; in altri casi, come ad esempio per l'impiego di combustibili ricavati da biomasse o da sottoprodotti delle industrie agrarie, l'alternativa sembra essere facilmente attuabile se sostenuta da adeguate politiche fiscali e/o di finanziamento degli investimenti.

**Specie: Crisantemo**

| | | |
|---|---|---|
| Temperatura: | crescita (notturna) | 15-18 °C |
| | crescita (diurna) | 20-23 °C |
| | ottimale del substrato | 20 °C |
| | fioritura | 13 °C |
| | biologica minima | 6-8 °C |
| | biologica massima | 25-30 °C |
| | letale | — °C |

**Specie: Garofano**

| | | |
|---|---|---|
| Temperatura: | crescita (notturna) | 12-14 °C |
| | crescita (diurna) | 18-21 °C |
| | ottimale del substrato | 15-18 °C |
| | fioritura | — °C |
| | biologica minima | 4-6 °C |
| | biologica massima | 26-32 °C |
| | letale | 0-2 °C |

*Giorni tra trapianto e fioritura per il* ***Crisantemo*** *a diverse temperature notturne e diurne durante il trattamento a giorno corto*

| *Numero gg. alla fioritura* | *T notturna (°C)* | *T diurna (°C)* |
|---|---|---|
| 90 | 10 | 10 |
| 80 | 10 | 14 |
| 75 | 14 | 10 |
| 70 | 10 | 18 |
| 72 | 14 | 14 |
| 70 | 18 | 10 |
| 65 | 14 | 18 |
| 68 | 18 | 14 |
| 60 | 18 | 18 |

*Necessità termiche del* ***Garofano*** *in funzione della luminosità*

| *Intensità luminosa (lux)* | *Temperatura (°C)* |
|---|---|
| 0 | 8 |
| 5.000 | 10 |
| 10.000 | 11 |
| 15.000 | 12 |
| 20.000 | 14,5 |
| 25.000 | 17 |
| 30.000 | 19 |
| 35.000 | 21,5 |
| 40.000 | 23,5 |
| 45.000 | 26 |

**Specie: Gerbera**

| | | |
|---|---|---|
| Temperatura: | crescita (notturna) | 13-15 °C |
| | crescita (diurna) | 15-20 °C |
| | ottimale del substrato | 20-22 °C |
| | fioritura | 20 °C |
| | biologica minima | 8-10 °C |
| | biologica massima | — °C |
| | letale | 0-2 °C |

**Specie: Lilium**

| | | |
|---|---|---|
| Temperatura: | crescita (notturna) | 10-15 °C |
| | crescita (diurna) | 20-25 °C |
| | ottimale del substrato | 17-19 °C |
| | fioritura | 15-20 °C |
| | biologica minima | 6-10 °C |
| | biologica massima | — °C |
| | letale | — °C |

**Specie: Rosa**

| | | |
|---|---|---|
| Temperatura: | crescita (notturna) | 14-18 °C |
| | crescita (diurna) | 20-25 °C |
| | ottimale del substrato | 13-5 °C |
| | fioritura | 24 °C |
| | biologica minima | 8-10 °C |
| | biologica massima | 30-32 °C |
| | letale | – 1 °C |

**Specie: Poinsettia**

| | | |
|---|---|---|
| Temperatura: | crescita (notturna) | 15-19 °C |
| | crescita (diurna) | 26-30 °C |
| | ottimale del substrato | 18-24 °C |
| | fioritura | 15-18 °C |
| | biologica minima | 8-10 °C |
| | biologica massima | — °C |
| | letale | 0 °C |

**Specie: Azalea**

| | | |
|---|---|---|
| Temperatura: | crescita (notturna) | 12-14 °C |
| | crescita (diurna) | 14-20 °C |
| | ottimale del substrato | — °C |
| | fioritura | 18-20 °C |
| | biologica minima | 6-8 °C |
| | biologica massima | 8-10 °C |
| | letale | – 10 °C |

**Specie: Croton**

| | | |
|---|---|---|
| Temperatura: | crescita (notturna) | 16-20 °C |
| | crescita (diurna) | 24-26 °C |
| | ottimale del substrato | — °C |
| | fioritura | — °C |
| | biologica minima | 5-10 °C |
| | biologica massima | — °C |
| | letale | — °C |

*Necessità termiche dell'**Azalea** in funzione della luminosità*

| *Intensità luminosa (lux)* | *Temperatura (°C)* |
|---|---|
| 20.000-40.000 | 10 |
| 50.000-60.000 | 13-15 |
| 70.000 | 20 |

*Necessità termiche del **Croton** in funzione della luminosità*

| *Intensità luminosa (lux)* | *Temperatura (°C)* |
|---|---|
| 10.000 | 12-13 |
| 20.000 | 20-21 |
| 30.000 | 24-26 |

**Specie: Ciclamino**

| | | |
|---|---|---|
| Temperatura: | crescita (notturna) | 10-11 °C |
| | crescita (diurna) | 20-24 °C |
| | ottimale del substrato | 13-18 °C |
| | fioritura | 10-5 °C |
| | biologica minima | 2-4 °C |
| | biologica massima | 25-30 °C |
| | letale | — °C |

**Specie: Dieffenbachia**

| | | |
|---|---|---|
| Temperatura: | crescita (notturna) | 18-20 °C |
| | crescita (diurna) | 24-28 °C |
| | ottimale del substrato | 22 °C |
| | fioritura | — °C |
| | biologica minima | — °C |
| | biologica massima | 35-40 °C |
| | letale | — °C |

**Specie: Geranio**

| | | |
|---|---|---|
| Temperatura: | crescita (notturna) | 13-16 °C |
| | crescita (diurna) | 18-21 °C |
| | ottimale del substrato | 18-20 °C |
| | fioritura | 20-25 °C |
| | biologica minima | 4 -0 °C |
| | biologica massima | — °C |
| | letale | 0 °C |

*Necessità termiche della **Dieffenbachia** in funzione della luminosità*

| *Intensità luminosa (lux)* | *Temperatura (°C)* |
|---|---|
| 2.500-5.000 | 12-14 |
| 7.000-10.000 | 18-21 |
| 15.000-20.000 | 24-28 |



**Specie: Ficus**

| | | |
|---|---|---|
| Temperatura: | crescita (notturna) | 16-20 °C |
| | crescita (diurna) | 24-26 °C |
| | ottimale del substrato | — °C |
| | fioritura | — °C |
| | biologica minima | 5-10 °C |
| | biologica massima | — °C |
| | letale | 0 °C |

**Specie: Philodendron**

| | | |
|---|---|---|
| Temperatura: | crescita (notturna) | 18-20 °C |
| | crescita (diurna) | 24-28 °C |
| | ottimale del substrato | 22 °C |
| | fioritura | — °C |
| | biologica minima | — °C |
| | biologica massima | 35-40 °C |
| | letale | — °C |

*Necessità termiche del **Ficus** in funzione della luminosità*

| *Intensità luminosa (lux)* | *Temperatura (°C)* |
|---|---|
| 10.000 | 12-13 |
| 20.000 | 20-21 |
| 30.000 | 24-26 |

*Necessità termiche del **Philodendron** in funzione della luminosità*

| *Intensità luminosa (lux)* | *Temperatura (°C)* |
|---|---|
| 2.500-5.000 | 12-14 |
| 7.000-10.000 | 18-21 |
| 15.000-20.000 | 24-28 |

### *Le serre solari*

Le serre solari si basano su di un concetto molto semplice: l'energia solare durante il giorno risulta spesso in eccesso rispetto alle necessità e può pertanto essere immagazzinata per scaldare la serra durante la notte.

Esistono due tipologie di serre solari: le serre solari *passive* e quelle *attive*. Nel primo caso si tratta di impianti in cui la struttura è stata progettata per ottimizzare la captazione dell'energia solare integrando la funzione di immagazzinamento del calore con un minimo impiego di dispositivi alimentati da energia elettrica (pompe, ventilatori, ecc.). Le serre solari attive, invece, dispongono di un vero e proprio impianto che utilizza l'energia solare sia per il riscaldamento della serra, sia per il suo accumulo.

L'accumulo dell'energia solare può essere effettuato utilizzando i seguenti materiali: acqua, pietrame o mattoni, il terreno, materiali a cambiamento di fase (ad esempio, una miscela di sali a base di cloruro di calcio esaidrato prodotta dalla Solvay con il nome commerciale di Serrolithe).

L'accumulo in pietrame o mattoni assolve contemporaneamente alle funzioni di accumulo termico e di sistema di scambio, mentre gli altri sistemi richiedono la presenza di un fluido termovettore (aria o acqua) che scambia il calore con il materiale che lo accumula. Il pietrame o i mattoni hanno una capacità di accumulo del calore di circa 7.000 kcal per metro cubo di materiale con una temperatura tra i 15 ed i 35°C. L'acqua rappresenta uno dei sistemi di accumulo più diffusi in quanto non presenta particolari problemi di ordine tecnico ed ha una buona capacità termica (circa 20.000 kcal per ogni metro cubo di acqua ad una temperatura di impiego tra i 15 ed i 35°C). Per quanto concerne l'accumulo nel terreno, si tratta di una soluzione che potrebbe trovare applicazione nella maggior parte delle serre. In questo caso, l'accumulatore di calore rappresentato dal terreno ha buone capacità termiche e poche dispersioni verso il basso, ma occorre predisporre un sistema di tubazioni interrate in cui scorre aria o acqua per scambiare il calore. L'interramento delle tubazioni è in ogni caso un'operazione costosa che implica anche una riduzione della fertilità degli strati superficiali del terreno.

I materiali a cambiamento di fase, pur presentando notevoli vantaggi sotto il profilo tecnico, hanno delle limitazioni di impiego legate soprattutto ai costi economici. La quantità di calore associata al cambiamento di fase è di circa 30 kcal/kg ed è superiore alla capacità termica degli altri materiali utilizzati per l'accumulo di calore.

Altri impianti sperimentali impiegano pannelli solari ad aria o ad acqua in unione a sistemi di accumulo di calore (*fig. 3.5*). Il rapporto tra superficie della serra e superficie dei pannelli è normalmente di 1 a 1. La temperatura raggiunta dal fluido termovettore nel pannello, anche se limitata a 50-60°C, è in grado di soddisfare le esigenze termiche della coltura. Le basse temperature di lavo-

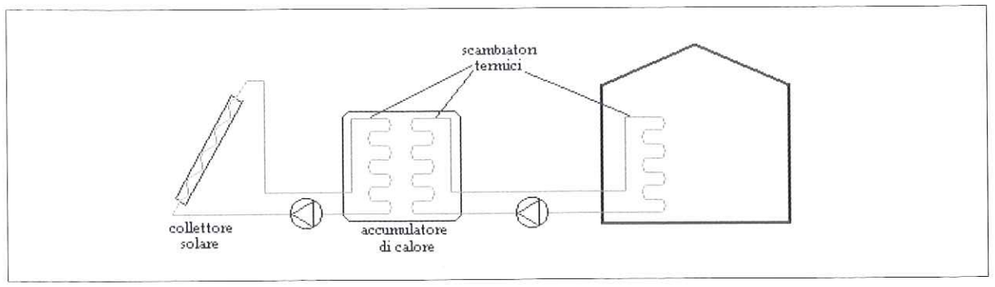



**Fig. 3.5 - Schema di una serra solare attiva a pannelli solari**

ro permettono di ridurre sensibilmente i costi di costruzione dei pannelli con l'impiego di parti in materiale plastico, molto più economiche rispetto alla tradizionale componentistica in metallo. Il grosso limite dei pannelli solari è tuttavia rappresentato dalla occupazione del terreno richiesta per il montaggio di tali dispositivi; tralasciando i prototipi sperimentali in cui i pannelli erano installati sul tetto della serra, la scarsità di terreno disponibile nelle aree in cui sono prevalenti le coltivazioni in serra rende questa soluzione non sostenibile per l'imprenditore agricolo.

### *L'impiego dell'energia geotermica e dei reflui a bassa temperatura*

L'impiego di acque calde a bassa temperatura (inferiori a 100°C), di origine geotermica o come reflui di attività industriali e di produzione di energia, potrebbe assumere una notevole importanza nel settore delle coltivazioni protette. In questo genere di coltivazioni, infatti, apporti di calore anche modesti possono essere sfruttati sia come unica fonte di energia per il riscaldamento, sia ad integrazione di impianti di riscaldamento di tipo convenzionale. L'impiego di pompe di calore, anche se tecnicamente ed economicamente più impegnativo, permette di aumentare la temperatura del fluido termovettore e di fare fronte a situazioni di particolare fabbisogno.

Per quanto concerne l'energia geotermica, l'applicazione nel settore del riscaldamento delle serre viene da anni effettuata in Paesi quali la Russia, l'Ungheria, l'Islanda, il Giappone e gli Stati Uniti. In Italia, nonostante una forte presenza di vene e di falde superficiali di acque calde geotermiche in prevalenza distribuite nella parte occidentale della Toscana, dell'alto Lazio e della Campania, la diffusione di questo genere di applicazioni risulta essere limitata (*fig. 3.6*).

I limiti nella utilizzazione delle acque geotermiche sono essenzialmente rappresentati sia dalla necessità che la serra si trovi in prossimità della fonte di calore allo scopo di evitare dispersioni e perdite nel trasporto del fluido termovettore, sia dalla durezza e dall'alto potere corrosivo delle acque termali che può provocare dei danni agli scambiatori di calore. Per contro, le esperienze effettuate hanno dimostrato che la soglia per l'impiego delle acque geotermiche è di 25°C; ciò permette l'impiego delle acque calde superficiali a 30-40°C che difficilmente possono avere impieghi alternativi. A tale riguardo, si ricorda l'impianto sperimentale realizzato dall'ENEA all'inizio degli anni novanta a Canino in provincia di Viterbo.

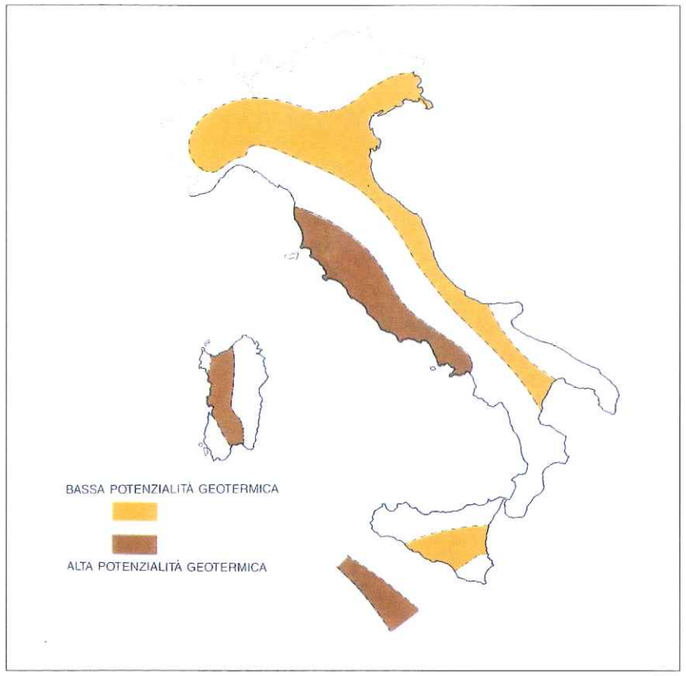
Per quanto concerne l'impiego dei reflui da attività industriali o da centrali di produzione dell'energia elettrica, l'ENEL ha condotto interessanti esperienze nel corso degli anni ottanta e novanta. Tra gli altri, si ricorda l'impianto sperimentale realizzato presso la centrale termoelettrica ad olio combustibile di Bastardo in Umbria. Tale centrale possiede una serie di torri di raffreddamento in cui la temperatura dell'acqua viene fatta scendere a circa 20-22°C e che smaltiscono nell'ambiente una potenza di circa 200 MW. Allo scopo di utilizzare almeno una parte di questo calore che altrimenti sarebbe andato completamente disperso, in prossimità della centrale furono costruite una serie di serre e di tunnel riscaldate direttamente con l'acqua di raffreddamento.

