

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DELLA TUSCIA DI VITERBO

DIPARTIMENTO DI SCIENZE E TECNOLOGIE PER L'AGRICOLTURA, LE FORESTE,
LA NATURA E L'ENERGIA (DAFNE)

CORSO DI DOTTORATO DI RICERCA IN ORTOFLOROFRUTTICOLTURA-XXIV Ciclo.

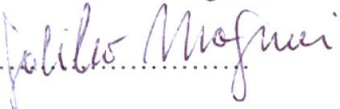
FILM PLASTICI INNOVATIVI PER L'AGRICOLTURA

Settore scientifico-disciplinare: AGR/04

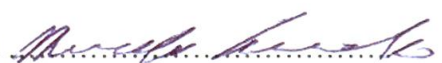
Coordinatore: Prof. Alberto Graifenberg

Firma 

Tutor: Prof. Galileo Magnani

Firma 

Dottorando: Leonardo Marchetti

Firma 

‘R sugo ‘un è santo, ma ‘n dove casca fa miràoli

(Il letame non è santo, ma dove cade fa miracoli)

Da: “Proverbi e modi di dire di Pisa” di Riccardo Mazzanti.

Edizioni: La Libreria di Demetra, 1998.

Riassunto

L'obiettivo del dottorato di ricerca è stato quello di valutare, in un ambiente tipico dell'Italia centro-settentrionale, la rispondenza agronomica di nuovi film termici di copertura delle serre, ancora allo stadio di prototipo, su una coltura di ampia diffusione qual è il pomodoro (*Lycopersicon esculentum* Mill.).

L'attività di valutazione è stata portata avanti seguendo due linee di ricerca distinte, cui sono corrisposte due prove biennali di confronto tra materiali plastici di copertura. Nella prima un film termico innovativo contenente poliammide di terza generazione, che rappresenta una delle più recenti e interessanti novità del settore, è stato posto a confronto con un film in polietilene additivato, con funzione di testimone. Nella seconda, invece, ad essere confrontati sono stati due film termici coestrusi LDPE/EVA, uno a luce diretta e l'altro a luce diffusa, ciascuno stabilizzato con tre diverse formulazioni di additivi stabilizzanti alla luce.

I parametri presi in considerazione nell'ambito della ricerca hanno riguardato lo sviluppo vegetativo dell'ortiva e gli aspetti legati alla produzione, valutati questi sia dal punto di vista quantitativo che qualitativo. I numerosi dati raccolti hanno permesso di ottenere un quadro assai completo su quelle che sono le potenzialità produttive dei nuovi laminati plastici, fornendo un utile ausilio alla scelta della copertura più idonea allo specifico ambiente di coltivazione.

La prima parte della tesi, di carattere bibliografico, fornisce indicazioni sulla storia delle materie plastiche in generale e della plasticoltura in particolare, sulle più importanti applicazioni delle plastiche in ambito agricolo e sulla loro diffusione, sui principali materiali plastici di copertura rigidi e flessibili, sulle proprietà meccaniche e ottico radiometriche dei film di copertura e, infine, sulle principali tipologie di questi ultimi oggi in commercio. Quindi, dopo aver riportato lo scopo della ricerca nella seconda parte, vengono descritte nel dettaglio le prove sperimentali, iniziando dal considerare quella di confronto tra il film innovativo contenente poliammide e il testimone in LDPE additivato (parte III), per poi passare, infine, alla sperimentazione inerente i due film termici coestrusi LDPE/EVA differientemente stabilizzati e con diversa capacità di diffondere la radiazione solare incidente.

Abstract

The aim of this research was to evaluate, in a north-central Italy environment, the behaviour of new agricultural thermal films for covering greenhouse, still at the prototype stage, on tomato crops (*Lycopersicon esculentum* Mill.).

Two different two-year trials were carried out. In the first one, an innovative third generation thermal film containing polyamide was compared with a control standard mixed with additives LDPE film. In the second research line, two coextruded LDPE/EVA direct or diffuse light thermal films were compared. Moreover, each type of the above-mentioned film was stabilized with three different formulations of light stabilizing additives, for a total of six combinations film- light stabilizing.

The parameters taken into account in the research focused on the vegetative growth and quantitative and qualitative production. The large amount of collected data allowed to obtain a complete picture of the productive potential of the new plastic laminates, providing a useful aid for the choice of the most suitable cover for the specific environment.

The first bibliographical part of the thesis provides information about the history of plastics and plasticulture and the most important plastic applications in agriculture. The main rigid and flexible covering materials and their mechanical and optical-radiometric properties are also described. Finally, the main types of commercial covering films are presented.

In the second part, trials are described in details, starting with the comparison between the innovative film containing polyamide and the control standard mixed with additives LDPE film (part III). At last, the comparison trial concerning the two differently stabilized direct or diffuse light LDPE/EVA films is presented (part IV).

INDICE

PARTE I: INTRODUZIONE	13
I.1 CENNI STORICI	13
<i>I.1.1 Le materie plastiche</i>	<i>13</i>
<i>I.1.2 La plasticoltura.....</i>	<i>14</i>
I.2 DIFFUSIONE DELLE PLASTICHE AGRICOLE	19
<i>I.2.1 Consumo di plastiche agricole nel mondo e in Italia</i>	<i>19</i>
<i>I.2.2 Evoluzione delle superfici a copertura plastica in agricoltura</i>	<i>20</i>
I.2.2.1 Serre e grandi tunnel.....	21
I.2.2.2 Piccoli tunnel.....	23
I.2.2.3 Coperture a piatto (direct covers).....	24
I.2.2.4 Pacciamatura.....	25
I.2.2.5 Colture fuori suolo	26
I.3 PRINCIPALI APPLICAZIONI DELLE PLASTICHE AGRICOLE	29
<i>I.3.1 Serre e grandi tunnel.....</i>	<i>29</i>
<i>I.3.2 Piccoli tunnel</i>	<i>33</i>
<i>I.3.3 Coperture a piatto (Direct covers).....</i>	<i>34</i>
<i>I.3.4 Pacciamatura</i>	<i>35</i>
<i>I.3.5 Solarizzazione.....</i>	<i>39</i>
<i>I.3.6 Insilamento dei foraggi</i>	<i>41</i>
<i>I.3.7 Altre applicazioni.....</i>	<i>43</i>
I.4 PRINCIPALI MATERIALI PLASTICI DI COPERTURA	44
I.4.1 Polietilene (PE)	44
I.4.2 Copolimeri etilene – acetato di vinile (EVA)	46
I.4.3 Cloruro di polivinile (PVC).....	48
I.4.4 Polimetacrilato di metile (PMMA).....	50
I.4.5 Policarbonato (PC)	51
I.4.6 Resina poliestere (PFRV).....	52
I.4.7 Polipropilene (PP).....	53
I.4.8 Copolimeri etilene tetrafluoroetilene (ETFE)	54
I.5 PROPRIETA' DEI FILM PLASTICI DI COPERTURA.....	55
I.5.1 Proprietà meccaniche.....	55
I.5.2 Proprietà ottico-radiometriche	56
I.5.2.1 Effetti della luce sulle piante.....	57
I.5.2.2 Lo spettro luminoso solare.....	58

I.5.2.3 Principali proprietà ottico-radiometriche	60
I.5.3 Altre proprietà dei film plastici di copertura	63
I.5.3.1 Durata	63
I.5.3.2 Proprietà antigoccia	65
I.6 PRINCIPALI TIPOLOGIE DI FILM PLASTICI DI COPERTURA	70
I.6.1 Film a lunga durata e stabilizzazione delle plastiche agricole	70
I.6.2 Film termici	76
I.6.3 Film fotoselettivi	79
PARTE II: SCOPO DELLA RICERCA	84
PARTE III: PROVA BIENNALE DI CONFRONTO TRA UN FILM TERMICO INNOVATIVO CONTENENTE POLIAMMIDE E UN FILM TESTIMONE IN LDPE ADDITIVATO SU COLTURA DI POMODORO (<i>LYCOPERSICON ESCULENTUM</i> MILL.)	85
III.1 PROVA BIENNALE DI CONFRONTO TRA UN FILM TERMICO INNOVATIVO CONTENENTE POLIAMMIDE E UN FILM TESTIMONE IN LDPE ADDITIVATO SU COLTURA DI POMODORO (<i>LYCOPERSICON ESCULENTUM</i> MILL.) – PRIMO ANNO DI PROVA	85
III.1.1 INTRODUZIONE	85
III.1.2 MATERIALI E METODI	87
III.1.3 RISULTATI E DISCUSSIONE	90
III.1.3.1 Temperatura e umidità relativa dell'aria all'interno dei tunnel	90
III.1.3.1.1 Marzo	90
III.1.3.1.2 Aprile	91
III.1.3.1.3 Maggio	92
III.1.3.2 Sviluppo vegetativo della coltura	92
III.1.3.2.1 Altezza, numero di foglie, area fogliare e diametro del fusto delle piante	93
III.1.3.2.2 Peso fresco, peso secco e percentuale di sostanza secca della parte aerea delle piante.	93
III.1.3.2.3 Indici di crescita	94
III.1.3.2.4 Contenuto di clorofilla a e b nelle foglie delle piante	95
III.1.3.3 Produzione	95
III.1.3.4 Qualità della produzione	97
III.1.4 CONCLUSIONI	99
III.1.5 TABELLE E GRAFICI	101
III.2 PROVA DI CONFRONTO TRA UN FILM TERMICO INNOVATIVO CONTENENTE POLIAMMIDE E UN FILM TESTIMONE IN LDPE ADDITIVATO SU COLTURA DI POMODORO (<i>LYCOPERSICON ESCULENTUM</i> MILL.) – SECONDO ANNO DI PROVA ...	120
III.2.1 MATERIALI E METODI	120
III.2.2 RISULTATI E DISCUSSIONE	124
III.2.2.1 Irradianza sotto le coperture	124
III.2.2.2 Temperatura e umidità relativa dell'aria all'interno dei tunnel	124
III.2.2.3 Sviluppo vegetativo della coltura e scambi gassosi	125

III.2.2.3.1 Altezza, numero di foglie, area fogliare e diametro del fusto delle piante	126
III.2.2.3.2 Peso fresco, peso secco e percentuale di sostanza secca della parte aerea delle piante.	126
III.2.2.3.3 Indici di crescita	127
III.2.2.3.4 Contenuto di clorofilla a e b nelle foglie delle piante.....	128
III.2.2.3.5 Scambi gassosi.....	129
III.2.2.4 <i>Produzione</i>	129
III.2.2.5 <i>Qualità della produzione</i>	130
III.2.3 CONCLUSIONI	132
III 2.4 TABELLE E GRAFICI	134
III.2.4.1 <i>Prova primaverile</i>	134
III.2.4.2 <i>Prova autunnale</i>	147
III.3 CONCLUSIONI (DUE ANNI DI SPERIMENTAZIONE).....	157

PARTE IV: PROVA BIENNALE DI CONFRONTO TRA DUE FILM TERMICI COESTRUSI LDPE-EVA, UNO A LUCE DIRETTA E L'ALTRO A LUCE DIFFUSA, CON TRE DIVERSE STABILIZZAZIONI, SU COLTURA DI POMODORO (LYCOPERSICON ESCULENTUM MILL.).....160

IV.1 PROVA BIENNALE DI CONFRONTO TRA DUE FILM TERMICI COESTRUSI LDPE-EVA, UNO A LUCE DIRETTA E L'ALTRO A LUCE DIFFUSA, CON TRE DIVERSE STABILIZZAZIONI, SU COLTURA DI POMODORO (LYCOPERSICON ESCULENTUM MILL.) – PRIMO ANNO DI PROVA	160
IV.1.1 MATERIALI E METODI	160
IV.1.2 RISULTATI E DISCUSSIONE	163
IV.1.2.1 <i>Temperatura e umidità relativa dell'aria all'interno dei tunnel</i>	163
IV.1.2.2 <i>Sviluppo vegetativo della coltura</i>	164
IV.1.2.2.1 Altezza, numero di foglie, area fogliare e diametro del fusto delle piante	164
IV.1.2.2.2 Peso fresco, peso secco e percentuale di sostanza secca della parte aerea delle piante	165
IV.1.2.2.3 Indici di crescita	165
IV.1.2.2.4 Peso fresco, peso secco e percentuale di sostanza secca in foglie, steli e radici a 60 giorni dal trapianto	166
IV.1.2.2.5. Rapporto peso fresco foglie/peso fresco totale parte aerea e rapporto peso fresco stelo/peso fresco totale parte aerea.....	166
IV.1.2.2.6 Contenuto di clorofilla a e b nelle foglie delle piante	166
IV.1.2.3 <i>Produzione</i>	167
IV.1.2.4 <i>Qualità della produzione</i>	168
IV.1.3 CONCLUSIONI	171
IV.1.4 TABELLE E GRAFICI	173
IV.2 PROVA BIENNALE DI CONFRONTO TRA DUE FILM TERMICI COESTRUSI LDPE-EVA, UNO A LUCE DIRETTA E L'ALTRO A LUCE DIFFUSA, CON TRE DIVERSE STABILIZZAZIONI, SU COLTURA DI POMODORO (LYCOPERSICON ESCULENTUM MILL.) – SECONDO ANNO DI PROVA.....	189
IV.2.1 MATERIALI E METODI	189
IV.2.2 RISULTATI E DISCUSSIONE	192

<i>IV.2.2.1 Irradianza sotto le coperture</i>	<i>192</i>
<i>IV.2.2.2 Sviluppo vegetativo della coltura e scambi gassosi</i>	<i>193</i>
IV.2.2.2.1 Altezza, numero di foglie, area fogliare e diametro del fusto delle piante	193
IV.2.2.2.2 Peso fresco, peso secco e percentuale di sostanza secca della parte aerea delle piante	194
IV.2.2.2.3 Indici di crescita	195
IV.2.2.2.4 Peso fresco, peso secco e percentuale di sostanza secca in foglie, steli e radici a 70 giorni dal trapianto	196
IV.2.2.2.5 Rapporto peso fresco foglie/peso fresco totale parte aerea e rapporto peso fresco stelo/peso fresco totale parte aerea a 70 giorni dal trapianto	196
IV.2.2.2.6 Contenuto di clorofilla a e b nelle foglie delle piante	197
IV.2.2.2.7 Scambi gassosi	197
<i>IV.2.2.3 Produzione</i>	<i>198</i>
<i>IV.2.2.4 Qualità della produzione.....</i>	<i>199</i>
IV.2.3 CONCLUSIONI	202
IV.2.4 TABELLE E GRAFICI	203
IV.3 CONCLUSIONI (DUE ANNI DI SPERIMENTAZIONE)	218
PARTE V: BIBLIOGRAFIA.....	220

PARTE I: INTRODUZIONE

I.1 CENNI STORICI

I.1.1 Le materie plastiche

L'importante ruolo che le materie plastiche rivestono, al giorno d'oggi, per la popolazione umana, è più che evidente. Sarebbe infatti lungo elencare le numerose tipologie di materiali plastici impiegate comunemente nel vivere quotidiano e i relativi campi di applicazione.

Da un punto di vista storico è possibile collocare l'origine delle materie plastiche negli USA, con l'ottenimento da parte di J.W. Hyatt della celluloida (1869), mescolando nitrato di cellulosa e canfora per produrre un surrogato del costoso avorio impiegato nella costruzione di palle da biliardo. Di notevole importanza furono, in seguito, le scoperte nel 1912 del cellofan, nel 1927 dell'acetato di cellulosa e del PVC (che entrerà in commercio a metà degli anni '40), tra il '30 e il '34 del plexiglass e delle poliammidi (con le fibre tessili da essi derivanti come il Nylon), mentre intorno al 1937 iniziò la produzione di resine polistireniche (polistirene) e dei poliuretani; nel 1939 fu la volta del polietilene (scoperto nel 1933 da R.Gibson e E.W. Facett) ad opera della Du Pont (AA.VV., 2005). Il brevetto per il polietilene, materiale di grande diffusione in ambito agricolo, fu preso nel 1936 e, tre anni più tardi, si ottenne una prima e modesta produzione industriale, che fu la prima vera tecnologia di produzione industriale di poliolefine. Nel 1956 e 1957 iniziarono a svilupparsi le tecnologie di produzione del polipropilene, sintetizzato per la prima volta da Natta nel 1954 (Galli, 1998; AA.VV., 2005). In quel periodo l'industria italiana di materie plastiche muoveva i suoi primi passi sulle orme dell'esperienza accumulata da paesi più avanzati nel settore come la Germania, la Gran Bretagna e gli Stati Uniti (Galli, 1998). In particolare, a livello nazionale, le principali firme presenti all'epoca erano Montecatini, Edison, Anic, Sir, Rumiarca e Solvay, con una produzione che non superava le 5000 tonnellate per anno (Galli, 1998).

Le prime ricerche relative alla polimerizzazione dei monomeri insaturi (cloruro di vinile, acetato di vinile, stirene) risalgono pertanto agli anni '20, mentre lo sviluppo dei processi industriali ha avuto luogo sostanzialmente a partire dagli anni '30 e, a titolo di esempio, possono essere ricordati la sintesi, da parte della Bayer (nel 1929), del primo copolimero elastomerico stirene-butadiene (la cui fabbricazione, sotto il nome di Buna S iniziò nel 1935) e la presentazione della prima fusoliera di aereo in polimetacrilato di metile, nel 1936, durante un'esposizione a Lipsia (Galli, 1998).

Ma è proprio il gruppo delle poliolefine, cui appartengono i già citati polietilene, polipropilene e acetato di vinile, a rivestire un'importanza fondamentale nella storia delle materie plastiche. Grazie alla riduzione dei costi d'investimento e di produzione, alla forte limitazione degli effetti negativi sull'ambiente, all'estensione delle proprietà dei polimeri prodotti e, non ultimo, all'introduzione di catalizzatori rivoluzionari Ziegler-Natta ad alto rendimento, le poliolefine hanno conosciuto una forte crescita commerciale all'inizio degli anni '70 per la produzione del polietilene ad alta densità (HDPE) e, successivamente, negli anni '80, del polipropilene (Galli, 1998) fino a diventare le termoplastiche più diffuse a livello mondiale nei settori più vari, compreso quello agricolo (Pasquini, 1998).

I.1.2 La plasticoltura

Le prime applicazioni delle plastiche in ambito agricolo risalgono alla fine degli anni '40. L'anno zero della plasticoltura può essere considerato il 1948, quando il professor Emmert, uno dei pionieri del settore, non avendo fondi sufficienti per acquistare una serra in vetro, ebbe l'idea di coprire una struttura in legno con del cellofan (un idrato di cellulosa scoperto nel 1912), prontamente sostituito dal polietilene quando questo divenne disponibile nel '53-'54 (Garnaud, 2000). Ma le intuizioni del professor Emmert continuarono negli anni seguenti portando all'impiego della prima pacciamatura plastica nel 1955 e dei piccoli tunnel nel 1956 (CIPA, 1994).

Parallelamente, grandi progressi tecnologici nel campo delle plastiche agricole si registrarono in altri paesi europei e d'oltreoceano. In particolare sembra che in Belgio, Charles Baron, abbia costruito la sua prima serra plastica in epoca anteriore al 1954, anno in cui realizzò i primi spettri di trasmissione luminosa (Nisen, 1988) mentre in Giappone, nello stesso periodo, si assisteva alla progressiva sostituzione della carta oleata, utilizzata fin dal XVII secolo per la protezione di ortaggi e fiori, con il PVC (Garnaud, 2000). Sempre alla metà degli anni Cinquanta risalgono le prime applicazioni di materie plastiche alle colture fuori suolo su substrato artificiale, mentre si collocano nella seconda metà del decennio le prime pacciamature plastiche in USA (1956), l'inizio dell'insilamento di foraggi sotto film polietilene nero in Francia (1958) e la messa a punto dell'irrigazione goccia a goccia in Israele, nel 1959 (Fonte: CPA France).

L'industria delle materie plastiche per l'agricoltura nasce quindi in tempi piuttosto recenti, alla fine del secondo conflitto mondiale e, dal punto di vista dei polimeri maggiormente impiegati, all'inizio degli anni Cinquanta spiccano essenzialmente due nomi: polietilene e PVC. Il primo, in particolare, era sinonimo di "plastica" negli Stati Uniti, mentre il secondo lo era nel resto del mondo (Clarke, 1990). Ben presto la contemporanea disponibilità sul mercato di film realizzati con LDPE o PVC portò a una rivalità talvolta acerba tra i rispettivi produttori, con il cloruro di polivinile che alla fine si affermò principalmente in Giappone, mentre, nel resto del mondo, prevalse il polietilene. Tuttavia entrambi i polimeri si caratterizzavano per la ridotta durata nel tempo, inconveniente che portò i produttori nipponici a sviluppare film in PVC-P per serre più durevoli mentre negli Stati Uniti e, soprattutto, in Europa furono messi a punto, alla fine degli anni Sessanta, tutta una gamma di film LDPE considerevolmente migliorati dal punto di vista della resistenza meccanica, della durata (2 anni) e dell'effetto termico (Garnaud, 2000).

Nel 1964 si era nel frattempo tenuto, in Francia, il primo congresso internazionale delle plastiche in agricoltura, cui fece seguito, quattro anni più tardi, l'istituzione del Comitato Internazionale delle Plastiche in Agricoltura (CIPA). Nello stesso anno, con lo scopo di aiutare gli utilizzatori nella scelta del manufatto più idoneo alle loro esigenze, furono istituiti, sempre in Francia, dei sistemi di normazione (Garnaud, 2000) che, successivamente, fecero la loro comparsa prima in Italia (Pacini, 1985) e poi in Spagna (Martin Vincente, 1989).

Alla fine degli anni Sessanta furono lanciate le prime serre tunnel plastiche, mentre l'inizio degli anni Settanta vide la messa a punto dello spago agricolo in polipropilene. E' invece della prima metà degli anni Ottanta la comparsa dei film coestrusi per la pacciamatura del terreno e, in seguito, per i film di grande ampiezza ad uso agricolo (Gilby, 1989).

