REPUBBLICA ITALIANA

M.I.U.R.

SICILIAE STVDIVM GENERALE 1434

POTENZIARE LA COMPETITIVITA' DI ORTICOLE IN AREE MERIDIONALI

MEZZI INTEGRATI DI LOTTA PER IL CONTENIMENTO DEI PATOGENI TELLURICI IN SISTEMI ORTICOLI INTENSIVI

G. Polizzi, A. Vitale, I. Castello

- SOMMARIO -

1 ***INTRODUZIONE***…… Pag. 3

1.1 Patogeni tellurici e strategie di lotta…….…… « 3

2 ***MEZZI DI LOTTA PER IL CONTENIMENTO DEI PATOGENI TELLURICI NELL'ERA POST-BROMURO DI METILE***……... « 8

2.1 Mezzi chimici …….……..…….. « 9

2.2 Mezzi fisici……. « 11

2.2.1 Vaporizzazione……..... « 11

2.2.2 Solarizzazione…… « 12

2.2.2.a Principi della solarizzazione …….…… « 13

2.2.2.b Meccanismi di azione della solarizzazione…… « 15

2.2.2.c Film plastici innovativi per la solarizzazione del terreno…….. « 16

2.2.2.d Integrazione della solarizzazione con altri mezzi di lotta……..... « 19

3 ***LA SOLARIZZAZIONE ED I FILM PLASTICI MAGGIORMENTE UTILIZZATI NELL'ORTICOLTURA PROTETTA MERIDIONALE***.... « 20

4 ***RISULTATI OTTENUTI***…….. « 26

4.1 Monitoraggio della sensibilità termica dei patogeni tellurici in microcosmi……. « 26

4.2 Monitoraggio di fitopatologie frequenti e poco note pericolose per il comparto dell'orticoltura protetta……... « 31

4.3 *Monitoraggio della sopravvivenza dell'inoculo dei patogeni tellurici in apprestamenti protetti*…….. « 34

4.3.1 Effetti della solarizzazione sulla sopravvivenza di inoculo di Verticillium dahliae *nel terreno in serra aperta*……. « 35

4.3.2 Effetti della solarizzazione sulla sopravvivenza di inoculo di Verticillium dahliae *nel terreno in serra chiusa*…… « 38

4.4 *Il contenimento delle infezioni naturali causate dai patogeni tellurici in apprestamenti protetti*..... « 40

4.4.1 Efficacia di mezzi integrati di lotta sul contenimento delle infezioni naturali causate dai patogeni tellurici a serra aperta….. « 40

4.4.2 Efficacia della solarizzazione sul contenimento delle infezioni naturali causate dai patogeni tellurici a serra chiusa….. « 46

1. Introduzione

1.1 Patogeni tellurici e strategie di lotta

Se da un lato le coltivazioni intensive in ambiente protetto consentono di estendere il calendario di commercializzazione delle produzioni e di proteggere le colture da avverse condizioni climatiche, dall'altro possono contribuire ad accentuare alcune problematiche fitopatologiche. Le tecniche colturali che si attuano in ambiente protetto, infatti, esercitano una forte pressione selettiva sulla microflora del terreno. La successione monoculturale, l'adozione delle stesse cultivar, i cicli colturali reiterati, le concimazioni spinte e la mancata eliminazione dei residui colturali, possono determinare un incremento sensibile della carica di inoculo dei patogeni tellurici, con danni considerevoli alle colture e ripercussioni sulle produzioni sia sotto il profilo quantitativo che qualitativo. Tutto ciò impone l'adozione di strategie di lotta in grado di interferire con l'epidemiologia degli agenti di malattia e influenzare l'incidenza e/o la severità delle epidemie nel tempo e nello spazio.

Nelle coltivazioni intensive i patogeni tellurici sono, spesso, responsabili di gravi epidemie che si realizzano a causa di ripetuti cicli di sviluppo del patogeno che sono strettamente dipendenti dall'ospite e dalle condizioni ambientali. L'inoculo, raggiunto l'ospite, inizia il processo infettivo, si sviluppa al suo interno e produce nuovo inoculo che, quando disperso su nuovi siti recettivi, dà origine a nuove infezioni. I patogeni che compiono un solo ciclo di sviluppo (un ciclo infettivo) per stagione colturale sono detti **monociclici** e le malattie ad "interesse semplice", mentre sono definiti **policiclici**, quelli che compiono più di un ciclo infettivo nell'ambito dello stesso ciclo colturale e le malattie sono dette ad "interesse composto".

Entrambi i termini monociclico e policiclico, impiegati per distinguere il differente comportamento dei patogeni, possono essere adottati anche per spiegare le epidemie, si parlerà dunque di "**epidemie monocicliche**" e di "**epidemie policicliche**".

Nel caso delle epidemie monocicliche, normalmente, le infezioni si originano dall'inoculo conservatosi nel suolo (sclerozi, clamidospore, microsclerozi, oospore, micelio nei residui della coltivazione). Generalmente, infatti, le radici delle piante del

nuovo ciclo colturale (nuova stagione colturale), accrescendosi nel terreno, intercettano i propaguli già presenti ed in grado di innescare il processo infettivo. L'epidemia progredisce nel tempo con la successione di nuove infezioni, ma senza che nuovo inoculo sia prodotto o disperso all'interno dello stesso ciclo colturale.

Per poter definire l'epidemia policiclica è necessario che siano ripetuti più cicli infettivi completi. Questi comprendono: lo sviluppo del patogeno, la produzione di nuovo inoculo, la dispersione su nuovi siti suscettibili e l'origine di nuove infezioni, all'interno della stessa stagione colturale. Tali considerazioni si riflettono direttamente sulla scelta delle strategie di lotta.

La maggior parte dei patogeni tellurici hanno un comportamento da monociclici (*Verticillium dahliae*, *Pyrenochaeta lycopersici*, *Sclerotium rolfsii*, *Fusarium oxysporum* ff. spp., ecc). Per questi patogeni le strategie di lotta devono essere basate su interventi, misure o tattiche che mirano alla riduzione della carica di inoculo iniziale. Per i patogeni policiclici (*Phytophthora capsici*, *Botrytis cinerea*, *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici*, ecc.) la lotta, invece, mira essenzialmente ad interferire sul tasso di sviluppo o di moltiplicazione del patogeno.

Numerosi sono i fattori che possono influenzare l'efficacia dei diversi mezzi di lotta impiegati per il contenimento dei patogeni tellurici. Anzitutto le modalità di sopravvivenza dei funghi, quindi il loro differente comportamento assunto nel terreno. Diverso, infatti, è l'approccio alla problematica a seconda che si sia in presenza di patogeni afferenti al gruppo dei funghi definiti "*invasori del suolo*", e nello specifico dei funghi "*colonizzanti la rizosfera*", o che si tratti di patogeni appartenenti al gruppo dei funghi detti "*abitatori del suolo*", contraddistinti da una spiccata abilità nel sopravvivere per un periodo non definito nel suolo come saprofiti. Caratteristica, quest'ultima, solo di alcuni funghi tellurici (*Rhizoctonia* spp., *Fusarium solani*, *F. roseum*, *Sclerotium* spp.) che sembra, peraltro, essere incompatibile con un elevato livello di specializzazione parassitaria, tanto che la maggior parte dei soilborne sono racchiusi nella categoria dei "*funghi colonizzanti la rizosfera*", quindi dei "*funghi invasori*". Altro importante fattore determinante nella scelta dell'applicazione fitoiatrica è quello relativo al livello di specializzazione parassitaria. Capire se si tratta di patogeni specie-specifici, come è il caso delle forme speciali di *Fusarium oxysporum*; polifagi, ma che presentano ceppi (patotipi) a spettro relativamente

ridotto, ne è un esempio *Rhizoctonia solani*; o polifagi, *sensu strictu,* come lo è *Sclerotinia sclerotiorum*. Sostanziali sono, inoltre, le conoscenze sull'attività patogena dei funghi tellurici e sull'influenza esercitata sulla stessa dai fattori fisico-ambientali agenti nel "sistema suolo".

Tabella 1. Principali patogeni tellurici agenti di malattie su colture orticole.

Specie fungina	Pianta ospite
Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici	**pomodoro**
Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici	**pomodoro**
Colletotrichum coccodes	**pomodoro**
F. oxysporum* f. sp. *melonis	**melone**
F. oxysporum* f. sp. *cucumerinum	**cetriolo**
F. oxysporum* f. sp. *melonis	**melone**
Fusarium oxysporum* f. sp. *basilica	**basilico**
Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum	**anguria**
Monosporascus cannonballus	**anguria, melone**
Pyrenochaeta lycopersici	**solanacee e cucurbitacee**
Fusarium solani* f. sp. *cucurbitae	**zucca e zucchino**
F. solani* f. sp. *phaseoli	**fagiolo**
Fusarium tabacinum	**basilico**
Phytophthora capsici	**solanacee e cucurbitacee**
P. cactorum	**fragola**
P. fragariae	**fragola**
P. nicotianae	**pomodoro e altre specie**
Pythium ultimum* e *P. aphanidermatum	**varie specie in semenzaio**
Rhizoctonia solani	**diverse specie orticole**
Sclerotinia sclerotiorum	**lattuga, cucurbitacee, carciofo, varie specie in semenzaio**
Thielaviopsis basicola	**diverse specie orticole**
Verticillium dahliae	**pomodoro, melanzana, fragola, cucurbitacee**

I funghi terricoli responsabili di malattie in ambiente protetto sono numerosi (tab. 1). In Sicilia, dove le colture protette assumono un posto di rilevante importanza in termini di superficie investita e produzione lorda vendibile si segnala in particolare la presenza di: *Verticillium dahliae*, che causa gravi danni in ambiente protetto soprattutto su melanzana; *Sclerotinia sclerotiorum* e *S. minor*, che determinano marciumi prevalentemente su lattuga; i *Fusaria*, che costituiscono per numerose colture ortive (melone, anguria, pomodoro, melanzana, ecc.) i "patogeni chiave" la cui presenza può compromettere totalmente le produzioni (figg. 1-2); *Rhizoctonia solani* responsabile di morie di semenzali e di giovani

piantine; *Colletotrichum coccodes* che talvolta può causare il marciume delle radici su pomodoro (figg. 3-4) *Pyrenochaeta lycopersici*, agente causale della suberosi radicale con gravi infezioni a carico dell'apparato radicale delle solanacee (figg. 5-8) e delle cucurbitacee talvolta in associazione con nematodi galligeni appartenenti al genere *Meloidogyne* (figg. 9-10); *Pythia* e *Phytophthorae*, agenti fungini responsabili di morie dei semenzali e di marciumi dell'apparato radicale su diverse specie orticole.

Figure 1-2. Collasso di piante di pomodoro (a sinistra) indotto da *F. oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici* ed imbrunimento vascolare tipico dei tessuti parenchimatico-vascolari del fittone e del fusto (a destra).

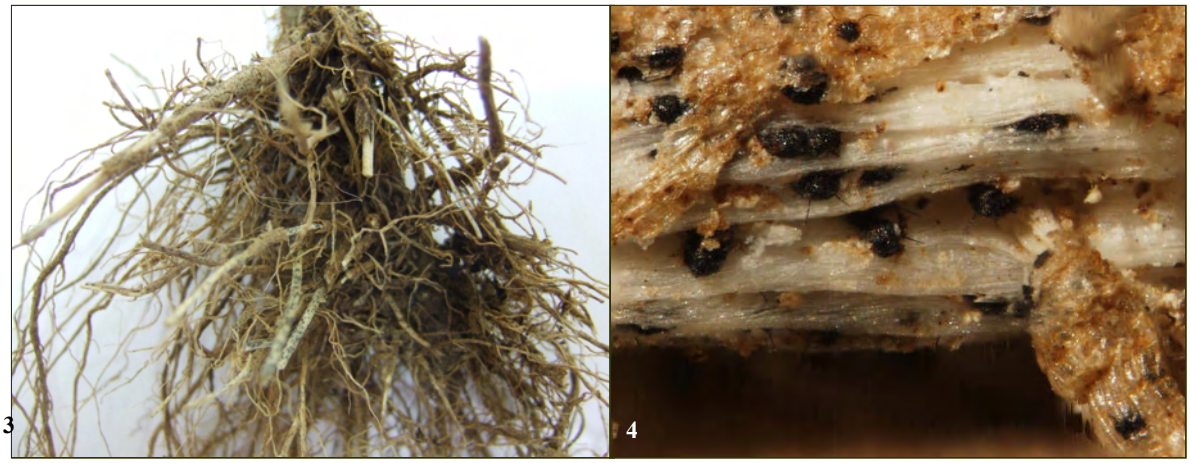

Figure 3-4. Gravi infezioni causate da *Colletotrichum coccodes* a carico dell'apparato radicale di pomodoro (a sinstra) con fruttificazioni (acervuli neri) che erompono dalla matrice vegetale (a destra).

Figure 5-8. Infezioni indotte da *Pyrenochaeta lycopersici* su pomodoro con imbrunimenti e fessurazioni iniziali (5), suberificazioni tipiche (6-7) e notevole riduzione dell'apparato radicale (8).

Figure 9-10. Infestazioni su pomodoro causate da nematodi galligeni appartenenti al genere *Meloidogyne* da sole (a sinistra) ed in associazione con infezioni di suberosi radicale (a destra).

2. Mezzi di lotta per il contenimento dei patogeni tellurici nell'era post-bromuro di metile

L'abolizione del bromuro di metile (BM), dopo aver causato un periodo di smarrimento tra gli operatori del comparto orticolo, ha sicuramente stimolato e rinnovato l'interesse della ricerca per l'individuazione e la messa a punto di vecchi, più recenti o innovativi mezzi di lotta.

In Italia, secondo Paese consumatore a livello mondiale di BM, si può certamente affermare si è fatto abuso del fumigante e si ritiene che l'agricoltore sia stato incline al suo utilizzo anche in assenza di specifiche problematiche fitopatologiche. I motivi che hanno favorito la diffusione del BM sono certamente da ricondurre ai limitati costi di applicazione, alla facile programmazione ed esecuzione dei trattamenti, alla scarsa variabilità dei risultati e talvolta anche all'incremento produttivo. L'impiego, inoltre, non richiedeva particolari o approfondite conoscenze sulle caratteristiche epidemiologiche del parassita da contenere. In assenza del fumigante la conoscenza delle problematiche fitopatologiche e gli aspetti epidemiologici diventano, altresì, indispensabili e di interesse strategico.

Contrariamente a quanto per alcuni anni si è tentato di realizzare non è possibile, sulla base dei diversi mezzi di lotta disponibili, ricercare l'alternativa al bromuro di metile. Una soluzione a tutte le problematiche fitopatologiche presenti nel comparto orticolo che possa

integralmente sostituire l'impiego del bromuro di metile non è disponibile. Occorre, pertanto, individuare le diverse problematiche territoriali e in loro rapporto bisogna valutare le potenzialità di utilizzo delle differenti strategie, analizzarne i limiti ed i vantaggi puntando, possibilmente, sull'adozione di interventi di lotta integrati al fine di ridurre la pressione selettiva esercitata sulla microflora del terreno.

2.1 Mezzi chimici

Nella fase iniziale dell'era post bromuro la scelta degli agricoltori è ricaduta, essenzialmente per motivi di convenienza economica, sui fumiganti, metham-sodio (MS - anticrittogamico, nematocida, diserbante, insetticida) e dazomet (DZ - anticrittogamico, nematocida, diserbante, insetticida) precursori dell'isotiocianato di metile, da soli o in abbinamento all'1,3-dicloropropene (1,3 D - nematocida). Già da diversi anni numerose ricerche sono state avviate in più Paesi al fine di testare la validità di tali sostanze come sostitutive del BM, fumigante per eccellenza da sempre preferito dagli agricoltori. I risultati ottenuti hanno permesso di evidenziare, chiaramente, come la variabilità dell'efficacia di dette molecole sia strettamente dipendente, dalle modalità di applicazione dei fumiganti, dalla costituzione e dalla tessitura del terreno, dalla temperatura e dal grado di umidità presenti al momento del trattamento.

Per ciò che concerne l'influenza esercitata dalle diverse tecniche di somministrazione dei fumiganti è emersa, più nel dettaglio, l'eventualità di ottenere un incremento dell'efficacia dei trattamenti attuati con MS e 1,3 D quando applicati con l'innovativa tecnica della "drip fumigation". Detta metodica di fumigazione già adottata da tempo negli Stati Uniti, è basata sulla distribuzione dei prodotti tramite un impianto a microportata posto sotto il film pacciamante, successivamente utilizzato per l'irrigazione della coltura messa a dimora. La possibilità di una tale distribuzione dei prodotti favorirebbe, inoltre, una diminuzione delle dispersioni dei gas nell'atmosfera e, conseguentemente, una potenziale riduzione complessiva delle dosi di applicazione. Effetti questi ultimi che possono essere migliorati facendo ricorso alla copertura del terreno con film plastici contraddistinti da una scarsissima permeabilità ai gas e per questo definiti VIF, cioè, film

virtualmente impermeabili. Quanto detto assume una maggiore rilevanza in considerazione degli attuali indirizzi di politica ambientale finalizzati a restrizioni sempre più ampie in termini di utilizzo, ri-registrazione e/o registrazione dei fumiganti. È il caso, per l'appunto, del tanto discusso metilisotiocianato, potenziale inquinante del suolo e delle falde acquifere, che l'EPA (Environmental Protection Agency) ha classificato come probabile prodotto cancerogeno includendolo nella lista dei composti chimici dannosi. Come pure il caso del formulato commerciale a base di 1,3 D, Telone, già revocato a partire dal 20/03/08 con Decreto 5 marzo 2008, che regolamenta la vendita e l'utilizzo delle scorte entro e non oltre il 20/03/09. Numerosi sono i provvedimenti legislativi in corso che potrebbero però prolungare la possibilità di impiego di queste molecole e/o di limitarne le prospettive di utilizzo.