### *L'impiego di biomasse e di sottoprodotti delle industrie agrarie*

In Italia, l'energia derivante dall'impiego di biomasse ha una grande importanza nelle zone rurali dove l'impiego della legna per il riscaldamento o per le cucine è accompagnato dall'uso del metano o di derivati del petrolio quali il GPL ed il gasolio. Solamente negli ultimi anni si è assistito ad una maggiore diffusione di macchine termiche di



**Fig. 3.6 - Ubicazione geografica delle aree con potenzialità geotermiche**




nuova generazione per l'impiego di biomasse, ma, nel complesso, la domanda risulta marginale rispetto ad altri Paesi del Nord Europa.

Le regioni del Nord-Est ed in particolare il Trentino Alto Adige, rappresentano una eccezione, con la diffusione di macchine termiche utilizzanti biomasse sia per l'impiego domestico, sia per la fornitura di energia a piccole comunità. Un altro aspetto riguarda l'agroindustria e le normative che la obbligano a recuperare energia dai sottoprodotti del processo produttivo allo scopo di ridurre l'impatto ambientale dei rifiuti prodotti. L'industria del legno e, in particolare, i frantoi rappresentano per la nostra regione delle interessanti fonti di approvvigionamento di biomasse da impiegare anche per il riscaldamento delle serre: possono infatti essere bruciati le sanse esauste, i noccioli di frutta e di olive opportunamente macinati, i gusci di pinoli, i trucioli di legno, gli scarti di legname in generale, ecc.

Le macchine termiche utilizzate per la combustione delle biomasse hanno caratteristiche peculiari; una diversa forma della camera di combustione, la presenza di una griglia ove avviene la combustione e l'adozione di un sistema di caricamento automatico della biomassa. Quest'ultimo dispositivo richiede normalmente, per poter funzionare, un pre-trattamento alla biomassa per facilitarne lo stoccaggio e la movimentazione.

Le biomasse si presentano in genere con una bassa massa volumica, umidità elevata e caratteristiche molto diverse a seconda del momento in cui è avvenuta la raccolta e della durata del periodo di stoccaggio. Un trattamento di compattazione permette in questo caso sia di aumentare la massa volumica facendo diminuire i costi di trasporto, sia di avere un prodotto finale con caratteristiche più uniformi e stabili nel tempo. Il trattamento di compattazione aumenta inoltre il potere calorifico del combustibile e permette di ottenere un più elevato rendimento del processo di combustione.

Il processo di compattazione consiste generalmente nella trinciatura o coppatura del materiale allo scopo di ridurne le dimensioni e renderlo idoneo al sistema di alimentazione automatico impiegato nella macchina termica. Il consumo energetico per l'essiccazione e per la compattazione richiedono una energia pari a circa il 10-15% di quella del materiale di partenza; tuttavia, tale spesa energetica viene in buona parte recuperata grazie al risparmio ottenuto sulle spese di movimentazione e con l'incremento dei rendimenti ottenuti nella fase di combustione.

Per quanto concerne le macchine termiche, i generatori di calore "industriali" vengono prodotti per potenze variabili tra i 40 ed i 6.000 kW. Questo genere di caldaie sono prodotte per bruciare virtualmente ogni tipo di biomassa; in effetti ogni impianto viene adattato dalla ditta produttrice alle esigenze del committente, in particolare per quanto concerne le caratteristiche del combustibile impiegato, il tipo di fluido termovettore utiliz-

zato (che comunque risulta essere nella maggior parte dei casi acqua calda) e le modalità di stoccaggio e di alimentazione del generatore.

Una delle biomasse impiegate per scopi energetici è il cosiddetto *biodiesel*; tale prodotto deriva da oli vegetali (ottenuti, ad esempio, da colza e da girasole appositamente coltivati a tale scopo) e può essere impiegato per il riscaldamento. Tra le diverse esperienze, sia pure in campo civile, si ricorda l'applicazione del biodiesel per il riscaldamento delle case IACP del comune di Ravenna. La modificazione dell'impianto di riscaldamento a gasolio è stata effettuata con un limitato impegno economico semplicemente sostituendo le guarnizioni ed effettuando la bonifica dei serbatoi.

Il biodiesel non presenta residui di zolfo e la combustione, oltre ad avere una resa simile a quella del gasolio, permette di ottenere una riduzione del particolato. Un altro grosso vantaggio dal punto di vista ambientale, almeno per i sostenitori di questo prodotto, è il cosiddetto "azzeramento delle emissioni di anidride carbonica"; viene infatti affermato che l'emissione della anidride carbonica durante la combustione è compensata dal suo precedente assorbimento da parte delle piante da cui deriva il biodiesel. Si tratta probabilmente di una semplificazione, ma è comunque innegabile il vantaggio rispetto ai derivati del petrolio per la riduzione delle emissioni di anidride carbonica e per il problema dell'effetto serra.

Sotto il profilo economico, il biodiesel risulta essere più costoso rispetto al gasolio; circa 0,35-0,40 euro in più al litro. È comunque possibile rendere competitivo il biodiesel intervenendo sugli aspetti fiscali; a tale riguardo, la finanziaria dell'anno 2000 ha defiscalizzato 300.000 t di biodiesel.

*La metanizzazione dell'area di Pescia*

L'ampliamento della rete di distribuzione del metano nell'area di Pescia, sembra rendere disponibile a molti serricoltori una reale alternativa all'impiego del gasolio per il riscaldamento delle serre. L'impiego del metano come combustibile per il riscaldamento delle serre è già stato esaminato nel capitolo *1. Analisi dei dati statistici* (in particolare in relazione con altri Paesi del Nord Europa), e nel capitolo *3. La riduzione del consumo di energia nel processo di riscaldamento delle serre*. In effetti, in Paesi come l'Olanda la maggioranza dei serricoltori si avvale di questa fonte di energia per riscaldare le serre, usufruendo anche di tariffe particolarmente agevolate.

I vantaggi legati all'impiego del metano sono sostanzialmente riconducibili alle seguenti ragioni:

- ridotta emissione di sostanze tossiche per l'uomo;
- ridotta emissione di sostanze corrosive dannose per l'impianto di riscaldamento;
- pagamento del combustibile dopo il consumo;
- migliore efficienza della combustione rispetto ai combustibili liquidi.

Gli svantaggi sono invece rappresentati dalla necessità di assicurare condizioni di sicurezza agli impianti per evitare il pericolo di esplosioni ed incendi oltre, probabilmente, ad una minore versatilità dell'impianto per la presenza delle tubazioni fisse di adduzione del combustibile.

Per quanto riguarda gli aspetti economici, il confronto tra fonti energetiche tra loro alternative deve essere effettuato determinando il costo della unità di calore fornita (lire/kcal), tenendo comunque conto della efficienza di combustione (il metano ha un rendimento di combustione più elevato rispetto ai combustibili liquidi).

La formula nel riquadro permette di effettuare un confronto dal punto di vista economico tra il metano ed altri tipi di combustibili conoscendo il costo del metano (B), l'efficienza di combustione ed il potere calorifico sia del metano sia del combustibile con cui avviene il confronto (A).

Sostituendo con i relativi valori le voci presenti a destra dell'equazione si ottiene il prezzo massimo a cui il combustibile A risulta ancora competitivo rispetto al metano:

Costo di A (lire/unità di A) = Costo di B (lire/unità di B) • Efficienza combustione A (%) • Potere cal. A (kcal/unità di A) / Efficienza combustione B (%) • Potere cal. B (kcal/unità di B)

# 4. Gli strumenti di supporto finalizzati al risparmio energetico nelle serre

## 4.1 Gli strumenti di valutazione economica degli investimenti per il risparmio energetico

La determinazione della convenienza economica di un investimento è un punto chiave nelle politiche di risparmio energetico nel settore delle colture protette; l'imprenditore, infatti, può essere efficacemente convinto ad intervenire per ridurre il consumo di combustibile solamente se riconosce la convenienza economica dell'investimento.

Il tipo di analisi economica più semplice per valutare un intervento effettuato per il risparmio energetico è la determinazione del tempo di ritorno dell'investimento a prezzi e costi costanti. In questo caso, si calcola l'ammontare dell'investimento e si stima il risparmio annuo ottenibile. Dividendo il costo dell'investimento per il risparmio annuo di combustibile, si ottiene il tempo di ritorno dell'investimento; minore è il numero di anni, maggiore risulta la convenienza ad investire.

Questa metodologia è molto semplice da applicare, ma presenta alcune importanti limitazioni:

- la stima della riduzione del consumo di combustibile. Non è semplice definire una percentuale; le soluzioni tecniche proposte nei paragrafi precedenti permettono di ottenere un risparmio di combustibile variabile entro un intervallo in genere piuttosto ampio;
- l'ammontare monetario del risparmio di combustibile. Il prezzo del gasolio negli ultimi 10-15 anni è andato incontro a forti oscillazioni; tutti i calcoli che si basano su di un prezzo costante del combustibile possono risultare quindi poco realistici;
- il prezzo d'uso del denaro. Tale aspetto non viene considerato nella procedura di calcolo descritta.

Rimane inoltre da definire se ricorrere al credito per effettuare l'investimento ed a quale tasso di interesse questo possa ancora risultare conveniente.

La NGMA propone di valutare gli investimenti effettuati per il risparmio energetico attraverso la metodologia del valore netto al tempo presente; questa ha come obiettivo la stima dei futuri flussi di cassa su di un arco temporale che di regola è di dieci anni. I flussi di cassa presi in considerazione sono: il costo dei dispostivi ed il costo della loro installazione iniziale, i costi di manutenzione, i costi per una eventuale riduzione quantitativa e qualitativa delle produzioni, l'ammontare monetario del risparmio annuo di combustibile. Tutti questi valori monetari sono riportati al momento in cui viene effettuato l'investimento attraverso le apposite formule di matematica finanziaria ipotizzando il valore del saggio di interesse. Una somma delle suddette voci maggiore di zero, indica la convenienza economica dell'investimento; al contrario, un valore uguale o inferiore a zero indica che l'investimento probabilmente non dovrebbe essere effettuato.

È evidente che una analisi di questo tipo, pur non essendo particolarmente complessa, richiede alcune competenze di matematica finanziaria. Inoltre, dovendo elaborare dei dati che presumibilmente potranno cambiare nel periodo di tempo considerato (prezzo del gasolio, tasso di interesse, ecc.), sarebbe utile effettuare delle simulazioni su diverse ipotesi di lavoro. La predisposizione di un apposito foglio elettronico potrebbe quindi risultare estremamente vantaggiosa per semplificare l'impiego di tali procedure.

Per quanto riguarda il problema relativo alla quantificazione del consumo di combustibile, si può ricorrere non solamente alla diretta esperienza

dell'imprenditore ed a specifici software (descritti nel paragrafo successivo), ma anche ad alcune semplici procedure di calcolo.

Attraverso la conoscenza delle temperature esterne alla serra, è possibile stimare:

*A) il consumo orario a pieno carico* (riferito quindi alla temperatura minima esterna per cui è stato progettato il sistema serra);

*B) il consumo mensile al carico medio* (riferito alla temperatura esterna media mensile);

*C) il consumo annuale al carico medio* (riferito alla temperatura media esterna durante il periodo dell'anno in cui è attivo l'impianto di riscaldamento).

*A) Calcolo del consumo orario a pieno carico*

Conoscendo i seguenti valori:

Q = potenza dell'impianto di riscaldamento a regime;

p.c.i. = il potere calorifico inferiore del combustibile impiegato (si veda la *tab. 3.1*);

$\eta_g$ = rendimento complessivo dell'impianto (comprendente il rendimento di combustione, il rendimento della rete di distribuzione del calore, l'eventuale intermittenza di funzionamento dell'impianto, l'efficienza delle procedure di regolazione).

Si può calcolare il consumo orario C in kg/h con la seguente formula:

$$C = \frac{Q}{p.c.i. \cdot \eta_g}$$

*Esempio:*

potenza dell'impianto = 500.000 kcal/h;

p.c.i. del gasolio = 10.200 kcal/kg;

$\eta_g$ = 0,60;

$$C = 500.000/10.200 \cdot 0,6 = 81,69 \text{ kg/h}$$

Con un coefficiente di trasformazione per il gasolio di 0,83, il consumo orario risulta essere di 98,34 l/h.

*B) Calcolo del consumo mensile al carico medio*

Per effettuare tale calcolo è necessario conoscere la temperatura media mensile della località in cui è ubicata la serra; a tale riguardo, è possibile utilizzare i dati riportati nel paragrafo 1.3.

Conoscendo i seguenti valori:

$K_r$ = coefficiente di dispersione globale della copertura (i dati sono riportati nella *tab. 2.7*);

p.c.i. = potere calorifico inferiore del combustibile;

$\eta_g$ = rendimento complessivo dell'impianto;

S = superficie complessiva della serra;

g = giorni di attivazione del riscaldamento durante il mese;

$t_i$ = temperatura mantenuta all'interno della serra;

$t_e$ = temperatura media mensile esterna;

si può calcolare il consumo orario $C_m$ in kg/mese con la seguente formula:

$$C_m = g \cdot (t_i - t_e) \cdot S \cdot \frac{24 \cdot Kr}{p.c.i. \cdot \eta_g}$$

*Esempio:*

S = superficie complessiva della serra = 950 mq;

$K_r$ = coefficiente di dispersione = 6,6;

$\eta_g$ = rendimento complessivo = 0,60;

p.c.i. dell'olio combustibile impiegato per il riscaldamento = 9.760 kcal/h;

Ct = coefficiente di trasformazione da kg a litri per l'olio combustibile = 0,92;

$t_e$ = temperatura media mensile esterna = 6,7°C;

$t_i$ = temperatura mantenuta all'interno della serra 15°C;

g = giorni di attivazione del riscaldamento = 31

$$C_m \text{ (l/mese)} = \frac{31 \cdot (15 - 6,7) \cdot 950 \cdot 24 \cdot 6,6 \cdot 0,92}{9.760 \cdot 0,6} = 7.089$$

*C) Calcolo del consumo annuo al carico medio*

Le procedure di calcolo sono analoghe a quelle seguite per la valutazione del consumo mensile con la differenza che la temperatura media esterna è riferita complessivamente all'intero periodo di riscaldamento così come i giorni di attivazione dell'impianto.

*Esempio:*

I dati sono quelli dell'esempio precedente ad eccezione di:

g = giorni di riscaldamento da ottobre a marzo = 182;

$t_e$ = temperatura media esterna nel periodo considerato = 10,2°C

$$C_a \text{ (l/anno)} = \frac{182 \cdot (15 - 10,2) \cdot 950 \cdot 24 \cdot 6,6 \cdot 0,92}{9.760 \cdot 0,6} = 24.068$$

Questo esempio permette di sviluppare alcune interessanti considerazioni sull'influenza che può avere anche un lieve abbassamento di temperatura all'interno della serra sul consumo di combustibile. Ipotizzando infatti una differenza di 1°C tra interno ed esterno della serra, il consumo di combustibile stimato risulta essere di:

$$C = \frac{182 \cdot 1 \cdot 950 \cdot 24 \cdot 6,6 \cdot 0,92}{9.760 \cdot 0,6} = 5.014 \text{ (l/anno)} \cdot °C$$

ed il consumo per ogni ora di riscaldamento risulta essere:

$$C = 5.014 / 24 = 208,9 \text{ l/h} \cdot °C$$

ipotizzando di ridurre (A) per tutto il giorno il valore di temperatura e di ridurre (B) di uno o più gradi centigradi durante le dieci ore notturne il livello di temperatura, si può osservare nella *tab. 4.1* i risparmi di combustibile che è possibile ottenere.

**Tab. 4.1 - Il risparmio di combustibile che è possibile ottenere nella serra dell'esempio riducendo la temperatura interna per tutto il giorno (A), oppure per le 10 ore notturne (B)**

| *Abbassamento della temperatura (°C)* | *Risparmio di combustibile (l di olio comb.le) (A) per 24 h* | *(B) per le 10 h notte* |
|---|---|---|
| 1 | 5.014 | 2.089 |
| 2 | 10.028 | 4.178 |
| 3 | 15.042 | 6.267 |
| 4 | 20.056 | 8.356 |
| 5 | 25.070 | 10.445 |

Fonte: ENEA, 1988.