Lo sviluppo prodigioso delle coperture plastiche, avvenuto negli anni '60-'70, spinse i ricercatori ad analizzare in modo più approfondito i fenomeni radiativi che influenzano il clima delle serre (Takakura, 1989) e la crescita delle piante, e a moltiplicare gli studi fotometrici sui materiali di copertura (Mermier e Baille, 1988 ; Feuilloley *et al.*, 1989), mentre, dal canto loro, le industrie plastiche modificarono le loro formulazioni per ottimizzare la trasmissione spettrale (Raviv e Allingham, 1983 ; Magnani, 1987) facendo appello a degli additivi perfezionati, minerali (Hancock, 1988) ed organici (Dartiguepeyrou, 1986).

Uno dei maggiori progressi nella realizzazione di nuovi manufatti da parte dell'industria delle plastiche agricole fu senza dubbio l'introduzione dei materiali fotoselettivi, che hanno suscitato un certo entusiasmo a partire dall'azione della luce verde alla fine degli anni

Sessanta (Garnaud, 2000) fino ad arrivare, negli anni Novanta, al controllo di certi patogeni (Sánchez López *et al.*, 1994 ; Antignus *et al.*, 1996) e allo sviluppo di altre formule fotocromatiche aventi lo scopo di intensificare la fotosintesi (Murakami *et al.*, 1996 ; Carnell, 1996 ; Lozano González *et al.*, 1999) nonché di additivi fluorescenti (Zarka e Zarka, 1990), ceramici, fluorati ecc.

Di notevole rilevanza storica è poi l'introduzione, all'inizio degli anni '80, del polietilene lineare (LLDPE) nei processi di fabbricazione dei film per l'agricoltura (Hert e Raviola, 1982; De Carsalade, 1982 ; Magnani, 1987). Questo polimero ha infatti permesso di incrementare notevolmente la resistenza meccanica dei film plastici, che potevano quindi essere estrusi con uno spessore inferiore (Magnani, 1993). Altresì importanti sono state le ricerche volte ad aumentare la durata dei film stessi attraverso sistemi di stabilizzazione innovativi (Mladenov *et al.*, 1988 ; Henninger e Pedrazzetti, 1988 ; Henninger e Pedrazzetti, 1990 ; Lemaire, 1993 ; Lelli e Gugumus, 1996), ponendo particolare attenzione al comportamento delle plastiche agricole quando queste si trovavano a contatto con alcune tipologie di pesticidi (Barahona e Gomez Vasquez, 1985 ; Desriac, 1991 ; Hochmuth *et al.*, 1993) responsabili di una loro precoce degradazione.

Per quel che concerne, nello specifico, l'evoluzione tecnologica nel settore dei materiali di copertura, si è cercato nel corso degli anni un costante miglioramento delle caratteristiche sia meccaniche che ottico-radiometriche dei manufatti. E' dunque possibile individuare diverse fasi nella storia relativamente recente di questi materiali plastici: fino a circa metà degli anni Ottanta erano concepiti unicamente come un elemento di protezione della coltura e venivano prese in considerazione solo le caratteristiche di resistenza meccanica e di durata nel tempo (Bouchier, 2004). Con l'avvento della tecnologia tristrato, verso la metà degli anni Ottanta, e a fronte del continuo progresso tecnologico delle serre (gestione computerizzata, irrigazione automatizzata, regolazione precisa della temperatura e dell'umidità relativa dell'aria, illuminazione controllata ecc.), la tendenza dei produttori di materiali plastici fu quella di mettere sul mercato film dalle performances sempre più elevate (Toneatti, 1988). Grazie soprattutto alla coestrusione fu possibile inserire proprietà supplementari legate alla termicità, alla trasparenza, alla diffusione della luce, così come caratteristiche antigoccia, antistatiche ecc. che portarono alla nascita di nuovi film opachi, bianchi e chiari (Bouchier, 2004).

In seguito, la necessità di performances produttive ancor più elevate, sia dal punto di vista quantitativo che qualitativo, unita alla maggior complessità di gestione delle colture legata al controllo dei vari parametri ambientali e agrotecnici, hanno stimolato la ricerca verso

l'elaborazione di prodotti innovativi, cosicché, dall'inizio degli anni Duemila, è iniziata una nuova era che ha visto la comparsa di un altrettanto nuova generazione di film, i quali, oltre alla capacità di proteggere la coltura, alla resistenza e alla durata, alle caratteristiche di termicità, trasparenza e diffusione, possiedono la particolarità di contribuire alla crescita delle piante in maniera funzionale (Bouchier, 2004 ; Magnani e Filippi, 2009). Gli effetti positivi di questi nuovi film si esplicano anche in termini di una maggiore sanità delle piante, con conseguente sviluppo più armonioso e minor consumo di fattori produttivi, rendimenti migliori e una qualità superiore della produzione. La riduzione dei costi di gestione e la resistenza agli agrochimici sono altri due requisiti importanti che questi prodotti devono possedere. L'obiettivo dei film di oggi è quello di creare un microclima il più possibile favorevole allo sviluppo della pianta, permettendo ai serricoltori un maggior controllo del calendario di produzione e di avere una coltura più omogenea (Bouchier, 2004). Si definiscono a tal proposito "film funzionali" quelli che vengono utilizzati per regolare sia i parametri di crescita sia gli aspetti fitosanitari delle piante (Sportelli, 2008) e, in linea generale, che hanno un impiego mirato a raggiungere effetti positivi sul processo produttivo condotto in coltura protetta (Magnani e Filippi, 2009). Diversamente da quanto avveniva in passato, attualmente la tendenza è a concentrare l'attenzione sulle caratteristiche ottico-radiometriche dei manufatti piuttosto che su quelle tecnico-meccaniche, che rivestono tuttavia un'importanza notevole. E' perciò compito dell'industria trovare i giusti compromessi tra le due, che spesso risultano interconnesse, al fine di non penalizzare le une rispetto alle altre. D'altra parte, però, sembra che in questi ultimi anni il mercato abbia richiesto un incremento della durata dei film, in modo tale da poter raddoppiare i tradizionali 2-3 anni di esposizione della copertura sulle strutture portanti dell'apprestamento di protezione, con benefici notevoli anche in termini d'impatto ambientale dovuto al risparmio di polimeri. Oggi comunque la richiesta è orientata sia verso film ad elevato effetto termico, sia a tutti quei film in grado di limitare le escursioni termiche giornaliere della temperatura e che diffondono la radiazione fotosinteticamente attiva all'interno dell'ambiente di coltivazione. Infatti una migliore utilizzazione della radiazione solare incidente è uno degli obiettivi che si è posta la ricerca sui materiali di copertura, da cui l'interesse per la messa a punto di film speciali fotoselettivi, fluorescenti o luminescenti, fino ad arrivare ai film cosiddetti "tailor made", cioè fatti su misura per determinate applicazioni colturali (Magnani e Filippi, 2009).

Tuttavia, oltre alla ricerca di effetti termici e anti-fog, di una maggior durata dei film e di azioni fotoselettive delle coperture, una delle tendenze principali dell'odierna plasticoltura è

verso l'impiego di manufatti ad elevata ecocompatibilità, nell'ottica di un maggior rispetto per l'ambiente (Favia, 2002). Del resto il problema dello smaltimento dei materiali derivati dal petrolio è di primaria importanza e, con il costante aumento del consumo di materie plastiche in agricoltura (Jouët, 2001), si è reso sempre più necessario il ricorso a sistemi ecocompatibili di smaltimento dei film plastici una volta che questi sono giunti al termine della loro vita utile. Da qui l'introduzione e l'interesse crescente per i materiali biodegradabili (Bastioli, 1998 ; Candura *et al.*, 1999 ; Gasper *et al.*, 2005 ; Halley *et al.*, 2001 ; Kaplan *et al.*, 1993 ; Lörcks, 1998 ; Malinconico *et al.*, 2002 ; Manera *et al.*, 1999 ; Scarascia Mugnozza *et al.*, 2003b ; Scarascia e Dal Sasso, 2007), ovvero quei materiali in grado di subire la degradazione biologica ad opera di enzimi secreti da microrganismi naturalmente presenti nel terreno quali batteri, funghi e alghe, con la possibilità, quindi, di essere smaltiti direttamente in campo tramite interrimento o di essere avviati a processi di compostaggio. In particolare, l'impiego di materiali biodegradabili assume un'importanza fondamentale, sotto il profilo ambientale, soprattutto in applicazioni dove i film restano in opera per una sola stagione come la pacciamatura del terreno, ma anche nella copertura di piccoli tunnel (Scarascia Mugnozza *et al.*, 2003).

I.2 DIFFUSIONE DELLE PLASTICHE AGRICOLE

I.2.1 Consumo di plastiche agricole nel mondo e in Italia

Negli ultimi cinquant'anni le applicazioni plastiche hanno fortemente contribuito alla crescita in efficienza e potenziale della produzione agroindustriale, inserendosi a pieno titolo nel processo di modernizzazione delle strutture di produzione agricola. Le dinamiche di espansione del mercato mondiale, insieme con la globalizzazione economica, hanno accelerato il processo di sviluppo portando verso un nuovo equilibrio nel mondo agricolo. Nuove e migliori strategie produttive, che fanno uso di plastiche, hanno fatto la loro comparsa nel corso dei decenni, a partire dai paesi più avanzati (Papasett *et al.*, 1997), riuscendo in alcuni casi a diventare vera e propria espressione di uno sviluppo economico e demografico (López-Medina *et al.*, 2005), come dimostra, esempio primo fra tutti, il paese di El Ejido in Almeria (Spagna) dove la popolazione è incrementata dalle 7100 unità del 1950 ai 60000 abitanti della metà degli anni Novanta (Papasett *et al.*, 1997). Attualmente tale progresso tecnologico si sta sempre più estendendo ai paesi in via di sviluppo, in particolare in Africa e Medio Oriente (Goren and Gazit, 1996), con un recente incremento delle superfici coperte con serre plastiche di circa il 15-20% (Jouët, 2004).

Presentare statistiche precise sulla plasticoltura non è tuttavia compito semplice, sia che ci si riferisca ad un contesto mondiale (Jouët, 2001), sia che si vada a considerare i singoli paesi. Infatti se alcuni di questi dispongono di Comitati Nazionali in grado di raccogliere dati attendibili, per altri è necessario affidarsi a vari organismi nazionali ed internazionali, per ottenere informazioni che talvolta possono rivelarsi addirittura contraddittorie tra loro. Questo, tuttavia, non impedisce di avere un'immagine relativamente corretta dell'evoluzione delle plastiche ad uso agricolo nel mondo (Jouët, 2001).

Nei decenni seguenti alla loro introduzione in agricoltura, alla fine del secondo conflitto mondiale, il consumo annuo di plastiche agricole a livello globale ha conosciuto una fase di espansione continua passando dalle 1,15 milioni di tonnellate del 1985 (Jouët, 2001) alle circa 2,8 milioni del 1999 (Jouët, 2004) fino ad arrivare a 3,4 milioni di tonnellate nel 2002 (Pacini, 2004), considerando unicamente gli impieghi direttamente legati al processo produttivo.

Per quel che riguarda l'Europa occidentale, Pacini (1998) indica per l'anno 1995 un consumo complessivo di plastiche in ambito agricolo di 955 000 t/anno pari al 42,5% del consumo

mondiale (stimato in circa 2 250 000 t/anno), mentre nel 2002 (Pacini, 2004) tale valore sembra essersi leggermente ridotto (953 033 t/anno). Anche nel nostro paese, sempre in base a stime di Pacini (1993), il volume d'impiego delle plastiche agricole è passato dalle 116 000 t/anno del 1977 alle oltre 250 000 tonnellate annue del 1993, portando l'Italia ai primissimi posti nel mondo. Tale incremento dei consumi si è ripartito tra diversi settori di applicazione, con una progressione razionale ed equilibrata che non ha manifestato rallentamenti nel tempo, mantenendo un ritmo costante persino durante gli anni della crisi petrolifera (1974). In Italia, del resto, grazie soprattutto alla loro economicità, le serre a copertura plastica hanno dato una forte spinta allo sviluppo delle colture orticole in ambiente protetto, a partire dagli anni Sessanta (Tesi, 1992), in particolare al centro e al meridione. Statistiche dei primi anni Duemila (Pacini, 2004) riportano, a livello nazionale, un consumo di materie plastiche in agricoltura di 345 000 t/anno.

I.2.2 Evoluzione delle superfici a copertura plastica in agricoltura

La plasticoltura a livello mondiale è stata caratterizzata, per quanto concerne le superfici coperte con manufatti plastici, da un'evoluzione continua nel periodo compreso tra la fine della seconda guerra mondiale e i giorni nostri. Analogamente a quanto osservato in precedenza per i consumi espressi in termini ponderali, risulta tuttavia difficoltoso fornire, soprattutto per periodi antecedenti agli anni Duemila, stime precise sull'entità delle suddette superfici e sui trend di espansione/contrazione ad esse associati. Questo è dovuto principalmente alla mancanza di dati statistici relativi ad alcuni paesi (quantomeno per certe applicazioni) e, in secondo luogo, all'imprecisione delle cifre riportate per altre nazioni, rivelatisi talvolta troppo ottimistiche o, al contrario, apparse sottostimate (Jouët, 2004). La disponibilità in tempi recenti di strumenti tecnologicamente avanzati come l'analisi dei dati cartografici e la fotointerpretazione delle ortofotocarte condotta in ambito GIS, rappresenta, in tal senso, un valido ausilio per l'individuazione delle aree agricole interessate dall'impiego di materiali plastici di copertura. Tali metodologie consentono infatti di ottenere una cartografia tematica georeferenziata per la localizzazione territoriale degli apprestamenti di protezione a copertura plastica, che, oltre a fornire indicazioni sulla loro diffusione, è in grado di implementare un Sistema Informativo Territoriale volto all'individuazione delle varie coperture plastiche, sistema questo che rappresenta uno strumento di notevole utilità per

migliorare l'organizzazione della raccolta dei rifiuti plastici in agricoltura, tramite l'ottimizzazione dei percorsi e la scelta dei siti idonei allo stoccaggio e smaltimento degli stessi (Dal Sasso *et al.*, 2010).

Di seguito viene riportata una descrizione, in maniera distinta per ciascuna delle principali applicazioni, della diffusione, in termini di superficie, delle coperture plastiche in agricoltura, sia a livello mondiale che europeo e nazionale.

1.2.2.1 Serre e grandi tunnel

Le prime serre plastiche venivano installate su strutture in legno simili a quelle usate per il vetro. Con l'introduzione degli elementi metallici negli anni Sessanta fu possibile realizzare strutture emicilindriche come i tunnel. L'inizio della fabbricazione industriale di serre tunnel (1964) e di serre a navata multipla (1970) ha rappresentato un fattore determinante per la grande diffusione delle serre plastiche, passate dai 60 000 ettari del 1976 agli oltre 220 000 della metà degli anni Novanta. La crisi petrolifera del 1973, contrariamente a quanto si possa ritenere, non ha rallentato l'espansione delle plastiche agricole, stimolandone piuttosto l'impiego nelle serre, ivi comprese quelle in vetro (Garnaud, 2000).

Secondo Jouët (2001) la progressione di serre e grandi tunnel plastici è stata, nel periodo compreso tra l'inizio e la fine degli anni Novanta, del 30-35% a livello mondiale, con una superficie totale nel 1999 pari a circa 682 050 ettari, che rappresentavano ben il 60-70% delle superfici serricole presenti nel mondo. Questa evoluzione positiva ha poi avuto seguito nei primi anni Duemila fino a raggiungere i 723 000 ettari (escluso la Cina) nel 2002, con un 6% in più rispetto alla fine del precedente decennio. Tale incremento è legato principalmente alla forte diffusione delle serre plastiche in Africa e Medio Oriente (+15-20%), soprattutto in paesi come Algeria, Camerun e Israele, e, in misura ancora maggiore in Estremo Oriente, dove la Cina sembra possa contare su circa 1,5 milioni di ettari di serre e grandi tunnel a copertura plastica. L'Europa ha invece evidenziato trend positivi decisamente meno rilevanti, con situazioni, come quella spagnola, di stagnazione o addirittura riduzione delle superfici (Jouët, 2004). Statistiche CIPA (*International Congress for Plastics in Agriculture*) indicano, per il 2005, una superficie mondiale coperta con serre e grandi tunnel plastici pari a 780 000 ettari (dato che evidentemente non include la Cina), con un incremento rispetto al 2002 del 7,3%.

La regione mediterranea in generale e l'Europa in particolare rappresentano, subito dopo l'Asia orientale (Cina e Giappone), l'area del pianeta maggiormente interessata dalle coperture plastiche (Castilla e Hernandez, 1995). Infatti nella sola Europa occidentale le superfici a serre e grandi tunnel plastici sono passate dai 111 220 ettari del 1991 (dato che tuttavia non comprende due paesi importanti dal punto di vista della plasticoltura, come Grecia e Portogallo) ai 140 000 del 1999, per poi ulteriormente espandersi nei tre anni successivi fino a raggiungere i circa 146 610 ettari nel 2002 (valore riferito ai paesi dell'Unione Europea). Le stime per l'Europa dell'est risultano invece più difficoltose, mancando ad esempio il dato riferito ai paesi dell'ex-Urss a fine anni Novanta, ma si tende a considerare attendibile una cifra intorno ai 25 000 Ha nel 2002 (Jouët, 2001 e 2004).

In ambito nazionale, a partire dagli anni Sessanta, grazie alla sua posizione geografica in Europa e, soprattutto, alla vicinanza con i paesi della CEE grandi consumatori di ortaggi, frutti e fiori, l'Italia ha rappresentato uno dei principali paesi al mondo per quel che riguarda l'impiego di materie plastiche ad uso agricolo (Pacini, 1993). Del resto, a seguito della crisi energetica e della comparsa dei primi film plastici, la produzione orticola europea in ambiente protetto si è sempre più spostata verso sud (Garnaud, 1987), laddove il ridotto costo delle serre plastiche e la semplicità delle tecnologie messe a punto consentivano l'ottenimento, a buon mercato, di ortaggi fuori stagione (Montero *et al.*, 1988 ; Castilla, 1994), anche per il fatto che le condizioni climatiche, caratterizzate da alti livelli di radiazione durante l'autunno e l'inverno, da temperature più miti nei mesi freddi e dalla stabilità climatica favorita dalla vicinanza del mare, risultavano particolarmente favorevoli alle colture allevate al di fuori del normale periodo di coltivazione (Short e Bauerle, 1986).

In base ad un'inchiesta del Ministero dell'Agricoltura italiano, le serre e i tunnel plastici ricoprivano una superficie di appena 12 ettari nel 1960, divenuti poi circa 2500 nel 1963-1964 (Pacini, 1993). Jouët (2001) stima per l'anno 1991 una superficie nazionale interessata da questa tipologia di coperture intorno ai 65 000 ettari, ridottisi successivamente ai 61 900 della fine degli anni Novanta (-4,8%), cui è seguita una nuova fase di espansione per raggiungere i 77 400 ettari nel 2002 (Jouët, 2004).

I.2.2.2 Piccoli tunnel

Anche per i piccoli tunnel, così come per le serre, all'inizio si è cominciato semplicemente a rimpiazzare il vetro con il film plastico nella copertura di strutture aventi inizialmente forma a campana. A fine anni Cinquanta, tuttavia, grazie alle peculiarità dei film plastici (flessibilità, resistenza alla trazione, avvolgimento e presentazione in bobine ecc.), gli agricoltori e i loro consulenti tecnici considerarono la possibilità di ricorrere a sistemi che impiegassero, come strutture di supporto, archi metallici o, in alcuni casi, picchetti (Garnaud, 2000). La superficie coperta con piccoli tunnel a livello mondiale è stata caratterizzata da una progressione del 35-40% dal 1991 al 1999, anno in cui si contavano nel mondo circa 882 000 ettari, di cui ben 600 000 presenti nella sola Cina (Jouët, 2001). Un'ulteriore evoluzione positiva (+2%) si è avuta nel successivo triennio, arrivando approssimativamente a 900 000 ettari nel 2002 (Jouët, 2004). Tuttavia, in parte a causa dei problemi di areazione che caratterizzano questo tipo di applicazione (Dauplé, 1979 ; Feuilloley *et al.*, 1995), ma, soprattutto, degli alti costi di manodopera che essa richiede, nonostante i progressi della meccanizzazione (CIPA, 1980b), la sua diffusione ha conosciuto, specialmente in tempi recenti, una fase di stagnazione (es: Africa e Medio Oriente) o addirittura di regresso (Francia) delle superfici investite (Jouët, 2004). La stagnazione di una forma di copertura relativamente economica come i piccoli tunnel plastici può apparire sorprendente, ma è il risultato di due tendenze attuali che si sovrappongono: da un lato l'incremento delle superfici dedicate a serre tecnologicamente avanzate per l'ottenimento di prodotti di elevata qualità, prodotti destinati a soddisfare una determinata fetta di mercato, dall'altro la riduzione dei costi di produzione attraverso l'impiego di coperture a basso prezzo come le pacciamature (Jouët, 2004). I piccoli tunnel hanno perciò perso progressivamente terreno a favore di altre soluzioni quali coperture a piatto e tunnel di 4-5 metri di larghezza (Printz, 1995), eccetto nel caso di colture che ne prevedono uno specifico utilizzo, quali la fragola (Jouët, 2004).

L'elevata crescita delle superfici pacciamate in paesi come Egitto, Algeria e Camerun dimostra infatti come l'esiguità dei capitali oggi disponibili obblighi al ricorso a soluzioni più economiche per il supporto della produzione (Jouët, 2004).

Statistiche del Congresso Internazionale per le Plastiche in Agricoltura (CIPA) indicano per l'anno 2005 una superficie mondiale coperta con piccoli tunnel pari a circa 945 000 ettari, con un incremento del 5% rispetto al 2002.