Tra le molecole di più recente registrazione disponibili per i trattamenti di disinfezione del terreno si annoverano il metham potassio (MK - anticrittogamico, nematocida, diserbante, insetticida) e la cloropicrina (CP - anticrittogamico, nematocida, diserbante, insetticida).

La prima appartiene al gruppo dei generatori di metilisotiocianati. Rispetto al MS avrebbe il vantaggio di ridurre la salinizzazione del suolo per il mancato rilascio di ioni sodio sostituiti da un apporto nutrizionale legato alla presenza dello ione potassio.

La cloropicrina è una sostanza chimica ad azione prevalentemente fungicida conosciuta da molto tempo. In Italia, in particolare è stata utilizzata in passato in combinazione al BM a concentrazioni non eccedenti il 2%, come additivo allertante e tale da non richiedere una specifica registrazione. La somministrazione nel terreno può avvenire sia per iniezione nel terreno che per irrigazione, ma sempre in combinazione con l'uso di film virtualmente impermeabili.

Già da tempo si sta cercando di impiegarla in miscela con l' 1,3 D, così da sfruttare l'azione sinergica e combinata di un fungicida e di un nematocida, come già avviene in altri Paesi (Telone C3 negli Stati Uniti, Telopic e Agrocelhone in Spagna).

2.2 Mezzi fisici

Tradizionalmente la disinfezione del terreno agrario è stata praticata ricorrendo oltre che ai mezzi chimici, da sempre preferiti dagli agricoltori, a quelli fisici basati per lo più sull'utilizzo di vapore surriscaldato. La disinfezione del suolo attraverso il vapore, infatti, è una pratica ben sperimentata e conosciuta da molto tempo, che consente di ridurre efficacemente la carica di inoculo presente nel terreno. Ancora oggi, però il costo molto elevato del trattamento limita l'impiego di tale mezzo a pochissime realtà aziendali. A questo limite, di natura economica, si aggiungono le difficoltà pratiche di messa a punto di sistemi di trattamento mobili in grado di adattarsi alle diverse esigenze delle colture e alle molteplici tipologie strutturali presenti nelle differenti realtà territoriali.

Un mezzo fisico di disinfezione che meriterebbe di essere maggiormente attenzionato e diffuso è la solarizzazione del terreno. L'introduzione di tale mezzo di lotta, che non fa ricorso a temperature elevate e che richiede costi energetici ridotti, infatti, ha stimolato da subito una enorme mole di ricerche in diversi Paesi dello scenario mondiale.

2.2.1 Vaporizzazione

La disinfezione del terreno per mezzo del vapore, è una tecnica molto efficace, ad ampio spettro di azione, che viene utilizzata nelle coltivazioni intensive per la disinfezione del terreno o di substrati per l'ortofloricoltura. Il contenimento dei patogeni è affidato alle alte temperature che si raggiungono nel terreno a seguito del trattamento.

Le tecniche di distribuzione del calore più utilizzate sono sempre state essenzialmente due. Una, la più diffusa, prevede una somministrazione del vapore, prodotto da generatori (caldaie) operanti a sistema fisso, al di sotto di fogli di materiale plastico isolante posti sulla superficie del terreno. L'altra tecnica prevede una distribuzione profonda del calore garantita dal passaggio del vapore all'interno di tubi perforati interrati ad una profondità variabile da 40 a 60 cm. Quest'ultima consente di migliorare l'efficienza del trattamento, ma è stata da sempre la pratica meno preferita dagli agricoltori a causa della laboriosità richiesta dalla tecnica stessa.

Normalmente la disinfezione del terreno per mezzo di vapore la si considera completata quando nel terreno si raggiungono valori di temperatura di circa 80°C per 30 minuti, sufficienti all'inattivazione della maggior parte dei funghi patogeni.

È importante, comunque, tener presente i rischi legati al raggiungimento nel terreno di valori di temperature troppo elevati, che potrebbero determinare non solo l'eliminazione della microflora saprofitica presente nel suolo, ma il rilascio di composti salini e l'accumulo di ammoniaca a livelli tali da risultare tossici per le piante.

2.2.2 Solarizzazione

La solarizzazione è un processo idrotermico in grado di apportare dei cambiamenti termici, fisici, chimici e biologici in suoli umidi, coperti con film plastici trasparenti ed esposti al sole nei mesi estivi, più caldi. È stata proposta per la prima volta in Israele da Katan e collaboratori (1975), come un nuovo mezzo di lotta non-chimico per il contenimento dei soilborne basato sul riscaldamento, per mezzo della radiazione solare, del suolo irrigato e pacciamato con fogli di polietilene trasparente. Un anno dopo, gli stessi, pubblicarono i risultati di prove iniziate nel 1973 che dimostravano come gli incrementi di temperatura ottenuti in suoli pacciamati con polietilene trasparente, permettessero di ridurre la popolazione di *V. dahliae* e di *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici*.

Negli anni successivi alla prima pubblicazione di Katan, si intensificarono le ricerche sulla solarizzazione in molti altri Paesi oltre che in Israele, tanto che, nel primo decennio di studi si contavano già più di 173 riferimenti bibliografici e più di 300 alla fine del 1990.

Così come il contributo fornito da Katan in Israele aprì la strada all'uso della solarizzazione in pieno campo, allo stesso modo Komada e collaboratori in Giappone, fecero da pionieri all'uso della solarizzazione in serra chiusa.

Dei diversi sinonimi introdotti per definire questo processo di disinfezione, quali sono stati "riscaldamento del suolo", "pastorizzazione", "pacciamatura riscaldante", il termine di "solarizzazione del terreno", introdotto dai patologi americani, è quello che più si preferisce perché largamente accettato, sintetico e perché esprime l'idea di un processo di riscaldamento attivo del suolo, come effettivamente avviene nella realtà.

2.2.2a Principi della solarizzazione

La solarizzazione, come già detto, è una tecnica di disinfezione del terreno, basata sul riscaldamento dello stesso attraverso una fonte naturale di calore (il sole) e la copertura con fogli di polietilene trasparente. La si applica, normalmente, in concomitanza ai periodi contraddistinti da temperature più elevate e radiazioni solari più intense, al fine di ottenere incrementi termici maggiori.

La pacciamatura del terreno, attuata comunemente con il polietilene trasparente, (film caratterizzato da una elevata trasmittanza alla radiazione solare, buone caratteristiche meccaniche e basso costo) deve essere mantenuta per un periodo sufficientemente lungo dipendente dalle temperature raggiunte e, solitamente, non inferiore alle 4 settimane al fine di poter assicurare una buona efficacia del trattamento alle profondità desiderate.

Il processo di riscaldamento, segue cicli giornalieri ripetuti. All'aumentare della profondità del terreno decrescono i valori massimi delle temperature, raggiunti più tardi e mantenuti, però, più a lungo. Negli appezzamenti solarizzati i valori termici che si registrano e che, possono superare di 5-15°C quelle dei terreni non trattati, sono compresi generalmente tra 45-50°C a 10 cm di profondità e 38-45°C a 20 cm di profondità (fig. 11), sebbene ne siano stati registrati anche di 5-10°C più alti.

L'efficacia del trattamento dipende principalmente dalle temperature raggiunte nel terreno, ma è influenzata da altri fattori di primaria importanza che concorrono a determinarne il successo.

Notevole il ruolo dell'umidità che influenza, potenziandolo, il trasferimento del calore ai microrganismi ed incrementa la sensibilità termica delle differenti strutture di resistenza dei patogeni ipogei.

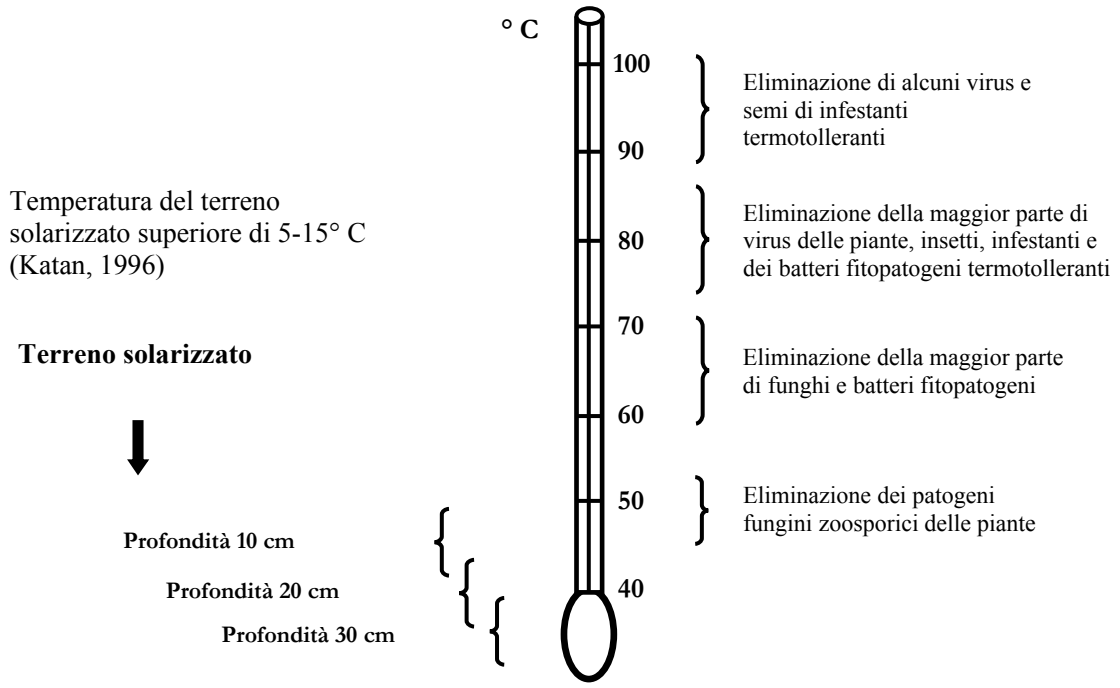

Figura 11. Temperature in terreni solarizzati e temperature letali di patogeni dotati di differente sensibilità al calore dopo 30 min. di trattamento (Fonte da: Agrios, 1997, modificato).

Inoltre, non di rado, ne è stata accertata l'influenza nei confronti della salinità del terreno. Più precisamente, le fluttuazioni giornaliere delle temperature, che si abbassano nelle ore notturne ed incrementano nelle ore di irradiamento solare, determinano un movimento dell'umidità che dagli strati più superficiali si sposta verso il basso durante il giorno, per poi risalire durante la notte, in corrispondenza di un raffreddamento della superficie del terreno. Tali spostamenti, che interferiscono inevitabilmente sulla distribuzione dei sali nel terreno, potrebbero migliorare lo strato coltivabile.

Determinante la diversa sensibilità al calore dei patogeni tellurici, attribuita a differenze intramolecolari a livello delle membrane cellulari, che potrebbero prescindere, comunque, da fattori genetici. È il caso, ad esempio, dei patogeni che, cresciuti in ambienti caldi si sono maggiormente adattati a sopportate temperature più elevate rispetto alle specie tipiche di climi freddi. Ciò contribuisce a spiegare l'inaspettato successo della solarizzazione in Paesi freddi quali, il Canada, il Quebec, l'Inghilterra. Generalmente, per i microrganismi definiti mesofili, cioè incapaci di crescere a temperature superiori a 31-32 °C, una soglia termica di circa 37 °C risulta critica, e l'effetto termico cumulativo nel corso

del processo, risolutivo. Ovviamente ad un incremento di temperatura corrisponde una riduzione della durata del trattamento nella combinazione letale temperatura-tempo. I microrganismi termofili o termotolleranti, di contro normalmente, non risultano completamente inattivati dal processo che, può comunque, esercitare una certa influenza, spesso, traducibile in un indebolimento e in una maggiore suscettibilità alle variazioni delle condizioni ambientali, tipiche dei suoli solarizzati o ancora all'azione svolta dai microrganismi antagonisti.

Essenziale è, inoltre, ai fini della riuscita del trattamento, una corretta e scrupolosa esecuzione delle varie fasi del processo. Il terreno da solarizzare deve essere preparato per tempo, dopo aver eliminato i residui vegetali del precedente ciclo colturale, deve essere lavorato a 30-40 cm di profondità e irrigato abbondantemente (40-50 l/mq).

2.2.2b Meccanismi di azione della solarizzazione

Tra i diversi effetti scaturiti dal trattamento di solarizzazione (i cambiamenti all'interno delle popolazioni microbiche, le variazioni nella composizione chimico-fisica del terreno e dei gas atmosferici al suo interno, l'incremento dell'umidità scaturito dalla pacciamatura) sicuramente, quello fisico, relativo all'incremento della temperatura, che influenza l'intera attività patogena, è il più immediato e pronunciato.

L'esposizione di un organismo a temperature superiori a quella massima di sviluppo, determina infatti, una serie di alterazioni la cui entità appare in stretta correlazione con i valori termici raggiunti e con la durata dell'esposizione stessa. I rapporti temperatura – tempo, che si concretizzano durante il trattamento di solarizzazione rappresentano, quindi, parametri essenziali per la definizione dell'entità del danno termico diretto. L'esito finale dell'esposizione al trattamento fisico, quando nel terreno si sono registrate temperature letali, è la morte dell'organismo. La sommatoria delle combinazioni temperatura-tempo può, però, non essere del tutto risolutiva e il patogeno subire, comunque, dei danni traducibili, prevalentemente, in una riduzione dell'inoculo potenziale (densità di inoculo e

capacità infettiva dei patogeni) ed in un incremento della vulnerabilità all'azione dei microrganismi antagonisti presenti nel suolo.

Tra gli effetti indotti dal trattamento di solarizzazione sono da annoverare, l'annullamento totale o parziale della fungistasi e successiva lisi dei propaguli germinati; la riduzione dell'attività patogena dovuta a fenomeni di antibiosi o di competizione intensificatisi con il processo; la riduzione dell'attività saprofitica competitiva del patogeno; la minore probabilità di reinfezione da parte dell'inoculo introdotto dopo il trattamento ostacolata da processi innescati dalla microflora selezionatasi nel terreno e dotata di notevole capacità saprofitaria.

2.2.2c Film plastici innovativi per la solarizzazione del terreno

Il film plastico tradizionalmente utilizzato per la solarizzazione del terreno è il polietilene trasparente (PE) introdotto su scala commerciale, unitamente all'EVA (etilen vinil acetato) e al PVC (polivinil cloruro) nel 1939. Il diffuso utilizzo di questo film, è sicuramente legato oltre che alle buone caratteristiche fisico-meccaniche, flessibilità, resistenza meccanica, tenuta alle alte temperature, al suo basso costo commerciale.

Da subito, l'obiettivo dei ricercatori nel campo delle materie plastiche con particolare riferimento alla tecnica della solarizzazione è stato quello di ottenere film plastici innovativi che permettessero di intrappolare quanta più energia solare possibile e ottenere incrementi termici nel terreno più elevati rispetto ai film tradizionalmente utilizzati.

Sono stati, a riguardo, definiti più meccanismi che hanno consentito, apportando le giuste modifiche a film esistenti, di ottenerne di qualitativamente migliori. Generalmente le caratteristiche dei film vengono migliorate aggiungendo sostanze di diversa natura, inorganiche (sali fosfatici, silicati, silico-alluminati, ecc.), organiche (vinil-acetato) o di altri additivati durante il processo di fabbricazione, o ancora mediante la coestrusione di due o più strati di materiali affini o complementari, così da ottenere un nuovo film qualitativamente migliore.

Sono stati individuati degli additivi, per esempio, che combinati alle macromolecole sintetiche dei film ne possono migliorare la ritenzione del calore. Tali sostanze agiscono da barriera nei confronti delle radiazioni nella regione dell'infrarosso lungo. Il film plastico PE infrarosso, per esempio, è un polimero modificato con un additivo che gli conferisce

una maggiore capacità di assorbire radiazioni infrarosse tale da renderlo simile all'EVA. Quest'ultimo, infatti, grazie all'elevata concentrazione di vinil-acetato, agisce come una trappola nei confronti della diffusione dei raggi infrarossi prevenendone la dispersione.

Altre sostanze importanti, sulle quali si è molto studiato, sono quelle riconosciute in grado di interferire con i processi di degradazione, consequenziali, dei film esposti ai raggi UV. Sostanze simili sono state rinvenute, inizialmente, nei film neri che più degli altri riuscivano a riflettere i raggi UV del sole e a rallentare così l'effetto degradante. In particolare al carbone, responsabile dell'opacità del film, è stato riconosciuto un ruolo fondamentale come stabilizzatore degli UV.

Oggi si distinguono tre tipi di stabilizzatori della radiazione solare in grado di limitare i processi di fotodegradazione:

- assorbitori dei raggi UV: determinano un effetto schermo, competendo con il materiale nell'assorbimento dei raggi UV, i quali sono i principali attivatori dei processi di degradazione, poiché generano radicali liberi nell'ambito del polimero;
- inibitori: disattivano gli stati eccitati dei gruppi che hanno assorbito l'energia radiante, favorendo il ritorno dei radicali liberi;
- evacuatori di radicali liberi: espellono i radicali liberi, impedendo così l'instaurazione dei processi di ossidazione che porterebbero al completamento della fase di degradazione del polimero.

Diversi pigmenti possono, inoltre, essere aggiunti per imprimere ai film particolari colorazioni che ne influenzano il comportamento nei confronti dell'energia radiante. Il film nero (additivato con carbone nero), per esempio, assorbe gran parte dell'energia solare e si riscalda. Il film trasparente, invece, trasmette la maggior parte della radiazione solare che viene assorbita dal terreno, contrariamente ad un film bianco che tende, essenzialmente, a riflettere l'energia radiante con un ridotto riscaldamento del terreno.