Un altro aspetto che risulta interessante valutare sotto il profilo economico, è quello relativo ai costi di gestione di un impianto di riscaldamento. Le voci da prendere in considerazione e che dovranno essere sommate, sono le seguenti:

- il costo del combustibile (prezzo franco azienda moltiplicato per il consumo annuo);
- per l'energia elettrica una quota fissa mensile in base ai kW installati ed una quota variabile in base al consumo in kWh stimata ipotizzando che il bruciatore funzioni solo per il 40% delle ore totali;
- i costi di assistenza e manutenzione per interventi sul bruciatore (incluso il costo dei pezzi di ricambio);
- la quota di ammortamento dell'impianto.

Facendo riferimento ad un impianto di riscaldamento a gasolio, è necessario innanzitutto calcolare il consumo annuo con le formule sopra esposte e successivamente moltiplicarlo per il prezzo pagato dall'imprenditore per il combustibile. Successivamente, si moltiplica la potenza in kW del bruciatore (la potenza può essere letta direttamente sulla targhetta del bruciatore) per il 40% delle ore totali della stagione di riscaldamento e per il costo a kWh della energia elettrica. La quota fissa relativa all'energia elettrica viene invece ricavata dalla lettura delle fatture dell'ENEL. I costi medi annui di assistenza e di manutenzione vengono rilevati sulla base dell'esperienza dell'imprenditore. La quota di ammortamento della caldaia può invece essere calcolata in modo semplificato (senza quindi ricorrere a formule di matematica finanziaria), dividendo il prezzo di acquisto per gli anni stimati di vita utile.

## 4.2 I software per ottimizzare gli impianti

Negli ultimi anni sono stati sviluppati vari software per applicazioni nel settore delle colture protette; tra gli altri, visti gli obiettivi di questo lavoro, si è ritenuto importante esaminare il programma Horticern.

Questo software è risultato utile per effettuare simulazioni su soluzioni tecniche finalizzate al risparmio energetico e per valutazioni sui consumi di combustibile per il riscaldamento delle serre. Per tali motivi, il programma Horticern è stato allegato a questa pubblicazione. Di seguito, viene riportata una guida sintetica al suo uso.

### Il programma Horticern

Horticern è sostanzialmente un modello statico del sistema serra che permette di effettuare una serie di simulazioni variando i parametri climatici esterni, il piano colturale, le caratteristiche della serra e le caratteristiche degli impianti.
All'inizio degli anni ottanta, il CERN (Centro Europeo per la Ricerca Nucleare) di Ginevra formò un gruppo di lavoro per studiare le possibilità di impiego di acque a temperatura di 25-30°C. Si cercava, con questa iniziativa, di trovare una utilizzazione alle acque impiegate per il raffreddamento delle centrali nucleari.
Uno dei risultati di questa attività è rappresentato dal software Horticern, sviluppato dal dott. Olivier J. Jolliet del Politecnico di Losanna (EPFL).
All'inizio degli anni novanta, l'ing. Giovanni Riva ed il dott. Giovanni D'Angelo, nell'ambito di una ricerca promossa dalla Fondazione Minoprio di Como e dall'Istituto di Ingegneria Agraria dell'Università di Milano, hanno sviluppato la versione italiana del suddetto software. È stato inoltre effettuato un lavoro di validazione dei risultati in dieci serre ubicate in Lombardia ed Emilia Romagna. I risultati ottenuti sono stati considerati interessanti poiché i valori calcolati dal software si discostavano al massimo del 15% da quelli effettivamente rilevati. Le prestazioni del programma inoltre miglioravano curando la scelta dei dati climatici e valutando attentamente alcuni dati relativi alle caratteristiche costruttive della serra e che vengono richiesti dal programma.
La versione di Horticern qui allegata è quella originale in inglese, francese o tedesco. Questo perché, in seguito a contatti avuti con il dott. Jolliet, il programma risulta essere attualmente in libera distribuzione.
Nel pacchetto sono stati inseriti i parametri climatici relativi a località della nostra regione ubicate in aree importanti per le coltivazioni in serra.
I nomi dei file sono:

PT1 = Pistoia
Monteca = Montecarlo (LU)
Lido = Lido di Camaiore (LU)
Porcari = Porcari (LU)
Pescia = Pescia (PT)

I dati climatici inseriti nei suddetti file, sono quelli riportati nel capitolo 1. Nel caso di dati mancanti, sono state effettuate delle estrapolazioni.
Il passaggio dalla versione inglese a quella italiana, è possibile modificando i file con estensione .msk il cui nome termina con *_me* o con *_e*. Questa operazione può essere effettuata aprendo i file con Notepad o con Wordpad di Windows.

### *Guida rapida ad Horticern*

*1) Aprire con "Risorse del computer" il CD*

Verrà aperta una finestra in cui sarà mostrato il contenuto del CD allegato. Aprire con "*Risorse del computer*" il disco C:.

*2) Trascinare con il mouse la cartella "Horticer"*

Sul disco C: del computer. Il computer effettuerà la copia da CD a PC.

*3) Aprire la cartella "Horticer" da "Risorse del computer" (C:\HORTICER)*

Il contenuto è di oltre 100 files; per una migliore lettura si suggerisce di aprire "visualizza" ed impostare l'opzione "dettagli". Aprire nuovamente "visualizza", quindi scegliere "disponi icone" ed impostare "per tipo". Individuare il file batch denominato "horticern" e fare doppio click su questo per avviare il programma (vedi *fig. 4.1*).

*4) Il programma viene avviato sotto MS-DOS*

Dopo alcuni secondi, durante i quali viene mostrata la schermata di presentazione del programma, comparirà la schermata iniziale in una finestra MS-DOS. Si suggerisce di ingrandirla ulteriormente cliccando in alto a destra sull'apposito simbolo (*fig. 4.2*).

*5) I comandi da tastiera*

Il programma, sviluppato nei primi anni novanta, prevede esclusivamente comandi tramite tastiera oltre, ovviamente, all'impiego della stessa per immettere i dati necessari alla simulazione.
Tra i comandi principali si ricordano:



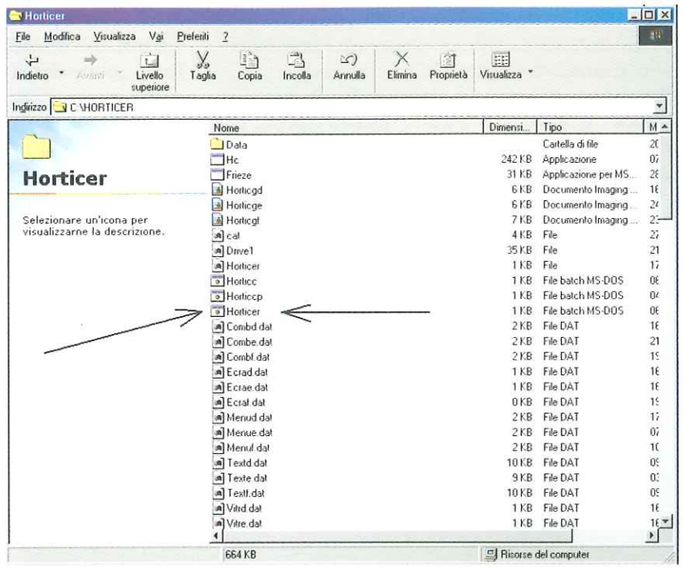



Fig. 4.1

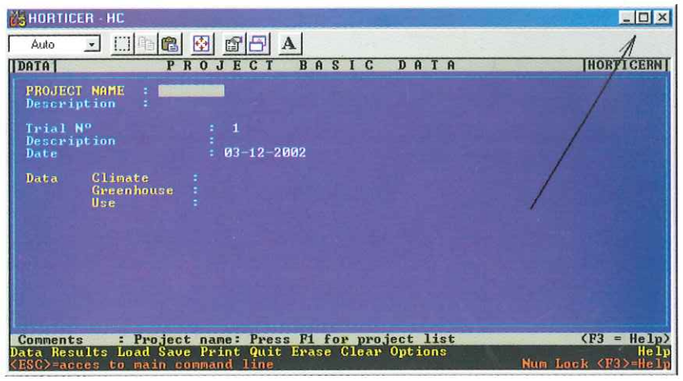



Fig. 4.2

- il tasto "esc";
- il tasto "enter";
- i tasti cursore (destra, sinistra, su, giù):
- i tasti funzione ed in particolare il *tasto F1* (mostra la lista dei files disponibili in archivio) e il *tasto F3* ("help").

*6) La simulazione dei consumi in 5 fasi*

La simulazione del consumo energetico delle serre per mezzo del programma "Horticern" si articola sostanzialmente in cinque fasi:

- *immissione dei dati generali* relativi alla simulazione;
- *immissione dei dati relativi al clima* o, se disponibili in un file in archivio, richiamo dei dati meteorologici relativi alla zona a cui si riferisce la simulazione;
- *immissione dei dati relativi alla serra* (se non sono già disponibili in un file presente in archivio);
- *immissione dei dati relativi al piano colturale* della serra ("use"), se non sono già disponibili in un file presente in archivio;
- *fase di simulazione e visualizzazione dei risultati*;
- eventuale salvataggio della simulazione ("project").

*7) Fase di immissione dei dati generali*

La prima schermata è relativa alla immissione dei dati generali della simulazione (*fig. 4.3*). Spostandosi con i tasti cursore e confermando quanto scritto con il tasto "enter", è possibile riempire i seguenti campi:
*Project name*: massimo 8 caratteri. È anche possibile caricare una simulazione su cui si è già

lavorato premendo F1 e scegliendo nell'elenco che in questo modo compare con i tasti cursore e con il tasto "enter";

*Description:* massimo 35 caratteri (facoltativo);

*Trial n°*: è possibile numerare fino a 10 prove per una determinata simulazione;

*Description*: e la descrizione della prova. Sono ammessi fino ad un massimo di 55 caratteri;

*Date*: si tratta della data fornita automaticamente dal computer;

*Climate:* sono ammessi nomi con un massimo di 8 caratteri. Il nome deve essere relativo ad un file con i dati climatici già presente in archivio. Si può evitare di digitare il nome scegliendo nell'elenco che compare premendo F1 con le modalità già descritte in precedenza. Se si desidera creare un nuovo file, si vedano le procedure per l'immissione dei dati relativi al clima;

*Greenhouse:* sono ammessi nomi con un massimo di 8 caratteri. Il nome deve essere relativo ad un file con i dati della serra già presente in archivio. Si può evitare di digitare il nome scegliendo nell'elenco che compare premendo F1 con le modalità già descritte in precedenza. Se si desidera creare un nuovo file, si vedano le procedure per l'immissione dei dati relativi alla serra;

*Use*: anche in questo caso, sono accettati nomi con un massimo di 8 caratteri. Il nome deve essere relativo ad un file con i dati del piano colturale già presente in archivio. Si può evitare di digitare il nome scegliendo nell'elenco che compare premendo F1 con le modalità già descritte in precedenza. Se si desidera creare un nuovo file, si vedano le procedure per l'immissione dei dati relativi al piano colturale.

A titolo di esempio, in *fig. 4.4* è riportata la schermata che compare scegliendo come nome della simulazione "DEMO". Come si vede, a tale nome corrisponde una simulazione già effettuata: i dati sono relativi al clima di Ginevra, ad una serra denominata CERN e ad un piano colturale denominato Maraich.

Premendo nuovamente il tasto "esc", il cursore si porta su "data" nella linea di comando in basso. Premendo a questo punto il tasto "enter", cambia la linea di comando. Spostandosi con i tasti cursori e premendo il tasto "enter" sarà possibile visualizzare sullo schermo i dati presenti in archivio e relativi al clima, alla serra ed al piano colturale della simulazione in oggetto (*figg. 4.5, 4.6 e 4.7*).

*8) Immissione dei dati relativi al clima*

Dalla schermata iniziale, premendo i tasti "esc" ed "enter", si arriva alla schermata rappresentata in *fig. 4.8*. Con i tasti cursore è possibile spostarsi sulla linea comando in basso e portare il cursore su "create". Premendo "enter", e spostandosi con il cursore nella schermata, è possibile immettere tutti i dati relativi al clima. Terminata l'immissione dei dati, premendo "esc" e successivamente "enter", si ritornerà alla schermata relativa alle caratteristiche del clima: il programma avrà calcolato a questo punto una serie di dati, mentre altri dati (visualizzati con caratteri bianchi) dovranno essere inseriti con il comando "modify".

Si ricorda che al termine della immissione dei dati, è necessario salvare il lavoro portandosi su "save" nella riga di comando in basso. Per ritornare alla schermata iniziale, sarà necessario premere il tasto "esc" un paio di volte.

I dati di cui è necessario disporre per una corretta elaborazione, sono i seguenti:

- *Latitudine*. Deve essere indicata la latitudine della località in cui è ubicata la serra in gradi (ad esempio, 51.5° N).

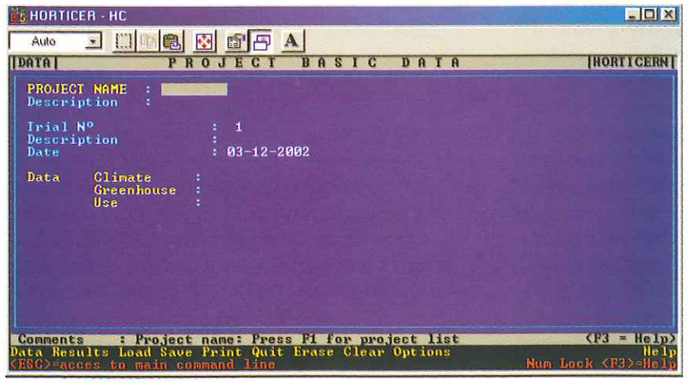



Fig. 4.3



- *Temperatura media dell'aria esterna*. Si tratta della media calcolata sui valori medi rilevati nelle ventiquattro ore ad 1,5 metri dal suolo. I dati devono essere forniti per i tutti i mesi dell'anno.
- *Temperatura media minima dell'aria esterna*. È la media mensile (per tutti i mesi dell'anno) delle temperature minime giornaliere.
- *Temperatura media massima dell'aria esterna*. È la media mensile (per tutti i mesi dell'anno) delle temperature massime giornaliere.
- *Ore di insolazione*. Si tratta del numero di ore in un mese in cui la radiazione solare diretta è superiore a 150 W/m². Tale valore deve essere fornito per tutti i mesi dell'anno.
- *Energia solare diffusa*. È l'energia solare diffusa captata in un mese da una superficie orizzontale piana di un metro quadrato, espressa in MJ/m². Si tratta di un parametro climatico quasi mai

