

Prove sperimentali di solarizzazione in serra

Pietro Picuno (*), Giacomo Scarascia Mugnozza (**)

(*) Ricercatore Confermato, Dipartimento Tecnico-economico, Università della Basilicata, Potenza.

(**) Professore Associato, Istituto di Costruzioni Rurali, Università di Bari.

L' utilizzazione delle serre durante i mesi estivi nei Paesi a clima caldo, quali quelli che si affacciano sul bacino del Mediterraneo, è legata alla presenza di impianti di raffreddamento atti ad evitare temperature diurne troppo elevate per una corretta conduzione delle operazioni colturali; in tali periodi, peraltro, l' utilizzo delle serre può essere considerato per scopi diversi dalle coltivazioni, quali l' essiccazione (8) di alcuni prodotti agricoli (uva, datteri, tabacco, ecc.), ovvero la solarizzazione, mediante pacciamatura con film plastici trasparenti, del terreno saturo d' acqua, al posto dei trattamenti chimici solitamente impiegati per la sterilizzazione del terreno sotto serra.

Infatti la solarizzazione del terreno interno alla serra consente di limitare la presenza di organismi patogeni e di erbe infestanti e, rispetto alle tecniche di sterilizzazione tradizionalmente utilizzate quali la fumigazione con bromuro di metile o con vapore surriscaldato, risulta conveniente non solo da un punto di vista economico (10) ma anche sotto l' aspetto di semplicità di applicazione e di tutela dell' ecosistema.

In un precedente studio (11) è stato esaminato l' effetto della copertura con film plastico trasparente del terreno agrario in pieno campo; allo scopo di esaminare l' efficacia di un simile trattamento sul regime termico del terreno in apprestamenti protetti, sono state effettuate prove sperimentali in una serra con singolo strato di copertura utilizzando due differenti film plastici trasparenti di pacciamatura e ricavando indicazioni circa la distribuzione delle

temperature nel terreno e sulla mortalità di microorganismi patogeni interrati a diverse profondità.

La solarizzazione del terreno in serra

La sterilizzazione parziale del terreno posto sotto apprestamento protetto mediante solarizzazione è una tecnica che si è sviluppata successivamente all' applicazione in pieno campo, a seguito della necessità di raggiungere livelli termici elevati anche in Paesi caratterizzati da estati calde ma non torride: mentre in Israele (4, 6), infatti, le temperature raggiunte pacciamando

durante la stagione estiva con film plastico trasparente il terreno saturo d' acqua in pieno campo sono tali da consentire la distruzione dei microorganismi patogeni e delle malerbe, in regioni caratterizzate da estati meno torride tali risultati sono stati ottenuti limitatamente ad alcune profondità nel terreno agrario (11).

Per ottenere la sterilizzazione del terreno, sino a profondità interessate dallo sviluppo dell' apparato radicale delle piante, in tali regioni si è rivelata efficace l' applicazione del trattamento di solarizzazione all' interno di apprestamenti protetti.

In Italia, in particolare, studi sugli effetti agronomici e fitosanitari della solarizzazione mediante pacciamatura del terreno sotto serra con film plastici trasparenti sono stati condotti da Tamietti & Garibaldi (12), da Paratore (9) e da Cartia et al. (1): da tali indagini è emerso che le temperature registrate nel terreno sino alla profondità di 15 cm sono state tali da ridurre significativamente il carico di microorganismi patogeni.

Per quanto attiene i valori di temperatura che costituiscono le soglie di mortalità per i patogeni, Katan (4) ha osservato come il mantenimento di temperature pari o superiori a 50°C per la durata di almeno 1 ora si è rivelato letale per molte categorie di patogeni, mentre il superamento di 40°C per alcune ore consente una significativa riduzione del carico di microorganismi dannosi per diverse colture ortive.

Anche diverse categorie di nematodi secondo Lamberti & Greco (5) vengono eliminate se sottoposte a temperature di circa 45°C per diverse ore, mentre la permanenza per pochi minuti a temperature di circa 55°C si rivela

Tab. 1 - Simbologia utilizzata nel modello matematico.

NOTAZIONI	
R	= trasferimento di calore per radiazione, W/m^2
A	= trasferimento di calore per convezione, W/m^2
H	= trasferimento di calore latente, W/m^2
S	= trasferimento di calore per conduzione attraverso gli strati di terreno, W/m^2
T	= temperatura assoluta, K
z	= profondità dello strato del terreno, m
θ	= umidità del suolo, % in volume
t	= tempo, s
D	= diffusività termica del terreno, m^2/s
D_{θ}	= diffusività dell'umidità del terreno, m^2/s
D_T	= diffusività termica dell'umidità del terreno, $m^2/(s K)$
K_h	= conducibilità idraulica, m/s
PEDICI	
r	= solare
a	= atmosferico
p	= pacciamatura
c	= copertura
s	= suolo
1	= aria compresa tra terreno e pacciamatura
2	= aria compresa tra pacciamatura e copertura
e	= esterno

Il contributo all'impostazione ed allo svolgimento del lavoro va suddiviso in maniera paritetica tra gli Autori.