Il continente europeo occupa il secondo posto nel mondo per quanto concerne questa tipologia di protezione delle colture (Jouët, 2004) , subito dopo l'Asia, dove nella sola Cina sono presenti quasi il 70% delle superfici del pianeta investite a piccoli tunnel (Castilla e Hernandez, 1995). Nel 1999, in Europa, si contavano complessivamente circa 900 000 ettari, per lo più concentrati in Italia (24 000 Ha), Spagna (17 500 Ha) e Francia (16 000 Ha), seguite con 4500 Ha dalla Grecia, con progressioni, eccettuato il caso della Francia (-20%), variabili tra il +3% della Spagna e il +26% dell'Italia rispetto all'inizio degli anni Novanta (Jouët, 2001). Nei primi anni del Duemila le superfici europee investite a piccoli tunnel plastici hanno subito una forte contrazione in Spagna (-25,4%) e, in misura decisamente minore, in Francia (-6%), arrivando a coprire nel 2002 rispettivamente 13 055 Ha e 15 000 Ha, mentre il nostro paese ha registrato un ulteriore incremento (+4,2%) rispetto al 1999, raggiungendo un totale di 25 000 ettari. Nei restanti paesi europei invece non si sono osservate variazioni di rilievo, e, in linea generale, il trend per l'Europa occidentale può considerarsi complessivamente positivo, nell'ordine del +3% (Jouët, 2004).

I.2.2.3 Coperture a piatto (direct covers)

Tra le numerose motivazioni che hanno portato alla nascita di questa applicazione vi è senza dubbio l'interesse di un produttore tedesco di polietilene a bassa densità che volle lanciare una tecnica di semi-forzatura caratterizzata dal richiedere, come la pacciamatura, solamente l'impiego di plastiche. Per passi successivi si arrivò dunque, nel 1970, ai primi film in polietilene perforati con 500 buchi (Garnaud, 2000).

In Germania, nel 1979, si potevano già contare 1700 ettari di coperture a piatto (Garnaud, 2000) ma è in Francia, intorno al 1975, che il manager di una società produttrice di teli in tessuto non-tessuto ebbe l'idea di stendere gli stessi sul proprio giardino appena seminato e da quel momento gli agro-tessili (Baudonnel e Sotton, 1985 ; Mermier *et al.*, 1995), in genere realizzati in polipropilene, hanno conosciuto un successo crescente (BASF, 1980; CIPA, 1980a; Maync e Rohlfing, 1986; Kučera, 1989), non solo in Europa ma anche negli USA (Mansour e Hemphill, 1986).

Secondo stime di Jouët (2001), la progressione a livello mondiale delle superfici investite a direct covers è stata di circa il 60% dal 1991 al 1999, anno in cui si contavano nel mondo circa 86 000 ettari. Il ricorso a questa tecnica è stato caratterizzato da una forte evoluzione in

Europa, piuttosto che negli altri continenti. Nella regione mediterranea, nella prima metà degli anni Novanta, l'applicazione era poco diffusa e circa l'80% delle superfici era concentrato in Francia con 8000 ettari, destinati principalmente alla produzione di insalate di elevata qualità (Castilla e Hernandez, 1995), mentre una maggior diffusione si riscontrava nei paesi del nord Europa, in particolare nel Regno Unito, dove si potevano contare approssimativamente 9000 ettari di coperture a piatto (Jouët, 2001). Nei primi anni del Duemila la tecnica si è ulteriormente sviluppata sia a livello mondiale (nel 2002 si stimavano nel mondo circa 105 000 ettari) che soprattutto europeo, dove si è registrata un'evoluzione nell'ordine del 20%, principalmente in Germania (+30%) e nel nostro paese, dove le superfici sono cresciute del 20%. Un rapido sviluppo ha poi caratterizzato certe regioni dell'Africa, come il Camerun, che con 8000 ettari ha evidenziato una progressione del 75% in tre anni. Allo stesso modo, grande rilevanza viene attribuita a questa applicazione in Venezuela (Jouët, 2004).

Le più recenti stime del CIPA indicano, per il 2005, una superficie mondiale a direct covers pari a 111 000 ettari.

1.2.2.4 Pacciamatura

L'impiego di plastiche per la pacciamatura del terreno è, dal punto di vista storico, più recente rispetto alla copertura di piccole strutture per la protezione delle colture. Questo perché i primi film plastici erano considerati fondamentalmente un'alternativa al vetro e presentavano, nel contempo, difficoltà di manipolazione e costi elevati (Garnaud, 2000). In Francia le prime prove di carattere agronomico risalgono all'aprile del 1961, e, nel 1971, si stimava una superficie pacciamata di circa 25 000 ettari su tutto il territorio francese, mentre in Cina (Garnaud e Schales, 1985), paese che oggi vanta di gran lunga il maggior numero di ettari interessati da questa applicazione, la pacciamatura plastica ha fatto la sua comparsa solamente a partire dal 1980, ma si è rapidamente estesa passando dai 14 800 ettari del 1981 (Garnaud e Schales, 1985) agli oltre 9 500 000 del 2002 (Jouët, 2004).

Le superfici pacciamate nel mondo hanno conosciuto una fase di espansione continua dall'introduzione della tecnica fino ai giorni nostri. Tuttavia è solo a partire dalla fine degli anni Novanta che si dispone di sufficienti dati statistici in grado di fornire un quadro pressoché completo della situazione mondiale. Dal 1991 al 1999 gli ettari di terreno pacciamati con plastiche sono incrementati nella misura minima del 50% escludendo la Cina,

di cui non si hanno dati precisi riferiti ai primi anni Novanta. Includendo anche le superfici cinesi la progressione è stimata nell'ordine del 170%. Gli incrementi più rilevanti hanno riguardato i paesi del Medio Oriente, in primis Egitto (+329%) e Israele (+550%), mentre decisamente minori sono risultati quelli dell'Europa dell'est (+30%). Nel 1999 si stimavano, nel mondo, circa 12 130 000 ettari a pacciamatura plastica, di cui ben 9 760 000 in Cina, che rappresentavano approssimativamente il 79% delle superfici pacciamate del pianeta (Jouët, 2001). Anche in Europa, nel corso dello stesso decennio, l'applicazione ha mostrato trend positivi in quasi tutti i paesi, e, nello specifico, +50% in Italia e Spagna (che era ed è tutt'ora il paese leader in ambito europeo), +72% nel Regno Unito, +108% in Germania, +70% in Belgio-Lussemburgo, mentre nessuna sostanziale variazione viene segnalata per Francia e Grecia (Jouët, 2001). I primi anni Duemila hanno visto un'ulteriore aumento delle superfici a livello mondiale, che hanno raggiunto i 12 860 000 ettari nel 2002, ovvero +6% rispetto al 1999 (Jouët, 2004) e, secondo stime CIPA, i 14 000 000 nel 2005 (+ 8,9% rispetto al 2002). I trend positivi di maggior rilievo hanno riguardato, nel triennio 2000-2002, alcuni paesi del continente americano, come Canada-USA (+20%) e Venezuela (+20%), e di quello africano, quali Egitto (+23%), Algeria (+72%) e Camerun (+40%), sebbene incrementi di minor entità siano da segnalare anche per Israele (+7%). In Europa occidentale, invece, gli ettari di terreno pacciamati sono rimasti pressoché invariati, nel periodo considerato, nella maggior parte delle nazioni, mostrando una fase di espansione solo in Italia (+6,5%), mentre in Spagna si è evidenziata una riduzione di circa il 30% passando dai 150 000 ettari del 1999 ai 104 510 del 2002 (Jouët, 2004).

1.2.2.5 Colture fuori suolo

La coltura idroponica era già conosciuta nell'antico Egitto (Resh, 1998) e nei giardini di Babilonia e degli Aztechi in Messico (Jensen, 1997). La prima applicazione su scala commerciale si deve tuttavia ad un fisiologo della California Agricultural Experimental Station, W.F. Gericke, nel periodo compreso tra le due guerre mondiali e rappresentava un'alternativa alla coltivazione in serra, che spesso andava incontro a problemi di stanchezza del terreno (Jensen, 1997). Durante il secondo conflitto mondiale furono realizzati, a Chofu, 22 ettari di colture idroponiche per l'ottenimento di prodotti freschi da destinare alla truppe americane presenti in Giappone (Resh, 1998). Tali prodotti, a differenza di quelli derivanti

dalla tecnica tradizionale, che prevedeva l'impiego di liquami di origine umana per la concimazione, presentavano il vantaggio di non necessitare di cottura prima del consumo.

Lo sviluppo commerciale dell'idroponica fu tuttavia ostacolato dai problemi di corrosione delle tubature (legati all'utilizzo di soluzioni acidule), dal costo elevato per la costruzione dei bancali e dalla frequenza con cui insorgevano problemi di ipossia radicale, che portavano spesso alla perdita della coltura. L'introduzione delle plastiche in agricoltura semplificò notevolmente alcuni aspetti costruttivi (tubazioni, canalette, ecc.), suscitando nuovo interesse per le colture fuori suolo. Nel 1965 il dottor Allen Cooper (Garnaud, 2000), del Glasshouse Crops Research Institute di Littlehampton, in Inghilterra, ideò il sistema NFT (*Nutrient Film Technique*) e le colture senza suolo iniziarono a svilupparsi in modo significativo, quantomeno in Europa. Nel 1979 sembra che un quarto dei pomodori nel Jersey fosse coltivato in NFT, ma è solo a partire dagli anni Ottanta, con l'introduzione di nuovi substrati di natura organica (a base di torba) e di substrati artificiali o naturali (lana di roccia, perlite, pomice, lapillo vulcanico, ecc.), che si apre la diffusione di queste colture su larga scala (Benoit e Ceustermans, 1986 ; Benoit e Ceustermans, 1988 ; Benoit e Ceustermans, 1993 ; Benoit e Ceustermans, 1994). Anche negli Stati Uniti e in Giappone si svilupparono sistemi idroponici che facevano ampio uso di plastiche (Garnaud, 2000).

Secondo Jouët (2001) le superfici interessate dalle colture fuori suolo sono pressoché duplicate dal 1991 al 1999, anno in cui stimavano, a livello mondiale, circa 17 900 ettari di sistemi idroponici, ma con solo 5 paesi in grado di superare i 1000 ettari (Olanda, Spagna, Giappone, Israele, Belgio). L'Europa occidentale rappresenta a tutt'oggi l'area di maggior diffusione delle colture senza suolo e l'Olanda è senza dubbio il paese leader, con più del 90% degli ortaggi di serra coltivati in idroponica, così come di notevole rilevanza è la produzione di fiori recisi in coltura fuori suolo (Van Os e Stanghellini, 2001).

Nei primi anni Duemila, nonostante l'idroponica sia rimasta una tecnica poco diffusa, i dati statistici evidenziano una progressione delle superfici a livello mondiale di circa il 25%, con un interesse più sostenuto in Europa (Italia +30%, Francia +70%, Germania +25%), nel Medio Oriente e con segnali promettenti di sviluppo in Algeria, dove dal 1999 al 2002 gli ettari a coltura fuori suolo sono pressoché raddoppiati. Complessivamente, nel 2002, la superficie mondiale investita a colture idroponiche era di circa 25 000 ettari (Jouët, 2004), divenuti poi 26 250 nel 2005 (Fonte: CIPA).

Sebbene la coltura idroponica rappresenti una delle possibili soluzioni per le problematiche legate all'eliminazione del bromuro di metile (Jouët, 2004) e, inoltre, sia stata proposta come

tecnologia a basso costo per lo sviluppo di orti urbani in paesi tropicali e subtropicali, come mezzo di sostentamento per le popolazioni locali (Pardossi *et al.*, 2005), stenta ancora a decollare, principalmente per i maggiori investimenti iniziali che richiede e la necessità di una certa professionalità per la sua corretta gestione da parte dell'agricoltore. Questo è il motivo principale della maggior diffusione della tecnica in Europa occidentale (Van Os e Stanghellini, 2001).

Per quanto concerne il nostro paese, nel 1990 si contavano meno di 50 ettari, di cui la maggior parte concentrati in Sardegna. Negli anni a seguire, le colture senza suolo in Italia sono state caratterizzate da una fase di espansione delle superfici, nonostante la tecnica rimanga ancora poco utilizzata. Oggi si stimano, a livello nazionale, circa 1000 ettari di serre a sistemi idroponici, pari approssimativamente al 4% dell'intera superficie protetta italiana. Prevedere la futura diffusione di questa tecnologia in Italia non è al momento semplice, sebbene non manchino elementi che ne suggeriscano un prossimo ulteriore sviluppo (Malorgio *et al.*, 2008).

I.3 PRINCIPALI APPLICAZIONI DELLE PLASTICHE AGRICOLE

I.3.1 Serre e grandi tunnel

Le serre e i grandi tunnel plastici rappresentano, ad oggi, una delle più diffuse forme di protezione delle colture, in grado di garantire condizioni ideali di crescita alle piante per l'ottenimento di produzioni valide sia dal punto di vista quantitativo che qualitativo. Questo scopo viene raggiunto andando ad agire sugli elementi che influenzano lo sviluppo dei vegetali come la luce, la temperatura, l'umidità relativa e la composizione dell'aria, che devono attestarsi su livelli il più possibile prossimi all'optimum. L'efficacia del controllo climatico rappresenta infatti un fattore essenziale sotto il profilo gestionale e, parlando di areazione, ombreggiamento, riscaldamento e raffreddamento, non si può non considerare come questi siano, quantomeno in parte, legati alla specifica configurazione della serra (Von Zabeltitz, 2001).

I numerosi modelli di serre presenti nel mondo possono essere suddivisi in due grandi gruppi, vale a dire quelli di tipo artigianale (realizzati con materiali e conoscenze locali) e quelli di tipo industriale, caratterizzati dalla maggior complessità, avanzati tecnologicamente e ad elevata meccanizzazione (López-Hernández e Pérez Parra, 2006). Altra suddivisione delle strutture delle serre, proposta da Von Zabeltitz (1999) si basa:

- sulle caratteristiche di fabbricazione: geometria, inclinazione della copertura e orientazione
- sui materiali di copertura impiegati: vetro, plastica rigida, plastica flessibile o combinazione di questi elementi
- sui materiali di costruzione: acciaio, alluminio, legno o combinazioni di essi

ma, requisito fondamentale che qualsiasi serra deve possedere, è l'affidabilità strutturale, ossia deve essere in grado di resistere ai differenti tipi di carico cui è sottoposta (Hoxey e Robertson, 1993) e che si distinguono in:

- carichi permanenti

- carichi dovuti ai venti (Hoxey e Richardson, 1984 ; Wells e Hoxey, 1980 ; Richardson e Westgate, 1986)
- carichi dovuti alla neve (Scarascia Mugnozza *et al.*, 2003a)
- carichi di gestione (es: peso delle colture a spalliera, ecc.)
- carichi di manutenzione e/o servizio
- carichi sismici

che possono portare, in casi estremi, al collasso della struttura. Da questo punto di vista le informazioni relative alla costruzione delle serre sono spesso derivate da regole empiriche, apprese nella maggior parte dei casi a seguito di danni causati dal vento o dalla neve, che non garantiscono, tuttavia, alcuno standard di sicurezza (Hoxey e Robertson, 1993). Per tale ragione sono stati approvati in passato specifici standard europei per la costruzione delle serre (Solieri, 2005) e sviluppati codici di natura pratica contenenti le indicazioni e i criteri per la corretta costruzione e produzione commerciale di serre e tunnel (Waijemberg *et al.*, 1998).

Un'ulteriore importante distinzione è quella tra serre progettate per climi freddi (ovvero per quei luoghi dove è stata concepita per la prima volta la serra) e, al contrario, strutture idonee ai climi più caldi, ossia mediterranei, tropicali secchi e tropicali umidi (Von Zabeltitz, 1988).

Sarebbe lungo e complesso fornire, in questo contesto, una descrizione dettagliata delle numerose e fortemente differenziate strutture di serre presenti nel mondo, strutture che in molti paesi sono strettamente legate alle tradizioni locali, facendo sì che in regioni climaticamente comparabili si rinvenissero tipologie di costruzioni anche molto diverse tra loro. Pertanto l'attenzione verrà posta unicamente sulle particolari caratteristiche delle serre adatte ad un clima mediterraneo, dove, oltre alla tradizionale necessità di innalzare le temperature durante i mesi più freddi, assume notevole importanza il controllo degli eccessi termici nel corso dei mesi estivi e delle ore più calde della giornata (Von Zabeltitz, 1992).

La maggior parte delle serre presenti al giorno d'oggi nei paesi a clima mediterraneo è a copertura plastica e, indipendentemente dai modelli considerati, che possono spaziare dalla costruzione più primitiva in legno fino alle strutture più elaborate, passando per i tunnel, devono tutte soddisfare particolari requisiti imposti dalle particolari condizioni climatiche in cui si trovano ad operare (Von Zabeltitz, 1988). Nello specifico, il design delle serre plastiche mediterranee deve seguire criteri dettati, da un lato, dai fabbisogni climatici delle colture, dall'altro dalla necessità di ridurre i consumi energetici. Riguardo al primo punto, i fabbisogni climatici delle colture allevate in ambiente mediterraneo possono essere così riassunti:

- temperature minime in inverno non inferiori agli 0°C, per evitare danni da gelo
- temperatura media giornaliera compresa tra i 12°C e i 22°C
- temperature massime non eccedenti i 35-40°C
- almeno 500-550 ore di soleggiamento nei mesi di novembre, dicembre e gennaio
- una soglia minima di 15°C per la temperatura del suolo
- un tasso di umidità relativa compreso tra il 70% e il 90% (Von Zabeltitz, 1992)
- una temperatura minima notturna di 15-18,5°C per le colture esigenti in fatto di calore, come pomodoro, peperone, melanzana e cetriolo (Verlodt, 1990).

Per quel che concerne invece la riduzione dei consumi energetici, è evidente come il limitare le perdite di calore all'interno dell'ambiente protetto permetta notevoli risparmi in termini di riscaldamento artificiale, portando ad una riduzione spesso sensibile dei costi di produzione. Perciò le serre destinate ai climi subtropicali (mediterranei) devono presentare le seguenti caratteristiche:

- ridurre al minimo le perdite termiche, anche nelle serre non sottoposte a riscaldamento artificiale, limitando il trasferimento di calore attraverso il materiale di copertura e le varie aperture. Questo comporta l'impiego di materiali di copertura opachi alla radiazione infrarossa ad elevata lunghezza d'onda, nonché il disporre di una struttura il più possibile ermetica
- garantire un'elevata trasmissione luminosa, che deve esser mantenuta nel tempo evitando fenomeni di condensa in piccole gocce sulla faccia interna del materiale di copertura e l'accumulo di polvere sulla faccia esterna dello stesso. Un'adeguata scelta del profilo del tetto può inoltre accrescere la luminosità dell'ambiente protetto
- prevedere dispositivi di rilevamento delle temperature notturne collegati a sistemi di riscaldamento, anche economici, alimentati a combustibili fossili oppure a energia solare e/o geotermica se disponibile
- assicurare un'areazione efficace. Il rapporto tra superficie delle aperture e superficie totale della serra al suolo dovrebbe essere intorno al 18-25%. Tali aperture devono tuttavia poter essere chiuse ermeticamente in caso di diminuzione delle temperature esterne
- un volume della serra quanto più elevato possibile

- se viene impiegato film plastico per la copertura, questo deve essere ben teso ed è inoltre necessario proteggerlo nei punti di contatto con gli elementi metallici della struttura, che, riscaldandosi, possono accelerarne la degradazione.
- installare grondaie per il recupero delle acque piovane da usare successivamente a scopi irrigui
- garantire una sufficiente resistenza al vento (Von Zabeltitz, 1992).

Le serre a navata multipla, dotate di grondaie e pareti verticali, soddisfano la maggior parte dei requisiti sopra elencati. In particolare, il loro ampio volume garantisce migliori condizioni climatiche alle piante sia di giorno che di notte, con una migliore areazione e un effetto bordo meno pronunciato. Inoltre il rapporto tra superficie utile e superficie è elevato, la densità d'impianto è maggiore, si ha un risparmio di film plastico e, predisponendo un tetto a profilo gotico, si può ridurre notevolmente il dannoso fenomeno legato al gocciolamento di condensa sulla coltura (Von Zabeltitz, 1988 e 1992).

Oltre alle tradizionali serre, un tipo di copertura largamente presente negli areali mediterranei è costituito dai tunnel plastici di 4-5 m di larghezza (Printz, 1995), che hanno riscosso notevole successo tra gli orticoltori principalmente per la loro semplicità di utilizzo ed il costo ridotto. Essi rappresentano, del resto, un ottimo compromesso tecnico ed economico, essendo più alti dei piccoli tunnel, ma senza tuttavia meritare l'appellativo di serre. L'altezza intorno ai 3 m, soprattutto se combinata con pareti verticali, permette infatti il passaggio di macchine agricole all'interno dell'apprestamento di protezione e garantisce, rispetto ai piccoli tunnel, migliori condizioni di lavoro per gli operatori. Inoltre, buona parte della struttura di sostegno, può essere facilmente installata dagli agricoltori stessi e, grazie alla facilità di smontaggio/montaggio, è possibile spostare il tunnel da un luogo all'altro anche nell'ambito di una singola stagione (Printz, 1995). Tuttavia le serre-tunnel semicircolari presentano anche alcuni svantaggi:

- insufficiente areazione (soprattutto se ci si limita ad areare per arrotolamento del film sui lati)
- nel caso di colture alte (es: pomodoro) il profilo arcuato delle pareti laterali impedisce l'impiego di una banda di circa 1 m di larghezza tra la parete e la prima linea di coltura

- le piante situate in prossimità delle aperture sulle pareti e delle porte possono manifestare una crescita rallentata a causa dell'ingresso di aria fredda durante la notte, della minor igrometria e della presenza di forti venti
- il volume dell'ambiente protetto è limitato
- la superficie utile rispetto alla superficie totale occupata dal tunnel è ridotta (Von Zabeltitz, 1988 e 1992).

I.3.2 Piccoli tunnel

I piccoli tunnel, insieme alla pacciamatura, rientrano tra le tecniche più tradizionali di forzatura delle colture. Grazie al loro basso peso e versatilità, i film flessibili (principalmente quelli in polietilene e i copolimeri etilenvinilacetato), una volta installati sugli archetti, costituiscono la soluzione ideale per creare una protezione semplice in grado di garantire un adeguato effetto serra durante le ore notturne (Papasett *et al.*, 1997).