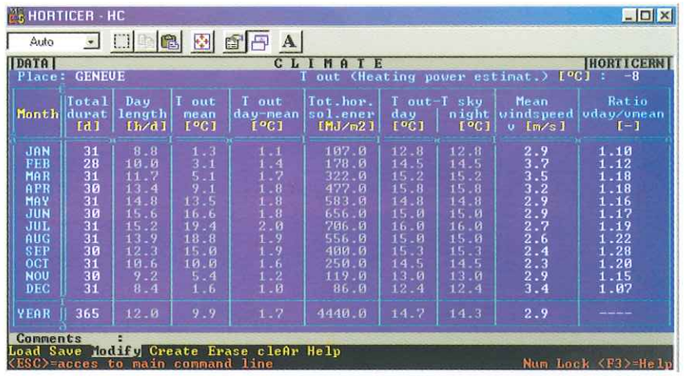



Fig. 4.4

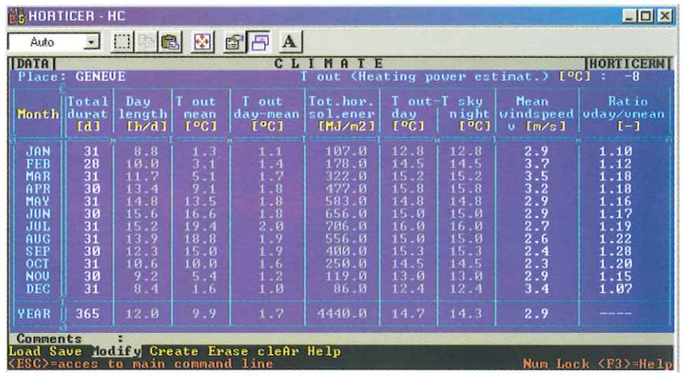



Fig. 4.5

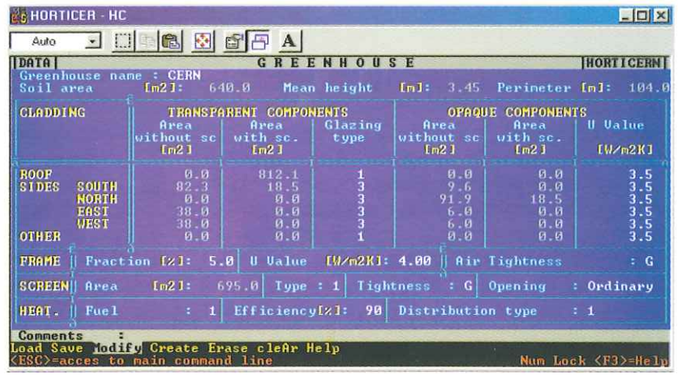



Fig. 4.6

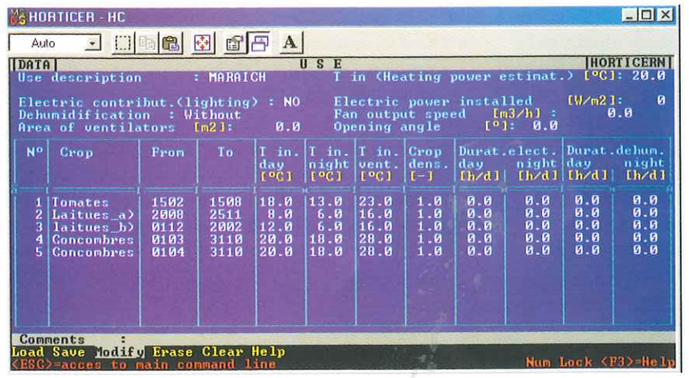



Fig. 4.7

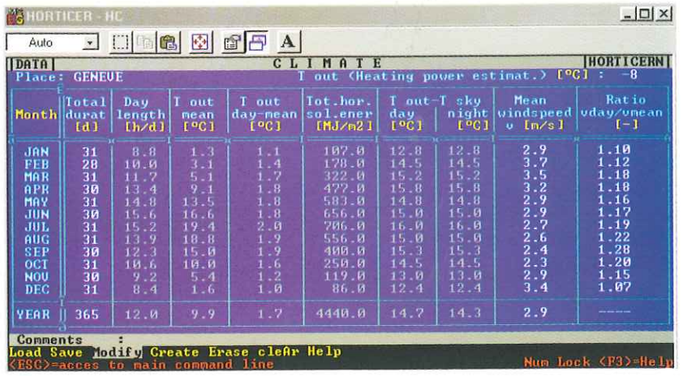



Fig. 4.8

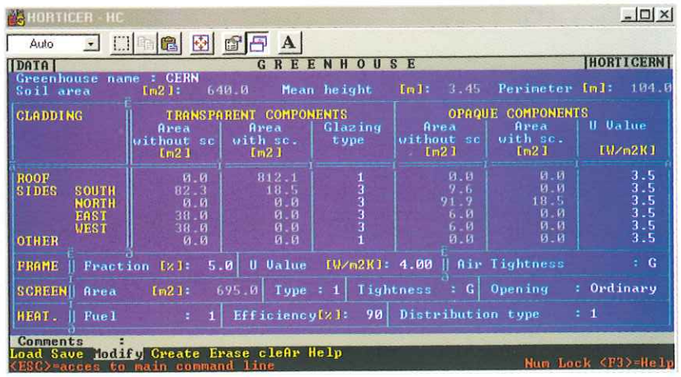



Fig. 4.9

disponibile, ma che è considerato alternativo al precedente e che può quindi essere trascurato se sono state inserite le ore di insolazione.

- *Energia solare globale.* È l'energia solare totale captata in un mese da una superficie orizzontale di un metro quadrato, espressa in MJ/m². Tale valore deve essere fornito per tutti i mesi dell'anno.
- *Temperatura esterna (Stima potenza termica generatore).* È la temperatura esterna sulla quale è stata basata la scelta della potenza del generatore di calore (vedi anche paragrafo 2.2).
- *Velocità media del vento.* È la media mensile delle velocità medie giornaliere del vento espressa in m/s. Il dato è richiesto per tutti i mesi dell'anno.



- *Rapporto tra la velocità diurna e la velocità media del vento.* Si tratta del rapporto tra la velocità media dall'alba al tramonto e la velocità media giornaliera. Difficilmente viene rilevato dalle centraline un dato di questo tipo; tenendo conto che tale parametro influisce poco sulle elaborazioni relative al bilancio termico e che la velocità del vento di giorno è in genere leggermente superiore a quella notturna, può essere inserito un valore di 1,15 senza commettere un errore rilevante.

*9) Immissione dei dati relativi alla serra*

Dalla schermata iniziale, premendo i tasti "esc" ed "enter", si arriva alla schermata rappresentata in *fig. 4.9*.

Con i tasti cursore è possibile spostarsi sulla linea comando in basso e portare il cursore su "create". Premendo "enter", e spostandosi con il cursore nella schermata, è possibile immettere tutti i dati relativi alla serra. Terminata l'immissione dei dati, premendo "esc" e successivamente "enter", si ritornerà alla schermata relativa alle caratteristiche della serra, con una serie di dati calcolati dal programma (vedi *fig. 4.6*, relativa alla serra denominata "CERN"), mentre altri dati (visualizzati con caratteri bianchi) dovranno a questo punto essere inseriti con il comando "modify".

Anche in questo caso, al termine della immissione dei dati sarà necessario salvare il lavoro portandosi su "save" nella riga di comando in basso. Per ritornare alla schermata iniziale, sarà necessario premere il tasto "esc" un paio di volte.

I dati di cui è necessario disporre per una corretta elaborazione, sono i seguenti:

- *Tipo di serra.* Il programma prevede due possibilità: normale (ovvero la classica serra a doppia falda) e tunnel (con sezione trasversale a semicerchio).
- *Orientamento colmo.* Anche in questo caso sono previste due possibilità: Nord-Sud (N) e Est-Ovest (E).
- *Lunghezza totale.* Si riferisce alla lunghezza dei lati della serra.
- *Larghezza totale.* Si riferisce alla larghezza della testata ed è complessiva nel caso di serre multiple a più campate.
- *Altezza alla gronda.* Nel caso dei tunnel si ottiene moltiplicando l'altezza del tunnel (altezza al colmo) per 0,4.
- *Altezza al colmo.*
- *Altezza al muro perimetrale.* Deve essere inserita l'altezza del cordolo che circonda il perimetro della serra.
- *Numero delle campate.*
- *Parete Nord opaca.* Nel caso in cui la parete a Nord risulti opaca, è necessario inserire S.
- *Schermatura tetto.* Deve essere inserito SI nel caso in cui siano presenti schermi termici a livello del tetto, NO in caso contrario.
- *Posizione degli schermi.* Gli schermi possono essere disposti orizzontalmente (O) oppure parallelamente (P)alle falde del tetto.
- *Altezza degli schermi.* Viene richiesta solamente se gli schermi sono disposti orizzontalmente ed è riferita alla distanza da terra.
- *Schermatura lati.* Deve essere inserito SI nel caso in cui siano presenti schermi termici, NO in caso contrario.
- *Schermatura testate.* Deve essere inserito SI nel caso in cui siano presenti schermi termici a livello del tetto, NO in caso contrario.
- *Codice materiale.* Deve essere inserito per le diverse componenti dell'involucro della serra (tetto, pareti). Premendo il tasto F1 si apre una finestra con un elenco dei principali materiali utilizzati per la copertura delle serre, le loro caratteristiche ed il relativo codice numerico da inserire.
- *Coefficiente K.* Si tratta del coefficiente di conducibilità termica descritto nel capitolo 2. Purtroppo non è possibile inserire i valori riportati nella *tab. 2.5* in quanto l'unità di misura è diversa. I valori di K in W/m² • °K possono tuttavia essere ricavati dalla tabella con i codici dei materiali (vedi punto precedente).
- *Percentuale struttura.* È il rapporto percentuale tra struttura della serra e copertura. Un valore indicativo può essere il 5%.
- *Coefficiente K della struttura.* Si tratta del coefficiente di conducibilità termica della struttura. Una struttura di metallo presenta valori variabili tra 5,7 e 6,1 W/m² • °K, una struttura in metallo con giunti isolanti ha valori tra 3 e 3,5 W/m² • °K, una struttura in metallo protetta da un rivestimento in gomma ha un valore di K pari a 4 W/m² • °K.
- *Tenuta all'aria.* È un parametro che in dica lo stato della copertura: buono (B) ottima tenuta e giunti coperti con nastro, medio (M) buona tenuta senza fori apparenti, scarso (S) presenza di fessure o di rotture nella copertura.
- *Superficie schermi.* Deve essere indicata la superficie coperta dagli schermi termici.
- *Codice schermi.* Premendo il tasto F1, compare una finestra in cui sono elencati una serie di materiali utilizzati per la realizzazione di questi dispositivi con le relative caratteristiche tecniche.

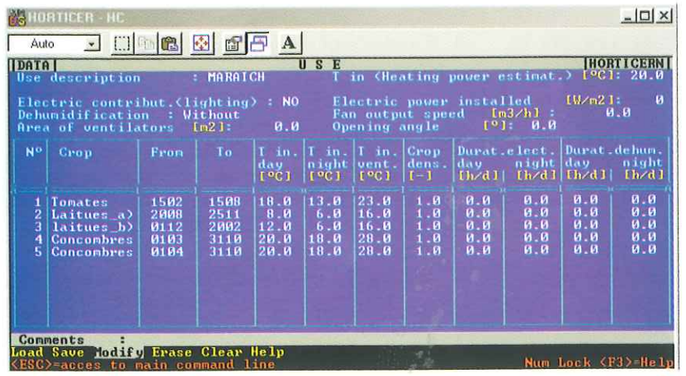



Fig. 4.10

- *Tenuta degli schermi.* Indica lo stato degli schermi termici: buono (B) giunti ermetici tra schermi e pareti e presenza di guarnizioni in gomma, medio (M) schermi senza fori apparenti, scarso (S) schermi con fori.
- *Apertura degli schermi.* Può essere: "normale" quando gli schermi vengono aperti all'alba e chiusi al tramonto, "ritardata" quando gli schermi sono aperti solamente al di sopra di un determinato livello di radiazione luminosa, "nessuna" quando gli schermi sono permanentemente in posizione.
- *Combustibile.* Occorre inserire il codice relativo al combustibile impiegato consultando la finestra che si apre premendo F1.
- *Rendimento.* Si esprime in percentuale il rendimento del generatore di calore.
- *Codice impianto.* Riguarda il sistema di distribuzione del calore. Sono previsti due casi: 1) riscaldamento basale o in prossimità della coltura oppure impianti misti (aria ed acqua calda); 2) riscaldamento dell'aria mediante aerotermi o generatori di aria calda.

#### *10) Immissione dei dati relativi al piano colturale*

Dalla schermata iniziale, premendo i tasti "esc" ed "enter", si arriva alla schermata rappresentata in *fig. 4.10.*

*Al contrario di quanto descritto nei due punti precedenti, con i tasti cursore è necessario spostarsi sulla linea comando in basso e portare il cursore su "modify" per poter inserire i dati relativi al piano colturale.*

Si deve far notare che un errore nell'immissione di questi dati può portare al blocco del programma a causa di un errore di programmazione, con conseguente perdita del lavoro svolto.

Al termine della immissione dei dati sarà necessario salvare il lavoro portandosi su "save" nella riga di comando in basso. Per ritornare alla schermata iniziale, sarà necessario premere il tasto "esc" un paio di volte.

I dati di cui è necessario disporre per una corretta elaborazione, sono i seguenti:

- *Contributo elettrico.* Deve essere digitato S oppure N a seconda siano presenti o meno nella serra altri dispositivi oltre a quelli di riscaldamento che impiegano energia (dispositivi per l'illuminazione artificiale, pompe, motori elettrici adibiti ad altri scopi, ecc.).
- *Potenza elettrica installata.* Il dato, che va espresso in W/m², deve essere riferito alla somma delle potenze elettriche dei dispositivi installati, ipotizzando che questi funzionino contemporaneamente.
- *Deumidificazione.* L'impianto può essere "senza" nel caso in cui i ventilatori o le aperture sono utilizzati esclusivamente per ridurre le temperature, può essere dotato di deumidificazione "naturale" se le aperture sono tenute leggermente aperte durante il riscaldamento, può avere una deumidificazione "meccanica" se questa avviene sia attraverso la ventilazione forzata, sia attraverso il riscaldamento.
- *Portata dei ventilatori.* Il dato, espresso in m³/h, deve essere inserito solamente se la serra è dotata di un impianto di deumidificazione meccanica.
- *Area delle aperture.* Tale dato, espresso in m², deve essere inserito solamente se è presente un impianto di deumidificazione naturale. Un valore indicativo di 10 cm di apertura corrisponde ad un angolo di 4°.
- *Angolo di apertura.* Viene espresso in gradi e deve essere inserito solamente in presenza di un impianto di deumidificazione naturale. Si veda anche il punto precedente.
- *Numero coltura.* Si tratta di un numero maggiore di 0 corrispondente ad una singola coltura. Nel caso tale coltura richieda temperature diverse a seconda della fase di sviluppo, i diversi periodi devono essere inseriti con lo stesso numero di coltura.
- *Coltura.* Il programma accetta un massimo di otto caratteri per il nome della coltura.
- *Data di inizio e di fine ciclo.* Il periodo considerato dal programma è dal 1° gennaio al 31 dicembre. Il formato della data può essere GGMM oppure MMGG a seconda della impostazione effettuata nel menù opzioni.
- *Temperature interne diurne e notturne.* Devono essere inseriti i valori impostati nel sistema di controllo.
- *Temperatura di ventilazione.* Si tratta della temperatura al di sopra della quale viene attivato il sistema di ventilazione per ridurre la temperatura (il sistema di deumidificazione è stato considerato precedentemente).
- *Densità della coltura.* L'indice varia da 0 a 2: 0 nessuna coltura, 1 bassa densità, 2 alta densità.
- *Illuminazione artificiale durante il giorno e durante la notte.* Devono essere inserite le ore giornaliere di illuminazione artificiale effettuate. L'inserimento di "TOT" indica che tali dispositivi rimangono in funzione per tutto il giorno o per tutta la notte.
- *Durata deumidificazione durante il giorno e durante la notte.* Devono essere indicate il numero di ore in cui l'impianto di riscaldamento e quello di ventilazione sono attivati contemporaneamente.

#### *11) Fase di simulazione e di visualizzazione dei risultati*

Nella schermata iniziale, tramite il tasto "esc" si porta il cursore sulla riga di comando in basso e si sceglie "results".

Premendo il tasto "enter", il programma provvederà in pochi secondi ad effettuare i calcoli; i risultati saranno visualizzati in una serie di schermate rappresentate nelle *figg. 4.11, 4.12, 4.13, 4.14 e 4.15.* Nel caso specifico, queste si riferiscono alla già citata simulazione indicata come "DEMO".

Nella prima schermata vengono riportati in alto dei calcoli effettuati sulle caratteristiche della serra tra cui il coefficiente globale di scambio termico. In basso vengono invece riportati i calcoli relativi alla potenza termica del generatore.

Nella seconda schermata, sono riportati i dati relativi ai consumi energetici per coltura effettuata.

Nella terza e quarta schermata sono riportati i dati relativi al bilancio termico mensile rispettivamente senza e con schermi.

Con l'ultima schermata, si ritorna al quadro per l'inserimento dei dati generali con la differenza che in basso appaiono i risultati riassuntivi essenziali dei calcoli effettuati: in particolare il consumo energetico totale al metro quadro espresso anche in termini di consumo di combustibile.



### 4.3 Eco-label e risparmio energetico

Il floricoltore che effettua degli investimenti per ridurre il consumo di combustibile oppure per razionalizzare l'impiego di acqua, di fertilizzanti e di pesticidi riduce non solamente i propri costi di produzione, ma anche l'impatto ambientale del processo produttivo. In questo senso, le sue iniziative hanno rilevanza anche per la collettività, ed appare importante l'atteggiamento di preferenza che i consumatori hanno iniziato a manifestare, sia pure in misura minore rispetto ai Paesi del Nord Europa, per i prodotti ottenuti nel rispetto dell'ambiente.