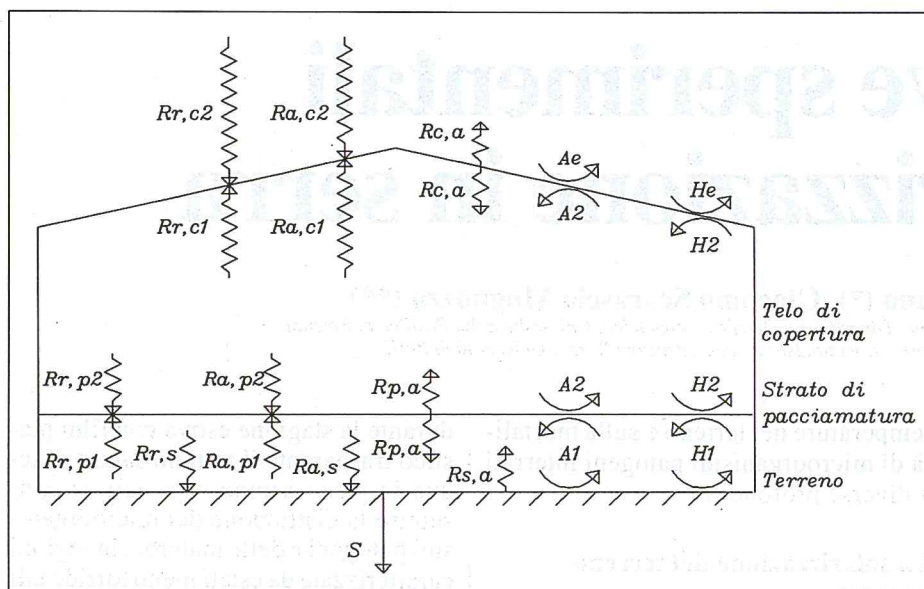


Fig. 1 - Schema del bilancio energetico con l'indicazione dei singoli fattori.

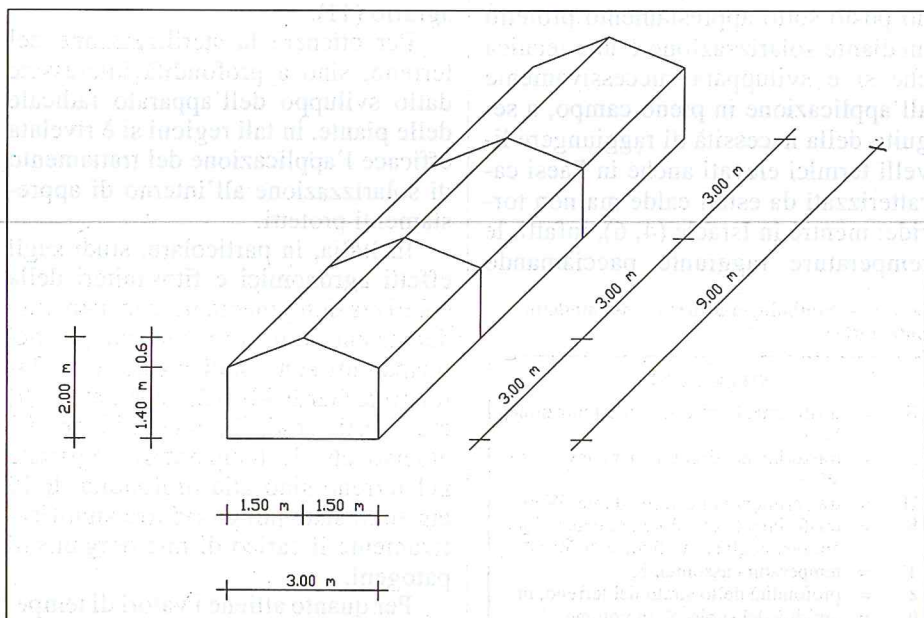


Fig. 2 - Vista assonometrica della serra sperimentale.

letale per gran parte di tali parassiti.

La formulazione matematica di modelli descrittivi dell'andamento nel tempo della distribuzione delle temperature nel terreno pacciamato in serra è stata proposta da diversi Autori (2, 3, 7); in particolare, Mahrer et al. (7) hanno sviluppato un modello monodimensionale per la previsione del regime termico del terreno pacciamato in serra chiusa al fine di individuare il periodo dell'anno in cui si ottengono in Israele temperature superiori a 40°C fino a 30 cm di profondità, potendo così pro-

grammare l'applicazione del trattamento di solarizzazione.