L'impiego di piccoli tunnel ha come scopo principale quello di incrementare la precocità di maturazione e, quindi, ottenere un anticipo di produzione (Poll, 1990; Abak *et al.*, 1992; Buczkowska, 1992; Immirzi *et al.*, 1998). In funzione del tipo di polimero usato, essi offrono alla pianta un grado di protezione diverso nei riguardi del freddo, del vento, delle gelate e delle infestazioni da parte degli insetti. La necessità di ricorrere alla ventilazione dipende invece dal clima e dallo stadio di sviluppo della coltura. Nei climi caldi infatti, la tecnica prevede l'apertura, totale o parziale, dei tunnel durante il giorno. In alternativa è possibile fare ricorso a film plastici già perforati (Buriol *et al.*, 1993; Streck *et al.*, 1994; Montero *et al.*, 2002) o forare i film standard. La maggior ventilazione riduce i picchi di temperatura durante le ore più calde della giornata e limita l'umidità relativa dell'aria, riducendo i rischi di insorgenza di malattie (Ravinder e Srivastava, 1998a) ed evita il pericoloso fenomeno dell'inversione termica all'interno dell'ambiente protetto.

I piccoli tunnel oltre a determinare un anticipo di produzione sono in grado anche di migliorare la qualità del prodotto raccolto (Ravinder e Srivastava, 1998b; Immirzi *et al.*, 1998).

Nell'ottica di una maggior sostenibilità ambientale risulta, infine, di grande interesse l'impiego di film biodegradabili (Briassoulis, 2004 e 2007; Scarascia Mugnozza *et al.*,

2003b), al posto delle tradizionali plastiche, le quali, oltre a caratterizzarsi per l'elevato impatto sull'ambiente, presentano alti costi di smaltimento.

I.3.3 Coperture a piatto (Direct covers)

Le direct covers rappresentano il sistema più semplice di protezione delle colture (Foury, 2003). La loro particolarità consiste nel collocare del film plastico o del tessuto non-tessuto direttamente sopra la coltura, in modo tale che siano le piante stesse a sorreggere la copertura. Sono caratterizzate dal basso costo e dalla semplicità di utilizzo.

Gli effetti principali legati all'impiego delle direct covers possono essere così sintetizzati:

- incrementano la temperatura dell'aria e del suolo al di sotto di esse, creando un microclima più idoneo allo sviluppo delle ortive, soprattutto nel periodo immediatamente successivo all'impianto delle giovani piantine (Noda *et al.*, 1991; Kuo, 1996; Dimitrov e Tzekleev, 1998; Gimenez *et al.*, 2002).
- favoriscono l'accrescimento delle piante e portano ad un anticipo della produzione (Gül e Tüzel, 1992; Quesada *et al.*, 1992; Borošić *et al.*, 1994; Grudzien, 1994; Dimitrov e Tzekleev, 1998; Dan *et al.*, 2009).
- costituiscono una barriera fisica nei confronti della maggior parte degli insetti dannosi, riducendo in tal modo anche l'incidenza di virosi, in quanto impediscono che i vettori raggiungano la parte aerea delle piante (Pentangelo *et al.*, 1999).
- permettono, grazie alla porosità del tessuto non-tessuto o all'impiego di film plastico perforato, di effettuare l'irrigazione della coltura senza dover necessariamente stendere la manichetta sotto la copertura.

Oltre alla singola direct cover è possibile realizzare una copertura doppia che, sebbene garantisca condizioni termiche più favorevoli alle piante, può incorrere in problematiche legate ad un'eccessiva riduzione della trasmissione luminosa, con riflessi negativi sulla crescita e la produzione delle colture (Benoit e Ceustermans, 1990 a,b e c)

I.3.4 Pacciamatura

La pratica della pacciamatura consiste nel ricoprire il terreno circostante le radici della pianta con materiali organici o inorganici, operazione questa che consente di ottenere diversi vantaggi: la riduzione dell'evaporazione dell'acqua dal suolo e, conseguentemente, dei consumi idrici (Lamont, 1993), il controllo dello sviluppo delle erbe infestanti (Minuto *et al.*, 2002a e 2002 b), la minor formazione di crosta superficiale, la riduzione dei fenomeni erosivi, una minor incidenza delle malattie, la maggior pulizia di piante e frutti ecc.

A seconda del materiale impiegato si può infatti ottenere un diverso effetto sulla temperatura e umidità del suolo (Taber, 1993; Maiero *et al.*, 1987; Tsekleev *et al.*, 1992; Carnell, 1996; Quezada-Martín *et al.*, 2004), sulla disponibilità di elementi nutritivi per la coltura (Munguia-López *et al.*, 1997; Velásquez e Jiménez, 1997), la distribuzione delle radici delle piante (Díaz e Lira, 1988), sulla struttura fisica e chimica del terreno, sulla velocità di germinazione dei semi e, infine, sulle rese precoci e totali delle colture oltre che sulla qualità della produzione (Kromer, 1982; Wien e Minotti, 1987; Bellha, 1988; Conway *et al.*, 1989; Abak *et al.*, 1990; Bleyaert, 1991; Tüzel e Gül, 1991; Eltez e Tüzel, 1994).

Per la pacciamatura del terreno con materiali plastici si fa attualmente ricorso a film che si differenziano sia nello spessore che nel colore, in dipendenza del tipo di coltura a cui sono destinati, della regione in cui si trovano ad operare e dello scopo per cui vengono impiegati. Infatti ogni tipologia di film plastico possiede particolari caratteristiche in grado di influenzare in maniera specifica le diverse colture, in quanto le piante possono essere, ad esempio, più o meno sensibili alla quantità, qualità e direzione della luce, che utilizzano come indicatore per ottimizzare la loro crescita e sviluppo in un determinato contesto ambientale.

Inoltre la luce, come noto, gioca un ruolo fondamentale nel processo fotosintetico, come del resto nella regolazione di processi fotomorfogenetici, fotoperiodici e fototropici (Quail *et al.*, 1995; Rajapakse *et al.*, 1999). Sfruttando la diversa risposta dei vegetali al variare delle condizioni di luce e l'influenza che questa ha sui cicli biologici di alcuni organismi ospiti delle colture, sono stati studiati e proposti film che presentano caratteristiche ottiche cosiddette "funzionali", ossia manufatti che, oltre a evidenziare i normali vantaggi legati alla pratica della pacciamatura prima sottolineati, si caratterizzano per i particolari effetti che esercitano sulla pianta coltivata e sugli organismi ospiti della stessa. Ne sono esempio i materiali plastici bianchi, variamente alluminati e colorati, in grado di riflettere la luce e,

eventualmente, alterarne lo spettro naturale. Essi rappresentano un'alternativa ai classici film neri e fumé, e, tra i numerosi effetti positivi che svolgono è possibile ricordare:

- un incremento dell'intensità luminosa per riflessione, che permette alla pagina inferiore delle foglie di ricevere una maggior quantità di luce e, nel caso soprattutto di colture arboree da frutto, di migliorare la colorazione dei frutti (Yi, 1991; Andris e Crisosto, 1996; Andris *et al.*, 1997)
- una riduzione degli eccessi termici nel suolo durante i mesi estivi nei paesi a clima caldo (Carnell, 1996)
- un'azione repulsiva nei confronti di afidi, aleurodidi e altri insetti dannosi, spesso vettori di virus (Smith e Webb, 1969; Wolfenbarger e Moore, 1979; Schalck *et al.*, 1979; Brown *et al.*, 1993 e 1996; Smith *et al.*, 2000). In particolare i film plastici alluminati hanno dimostrato, in numerose prove sperimentali, la loro efficacia nel controllare le popolazioni di fitofagi su varie colture orticole (Brown *et al.*, 1993 e 1996; Csizinszky *et al.*, 1995 e 1998; Boyhan e Brown, 1998, Magnani *et al.*, 2003).

Oltre ai film con caratteristiche funzionali, l'altra importante novità nel campo dei materiali plastici per la pacciamatura del terreno è rappresentata dai film biodegradabili (Magnani *et al.*, 2005), che rappresentano un'alternativa ecosostenibile al polimero maggiormente impiegato oggi per tale fine, ossia il polietilene a bassa densità (LDPE), caratterizzato da ottime proprietà meccaniche e termo-ottiche, oltre che dal basso costo, ma altresì da elevati costi di smaltimento e da un notevole impatto ambientale.

La continua espansione a livello mondiale delle superfici pacciamate con plastiche, in particolare in paesi in via di sviluppo come Cina e India (Scarascia Mugnozza e Dal Sasso, 2007), ha quindi portato alla necessità di introdurre in ambito agricolo materiali innovativi che possano essere smaltiti direttamente in campo, tramite interrimento, o attraverso il compostaggio (Bastioli, 1998; Lörcks, 1998; Manera *et al.*, 1999; Candura *et al.*, 1999; Halley *et al.*, 2001; Malinconico *et al.*, 2002; Scarascia Mugnozza *et al.*, 2003; Gasper *et al.*, 2005). La durata dei film plastici impiegati in agricoltura può variare, in funzione dello spessore e della presenza di additivi stabilizzanti nella formulazione, da pochi mesi ai 3-5 anni delle coperture delle serre, con un'ulteriore influenza esercitata da fattori come la temperatura, l'umidità relativa dell'aria, l'azione negativa legata all'azione di forti venti e l'impiego di agrochimici per la difesa delle colture, i cui residui possono sensibilmente

accorciare la durata della plastica. Una volta giunti al termine della loro vita utile i manufatti devono essere smaltiti e riciclati in conformità con la normativa vigente. Sono tuttavia ancora largamente diffuse forme di smaltimento illegali, quali l'abbandono in discariche abusive, nei corsi d'acqua o la pericolosa pratica di bruciare le plastiche in modo incontrollato, che comporta un elevato rischio di rilascio di sostanze nocive nel suolo e nell'aria (Scarascia Mugnozza *et al.*, 1999; Scarascia Mugnozza e Dal Sasso, 2007).

I materiali plastici impiegati per la pacciamatura del terreno creano inoltre maggiori problemi di smaltimento rispetto a quelli utilizzati per la copertura delle serre, in quanto rimangono in campo generalmente per una sola stagione, necessitando pertanto di un turnover maggiore rispetto ai 3-4 anni delle coperture stesse, e, in secondo luogo, il terreno e altri residui solidi tendono a restarvi attaccati creando maggiori difficoltà per il riciclaggio (Scarascia Mugnozza e Dal Sasso, 2007). Si è dunque cercato, nel corso degli anni, di rispondere a questa problematica (Le Moine, 2003), orientando la ricerca, in un primo momento, verso la messa a punto di materiali "biodegradabili" realizzati aggiungendo al polimero di sintesi alcune sostanze organiche (ad esempio amido) che i microrganismi tellurici potevano demolire; successivamente sono stati proposti i cosiddetti materiali "fotodegradabili" (Sánchez Valdés *et al.*, 1995; Quezada-Martin *et al.*, 1997), nei quali la degradazione veniva innescata dalla radiazione solare, cosicché la durata del film veniva predeterminata, a seconda delle caratteristiche climatiche dell'ambiente di applicazione, in base alla più o meno rapida demolizione delle catene del polimero stesso. Questo effetto si poteva ottenere principalmente in due modi: inserendo dei gruppi fotosensibili sulla catena del polimero, durante o dopo la polimerizzazione, oppure aggiungendo al polimero piccole dosi di speciali additivi, rappresentati da complessi organometallici come acetilchetoni, ditiocarbammati e chelati dei metalli di transizione. In particolare, applicando formulazioni appropriate a base di additivi fotodegradabili combinati con stabilizzanti U.V. o nero di carbone era possibile produrre film trasparenti o neri a durata programmata (Sánchez Valdés *et al.*, 1995). Tuttavia, i risultati ottenuti con i primi film "biodegradabili" e con i fotodegradabili apparvero insoddisfacenti, in quanto tali manufatti non assicuravano, il più delle volte, la loro funzionalità per l'intero tempo richiesto dall'ordinamento colturale, mentre la totale degradazione del film era di fatto aleatoria, per cui i residui rimanevano in parte nel terreno.

Sono stati inoltre proposti materiali "biodegradabili" di origine organica (o riproposti, poiché si trattava di materiali impiegati ai primordi della pacciamatura), quali carta, fibre vegetali di vario genere ecc. con i quali l'industria ha prodotto fogli o altri manufatti che, in diverse

prove agronomiche, sono stati messi a confronto con film tradizionali o con polimeri comunque degradabili (Boldrin, 1989; Davies *et al.*, 1993; Weber, 2000; Mazollier, 2001; Olsen e Gounder, 2001; Vidril, 2001; Brault *et al.*, 2002).

In tempi più recenti sono stati messi a punto numerosi polimeri la cui degradazione avviene nella totalità, polimeri con i quali si possono ottenere film che, di fronte alle richieste agronomiche, presentano tuttavia una diversa rispondenza, in relazione alla loro natura, che influenza ovviamente la degradazione (Mazollier, 2001). Questi nuovi materiali possono derivare da: polimeri naturali non modificati (amido, collagene, ecc.), polimeri naturali modificati (cellulosa, acetati di amido, ecc.), polimeri sintetici ottenuti da monomeri petrolchimici (poliesterammidi, ecc.), polimeri a catena C-C (polivinilalcol, ecc.) e polimeri composti ottenuti da polimeri naturali o sintetici (Scarascia Mugnozza e Dal Sasso, 2007). Comunque sia, per definizione, si intendono materiali biodegradabili quei materiali che subiscono una degradazione biologica soprattutto ad opera di enzimi secreti da microrganismi quali batteri, funghi e alghe. Durante tale processo si ha la trasformazione del composto organico in anidride carbonica (o metano), acqua e biomassa, senza la formazione di composti in qualche modo tossici o comunque nocivi all'ambiente (Flechaire, 1991; Bastioli *et al.*, 1993 e 1999; Bastioli, 1997).

L'impiego di materiali biodegradabili permette una considerevole riduzione dell'inquinamento ambientale e una gestione aziendale sicuramente più sostenibile, considerando il fatto che si fa ricorso a risorse rinnovabili. Alcuni dei materiali oggi in commercio, come ricordato in precedenza, sono ottenuti a partire da amido di mais, riso o patata. Gli amidi vengono largamente impiegati in ragione del loro basso costo e della facile reperibilità, oltre che per l'elevata capacità di subire degradazione biologica. Ciononostante il mercato dei film biodegradabili per la pacciamatura del terreno rimane ancora sostanzialmente di nicchia e sono pertanto necessari ulteriori sforzi in campo scientifico, tecnologico e industriale per allargarne la diffusione (Scarascia Mugnozza e Dal Sasso, 2007). Tra i materiali biodegradabili per la pacciamatura più interessanti vi è senza dubbio il Mater-Bi[®], un materiale termoplastico a base di amido prodotto dalla Società Novamont, inizialmente progettato per uso quale shopper e successivamente rielaborato e formulato per applicazioni agricole (Malinconico, 2005). Film preparati con tale polimero sono stati oggetto di numerose sperimentazioni, sia in serra che in pieno campo (Caruso, 1997; Manera *et al.*, 1999; Miccolis, 2000; Sciortino, 2001; Minuto *et al.*, 2002a e 2002b; Gatta *et al.*, 2002; Candido *et al.*, 2003; Pasotti e Bolognesi, 2004; Magnani *et al.*, 2005; Moreno *et al.*, 2006;

Remotti e De Vecchi, 2006; Moreno e Moreno, 2008; Martin-Closas *et al.*, 2008; Ngouajo *et al.*, 2008), in cui sono stati confrontati con altri materiali plastici biodegradabili o con i tradizionali manufatti in LDPE, e, nella maggior parte dei casi, hanno fornito risultati produttivi equiparabili o addirittura superiori a questi ultimi (Magnani *et al.*, 2005; Filippi *et al.*, 2009; Cozzolino *et al.*, 2010a, 2010b, 2011a e 2011b).

Un'alternativa ai film plastici biodegradabili per la pacciamatura del suolo è rappresentata dalle pacciamature spray, in grado di formare una geo-membrana che copre il terreno. Queste sostanze vengono ottenute sia da polimeri naturali di origine terrestre, come la gomma arabica (Guar gum o Locust Bean Gum) sia di origine marina, come l'Agarosio e l'Alginato di Sodio (Avella *et al.*, 2007; Mormile *et al.*, 2007; Malinconico *et al.*, 2007). Sono state condotte sperimentazioni su questo particolare tipo di pacciamatura, le quali hanno evidenziato performances comparabili a quelle dei film plastici comunemente utilizzati (Schettini *et al.*, 2008). Tuttavia sono necessarie ulteriori ricerche per migliorare alcune proprietà di questi composti, come ad esempio la durata nel tempo (Immirzi *et al.*, 2008).

I.3.5 Solarizzazione

In terreni soggetti a coltivazioni intensive, e, soprattutto, in quelli impiegati per le colture protette, il susseguirsi dei cicli colturali porta ad un accumulo di parassiti vegetali e animali che possono danneggiare in maniera rilevante le coltivazioni, riducendone le rese e pregiudicando la qualità del prodotto.

La disinfestazione del terreno coperto dalle serre è praticata, tradizionalmente, con metodi fisici (principalmente vapore surriscaldato) e chimici, tra i quali in passato trovava largo impiego il bromuro di metile, fumigante incluso dal Protocollo di Montreal tra le sostanze responsabili dell'assottigliamento della fascia di ozono stratosferico e del quale è stato perciò vietato l'utilizzo a partire dal 1 gennaio 2005, eccetto laddove siano presenti casi critici.

La messa al bando del bromuro di metile ha suscitato negli agricoltori l'attenzione verso la ricerca e la sperimentazione di sistemi di disinfezione alternativi dei terreni agrari, caratterizzati da un impatto ambientale ridotto, o, possibilmente, nullo (Minuto e Gullino, 1999).

Le possibili alternative all'impiego del bromuro di metile sono rappresentate da metodi chimici che utilizzano altri principi attivi, al metodo biologico e biochimico, all'uso del

vapore surriscaldato, all'impiego di piante ad azione biocida appartenenti alla famiglia delle Brassicacee (Gamliel e Stapleton, 1997; Lazzeri e Manici, 2001) e alla pratica della solarizzazione. Quest'ultima è un metodo fisico di sterilizzazione parziale del terreno che consiste nel ricoprire lo stesso con film plastici trasparenti o fotoselettivi, generalmente nel periodo estivo, dopo averlo bagnato fino a portarlo alla capacità idrica di campo. L'utilizzo dei film trasparenti determina un effetto serra in grado di incrementare notevolmente la temperatura dello strato più superficiale del suolo agrario, limitando le dispersioni di calore per convezione, irraggiamento ed evaporazione. Il calore accumulato in superficie viene poi trasmesso agli strati sottostanti in relazione alla diffusività del terreno, che dipende dal suo contenuto idrico e dalla sua composizione fisica.

La solarizzazione fu messa a punto e introdotta per la prima volta da Katan *et al.* (1976) e, nei climi temperati, viene adottata nei mesi più caldi, caratterizzati da un maggior irraggiamento, per poter raggiungere la soglia termica efficace, variabile dai 38 ai 43,5°C (Stapleton *et al.*, 1993). L'efficacia di questo mezzo di lotta varia infatti in relazione all'entità degli innalzamenti di temperatura nel terreno, alla loro durata, alla profondità fino alla quale tali incrementi termici sono rilevanti, alla sensibilità termica dei patogeni, alla profondità a cui questi ultimi si trovano e ai livelli della carica di inoculo presenti nel suolo (Katan *et al.*, 1976; Katan, 1981; Pullman *et al.*, 1981; Bollen, 1985; Katan e De Vay, 1991; Noto, 1994; Katan, 1999). Inoltre influiscono in maniera determinante sui regimi termici del terreno sottoposto a solarizzazione: le condizioni climatiche della zona, le proprietà fisiche e il grado di umidità del terreno, le caratteristiche spettroradiometriche dei materiali di copertura (sia della serra che del suolo) e la geometria della serra stessa (Katan e De Vay, 1991; Cascone *et al.*, 1999; Cascone *et al.*, 2001a). Le temperature che si raggiungono con la solarizzazione devono essere sufficientemente alte da provocare un'elevata riduzione dell'inoculo (Katan e De Vay, 1991) senza creare nel contempo il vuoto biologico, ma piuttosto stimolare l'attività dei microrganismi antagonisti. Se non vengono raggiunti livelli termici sufficientemente elevati per periodi abbastanza lunghi la tecnica può non risultare pienamente efficace (Pullman *et al.*, 1981), ragione per la quale sono state proposte, nel corso degli anni, varie soluzioni volte ad aumentarne le capacità biocide, come l'utilizzo di nuovi film plastici ad elevato effetto serra (Cascone *et al.*, 2000; Cascone *et al.*, 2001a; Prinzivalli *et al.*, 2001; D'Emilio, 2006), oppure l'associazione con la biofumigazione, che, apportando dosi massicce di ammendanti organici in grado di liberare ammoniaca, inibisce lo sviluppo di patogeni fungini e nematodi (La Casa *et al.*, 1999). La rotazione delle colture, la scelta di varietà

resistenti e la tecnica dell'innesto possono inoltre rientrare in sistemi di produzione integrata che fanno ricorso anche all'azione biocida della solarizzazione (Bello *et al.*, 1998).

La capacità della solarizzazione di controllare lo sviluppo dei patogeni fungini e dei nematodi è stata dimostrata in numerose prove sperimentali condotte su colture orticole (Katan *et al.*, 1980; Pullman *et al.*, 1981; Osman e Saheb, 1983; Pullman *et al.*, 1984; Materazzi *et al.*, 1987; Silveira *et al.*, 1990; Kline *et al.*, 1999; Cascone *et al.*, 2001b; D'Anna, 2003; Polizzi *et al.*, 2004; Cascone *et al.*, 2004) e nei vivai per la produzione di piantine destinate al trapianto (Patel *et al.*, 1990; Patel *et al.*, 1991).