L'imprenditore che opera nel settore delle colture protette ed in quello floricolo in particolare, dovrebbe pertanto essere messo in grado di caratterizzare i propri prodotti con un marchio di qualità ambientale (quello che in altri settori produttivi viene denominato "eco-label") che renda riconoscibile il suo impegno per ridurre l'impatto ambientale. Di seguito sono brevemente esaminati i marchi di qualità ambientale utilizzati in altri Paesi.

#### *Il marchio MPS (Milieu Project Sierteelt)*

Il *Milieu Project Sierteelt* (MPS) è una certificazione di prodotto promossa da enti governativi, organizzazioni commerciali florovivaistiche e mercati olandesi. Il suo obiettivo è la riduzione dell'impatto ambientale delle attività produttive del settore floricolo e delle piante ornamentali. Più in dettaglio, le principali caratteristiche del marchio MPS sono:

- miglioramento dell'immagine del settore florovivaistico;
- riduzione progressiva dell'impiego di fitofarmaci, fertilizzanti ed energia nonché della produzione di rifiuti;
- raccolta di dati sulle fasi a maggiore rischio ambientale del processo produttivo la valutazione dei dati raccolti permette al produttore di essere maggiormente consapevole circa gli effetti negativi da lui indotti);
- la comparazione della qualità ambientale del prodotto mediante un sistema a punteggio che alimenta una sana competizione e una spinta al miglioramento continuo da parte dei produttori;
- monitoraggio costante di parametri che sono

HORTICER - HC

RESULTS — GREENHOUSE CHARACTERISTICS — HORTICERN

| VOLUME [m3]: 2208.2 / CONDITIONS: see Average <F1> | AREA [m2] | THERMAL LOSS COEFFICIENT Without screen U value grnd m2 [W/m2K] | k'value env. m2 [W/m2K] | [%] | With screen U value grnd m2 [W/m2K] | k'value env. m2 [W/m2K] | [%] | SOLAR COLLECTION a col [-] | [%] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| TOTAL | 1120.9 | 13.3 | 7.6 | 100 | 8.3 | 4.7 | 100 | 0.70 | 100 |
| Roof | 812.1 | 10.2 | 5.8 | 77 | 5.1 | 2.9 | 61 | 0.03 | 4 |
| Sides | 308.9 | 1.9 | 1.1 | 15 | 2.3 | 1.3 | 28 | 0.09 | 12 |
| Ground | 640.0 | 0.3 | 0.2 | 2 | 0.3 | 0.2 | 3 | 0.59 | 83 |
| Air leakage | | 0.8 | 0.5 | 6 | 0.6 | 0.4 | 8 | | |

RESULTS — POWER ESTIMATION — HORTICERN

| | INSTALLED POWER Without scr | With screen | Data for estimation | |
|---|---|---|---|---|
| Total [kW] | 180.1 | 111.9 | Inside temp[°C] : | 20.0 |
| per ground m2 [W/m2] | 281.5 | 174.8 | Outsid.temp[°C] : | -8.0 |
| | | | Sky temp. [°C] : | -33.0 |
| | | | Windspeed [m/s] : | 2.9 |

Press any key to continue or <F1> to acces model parameters

Fig. 4.11

HORTICER - HC

RESULTS — ENERGY CONSUMPTION PER CROP — HORTICERN

| Nº | Crop | From | To | TOTAL CONSUMPTION [MJ/m2] Without scr | [MJ/m2] With screen | TOTAL CONSUMPTION Oil [kg/m2] Without scr | [kg/m2] With screen |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Tomates | 1502 | 1508 | 607.7 | 427.7 | 14.2 | 10.0 |
| 2 | Laitues_a) | 2008 | 2511 | 65.5 | 38.9 | 1.5 | 0.9 |
| 3 | Laitues_b) | 0112 | 2002 | 477.7 | 335.9 | 11.2 | 7.9 |
| 4 | Concombres | 0103 | 3110 | 1196.1 | 799.1 | 28.0 | 18.7 |
| 5 | Concombres | 0104 | 3110 | 891.9 | 587.3 | 20.9 | 13.8 |
| TOT. | | | | 3239.0 | 2188.8 | 75.9 | 51.3 |

Press any key to continue...

Fig. 4.12

HORTICER - HC

RESULTS — MONTHLY BALANCE WITHOUT SCREEN — HORTICERN

| Month | Tot durat Days | Gross needs MJ/m2 | Energ. col. MJ/m2 | Elect. contr. MJ/m2 | Energy reject MJ/m2 | Energy recov. MJ/m2 | Used energy MJ/m2 | Nett needs MJ/m2 | Energy consump MJ/m2 | Energy consump. Oil kg/m2 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| JAN | 31 | 227.9 | 75.3 | 0.0 | 7.9 | 7.9 | 67.4 | 160.5 | 190.7 | 4.5 |
| FEB | 28 | 253.7 | 125.3 | 0.0 | 35.9 | 35.9 | 89.4 | 164.3 | 194.1 | 4.5 |
| MAR | 31 | 319.5 | 226.7 | 0.0 | 102.3 | 102.3 | 124.4 | 195.1 | 229.9 | 5.4 |
| APR | 30 | 233.4 | 335.8 | 0.0 | 232.9 | 130.5 | 102.9 | 130.5 | 156.3 | 3.7 |
| MAY | 31 | 147.7 | 410.5 | 0.0 | 337.2 | 74.5 | 73.2 | 74.5 | 93.1 | 2.2 |
| JUN | 30 | 0.0 | 461.8 | 0.0 | 461.8 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| JUL | 31 | 0.0 | 497.1 | 0.0 | 497.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| AUG | 27 | 0.0 | 340.9 | 0.0 | 340.9 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| SEP | 30 | 0.0 | 281.6 | 0.0 | 281.6 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| OCT | 31 | 0.0 | 176.0 | 0.0 | 176.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| NOV | 25 | 89.9 | 69.8 | 0.0 | 31.5 | 31.5 | 38.3 | 51.6 | 65.5 | 1.5 |
| DEC | 31 | 219.2 | 60.5 | 0.0 | 3.9 | 3.9 | 56.6 | 162.6 | 193.1 | 4.5 |
| YEAR | 356 | 1491.4 | 3061.5 | 0.0 | 2509.3 | 386.6 | 552.2 | 939.2 | 1122.7 | 26.3 |

Press any key to continue...

Fig. 4.13

connessi a capitoli di spesa importanti (energia, fitofarmaci, rifiuti).

La credibilità del marchio MPS è strettamente correlata ad una efficace ed indipendente attività di ispezione condotta dal gruppo SGS. Il meccanismo di rilascio della certificazione MPS prevede una valutazione di diversi parametri o indicatori ambientali che viene tradotta in un punteggio. Sono oggetto di monitoraggio e ispezione i seguenti aspetti del processo produttivo:

- principi attivi impiegati per la protezione delle colture (massimo di 40 punti attribuibili);
- consumo energetico (massimo di 30 punti attribuibili);
- impiego di concimi e ammendanti (massimo di 20 punti attribuibili);



HORTICER - HC

RESULTS — MONTHLY BALANCE WITH SCREEN — HORTICERN

| Month | Tot durat Days | Gross needs MJ/m2 | Energ. col. MJ/m2 | Elect. contr. MJ/m2 | Energy reject MJ/m2 | Energy recov. MJ/m2 | Used energy MJ/m2 | Nett needs MJ/m2 | Energy consump MJ/m2 | Energy consump. Oil kg/m2 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| JAN | 31 | 181.3 | 75.3 | 0.0 | 7.9 | 7.9 | 67.4 | 113.9 | 134.6 | 3.2 |
| FEB | 28 | 203.2 | 125.3 | 0.0 | 35.9 | 35.9 | 89.4 | 113.8 | 133.9 | 3.1 |
| MAR | 31 | 261.6 | 226.7 | 0.0 | 102.3 | 102.3 | 124.4 | 137.2 | 160.9 | 3.8 |
| APR | 30 | 196.2 | 335.8 | 0.0 | 232.9 | 93.3 | 102.9 | 93.3 | 111.0 | 2.6 |
| MAY | 31 | 126.8 | 410.5 | 0.0 | 337.2 | 53.6 | 73.2 | 53.6 | 66.1 | 1.5 |
| JUN | 30 | 0.0 | 461.8 | 0.0 | 461.8 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| JUL | 31 | 0.0 | 497.1 | 0.0 | 497.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| AUG | 27 | 0.0 | 340.9 | 0.0 | 340.9 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| SEP | 30 | 0.0 | 281.6 | 0.0 | 281.6 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| OCT | 31 | 0.0 | 176.0 | 0.0 | 176.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| NOV | 25 | 68.9 | 69.8 | 0.0 | 31.5 | 30.5 | 38.3 | 30.5 | 38.9 | 0.9 |
| DEC | 31 | 173.6 | 60.5 | 0.0 | 3.9 | 3.9 | 56.6 | 117.0 | 138.1 | 3.2 |
| YEAR | 356 | 1211.5 | 3061.5 | 0.0 | 2509.3 | 327.6 | 552.2 | 659.3 | 783.5 | 18.3 |

Press any key to continue...

Fig. 4.14

HORTICER - HC

DATA — PROJECT BASIC DATA — HORTICERN

PROJECT NAME : DEMO
Description : Démonstration

Trial Nº : 1
Description : Ceci est une démonstration
Date : 04-01-1989

Data Climate : GENEVE
Greenhouse : CERN
Use : MARAICH

RESULTS — TOTAL ANNUAL CONSUMPTION — HORTICERN

| TOTAL ANNUAL CONSUMPTION | | | without scr | with screen |
|---|---|---|---|---|
| Annual consumption | | [MJ/m2] | 1122.7 | 783.5 |
| Annual consumption | Oil | [kg/m2] | 26.3 | 18.3 |

Comments : <ESC> to return to project basic data
Data Results Load Save Print Quit Erase Clear Options Help
<ESC>=acces to main command line Num Lock <F3>=Help

Fig. 4.15

- quantità di rifiuti prodotti e loro gestione (massimo di 10 punti attribuibili).

Il punteggio riportato, il cui schema è valido esclusivamente per i Paesi dell'Europa, permette di inserire l'azienda in uno dei tre livelli di qualità ambientale:

- livello A (punteggio 70-100) massimo livello di compatibilità ambientale e di sostenibilità delle tecniche produttive e gestionali dell'azienda;
- livello B (punteggio 50-70);
- livello C (punteggio 0-50 oppure registrazioni incomplete).

L'attribuzione dei punteggi alle aziende non risulta tuttavia una imposizione, ma deriva da un processo partecipativo; inizialmente vengono scelte alcune aziende rappresentative ed eterogenee per dimensioni, conduzione e tipo di coltura. Si forma quindi un gruppo di studio che, oltre alla presenza dei produttori, può vedere l'attiva partecipazione del comitato tecnico MPS e di altre istituzioni scientifiche. Questo gruppo ristretto di produttori inizierà a quantificare, basandosi sull'esperienza e sulle reali modalità di conduzione aziendale, il valore dei parametri alla base della attribuzione del punteggio. In tal modo saranno accuratamente definiti, effettuando un monitoraggio costante per un periodo di un anno, i seguenti elementi:

- gli *environmental cluster* ovvero un gruppo di colture omogeneo per esigenze e consumo di fitofarmaci, fertilizzanti ed energia;
- i *company standard* ovvero i parametri di riferimento per l'attribuzione dei punteggi.

La raccolta dei dati e la loro valutazione relativamente ai parametri citati in precedenza (prodotti fitosanitari, fertilizzanti, energia, rifiuti, ecc.) vengono effettuate in 13 periodi durante un intervallo di tempo di un anno. Gli standard degli *environmental cluster* sono confrontati con le registrazioni eseguite in azienda, quantificando gli scostamenti in un punteggio per ciascun parametro considerato. Nel caso in cui una azienda sia caratterizzata da una eterogeneità di colture e quindi comprenda più *environmental cluster* verrà applicata

Fig. 4.16 - I marchi di qualità ambientale. Accanto al marchio MPS è rappresentato il VMS, l'equivalente dell'MPS in Belgio, ed il Signatuur, un marchio che indica l'adesione ad un sistema di produzione integrato a basso impatto ambientale nel settore del florovivaismo

una media ponderata per cui questa riceverà un unico punteggio di qualificazione.

Le registrazioni dei parametri effettuate dal produttore vengono revisionate dal comitato tecnico MPS quattro volte all'anno, mentre le attività di ispezione e sorveglianza svolte dalla SGS riguardano annualmente il 30% delle aziende aderenti al marchio MPS.

Il marchio MPS viene attribuito esclusivamente alle aziende inserite al livello A.

*Il sistema di certificazione Milieukeur*

Il sistema Milieukeur viene gestito da un'organizzazione indipendente, chiamata Stichting Milieukeur, a cui partecipano rappresentanti delle istituzioni, dei consumatori, degli industriali, dei commercianti e delle associazioni ambientaliste olandesi. Tale marchio è limitato ai produttori olandesi e viene apposto su varie tipologie di prodotti (anche non agricoli), il cui processo produttivo è risultato conforme a specifici requisiti per la tutela dell'ambiente; nel caso dei prodotti agricoli, il processo produttivo deve essere caratterizzato dal ridotto impiego di prodotti chimici di sintesi e dall'adozione di una sistema di produzione integrata. Dal luglio 1997, l'utilizzo del marchio Milieukeur è stato esteso ai fiori, alle piante ornamentali ed ai prodotti florovivaistici.

La valutazione della compatibilità ambientale del processo produttivo viene eseguita, come nel caso dell'MPS, mediante la rilevazione di una serie di parametri in azienda ed il successivo confronto con dei valori standard. I parametri rilevati sono:

- nutrienti e fertilizzanti (quantità impiegate);
- fitofarmaci (quantità e tipologia dei fitofarmaci impiegati);
- energia (consumo annuale);
- strutture produttive (tipologia delle serre);
- suolo e utilizzo del territorio (monitoraggio dello stato di conservazione del suolo);
- acqua (consumo annuale);
- rifiuti (modalità di raccolta e smaltimento).

La gestione del sistema e l'attribuzione del marchio è affidata ad un comitato tecnico il quale definisce anche i principi e gli standard per l'accreditamento dei prodotti. Questi vengono aggiornati periodicamente in funzione del progresso tecnico.

Fig. 4.17 – Il marchio Milieukeur

Fig. 4.18 – Il marchio KUZ.



*Il marchio Kontrollierter Umweltgerechter Zierpflanzenbau (KUZ)*

Il Kontrollierter Umweltgerechter Zierpflanzenbau (KUZ) è un sistema di certificazione finalizzato a promuovere una produzione florovivaistica ecocompatibile, ideato e gestito dal Bundesverband Zierpflanzen (BVZ), una associazione di produttori tedeschi che rappresenta circa 10.000 operatori del settore.

Il BVZ ha predisposto delle linee guida per una conduzione compatibile con l'ambiente delle attività connesse con la produzione di piante ornamentali e floricole. Il sistema di certificazione su base volontaria, prevede il monitoraggio costante dei seguenti aspetti:

- suolo
- impiego di fertilizzanti e ammendanti
- irrigazione e gestione della risorsa acqua
- protezione delle colture
- energia
- marketing "verde" e comunicazione
- gestione dei rifiuti
- protezione del paesaggio e della biodiversità.

Per ognuno di questi aspetti sono stati definiti dei riferimenti qualitativi e quantitativi a cui l'azienda deve conformarsi per ottenere la certificazione. I controlli, effettuati dai tecnici del BVZ, sono incentrati sulla verifica della corretta e conforme attuazione delle linee guida per la buona conduzione aziendale.

Il BVZ ha chiesto nell'ottobre 1998 di poter integrare il proprio sistema con l'MPS (Milieu Project Sierteelt), considerando la notevole importanza del mercato olandese soprattutto per le piante ornamentali e la significativa diffusione di tale schema di gestione ecocompatibile delle produzioni florovivaistiche.