Uno studio svolto proprio sull'influenza dei differenti colori dei film plastici per la solarizzazione sull'efficacia del riscaldamento del terreno, ha permesso di evidenziare la stretta correlazione tra il flusso di calore sotto ciascuna differente pacciamatura e le proprietà fotometriche dei diversi film colorati. In particolare è stato dimostrato come le temperature più elevate si raggiungevano in corrispondenza di un film di colore rosso, contraddistinto da particolari proprietà fotometriche, seguito in ordine dal film trasparente, verde, blu, giallo e infine dal film nero. Quindi i ricercatori, in accordo con i risultati

ottenuti, conclusero che il film rosso fosse il più appropriato per il contenimento dei soilborne.

Normalmente per la solarizzazione del terreno vengono impiegati materiali plastici trasparenti con elevata trasmittanza delle radiazioni solari del campo UV - VIS - NIR e opachi alla trasmittanza delle radiazioni appartenenti all'infrarosso lungo (IR) emesse dal terreno durante la notte e responsabili del raffreddamento del suolo. I film più utilizzati oltre al PE, al PVC e all'EVA, sono i laminati plastici a base di LDPE additivati di EVA, con una percentuale di VA pari ad almeno il 10-12%, oppure film coestrusi (bistrato o tristrato) a base di LDPE ed EVA.

L'impiego dei film plastici è, però, uno dei fattori che contribuisce a limitare la diffusione della solarizzazione, considerate le difficoltà relative ai costi elevati per il recupero e lo smaltimento dei film e al notevole impatto ambientale sugli agroecosistemi.

Già da alcuni anni, infatti, le ricerche nel settore dei materiali plastici sono rivolte, oltre che alla selezione di materiali plastici in grado di migliorare l'efficienza della tecnica di disinfezione, alla messa a punto di materiali innovativi che presentino caratteristiche di maggiore compatibilità con l'ambiente e soluzioni economicamente più convenienti.

La panoramica attuale dell'innovazione dei film plastici può essere così sintetizzata:

- produzione di film additivati a maggiore durata nel tempo, a parità di spessore e delle altre caratteristiche fisiche, ottiche e meccaniche, in modo da consentire periodi di utilizzo più lunghi e, di conseguenza, ridurre la produzione totale annua di rifiuti plastici ed il costo di sostituzione periodica del film;
- produzione di film fotoselettivi che possono rimanere in opera come pacciamature durante la stagione colturale successiva al trattamento di solarizzazione in modo da limitare i possibili rischi di re-infezione del terreno e ridurre il quantitativo dei materiali complessivamente impiegati per la pacciamatura del terreno sotto serra;
- produzione di film caratterizzati da un maggiore effetto termico e tali, quindi, da consentire un miglioramento dell'efficacia del trattamento di solarizzazione;
- produzione di materiali innovativi caratterizzati da spessori che possono essere significativamente ridotti rispetto a quelli tradizionali grazie ad un corrispondente incremento percentuale delle capacità di resistenza meccanica unitaria, in modo da ridurre il peso e, dunque, il costo unitario del film nuovo;

- produzione di manufatti che si degradano spontaneamente al termine della loro applicazione, evitando la raccolta del rifiuto; in tal caso i residui del materiale degradato devono poter essere incorporati nel terreno agrario senza alterarne la costituzione chimico-fisica.

I meccanismi di degradazione dei polimeri possono essere di varia natura: fotodegradazione, causata dal potere energetico dei raggi UV della radiazione solare; degradazione termossidativa, scaturita dall'azione aggressiva dell'ossigeno; degradazione termica, che avviene per effetti del livello termico del materiale; degradazione meccanica, determinata da stress dovuti a sollecitazioni e azioni esterne che provocano la deformazione; biodegradazione, indotta dall'azione dei microrganismi.

I film biodegradabili in commercio contengono promotori di bio-degradazione, che fungono da esca per alcuni tipi di microrganismi, i quali sottraggono materia alla matrice polimerica e finiscono per spezzare le lunghe catene, in modo da renderle più accessibili alle successive degradazioni da parte di altri microrganismi. Come promotori sono utilizzate catene polimeriche naturali sotto forma di macromolecole come gli zuccheri, cioè amido e cellulosa, o gli oligomeri proteici.

2.2.2d Integrazione della solarizzazione con altri mezzi di lotta

L'efficacia della solarizzazione, quale tecnica di disinfezione del terreno, come già detto, è molto variabile in relazione, principalmente, all'entità degli innalzamenti della temperatura del terreno e alla loro durata. Il trattamento, inoltre, non sempre è risolutivo per il modesto strato di terreno interessato dall'innalzamento termico e per la nota tolleranza al calore di alcuni patogeni tellurici. Gli studi inerenti alla possibilità di incrementarne l'efficacia mirano oggi, oltre che all'individuazione di film caratterizzati da un maggiore effetto termico, alla messa a punto di strategie di lotta integrata che prevedono la combinazione della stessa con altri mezzi di lotta, quali possono essere l'impiego di antagonisti biologici o l'uso piante biocide.

La potenzialità di numerose specie di *Trichoderma* di essere utilizzate come agenti di biocontrollo di alcune malattie furono, per prima, riconosciute negli anni 30' ed estese,

successivamente, a molte altre malattie. L'enorme mole di ricerche, in tal senso, ha contribuito a definire e ottimizzare le loro potenzialità tanto da rendere possibile una produzione su scala commerciale di diverse specie di *Trichoderma* per la protezione fitosanitaria e il miglioramento dell'accrescimento vegetativo di un cospicuo numero di colture agrarie.

Altrettanto numerosi sono stati gli studi relativi alle possibilità d'impiego di piante biocide in abbinamento al trattamento di solarizzazione. Si tratta di piante che si contraddistinguono per l'elevato contenuto in glucosinolati, sostanze che sottoposti ad idrolisi enzimatica portano alla produzione di solfidi, isotiocianati, tiocianati e nitrili, dotati di attività fungistatica o fungicida.

3. LA SOLARIZZAZIONE E I FILM PLASTICI MAGGIORMENTE UTILIZZATI NELL'ORTICOLTURA PROTETTA MERIDIONALE

La tecnica della solarizzazione del terreno ha sollevato nell'ultimo ventennio un coro di consensi e stimolato numerose ricerche prevalentemente in Italia meridionale.

L'eliminazione del bromuro di metile e le limitazioni relative all'impiego di altri fumiganti, anche in virtù delle recenti normative europee sull'uso sostenibile dei pesticidi, favoriranno sempre più la diffusione della tecnica della solarizzazione come mezzo di lotta per il contenimento di numerosi patogeni tellurici in orticoltura intensiva.

La solarizzazione agisce, come detto, attraverso molteplici e complessi meccanismi che determinano anche cambiamenti nella microflora del suolo e sostanziali modifiche delle proprietà del terreno. Il riscaldamento del terreno presenta ciclicità giornaliera ed innalzamenti termici più sostenuti negli strati superficiali rispetto a quelli più profondi.

L'efficacia del trattamento di solarizzazione è condizionata da innumerevoli variabili (regimi termici, tenore di umidità nel terreno, sensibilità dei patogeni, ecc.) che sono state riportate nei precedenti capitoli. Di rilievo, per l'influenza esercitata sul regime termico che si instaura nel terreno sottoposto al trattamento di solarizzazione, è l'aspetto correlato al tipo di materiale plastico impiegato per la copertura delle serre e la pacciamatura del terreno.

Le prestazioni dei film plastici e la loro idoneità ad essere impiegati in apprestamenti protetti, sono determinate dalle loro caratteristiche chimico-fisiche, meccaniche e radiometriche che influenzano tra l'altro la durata del materiale e, quindi, la resistenza alle sollecitazioni cui si trova sottoposto sia nelle operazioni di posa che di rimozione sia nel periodo in cui rimane in opera.

I film plastici maggiormente utilizzati nell'orticoltura protetta sono tradizionalmente a base di polietilene (PE, anche nelle forme LDPE = polietilene a bassa densità e LLDPE = polietilene lineare a bassa densità) e di etilene-vinil-acetato (EVA). I film in PE rappresentano quelli maggiormente diffusi ed economici, mentre quelli in EVA sono più costosi, ma consentono un maggiore effetto termico. Spesso PE ed EVA vengono combinati insieme mediante coestrusione per conferire migliori caratteristiche al prodotto finale. Attraverso la coestrusione sono stati progettati i film bistrato, tristrato o multistrato additivati con sostanze di carica (silicati, fosfati, ecc.) che permettono prestazioni migliori rispetto a quelle ottenute con i film tradizionali. Il loro impiego può consentire di:

- evitare o ridurre il pericolo di scottature al colletto delle piante (soprattutto durante i trapianti precoci) mediante l'impiego di film che abbiano la proprietà di non riscaldarsi eccessivamente;
- limitare la crescita delle infestanti nel terreno sottostante con l'utilizzo di film che impediscono il passaggio della radiazione fotosinteticamente attiva;
- evitare l'attacco di parassiti nocivi alle piante mediante l'impiego di film plastici che disturbano la loro normale attività.

La tecnica della solarizzazione del terreno può essere altresì migliorata, sia in termini di efficacia che di sostenibilità, perseguendo altri obiettivi:

- favorire l'innalzamento della temperatura del terreno e limitare le dispersioni notturne dell'energia accumulata durante il giorno;
- eliminare o ridurre i problemi connessi allo smaltimento dei film plastici a fine impiego;
- evitare il rischio di reinfestazione del terreno durante la sostituzione del film impiegato per la solarizzazione con il film di pacciamatura utilizzato durante il ciclo colturale.

In tale ambito, ha assunto una fondamentale importanza la ricerca nel settore delle materie plastiche, finalizzata allo sviluppo di film innovativi in grado di ridurre la durata del trattamento e di limitare la quantità di materiali di rifiuto con conseguente riduzione dell'impatto ambientale.

I film plastici innovativi possono essere differenziati in tre grandi categorie: ultrasottili, biodegradabili e fotoselettivi. Per migliorarne le caratteristiche fisiche e spettro-radiometriche essi possono venire rispettivamente addizionati con vinil-acetato per aumentarne la durata e la resistenza e con varie cariche minerali.

Si riportano di seguito, dai tradizionali agli innovativi, alcuni esempi di film plastici impiegati o oggetto di sperimentazione per la solarizzazione del terreno:

Polietilene: film incolore di spessore 0,035 mm ottenuto con LDPE o LLDPE in grado di trasmettere alla superficie del terreno la quasi totalità dei raggi solari e, pertanto, può essere efficacemente impiegato per la solarizzazione durante la stagione calda. Determina, infatti, un notevole incremento della temperatura del terreno, eliminando la maggior parte dei parassiti tellurici. Talvolta con uno spessore maggiore viene utilizzato come film annuale o biennale per la copertura delle serre.

EVA: film incolore a base di PE additivato con vinil-acetato dello spessore di 0,035 mm leggermente più costoso del tradizionale PE, ma con maggiore effetto termico e fisicamente più resistente e durevole. Di spessore più elevato (0,13-0,15 mm**)** viene utilizzato come film poliennale per la copertura delle apprestamenti protettivi per le colture.

Figura 12. Serra e parcelle di terreno di una prova sperimentale coperte con film plastici in etilene-vinil-acetato (EVA) rispettivamente di spessore 150 μm e 35 μm.

Fumè: film fotoselettivo ottenuto con LDPE parzialmente opacizzato con nero fumo dello spessore di 0,055 mm, caratterizzato da limitata trasmittanza nel visibile, che consente di controllare lo sviluppo delle erbe infestanti se utilizzato anche come pacciamatura nella fase di coltivazione; dotato di una buona opacità alla radiazione infrarossa lunga che permette di mantenere la temperatura del terreno anche nelle ore notturne.

Figura 13. Parcella di terreno sperimentale coperta con film Fumè.

Coestruso verde: film fotoselettivo di colore verde (CoeV) dello spessore di 0,040 mm, ottenuto per coestrusione di due strati di EVA di uguale spessore, uno dei quali additivato con un pigmento verde; tale film può essere impiegato per la copertura del terreno per la solarizzazione e lasciato in opera come pacciamatura durante la stagione colturale successiva, in quanto ha proprietà ottiche tali da inibire la crescita delle erbe infestanti.

Figura 14. Parcelle sperimentali di terreno coperte con film coestruso verde.

Film sperimentale: film dello spessore di 0,035 mm.

Figura 15. Parcelle sperimentali di terreno coperte con film sperimentale (al centro).

Poliammide: film ultrasottile a base polimerica costituito da poliammide ed impiegato sperimentalmente sia per la pacciamatura del terreno come film virtualmente impermeabile (VIF) con spessore 0,020 mm circa sia per la copertura della serre (0,060 mm).

Figura 16. Parcelle sperimentali di terreno coperte rispettivamente (dal basso verso l'alto) con film plastici in poliammide-VIF, coestruso verde e fumè.

Film biodegradabile: film sperimentale costituito da un polimero derivato dall'amido di mais, lattescente e di spessore 0,040 mm, il quale a contato con l'acqua ed in presenza di microrganismi in condizioni aerobici viene completamente degradato trasformandosi in acqua e anidride carbonica.

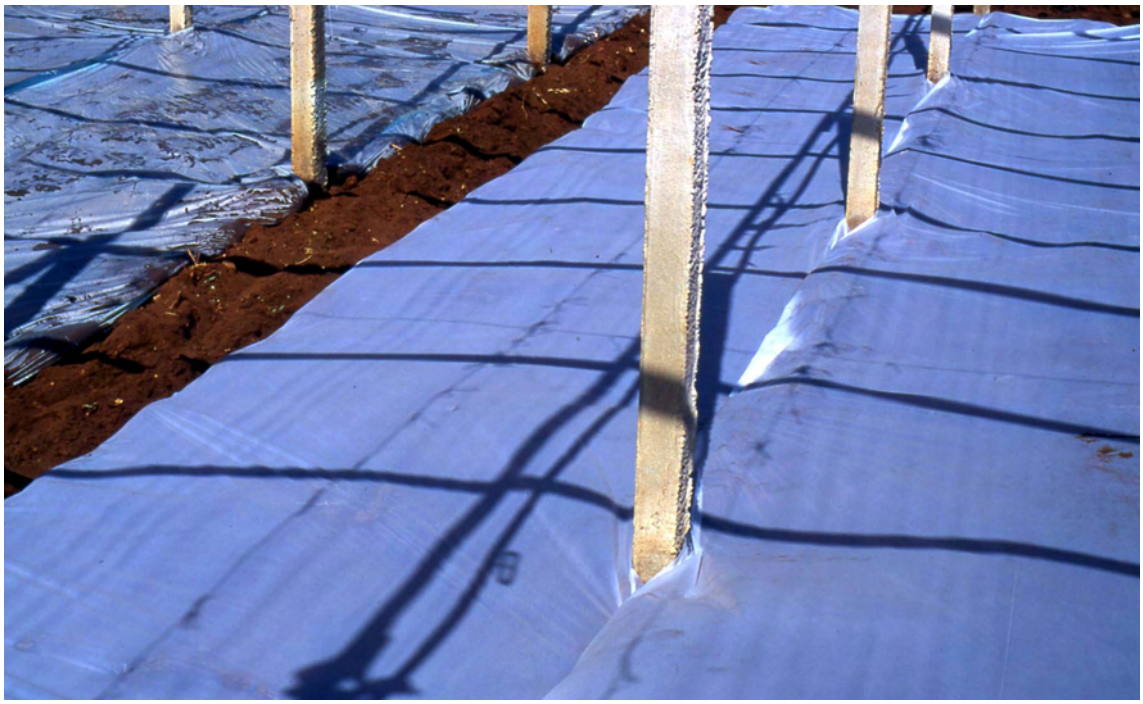

Figura 17. Parcella sperimentale di terreno pacciamata con film plastico biodegradabile lattescente a base di amido termoplastico.

4. Risultati ottenuti

Si riportano i principali risultati di un triennio di prove condotte in laboratorio, in condizioni controllate ed in apprestamento protetto, suddivisi per tipologia di azione.

4.1 Monitoraggio della sensibilità termica dei patogeni tellurici in microcosmi

Le temperature raggiunte nei terreni solarizzati si aggirano solitamente attorno a valori di 45-50 °C a 10 cm di profondità e di 38-45 °C a 20 cm, sebbene in qualche caso siano state registrate temperature superiori dell'ordine di 5-10 °C. Le elevate temperature indeboliscono le strutture dei patogeni ("effetto sub-letale") abbassandone così il potenziale d'inoculo ed incrementano al tempo stesso la loro suscettibilità nei confronti dei microrganismi antagonisti e dei fattori ambientali avversi. Varie esperienze di monitoraggio della sensibilità termica in condizioni controllate hanno già dimostrato come l'esposizione di alcuni patogeni al calore renda i propaguli meno resistenti all'azione dei microrganismi antagonisti.

E' noto in letteratura, inoltre, come l'esposizione dei patogeni *soil-borne* a temperature superiori della temperatura ottimale e massima di crescita determini una riduzione della loro vitalità con una mortalità della popolazione dipendente, oltre che dal livello di temperatura dal tempo di esposizione. Sulla natura del rapporto esistente tra temperatura raggiunta e tempo d'esposizione necessario ad inattivare i propaguli molti autori concordano sull'esistenza una correlazione di tipo inverso e ne hanno ipotizzato di volta in volta modelli diversi a secondo del patogeno per determinare mortalità definite (es. 90%) dei propaguli. Tali modelli sono stati elaborati negli anni per determinare l'aspetto quantitativo dell'inattivazione termica dei microrganismi nel tentativo di prevedere la mortalità e stabilire criteri accettabili per conoscere la sensibilità al calore specifica di un organismo. Non dilungandosi sui principi cui si fa frequentemente riferimento ("Van Hoff e Arrhenius" sui logaritmi del tasso di risposta alla temperatura) diremo che, *nella maggior parte dei casi, temperature comprese tra 40 e 50 °C riescono a ridurre gran parte della popolazione dei soil-borne con un tempo di esposizione variabile a seconda del grado*

termico (somma termica) raggiunto e della sensibilità tipica di un microrganismo. La risposta al trattamento è legata, oltre che allo stato fisiologico del patogeno, al tipo di propagulo, all'età e ai fattori ambientali, anche al livello di umidità del terreno, variabile decisiva dal momento che alcuni microrganismi sono molto più resistenti al calore in condizioni di secco.