Al fine di rendere maggiormente sostenibile l'applicazione della tecnica sono stati valutati film biodegradabili in sostituzione dei tradizionali manufatti, che comportano, tra l'altro, elevati costi di smaltimento. Dai risultati ottenuti emerge l'importante contributo che questi film possono fornire alla pratica della solarizzazione dei terreni agrari, in virtù soprattutto della loro maggior compatibilità ambientale (Russo *et al.*, 2004).

Oltre ai sopra descritti effetti inibenti lo sviluppo dei patogeni, la solarizzazione è in grado di influenzare anche la concentrazione di elementi nutritivi nel terreno, così come il movimento e la distribuzione dei sali lungo il profilo dello stesso (Chen e Katan, 1980; Stapleton e De Vay, 1982; Stapleton *et al.*, 1985; Al Kayssi *et al.*, 1989; Kaewruang *et al.*, 1989b) apportando modifiche alla temperatura e alle proprietà fisico-chimiche del suolo agrario (Chen e Katan, 1980, Katan, 1981; Stapleton *et al.*, 1985; Abdel Rahim *et al.*, 1988; Kaewruang *et al.*, 1989b; Mass e Kotze, 1990).

I.3.6 Insilamento dei foraggi

L'insilamento dei foraggi può essere definito come “la conservazione di foraggio fresco, o appassito, o allo stato ceroso, attraverso un processo fermentativo anaerobico capace di preservare le qualità nutritive del materiale di partenza”. Le motivazioni che spingono verso la pratica dell'insilamento possono essere così sintetizzate:

- la conservazione di foraggi non affienabili
- l'affrancamento dalle condizioni atmosferiche avverse
- la possibilità di introdurre specie non facilmente affienabili

- il contenimento delle perdite di foraggio e di valore nutritivo rispetto alla fienagione tradizionale
- facilitare la meccanizzazione integrale della raccolta e della distribuzione dei foraggi

L'insilamento può avvenire in silos a trincea, in silos a torre, in rotoballe, in balle prismatiche giganti o in contenitori tubolari orizzontali.

I materiali plastici trovano ad oggi largo impiego nelle comuni pratiche di insilamento dei foraggi. Ai film destinati alla copertura dei silos, in particolare, si richiedono eccellenti proprietà fisico-meccaniche (soprattutto in termini di resistenza alla lacerazione e alla perforazione), un'elevata resistenza all'invecchiamento e un forte potere riflettente della luce solare, tale da garantire un adeguato controllo della temperatura della massa coperta. La temperatura infatti incide in maniera determinante sulla riuscita di un buon insilato, in quanto deve favorire la fermentazione lattica, essenziale per la conservazione del foraggio, evitando nel contempo quella butirrica, responsabile del deterioramento della massa fino alla marcescenza. I foraggi insilati sono del resto molto suscettibili al deterioramento aerobico, specialmente negli strati più superficiali dei silos orizzontali (Ashbell e Lisker, 1988; Borreani *et al.*, 2007). Il tipo di film plastico impiegato, in ragione soprattutto della maggiore o minore permeabilità all'ossigeno, è quindi in grado di influenzare positivamente o negativamente l'andamento del processo di insilamento (Amaral *et al.*, 2010; Bernardes *et al.*, 2010), così come un ruolo importante nel determinare la qualità del prodotto finale, secondo alcuni autori, deve essere attribuito al colore e allo spessore del film stesso (Daponte, 1992; Mosch, 1998; Snell e Oberndorfer, 2001; Snell *et al.*, 2002; Snell *et al.*, 2003).

Oltre all'insilamento in silos, riveste notevole importanza quello in rotoballe (Höhn E., 1989; Balsari, 1990; Gaillard, 1990a; Besozzi e Pignedoli, 1996; Borreani e Tabacco, 2001; Bisaglia *et al.*, 2003). I film plastici destinati ad avvolgere le rotoballe devono anch'essi presentare un'elevata impermeabilità ai gas (in modo da evitare l'innescarsi delle dannose fermentazioni butirriche ed acetiche), avere un'ottima resistenza meccanica sia longitudinale che trasversale, aderire il più possibile al prodotto imballato (in maniera tale da consentire un incollaggio efficace) e proteggere il prodotto dall'azione dei raggi ultravioletti. E' comunque necessario seguire alcune regole basilari nelle operazioni di fasciatura affinché quest'ultima venga condotta nel modo più appropriato: non fasciare balle malformate o con densità insufficiente (poiché contengono troppa aria), fasciare entro 1-3 ore al massimo, non fasciare se piove (in quanto l'acqua ostacola l'adesione del film al foraggio), regolare il centraggio del film

rispetto all'asse orizzontale della balla, regolare la tensione del film stesso e, infine, trasportare con prudenza le balle evitando la rottura della plastica.

L'impiego di film plastico rappresenta un'ottima alternativa alle reti per la fasciatura delle rotoballe (Bisaglia *et al.*, 2008 e 2011). La tecnica per se stessa (Baevre, 1990), così come il tipo di plastica utilizzato, può influenzare la qualità del prodotto finale (Gaillard, 1990b; Lingvall *et al.*, 1990; O'Kiely *et al.*, 2000; Borreani e Tabacco, 2010).

Infine, l'insilamento in contenitori tubolari orizzontali di film plastico rappresenta un'ulteriore alternativa ai silos, alle balle prismatiche e alle rotoballe (Steinhöfel, 2003).

I.3.7 Altre applicazioni

Oltre alle applicazioni citate in precedenza, le plastiche trovano numerosi altri impieghi in ambito agricolo e agro-alimentare. Tra questi possono essere ricordati: le colture fuori suolo, i tubi e le manichette per l'irrigazione, l'impermeabilizzazione delle riserve idriche (Verschoor, 1993), geomembrane per la piscicoltura (Lakshama Rao *et al.*, 1990), maglie, reti e schermi antinsetto (Ahn *et al.*, 1994; Avilla *et al.*, 1994; Montero *et al.*, 1999; Giordano *et al.*, 2003; Medany *et al.*, 2009), reti per la protezione delle colture dagli agenti atmosferici, reti antigrandine, reti frangivento, reti per la protezione dagli uccelli, reti ombreggianti ecc. (Castellano e Russo, 2005; Castellano *et al.*, 2007), tendoni per vigneti (Vox, 1999), maglie anti radici, schermi termici (Mougou *et al.*, 1989; Plaisier, 1991), reti e pali di sostegno delle colture, coperture di tetti e recinti per il bestiame, spaghi agricoli, contenitori per prodotti fitosanitari, sacchi per i fertilizzanti, vasi e vasetti di varia forma e dimensione, cassette, recipienti, imballaggi usati durante la raccolta, il trasporto e la presentazione sul mercato di frutti, ortaggi ecc.

Il packaging rappresenta, in particolare, il principale campo di applicazione delle materie plastiche di largo consumo e costituisce il più grande esempio di protezione contro gli inquinanti chimici e biologici (Galli, 1998).

I.4 PRINCIPALI MATERIALI PLASTICI DI COPERTURA

I.4.1 Polietilene (PE)

Si tratta di un prodotto di polimerizzazione dell'etilene. E' una resina polimerica di formula $(CH_2-CH_2)_n$ termoplastica. E' chimicamente inerte e possiede una resistenza chimica molto elevata: non viene attaccato né da alcoli né da acidi non ossidanti. Inoltre è termicamente stabile: resiste a pirolisi fino a temperature intorno ai 300-350°C. Non è però resistente all'ossidazione dovuta all'esposizione all'aria, soprattutto in presenza di radiazioni ionizzanti, né al contatto con composti antiossidanti (AA.VV., 2005). Nei film ad uso agricolo per ovviare al problema della loro precoce degradazione (Dilara e Briassoulis, 2000; Briassoulis *et al.*, 2004) si fa perciò ricorso a specifici additivi, aggiunti in varie percentuali e formulazioni, che consentono di ottenere manufatti di durata superiore a quella stagionale, attualmente fino a 4-5 anni e oltre (Mladenov *et al.*, 1988; Printz, 1992; Lelli e Gugumus, 1996; Ashkenazy, 1997; Magnani e Bonora, 2000; Lima *et al.*, 2006).

Preparato per la prima volta nel 1898 da Van Pechmann per decomposizione del diazometano, il polietilene cominciò ad essere prodotto su larga scala con il processo di polimerizzazione ad alta pressione negli anni Trenta e poi durante la seconda guerra mondiale per attrezzature belliche. Nel 1953-1954 vennero scoperti i tre sistemi catalitici per ottenere polietilene lineare ad alta densità: Ziegler, Phillips, Amoco. Negli anni Sessanta furono messi a punto vari metodi per produrre i diversi copolimeri noti. Il primo processo di produzione (processo ICI) è stato realizzato in Inghilterra e con esso si ottenne il polietilene a bassa densità (LDPE). In seguito sono stati perfezionati processi a bassa pressione impieganti catalizzatori solidi a base di ossidi metallici (processi Phillips e Standard) e, più tardi, i catalizzatori Ziegler a base di derivati del titanio e di alluminio alchili. Con questi ultimi processi si ottiene un polietilene non ramificato, il polietilene ad alta densità (HDPE), che presenta caratteristiche meccaniche e di rigidità maggiori del LDPE. E' stato inoltre realizzato un tipo di polietilene con struttura sostanzialmente simile a quella dell'HDPE, ma avente un numero sufficiente di ramificazioni che impediscono al polimero di cristallizzare facilmente come l'HDPE, cosicché la densità risulta più bassa (simile a quella dell'LDPE). Denominato polietilene a bassa densità lineare (LLDPE), viene prodotto generalmente con l'impiego di catalizzatori (di solito di tipo Ziegler) con processi a bassa o alta pressione, aggiungendo all'etilene da polimerizzare un' α -

olefina come l'1-butene. Grazie alla sua struttura, l'LLDPE può essere impiegato nella fabbricazione di pellicole più resistenti in sostituzione dell'LDPE o per ottenere oggetti più flessibili al posto dell'HDPE (AA.VV., 2005). Nel settore agricolo il polietilene a bassa densità lineare (LLDPE) viene impiegato in miscela con l'LDPE (solitamente 70% LDPE – 30% LLDPE) con lo scopo di migliorare le caratteristiche meccaniche dei film plastici, che possono così essere estrusi in spessori più ridotti (Magnani, 1993; Sánchez-López *et al.*, 1994).

Il polietilene viene oggi largamente utilizzato per la produzione di pellicole da imballaggio, rivestimenti, isolamento di cavi elettrici, recipienti, tubazioni ecc. Quello a bassa densità (LDPE) viene trasformato prevalentemente in film o fogli con tecnologie di estrusione, mentre l'HDPE viene trasformato in oggetti finiti con tecnologie di estrusione – soffiaggio (corpi cavi e in particolare bottiglie) e tramite stampaggio ad iniezione (AA.VV., 2005).

In ambito agricolo l'impiego del polietilene è estremamente diffuso, per la copertura di serre e tunnel (sia grandi che piccoli), pacciamatura del terreno, reti varie, colture idroponiche, frangivento, irrigazione e drenaggio, conservazione dei foraggi, cisterne, vasi, sacchi per fertilizzanti ecc. (Jouët, 2001; Pacini, 2004; Siviero, 2008). Rappresenta attualmente il polimero più utilizzato in Europa per la preparazione di laminati flessibili di copertura, grazie al basso costo e alle ottime proprietà fisico-meccaniche (soprattutto resistenza e indeformabilità), nel range di temperature compreso tra -30°C e +50°C. E' molto leggero (densità 0,91 – 0,92 g/cm³) e caratterizzato da una soddisfacente inerzia chimica nei confronti di fitofarmaci e fertilizzanti comunemente impiegati nelle serre. I laminati più utilizzati hanno uno spessore compreso tra 0,10 e 0,18 mm, ma esistono film di spessore maggiore (fino ad un massimo di 0,25 mm) adatti per specifiche esigenze. Il polietilene è caratterizzato, come ricordato in precedenza, da una notevole sensibilità all'azione delle radiazioni ultraviolette, responsabili della rottura dei legami chimici del polimero (processo fotodegradativo), che lo rendono più suscettibile all'azione dell'ossigeno (processo termoossidativo), con conseguente riduzione della vita utile del film. L'aggiunta di additivi stabilizzanti alla luce permette, al riguardo, di ottenere manufatti di durata maggiore, ovvero 2-3 anni ed oltre.

Altra caratteristica negativa del polietilene è l'eccessiva trasparenza alle radiazioni infrarosse ad elevata lunghezza d'onda emesse dal terreno durante la notte. Ciò fa sì che i film realizzati unicamente con questo polimero non trattengano il calore all'interno della serra proprio nel momento in cui le temperature sono più rigide e il rischio di danni da gelo alle colture è maggiore. E' tuttavia possibile rendere “termici” i materiali di copertura in LDPE

aggiungendo specifiche cariche minerali (Hancock, 1988) oppure una certa percentuale di acetato di vinile (Espí *et al.*, 2004). Inoltre si può incrementare la termicità ricorrendo al processo tecnologico della “coestruzione”, per la realizzazione di film multistrato in cui si alternano strati di LDPE con altri polimeri caratterizzati da un maggior effetto barriera alla radiazione IR lunga (Magnani e Oggiano, 1990; Ferraresi *et al.*, 2010; Filippi *et al.*, 2010; Magnani *et al.*, 2011).

Il polietilene, infine, è uno dei polimeri idrocarburici più impermeabili al vapor d’acqua e, a causa della sua elevata tensione superficiale, risulta estremamente idrorepellente. Questo favorisce la formazione di piccole gocce di condensa sulla faccia interna del film, con conseguente riduzione più o meno marcata della trasmittanza alla PAR (Fähnrich *et al.*, 1989; Toneatti, 1989; Pieters, 1996) e l’instaurarsi del dannoso fenomeno dello stillicidio di acqua di condensa sulle piante, che incrementa l’incidenza di malattie fungine. Per ovviare al problema si aggiungono al polimero particolari composti chimici durante la realizzazione del manufatto, in modo tale da conferire al film caratteristiche “antigoccia”. Una volta in opera, questo presenta una certa bagnabilità, per cui le minute gocce di condensa formati all’interno della copertura scivolano lungo la superficie e si uniscono andando a formare un film continuo d’acqua, che determina un incremento della trasparenza alle radiazioni visibili e IR corte e medie, da cui derivano indubbi vantaggi per la coltivazione, soprattutto in condizioni ambientali di ridotta intensità luminosa.

I.4.2 Copolimeri etilene – acetato di vinile (EVA)

Nonostante il polietilene a bassa densità sia il materiale tradizionalmente più utilizzato per la fabbricazione di film plastici flessibili per la copertura di serre e tunnel, in anni recenti esso è stato in parte rimpiazzato dai copolimeri di etilenvinilacetato (EVA), ottenuti per polimerizzazione dell’etilene con il comonomero acetato di vinile (VA). La struttura chimica di questi composti si differenzia da quella del polietilene proprio per la presenza del gruppo acetato di vinile (VA), che comporta vantaggi rispetto all’LDPE legati principalmente a due caratteristiche intrinseche: la maggior polarità e la minor cristallinità. La prima determina una maggior compatibilità con gran parte degli additivi organici comunemente impiegati nella fabbricazione dei film, migliorando in tal modo la dispersione dell’additivo nella matrice polimerica, con conseguente migrazione più lenta ed un effetto più duraturo dell’additivo

stesso. Invece il carattere più amorfo, meno cristallino, migliora la trasmissione della luce visibile, riduce la torbidità e influisce positivamente su alcune proprietà meccaniche come la resistenza all'urto e alla lacerazione (Espí *et al.*, 2004).

I film di EVA possono essere preparati, come nel caso del polietilene, diversificandone lo spessore e la durata (tramite l'aggiunta di stabilizzanti), ed eventualmente è possibile conferire loro caratteristiche "antigoccia" (Magnani, 1993). Rispetto al polietilene risultano più flessibili e presentano in linea generale migliori proprietà meccaniche. Nello specifico si caratterizzano per la buona resistenza e flessibilità, per l'elevata trasmissione della luce nel campo del visibile (sono infatti molto trasparenti, soprattutto in presenza di un alto contenuto di acetato di vinile nel polimero) e, a partire da una certa percentuale di VA, diventano termici senza la necessità di aggiungere al polimero stesso additivi che blocchino la radiazione IR lunga (López, 2003).

I film in EVA vengono prodotti in monostrato o in pluristrato (mediante il processo di coestrusione). In entrambi i casi è possibile aggiungere cariche minerali al polimero per aumentarne la termicità. Le proprietà di tali manufatti dipendono, in misura rilevante, dal contenuto percentuale di acetato di vinile, che può oscillare, nei film estrusi in monostrato, tra l'11% e il 18% (limite massimo per un corretto processo di fabbricazione). Per essere impiegati su grandi apprestamenti di protezione il tasso di VA non deve superare il 15%, altrimenti possono non essere assicurate sufficienti caratteristiche meccaniche al film. Infatti, aumentando la percentuale del monomero crescono l'impermeabilità alle radiazioni infrarosse lunghe, la trasparenza nel visibile e la resistenza sia alla rottura sia alla perforazione, ma, di contro, il film tende a diventare più elastico e più sensibile ai fenomeni di dilatazione per effetto della temperatura, con conseguente rischio di deformazione permanente qualora la copertura si trovi sottoposta a sollecitazioni da parte degli agenti atmosferici, soprattutto il vento e la neve (Magnani, 1993). La presenza di acetato di vinile comporta inoltre ulteriori inconvenienti: la maggior aderenza della polvere presente nell'aria (tanto più elevata quanto più alta è la percentuale di VA) e la tendenza ad attaccarsi su se stesso del film, aspetto che può creare problemi in fase di installazione (López, 2003).

L'EVA trova ad oggi applicazione principalmente come materiale per la copertura di serre e di grandi e piccoli tunnel. Altri campi di impiego sono la pacciamatura, le reti, le colture idroponiche, la protezione dei silos, l'irrigazione e drenaggio, oltre all'impermeabilizzazione delle riserve idriche (Jouët, 2001; Pacini, 2004; Siviero, 2008).

I.4.3 Cloruro di polivinile (PVC)

Il PVC (conosciuto fin dal 1872 ma prodotto su scala industriale solo dal 1930-1940) si ottiene per polimerizzazione del cloruro di vinile ($\text{H}_2\text{C}=\text{CHCl}$), avviata da radicali liberi (per lo più derivanti da perossidi, azocomposti, sistemi redox, composti oleosolubili, raggi UV, raggi X, raggi α e γ) ed eseguita in massa (con monomero liquido puro), in sospensione o emulsione (con monomero disperso in acqua sotto forma di piccole goccioline), in soluzione. Il processo più diffuso è quello in sospensione, dato che il PVC ottenuto in questo modo ha un maggior grado di purezza e si presta ad applicazioni particolari. Il PVC ha formula $-(\text{CH}_2 - \text{CHCl})_n-$. Nel polimero le unità monomeriche si susseguono in modo che il gruppo $-\text{CHCl}-$ si alterni regolarmente con il gruppo CH_2- (struttura testa – coda). Per quanto riguarda la configurazione sterica, nel PVC di produzione industriale c'è una leggera prevalenza di unità sindiotattiche su quelle isotattiche e ciò determina una piccola percentuale di cristallinità. Presenta rigidità sufficiente a sostituire i metalli in alcune applicazioni. E' termoplastico e rammollisce a 80°C . Ha una notevole resistenza agli alcali, agli acidi e agli elettroliti in genere e discreta ai solventi organici; si scioglie in esteri, chetoni e solventi clorurati. E' instabile alla luce e al calore e per esposizione prolungata tende ad assumere un colore bruno, indice di decomposizione autocatalitica. Per la trasformazione in articolo finito il PVC viene additivato con stabilizzanti alla luce e al calore. Per il suo prezzo relativamente basso e le sue proprietà fisico-chimiche e meccaniche il PVC ha trovato applicazione in svariati settori: edilizia (tapparelle, tubazioni, grondaie, pavimenti, ecc.), arredamento e abbigliamento (finte pelli), imballaggio (film, contenitori, bottiglie), materiali elettrici, industria dei giocattoli, discografia, automobilistica ecc. Con il PVC è infatti possibile ottenere articoli sia rigidi, con alto modulo elastico, sia flessibili, grazie ai plastificanti, con modulo e ritorno elastico, dopo deformazione, simili a quelli della gomma (AA.VV., 2005).

In ambito agricolo trova impiego principalmente nella fabbricazione di tubi per l'irrigazione e il drenaggio, nel rivestimento di laghetti, fossi e canali, e nella copertura di serre e tunnel. Altre applicazioni riguardano la pacciamatura, la protezione dei foraggi, le reti e in minor misura gli spaghi agricoli (Jouët, 2001; Pacini, 2004; Siviero, 2008).

Il PVC è il polimero che ha permesso la realizzazione dei primi film plastici ad "effetto termico". Negli ultimi anni tuttavia esso è stato progressivamente sostituito da altri polimeri, soprattutto dall'etilenvinilacetato (EVA), a causa dei problemi di smaltimento che

comportava alla fine della sua vita utile. Rispetto al polietilene, il cloruro di polivinile conserva la flessibilità entro un intervallo termico più ristretto (da -10°C a +50°C), ma possiede un'analoga inerzia chimica. Aggiungendo al polimero specifici plastificanti si preparano, per estrusione o per calandratura, i laminati flessibili. Tali film, pur presentando ottime caratteristiche ottiche, soprattutto relative alla termicità, non si sono mai diffusi in maniera estesa in Europa, differentemente da quanto avvenuto in Giappone. Questo è legato principalmente alle dimensioni piuttosto ridotte con cui i film PVC possono essere estrusi (al massimo 6,5 m di larghezza), ma anche per le caratteristiche meccaniche che, in presenza di condizioni meteoriche avverse, si sono talvolta rivelate insufficienti ad assicurare l'integrità della copertura, quantomeno su determinate strutture portanti. Sul mercato italiano i film PVC disponibili variavano in spessore tra 0,07 e 0,20 mm e venivano generalmente stabilizzati all'UV e resi "antigoccia". Se concepiti per durare a lungo manifestavano la tendenza ad attrarre (a causa della presenza di cariche elettrostatiche) e a trattenere (in relazione all'azione adesiva dei plastificanti) la polvere e il pulviscolo atmosferico. Per ridurre tale fenomeno, responsabile della minor trasparenza del film alla radiazione visibile, si aggiungevano additivi con proprietà antistatiche, che facevano sì che i laminati rimanessero depolarizzati e non trattenessero la polvere, che poi veniva dilavata dalla pioggia.