## 4.4 Indagine sul rendimento dei generatori di calore

A completamento del presente lavoro, la convenzione ARSIA-DIAF ha previsto l'esecuzione di una serie di verifiche su generatori di calore installati in aziende private. Essendo stato possibile effettuare solamente un numero limitato di misurazioni, si è scelto di operare in un'area limitata (il comune di Pescia) e di diversificare per tipologia e dimensione le aziende visitate.

Durante la prima fase dell'indagine, sono state contattate le aziende per verificare la loro disponibilità: circa il 70% di queste ha risposto positivamente alla richiesta di poter effettuare gratuitamente il controllo di un generatore di calore.

Nella seconda fase, sono state eseguite le misurazioni a cura di una ditta specializzata che ha anche provveduto alla predisposizione di aperture a norma per l'inserimento dei sensori nella canna fumaria (rilevamento della temperatura e analisi dei fumi secondo la norma UNI 10389). Contemporaneamente, è stato compilato un questionario (riportato al termine del paragrafo), in cui venivano richieste tutte le informazioni necessarie ad effettuare la simulazione con Horticern.

In sintesi, le misurazioni effettuate hanno permesso di stabilire che i parametri di funzionamento della maggior parte dei generatori controllati erano corretti. Solo in alcuni casi, il rendimento del generatore di calore risultava più basso del dovuto.

L'analisi dei risultati di tale indagine, pur non avendo una valenza statistica a causa del limitato numero di misurazioni effettuate, ha permesso di esprimere una serie di valutazioni positive sulla utilità di promuovere un sistematico controllo degli impianti di riscaldamento impiegati nelle serre.

Valutando i diversi aspetti che riguardano una non corretta messa a punto dei generatori di calore e cioè:

- il danno economico per l'imprenditore dovuto ad un maggiore consumo di combustibile;
- l'inquinamento a livello locale causato dalla emissione di fuliggine e sostanze tossiche con i fumi;
- l'inquinamento a livello globale causato dalla emissione di anidride carbonica;
- l'impoverimento di fonti energetiche non rinnovabili (petrolio) ed il peggioramento del bilancio energetico della nostra regione appare opportuno che le azioni da intraprendere siano impostate sul danno economico subito dall'imprenditore a causa del basso rendimento del generatore. Modalità di intervento basate su incentivi calibrati, piuttosto che l'imposizione di apposite norme, potrebbero anche in questo caso rappresentare la soluzione più efficace.

Per quanto concerne la simulazione effettuata con *Horticern* sui dati rilevati, è emerso che il risparmio ottenuto con una corretta messa a punto dei generatori di calore compensa la spesa di una periodica manutenzione.

***Questionario n.***

1) Tipo di serra:

Serra: multipla (*) / singola

(*) Numero di campate:

2) Larghezza complessiva:

3) Lunghezza lato:

4) Lunghezza complessiva:

5) Altezza alla gronda (tipologia "a" e "b"):

6) Altezza al colmo:

7) Altezza del muretto perimetrale:

8) Materiale della copertura:

tetto: pareti:

9) Materiale della struttura portante:

10) Tenuta all'aria della serra:

buona / mediocre / scarsa

11) Schermatura tetto: SI (*) / NO

(*)Posizione schermi Paralleli alle falde / orizzontali (°)

(°) Altezza schermi da terra:

12) Schermatura pareti laterali: SI / NO

13) Schermatura testate: SI / NO

14) Materiale dello/gli schermo/i:

15) Tenuta degli schermi termici:

buona / mediocre / scarsa

16) Modalità di apertura degli schermi:

normale / ritardata / sempre in posizione

16) Tipo di combustibile utilizzato per il riscaldamento:

17) Consumo annuo di combustibile stimato in base al piano colturale descritto di seguito:

18) Modalità di distribuzione del calore:

aria / a livello della coltura

19) Potenza del generatore di calore:

20) Dispositivi elettrici presenti nella serra:

21) Somma delle potenze elettriche dei suddetti dispositivi:

21) Deumidificazione:

nessuna / naturale(*) / meccanica(°)

(*) area delle aperture: (°) portata ventilatori (m³/h):
angolo di apertura:

**Piano colturale:**

Coltura: Data inizio e fine ciclo

T media diurna: T media notturna:

T di ventilazione:

# Appendice A - Glossario e unità di misura

**Arcarecci:** travetti per sorreggere i profili portavetro e ripartire i carichi sulla struttura principale della serra.

**Azimut:** angolo tra il piano verticale passante per il sole ed il piano meridiano del luogo di osservazione.

**Conduzione:** propagazione del calore tra due corpi a contatto o tra due parti dello stesso corpo a differente temperatura.

**Convezione:** trasmissione del calore tra un solido ed un fluido (ad esempio, l'aria). Le parti più calde del fluido, essendo più leggere, tendono a salire verso l'alto.

**Derivativo:** riferito ad un sistema di controllo. Il sistema interviene sulla base di quanto rapidamente avviene lo scostamento tra i valori rilevati ed il valore impostato.

**DPL:** Distillati Leggeri di Petrolio (ad esempio, le benzine).

**Feed Back:** riferito ad un sistema di controllo che interviene sulla base della differenza tra il valore rilevato attraverso i sensori e quello impostato dall'utilizzatore.

**GPL:** Gas di Petrolio Liquefatto (usualmente, una miscela di gas in cui sono prevalenti propano e butano).

**Integrativo:** riferito ad un sistema di controllo. Il sistema interviene in base alla durata ed all'entità dello scostamento dei valori rilevati rispetto al valore impostato.

**Irraggiamento:** lo scambio di calore per irraggiamento avviene quando un corpo è ad una differente temperatura rispetto agli oggetti circostanti. Un corpo irradia calore verso oggetti più freddi, oppure acquista calore trovandosi in prossimità di un oggetto più caldo. L'aria circostante non è scaldata da questa forma di trasferimento del calore. L'irraggiamento di calore si propaga in linea retta e non è influenzato dai movimenti dell'aria.

**Microterme:** specie o varietà vegetali aventi basse esigenze termiche.

**Modulo strutturale:** interasse tra due elementi strutturali della serra (travi + pilastri).

**Portata:** volume di acqua o di aria trasportata nella unità di tempo. Si misura in m³/h oppure in kg/h.

**Potenza al focolare:** potenza calorica bruciata dalla caldaia. Si può misurare in kcal/h.

**Potere calorifico:** quantità di calore sviluppata dalla combustione completa di un kg di combustibile. Si può misurare in kcal/kg oppure, per i combustibili gassosi, in kcal/Nm³. Nm³ ha il significato che il metro cubo occupato dal gas è stato rilevato in condizioni standard.

**Prevalenza:** altezza di sollevamento dell'acqua in una pompa. Si misura in metri oppure in millimetri di colonna d'acqua.

**Proporzionale:** riferito ad un sistema di controllo. Il sistema interviene in modo proporzionale alla differenza tra valore rilevato e quello impostato.

**Punto di rugiada:** è la temperatura alla quale una sostanza allo stato di vapore inizia a condensare a pressione costante. Il *punto di rugiada acido* indica la temperatura di condensazione dei vapori dell'anidride solforosa e solforica.

**Rendimento di combustione:** è il rapporto tra il calore utilizzato ed il calore sviluppato nella combustione.

**Risoluzione:** indica la più piccola differenza nei valori rilevati che uno strumento di misura può indicare senza errore.

## Unità di misura

| | | |
|---|---|---|
| Lunghezza | 1 mm | 0,039 in |
| | 25,4 mm | 1 in |
| | 1 m | 3,28 ft |
| | 304,8 mm | 1 ft |
| | 1 m | 1,09 yd |
| | 914,4 mm | 1 yd |
| Area | 1 cm² | 0,155 in² |
| | 6,45 cm² | 1 in² |
| | 1 m² | 10,76 ft² |
| | 0,09 m² | 1 ft² |
| | 1 m² | 1,19 yd² |
| | 0,83 m² | 1 yd² |
| | 1 ha | 2,47 acre |
| | 0,4 ha | 1 acre |
| Volume | 1 cm³ | 0,06 in³ |
| | 16,38 cm³ | 1 in³ |
| | 1 dm³ | 61,03 in³ |
| | 28,317 cm³ | 1 ft³ |
| | 1 m³ | 1,3 yd³ |
| | 0,76 m³ | 1 yd³ |
| | 1 l | 1,76 pt |
| | 0,56 l | 1pt |
| | 1 l | 0,22 gal |
| | 4,54 l | 1 gal |
| Peso | 1 g | 0,03 oz |
| | 28,34 g | 1 oz |
| | 1 kg | 2,2 lb |
| | 0,45 g | 1 lb |

**Temperatura**

Da °C a °F – moltiplicare per 1,8 ed aggiungere 32
Da °F a °C – sottrarre 32 e moltiplicare per 5/9

| | | |
|---|---|---|
| Portata | 1 m³ / min | 35,3 ft³ / min |
| | 0,028 m³ / min | 1 ft³ / min |
| | 1 GPh | 3,78 l / h |
| Densità | 1 kg/m³ | 0,06 lb / ft³ |
| | 16,02 kg/m³ | 1 lb / ft³ |
| | 1 kg / l | 10,02 lb / gal |
| | 0,099 kg / l | 1 lb / gal |
| Energia | 1 kWh | 860 kcal |
| | 0,00116 kWh | 1 kcal |
| | 1 kWh | 1,36 CV / h |
| | 0,736 kWh | 1 CV / h |
| | 1 kWh | 3.600.000 J |
| | 1 kcal | 4186 J |
| | 1 kcal | 3,968 BTU |
| | 1 BTU (°) | 1054,6 J |
| | 1 BTU (°) | 252 cal |
| Potenza | 1 kW | 860 kcal / h |
| | 0,00116 kW | 1 kcal / h |
| | 1,014 CV | 1 HP |
| | 0,745 kW | 1 HP |
| | 1 kW | 1,36 CV |
| | 0,736 kW | 1 CV |
| | 1 BTU / s | 1054,6 W |
| | 1 kcal / h | 1,163 W |

(°) BTU = quantità di calore necessaria per aumentare la temperatura di 1°F di una libbra di acqua.

# APPENDICE B - Le normative

*I riferimenti normativi per le richieste di combustibile a prezzo agevolato sono attualmente i seguenti:*

MINISTERO DELL'ECONOMIA E DELLE FINANZE
***Decreto 14 dicembre 2001, n. 454***
*"Regolamento concernente le modalità di gestione dell'agevolazione fiscale per gli oli minerali impiegati nei lavori agricoli, orticoli, in allevamento, nella silvicoltura e piscicoltura e nella florovivaistica"*

"...Per il gasolio utilizzato per il riscaldamento delle serre adibite a colture florovivaistiche l'accisa si applica nella misura del 10% dell'aliquota normale. L'agevolazione è concessa mediante rimborso dell'accisa, effettuato nei confronti degli esercenti depositi per la distribuzione dei prodotti petroliferi agevolati per uso agricolo limitatamente alle quantità di gasolio agevolato per uso agricolo assegnate e prelevate per il riscaldamento delle serre adibite a colture floro-vivaistiche, mediante accredito dell'imposta ai sensi dell'art. 14 del Testo Unico approvato con decreto legislativo 26 ottobre 1995, n. 504...".

MINISTERO DELLE POLITICHE AGRICOLE E FORESTALI
***Decreto 26 febbraio 2002***
*"Determinazione dei consumi medi dei prodotti petroliferi impiegati in lavori agricoli, orticoli, in allevamento, nella silvicoltura e piscicoltura e nelle coltivazioni sotto serra ai fini dell'applicazione delle aliquote ridotte o dell'esenzione dell'accisa" (pubblicato in Gazz. Uff. n. 67, del 20 marzo 2002)*

*"... Art. 1.*
*Determinazione dei consumi medi dei prodotti petroliferi da ammettere all'impiego agevolato in agricoltura*

1. I consumi medi standardizzati di gasolio da ammettere all'impiego agevolato in lavori agricoli, orticoli, in allevamento, nella silvicoltura e piscicoltura e nelle coltivazioni sotto serra di cui alle premesse, intese queste ultime quali produzioni vegetali protette definiti dal parametro ettaro coltura, ovvero da altri parametri, sono determinati nell'allegato 1 annesso al presente decreto.
2. Le assegnazioni, riferite ai consumi di cui al comma precedente, sono concesse agli aventi diritto per i valori medi standardizzati indicati nell'allegato 1 previa corrispondente richiesta e dichiarazione di avvenuto impiego; nel caso di affidamento di determinati lavori ad imprese agromeccaniche o ad altri soggetti, di utilizzo di tecniche colturali semplificate ovvero di esecuzione di lavori non direttamente collegati al ciclo produttivo, gli aventi diritto richiedono un quantitativo di gasolio pari a quello indicato nell'allegato 1 per ciascuna lavorazione da effettuare...".

*"...Norme finali*
I decreti ministeriali 24 febbraio 2000 e 9 marzo 2001 sono abrogati. Con successivo decreto si potrà procedere alla modifica del presente provvedimento e dell'annesso allegato 1...".

REGIONE TOSCANA - DIPARTIMENTO DELLO SVILUPPO ECONOMICO - SERVIZIO SERVIZI ALLE IMPRESE AGROFORESTALI E COOPERAZIONE
***Dirigenza - Decreto n. 004422 del 30 agosto 2002***
*(B.U.R.T. n. 39 del 25 settembre 2002, Parte II, Sezione I)*
*"Determinazioni in ordine di consumi medi dei prodotti petroliferi agevolati impiegati in lavori agricoli, orticoli, in allevamento, nella selvicoltura e piscicoltura e nelle coltivazioni sotto serra ai fini della applicazione delle aliquote ridotte o dell'esenzione dell'accisa ai sensi del decreto Mi.P.A.F. 26 febbraio 2002"*

"...Visto il Decreto del Ministero delle Politiche Agricole e Forestali del 26 febbraio 2002 che prevede:

Determinazione dei consumi medi dei prodotti petroliferi impiegati in lavori agricoli, orticoli, in allevamento, nella silvicoltura e piscicoltura e nelle coltivazioni sotto serra ai fini dell'applicazione delle aliquote ridotte o dell'esenzione dell'accisa;

Rilevato che il Decreto del Ministero delle Politiche Agricole e Forestali del 26 febbraio 2002 riporta in allegato un elenco di lavorazioni e relativi consumi che sostituisce quello di cui al Decreto ministeriale del 9 marzo 2001, prevedendo la possibilità per le Regioni di integrare il suddetto elenco con eventuali lavori mancanti determinandone i consumi;

Considerato che l'esperienza maturata nel primo anno di attuazione delle nuove disposizioni ha evidenziato la necessità di rivedere alcuni parametri e introdurre alcune integrazioni finalizzate a rispondere meglio alle effettive esigenze degli operatori agricoli e forestali e a rendere più agevoli le procedure;

Ritenuto pertanto di apportare alla modulistica e alle tabelle che costituivano gli allegati alla Delibera G.R. n. 769/2001 le modificazioni e le integrazioni, che vengono evidenziate negli allegati al presente atto, mirate a recepire le condizioni di miglior favore previste con i parametri relativi ai consumi previsti dal decreto del Ministero delle Politiche Agricole e Forestali ed alle nuove specificazioni previste sia per le colture che per le lavorazioni nonché ad alcune delle modificazioni procedurali introdotte dal Decreto del Ministero dell'Economia; ..."

"...DECRETA

1.- di approvare le sotto indicate tabelle allegate al presente decreto di cui fanno parte integrante e sostanziale:

- Allegato A - Dichiarazione annua assegnazione carburante agricolo;
- Allegato B - Libretto di controllo per utenti macchine agricole;
- tabella B/1 - Gasolio/Benzina lavorazioni agricole in conto proprio;
- tabella B/2 - Gasolio lavorazioni agricole in conto terzi;
- tabella B/3 - Allevamenti colture protette e trasformazione;
- tabella B/4 - Consorzi di bonifica;
- tabella B/5 - Selvicoltura;
- tabella B/6 - Maggiorazioni fuori campo..."

Per quanto concerne gli adempimenti burocratici per ottenere il combustibile a prezzo agevolato, è necessario presentare all'Ufficio UMA della provincia di appartenenza la seguente documentazione relativa all'anno 2003:
- Modello richiesta.
- Allegato A (lavorazioni) – nel quale indicare le lavorazioni che verranno effettuate nel corso del 2003.
- Allegato B (dichiarazioni dei consumi) – con il quale giustificare i consumi di carburante nel 2002.