Tralasciando riproduzioni grafiche generali che evidenzino correlazioni tra le variabili esaminate, vengono qui riportati i risultati più rappresentativi riguardanti una esperienza di monitoraggio della vitalità in condizioni di laboratorio di un patogeno *soil-borne* delle colture orticole. Nel dettaglio si riporta l'influenza di variabili note e meno note sugli effetti delle temperature sulla vitalità degli sclerozi di *Sclerotium rolfsii*. In tabella 2 si osservano gli effetti dell'esposizione a singole temperature reiterate per varie durate.

Tabella 2. Effetto di varie temperature mantenute per differenti periodi di esposizione sulla riduzione della vitalità degli sclerozi di *Sclerotium rolfsii*.

Temperature (°C)	Riduzione (%) vitalità a differenti periodi		
	14 giorni	**7 giorni**	**3 giorni**
40°	*64*	*8,7*	*0*
42°	*100*	*63,4*	*0*
44°	-	*100*	*30*
46°	-	-	*70*
48°	-	-	*100*

Oltre a fornire conoscenze più dettagliate sulla resistenza al calore del singolo patogeno tellurici, tali risultati dimostrano l'importanza del ruolo svolto dall'effetto cumulativo delle temperature nel tempo sulla riduzione della vitalità di *S. rolfsii*. Esemplificativi, a riguardo, sono stati i risultati ottenuti in corrispondenza del trattamento termico effettuato a 40°C. Infatti, solo dopo 14 giorni di trattamento, quindi solo dopo aver cumulato un numero di ore sufficienti a danneggiare irrimediabilmente le strutture di resistenza (parete, corteccia e medulla degli sclerozi), questa soglia termica ha permesso di ridurre significativamente la loro vitalità rispetto ad un controllo non trattato.

In tabella 3 si riportano i risultati di prove in microcosmi svolte per verificare l'influenza della temperatura di differenziazione degli sclerozi (fig. 18) sulla sensibilità di queste strutture ai trattamenti termici.

Tabella 3. Effetto di diverse temperature impiegate per la differenziazione degli sclerozi di *Sclerotium rolfsii* sulla riduzione della vitalità degli stessi sottoposti a differenti trattamenti termici.

Temperatura °C	Temperatura (°C) di differenziazione degli sclerozi							
	13°C		***18°C***		***23°C***		***28°C***	
	T.G. (h)	**%**	**T.G. (h)**	**%**	**T.G. (h)**	**%**	**T.G. (h)**	**%**
Test (25°)	*24*	*100*	*36*	*100*	*48*	*100*	*48*	*100*
36°	*24*	*100*	*36*	*100*	*48*	*100*	*60*	*100*
38°	*24*	*100*	*48*	*100*	*48*	*100*	*60*	*100*
40°	*24*	*100*	*48*	*100*	*48*	*100*	*156*	*91,3*
42°	*84*	*77,3*	*108*	*46*	*108*	*39,3*	*156*	*34,6*

T.G. = tempo di germinazione richiesto per tutti gli sclerozi vitali.
% = percentuale di colonie vitali sul totale degli sclerozi piastrati.

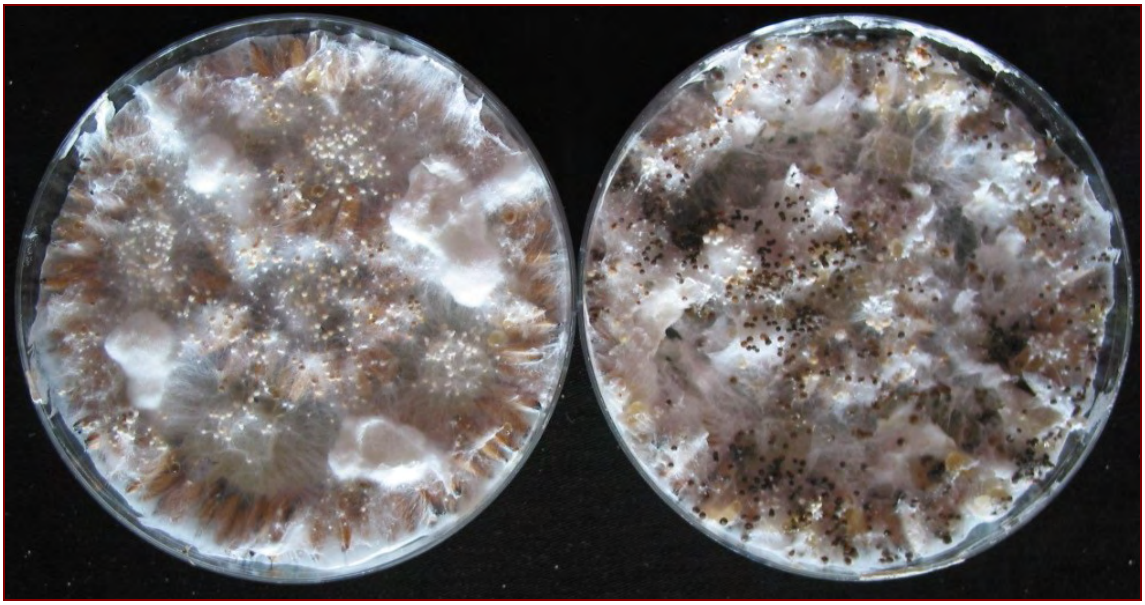

Figura 18. Differenziazione degli sclerozi di *Sclerotium rolfsii* su cariossidi di avena in fasi temporali e temperature diverse per le prove in microcosmi.

Dai dati riportati in tabella 3 si evince come fino a 40 °C non siano state riscontrate differenze significative tra le percentuali di isolamenti positivi ottenuti dagli sclerozi differenziati alle varie temperature considerate.

Di contro, indicativi sono risultati i dati relativi al numero di ore necessarie per ottenere la germinazione di tutti gli sclerozi vitali. In particolare, il tempo che trascorre dal momento dell'isolamento in piastra fino all'evasione del micelio dagli sclerozi vitali, è sempre inferiore per quelli differenziati a temperature sub-ottimali. Per la germinazione degli sclerozi formatisi a 13 °C è stato registrato sempre il numero di ore più basso, mentre

i periodi più lunghi sono sempre stati ottenuti per la germinazione degli sclerozi differenziatisi alla temperatura ottimale.

Tale comportamento potrebbe essere legato al più lento processo di formazione degli sclerozi a temperature più basse da quella ottimale, che permetterebbe agli stessi di svilupparsi meglio, in termini di maggiore accumulo di riserve, successivamente, implicate nei processi fisiologici della germinazione. A conferma di tale ipotesi il riscontro delle maggiori dimensioni, più evidenti per gli sclerozi cresciuti a 13 °C, sin dalla prima fase di formazione (compattamento ifale) rispetto a quelli differenziatisi a 28 °C. Ciò ne spiegherebbe anche la maggiore resistenza al calore accertata alla soglia termica di 42 °C.

Una ulteriore spiegazione potrebbe essere legata ad una assenza di simultaneità, alle differenti temperature di crescita, della fase di maturazione degli sclerozi, in particolare, della fase di indurimento della corteccia. Questa fase, infatti, si verifica dopo circa una settimana dall'inoculazione delle piastre, per gli sclerozi formatisi a 28°C, mentre a 13°C, dei due mesi necessari per la maturazione degli sclerozi, il tempo dedicato all'indurimento della corteccia è molto breve e si pone sempre alla fine del processo di formazione. Di conseguenza la corteccia può aver subito un differente processo di invecchiamento, sicuramente maggiore negli sclerozi differenziatisi a 28 °C e, proprio per tale motivo, potrebbe richiedere un più lungo periodo per germinare.

L'analisi dei risultati nel complesso, da una parte conferma l'effetto cumulativo del danno indotto al patogeno dalle temperature reiterate, dall'altra dimostra quanto complesso sia il monitoraggio della sensibilità termica dei patogeni *soil-borne*, che implica talvolta variabili poco note o sconosciute ancor più se condotto in apprestamenti protetti come vedremo di seguito.

4.2 Monitoraggio di fitopatologie frequenti e poco note pericolose per il comparto dell'orticoltura protetta

Numerose indagini conoscitive sono state condotte nell'areale dove si concentra la

maggior parte della produzione di orticole in ambiente protetto, rappresentato dalla fascia costiera che dalla provincia di Siracusa si estende fino alla provincia di Caltanissetta. Durante le numerose visite in varie aree del comprensorio è stato possibile osservare frequentemente problematiche fitopatologiche note e alterazioni meno note, ma di una certa rilevanza. Con riferimento a quelle note è stata accertata su pomodoro una elevata diffusione della suberosi radicale (corky root rot) causata dal fungo *Pyrenochaeta lycopersici* in numerose aziende ricadenti nel territorio della provincia di Ragusa. Non di rado questa malattia è stata rilevata con diffusioni prossime al 100% e spesso in associazione ad infestazioni causate da nematodi galligeni del genere *Meloidogyne* (prevalentemente *M. incognita*). Altra avversità del pomodoro riscontrata in più occasioni in apprestamento protetto è il marciume del colletto e delle radici (fusariosi radicicola) causato da *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici* (FORL). Questa malattia è stata individuata prevalentemente in alcune aziende site in provincia di Caltanissetta e di Siracusa. Nel territorio ragusano la malattia, responsabile in passato di danni di un certo rilievo, è stata rilevata solo occasionalmente. Con incidenza limitata sono stati rinvenuti sintomi di verticilliosi causati da *Verticillium dahliae* a carico di melanzana e di cancrena pedale causata da *Phytophthora capsici* su peperone. Sulla base della frequenza di rinvenimento e delle caratteristiche epidemiologiche di *P. lycopersici* e *V. dahliae* si è ritenuto opportuno concentrare le prove di lotta sulle infezioni naturali di *P. lycopersici* e su inoculo artificiale per quanto concerne *V. dahliae*.

Le ricognizioni di campo hanno consentito di osservare, sin dalla primavera 2007, una nuova alterazione su pomodoro coltivato in fuori-suolo in varie aziende produttrici rappresentative dell'orticoltura protetta dislocate nelle province di Ragusa, Siracusa e Catania. Le piante disseccavano spesso in concomitanza all'innalzamento delle temperature ed in prossimità della raccolta dei palchi superiori. Le indagini eseguite hanno consentito di rilevare una elevata incidenza dell'alterazione che in numerosi casi ha interessato quasi il 100 % delle piante coltivate (fig. 19).

Figura 19. Diffusi disseccamenti di piante di pomodoro causati da *Pseudomonas fluorescens* biovar 1 e da *P. putida*.

Numerose sezioni trasversali di fusto di più cultivar di pomodoro che presentavano tale sintomatologia, quali "Piccolo", "Tyty", "Jessica", "Shiren", "Desiderio", "Clave" e "Ikram" mostravano, soprattutto nella zona del colletto, una colorazione dei fasci vascolari e del midollo giallastra, rosa o brunastra in molti casi simile agli imbrunimenti indotti da FORL (fig. 20).

Figura 20. Imbrunimenti vascolari su piante di pomodoro causati da *Pseudomonas fluorescens* e da *P. putida*.

Dalle numerose analisi condotte a partire da espianti di tessuto infetto è stato possibile sempre rinvenire su substrati semiselettivi batteri gram-negativi. Più di un centinaio di batteri sono stati scelti e ottenuti in coltura per ulteriori analisi per la determinazione dell'agente eziologico. Tutti gli isolati hanno mostrato i caratteri LOPAT del gruppo Va e del gruppo Vb caratteristiche delle pseudomonadi fluorescenti. Successivamente sulla base dei saggi morfologici, fisiologici e biochimici tali ceppi batterici sono stati identificati come *Pseudomonas fluorescens* (biovar I) e *P. putida* (biovar A). Solo occasionalmente *P. fluorescens* (biovar G) e *P. corrugata* sono stati rinvenuti dai fusti sintomatici. *Fusarium oxysporum* f.sp. *radicis-lycopersici* è stato raramente isolato. L'identificazione dei ceppi è stata, altresì, confermata dal profilo nutrizionale attraverso l'analisi Biolog (Microlog TM System Release 4.2; Biolog, Inc., Hayward, Ca) con indici di similarità elevati sia per *P. fluorescens* biovar I sia per *P. putida* biovar A. L'analisi degli acidi grassi ha ulteriormente confermato l'identità dei ceppi batterici che erano stati preliminarmente identificati come *P. putida* con indici di similarità prossimi all'unità.

Alla luce dei risultati dell'indagine eseguita in coltivazioni fuori-suolo è stata avviata una ricerca su piante coltivate in piena terra che ha permesso di rilevare su piante apparentemente asintomatiche un diffuso imbrunimento vascolare di origine batterica. Anche in questi casi le prove di isolamento e di caratterizzazione degli isolati hanno consentito di confermare l'eziologia batterica.

Nel complesso questa indagine condotta nel triennio 2007-2009 pone l'accento su una nuova patologia che, data la frequenza con la quale è stata rinvenuta in tutta la fascia di produzione, potrebbe rappresentare, in special modo nelle colture fuori-suolo, un ulteriore fattore limitante la produzione.

4.3 Monitoraggio della sopravvivenza dell'inoculo dei patogeni tellurici in apprestamenti protetti

Prove in microcosmi hanno preliminarmente consentito di mettere a punto un modello per monitorare la sopravvivenza dell'inoculo di *V. dahliae* nel terreno sottoposto ai diversi trattamenti termici (fig. 21). Più in generale lo studio in microcosmi può, pertanto, affiancare la valutazione dei mezzi integrati di lotta in serra per il contenimento di patogeni *soil-borne* e consente di fornire indicazioni utili abbreviando i tempi di risposta. Tali studi, che prevedono l'impiego di matrici vegetali e non, possono costituire metodi idonei per la produzione di inoculo, per il loro rinvenimento in coltura e, quindi, per il monitoraggio della sopravvivenza dei patogeni nel suolo sotto serra.

Figura 21. Fase di produzione di microsclerozi di *Verticillium dahliae* su matrice vegetale e carta e successive fasi di esposizione e rinvenimento in coltura per il monitoraggio della sensibilità termica in microcosmi.

4.3.1 Effetti della solarizzazione sulla sopravvivenza di inoculo di *Verticillium dahliae* nel terreno in serra aperta

Una serie di sperimentazioni condotta in varie località dell'areale più rappresentativo delle orticole in ambiente protetto ha consentito di valutare gli effetti della solarizzazione a serra aperta sulla riduzione della vitalità di strutture di resistenza di *V. dahliae*.

I risultati di una prova effettuata in agro di Vittoria (RG) mostrano riduzioni apprezzabili della vitalità del patogeno (frequenza di rinvenimento %) negli strati più superficiali del terreno tra parcelle trattate e parcelle testimone già dal primo rilievo (graf. 1).

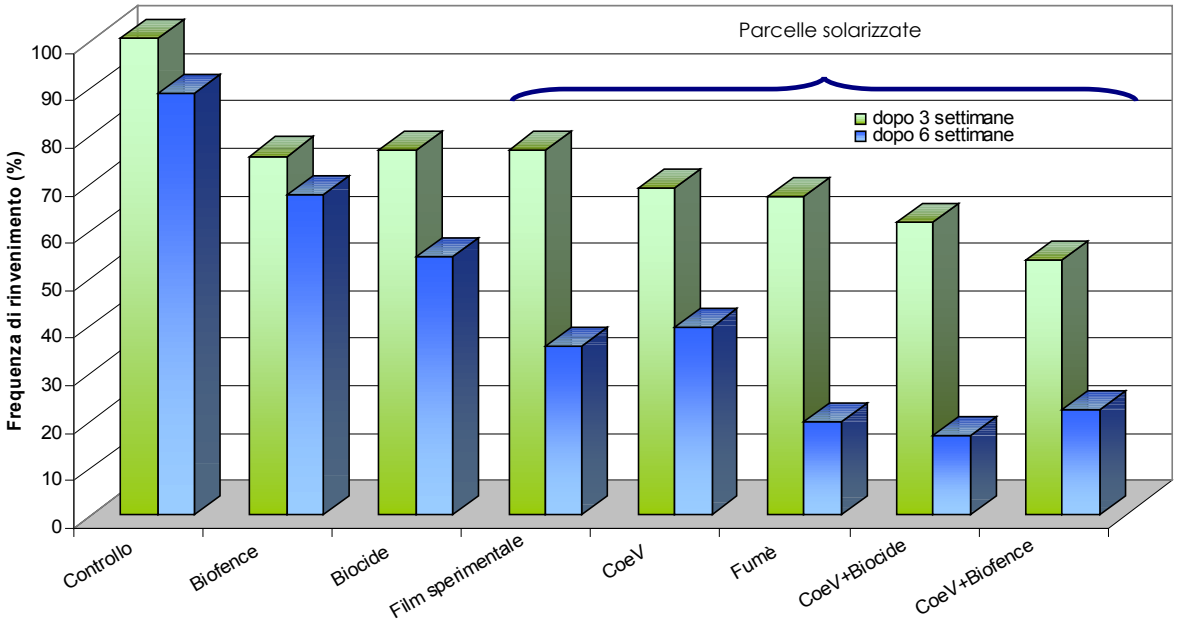

Grafico 1. Effetti della solarizzazione sulla sopravvivenza nel terreno di inoculo artificiale di *Verticillium dahliae* posto a 15 cm di profondità dopo due differenti periodi in parcelle diversamente trattate in condizioni di serra aperta (Vittoria, RG).