Nei film PVC destinati ai climi caldi, le proprietà meccaniche venivano migliorate, attraverso l'inclusione al loro interno di un'armatura reticolata di fibre poliammidiche.

Il cloruro di polivinile permetteva inoltre la preparazione di laminati rigidi, che venivano anch'essi stabilizzati per contrastare la degradazione operata dalla radiazione solare. I primi additivi impiegati conferivano al manufatto una tipica tonalità grigio-metallica, mentre in seguito sono stati messi a punto composti che interagiscono in misura molto ridotta con le caratteristiche ottiche del polimero.

I laminati in PVC sono inerti nei confronti della gran parte delle sostanze chimiche e sono autoestinguenti di fronte al fuoco. La trasmittanza delle lastre nelle bande del visibile è piuttosto buona nelle fasi iniziali seguenti la messa in opera, ma diminuisce progressivamente in proporzione all'entità della radiazione solare incidente e del tempo di esposizione, per fenomeni legati alla degradazione del polimero (Magnani, 1993).

I.4.4 Polimetacrilato di metile (PMMA)

I polimetacrilati sono polimeri termoplastici prodotti dalla polimerizzazione degli esteri dell'acido metacrilico $\text{CH}_2 - \text{C}(\text{CH}_3) - \text{COOH}$, a sua volta ottenuto dall'acetone per addizione dell'acido cianidrico e successive disidratazione e saponificazione. Particolarmente importante è il polimero di metacrilato di metile (Plexiglas) dotato di eccezionale trasparenza, la cui polimerizzazione avviene mediante catalizzatori perossidici (perossido di benzoile e di acetile) a temperature tra 50 e 130°C. I polimetacrilati vengono impiegati in tutti i casi in cui si richiedano materiali di elevata trasparenza e infrangibilità (AA.VV., 2005). Nel settore agricolo il PMMA viene utilizzato come copertura delle serre (Jouët, 2001), soprattutto nel settore vivaistico (Siviero, 2008).

Il polimero consente la preparazione di lastre rigide molto durevoli e di alta qualità, sia ondulate che alveolari. Le lastre di PMMA si caratterizzano per l'elevata trasmittanza alla radiazione solare incidente, superiore addirittura a quella del vetro, sia nel visibile che nell'UV, per la forte inerzia verso l'azione degli agenti atmosferici (anche dopo numerosi anni di esposizione l'invecchiamento delle lastre risulta ridottissimo) e la resistenza al graffio (inferiore al vetro ma superiore agli altri polimeri plastici). Il coefficiente di dilatazione lineare è piuttosto elevato, per cui sono necessari alcuni accorgimenti per il fissaggio delle lastre acriliche ondulate alla struttura della serra. Lo spessore dei laminati è di circa 1,5 mm e il loro peso leggermente superiore a quello di analoghi manufatti realizzati con altri polimeri. Rispetto a questi, le lastre di PMMA presentano però una minor conduttanza termica specifica e dunque una più elevata capacità di trattenere il calore all'interno della serra. Aggiungendo al PMMA determinati elastomeri acrilici è possibile migliorare notevolmente le proprietà meccaniche, come la resistenza all'urto e la flessibilità.

Nei paesi del nord Europa hanno trovato una certa applicazione i laminati acrilici a doppia parete, che permettono di migliorare ulteriormente la già elevata resa termica del polimero. Poiché la doppia parete comporta una riduzione della trasparenza alla radiazione solare, sono state proposte, negli anni '80, conformazioni diversificate dei setti che delimitano gli alveoli: alcuni tipi di lastre, soprattutto quelle con setti inclinati, erano apparse particolarmente adatte ad essere poste su serre operanti nei paesi nordici, in quanto capaci di captare in misura elevata la radiazione luminosa nel periodo in cui il sole rimane basso sull'orizzonte per l'intera giornata, ossia nei mesi invernali, diffondendola all'interno degli apprestamenti. Tali

lastre, tuttavia, non sono mai uscite dalla fase sperimentale. Nei paesi mediterranei sono invece abbastanza diffuse le coperture realizzate con lastre ondulate di PMMA, al contrario poco conosciute nei paesi nordici (Magnani, 1993).

I.4.5 Policarbonato (PC)

I policarbonati sono polimeri sintetici che possono essere considerati come poliesteri dell'acido carbonico, contenenti nella catena il gruppo -CO- legato con gruppi aromatici attraverso atomi di ossigeno. I primi policarbonati furono sintetizzati agli inizi del secolo senza che se ne comprendesse la natura polimerica. Solo alla fine degli anni '50 fu avviata, dopo una ricerca applicativa (Bayer in Germania e General Electric in Usa) la produzione industriale di un policarbonato aromatico. Il policarbonato più importante è quello a base di bisfenolo A (4,4' – diidrossifenil – 2,2 – propano: BPA).

E' un materiale termoplastico altamente trasparente alla luce, essenzialmente amorfo, con buona elasticità e rigidità, ottima resistenza all'urto, punto di fusione relativamente alto (220-230°C), buone proprietà elettriche. Trova impiego per lastre e profilati trasparenti per l'edilizia, nel settore automobilistico per paraurti e parti di carrozzeria, nel settore biomedico, in quello elettronico e per gli imballaggi (AA.VV., 2005). Nel 2001 Jouët ne segnala l'impiego in agricoltura unicamente per la copertura di serre. Siviero (2008) lo pone tra i materiali che hanno in parte sostituito il vetro nel settore vivaistico.

Il policarbonato è un polimero leggero e abbastanza resistente alle sollecitazioni meccaniche. Viene in genere stabilizzato per contrastarne la degradazione operata dalla radiazione UV ed estruso sotto forma di lastre alveolari a doppia, tripla o quadrupla parete. In commercio esistono laminati che presentano spessori variabili. Se la distanza tra le due pareti è ridotta risultano sufficientemente flessibili da poter essere installati sugli elementi curvilinei di talune strutture a tunnel. L'aria confinata nell'intercapedine conferisce alle lastre di PC una buona resa termica, variabile ovviamente in base allo spessore e al numero di pareti che costituiscono il manufatto. Questi parametri influenzano inoltre le caratteristiche ottiche: la trasmittanza totale alla radiazione solare incidente è soddisfacente nelle lastre a doppia parete, quantomeno nel periodo immediatamente successivo alla loro messa in opera. Già dopo pochi

anni, infatti, le lastre non protette nei confronti della radiazione UV possono andare incontro ad evidenti fenomeni di invecchiamento con sensibili decrementi della trasmissione luminosa. Per questo motivo si realizzano lastre di polycarbonato coestruse con resine acriliche, in modo da applicare uno strato di protezione sulla faccia del laminato che verrà esposta all'esterno della serra.

Un aspetto, infine, che deve essere considerato durante la messa in opera delle lastre di PC è il possibile sviluppo di alghe e funghi all'interno degli alveoli, qualora non si riesca ad ottenere un perfetto isolamento dell'aria in essi racchiusa (Magnani, 1993).

I.4.6 Resina poliestere (PFRV)

I poliesteri sono prodotti di policondensazione tra acidi policarbossilici e polioli contenenti il gruppo estere $-\text{COO}-$. Si tratta di una vasta serie di materiali comprendente sia polimeri saturi sia insaturi, ramificati o lineari, sia polimeri reticolati come le resine sintetiche alchidiche (lineari o tridimensionali o modificate per aggiunta di acidi grassi) e le resine alliliche ottenute da alcol allilico condensato con acido ftalico, maleico, ecc. con successiva polimerizzazione e reticolazione del monomero. I poliesteri termoplastici sono facilmente lavorabili sia per stampaggio ad iniezione, sia per estrusione, e trovano quindi vaste applicazioni per manufatti resistenti aventi geometrie anche complesse. Nel campo delle fibre sintetiche i poliesteri maggiormente utilizzati sono il polietilentereftalato (PET) e i suoi derivati, come il politetrametilentereftalato (PTMT). Questi poliesteri termoplastici vengono usati anche nella produzione di pellicole per imballaggio, di bottiglie a tenuta di gas, di film sottilissimi per nastri magnetici, isolatori elettrici, avvolgimenti per cavi telefonici e nei settori elettrico ed automobilistico.

Le resine poliestere, invece, già allo stato puro, sono suscettibili di numerosi impieghi come materie termoindurenti, come vernici trasparenti o lacche opache, molto resistenti e impermeabili per legno e metalli, ma le loro caratteristiche vengono esaltate se sono associate a materiali fibrosi rinforzanti. Il loro accoppiamento con fibre di vetro da origine ai plastici rinforzati che già dagli anni '40 hanno avuto un successo enorme in quanto dotati di resistenza meccanica, chimica, termica ed elettrica eccezionali. Presentano in particolare elevata durezza, basso peso specifico, basso coefficiente di dilatazione lineare, facilità di

lavorazione, basso costo. Ne risulta una grande varietà di impieghi nell'edilizia, nell'industria navale, aeronautica, automobilistica e anche nell'elettronica (AA.VV., 2005).

Nel settore agricolo, Pacini (2004), segnala in Italia (per l'anno 2002) l'impiego di resina poliestere soprattutto per la realizzazione di tubi per l'irrigazione localizzata, cisterne di conservazione e trasporto, oltre che per la copertura di serre con lastre semirigide. Da questo punto di vista rappresenta il polimero più tradizionale per la preparazione di laminati da impiegare per il rivestimento rigido delle serre (Magnani, 1993).

Le lastre vengono preparate inglobando nella resina di base sia materiali di rinforzo (fibre di vetro, fibre poliammidiche, ecc.), sia polimeri acrilici. Su alcuni manufatti vengono inoltre applicati, saldandoli in superficie, film o vernici di diversa natura polimerica. Le caratteristiche fisico-meccaniche ed ottiche variano perciò in base alla quantità e qualità delle resine impiegate, alla natura dei materiali di rinforzo, alle modalità di polimerizzazione e alla presenza del rivestimento superficiale (vernici o film). Le lastre di PFRV sono comunque caratterizzate, in linea generale, da un'elevata resistenza meccanica, una notevole leggerezza e una buona efficienza termica. Aggiungendo alla resina in poliestere del polimetacrilato di metile (PMMA) in percentuale del 5-6% si migliora la trasparenza della lastra alla radiazione solare.

Le tradizionali lastre in poliestere sono molto sensibili all'invecchiamento, soprattutto per la facilità con cui vengono erose in superficie, con conseguente degradazione della fibra di rinforzo che tende ad affiorare. Questo riduce sensibilmente la trasmittanza alla luce solare. Per evitare tale fenomeno vengono saldati sulla superficie del manufatto film in fluoruro di polivinile oppure applicate particolari vernici (gel coat). Una peculiare caratteristica delle lastre in PFRV, inoltre, è la capacità di diffondere la luce in tutte le direzioni, aspetto che dispensa dal dover eseguire l'imbiancatura delle coperture durante l'estate, per evitare scottature sulle foglie delle piante (Magnani, 1993).

I.4.7 Polipropilene (PP)

Si tratta di una resina termoplastica cristallina di formula $(CH_2CHCH_3)_n$ dove n è un numero intero compreso tra 600 e 2000. Commercialmente vengono indicati con il termine polipropilene anche i copolimeri. La Montecatini iniziò la produzione industriale del polimero in questione a partire dal 1957 con il nome di Moplen per la materia plastica e di Meraklon

per le fibre. Il polipropilene commerciale ha struttura isotattica ed elevato grado di purezza sterica. Tra i polimeri di più vasto impiego è il più leggero e presenta notevole resistenza alla trazione, durezza, rigidità flessionale e carico di snervamento maggiori del polietilene, oltre ad una grande resistenza al calore (punto di fusione: 170-175°C). Per quanto concerne le proprietà chimiche, il polipropilene isotattico ha buona resistenza a molti reagenti sia alcalini sia acidi, a temperatura ordinaria è insolubile in tutti i solventi organici e non presenta fenomeni di infragilimento. Si scioglie nei solventi aromatici e clorurati a temperature maggiori di 120°C. Per la reattività degli idrogeni legati agli atomi di carbonio terziari, è facilmente ossidabile in presenza di aria e temperature elevate e anche in presenza di raggi UV e pertanto deve essere opportunamente stabilizzato. La polimerizzazione del polipropilene preventivamente purificato viene generalmente condotta in presenza di catalizzatori Ziegler-Natta, costituiti da solidi metalli di transizione e composti metallorganici. Una delle caratteristiche meno soddisfacenti del PP è la scarsa resistenza all'urto alle basse temperature. Per ovviare a tale inconveniente vengono prodotti copolimeri a blocchi con etilene. Gli impieghi del polipropilene sono diversi: oggetti casalinghi, parti di macchine, condotti per aria, griglie di radiatori, cilindri graduati, imballaggi, tubi, filamenti, fibre, fogli, film, bottiglie, oggetti cavi, ecc. (AA.VV., 2005). In agricoltura viene principalmente utilizzato per la produzione di spago agricolo, reti, cassette di trasporto degli ortofrutticoli freschi, contenitori di prodotti fitosanitari, sacchi per fertilizzanti, frangivento, irrigazione e drenaggio, oltre a rivestimenti per laghetti, fossi e canali e nel tessuto non tessuto (Jouët, 2001; Pacini, 2004).

I.4.8 Copolimeri etilene tetrafluoroetilene (ETFE)

Per estrusione del copolimero etilene tetrafluoroetilene (ETFE) si realizzano film di spessore molto ridotto (0,10 mm), dotati di eccezionali caratteristiche fisico-meccaniche e ottiche, ottima resistenza meccanica, durata intorno ai 15 anni, trasmittanza nel visibile superiore a quella del vetro, elevata trasparenza all'UV ed effetto termico elevatissimo (Zanon, 1990; Magnani, 1993). Gli effetti positivi sulla produzione dei copolimeri in ETFE sono stati dimostrati sia su colture orticole (Montero e Antón, 2003; Montero *et al.*, 2005) che floricole (Antón *et al.*, 2005). Tali film hanno tuttavia incontrato notevoli difficoltà ad affermarsi principalmente in ragione del loro elevato costo (Stefani *et al.*, 2008).

I.5 PROPRIETA' DEI FILM PLASTICI DI COPERTURA

La scelta di una copertura per serre adeguata è indispensabile per l'ottenimento di rese elevate e di prodotti validi dal punto di vista qualitativo (Arbolí, 2000). Un film di copertura deve infatti possedere le caratteristiche di efficacia desiderate e deve mantenere tali caratteristiche possibilmente inalterate durante l'intero arco della sua vita utile. Non si tratta spesso di una scelta semplice, considerando che devono essere prese in esame numerose variabili, quali il tipo di serra o tunnel, la sua orientazione, l'area geografica in cui opera, i fabbisogni climatici della coltura da impiantare, i particolari obiettivi che ci si prefigge, ecc. (López, 2003). L'interesse crescente negli anni per l'impiego delle plastiche in agricoltura ha promosso, al riguardo, lo sviluppo di un settore di ricerca specifico che si pone come obiettivo quello di soddisfare i fabbisogni dei serricoltori in termini di qualità e rendimento delle colture, nonché di riduzione dei costi di produzione per un aumento della redditività del lavoro agricolo (Lima *et al.*, 2006). Per una corretta scelta della plastica da impiegare è perciò fondamentale avere conoscenza di quelle che sono le sue proprietà, che si distinguono in due gruppi principali: quelle meccaniche e quelle ottico-radiometriche. Sono inoltre da valutare le caratteristiche relative alla durata nel tempo del manufatto e alla sua azione antigoccia.

I.5.1 Proprietà meccaniche

Le proprietà meccaniche di un film plastico devono esser prese attentamente in considerazione, in quanto forniscono indicazioni relative al suo comportamento sotto l'azione di una forza, una deformazione, un urto, ecc. (Briassoulis *et al.*, 1997a e 1997b; López, 2003) e, sebbene non influenzino direttamente il risultato agronomico ottenuto, rivestono una notevole importanza nel determinare la durata del film e quindi la permanenza nel tempo della copertura plastica adottata. Esse dipendono direttamente dalla tipologia di materia prima utilizzata per fabbricare il manufatto e dalle condizioni di trasformazione cui è stata sottoposta la materia stessa (Serrano, 2003). E' necessario che i film siano caratterizzati da buone proprietà meccaniche che ne facilitino la corretta installazione e consentano al materiale di resistere alle varie aggressioni esterne cui andrà incontro nel corso della sua vita utile (Arbolí, 2000).

Le principali proprietà meccaniche richieste ad un film plastico di copertura sono:

- *Resistenza alla trazione*: è la capacità di un film di resistere ad un certo livello di trazione esercitata tirandolo per le due estremità. Dipende dal tipo di polimero utilizzato, dalle dimensioni del film, dal suo spessore ecc. Una resistenza adeguata è essenziale per evitare rotture in fase di installazione della copertura e danni dovuti agli agenti atmosferici, come ad esempio i forti venti.
- *Allungamento a rottura*: rappresenta la capacità del film di stirarsi fino al punto di rottura quando viene tirato per le due estremità.
- *Deformazione sotto carico (creep test)*: è la deformazione che subisce un film quando viene sottoposto ad una forza costante. Può essere definita come la capacità di un film di riassumere la sua posizione iniziale quando lo si sottomette ad una determinata forza. Fornisce indicazioni sulla flessibilità della plastica.
- *Resistenza alla lacerazione (Elmendorf)*: è la resistenza che un film oppone alla propagazione di lacerazioni preesistenti, che possono avere natura accidentale o essere state causate, ad esempio, dalle strutture di sostegno della serra.
- *Resistenza all'urto (dart drop test)*: rappresenta la resistenza di un film a rompersi quando su di esso viene fatto cadere un determinato peso da una determinata altezza. Da indicazioni riguardo alla resistenza del materiale nei confronti dell'azione di agenti climatici quali grandinate, forti venti, oppure urti accidentali causati dall'uomo.

La vigente normativa europea, la EN13206 (2001) recante il titolo “*Covering thermoplastic films for use in agriculture and horticulture*” fornisce, in base alla classe e allo spessore del film, i limiti minimi (o massimi) delle suddette proprietà, indicando, inoltre, le norme EN, ISO e EN ISO di riferimento per i metodi di prova da impiegare (EN 13206, 2001; Magnani e Filippi, 2009).

I.5.2 Proprietà ottico-radiometriche

Una delle funzioni principali dei film di copertura è quella di migliorare il controllo climatico all'interno dell'ambiente protetto, in maniera tale da perseguire le finalità principali della coltura sotto serra o tunnel, ossia l'ottenimento di prodotti fuori stagione, di produzioni

quantitativamente e qualitativamente elevate e di una maggior precocità delle stesse (López, 2003). E' possibile agire sul clima della serra andando a modificare il bilancio energetico relativo alla radiazione solare incidente disponibile per i vegetali, obiettivo che può essere raggiunto impiegando materiali plastici di copertura dotati di specifiche caratteristiche ottico-radiometriche. In tal modo si va infatti ad influire su determinati parametri della produzione di specie orticole e floricole allevate in coltura protetta (Favilli e Magnani, 1985; Magnani, 2004a; Magnani *et al.*, 2007a).

Prima di passare alla descrizione delle principali proprietà ottico-radiometriche dei film plastici di copertura è opportuno fare un breve richiamo sull'importanza della luce per le piante e sulla composizione dello spettro luminoso solare.

1.5.2.1 Effetti della luce sulle piante

Com'è noto, una pianta per crescere ha bisogno di acqua, calore, sali minerali, anidride carbonica e luce. E' inoltre risaputo che la resa di una coltura dipende principalmente dall'efficacia della sua attività fotosintetica. La fotosintesi è il processo che permette la trasformazione dell'energia luminosa trasportata dai fotoni di certe radiazioni in energia chimica per la sintesi di sostanze organiche a partire dalla CO₂ atmosferica. Di tutti i fattori da cui dipende la fotosintesi, alcuni possono essere controllati, come la concentrazione di anidride carbonica e la temperatura, mentre il controllo totale della luce pone, al contrario, serie difficoltà. La sua intensità all'interno dell'ambiente protetto è sempre inferiore a quella esterna e dipende da essa. La frazione di energia solare assorbita dalla pianta viene impiegata in parte per sintetizzare materia organica, mentre un'altra parte va ad innalzare la temperatura degli organi e a permettere la traspirazione. Non tutte le radiazioni dello spettro solare possono essere utilizzate dagli organi clorofilliani. Infatti la conversione di energia luminosa in energia chimica da parte dell'apparato fotosintetico avviene solo per radiazioni aventi una lunghezza d'onda compresa tra 400 e 700 nm (PAR o "*Photosynthetically Active Radiation*"), con un'efficacia molto variabile all'interno di questo intervallo (McCree, 1972). Il massimo assorbimento delle radiazioni luminose da parte dei pigmenti clorofilliani si ha nelle lunghezze d'onda del blu (450 nm) e del rosso (650 nm). L'efficacia della fotosintesi diminuisce quando l'intensità luminosa raggiunge livelli tali da indurre la saturazione fotosintetica. La maggior parte delle piante coltivate nei climi temperati ha un livello di

saturazione luminosa dell'ordine di 20000 – 30000 lux, valori molto più bassi dell'intensità d'illuminazione che si registra nella maggior parte delle ore diurne. Questo eccesso di illuminazione rispetto alle necessità fotosintetiche dei vegetali è una delle cause della bassa efficienza della fotosintesi. Un flusso di fotoni eccessivamente intenso, accompagnato da temperature elevate, favorisce i fenomeni di respirazione e soprattutto fotorespirazione, ossia una demolizione di sostanze idrocarbonate con liberazione di CO₂ che si verifica in presenza di luce attraverso passaggi metabolici diversi da quelli della respirazione al buio. Esistono tuttavia specie aventi un limite di saturazione luminosa molto più elevato (50000 – 60000 lux), nelle quali i fenomeni di fotorespirazione non esistono o sono comunque molto limitati. Si tratta di specie di origine tropicale (mais, sorgo, canna da zucchero, ecc.) nelle quali il processo fotosintetico avviene secondo uno schema diverso da quello di Calvin, nel cui ciclo la carbossilazione avviene su composti fosforilati a 3 atomi di carbonio (C3). Nelle specie ad alta efficienza, la fotosintesi si svolge infatti secondo lo schema di Hatch e Slack o degli acidi dicarbossilici a 4 atomi di carbonio (C4: acido malico, acido aspartico): in questo schema non si hanno fenomeni di decarbossilazione fotodipendenti, come nel caso precedente, ma la pianta dà luogo ad assimilazione netta molto elevata anche nei giorni di fortissima radiazione globale.