Bilancio energetico

Il sistema considerato (fig. 1) è costituito da sei differenti componenti:

- il terreno (suddiviso in strati sottili omogenei);
- l'aria compresa tra terreno e pacciamatura;
- lo strato di pacciamatura;
- l'aria compresa tra pacciamatura e copertura della serra;

- il telo di copertura;
- l'aria esterna.

Il bilancio energetico può essere istituito nelle seguenti ipotesi:

- diffusione unidimensionale della temperatura e dell'umidità nel terreno;
- immagazzinamento di calore trascurabile negli strati di aria tra suolo e pacciamatura e tra pacciamatura e copertura, ipotesi accettabile in virtù della bassa capacità termica dell'aria a temperatura ambiente;
- calcolo dei flussi radiativi limitato soltanto al primo termine delle riflessioni, trascurando cioè le riflessioni successive tra i diversi elementi (terreno, strato di pacciamatura, telo di copertura);
- assenza di fughe di calore sensibile e latente attraverso i giunti, in virtù di una perfetta tenuta della serra.

Con riferimento ai simboli di figura 1 ed alle notazioni di tabella 1, il bilancio del sistema è regolato dal seguente sistema di equazioni (7):

$$\begin{cases} R_{r,s} + R_{a,s} - R_{s,a} + A_1 + H_1 - S = 0 \\ R_{r,p1} + R_{r,p2} + R_{a,p1} + R_{a,p2} - 2R_{p,a} - A_1 - H_1 + A_2 + H_2 = 0 \\ R_{r,c1} + R_{r,c2} + R_{a,c1} + R_{a,c2} - A_2 - H_2 - 2R_{c,a} + A_e + H_e = 0 \end{cases} \quad (I)$$

Le tre equazioni del sistema (I) si riferiscono, rispettivamente, all'equilibrio degli scambi termici sullo strato superficiale del terreno, sullo strato di pacciamatura e lungo il telo di copertura. Le equazioni che regolano la diffusione unidimensionale del calore e dell'umidità nel suolo sono (10):

$$\frac{\partial T_s}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[D \frac{\partial T_s}{\partial z} \right] \quad (II)$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} D_0 \frac{\partial \theta}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial z} D_T \frac{\partial T_s}{\partial z} + \frac{\partial K_h}{\partial z} \quad (III)$$

ove i simboli hanno il significato riportato in tabella 1.

La soluzione delle equazioni (II) e (III) insieme al sistema (I) consente di ottenere una rappresentazione della variazione nel tempo del regime termigrometrico negli strati di terreno alle diverse profondità.

Prove sperimentali

Allo scopo di ottenere indicazioni sul regime termico che si instaura nel

RICERCA E SPERIMENTAZIONE

Tab. 2 - Numero di eventi in cui il livello termico si è mantenuto nell'ambito delle diverse classi di temperatura per la durata di un'ora, relativamente a tutto il periodo di prova.

Zona	Profondità (cm)	Classi di temperatura (°C)									
		> 80°	75-80°	70-75°	65-70°	60-65°	55-60°	50-55°	45-50°	40-45°	> 40°
Pacciamatura PE in serra	1	11	102	108	112	98	64	81	101	153	830
	5	0	0	0	17	211	175	156	187	295	1.041
	10	0	0	0	0	4	176	302	314	459	1.255
	20	0	0	0	0	0	0	97	631	599	1.327
	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pacciamatura PVC in serra	1	3	89	114	114	111	93	87	109	180	900
	5	0	0	0	5	203	195	193	221	333	1.150
	10	0	0	0	0	0	201	343	388	466	1.398
	20	0	0	0	0	0	0	84	683	635	1.402
	50	0	0	0	0	0	0	0	0	64	64
Terreno esterno	1	0	0	0	0	0	0	78	159	124	361
	5	0	0	0	0	0	0	0	0	166	166
	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

terreno pacciamato sotto serra sono state effettuate prove su una serra sperimentale il cui substrato è stato coperto con due differenti film plastici trasparenti; i dati ottenuti hanno consentito di valutare i livelli termici raggiunti e di confrontarli con i risultati delle prove di carattere patologico vegetale condotte in parallelo.

Materiali e metodi

La prova è stata condotta in una serra (fig. 2) con copertura in film singolo di PVC dello spessore di 0,15 mm ubicata nel Campus dell'Università di Bari (41° 07' Latitudine N), per un periodo di 60 giorni, dal 21 Giugno al 20 Agosto 1990, durante il quale la serra è stata mantenuta chiusa.