Solo dopo 6 settimane (colonne in blu) le riduzioni della sopravvivenza appaiono più nette e si riscontrano apprezzabili differenze anche tra i trattamenti a confronto, particolarmente tra parcelle solarizzate e non. I dati sulla sopravvivenza del patogeno alla profondità maggiore (graf. 2) confermano l'efficacia dei trattamenti solo dopo 1 mese e 1/2

dove le differenze tra tesi solarizzate e non sono inferiori a quelle riportate per la profondità più bassa (graf. 1).

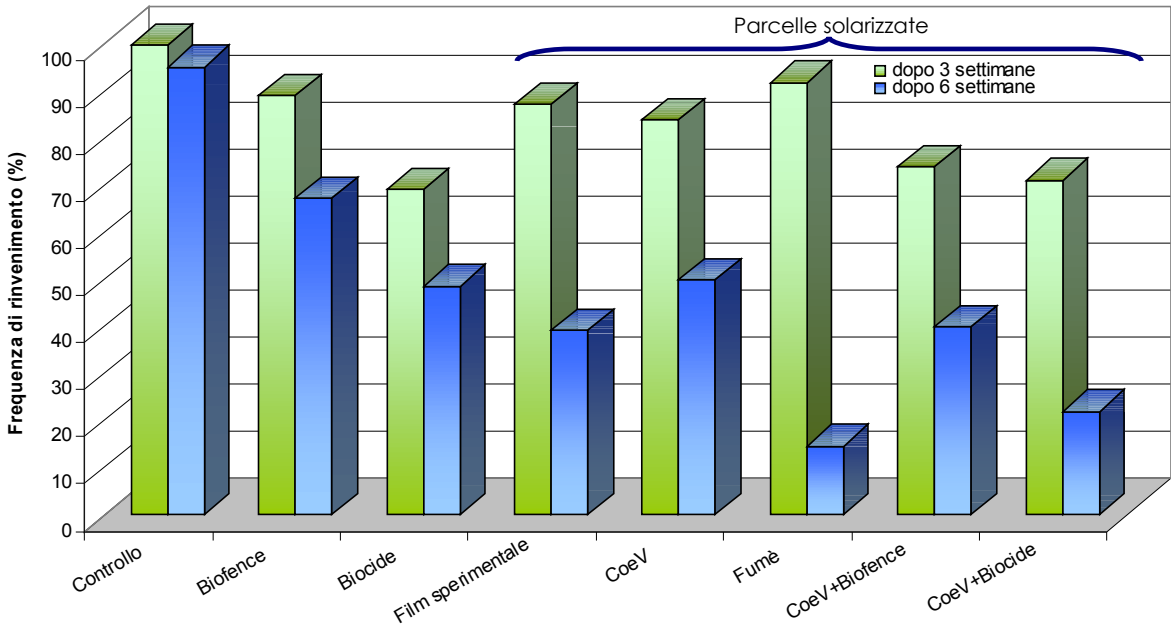

Grafico 2 – Effetti della solarizzazione sulla sopravvivenza nel terreno di inoculo artificiale di *Verticillium dahliae* posto a 30 cm di profondità dopo due differenti periodi in parcelle diversamente trattate in condizioni di serra aperta (Vittoria, RG).

Ciò è da porre in relazione agli andamenti termici con variazioni cicliche più contenute tra temperature massime e minime che si verificano nel terreno a profondità maggiori.

Ad ulteriore conferma della validità della tecnica si riportano (graf. 3) i risultati di una sperimentazione condotta a Santa Croce Camerina (RG) per valutare gli effetti di mezzi fisici, chimici e integrati di lotta sulla riduzione di strutture di resistenza di *V. dahliae* nel terreno.

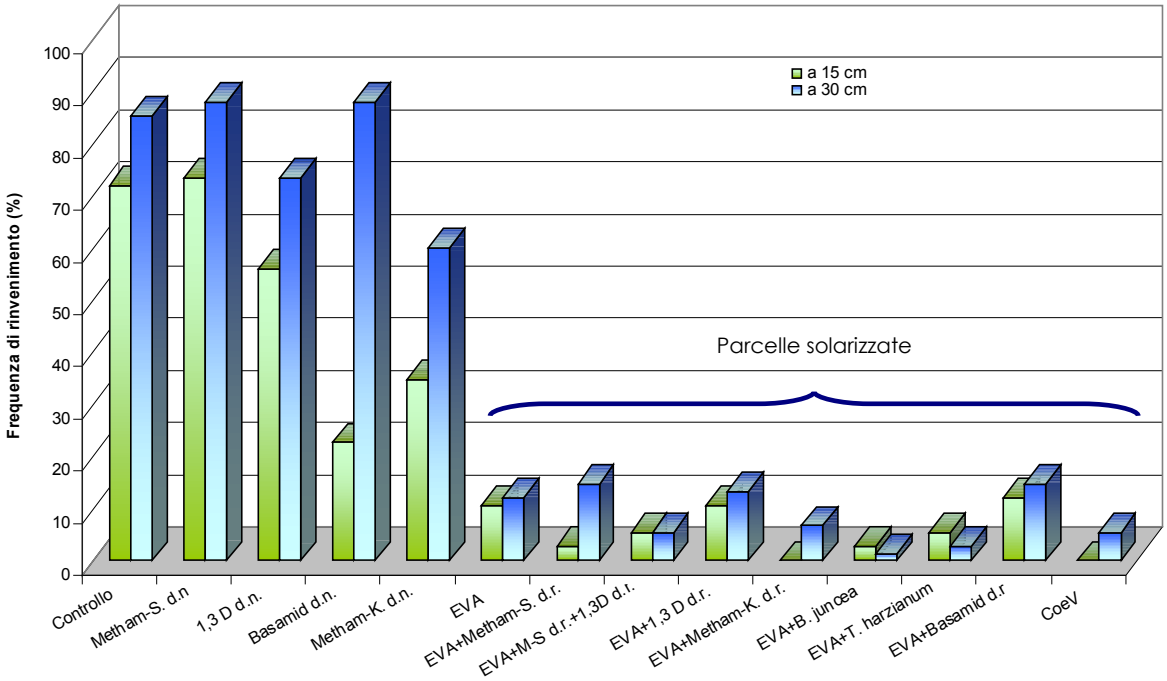

Grafico 3. Effetti della solarizzazione sulla sopravvivenza nel terreno di inoculo artificiale di *Verticillium dahliae* posto a differenti profondità dopo 10 settimane in parcelle diversamente trattate in condizioni di serra aperta (Santa Croce Camerina, RG).

La frequenza di rinvenimento da matrici infette da microsclerozi e interrate a due profondità consente di osservare notevoli differenze di sopravvivenza di *V. dahliae* tra parcelle solarizzate e non. Più nel dettaglio ad entrambe le profondità, tutti i trattamenti di solarizzazione, effettuati da soli o in abbinamento a basse dosi di fumiganti e a mezzi biologici, hanno fortemente ridotto la vitalità dei microsclerozi nel terreno. Riduzioni basse o nulle rispetto alle parcelle non trattate sono state accertate nelle tesi variamente fumigate, laddove nelle parcelle solarizzate si sono attestate sempre a valori superiori all'80%.

Complessivamente tali dati confermano la sostenibilità della solarizzazione in serra con le fenestrature laterali aperte in ambiente mediterraneo, ancor più se protratta per periodi prossimi a due mesi, nel ridurre a livelli accettabili il potenziale di inoculo del patogeno. Tali dati incoraggiano, altresì, l'utilizzo di film fotoselettivi ad elevato effetto termico (Fumè) e di film fotoselettivi parzialmente opachi (Coestruso verde) per la riduzione dell'inoculo del patogeno nel terreno ancor più se in abbinamento con l'applicazione di ammendanti organici (Biofence), piante biocide (*Brassica juncea*) e antagonisti biologici (*Trichoderma harzianum*). Di contro, non è stato possibile osservare una buona efficacia dei fumiganti impiegati nei confronti del patogeno. Operando in tali condizioni è, altresì,

possibile selezionare materiali plastici, ammendanti organici e antagonisti biologici di potenziale interesse per il contenimento di questo e di altri agenti di malattia *soil-borne* delle colture orticole in sistemi intensivi di produzione.

4.3.2 Effetti della solarizzazione sulla sopravvivenza di *Verticillium dahliae* nel terreno in serra chiusa

Gli effetti della solarizzazione sulla sopravvivenza dei microsclerozi di *V. dahliae* nel terreno sono stati valutati anche in condizioni di serra chiusa. Di seguito si riportano i risultati relativi alla riduzione della sopravvivenza dell'inoculo in una prova di solarizzazione effettuata con diversi film di copertura della serra e di pacciamatura del terreno, in agro di Gela, CL (graf. 4).

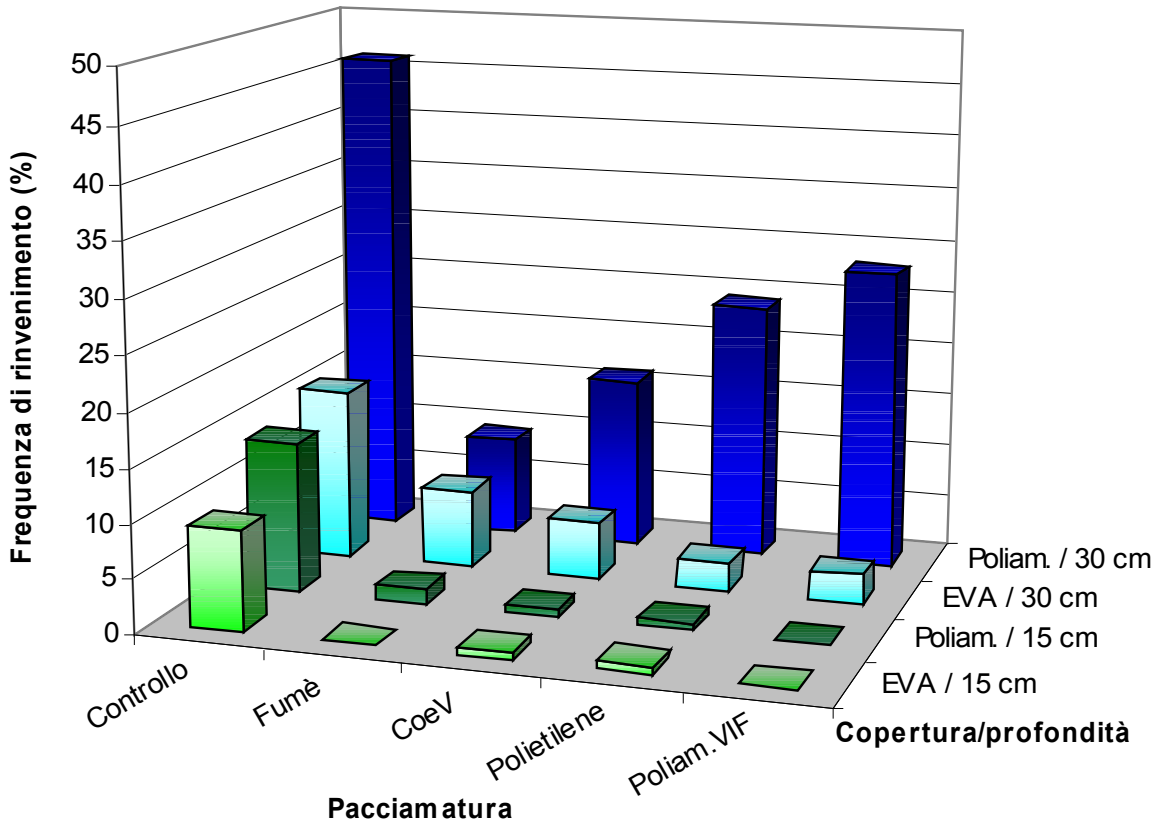

Grafico 4. Effetti della solarizzazione sulla sopravvivenza di inoculo di *Verticillium dahliae* nel terreno dopo 3 settimane di trattamento in parcelle diversamente solarizzate in condizioni di serra chiusa (Gela, CL).

Chiaramente si evince dal grafico 4 come, in tali condizioni, siano sufficienti appena 3 settimane per ridurre a livelli accettabili la carica d'inoculo nel terreno a varie profondità sia in una serra coperta con EVA (poliennale) sia negli strati più superficiali nella serra coperta con poliammide (sperimentale). In tale apprestamento, infatti, nella parte più profonda del terreno si rileva una sopravvivenza più elevata del patogeno e la solarizzazione determina riduzioni della vitalità dei microsclerozi più contenute e diversificate tra i film di pacciamatura impiegati. Ciò è da relazionare con le caratteristiche della poliammide, che non riesce ad indurre regimi termici stabili nel terreno alla maggiore profondità nelle prime fasi dopo la messa in opera del film di copertura. Tale osservazione è supportata dai regimi termici altalenanti e poco uniformi rilevati nei primi giorni di solarizzazione (*dati non riportati*) in tale serra e nelle stesse parcelle pacciamate con film in poliammide VIF. Di contro, è possibile osservare una bassissima vitalità di *V. dahliae* negli strati del terreno (bassa persino nelle parcelle testimone) dopo due mesi in ambo le serre diversamente coperte e in tutte le parcelle pacciamate (graf. 5).

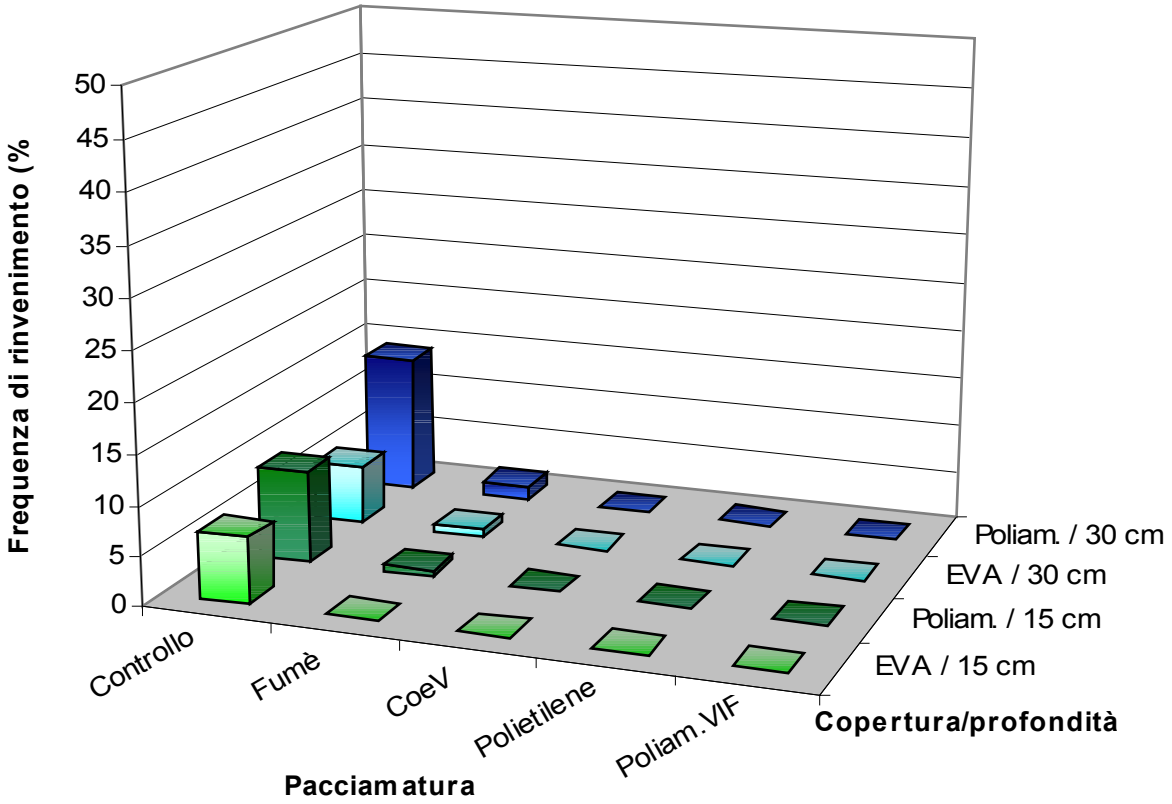

Grafico 5. Effetti della solarizzazione sulla sopravvivenza di inoculo di *Verticillium dahliae* nel terreno dopo 8 settimane di solarizzazione in parcelle diversamente trattate in condizioni di serra chiusa (Gela, CL).

Una durata elevata del trattamento, come in questo caso, è in grado di indurre una elevatissima (spesso totale) riduzione della vitalità delle strutture di resistenza di *V. dahliae* in tutte le parcelle solarizzate se paragonate alle parcelle testimone. I dati nel complesso (anche con breve durata del trattamento) dimostrano quanto efficace sia la solarizzazione nella riduzione della carica di inoculo di patogeni *soil-borne* in apprestamenti protetti chiusi ancor più se consideriamo che sono riferiti a condizioni di elevata densità d'inoculo.

4.4 Il contenimento delle infezioni naturali causate da patogeni tellurici in apprestamenti protetti

Parallelamente alla valutazione degli effetti dei mezzi fisici e/o integrati di lotta sulla riduzione d'inoculo nel terreno, non si può prescindere dalla determinazione dell'efficacia dei trattamenti sul contenimento di infezioni naturali su orticole causate da alcuni patogeni e parassiti tellurici "chiave" per la produzione di orticole in sistemi intensivi.

4.4.1 Efficacia di mezzi integrati di lotta sul contenimento delle infezioni naturali causate dai patogeni tellurici a serra aperta

Per alcuni di questi patogeni tellurici non risulta facile mettere a punto dei modelli che consentono di prevedere gli effetti del trattamento in terreni infetti in assenza di coltura. Così accade per la suberosi radicale (causata da *P. lycopersici*), una tra le avversità crittogamiche maggiormente limitanti la coltivazione del pomodoro nel bacino del Mediterraneo, dove la scelta dei mezzi fisici e/o integrati di lotta, operata in relazione a molte variabili della zona, è opportuno valutarla sulla riduzione dell'incidenza e della severità delle infezioni.