Oltre all'eccesso di luce, risulta dannoso anche il difetto d'illuminazione, spesso legato ad un'eccessiva fittezza delle piantagioni, che determina l'ingiallimento e la caduta prematura delle foglie inferiori, eziolature, mancata ramificazione, disseccamento e caduta dei rami bassi, steli esili e poco lignificati, problemi in fase di fioritura e allegagione, scarsa qualità dei frutti ecc.

Sebbene il processo fotosintetico sia il più importante, la luce ha altri effetti sui vegetali, come l'induzione della fioritura, la sintesi di pigmenti, l'allungamento degli steli, l'espansione delle foglie, la tuberizzazione, il fototropismo e il fotoperiodo.

1.5.2.2 Lo spettro luminoso solare

Il sole, che ha una temperatura di circa 6000 K, emette enormi quantità di energia sotto forma di radiazioni: una parte di questa energia raggiunge la terra come radiazione ultravioletta, visibile e infrarossa. La banda di lunghezza d'onda compresa tra 100 e 380 nm è quella dell'ultravioletto, che può essere suddivisa in:

- Ultravioletti C (UVC: 100 – 280 nm): vengono praticamente bloccati nella totalità dallo strato di ozono atmosferico e non hanno perciò interesse né riguardo all'effetto sulle plastiche né sulle piante.
- Ultravioletti B (UVB: 280 – 310 nm): è la radiazione maggiormente responsabile della degradazione e precoce invecchiamento delle plastiche, in quanto provoca l'ossidazione e la rottura delle catene del polimero. Viene anch'essa bloccata in larga parte (95%) dallo strato di ozono.
- Ultravioletti A (UVA: 310 – 380 nm): è la banda di radiazione ultravioletta percepita dagli insetti. Il suo assorbimento da parte della copertura può disorientarne il volo, evitando che agiscano da vettori di virus. E' anche la radiazione di cui certi patogeni fungini come la *Botrytis cinerea* hanno bisogno per produrre le loro spore. Anche i raggi UVA accelerano l'invecchiamento dei film plastici, ma essendo meno energetici hanno un minor impatto rispetto agli UVB.

Quasi la metà dell'energia solare è sotto forma di radiazione di lunghezza d'onda compresa tra 380 e 780 nm, cioè quella visibile all'occhio umano e che corrisponde sostanzialmente alla radiazione fotosinteticamente attiva (PAR: 400 – 700 nm), ovvero quella utilizzata dalle piante per realizzare il processo fotosintetico.

La rimanente parte dell'energia solare giunge sotto forma di radiazione infrarossa, invisibile all'occhio umano e compresa tra 780 e 4000 nm. I raggi infrarossi si trasformano prevalentemente in calore quando vengono assorbiti da materia in grado di intercettarli. La radiazione infrarossa è perciò responsabile del riscaldamento della serra e il comportamento del film plastico riguardo ad essa influisce sul mantenimento del calore all'interno dell'ambiente protetto.

La radiazione infrarossa può essere così suddivisa:

- Infrarosso corto (780 – 1000 nm) e medio (1000 – 4000 nm): provengono direttamente dal sole, sono responsabili del riscaldamento della serra durante il giorno. Limitandone l'ingresso sotto la copertura è possibile evitare picchi di temperatura eccessivi nelle stagioni e nelle ore più calde.
- Infrarosso lungo (4000 – 25000 nm): è la radiazione che emettono i corpi che sono stati precedentemente riscaldati. Le plastiche opache a questo tipo di radiazione

consentono di trattenere il calore all'interno della serra durante la notte, quando non sono presenti altre fonti calorifiche in grado di riscaldare l'ambiente protetto.

1.5.2.3 Principali proprietà ottico-radiometriche

Le caratteristiche ottico-radiometriche dei film di copertura sono:

- Trasmittanza luminosa globale nel visibile (TGLV): la luce visibile e, nello specifico, la radiazione fotosinteticamente attiva (PAR), riveste un'importanza fondamentale per la realizzazione del processo fotosintetico dei vegetali (McCree, 1972). Vi è una regola secondo la quale ad un incremento dell'1% della trasmissione luminosa corrisponde, approssimativamente, un incremento dell'1% della resa della coltura (Stanghellini, 1991; Cockshull *et al.*, 1992), a meno che, ovviamente, non venga raggiunto il limite di saturazione luminosa dei cloroplasti. La quantità di radiazione visibile che raggiunge le piante allevate in ambiente protetto dipende, oltre che dal tipo di copertura impiegato (Tuchiya *et al.*, 1998; Dimitrijevič *et al.*, 1999; Kittas *et al.*, 1999), da fattori come l'orientazione della serra (Critten, 1983; Papadakis *et al.*, 1986; Miguel *et al.*, 1994; Papadakis *et al.*, 2000), la geometria della stessa (Critten, 1983; Papadakis *et al.*, 1986; Miguel *et al.*, 1994), le sue dimensioni (Papadakis *et al.*, 1998), la tipologia e la pendenza del tetto e delle pareti laterali (Malquori *et al.*, 1993; Dimitrijevič *et al.*, 1999), la latitudine, l'effetto ombreggiante delle componenti strutturali, ecc.

Ma i due principali fattori che limitano la trasmissione luminosa delle coperture sono rappresentati dall'accumulo di polvere, che si ha prevalentemente sulla faccia esterna del manufatto, e dalla condensa, che si forma invece all'interno. Misure eseguite *in situ* hanno dimostrato che le perdite di trasmittanza alla luce visibile causate dalla presenza di polvere su film in EVA erano nell'ordine del 15% (Feuilloley e Gratraud, 1995), mentre le perdite legate alla formazione di condensa in piccole gocce sono risultate intorno al 5% (Jaffrin *et al.*, 1993).

Per stimare la trasmissione luminosa delle serre sono stati proposti, nel corso degli anni, diversi modelli, che hanno preso in considerazione una parte più o meno

rilevante dei fattori suddetti (Baille e Baille, 1990; Wu *et al.*, 1992; Mashonjova *et al.*, 2007; Swinkels e Van Nijnatten, 2008).

In considerazione di quanto affermato in precedenza i film plastici di copertura devono presentare, in linea generale, un elevato potenziale di trasmissione nell'intervallo di lunghezze d'onda della luce visibile, che può attraversare il manufatto in due modi differenti: sotto forma di luce diretta o di luce diffusa. La prima passa attraverso il film senza subire deviazioni e le plastiche che presentano un'elevata trasmittanza in tal senso permettono di distinguere gli oggetti attraverso di esse, quando le si osservano dall'esterno, caratterizzandosi per un aspetto cristallino e trasparente. I film a luce diretta, spesso denominati "chiari", sono particolarmente adatti per zone con ridotti livelli radiativi o molto nuvolose, come quelle del nord Europa, mentre in aree con forte radiazione solare possono, in casi estremi, causare bruciature sulle piante nei mesi più caldi e nelle ore centrali della giornata. Tali coperture presentano inoltre lo svantaggio di creare zone d'ombra dovute alle strutture della serra, alle piante ecc. che possono tradursi in uno sviluppo irregolare della coltura.

La luce diffusa, invece, è quella che passando attraverso il film subisce deviazioni all'interno della serra, per cui si ha la sensazione che essa provenga non da un punto preciso ma da ogni lato (distribuzione isotropica della radiazione). Le ombre non appaiono definite sotto le coperture in grado di diffondere la luce. Questo tipo di trasmissione luminosa è adatta a zone fortemente soleggiate (es: Sud Europa e Nord Africa), in quanto evita che si formino zone d'ombra, riduce notevolmente i rischi di bruciature a carico delle piante, migliora la distribuzione della luce, riduce la traspirazione, favorisce la fotosintesi e, conseguentemente, svolge un'azione positiva sulla crescita dei vegetali. Gli effetti positivi sulle colture relativi alla capacità del materiale di copertura di diffondere la luce sono stati dimostrati sia attraverso modelli di crescita (Hemming *et al.*, 2006; Hemming, 2008), sia nelle reali condizioni d'impiego in campo (Hemming, 2008). I film termici, di cui verrà fornita ampia descrizione in seguito, sono caratterizzati in genere una buona capacità di diffusione della luce.

- Torbidità (Haze): rappresenta la capacità del film di diffondere la luce. Più elevato è tale parametro, che viene espresso in percentuale, maggiore sarà la diffrazione della radiazione solare incidente da parte della copertura.

- Termicità: rappresenta la capacità di un film di copertura di trattenere all'interno dell'ambiente protetto la radiazione ad elevata lunghezza d'onda (7000 – 13000 nm) emessa durante la notte dal terreno (principalmente) e quindi la sua capacità di mantenere il calore all'interno della serra (si tratta del cosiddetto “effetto serra”). Durante il giorno, infatti, il sole riscalda il terreno, le strutture della serra, le piante ecc., che assorbono l'energia solare a corta lunghezza d'onda, la quale viene successivamente riemessa verso l'atmosfera, nel corso della notte, sotto forma di IR lungo. Il film plastico deve trasmettere il meno possibile questa radiazione, per evitare un eccessivo raffreddamento dell'apprestamento di protezione nelle ore notturne, quando, nel caso della serra fredda, non sono presenti altre fonti di calore in grado di riscaldarlo. Questo permette di evitare gli effetti dannosi delle gelate, in quanto la temperatura sotto la copertura viene mantenuta qualche grado al di sopra di quella dell'ambiente esterno, e, in ogni caso, favorisce la crescita delle piante creando condizioni termiche più consone alle loro esigenze.

E' importante precisare che, nel corso della giornata, non sono soltanto il terreno e le strutture della serra a riscaldarsi, ma, venendo a contatto con essi, anche l'aria confinata sotto la copertura plastica (Papadakis, 1989) con un tasso che dipende dalla differenza di temperatura, dal coefficiente di trasferimento di calore per convezione e dal tasso di scambio dell'aria. Così il termine di effetto serra dovrebbe riferirsi, in realtà, sia ai processi radiativi che convettivi.

I.5.3 Altre proprietà dei film plastici di copertura

I.5.3.1 Durata

Un film plastico deve essere in grado di mantenere le proprie caratteristiche meccaniche e ottico-radiometriche possibilmente per l'intero arco della sua vita utile.

Con il termine di “durata” si fa riferimento generalmente al tempo durante il quale il film mantiene la sua integrità fisica, ovvero, secondo la vigente normativa (EN13206), fin quando perde il 50% del suo allungamento a rottura iniziale. La durata di vita di un film di copertura può variare da una stagione a più anni, in funzione di diversi fattori, quali ad esempio: il polimero di base utilizzato, il tipo di film (monostrato o multistrato), lo spessore, gli additivi stabilizzanti impiegati, altri additivi aggiunti (cariche minerali, pigmenti, ecc.), le condizioni di fabbricazione e stoccaggio, l'installazione, la struttura della serra (materiali, protezione delle superfici di contatto, design, fissaggio della plastica), le condizioni climatiche (radiazione, temperatura, vento, pioggia, neve, ecc.) (Dilara e Briassoulis, 2000), la coltura e l'impiego di agrochimici, soprattutto quelli contenenti S, Cl e Fe, i quali interagiscono negativamente con gli additivi stabilizzanti (Desriac, 1991; Khan e Hamid, 1995). Quando un film perde le sue proprietà al punto da non essere più utilizzabile si dice che è degradato. In tale condizione le plastiche diventano fragili, si rompono con facilità e trasmettono meno luce.

Le principali cause che portano alla degradazione dei materiali plastici sono:

- Foto-ossidazione: è dovuta all'effetto della radiazione ultravioletta altamente energetica, che provoca l'ossidazione e la rottura delle catene del polimero. L'andamento del processo fotodegradativo può essere così sintetizzato: un cromoforo del polimero assorbe i raggi ultravioletti e passa ad uno stato eccitato che, pur essendo reversibile, può generare un radicale libero (R^*); il radicale libero reagisce rapidamente con l'ossigeno dell'ambiente (O_2) per formare dei radicali perossido (ROO^*), che possono estrarre un atomo di idrogeno (H) dal polimero, originando in tal modo un idroperossido ($ROOH$) e un radicale libero centrato (R^*). Inoltre l'idroperossido può decomporsi in radicali alcossi (RO^*) e idrossi (*OH), i quali possono a loro volta estrarre un

atomo di idrogeno dal polimero. Questo ciclo può ripetersi numerose volte portando alla totale degradazione della plastica. La presenza nel polimero di residui di catalizzatori (contenenti Ti, Al e Cl), pigmenti, prodotti di ossidazione, gruppi carbonile e gruppi insaturi in grado di assorbire i raggi UV può innescare e accelerare il processo. Queste impurità, che vengono introdotte ad esempio in fase di polimerizzazione (Schnabel, 1981) o di estrusione, rendono infatti il film plastico fotosensibile (Gugumus, 1979; Rabek, 1995). La fotodegradazione può essere poi favorita da fattori come le condizioni di temperatura e umidità relativa, forti carichi meccanici, frizioni, abrasioni, interazioni con agrochimici ecc. Ad esempio l'azione abrasiva della sabbia o delle particelle di terreno trasportate dai venti possono accelerare il processo fotodegradativo (Dilara e Briassoulis, 1998).

Un film non stabilizzato con specifici additivi anti-UV non è performante e perde rapidamente le sue caratteristiche di resistenza meccanica, degradandosi completamente nel giro di pochi mesi di esposizione in campo. Delle varie tipologie di additivo utilizzate per la stabilizzazione delle plastiche agricole si parlerà più dettagliatamente nel paragrafo dedicato ai film di lunga durata.

- Degradazione chimica: l'impiego in serra di agrochimici, quali i pesticidi e gli insetticidi, può avere un impatto significativo sulla durata di vita dei film plastici. Infatti i residui di tali prodotti fitosanitari sono in grado, soprattutto quelli contenenti alogeni e/o zolfo, di interagire negativamente con alcuni degli additivi stabilizzanti alla luce normalmente aggiunti ai polimeri (Desriac, 1991; Rull e Marin, 2007), portando così ad una più veloce degradazione del materiale di copertura. Alcune prove sperimentali hanno del resto evidenziato come la combinazione di diversi agrochimici possa fortemente limitare la durata di servizio delle coperture in LDPE per le serre (Desriac, 1991; Henninger, 1992; Dilara e Briassoulis, 1998). L'aumento della concentrazione di additivo stabilizzante non consente apparentemente di risolvere il problema, mentre un incremento nello spessore del film sembra migliorare la situazione, come osservato in alcuni studi di invecchiamento naturale condotti in Spagna (Barahona e Gomez-Vasquez, 1985) e in Italia (Henninger e Pedrazzetti, 1988).

Anche l'inquinamento ambientale può essere dannoso per l'integrità delle plastiche, a causa degli attacchi di natura chimica portati ai legami del polimero dagli inquinanti presenti nell'atmosfera, tra i quali possono essere ricordati gli ossidi di azoto e di zolfo, gli idrocarburi e il particolato, tutti composti in grado di accelerare la degradazione del film (Schnabel, 1981; Rabek, 1983; Dilara e Briassoulis, 1998).

- Degradazione termica: nelle zone di contatto del film con le strutture della serra, in particolare con le sue parti metalliche (tubi, fil di ferro, ecc.), la temperatura può raggiungere valori di 70-80°C favorendo il processo di degradazione del materiale plastico, soprattutto se non si provvede a dipingere le parti suddette con vernice bianca. La verniciatura delle parti metalliche della serra è inoltre raccomandabile per la capacità delle particelle di metallo di catalizzare le reazioni di foto-ossidazione (Khan e Hamid, 1995).

I.5.3.2 Proprietà antigoccia

Il polietilene e la maggior parte degli altri materiali plastici utilizzati come copertura di serre e tunnel sono chimicamente non polari e vengono perciò classificati come idrofobi. Ne risulta che l'acqua di condensazione assume sulla loro superficie, in caso di differenza di temperatura tra le due facce del film, la forma di gocce semisferiche separate le une dalle altre che sotto l'effetto della gravità cadono sul terreno o, peggio, sulle piante sottostanti.

Gli effetti legati alla formazione di questo tipo di condensa sono prevalentemente negativi:

- lo stillicidio di gocce sulla vegetazione aumenta considerevolmente il rischio d'insorgenza di malattie crittogamiche
- la trasmittanza della radiazione PAR subisce una riduzione variabile dal 5 al 20% (Jaffrin *et al.*, 1993), con conseguente penalizzazione del processo di fotosintesi e quindi della produzione. La perdita di trasmissione luminosa è dovuta al fatto che la goccia isolata, in ragione della propria forma, riflette una parte della radiazione incidente (Jaffrin e Guion, 1994) e l'entità di tale perdita è variabile in funzione dell'angolo d'incidenza della luce stessa (Jaffrin e Morisot, 1994; Pieters, 1996). Nel

corso degli anni sono stati effettuati diversi studi teorici ed elaborati programmi di simulazione volti a valutare la trasmittanza PAR attraverso le gocce di condensa (Balemans, 1990; Pieters, 1991; Pieters e Balemans, 1992; Pieters *et al.*, 1996), le quali gocce hanno anche dimostrato, in una sperimentazione condotta da Pieters *et al.* (1996), di svolgere un effetto positivo sulle colture grazie alla loro capacità di diffondere la radiazione diretta, cosicché in caso di elevata intensità di radiazione PAR vengono ad essere fortemente ridotti i rischi di bruciature sui frutti e sulle foglie, cui si associa una miglior penetrazione della stessa radiazione fotosinteticamente attiva all'interno della copertura vegetale.

- la presenza di elevate quantità d'acqua sulla copertura della serra (come del resto anche in tutte le altre zone di essa) può causare una riduzione della temperatura dell'aria nell'ambiente protetto, anche laddove l'interesse è, al contrario, quello di mantenere la maggior quantità di calore possibile (Ashkenazy, 1997)
- in casi estremi le gocce possono avere un effetto simile a quello di una lente e causare bruciature sulle foglie e i frutti.

La condensa in forma di gocce svolge, tuttavia, anche un altro effetto positivo oltre alla diffusione della luce diretta. E' infatti in grado di migliorare la ritenzione della radiazione infrarossa lunga all'interno della serra, aumentando in tal modo la termicità del film, e quindi consentendo di ridurre le perdite di calore durante la notte (Chiapale, 1984; Delwiche e Willits, 1984; De Halleux *et al.*, 1985; Seginer e Kantz, 1989; Feuilloley *et al.*, 1994). In prove sperimentali condotte da Fänrich *et al.* (1989) non è stata invece riscontrata una diminuzione del coefficiente di trasferimento termico del materiale di copertura in presenza di gocce di condensa.

Per ovviare al problema della formazione di singole gocce isolate sulla copertura, si può andare ad agire sulla natura chimica della matrice polimerica oppure sulla superficie del film. A tal proposito è importante soffermarsi sul concetto di tensione superficiale: essa è definita dal rapporto $\gamma = (\text{energia libera di superficie} / \text{superficie})$ e si esprime in millinewtons/metro (mN/m). Determina l'angolo di contatto θ in un punto di contatto solido – liquido – aria. Per un dato solido è possibile classificare differenti liquidi in funzione dell'angolo θ . I liquidi vengono definiti “bagnanti” se $\theta < 90^\circ$ e “non bagnanti” se $\theta > 90^\circ$. All'inverso la nozione di bagnabilità permette di distinguere differenti solidi in rapporto ad un dato liquido. I solidi che hanno la miglior bagnabilità, per l'acqua ad esempio, sono quelli in cui l'angolo di contatto di

una goccia d'acqua è ridotto. Questi solidi presentano la tensione superficiale solido-liquido più bassa per l'acqua. Per migliorare la bagnabilità della superficie di un solido per un determinato liquido è necessario diminuire la sua tensione superficiale in rapporto a quel liquido. Così, diminuire la tensione superficiale di un polimero (es: un film plastico) significa migliorare la compatibilità fisico-chimica con il liquido considerato, che nel caso specifico è l'acqua. Questa modifica porta ad una riduzione dell'angolo θ , facendo sì che la condensa si ripartisca uniformemente sulla superficie del manufatto, invece di formare singole gocce (Toneatti, 1989). Per ottenere questo effetto, detto "antigoccia", si può agire in tre modi differenti, di cui solamente il secondo e il terzo sono impiegati nella pratica (Ashkenazy, 1997):

- applicare una forte scarica elettrica per ossidare la superficie del film e creare una polarità
- utilizzare polimeri o copolimeri la cui natura sia polarizzata e idrofila
- aggiungere al polimero additivi tensioattivi che, migrando verso la superficie del film, gli conferiscono un carattere idrofilo

Il terzo metodo è senza dubbio quello attualmente più diffuso. Gli additivi antigoccia hanno proprio la funzione di abbassare la tensione superficiale liquido – solido per far sì che la condensa assuma la forma di una sottile pellicola d'acqua, piuttosto che di singole gocce separate le une dalle altre. Si tratta di sostanze tensioattive simili ai saponi, con i quali hanno in comune una sequenza lipidica idrofoba, che ne facilita l'ancoraggio alla matrice plastica ritardando la migrazione verso la superficie, e una parte idrofila che ha la funzione di abbassare la tensione di superficie dell'acqua di condensa. Vengono generalmente impiegati alcoli come il glicerolo (che ha tre gruppi $-OH$) o il sorbitolo (sei gruppi $-OH$) in sostituzione del potassio e del sodio usati nei saponi. Questi alcoli vengono esterificati in acidi grassi a catena lunga, privilegiando la produzione di monoesteri in modo da conservare il maggior numero possibile di gruppi $-OH$ e quindi l'effetto desiderato. I diesteri hanno infatti minor efficacia dei monoesteri, mentre i triesteri sono assolutamente da evitare perché incapaci di ridurre il carattere idrofobo dei polimeri (Ashkenazy, 1997; Espí *et al.*, 2004).