Il terreno, di tipo sabbioso-limoso (11) con massa volumica a secco pari a circa 1200 kg/m³ e conducibilità termica pari a circa 1,3 W/(m K) in condizioni di saturazione, è stato suddiviso sotto serra in due riquadri di dimensioni 3,00 x 4,50 m ciascuno, pacciamati uno con PVC PLYPAC di spessore 0,15 mm e l'altro con PE neutro di spessore

0,2 mm (fig. 3). Al di sotto di ciascun riquadro di terreno pacciamato sotto serra è stata disposta, in posizione ba-



Fig. 3 - Terreno solarizzato sotto serra mediante pacciamatura con due diversi film plastici trasparenti durante le prove sperimentali.

ricentrica, una colonna di sonde di rilievo della temperatura (Pt100), interrate alle profondità di 1, 5, 10, 20 e 50 cm, mentre una colonna di sonde alle profondità di 1, 5, 20 e 50 cm è stata disposta nel terreno in pien'aria ad una distanza dalla serra sufficiente ad impedire influenze legate agli effetti di bordo.

Anche le dimensioni della pacciamatura interna alla serra sono state scelte in modo tale da evitare influenze degli effetti di bordo (11).

Prima dell'avvio della prova il terreno sia interno alla serra che esterno è stato irrigato abbondantemente.

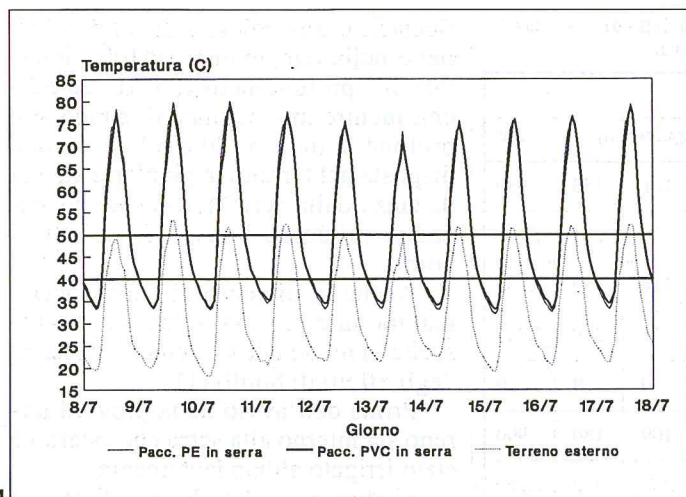
Mediante un data-logger Tecno-El Mod. Kampus 2326.DLM sono stati rilevati i valori orari medi ed istantanei della temperatura dell'aria e del terreno alle diverse profondità, all'interno ed all'esterno della serra, della velocità e direzione del vento e della radiazione solare incidente e riflessa.

Contemporaneamente sono state effettuate indagini di carattere patologico in collaborazione con il Dipartimento di Protezione delle Piante dalle Malattie dell'Università di Bari, disponendo alle stesse profondità delle sonde di rilievo della temperatura, sia nel terreno solarizzato che in quello esterno alla serra, gruppi di 100 sclerozi (*Sclerotium rolfsii* Sacc.) contenuti in sacchetti di rete. Per mezzo di periodici prelievi di campioni di terreno è stato infine valutato il contenuto idrico del suolo.

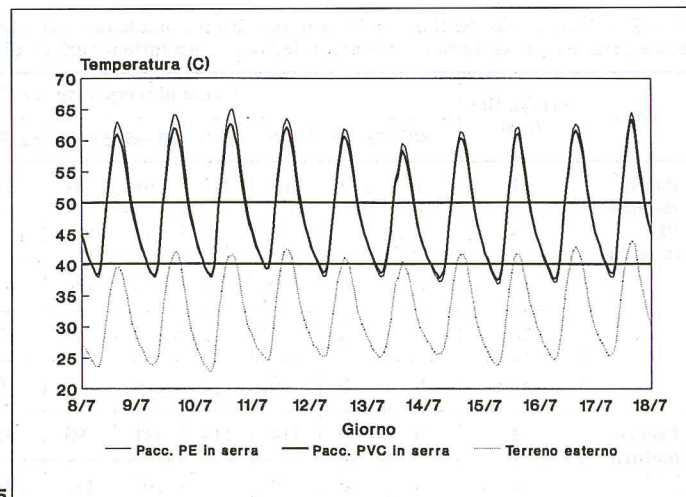
Risultati e discussione

Le temperature ottenute nel terreno pacciamato sotto serra sono state superiori a 50°C fino a 20 cm di profondità per lunghi periodi, sia per quanto riguarda il terreno coperto con PE sia per quello coperto con PVC (tab. 2); nel caso della pacciamatura con PVC sotto serra, inoltre, sono state registrate temperature superiori a 40°C anche alla profondità di 50 cm per diversi periodi della durata di 7-8 ore, per un numero complessivo di 64 ore. I valori massimi assoluti raggiunti (tab. 3) nel corso della prova sono stati di circa 66°C a 5 cm di profondità e di oltre 80°C alla profondità di 1 cm sotto entrambi i film di pacciamatura. Gli andamenti delle temperature alle diverse profondità nel periodo di riferimento 8-18 Luglio