Si riportano di seguito i risultati più rappresentativi di sperimentazioni condotte in serre con fenestrature laterali aperte in varie località geografiche rappresentative dell'orticoltura protetta siciliana. In tali condizioni i risultati non sempre confermano la sostenibilità della solarizzazione in terreni coltivati a pomodoro naturalmente infetti, dove si riscontra una elevata frequenza di attacchi causati da suberosi radicale (graff. 6, 8).

Talvolta le conclusioni per ciò che concerne l'efficacia della tecnica sono chiare e inequivocabili, come facilmente si evince dai risultati riferibili a una prova condotta a Vittoria (RG) su coltivazioni di pomodoro che riportavano principalmente gravi attacchi di suberosi radicale (graf. 6).

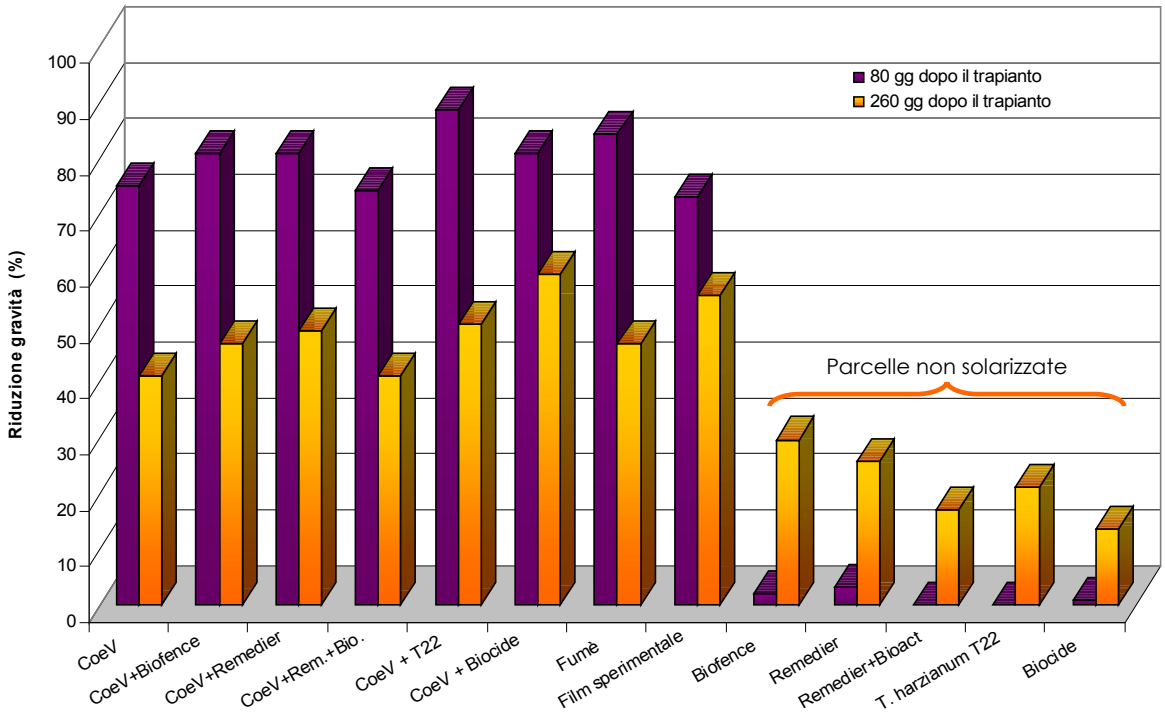

Grafico 6. Efficacia dei trattamenti sulla riduzione rispetto al controllo non trattato della gravità di infezioni naturali causate da *Pyrenochaeta lycopersici* su pomodoro in epoche differenti del ciclo di coltivazione in parcelle diversamente trattate in condizioni di serra aperta (Vittoria, RG).

In tali condizioni operative (climatiche, fitopatologiche, ecc.), già dal primo rilievo, è possibile accertare una diversa efficacia dei trattamenti a confronto sul contenimento della suberosi radicale. Sebbene lievi infezioni di suberosi si possono rilevare precocemente su tutte le piante di ogni parcella, osservando l'entità delle infezioni la situazione appare molto chiara. Esaminando infatti gli apparati radicali delle piante si evince una migliore efficacia della solarizzazione, giacché le riduzioni più elevate sulla severità dei sintomi sono evidenti in tutte le parcelle solarizzate, indifferentemente dal film utilizzato e dall'abbinamento o no con altri mezzi biologici di lotta (graf. 6). Pur tuttavia alcune utili considerazioni sugli aspetti fitosanitari dove è stata condotta la prova sono necessarie. Le gravi infezioni di suberosi radicale non erano in tale contesto sempre associate a gravi

infestazioni da nematodi galligeni. Non è stato, quindi, possibile rilevare una diversa efficacia tra i trattamenti a confronto sul controllo dei nematodi. Ciò si deve ad una bassa carica nematica presente nel terreno e quindi ad infezioni poco diffuse e evidenti, sicché tutti i trattamenti determinano in tali condizioni riduzioni elevate delle infestazioni magari ritardandone l'attacco (graf. 7).

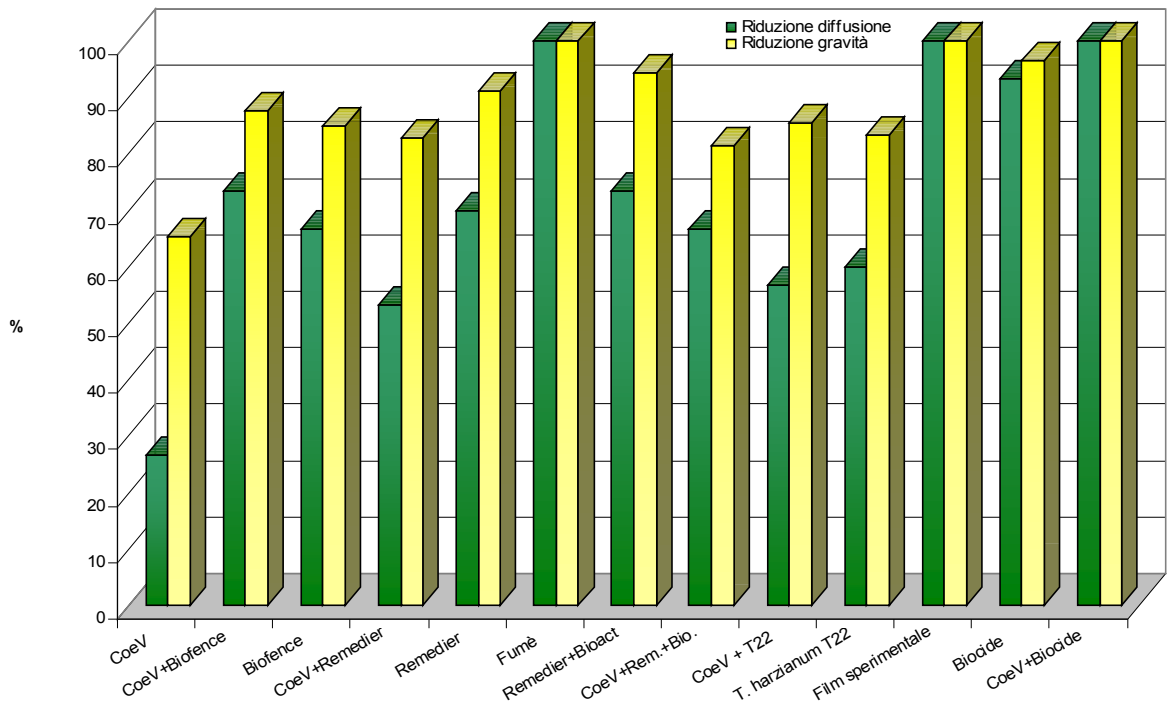

Grafico 7. Efficacia dei trattamenti sulla riduzione rispetto al controllo non trattato della diffusione e gravità delle infezioni naturali causate da nematodi galligeni del genere *Meloidogyne* a fine ciclo di coltivazione in parcelle diversamente trattate in condizioni di serra aperta (Vittoria, RG).

Limitandosi a questi risultati la solarizzazione effettuata a serra aperta, da sola e/o in abbinamento all'utilizzo di *T. harzianum* T22 o di essenze biocide (*B. juncea*) incorporate al terreno, potrebbe provvedere ad un adeguato contenimento delle infezioni naturali di suberosi radicale su pomodoro e di altri patogeni tellurici. Ciò si potrebbe affermare anche in relazione alla minore diffusione degli imbrunimenti vascolari causati da pseudomonadi fluorescenti rilevata in tutte le parcelle solarizzate (dati non riportati). Tali risultati sono in accordo con gli effetti della tecnica a serra aperta sulla riduzione dell'inoculo dei patogeni nel terreno.

Pur tuttavia altre variabili potrebbero influire sulla buona riuscita dei trattamenti fisici e/o integrati a serra aperta per il contenimento delle infezioni naturali causate da questo e da altri patogeni tellurici.

A conferma di quanto detto si rimanda ai risultati riferiti ad un altra esperienza condotta in una altra località rappresentativa (Santa Croce Camerina, RG) dell'orticoltura protetta siciliana (graf. 8).

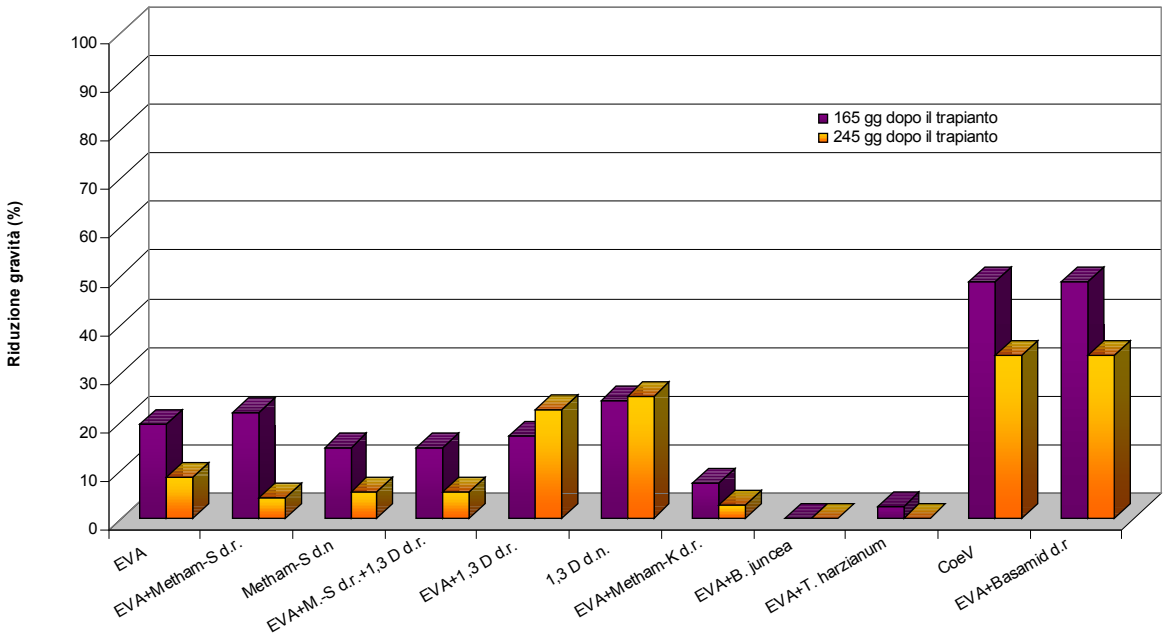

Grafico 8. Efficacia dei trattamenti sulla riduzione rispetto al controllo non trattato della gravità delle infezioni naturali causate da *Pyrenochaeta lycopersici* su pomodoro in epoche differenti del ciclo di coltivazione in parcelle diversamente trattate in condizioni di serra aperta (Santa Croce Camerina, RG).

Esaminando tali dati non si può certamente asserire che la solarizzazione a serra aperta da sola e/o integrata con altri mezzi di lotta provveda sempre e in ogni contesto colturale ad un adeguato contenimento della suberosi radicale del pomodoro. Tutti i trattamenti a fine ciclo colturale, infatti, non hanno contenuto efficacemente la malattia, fatta eccezione per le parcelle pacciamate con film coestruso verde e in quelle solarizzate con EVA in abbinamento all'applicazione di Basamid, dove sono state accertate riduzioni leggermente superiori. Ciò si deve, con ogni probabilità, ai non adeguati regimi termici e radiometrici (più bassi della precedente prova), che non sempre si raggiungono nel terreno e nello spazio confinato dalla serra in tali condizioni. Ad ulteriore conferma di ciò non è stato

parallelamente possibile accertare differenze di efficacia tra parcelle solarizzate e non sul contenimento degli imbrunimenti vascolari indotti da *P. fluorescens* e *P. putida* (dati non mostrati).

La variabilità dei risultati è altresì dovuta anche alla stretta associazione della suberosi radicale con gravi infestazioni da nematodi galligeni che spesso si possono verificare, come accade in questo contesto. Infatti, come riportato in letteratura, è noto come all'aumentare dell'attività trofica del nematode nel terreno (dalla primavera in poi) si potrebbe verificare contemporaneamente un incremento delle infezioni di suberosi. Siffatte condizioni sono verosimilmente imputabili all'azione meccanica dello stiletto che consentirebbe una più facile penetrazione nei tessuti corticali del patogeno cui segue un intenso processo di infezione e, quindi, di suberificazione della radice. Tali condizioni verificatesi simultaneamente potrebbero aver predisposto le piante ad un attacco tardivo di *P. lycopersici* vanificando gli effetti dei trattamenti fisici e/o integrati.

A riprova di quanto detto si riporta l'efficacia dei trattamenti sulle infestazioni causate da nematodi galligeni nella stessa prova (graff. 9-10).

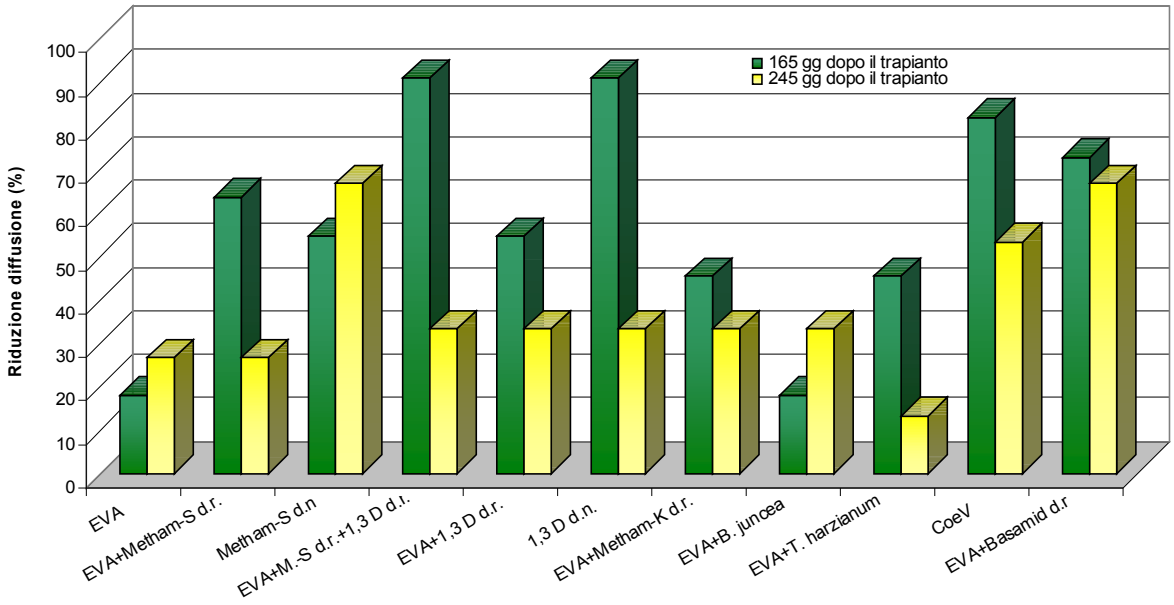

Grafico 9. Efficacia dei trattamenti sulla riduzione rispetto al controllo non trattato della diffusione delle infezioni naturali causate da nematodi galligeni del genere *Meloidogyne* in differenti rilievi in parcelle diversamente trattate in condizioni di serra aperta (Santa Croce Camerina, RG).

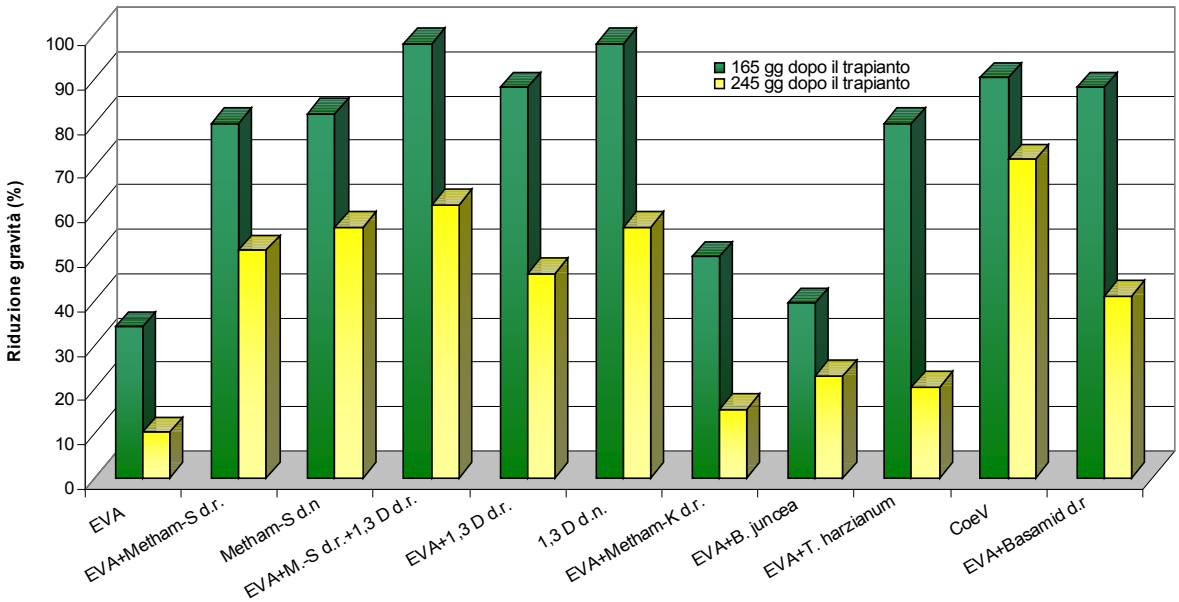

Grafico 10. Efficacia dei trattamenti sulla riduzione percentuale rispetto al controllo non trattato della gravità delle infezioni causate da nematodi galligeni del genere *Meloidogyne* a fine ciclo di coltivazione in parcelle diversamente trattate in condizioni di serra aperta (Santa Croce Camerina, RG).