Il termine entro il quale presentare la richiesta di assegnazione e la dichiarazione dei consumi è il 30 giugno 2003.
Tutte le aziende agricole che hanno avuto un'assegnazione nel 2002 sono tenute a presentare la dichiarazione dei consumi. Permane la possibilità per tutte le aziende già beneficiarie dell'assegnazione nel 2002 di richiedere la stessa assegnazione per il 2003.
Tutta la documentazione sopra elencata è stata riportata nell'*Appendice D.*



*Altri riferimenti legislativi e normativi, riguardanti gli argomenti trattati nel presente manuale, vengono riportati di seguito suddivisi per argomento:*

### Incendi

- D.M. 16 novembre 1983 – Elenco delle attività sottoposte ad ispezione da parte dei Vigili del Fuoco. Successive modificazioni con D.M. 9 luglio 1988 e con D.M. 17 dicembre 1991.
- D.M. 12 aprile 1996 – Approvazione della regola tecnica di prevenzione incendi per la progettazione, costruzione ed esercizio degli impianti termici alimentati da combustibili gassosi. Successive modificazioni con D.M. 19 febbraio 1997 e con D.M. 16 novembre 1999.
- D.P.R. 12 gennaio 1998 n. 37 – Regolamento recante disciplina dei procedimenti relativi alla prevenzione degli incendi. Chiarimenti applicativi con C.M. 5 maggio 1998 n. 9.
- D.M. 10 marzo 1998 – Criteri generali di sicurezza antincendio e per la gestione dell'emergenza nei luoghi di lavoro. Successivi chiarimenti con la C.M. 8 luglio 1998 n. 16.

### Sicurezza sui luoghi di lavoro

- D.lgs. 19 settembre 1994 n. 626 – Attuazione di una serie di direttive CEE in materia di miglioramento della sicurezza e della salute dei lavoratori sul luogo di lavoro. Modifiche ed integrazioni, tra gli altri, con D.lgs. 19 marzo 1996 n. 242, con la C.M. 27 giugno 1996 n. 89 e, relativamente agli incendi, con la C.M. 29 agosto 1995 n. 1564/4146.

### Impianti di riscaldamento

- Legge 6 dicembre 1971 n. 1083 – Norme per la sicurezza dell'impiego del gas combustibile.
- D.M. 1° dicembre 1975 – Norme di sicurezza per apparecchi contenenti liquidi caldi sotto pressione.
- D.M. 24 novembre 1984 – Norme di sicurezza antincendio per il trasporto, la distribuzione, l'accumulo e la utilizzazione del gas naturale. Modifiche ed integrazioni, tra gli altri, con D.M. 12 febbraio 1989, D.M. 22 maggio 1989, D.M. 27 novembre 1989, D.M. 21 dicembre 1991, D.M. 16 novembre 1989.
- Legge n. 46, 5 marzo 1990 – Norme per la sicurezza degli impianti. Modifiche ed integrazioni, tra gli altri, con C.M. 22 marzo 1991 n. 3239, C.M. 10 settembre 1991 n. 3253, D.P.R. 6 dicembre 1991 n. 447 (regolamento di attuazione), C.M. 30 aprile 1992 n. 297556, D.P.R. 13 maggio 1996 n. 218.
- Norma UNI 7700 (1977) – Generatori di aria calda a scambio diretto. Criteri di sicurezza e di progettazione.
- Norma UNI 8125 (1982) – Generatori di aria calda funzionanti a gas con bruciatore ad aria soffiata. Prescrizioni di sicurezza.
- Norma UNI 8364 (1984) – Impianti di riscaldamento. Controllo e manutenzione. Aggiornamento con UNI FA – 8364/146.
- Norma UNI 9166 (1987) – Generatori di calore. Determinazione del rendimento utile a carico ridotto per la classificazione ad alto rendimento.
- Norma UNI 7271 (1988) – Caldaie ad acqua funzionanti a gas con bruciatore atmosferico. Prescrizioni di sicurezza.
- Norma UNI 9317 (1989) – Impianti di riscaldamento. Conduzione e controllo.
- Norma UNI 9461 (1990) – Generatori di aria calda a gas con bruciatore atmosferico non equipaggiati con ventilatore nel circuito di combustione. Prescrizioni di sicurezza.
- Norma UNI 9893 (1991) – Caldaie ad acqua funzionanti a gas corredate di bruciatore atmosferico con ventilatore nel circuito di combustione. Prescrizioni di sicurezza.
- Norma UNI 10201 (1993) – Generatori di calore alimentati con combustibili solidi provenienti dalla lavorazione dei residui agricoli e/o forestali. Definizioni, prove tecniche e requisiti.
- Norma UNI 10389 (1994) – Generatori di calore. Misurazione in opera del rendimento di combustione.
- Norma UNI 10412 (1994) – Impianti di riscaldamento ad acqua calda. Prescrizioni di sicurezza.
- Norma UNI EN230 (1997) – Bruciatori monoblocco di olio combustibile a polverizzazione. Dispositivi di sicurezza, di comando e di regolazione. Tempi di sicurezza.
- Norma UNI 6579 (1998) – Combustibili liquidi per usi termici industriali e civili. Classificazione e caratteristiche.

### Sostegno agli investimenti per il risparmio energetico

- D.L. 30 aprile 1998 n. 173 – Disposizioni in materia di contenimento dei costi di produzione e per il rafforzamento strutturale delle imprese agricole ai sensi della legge 449/97.
- D.M. 11 settembre 1999 n. 401 – Regolamento recante le norme di attuazione del D.L. 173/98 per la concessione di aiuti a favore della produzione ed utilizzazione di fonti energetiche rinnovabili nel settore agricolo.

### *Fonti di energia diverse dai combustibili fossili*

- D.M. 16 gennaio 1995. Norme tecniche per il riutilizzo in un ciclo di combustione per la produzione di energia dei residui derivati da cicli di produzione e di consumo.
- D.M. 22 maggio 1998 n. 219. Regolamento recante le modalità di applicazione del trattamento agevolato per il biodiesel e criteri di ripartizione del contingente agevolato.
- Delibera com. intermin. 6 agosto 1999 n. 126. Libro bianco per la valorizzazione delle fonti rinnovabili.
- Norma UNI 10635 (1997) – Caratteristiche chimico-fisiche del biodiesel.

### *Inquinamento dell'aria*

- Legge 13 luglio 1966 n. 615. Provvedimento contro l'inquinamento atmosferico. Regolamento di attuazione, limitatamente agli impianti termici, nel D.P.R. 22 dicembre 1970 n. 1391.
- Circolare Ministero degli Interni 29 luglio 1971 n. 73 – Impianti termici, ad olio combustibile o a gasolio. Istruzioni per l'applicazione delle norme contro l'inquinamento atmosferico; disposizioni ai fini della prevenzione incendi.
- D.P.R. 25 luglio 1991. Modifiche dell'atto di indirizzo e coordinamento in materia di emissioni poco significative e di attività a ridotto inquinamento atmosferico emanato con D.P.C.M. in data 21 luglio 1989.
- D.L. 27 gennaio 1992 n. 97 – Attuazione della direttiva CEE 87/219 relativa al tenore di zolfo di alcuni combustibili liquidi.
- Direttiva CEE 13 settembre 1993 n. 76 – Limitazioni delle emissioni di biossido di carbonio migliorando l'efficienza energetica.
- Delibera com. intermin. 25 febbraio 1994 – Approvazione del programma nazionale per il contenimento delle emissioni di anidride carbonica entro il 2000 ai livelli del 1990.
- D.P.C.M. 2 ottobre 1995 – Disciplina delle caratteristiche merceologiche dei combustibili aventi rilevanza ai fini dell'inquinamento atmosferico nonché delle caratteristiche tecnologiche degli impianti di combustione.
- D.P.C.M. 14 novembre 1995 – Recepimento della direttiva CEE 93/12 relativa al tenore di zolfo in taluni combustibili liquidi.
- D.L. 4 agosto 1999 n. 351. Attuazione della direttiva CE 96/62 in materia di valutazione e di gestione della qualità dell'aria ambiente.
- D.L. 4 agosto 1999 n. 372. Attuazione della direttiva CE 96/61 relativa alla produzione e riduzione integrata dell'inquinamento.

### *Risparmio energetico*

- D.L. 17 marzo 1980 n. 68 – Disposizioni sui consumi energetici.
- D.M. 30 luglio 1986 – Determinazione delle zone climatiche e dei valori minimi e massimi dei relativi coefficienti volutici globali di dispersione termica.
- Legge 9 gennaio 1991 n. 10 – Norme per l'attuazione del piano energetico nazionale in materia di uso razionale dell'energia, di risparmio energetico e di sviluppo delle fonti rinnovabili.
- D.P.R. 26 agosto 1993 n. 412 – Regolamento recante norme per la progettazione, l'installazione, l'esercizio e la manutenzione degli impianti termici degli edifici ai fini del contenimento dei consumi energetici.
- D.M. 2 aprile 1998 – Modalità di certificazione delle prestazioni energetiche degli edifici e degli impianti ad essi connessi.

# Appendice C - La formazione del prezzo del gasolio

La tabella rappresenta la composizione del prezzo del gasolio agricolo e per florovivaismo. Il periodo di riferimento è la 38^ settimana dell'anno 2000. I dati riportati nella tabella derivano da una ricerca dell'associazione produttori florovivaisti "Flormarca" di Treviso.

| | *Gasolio agricolo (lire / kg)* | *Gasolio per florovivaismo (lire / kg)* |
|---|---|---|
| Accisa | 265,53 | 88,51 |
| Prezzo netto Marghera | 839,47 | 839,47 |
| **Prezzo netto con accisa** | **1105** | **927,98** |
| Costo di distribuzione (da 30 a 100 lire / kg) | 40 | 40 |
| IVA | 114,5 | 96,8 |
| **Prezzo (IVA e distribuzione inclusi)** | **1259,5** | **1064,78** |

# APPENDICE D
# - Moduli per la richiesta di combustibile a prezzo agevolato

## N. DITTA

***REGIONE TOSCANA • AMMINISTRAZIONE PROVINCIALE DI .....***
***DICHIARAZIONE ANNO 2003***
***IN ORDINE ALL'ASSEGNAZIONE DI CARBURANTE AGRICOLO***
***CON APPLICAZIONE DI ALIQUOTA RIDOTTA DI ACCISA***

❑ RICHIESTA INIZIALE
❑ INTEGRAZIONE ALLA RICHIESTA GIÀ PRESENTATA IN DATA PER:
❑ Assegnazione per iscrizione nuovo terreno ❑ Assegnazione per variazione piano di lavoro/piano colturale
❑ Cessazione attività

Il sottoscritto:
nato a il
residente a tel.
nella sua qualità di rappresentante legale / titolare / presidente
della Ditta
con sede in via / piazza n.
Codice Fiscale: Partita IVA:

dichiara sotto la propria responsabilità, ai sensi del D.P.R. n. 445/2000 e successive modifiche ed integrazioni

➪ 1) di confermare per l'anno 2003 i dati concernenti la dichiarazione anno 2002 relativamente a:
❑ macchine ❑ attrezzature ❑ macchine operatrici ❑ macchine alimentate con energia elettrica o altro
❑ superficie aziendale
❑ piano colturale
❑ piano colturale (con variazione generalità imprese agromeccaniche che realizzano lavorazioni in C.T).
➪ 2) di essere iscritto nel Registro delle Imprese della C.C.I.A.A.
➪ 3) che nel 2003 la Ditta lavorerà per conto:
❑ proprio ❑ terzi ❑ proprio e terzi
➪ 4) che la Ditta condurrà nel 2003 le seguenti aziende agrarie:

| COMUNE | SUPERFICIE DI OGNI AZIENDA IN ETTARI | TITOLO DI POSSESSO | ESTREMI DI REGISTRAZIONE *(Chi non compila questa casella è tenuto alla sottoscrizione della dichiarazione in calce al presente modulo)* |
|---|---|---|---|
| a) | | | |
| b) | | | |
| c) | | | |
| d) | | | |
| e) | | | |
| f) | | | |
| g) | | | |
| h) | | | |
| i) | | | |
| Totale generale | | | |
| Tare non lavorabili | | | |
| Totale lavorabile | | | |

⇨ 5.1) che le macchine adibite a lavori agricoli (ex art. 57 D.lgs. 285/1992) che si intendono utilizzare (Rif. art. 2, comma 3, lettera d) Decreto Ministero delle Finanze 14 dicembre 2001, n. 454) sono le seguenti:

| Genere | Targa stradale o Telaio o Motore | Carburante | Generalità del proprietario *(se diverso dal dichiarante)* |
|---|---|---|---|
| | | | |

⇨ 5.2) ❑ di essere in possesso delle attrezzature atte ad eseguire le lavorazioni indicate nel piano colturale (All. A);
oppure: ❑ che le attrezzature relative alle macchine agricole di cui al punto 5.1) che si intendono utilizzare (Rif. art. 2, comma 3, lettera d) Decreto Ministero delle Finanze 14 dicembre 2001, n. 454) sono le seguenti:

| Genere | Elemento identificativo *(telaio o motore se previsto dalle norme)* | Generalità del proprietario *(se diverso dal dichiarante)* |
|---|---|---|
| | | |

⇨ 5.3) che le macchine operatrici (ex art. 58 D.lgs. 285/1992) permanentemente attrezzate per lavorazioni agricole, che si intendono utilizzare (Rif. art. 2, comma 3, lettera e Decreto Ministero delle Finanze 14 dicembre 2001, n. 454) sono le seguenti:

| Genere | Targa stradale o Telaio o Motore | Generalità del proprietario | Tipo di Lavorazione | Carburante |
|---|---|---|---|---|
| | | | | |

⇨ 6) che le macchine ed attrezzature, impiegate per le stesse attività, alimentate con energia elettrica o combustibili diversi da quelli agevolati (ex art.2, comma 3, Decreto Ministero delle Finanze 14 dicembre 2001, n. 454) sono le seguenti:

| Genere | Alimentata a: | Impiegata nlle colture/lavorazioni |
|---|---|---|
| | | |

⇨ 7) che il fabbisogno di carburante per l'anno 2003, ex Decreto Mi.P.A.F. 26 febbraio 2002, così come integrato da Delibera di G.R.T. n. 769 del 16 luglio 2001 e Decreto Dirigenziale n. 4422 del 30 agosto 2002, è quello indicato nelle seguenti tabelle:
1.1) ❑ 1.2) ❑ 1.3) ❑ 1.4) ❑ 2) ❑ 3) ❑ 4) ❑ 5) ❑ 6) ❑
che sono allegate alla presente dichiarazione per costituirne parte integrante e sostanziale.
⇨ 8) che il quantitativo di carburante acquistato e non utilizzato alla data del 31 dicembre 2002 è pari ai seguenti LITRI di:
gasolio gasolio serra benzina



*(Da riempirsi a cura di coloro che lavorano IN CONTO PROPRIO)*
⇨ 9) che si farà ricorso ad imprese agromeccaniche contoterziste ❑ SI ❑ NO
*solo per coloro che hanno risposto "SI"*
⇨ 9.1) che si farà ricorso alle imprese agromeccaniche per le lavorazioni specificatamente indicate nella Tabella 1.1 o Tabella 1.2 dell'Allegato A, scegliendo di indicare la ragione sociale, le generalità e la sede delle imprese agromeccaniche alle quali si farà ricorso:
❑ contestualmente alla presente richiesta di assegnazione ❑ in sede di consuntivo

*(Da riempirsi a cura dei CONTOTERZISTI)*
⇨ 10) che i nominativi delle attività esercenti per conto delle quali verranno effettuate le lavorazioni
❑ sono indicati nella Tabella 1.3 o Tabella 1.4 dell'Allegato A ❑ verranno indicati in sede di consuntivo

*Spazio riservato ad eventuali annotazioni del richiedente:*

**ALLEGATI:**
1) Fotocopia del documento di identità;
2) Allegato "A" Piano colturale che si compone di n. tabelle
di cui: /TAB. 1.1 /TAB. 1.2 /TAB. 1.3 /TAB. 1.4 /TAB. 2 /TAB. 3 /TAB. 4 /TAB. 5 / TAB. 6
3) Libretto di controllo anno 2002;
4) Allegato "B" Dichiarazione consumi anno 2002.