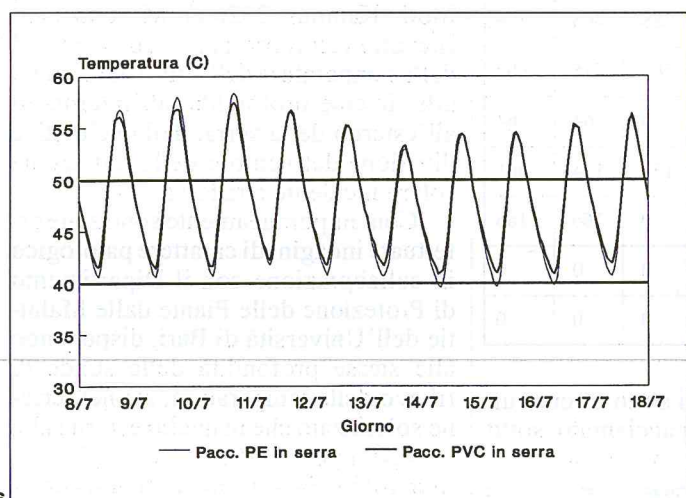
RICERCA E SPERIMENTAZIONE



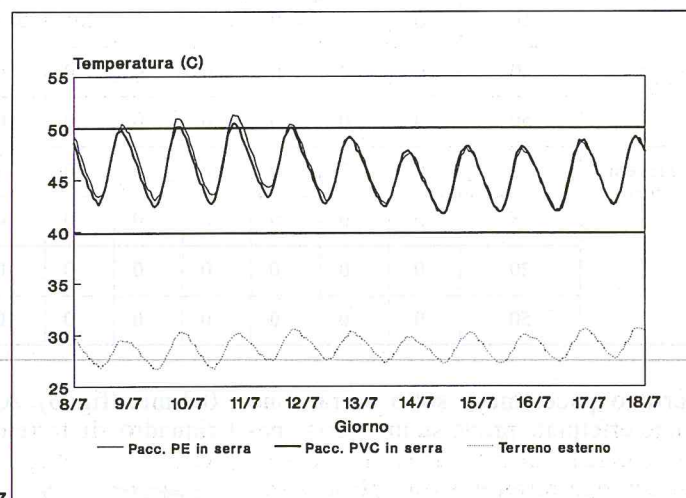
4



5



6



7

1990, che si può ritenere rappresentativo dell'intera prova, sono riportati nelle figure 4, 5, 6, 7 e 8, mentre le figure 9 e 10 riportano, relativamente allo stesso periodo, i diagrammi della temperatura dell'aria interna ed esterna alla serra e della radiazione solare incidente e riflessa. Dalla figura 11, infine, si può ricavare l'andamento del contenuto idrico del terreno durante la prova.

Le prove di carattere patologico-vegetale hanno mostrato una mortalità dei microorganismi patogeni pari al 100% nel terreno sotto entrambi i film di pacciamatura alle profondità di 1, 5, 10 e 20 cm, mentre, per quanto riguarda la profondità di 50 cm, i risultati ottenuti non appaiono dipendere in maniera significativa dai livelli termici raggiunti, presumibilmente poiché a tale profondità prevalgono fattori diversi da quello energetico. Nel terreno esterno alla serra, invece, è stata registrata una sopravvivenza completa dei micro-

Fig. 4 - Andamento delle temperature a 1 cm di profondità nel terreno pacciamato con PE e con PVC sotto serra e in quello esterno, nel periodo 8-18 luglio 1990.

Fig. 5 - Andamento delle temperature a 5 cm di profondità nel terreno pacciamato con PE e con PVC sotto serra e in quello esterno, nel periodo 8-18 luglio 1990.

Fig. 6 - Andamento delle temperature a 10 cm di profondità nel terreno pacciamato con PE e con PVC sotto serra, nel periodo 8-18 luglio 1990.

Fig. 7 - Andamento delle temperature a 20 cm di profondità nel terreno pacciamato con PE e con PVC sotto serra e in quello esterno, nel periodo 8-18 luglio 1990.