L'elevato grado d'infestazione da *Meloidogyne incognita*, la variabilità di efficacia tra i trattamenti fisici e integrati, unitamente ai bassi regimi termici raggiunti nel terreno a serra aperta potrebbero aver ridotto l'efficacia della solarizzazione nei confronti del patogeno fungino.

Complessivamente le esperienze riportate provano come la solarizzazione condotta a serra aperta, ancor ché sostenibile per i minori danni causati alle strutture serricole, non rappresenta sempre una soluzione perseguibile per le problematiche fitopatologiche legate ai patogeni tellurici e le numerose variabili coinvolte. Anche i fumiganti, sebbene efficaci per parassiti come i nematodi galligeni, possono dimostrarsi inefficaci nel contenimento delle infezioni naturali di alcuni patogeni tellurici (es. *P. lycopersici*).

4.4.2 Efficacia della solarizzazione sul contenimento delle infezioni naturali causate da patogeni tellurici a serra chiusa

Accertata la variabilità dei risultati della solarizzazione a serra aperta nel contenimento di alcune malattie causate da patogeni tellurici, tra cui *P. lycopersici*, non si può prescindere dalla valutazione dell'efficacia della tecnica in apprestamenti protetti chiusi.

Si riportano a tal proposito i risultati di due esperienze condotte in agro di Gela (CL) in serre uguali con cubature molto elevate (maggiori altezze di colmo e di gronda), coperte con differenti film (EVA e Poliammide poliennali) ed in presenza di gravissimi attacchi di suberosi radicale del pomodoro (graf. 11).

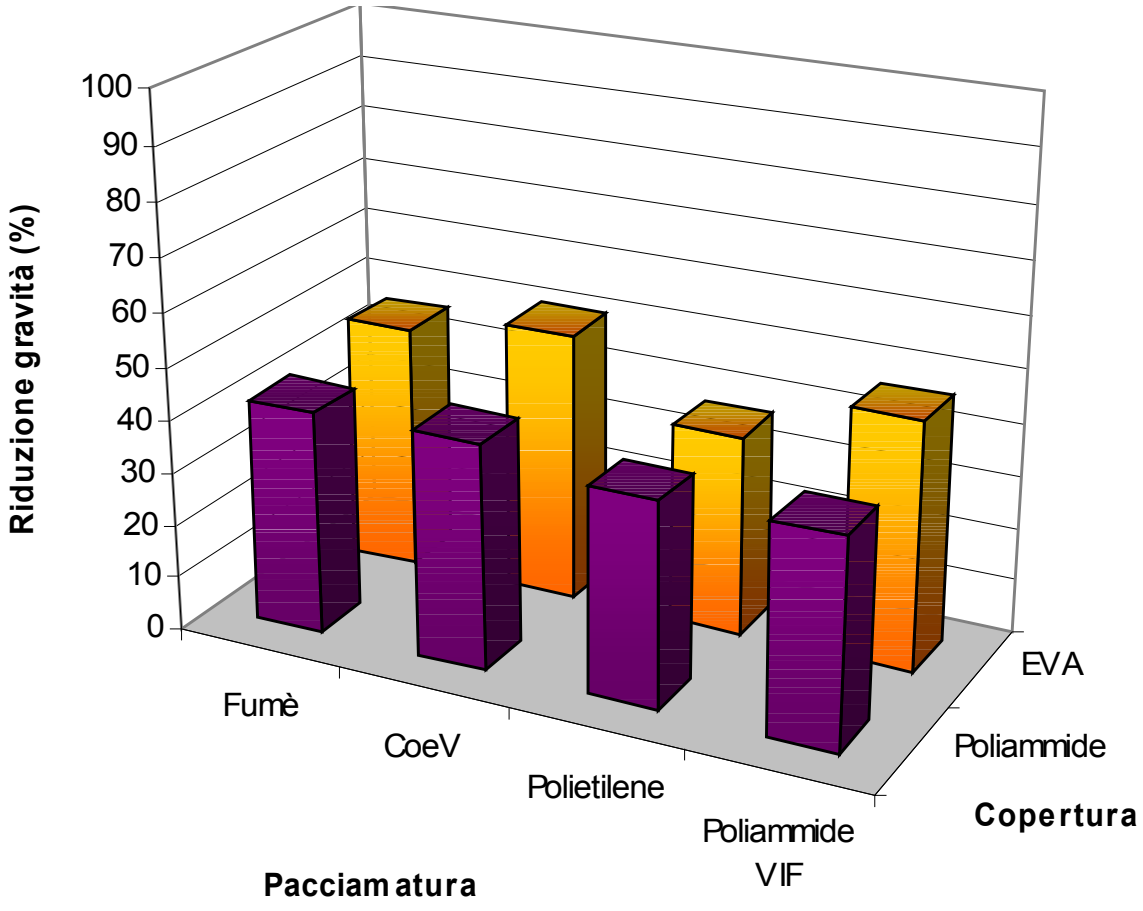

Grafico 11. Riduzione rispetto al controllo non trattato della gravità di infezioni naturali causate da *Pyrenochaeta lycopersici* su pomodoro a fine coltura dopo 21 settimane dal trapianto in parcelle diversamente solarizzate in condizioni di serra chiusa (Gela, CL).

Dai dati si evince chiaramente, sebbene le infezioni siano presenti anche in tutte le parcelle diversamente pacciamate (diffusione del 100%), una buona efficacia di tutti i trattamenti di solarizzazione nel contenimento della gravità delle infezioni di suberosi rispetto alle parcelle non solarizzate. Non è, però, possibile accertare alcuna differenza tra i film di pacciamatura o i due film impiegati per la copertura della serra.

Tali esperienze dimostrano, così come accertato in precedenti prove e per altri patogeni tellurici, come il trattamento di solarizzazione a serra chiusa riesca a controllare efficacemente le infezioni di suberosi radicale del pomodoro (oltre a ridurre a livelli prossimi a zero la carica di inoculo presente nel terreno).

Benché i diversi film di copertura e pacciamatura inducano regimi termici differenti nel terreno (*dati non riportati*), i dati riferiti agli aspetti fitopatologici non lasciano intravedere differenze tra i materiali impiegati. Ciò suggerisce la possibilità d'impiego di film foto selettivi e parzialmente opachi idonei per il contenimento di malattie causate da patogeni tellurici come Fumè e coestruso verde. Questi possono in aggiunta essere mantenuti in opera nel terreno anche dopo la solarizzazione (evitando però trapianti troppo precoci) con funzione pacciamante, riducendo il rischio di reinfestazioni del terreno e l'impatto ambientale legato allo smaltimento di film impiegati per la successiva pacciamatura (es. PE nero). Altre considerazioni di ordine economico, quali un risparmio fino al 40% (costi per 1000 m^2 di superficie), potrebbero oltremodo incoraggiarne il loro utilizzo in sostituzione dei tradizionali film impiegati nell'orticoltura protetta in sistemi intensivi di produzione.

In relazione a quanto detto si consiglia pertanto l'adozione della solarizzazione da sola o integrata con altri mezzi di lotta, laddove possibile in relazione ai calendari di produzione diversificati o a più cicli produttivi condotti nel corso di un anno, per garantire una adeguata sanità e produttività delle colture orticole.

BIBLIOGRAFIA DI RIFERIMENTO

Abdel-Rahim M.F., Satour M.M., Mickail K.Y., El-Eraki S.A., Grinstein A., Chen Y., Katan J. (1988). Effectiveness of soil solarization in furrow-irrigated Egyptian soils. *Plant Dis*., **72**, 143-146.

Agrios N.G. (1997). Parasitism and Disease Development. In: Plant Pathology, 4th Edition. Agrios N.G. (ed.), Academic Press, San Diego, California, 43-62.

Ajwa H., Trout T., Mueller J., Wilhelm S., Nelson S., Soppe R., Shatley D. (2002). Application of alternative fumigants through drip irrigation system. *Journal of Phytopathology*, **92**, 1349-1355.

Al-Karaghouli A., Al-Kayssi A.W., Hasson A.M. (1990). The photometric properties of different colored plastic mulches used for soil solarization. *Solar and Wind Technology*, **7**, 119-123.

Al-Kayssi A.W., Al-Karaghouli A.A. (1991). Influence of different colour plastic mulches used for soil solarization on the effectiveness of soil heating. In: Soil Solarization. Proceedings of the 1st International Conference on Soil Solarization, Amman, Jordan. DeVay J.E., Stapleton J.J. and Elmore C.L. (eds.), FAO Plant Production and Protection Paper 109, 297-308.

Al-Raddad A.M.M. (1979). Soil disinfestation by plastic tarping. MSc thesis. University of Jordan, 95 pp.

Anon C. (1984). Plastic mulch: the choice of film. *Plasticulture*, **62**, 37-44.

Ashworth L.J.Jr., Gaona S.A. (1982). Evaluation of clear polyethylene mulch for controlling Verticillium wilt in established pistachio nut groves. *Phytopathology*, **72**, 243-246.

Askew M.F. (1998). Agricultural aspects and opportunities in the EU for crop producing carbohydrates for industrial use. European Conference on Renewable Raw Materials. Gmunden, Austria, 6-8 October.

Baker K.F., Roistacher C.N. (1957). Principles of heat treatment of soil. In: The U.C. system for producing healthy container-grown plants. Baker K.F. (ed.), Calif. Agric. Exp. Stn. Manual n° 23, University of California, Berkeley, pp. 138-161.

Baker R. (1968). Mechanisms of biological control of soilborne pathogens. *Ann. Rev. Phytopathol*., **6**, 263-294.

Barker K.R., Townshend J.L., Bird G.W., Thomason I.J., Dickson D.W. (1986). Determining nematode population responses to control agents. In: Methods for Evaluating Pesticides for Control of Plant Pathogens. Hickey K.D. (ed.), American Phytopathological Society, St. Paul, MN, USA, 283-296.

Basile M., D'Addabbo T., Candido V., Miccolis V., Gatta G., Manera C. (2002). La solarizzazione del terreno con film plastici biodegradabili in ambiente protetto. *Atti Giornate Fitopatologiche*, **1**, 541-546.

Ben-Yephet Y., Frank Z.R. (1985). Effect of soil structure on Penetration by metham-sodium and of temperature on concentrations required to kill soilborne pathogens. *Phytopathology*, **4**, 403-406.

Ben-Yephet Y., Frank Z.R. (1989). Factors affecting the efficiency of metham-sodium in controlling *Verticillium dahliae*. *Acta Hort.*, **255**, 227-234.

Berninger E., Pionnat J.C., Scotto La Massese C. (1985). Essai de désinfection solare des sols dans le Sud-Est de la France. *Agronomie*, **5**, 505-513.

Brown J.E., Stevens C., Khan V.A., Hochmuth G. J., Splittstoesser W.E., Granberry D.M., Early B.C. (1991). Development in plastics for soil solarization. In: Soil Solarization. Proceedings of the 1st Conference on Soil Solarization, Amman, Jordan. DeVay J.E., Stapleton J.J. and Elmore C.L. (eds.), FAO Plant Production and Protection Paper 109, 277-296.

Byrdson J.A. (1970). Plastic Materials. London: Iliffe Books, 597 pp.

Cartia G. (2001). Alternative al bromuro di metile nell'orticoltura intensiva. Medigraf s.a.s. Reggio Calabria, 85 pp.

Cascone G., Arcidiacono C., D'Emilio A., Mazzarella R., Polizzi G., Vitale A., Castello I., Noto G. (2003). Efficacia di film plastici innovativi per la solarizzazione del terreno sotto serra. Atti del Convegno "Materiali plastici innovativi per la protezione delle colture e la solarizzazione del terreno". Potenza, 28 Novembre 2003.

Cascone G., Gutkowski D., Musumeci G. (2000). Effetti sulla trasmittanza di film di copertura per serre dovuti all'uso. Atti del Convegno su "Impiego in agricoltura di plastiche innovative biodegradabili per la solarizzazione del terreno". Matera 15 Giugno 2000, 79-85.

Cascone G., D'Emilio A., Polizzi G., Grillo R. (2001a). La solarizzazione del terreno con film plastici innovativi a confronto con altri mezzi di lotta per il contenimento di *Pyrenochaeta lycopersici* e *Meloidogyne* spp. Atti del Convegno "Impiego in agricoltura di plastiche innovative biodegradabili per la solarizzazione del terreno". Matera 14-17 Giugno 2000, 53-60.

Cascone G., Polizzi G., Arcidiacono C., D'Emilio A. (2001b). Influenza sulla solarizzazione sotto serra di un film di copertura in ETFE. *Colture Protette*, **3**, 77-86.

Cascone G., Polizzi G., Noto G., D'Emilio A., Vitale A. (2004). Solarizzazione con film plastici innovativi per il contenimento di *Pyrenochaeta lycopersici*. *Colture Protette,* **10**, 73-79.

Castello I., Vitale A., Polizzi G. (2007). Effects of physical, biological, and integrated control measures on the reduction of *Verticillium dahliae* survival and of *Pyrenochaeta lycopersici* infections. *J. Plant Pathol.*, **89**(S3), S35.

Cenis J.L. (1987). Double plastic sheet for improving soil solarization efficiency. Proceedings of 7th Congress Mediterranean Phytopathological Union, Spain, 73 pp.

Chen Y., Katan J. (1980). Effect of solar heating of soils by transparent polyethylene mulching on their chemical properties. *Soil Sci.*, **130**, 271-277.

Clark A.D. (1987). Some plastic industry developments, their impact on plastic films for agricultural application. *Plasticulture*, **74**, 15.

Csinos A.S., Summer D.R., Johnson W.C., Johnson A.W., McPherson R.M., Dowler C.C. (2000). Methyl bromide alternatives in tobacco, tomato and pepper transplant production. *Crop Prot.*, **19**, 39-49.

Davis J.R., Sorensen L.H. (1986). Influence of soil solarization at moderate temperatures on potato genotypes with differing resistance to *Verticillium dahliae*. *Phytopathology*, **76**, 1021-1026.

De Cal A., Martinez-Treceňo A., Lopez-Aranda J.M., Melgarejo P. (2004). Chemical alternatives to methyl bromide in Spanish strawberry nurseries. *Plant Dis*., **88**, 210-214.

Decoteau D.R., Daniel D.D., Kasperbauer M.G., Hunt P.G. (1986). Colored plastic mulches and tomato morphogenesis. Proceedings of National Agricultural Plastics Congress, **19**, 240-248.

De Vay J.E. (1991). Historical review and principles of soil solarization. In: Soil Solarization. Proceedings of the 1st Conference on Soil Solarization, Amman, Jordan. DeVay J.E., Stapleton J.J. and Elmore C.L. (eds.), FAO Plant Production and Protection Paper 109, 1-15.

Dodds R.H., Hinson A.M. (1953). Widespread fungistasis in soils. *Nature*, **172**, 197-199.

Dubois P. (1978). Plastics in Agriculture. Applied Science Publishers, London, pp 176.

Eitel J. (1993). The effectiveness of dazomet as influenced by the use of plastic sheeting. *Acta Hort*., **382**, 104-109.

Elad Y., Katan J., Chet I. (1980). Physical, biological and chemical control integrated for soilborne diseases in potatoes. *Phytopathology*, **70**, 418-422.

Ennis R.S. (1987). Plastigone™, a new time-controlled photodegradable plastic mulch film. Proceedings of National Agricultural Plastics Congress, **20**, 83-90.

Freeman S., Sztejnberg A., Shabi E., Katan J. (1990). Long-term effect of soil solarization for the control of *Rosellinia necatrix* in apple. *Crop Prot*., **9**, 312-316.

Gamliel A., Grinstein L., Klien Y., Cohen Y., Katan J. (1998). Permeability of plastic films to methyl bromide: Field study. *Crop Prot.*, **17**, 241-248.

Gamliel A., Katan J. (1993). Suppression of major and minor pathogens by fluorescent pseudomonads in solarized and nonsolarized soils. *Phytopathology*, **83**, 68-75.

Garnaud J.C. (1974). The intensification of horticultural crop production in the Mediterranean basin by protected cultivation. FAO of the United Nations, Rome.

Garrett S.D. (1950). Ecology of the root-inhabiting fungi. *Biol. Rev.*, **25**, 220-254.

Garrett S.D. (1959). Biology and ecology of root-disease fungi. In: Plant Pathology: Problems and Progress 1908-1958. Holton C.S, Fischer G.W., Fulton R.W., Helen Hart and McCallan S.E.A. (eds.), The University of Wisconsin Press, Wisconsin, 309-316.

Gerson U., Yathom S., Katan J. (1981). A demonstration of bulb mite control by solar heating of the soil. *Phytoparasitica*, **9**, 153-155.