*Data* *Firma del dichiarante*

Il sottoscritto, ai sensi dell'art. 11 della Legge 675/96, autorizza codesta Amministrazione al trattamento dei dati personali riportati nella presente richiesta di assegnazione ed alla diffusione degli stessi per le finalità istituzionali del servizio.

*Firma*

*Dichiarazione da sottoscriversi da coloro che sono impossibilitati*
*a riportare gli estremi di registrazione del contratto di cui al punto 4), se dovuto*
Il sottoscritto si impegna ad effettuare la debita registrazione mediante la denuncia annuale ed a comunicare gli estremi di registrazione della denuncia stessa entro il termine di sessanta giorni dalla data di effettuazione della registrazione.

*Firma*

*Da riempire a cura dell'Amministrazione Provinciale*
sommatoria TABB. 1.1), 1.2), 1.3), 1.4), 2), 3), 4), 5), 6) BIMESTRE N. RIGA N. ASSEGNAZIONE

| Assegazione in litri / 2003 | | Gasolio | Gasolio serra | Benzina |
|---|---|---|---|---|
| Conto proprio | Rimanenza | | | |
| | lorda | | | |
| | Netta | | | |
| Conto terzi | Rimanenza | | | |
| | lorda | | | |
| | Netta | | | |

**TIMBRO FIRMA E NOTE DELL'UFFICIO**

*Allegato A*

**Tabella 2 colture protette**

| | Unità di misura | Litro/mc/mese | mc | mesi | gasolio |
|---|---|---|---|---|---|
| a Riscaldamento serre | metro cubo | 2,1 | | | |
| TOTALE | | | | | |



*Allegato B*

***DICHIARAZIONE DEI CONSUMI da presentarsi ENTRO IL 30 GIUGNO dell'anno successivo all'assegnazione, oppure, in caso di cessazione dell'attività, entro trenta giorni dalla data di cessazione.***

Il sottoscritto _____ titolare / rappresentante legale della Ditta _____

iscritta all'UMA con numero identificativo _____

➢ che nell'anno 2002 ha lavorato in CONTO PROPRIO /TERZI / PROPRIO E TERZI;

➢ che per l'anno 2002 ha ricevuto un'assegnazione di carburante agevolato pari a LITRI:

| | | | |
|---|---|---|---|
| NETTA | gasolio | gasolio serra | benzina |
| LORDA | gasolio | gasolio serra | benzina |

ai sensi del D.P.R. 445/2000, consapevole delle responsabilità penali a cui può andare incontro per dichiarazioni mendaci, falsità in atti e uso di atti falsi

DICHIARA

1) di avere impiegato negli usi agevolati per i quali erano stati richiesti i seguenti quantitativi in LITRI di carburante agevolato:

gasolio _____ gasolio serra _____ benzina _____

2) che alla data del 31.12.2002 disponeva di una rimanenza dei seguenti quantitativi in LITRI di carburante agevolato:

gasolio _____ gasolio serra _____ benzina _____

3) che gli acquisti di carburante agevolato sono avvenuti, così come da fatture commerciali, conformemente a quanto dichiarato nel libretto di controllo che viene allegato alla presente richiesta;

*(da riempirsi a cura delle Ditte che hanno lavorato in CONTO PROPRIO)*

4.1) ❑ di non avere fatto ricorso alle imprese agromeccaniche

❑ di avere fatto ricorso alle imprese agromeccaniche

❑ già specificate nella richiesta di assegnazione ❑ specificate nell'allegato B.1) alla presente dichiarazione

*(da riempirsi a cura delle Ditte che hanno lavorato in CONTO TERZI)*

4.2) di avere eseguito, così come risultante dalle fatture allegate, le lavorazioni agricole:

❑ già specificate nella richiesta di assegnazione, per le aziende agricole committenti ivi indicate;

❑ per le aziende agricole committenti specificate nell'allegato B.2) alla presente dichiarazione, che si compone di n. _____ fogli

*(da riempirsi a cura delle COOPERATIVE)*

4.3) di avere eseguito le lavorazioni agricole:

❑ già specificate nella richiesta di assegnazione, per i Soci ivi indicati;

❑ per i Soci specificati nell'allegato B.3) alla presente dichiarazione, che si compone di n. _____ fogli

*(da riempirsi a cura di coloro che intendono chiudere la propria posizione presso l'UMA)*

5) di indicare il seguente soggetto al quale si intende cedere la rimanenza di cui al punto 2):

❑ azienda agricola in possesso dei requisiti per l'utilizzo di carburante agevolato

❑ deposito abilitato alla commercializzazione del carburante agevolato.

*Data* _____ *Firma del dichiarante* _____

I dati raccolti con la presente dichiarazione saranno trattati ai sensi della L. 675/96 e potranno essere comunicati ad altre pubbliche Amministrazioni ove l'istruttoria preveda verifiche ed acquisizione di atti presso altri uffici pubblici.

*Allegato B.1*

***Allegato B.1 alla DICHIARAZIONE DEI CONSUMI presentata da Ditta che ha lavorato in CONTO PROPRIO e che non ha individuato le imprese agromeccaniche in sede di richiesta di assegnazione***

***Elenco delle imprese agromeccaniche di cui al punto 4.1) della Dichiarazione dei consumi:***

a) RAGIONE SOCIALE
GENERALITÀ TITOLARE
SEDE LEGALE
per le seguenti lavorazioni (es.: a1, m3)

b) RAGIONE SOCIALE
GENERALITÀ TITOLARE
SEDE LEGALE
per le seguenti lavorazioni (es.: a1, m3)

c) RAGIONE SOCIALE
GENERALITÀ TITOLARE
SEDE LEGALE
per le seguenti lavorazioni (es.: a1, m3)

d) RAGIONE SOCIALE
GENERALITÀ TITOLARE
SEDE LEGALE
per le seguenti lavorazioni (es.: a1, m3)

e) RAGIONE SOCIALE
GENERALITÀ TITOLARE
SEDE LEGALE
per le seguenti lavorazioni (es.: a1, m3)

f) RAGIONE SOCIALE
GENERALITÀ TITOLARE
SEDE LEGALE
per le seguenti lavorazioni (es.: a1, m3)



*Allegato B.2*

***Allegato B.2 alla DICHIARAZIONE DEI CONSUMI presentata da Ditta che ha lavorato in CONTO TERZI e che non ha indicato le Aziende agricole committenti in sede di richiesta di assegnazione***

***Elenco delle aziende agricole committenti di cui al punto 4.2) della Dichiarazione dei consumi:***

Foglio n.

RAGIONE SOCIALE
GENERALITÀ TITOLARE*
ISCRIZIONE C.C.I.A.A.*

** dati da comunicarsi se non ricavabili da altra documentazione allegata*

COLTURA
LAVORI COMPLESSIVI
CARBURANTE CONSUMATO
Rif. fattura (se non presenta dichiarazione sostitutiva di notorietà relativa)

COLTURA
LAVORI COMPLESSIVI
CARBURANTE CONSUMATO
Rif. fattura (se non presenta dichiarazione sostitutiva di notorietà relativa)

COLTURA
LAVORI COMPLESSIVI
CARBURANTE CONSUMATO
Rif. fattura (se non presenta dichiarazione sostitutiva di notorietà relativa)

COLTURA
LAVORI COMPLESSIVI
CARBURANTE CONSUMATO
Rif. fattura (se non presenta dichiarazione sostitutiva di notorietà relativa)

COLTURA
LAVORI COMPLESSIVI
CARBURANTE CONSUMATO
Rif. fattura (se non presenta dichiarazione sostitutiva di notorietà relativa)

COLTURA
LAVORI COMPLESSIVI
CARBURANTE CONSUMATO
Rif. fattura (se non presenta dichiarazione sostitutiva di notorietà relativa)

COLTURA
LAVORI COMPLESSIVI
CARBURANTE CONSUMATO
Rif. fattura (se non presenta dichiarazione sostitutiva di notorietà relativa)

*Allegato B.3*

***Allegato B.3 alla DICHIARAZIONE DEI CONSUMI presentata da COOPERATIVA***

***Elenco dei SOCI di cui al punto 4.3) della Dichiarazione dei consumi:***

Foglio n. _____

RAGIONE SOCIALE della Ditta associata _____
GENERALITÀ TITOLARE _____
ELEMENTI IDENTIFICATIVI DEI TERRENI AI QUALI SI RIFERISCONO LE LAVORAZIONI * _____
** dati da comunicarsi se non ricavabili da altra documentazione allegata*

COLTURA _____
LAVORI COMPLESSIVI _____
CARBURANTE CONSUMATO _____

COLTURA _____
LAVORI COMPLESSIVI _____
CARBURANTE CONSUMATO _____

COLTURA _____
LAVORI COMPLESSIVI _____
CARBURANTE CONSUMATO _____

COLTURA _____
LAVORI COMPLESSIVI _____
CARBURANTE CONSUMATO _____

COLTURA _____
LAVORI COMPLESSIVI _____
CARBURANTE CONSUMATO _____

COLTURA _____
LAVORI COMPLESSIVI _____
CARBURANTE CONSUMATO _____

COLTURA _____
LAVORI COMPLESSIVI _____
CARBURANTE CONSUMATO _____

COLTURA _____
LAVORI COMPLESSIVI _____
CARBURANTE CONSUMATO _____

COLTURA _____
LAVORI COMPLESSIVI _____
CARBURANTE CONSUMATO _____

# Bibliografia


AA.VV. (2000) - *I problemi della floricoltura e del vivaismo. Le proposte della Coldiretti.* Coldiretti, Roma.

AA.VV. (1990) - *Risparmio energetico nella Meccanizzazione agricola.* Voll. 1, 2, 3. RENAGRI, Roma.

ALPI A., ROGNONI F. (1993) - *Coltivazione in serra.* Edagricole, Bologna.

ANDREINI P., IARIA L. (2001) - *Conduzione, controllo e manutenzione degli impianti di riscaldamento.* Hoepli, Milano.

ANGELI L., GABBRIELLI F. (1988) - *Floricoltura. Struttura produttiva e mercato.* Amministrazione Provinciale di Pistoia.

BIANCHI A. (1985) - *Utilizzazione delle energie alternative: l'energia solare.* L'Italia Agricola, I, 146-154.

BAKKER J.C., BOT G.P.A., CHALLA H., VAN DE BRAAK N.J. (1995) - *Greenhouse climate control. An integrated approach.* Wageningen Pers, Wageningen, NL.

BINDI M., FIBBI L. (1999) - *Caratterizzazione climatica del territorio toscano.* ARSIA, DISAT, Firenze.

BENINCASA F., TAGLIAFERRO G., VENDRAMIN G.G., (1985) - *Radiazione naturale e artificiale per lo sviluppo e la crescita delle piante.* CNR-IPRA, Roma.

CANDURA A., GUSMAN A. (1983) - *Criteri di scelta per i materiali di rivestimento delle serre,* Colture Protette, 3.

CHIUDENTI R. (1999) - *Costruzioni rurali.* Edagricole, Bologna.

COLOSIMO V., TELLARINI V. (1997) - *La struttura produttiva e commerciale delle aziende produttrici di piante acidofile.* Amministrazione Provinciale di Lucca.

COLOSIMO V., ARA A., COSCI F., REDINI M., TELLARINI V. (1998) - *Strutture produttive e forme di commercializzazione nella floricoltura di Versilia, Piana di Lucca e Valle del Serchio.* Convegno "La floricoltura nella provincia di Lucca" - Viareggio, 30 gennaio 1998.

COLOSIMO V., ARA A., REDINI M., TELLARINI V. (1998) - *La concentrazione territoriale della produzione dei fiori recisi in Versilia: le rose di Capezzano Pianore.* Convegno "Prospettive di sviluppo e promozione delle aziende florovivaistiche della Versilia" - Capezzano Pianore, 29 maggio 1998.

CONSORTI S.B., SARGENTINI S. (1985) - *Il riscaldamento di appezzamenti protetti a mezzo di tubi interrati: metodologia di progettazione e criteri di valutazione,* Ed. Universitarie Felici, Istituto di Meccanica Agraria, Università di Pisa.

COOMBS J., HALL D.O., LONG S.P., SCURLOCK J.M.O. (1985) - *Techniques in bioproductivity and photosynthesis.* Pergamon Press, Oxford, GB.

C.T.I. (2000) - *Annuario di normativa tecnica e di legislazione per la sicurezza.* Il Sole 24 ore, Milano.

C.T.I. (2000) - *Annuario di normativa tecnica e di legislazione ambientale.* Il Sole 24 ore, Milano.

DALL'AGLIO M. (1987) - *Impatto ambientale dell'energia geotermica,* Energia e Innovazione, 5, 26-33.

ENEA (1988) - *Un migliore uso dell'energia nelle serre. Manuale per serricoltori.* Franco Angeli, Roma.

ENEA (2001) - *Rapporto energia e ambiente 2000.* ENEA, Roma.

ENEA (2002) - *Rapporto energia e ambiente 2001.* ENEA, Roma.

GENTILI V.O. (1993) - *Risparmio energetico nel riscaldamento per coltivazioni in serra.* Floricoltura Pesciatina, 5-6/93, 58-61.

GOUÈREC N., TELLARINI V. (1994) - *L'agricoltura della Versilia e della Piana di Lucca, tra collina e pianura.* Amministrazione Provinciale di Lucca.

GOUÈREC N., COLOSIMO V., TELLARINI V. (1996) - *L'organizzazione dei produttori e le strategie commerciali nel settore florovivaistico della provincia di Lucca.* Amministrazione Provinciale di Lucca.

NELSON P.V. (1998) - *Greenhouse operation and management.* Prantice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, USA.

NGMA (1985) - *Reducing Energy Costs in California Greenhouses.* www.ngma.com.

NGMA (1995) - *Greenhouses Electrical Design Considerations.* www.ngma.com.

NGMA (1998) - *Greenhouses Heating Efficiency Design Considerations.* www.ngma.com.

NGMA (2000) - *Considerations for Internal and External Greenhouses Curtain systems.* www.ngma.com.

NGMA (2000) - *Greenhouses Environment Control Systems Considerations.* www.ngma.com.

NGMA (2000) - *Standards for Heat Loss in Greenhouses Structrures.* www.ngma.com.

PACCIANI A., BELLETTI G., GIANCANI L.A., MARESCOTTI A., SCARAMUZZI S. (1996) - *Agricoltura toscana e sistema agroindustriale. Caratteristiche strutturali e rapporti organizzativi. Osservatorio INEA per la Toscana. Ricerca OAIT (Osservatorio Agro-Industriale per la Toscana). Primo Rapporto Annuale,* Firenze.

PACCIANI A., BELLETTI G., MARESCOTTI A., SCARAMUZZI S. (1998) - *Strutture e dinamiche nel sistema agroindustriale toscano. Osservatorio INEA per la Toscana. Ricerca OAIT (Osservatorio Agro-Industriale per la Toscana). Secondo Rapporto,* Firenze.

POZZANA G. (1996) - *Rapporto sul sistema energetico della Toscana 1990-1994.* IRPET, Firenze.

ROSSI A., PLAITANO S. (1983) - *Un sistema per la climatizzazione delle serre,* Colture Protette, 10, 53-58.

SASAKI K., ITAGI T. (1979) - *Studies on the solar greenhouse by mean of an earth storage heat exchange system,* Bullettin of Kanagawa Horticultural Experimental Station.

SERRA G. (1985) - *Il riscaldamento del substrato nella forzatura delle colture,* Colture Protette, 2, 21-28.

PELLEGRINI G. (1982) - *Risparmi di combustibile nelle serre,* Floricoltura Pesciatina, 6, 1982.

TESEO RICERCHE (1996) - *Indagine sulle aziende floricole della provincia di Lucca.* Amministrazione Provinciale di Lucca.

TESI R. (1978) - *Incidenza dei costi di riscaldamento nelle colture in serra e possibilità di razionalizzazione,* Atti della conferenza "Il riscaldamento nelle colture in serra: problemi e prospettive di riduzione dei costi" - Lucca, 11 ottobre 1978.

Finito di stampare
nel giugno 2003
da EFFEEMME LITO srl
a Firenze
per conto di
ARSIA • Regione Toscana