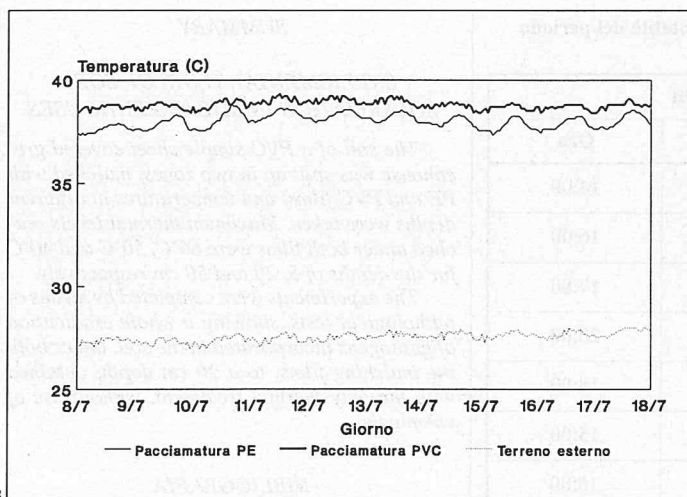
organismi posti alle diverse profondità.

Dall'esame dei risultati può evidenziarsi quanto segue:

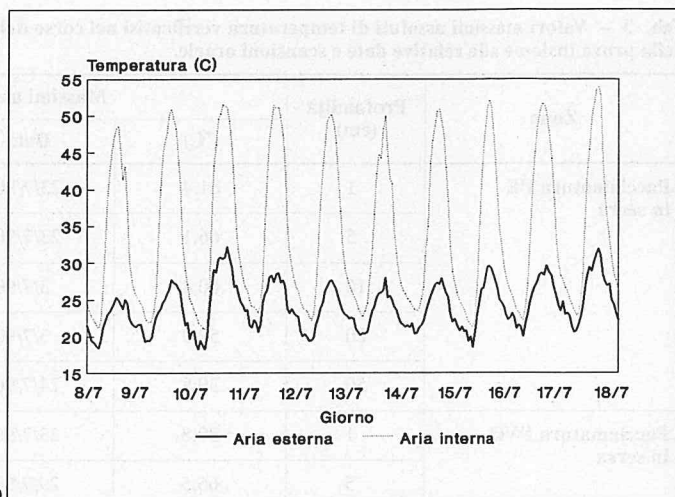
- l'utilizzo di due materiali differenti (PVC e PE) per la pacciamatura del terreno sotto serra non sembra aver dato luogo a risultati sostanzialmente diversi: i valori massimi assoluti appaiono, a pari profondità sotto le due pacciamature, pressoché identici ed anche la suddivisione nelle diverse classi di temperatura (tab. 2) dei valori registrati non differisce, nei due casi, in maniera sostanziale. Soltanto alla massima profondità indagata, 50 cm, la pacciamatura con PVC del terreno sotto serra sembra consentire un livello termico lievemente più elevato, con valori che superano, sia pure di poco, i 40°C, e che permangono per diverse ore su tale livello termico;

- il film di PE ha dato luogo a fenomeni trascurabili di condensa, che invece sono stati più evidenti sulla fac-