Gerstl Z., Mingelgrin U., Yaron B. (1977). Behavior of vapam and methylisothiocyanate in soil. *J. Amer. Soc. Soil Sci.*, **41**, 545-548.

Gilead D. (1985). Plastics that self destruct. *Chemtech*, 299-301.

Grainger J., Kennedy R.R. (1964). Temperature distribution and performance in balloon-sheet soil steaming. *Hortic. Res.*, **4**, 25 -41.

Greenberger A., Yogev A., Katan J. (1987). Induced suppressiveness in solarized soils. *Phytopathology*, **77**, 1663-1667.

Grinstein A., Katan J., Abdul-Razik A., Zeydan O., Elad Y. (1979a). Control of *Sclerotium rolfsii* and weeds in peanuts by solar heating of soil. *Plant Dis. Rep.*, **63**, 1056-1059.

Grinstein A., Orion D., Greenberger A., Katan J. (1979b). Solar heating of the soil for the control of *Verticillium dahliae* and *Pratylenchus thornei* in potatoes. In: Soilborne Plant Pathogens. Schippers B. and Gams W. (eds.), London, New York, San Francisco Academic, 686 pp.

Groot L. (1996). Poteries horticoles à base de matériaux biodégradables. *Plasticulture*, **4**, 46-50.

Hancock M. (1988). Mineral additives for thermal barrier plastic films. *Plasticulture*, **79**, 4-14.

Hardy G.E.S.J., Sivasithamparam K. (1985). Soil solarization: effects on Fusarium wilt of carnation and Verticillium wilt of eggplant. In: Ecology and Management of Soilborne Plant Pathogens. Parker C.A., Rovira A.D., Moore K.J., Wong P.T.W., and Kollmorgen J.F. (eds.), The American Phytopathological Society, St. Paul, Minnesota, 279-281.

Harris D.C. (1990). Control of Verticillium wilt and other soil-borne diseases of strawberry in Britain by chemical soil disinfestation. *J. Hort. Sci.*, **65**(4), 401-408.

Hege H., Ross H. (1972). Das Dämpfen von Boden und Erden. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft, Frankfurt am Main.

Heijna B.J. (1966). Improved soil steam sterilization. In: Jaarb, Tuinbouwtech. Inst. Tuinbouwtechniek.

Horiuchi S. (1984). Soil solarization for suppressing soilborne diseases in Japan. In: The Ecology and Treatment of Soilborne Diseases in Asia. Food and Fertilizer Technology Center Tech. Bull. 78. Taiwan, R.O.C., 11-23.

Horowitz M. (1980). Weed research in Israel. *Weed Sci*., **28**, 457-460.

Horowitz M., Regev Y. (1980). Mulching with plastic sheets as a method of weed control. *Hassadeh*, **60**, 395-399.

Horowitz M., Regev Y., Herzlinger G. (1983). Solarization for weed control. *Weed Sci*., **31**, 170-179.

Inada K. (1973). Photo-selective plastic film. *Jpn*. *Agric*. *Res*. *Quar*., **7**, 252-256.

Jacobsohn R., Greenberger A., Katan J., Levi M., Alon H. (1980) - Control of Egyptian broomrape (*Orobanche aegyptiaca*) and other weeds by means of solar heating of soil by polyethylene mulching. *Weed Sci*., **28**, 312-316.

Jarwis W.R. (1992). Managing diseases in greenhouse crops. The American Phytopathological Society, St. Paul, Minnesota, 288 pp.

Kassaby F.Y. (1985). Solar-heating soil for control of damping-off diseases. *Soil Biol*. *Biochem*., **17**, 429-434.

Katan J. (1981a). Solar heating of soil and other economically safe methods of controlling soilborne pests for increasing food production. In: Proceedings of the Plant Protection Congress. Kommedahl T. (ed.), Burgess, Minneapolis, 26-30.

Katan J. (1981b). Solar heating (solarization) of soil for control of soilborne pests. *Annu*. *Rev*. *Phytopathol*., **19**, 211 -236.

Katan J. (1985). Solar disinfestation of soils. In: Proceedings of the 4th International Congress of Plant Pathol. Parker C.A., Rovira A.D., Moore K.J. and Wong P.T.W. (eds.), The American Phytopathological Society, St. Paul, Minnesota, 274-278.

Katan J. (1987). Soil solarization. In: Innovative Approaches to Plant Disease Control. Chet I. (ed.), John Wiley & Sons, New York, 77-105.

Katan J. (1996). Soil solarization: integrated control aspects. In: Principles and Practice of Managing Soilborne Plant Pathogens. Hall R. (ed.), The American Phytopathological Society, St. Paul, Minnesota, 250-278.

Katan J., De Vay J.E. (1991). Soil solarization: historical perspectives, principles, and uses. In: Soil Solarization. Katan J. and DeVay J.E. (eds.), CRC Press, Inc., Florida, 23-37.

Katan J., Fishler G., Grinstein A. (1983). Short- and long-term effects of soil solarization and crop sequence on Fusarium wilt and yield of cotton in Israel. *Phytopathology*, **73**, 1215-1219.

Katan J., Greenberger A., Alon H., Grinstein A. (1975). Increasing soil temperatures by mulching for the control of soil-borne disease. *Phytoparasitica*, **3**, 69-70.

Katan J., Greenberger A., Alon H., Grinstein A. (1976a). Solar heating by polyethylene mulching for the control of diseases caused by soil-borne pathogens. *Phytopathology*, **66**, 683-688.

Katan J., Greenberger A., Grinstein A., Alon H. (1976b). Additional studies on the control of *Verticillium dahliae* by polyethylene mulching. Proceedings of the 2nd International Verticillium Symposium, Berkeley, 27.

Katan J., Grinstein A., Greenberger A., Yarden O., DeVay J.E. (1987). The first decade (1976-1986) of soil solarization (solar heating): a chronological bibliography. *Phytoparasitica*, **15**, 229-255.

Katan J., Rotem I., Finkel Y., Daniel J. (1980b). Solar heating of the soil for the control of pink root and other soilborne diseases in onions. *Phytoparasitica*, **8**, 39-50.

Kodama T., Fukui T. (1979). Solar heating sterilization in the closed vinyl house against soil-borne diseases. I. The movement of soil temperature and determination of thermal lethal conditions for some soil-borne pathogens. *Bull. of the Nara Prefecture Agric. Exp. Sta.*, **10**, 71-82.

Kodama T., Fukui T. (1982). Solar heating in closed plastic house for control of soil-borne diseases. V. Application for control of Fusarium wilt of strawberry. *Ann. Phytopathol. Soc.* (Japan), **48**, 570-577.

Lamberti F., Basile M. (1991). Improvement in plastic technology for soil heating. In: Soil Solarization. Proceedings, First International Conference on Soil Solarization, Amman, Jordan. DeVay J.E., Stapleton J.J. and Elmore C.L. (eds.), FAO Plant Production and Protection Paper 109, 309-330.

Lamberti F., Minuto A., Filippini L. (2003). I fumiganti per la disinfestazione del terreno. *Informatore Fitopatol.*, **10**, 38 – 43.

Lifshitz R. (1979). Effect of heat treatment on the relationships between *Sclerotiun rolfsii*, soil microorganisms and the host plant. MSc thesis. Hebrew University of Jerusalem, 38 pp.

Locascio S.J., Gilreath J.P., Dickson D.W., Kucharek T.A., Jones J.P., Noling J.W. (1997). Fumigant alternatives to methyl bromide for polyethylene-mulched tomato. *Hort Sci.*, **32**, 1208-1211.

Loy B., Lindstrom J., Gordon S., Rudd D., Wells O. (1989). Theory and development of wavelength selective mulches. Proceedings National Agricultural Plastics Congress, **21**, 193-197.

Magnani G., Perrone C., Servi G. (1985). Film plastici in polietilene lineare diversamente stabilizzati per le colture protette. *Colture Protette*, **14**, 39-46.

Magnani G., Bonora M., Lelli N. (1997). Nuovi film di copertura: prime valutazioni agronomiche. *Colture Protette*, **26**, 85-92.

Mahrer Y. (1979). Prediction of soil temperature of a soil mulched with transparent polyethylene. *J. Appl. Meteorol.*, **18**, 1263-1267.

Mahrer Y., Katan J. (1981). Spatial soil temperatures regime under transparent polyethylene mulch-numerical and experimental studies. *Soil Sci.*, **131**, 82-87.

Mahrer Y., Naot O., Rawitz E., Katan J. (1984). Temperature and moisture regimes in soils mulched with transparent polyethylene. *Soil Sci.* **48**, 362-367.

Manera C. (2003). Materiali plastici innovativi per la protezione delle colture e la solarizzazione del terreno. Atti del Convegno ”Materiali plastici innovativi per la protezione delle colture e la solarizzazione del terreno”, Potenza, 28 Novembre 2003, 1-23.

Manera C., Margiotta S., Picuno P. (1999). Film plastici innovativi e biodegradabili per la colture protette. *Colture Protette*, **4**, 59-64.

Manera C., Margiotta S., Preziosa P. (1998). Impiego in agricoltura di film plastici innovativi e foto-biodegradabili. Convegno: “Le alternative al bromuro di metile”. Metaponto, 11 Dicembre 1998.

Miccolis V. (2000). Impiego di film plastici innovativi per la pacciamatura e la solarizzazione del terreno in ambiente protetto. Atti convegno: “Impiego in agricoltura di plastiche innovative biodegradabili per la solarizzazione del terreno. Matera, 14-17 Giugno 2000, 21-27.

Minuto A., Viglietta M., Spotti C., Gullino M.L., Garibaldi A. (2003). L’impiego della cloropicrina per la disinfestazione del terreno autorizzato anche in Italia. *Informatore Fitopatologico*, **2**, 20-24.

Munnecke D.E., Martin J.P. (1964). Release of methyl-isothiocyanate from soil treated with mylone (3,5-dimethyltetrahydrol-3,5-2H-thiadiazine-2-thione). *Phytopathology*, **54**, 941-945.

Nederpel L. (1979). Soil sterilization and pasteurization. In: Soil disinfestations, D. Mulder ed. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, 99-100.

Nelson S.D., Riegel C., Allen L.H.Jr., Dickson D.W., Gan J., Locascio S.J., Mitchell D.J. (2001). Volatilization of 1,3-Dichloropropene in Florida Plasticulture and Effects on Fall Squash Production. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, **126** (4), 496 – 502.

Newhall A.G. (1955). Disinfestation of soil by heat, flooding and fumigation. *Bot. Rev.*, **21**, 189-250.

Philips A.J.L. (1990). The effects of soil solarization on sclerotial populations of *Sclerotinia sclerotiorum*. *Plant Pathol.*, **39**, 38-43.

Picuno P. (2000). Caratteristiche ingegneristiche di film plastici innovativi e degradabili. Atti del convegno: ”Impiego in agricoltura di plastiche innovative biodegradabili per la solarizzazione del terreno”. Matera, 14-17 Giugno 2000, 5-19.

Picuno P., Scarascia Mugnozza G. (1994). The management of agricultural plastic film wastes in Italy. Proceedings of the International Agricultural Engineering Conference Bangkok, Thailand, 6-9 Dicembre 1994, 797-808.

Polizzi G. (2004). I funghi terricoli nelle Colture Protette in Sicilia. Workshop Internazionale: “La produzione in serra dopo l’era del bromuro di metile”. Auditorium Ex Base Nato Aeroporto Magliocco-Comiso (RG), 1-3 Aprile 2004, 41-47.

Polizzi G., Cascone G., D’Emilio A., Castello I. (2004). Mezzi fisici e biologici per il contenimento di *Pyrenochaeta lycopersici* e *Meloidogyne* spp. su pomodoro in serra. *Colture Protette*, **2**, 81-87.

Polizzi G., Dimartino M.A., Panebianco S., Cirvilleri G. (2007). A new emergence in soilless tomato cultures in Sicily: vascular and pith discoloration caused by *Pseudomonas fluorescens* and *P. putida. J. Plant Pathol.* **89**(3S), S54.

Polizzi G., La Rosa R., Arcidiacono C., D'Emilio A. (2003). Effects of innovative films in soil solarization for the control of soil-borne pathogens. Acta Hort. (ISHS) 614:805-811.

Polizzi G., Vitale A., Cascone G., D’Emilio A. (2004). Materiali Plastici Innovativi per la Solarizzazione del Terreno: Aspetti Fisici e Fitopatologici. Workshop Internazionale: “La produzione in serra dopo l’era del bromuro di metile”. Auditorium Ex Base Nato Aeroporto Magliocco-Comiso (RG), 1-3 Aprile 2004, 103-119.

Polizzi G., Vitale A., Castello I. (2006). Sicilia: come difendersi dai patogeni tellurici. *Colture Protette*, **8**, 26-29.

Polyon-Barkai (1991). Thermofilm IR thermic film advanced agriculture. Kibbutz Barkai Mobile Post/Menashe, Israel.

Pullman G.S., DeVay J.E., Elmore C.L., Hart W.H. (1984). Soil Solarization - A Nonchemical Method for Controlling Diseases and Pests. Cooperative Extension, Division of Agriculture and Natural Resources, Leaflet 21377, University of California, Davis.

Pullman G.S., DeVay J.E., Garber R.H. (1981a). Soil solarization and thermal death: a logarithmic relationship between time and temperature for four soilborne plant pathogens. *Phytopathology*, **71**, 959-964.

Pullman G.S., De Vay J.E., Garber R.H., Weinhold A.R. (1979). Control of soil-borne fungal pathogens by plastic tarping of soil. In: Soil-borne Plant Pathogens. Schippers B. and Gams W. (eds.), Academic Press, New York, 439-446.

Pullman G.S., De Vay J.E., Garber R.H., Weinhold A.R. (1981b). Effects on Verticillium wilt of cotton and soilborne populations of *Verticillium dahliae*, *Pythium* spp., *Rhizoctonia solani*, and *Thielaviopsis basicola*. *Phytopathology*, **71**, 954-959.

Querzada M.R., Munguia L.J., Sànchez V.S., Faz C.R. (1997). Photodegradable and photobiodegradable films for mulching melons. *Plasticulture*, **113**, 11-19.

Rubin B., Benjamin A. (1981). Solar sterilization as a tool for weed control. *Weed Sci. Soc. Am.*, 133 (Abstr.).

Rubin B., Benjamin A. (1983). Solar heating of the soil: effect on soil incorporated herbicides and weed control. *Weed Sci.*, **31**, 819-825.

Runia W.T. (2000). Steaming methods for soils and substrates. Symposium on chemical and non-chemical soil and substrate disinfection. Torino, 11-15 September 2000.

Sànchez V.S., Yànez-Flores I., Quezada-Martin R., Cedillo-Garcìa R. (1995). Photodegradable polyethylene mulch films. *Plasticulture*, **106**, 15-24.

Stapleton J.J., De Vay J.E. (1982). Effect of soil solarization on populations of selected soilborne microorganisms and growth of deciduous fruit tree seedlings. *Phytopathology*, **72**, 323-326.

Stapleton J.J., De Vay J.E. (1983). Response of phytoparasitic and free-living nematodes to soil solarization and 1,3-dichloropropene in California. *Phytopathology*, **73**, 1429-1436.

Stapleton J.J., De Vay J.E. (1984). Thermal components of soil solarization as related to changes in soil and root microflora and increased plant growth response. *Phytopathology*, **74**, 255-259.

Stapleton J.J., De Vay J.E. (1986). Soil solarization: a non-chemical approach for management of plant pathogens and pests. *Crop Prot.*, **5**, 190-198.

Stapleton J.J., Garcìa-Lopez J.G. (1988). Mulching of soils with transparent solarization and black polyethylene films to increase growth of annual and perennial crops in southweastern Mexico. *Trop. Agric.*, **65**, 29-33.

Stevens C., Khan V.A., Brown J.E., Hochmuth G.J., Splittstoesser W.E., Granberry D.M. (1991a). Plastic chemistry and technology as related to plasticulture and solar heating of soil. In: Soil solarization. Katan J. and DeVay J.E. (eds.), CRC Press, Boca Raton., Florida, 141-158.

Stevens C., Khan V.A., Wilson M.A., Brown J.E., Collins D.J. (1999b). Use of Thermofilm- IR single layer and double layer soil solarization to improve solar heating in a cloudy climate. *Plasticulture*, **118**, 20-34.

Sundarum T.K. (1986). Physiology and growth of thermophylic bacteria. In: Thermophiles: General, Molecular, and Applied Microbiology. Brock T.D. (ed.), John Wiley & Sons, New York, 75.

Tamietti 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.

Tjamos E.C., Biris D.A., Paplomatas E.J. (1991). Recovery of olive trees with Verticillium wilt after individual application of soil solarization in established olive orchards. *Plant Dis*., **75**, 557-562.

Tjamos E.C., Faridis A. (1980). Control of soilborne pathogens by solar heating in plastic houses in Greece. In: Proceedings of 5th Congress of the Mediterranean Phytopathological Union, pp. 82-84, Patras, Greece.

Triolo E., Vannacci G., Materazzi A. (1989). La solarizzazione del terreno in orticoltura. 3. Efficacia nei confronti di *Rhizoctonia solani* Kühn in pieno campo. *La Difesa delle Piante*, **12**, 289-296.

Usmani S.M.H., Ghaffar A. (1982). Polyethylene mulching of soil to reduce viability of sclerotia of *Sclerotium oryzae*. *Soil Biol*. *Biochem*., **14**, 203-206.

Wang D., Yates S.R. (1998). Methyl bromide emission from fields partially covered with a high-density polyethylene and a virtually impermeable film. *Environ*. *Sci*. *Technol*., **32**, 2515-2518.

White J.G., Buczacki S.T. (1979). Observations on suppression of clubroot by artificial or natural heating of soil. *Trans*. *Br*. *Mycol*. *Soc*., **73**, 271-275.