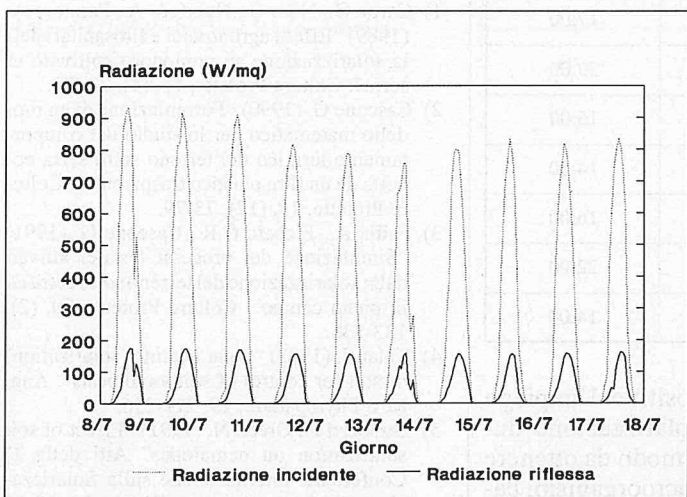
RICERCA E SPERIMENTAZIONE



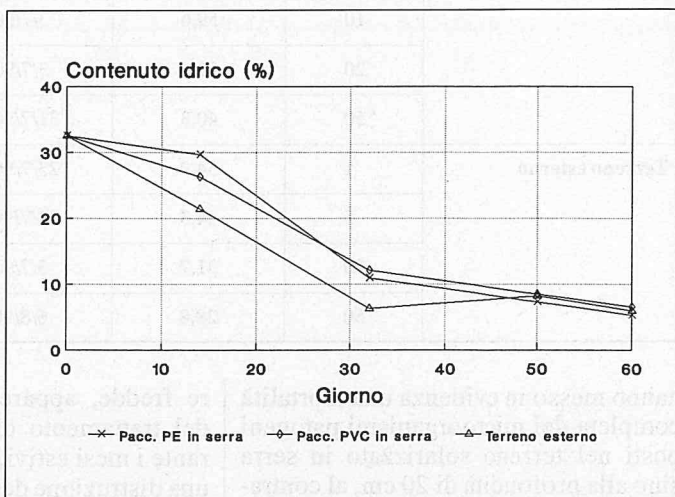
8



9



10



11

cia interna del film di PVC, probabilmente a causa delle proprietà antigocce del film di PVC (11);

– in entrambi i riquadri di terreno pacciamato non si è presentato alcun fenomeno di sviluppo di erbe infestanti sia durante la prova che nei mesi seguenti, probabilmente a causa delle temperature raggiunte che sono state tali da consentire la devitalizzazione dei semi superficiali di erbe infestanti;

– la mancata crescita di malerbe, l'assenza di formazione di polvere sulla superficie esterna dei film grazie alla chiusura a tenuta della serra, l'elevata trasmissività nel visibile e nell'infrarosso corto dei due film utilizzati e, infine, i limitati fenomeni di condensa ottenuti, inferiori a quanto riscontrato in un'altra prova per la solarizzazione in pieno campo (11), sembrano le cause che hanno determinato un comportamento pressoché identico della copertura in PE e di quella in PVC ai fini del

Fig. 8 – Andamento delle temperature a 5 cm di profondità nel terreno pacciamato con PE e con PVC sotto serra e in quello esterno, nel periodo 8-18 luglio 1990.

Fig. 9 – Andamento della temperatura dell'aria interna ed esterna alla serra, nel periodo 8-18 luglio 1990.

Fig. 10 – Andamento della radiazione solare incidente e riflessa, nel periodo 8-18 luglio 1990.

Fig. 11 – Contenuto idrico del terreno pacciamato con PE e con PVC sotto serra e di quello esterno, nel corso dei 60 giorni di prova.

regime termico del terreno pacciamato;

– le temperature massime assolute nel terreno solarizzato (tab. 3) si sono verificate in corrispondenza dei giorni con più elevata radiazione solare e temperatura dell'aria esterna, poiché la serra, a causa della scarsa capacità termica dell'aria, risente notevolmente delle variazioni climatiche esterne;

– la temperatura dell'aria interna alla serra ha raggiunto valori superiori a 50°C, dando luogo, al di sopra dello strato di pacciamatura, a una zona confinata caratterizzata da un livello termico più elevato rispetto all'aria esterna, determinante ai fini del regime termico del terreno sottostante;

– nel terreno esterno le temperature raggiunte sono state sempre notevolmente inferiori a quelle del terreno pacciamato sotto serra, raggiungendo un valore massimo pari a quasi 55°C ad 1 cm di profondità;

– i risultati di carattere patologico

RICERCA E SPERIMENTAZIONE

Tab. 3 - Valori massimi assoluti di temperatura verificatisi nel corso della totalità del periodo della prova insieme alle relative date e scansioni orarie.

Zona	Profondità (cm)	Massimi assoluti		
		(°C)	Data	Ora
Pacciamatura PE in serra	1	81,4	23/7/90	14:00
	5	66,1	23/7/90	16:00
	10	60,4	3/7/90	17:00
	20	52,9	3/7/90	20:00
	50	39,8	24/7/90	18:00
Pacciamatura PVC in serra	1	80,8	23/7/90	15:00
	5	65,5	29/7/90	16:00
	10	59,6	3/7/90	17:00
	20	52,4	3/7/90	20:00
	50	40,3	31/7/90	15:00
Terreno esterno	1	54,9	23/7/90	14:00
	5	44,3	23/7/90	16:00
	20	31,7	3/7/90	22:00
	50	28,8	6/8/90	14:00

hanno messo in evidenza una mortalità completa dei microorganismi patogeni posti nel terreno solarizzato in serra sino alla profondità di 20 cm, al contrario di quanto avvenuto in quello esterno.

Conclusioni

La sterilizzazione parziale mediante solarizzazione del terreno sotto serra attraverso la pacciamatura con film plastici trasparenti sembra, sulla base dei risultati ottenuti, costituire un trattamento di notevole efficacia, con un rendimento globale del sistema molto elevato in virtù del confinamento dell'ambiente. Il tipo di film plastico trasparente impiegato durante la prova ha scarsamente influenzato il regime termico del terreno solarizzato: infatti nel terreno pacciamato sia con film di PVC che di PE sono state raggiunte temperature di oltre 80° C a 1 cm di profondità e di oltre 50° C a 20 cm, provocando la mortalità di microorganismi patogeni fino ad una profondità di 20 cm.

Con particolare riferimento alle ser-

re fredde, appare positivo l'impiego del trattamento di solarizzazione durante i mesi estivi, in modo da ottenere una distruzione dei microorganismi patogeni ed una devitalizzazione dei semi delle erbe infestanti, determinando una condizione ottimale per poter avviare la produzione al termine del periodo di applicazione; tale trattamento risulta infatti, rispetto a quelli tradizionalmente impiegati, più economico, semplice e, soprattutto, a basso impatto ambientale.

RIASSUNTO

Il terreno interno ad una serra con copertura in semplice strato di PVC è stato suddiviso in due riquadri, pacciamati rispettivamente con film di PVC e di PE, rilevando le temperature a diverse profondità. I livelli termici massimi raggiunti sono stati sotto entrambi i film pari a circa 66°C, 50°C e 40°C rispettivamente alle profondità di 5, 20 e 50 cm.

La sperimentazione è stata completata con prove di carattere patologico che hanno messo in evidenza una completa mortalità dei microorganismi patogeni posti nel terreno sotto entrambe le pacciamature sino alla profondità di 20 cm, in virtù del solo trattamento termico, senza utilizzo di prodotti chimici.

SUMMARY

EXPERIMENTAL TESTS OF SOIL SOLARIZATION INSIDE GREENHOUSES

The soil of a PVC simple sheet covered greenhouse was split up in two zones, mulched with PE and PVC films, and temperatures at different depths were taken. Maximum thermal levels reached under both films were 66°C, 50°C and 40°C for the depths of 5, 20 and 50 cm respectively.

The experiments were completed by means of pathological tests, showing a whole eradication of pathogens incorporated in the soil, under both the mulching films, to a 20 cm depth, obtained with the only thermal treatment, without use of chemicals.

BIBLIOGRAFIA

- 1) Cartia G., Noto G., Nucifora A., Paratore A. (1989) "Effetti agronomici e fitosanitari della solarizzazione su pomodoro coltivato in serra". *Culture Protette*, 18, (4), 73-77.
- 2) Cascone G. (1990) "Formulazione di un modello matematico per lo studio del comportamento termico del terreno sotto serra coperta da un film plastico trasparente". *Culture Protette*, 19, (12), 73-79.
- 3) Failla A., Fichera C.R., Cascone G. (1991) "Simulazione dei processi termici attivati dalla solarizzazione del terreno sotto serra ed in pieno campo". *Culture Protette*, 20, (2), 133-138.
- 4) Katan J. (1981) "Solar heating (solarization) of soil for control of soilborne pests". *Ann. Rev. Phytopathol.*, 19, 211-236.
- 5) Lamberti F., Greco N. (1991) "Effect of soil solarization on nematodes" *Atti della 1° Conferenza Internazionale sulla Solarizzazione del Suolo, Amman (Giordania)*, 19-25 Febbraio 1990, 167-172.
- 6) Mahrer Y., Katan J. (1981) "Spatial soil temperature regime under transparent polyethylene mulch: numerical and experimental studies" *Soil Science*, 131, (2), 82-87.
- 7) Mahrer Y., Avissar R., Naot O., Katan J. (1987) "Intensified soil solarization with closed greenhouses: numerical and experimental studies". *Agricultural and Forest Meteorology*, 41, 325-334.
- 8) Papadakis G., Frangoudakis A., Kyritsis S. (1989) "Soil energy balance analysis of a solar greenhouse" *J. Agric. Engng. Res.*, 43, 231-243.
- 9) Paratore A. (1984) "La temperatura dell'aria e del terreno a serra chiusa durante la stagione estiva" *Culture Protette*, 13, (6), 53-56.
- 10) Saccardo F., Sonnino A. (1988) "Difesa delle colture e resistenza genetica" *Agricoltura e Innovazione*, (8), 78-84.
- 11) Scarascia Mugnozza G., Picuno P. (1992) "Prove di solarizzazione del terreno agrario mediante pacciamatura con film plastici trasparenti" *Culture Protette*, 21, (9), 121-127.
- 12) Tamiotti G., Garibaldi A. (1981) "Il riscaldamento solare del terreno mediante pacciamatura con materiali plastici nella lotta contro la radice suberosa del pomodoro di serra" *La difesa delle piante*, 3, 143-150. □