Questi additivi tensioattivi vengono miscelati con il polimero di base prima dell'estrusione e, quando il film è in opera, migrano dall'interno verso la superficie dello stesso, dove, mescolandosi con l'acqua di condensa fanno sì che questa scivoli giù lungo le pareti sotto forma di una sottile pellicola d'acqua, che, progressivamente, consuma tutto l'additivo

presente originariamente nella plastica. L'effetto antigoccia non è quindi infinito, ma perdura solo per un certo tempo, che può essere più o meno lungo in dipendenza di vari fattori, quali:

- lo spessore del film (la quantità totale di additivo disponibile per migrare verso la superficie è infatti direttamente proporzionale allo spessore del manufatto, quindi più il film è spesso e più, a parità di altre condizioni, l'effetto antigoccia è duraturo)
- la percentuale di additivo antigoccia nella miscela
- la qualità dell'additivo
- la compatibilità dell'additivo con il polimero in cui è incorporato
- l'interazione dell'additivo con altri additivi presenti nella matrice polimerica, come gli stabilizzanti all'U.V., gli additivi di messa in opera, le cariche minerali ecc. (ad esempio le cariche minerali comunemente aggiunte al polimero per aumentarne la termicità possono influenzare il tasso di migrazione degli additivi anti-drop verso la superficie)
- le condizioni di stoccaggio del film nel tempo che intercorre tra la sua produzione e la sua installazione sulle strutture della serra (temperatura, umidità, ecc.)
- la pluviometria della zona (anche in un film multistrato una parte dell'additivo migra verso la faccia esterna, dove viene lisciviato dalla pioggia)
- la temperatura e l'umidità relativa della serra (più elevati sono questi parametri, più rapidamente si esaurisce l'additivo)
- il volume e l'altezza dell'ambiente protetto, oltre alla pendenza del tetto e alla presenza di schermi termici, doppie pareti, impianti di areazione, ecc.
- l'evapotraspirazione della coltura (alcune colture, come il pomodoro e il cocomero, traspirano molto e così riducono notevolmente la durata degli additivi antigoccia)
- il periodo d'installazione del film (lo stesso manufatto può manifestare una diversa durata dell'effetto antidrop in funzione del mese in cui viene messo in opera).

Considerata la diversità dei parametri suddetti e la difficoltà di controllarli in modo completo, è estremamente difficile prevedere con certezza, a priori, quale sarà la durata delle performances antigoccia di un film.

La capacità degli additivi anti-drop di ridurre la tensione superficiale solido-liquido e di far sì che l'acqua scivoli sotto forma di un film continuo d'acqua è di fondamentale importanza per mantenere inalterata la trasmittanza PAR del manufatto, trasmittanza che in alcune prove

sperimentali ha fatto registrare valori addirittura superiori a quelli osservati nel film secco (Lieftink e Van Oosten, 1986; Geoola *et al.*, 1994; Pieters, 1996). Il film d'acqua continuo può tuttavia creare problemi qualora incontri, durante il proprio ruscellamento, alcuni dei fili presenti normalmente negli apprestamenti di protezione, come quelli che vengono tesi tra gli archi della struttura dei tunnel. Questo infatti dà luogo ad un gocciolamento molto localizzato, che può aumentare l'insorgenza di malattie crittogamiche nella coltura eventualmente presente sotto di essi. Si tratta di un problema di difficile risoluzione, a meno che non si apportino modifiche strutturali, perciò è consigliabile ricorrere a strutture idonee a questa tipologia di coperture.

Infine è importante accennare al fenomeno della nebbia, che talvolta si forma al mattino sotto le coperture con caratteristiche antigoccia, in presenza di inversione termica. Nelle ore mattutine seguenti a notte fredde e con cielo sereno si ha infatti un rapido riscaldamento dell'aria esterna ad opera del sole, che la riscalda fino a temperature superiori a quella dell'aria confinata nell'ambiente protetto. Su di un film antigoccia il volume d'acqua di condensa è in generale minore rispetto ad un film tradizionale, soprattutto per il fatto che il ruscellamento è facilitato. D'altra parte la superficie d'acqua in contatto con il film è maggiore a causa del fatto che l'acqua stessa si trova sotto forma di una sottile pellicola. Di conseguenza essa evapora più facilmente e satura rapidamente l'ambiente interno per poi ricondensare sotto forma di nebbia. E' un fenomeno più spettacolare che dannoso e comunque rapidamente eliminabile con una buona areazione (Toneatti, 1989).

I.6 PRINCIPALI TIPOLOGIE DI FILM PLASTICI DI COPERTURA

I.6.1 Film a lunga durata e stabilizzazione delle plastiche agricole

I film plastici, una volta esposti in campo, subiscono, come ricordato nei paragrafi precedenti, l'azione degli elementi climatici (radiazione solare, temperatura dell'aria, pioggia, grandine, polvere, inquinanti, ecc.) che ne provocano una più o meno rapida degradazione, in funzione del materiale considerato, della sua particolare formulazione e dell'intensità dei suddetti agenti atmosferici, che dipende, a sua volta, dalla localizzazione geografica, dalla stagione e dalle particolari condizioni climatiche locali. L'effetto della radiazione ultravioletta (UV) gioca, al riguardo, un ruolo prioritario nella degradazione delle plastiche.

I film a lunga durata sono quelli stabilizzati con specifici additivi anti-UV, con lo scopo di ottenere manufatti in grado di assicurare una permanenza della copertura sulle strutture dell'apprestamento di protezione che sia consona alle particolari esigenze di coltivazione (Magnani, 2004b).

In passato la normativa italiana, così come quella di altri paesi, faceva riferimento ai film cosiddetti "a durata stagionale", ovvero quelli che messi in opera in autunno dovevano raggiungere in condizioni meccaniche adeguate la seguente primavera, distinguendoli dai film "a durata annuale", cioè quelli adatti per un'esposizione che andava dall'autunno all'estate successiva, mentre i film "a lunga durata" erano stati inseriti in una norma provvisoria. Si trattava di una classificazione connotata da elevato empirismo, in quanto considerava l'ipotetico comportamento dei film nei confronti della degradazione unicamente nelle condizioni del territorio italiano, perdendo perciò di significato in un contesto europeo, dove, tra le diverse aree geografiche, esistono differenze di irraggiamento solare talvolta notevoli, a parità di stagione considerata.

La nuova normativa europea EN13206, in vigore dal 2001, denominata "*Covering thermoplastic films for use in agriculture and horticulture*", inclusa dal 2002 nelle normative italiane con il titolo "Film termoplastici di copertura" (Magnani, 1999), ha considerato sotto una nuova luce i film plastici durevoli, classificandoli secondo un criterio più razionale, in grado di fornire risposte più attendibili e confrontabili una volta che i film vengano messi in opera sulle strutture delle serre. Si tratta infatti di un criterio che tiene conto soltanto di dati certi sulla degradazione dei polimeri, come sono quelli che si possono rilevare in laboratorio

attraverso l'invecchiamento artificiale accelerato, stabilito seguendo le prescrizioni della norma ISO 4892-2, ossia mediante apposite apparecchiature (*Weather-o-meter* o WOM), nel quale il film plastico viene esposto a specifiche lampade allo xeno, che ne determinano la perdita delle caratteristiche meccaniche, emettendo energia radiante con distribuzione spettrale assimilabile a quella del sole (dall'UV all'IR corto). Il fabbricante, in base ai dati raccolti in laboratorio, deve dichiarare all'origine la durata del materiale di copertura, collocandolo in una delle sei categorie commerciali previste dalla normativa. Ognuna di esse corrisponde ad un periodo di esposizione, espresso in ore, trascorso nelle apparecchiature per l'invecchiamento artificiale, un periodo questo inferiore a quello richiesto per raggiungere un decremento percentuale dell'allungamento a rottura pari al 50% del valore iniziale, che rappresenta una riduzione limite, oltre la quale le caratteristiche meccaniche vengono considerate non più sufficienti per mantenere in opera il manufatto. Naturalmente, per seguire questo criterio, si è dovuto individuare una correlazione, sia pur empirica, tra l'invecchiamento artificiale accelerato, ottenuto con il WOM, e l'invecchiamento naturale. Su queste basi, ogni singolo produttore di materiale plastico, ha la facoltà di fornire all'agricoltore le indicazioni di durata in mesi di un film, facendo riferimento all'area geografica di esposizione e all'epoca di messa in opera, in quanto la "vita media" di un materiale risulterà, in una stessa zona, molto più lunga se questo verrà installato sulle strutture portanti della serra in settembre invece che in luglio – agosto.

Com'è ovvio, nella norma non si è fatto nessun riferimento alla natura e alla percentuale di additivi da impiegare per la preparazione del film, dato che essi esistono ormai in una vasta gamma di composti, diversificati tra loro per natura chimica, per il meccanismo d'azione e per la risposta di fronte a determinati elementi chimici che possono trovarsi nell'ambiente di coltura. Ed è proprio in relazione a questa risposta che la sintesi di sostanze stabilizzanti ha registrato negli ultimi anni un notevole progresso.

I prodotti stabilizzanti all'UV possono essere classificati, in base al loro meccanismo di azione, in tre gruppi principali:

- assorbitori di raggi UV (UV-adsorbers): appartengono a questo gruppo i benzofenoni, i benzotriazoli e le triazine. Determinano un effetto schermo, competendo con il materiale nell'assorbimento dei raggi UV. L'energia assorbita viene rilasciata sotto forma di calore tramite un processo di tautomerizzazione chetone-enolo. Si tratta di un meccanismo ciclico, per cui questi prodotti restano

attivi per tutta la durata di vita del film. Tuttavia sono soggetti alla legge di Lambert e limitati da questa, quindi vengono generalmente impiegati nei film agricoli in combinazione con prodotti aventi un meccanismo d'azione differente, che ne completano le proprietà stabilizzanti (Lelli e Gugumus, 1996).

- Disattivatori degli stati eccitati: vi appartengono gli additivi a base di nichel organico (Ni-Quenchers). Disattivano gli stati eccitati dei gruppi cromofori che hanno già assorbito l'energia radiante, dissipando questa energia sotto forma di calore o per radiazione fluorescente o fosforescente. Conferiscono al manufatto in cui vengono inseriti un caratteristico colore giallo – verdastro, e sono caratterizzati da una maggior resistenza all'azione negativa degli agrochimici rispetto ad altri composti, quali le HALS secondarie. Presentano tuttavia notevoli problemi di smaltimento, in quanto producono sostanze cancerogene durante l'incenerimento (Lelli e Gugumus, 1996).
- Captatori di radicali liberi: rientrano in questo gruppo le ammine stericamente impedito (HALS: *Hindered Amine Light Stabilizer*). Tutte le HALS commercializzate contengono come gruppo funzionale la piperidina, gruppo alifatico eterociclico con 5 atomi di carbonio e il sesto di azoto (Favia, 2002). Il loro meccanismo d'azione è il seguente: le HALS vengono ossidate per formare dei radicali nitrosili, che reagiscono con degli alchil – radicali liberi per formare degli amino – eteri. Questi, a loro volta, bloccano i radicali perossido liberi rigenerando in tal modo i radicali nitrosili e preparando le HALS a ricominciare un nuovo ciclo di stabilizzazione che prende il nome di ciclo di Denisov (Gugumus, 1990). Le HALS sono sensibili (in particolare quelle secondarie) all'azione dei prodotti fitosanitari comunemente usati sotto serra, soprattutto quelli contenenti S, Cl, Br, Cu e Fe, che danno origine a composti acidi in grado di disattivarle (Lelli e Gugumus, 1996).

E' interessante a questo punto ripercorrere quella che è stata l'evoluzione storica degli stabilizzanti UV comunemente impiegati per prolungare la vita utile delle plastiche. Fino al 1978 gli unici composti disponibili erano rappresentati da miscele di benzofenone e Ni-Quenchers, responsabili, come ricordato in precedenza, della colorazione giallo – verdastra

dei film, colorazione che aveva come effetto negativo quello di ridurre la trasmissione luminosa della radiazione PAR del manufatto. Per questa ragione l'impiego delle ammine stericamente impedito (HALS secondarie), a partire dagli anni Ottanta, rappresentò una notevole innovazione nel campo della stabilizzazione dei film di copertura, in quanto i film stabilizzati con i nuovi additivi presentavano una miglior efficienza nel rallentare la degradazione del polimero innescata dalla radiazione UV, sia in prove di invecchiamento accelerato in laboratorio (Henninger e Pedrazzetti, 1988; Lemaire, 1993), sia in condizioni di invecchiamento naturale sulle strutture della serra (Magnani *et al.*, 1985).

Oltre che per l'estrusione di film a più lunga durata, le HALS trovarono conveniente applicazione anche in film di copertura adatti ad esposizioni stagionali non molto prolungate, film che, se non additivati, avrebbero perso dopo un periodo di circa 40-50 Klys di irraggiamento solare ($1 \text{ Kly} = 1 \text{ KLangley} = 1 \text{ Kcal/cm}^2 = 41,86 \text{ MJ/cm}^2$; $1 \text{ Kly/anno} = 1,33 \text{ W/m}^2$), le caratteristiche meccaniche idonee ad assicurare l'integrità della copertura (Lelli e Gugumus, 1996).

Stabilizzando i film con le HALS, essi rimanevano inoltre completamente incolori e altamente trasparenti nella bande del PAR (400-700 nm), a differenza di quelli additivati con Ni-Quenchers, con riflessi positivi sulle colture, per cui si potevano conseguire sotto le coperture con essi realizzate produzioni quantitativamente e qualitativamente più elevate (Magnani *et al.*, 1985; Lagier *et al.*, 1992; Magnani, 1993).

Accanto a questi notevoli vantaggi, le HALS secondarie, essendo sostanze basiche, dimostravano tuttavia un'elevata sensibilità ai residui di alcuni fitofarmaci largamente impiegati nelle serre e ancora non sostituibili (geodisinfestanti contenenti zolfo, insetticidi a base di alogeni, ecc.), che riducevano in maniera significativa il loro effetto stabilizzante (Barahona e Vasquez, 1985; Henninger e Pedrazzetti, 1990; Henninger e Roncaglione, 1990; Lelli e Gugumus, 1996). L'effetto di degradazione, inoltre, si intensificava in situazione di contemporanea presenza di diverse tipologie di residui e veniva favorito dall'innalzamento delle temperature ambientali, secondo un processo che non si poteva impedire né aumentando il contenuto percentuale di additivo (Desriac, 1991; Lagier *et al.*, 1992) né miscelando tra loro i vari formulati (Rooze, 1990). Per questi motivi i nuovi additivi non sostituirono completamente, per la preparazione di film a lunga durata, i Ni-Quenchers, inerti nei confronti dei fitofarmaci, ma che presentavano, oltre agli inconvenienti di tipo agronomico correlati alla loro minor trasmittanza alla radiazione solare, un non trascurabile impatto ambientale, specialmente nel caso di uno smaltimento non corretto dei film (Lagier *et al.*, 1992).

La necessità di additivi capaci di stabilizzare il polimero e di salvaguardare la durata delle coperture anche nei casi in cui queste fossero a contatto con residui di fitofarmaci, senza nel contempo conferire colorazioni indesiderate al manufatto, responsabili della riduzione di trasmissione luminosa dello stesso, portò alla comparsa sul mercato, a metà degli anni Novanta, di nuovi sistemi stabilizzanti (Lelli e Gugumus, 1996; Guo *et al.*, 1997; Lelli e Bonora, 1997), sistemi composti da un complesso di prodotti chimici e, nello specifico: da un'HALS terziaria (meno reattiva nei riguardi dei residui acidi dei fitofarmaci), da ossidi di metalli (che agiscono sia da neutralizzatori delle predette sostanze acide, sia come assorbitori delle radiazioni UV, si da proteggere le catene del polimero) e da stearati (che svolgono azione sinergica con quella degli ossidi). L'eccellente comportamento dei film a lunga durata stabilizzati con questi sistemi innovativi è stato ampiamente dimostrato sia in prove preliminari, sia nelle reali condizioni di impiego in presenza di residui di insetticidi e fungicidi depositatisi accidentalmente o per sublimazione sulla copertura delle serre; e tale maggior durata dei film additivati con i nuovi stabilizzanti era sicuramente da mettere in relazione con l'inerzia di questi ultimi nei confronti dei composti acidi derivanti dai fitofarmaci (Rooze, 1990; Desriac, 1991; Guo *et al.*, 1997; Magnani *et al.*, 1997a; Shachar *et al.*, 1998). Rispetto ai film non additivati o additivati con miscele di HALS secondarie e benzofenone, quelli stabilizzati con i nuovi sistemi hanno presentato tuttavia caratteristiche ottiche leggermente modificate. Infatti, per la presenza nel polimero degli ossidi metallici e degli stearati, i film trasmettono la radiazione solare diffondendola in misura più o meno elevata all'interno dell'apprestamento di protezione e, per questo motivo, rientrano nella categoria dei materiali definiti "traslucidi". La loro opalescenza dipende, ovviamente, dalla concentrazione dell'additivo, per cui le differenze, rispetto ai film tradizionali a base di sole HALS, vengono ad essere minimizzate nei film a durata più breve (stagionali) e massimizzate in quelli più durevoli, fortemente stabilizzati; in quest'ultimo caso il quantitativo di radiazione PAR disponibile per la pianta risulta, anche se di poco, più ridotto rispetto a quello che si rileva nei film additivati con le HALS tradizionali, ma analogo o superiore a quello dei film con Ni-Quenchers e benzofenone.

La modifica delle caratteristiche ottiche riconducibile a tali sistemi innovativi non si è tuttavia mai riflessa negativamente sulla produzione delle colture, produzione che addirittura viene spesso ad essere migliorata, proprio in virtù della capacità di diffondere la luce legata all'aggiunta al polimero di questi composti. Risultati produttivi migliori, sia dal punto di vista quantitativo che qualitativo, sono stati infatti ottenuti su varie colture orticole e floricole

(Magnani *et al.*, 1997; Magnani e Bonora, 2000; Lagier *et al.*, 2000). Del resto l'apparato fogliare delle piante viene a trovarsi in condizioni più equilibrate d'illuminazione, senza una netta separazione tra luce ed ombra, con conseguenti risvolti positivi sulla fisiologia delle piante stesse e, quindi, sulla loro produzione.

Ultimi in ordine di tempo, sono stati messi a punto e poi commercializzati altri stabilizzanti ottenuti grazie ad una formulazione organica innovativa. Si tratta delle cosiddette HALS-NOR, che, oltre a non alterare le proprietà ottiche del film nelle bande del PAR, sono risultate ancora più efficienti per salvaguardare la durata della copertura, essendo per natura chimica meno basiche delle HALS tradizionali, per cui il materiale plastico è maggiormente protetto anche nel caso in cui si trovi a contatto con residui di trattamenti chimici molto drastici impiegati per la difesa delle colture.

Riguardo alle caratteristiche radiometriche nelle bande spettrali a più ridotta lunghezza d'onda, i film additivati con HALS-NOR sono caratterizzati da una maggior impermeabilità alla radiazione UV, una caratteristica questa che perdura per tutto il tempo della loro permanenza in opera. Se infatti i film preparati con i tradizionali stabilizzanti perdevano gran parte della loro impermeabilità alla radiazione ultravioletta nel giro di qualche mese, a causa di incompatibilità, volatilità o fotoinstabilità di questi composti, i film additivati con i nuovi stabilizzanti mostrano un'assoluta persistenza delle caratteristiche radiometriche iniziali, una caratteristica questa che se era anche ottenibile con gli ossidi metallici utilizzati insieme alle HALS terziarie non poteva però raggiungere un valore assoluto, in quanto tali ossidi non riescono ad esser impermeabili alla radiazione UV in tutto lo spettro né in misura totale alle lunghezze d'onda ove assorbono tale radiazione. L'ottimo comportamento delle HALS-NOR, ai fini della produzione delle colture, è stato evidenziato in varie sperimentazioni agronomiche condotte su diverse specie sia orticole che floricole (Jaffrin, 2002; Magnani *et al.*, 2003; Lima *et al.*, 2006; Filippi *et al.*, 2007a).

La durata di un film plastico, infine, oltre che dal tipo di additivo stabilizzante impiegato, dal tipo di polimero di base, dalle condizioni climatiche della zona ecc. dipende anche da alcuni accorgimenti che devono essere presi nel momento della posa del film stesso sulle strutture della serra e, successivamente, durante la sua permanenza in opera. E' opportuno ad esempio proteggere con della vernice bianca il manufatto nei punti di contatto con gli archi, garantire una sufficiente areazione della serra per evitare temperature troppo elevate, fare in modo che i prodotti fitosanitari in grado di interagire con gli stabilizzanti UV raggiungano il meno

possibile la copertura, usare solo acqua chiara per lavare prodotti ombreggianti o di altro tipo, ecc. (Printz, 1992).

I.6.2 Film termici

Si definiscono “termici” i film in grado di trattenere il calore all’interno della serra durante la notte. La capacità di limitare le perdite calorifiche è legata all’opacità di tali plastiche alla radiazione infrarossa ad elevata lunghezza d’onda (7000 – 13000 nm), emessa soprattutto dal terreno, ma anche dalle strutture della serra, ecc. nelle ore notturne.

Secondo la normativa europea (EN13206), i film “termici” sono quelli in cui la trasmissione dell’infrarosso è inferiore al 20% (infatti più bassa è tale trasmissione, maggiore è la termicità e quindi la capacità di mantenere il calore all’interno dell’ambiente protetto). Questo effetto barriera alla radiazione termica, noto come “effetto serra”, si può ottenere impiegando polimeri e copolimeri che posseggono caratteristiche intrinseche di opacità all’IR lungo, come il cloruro di polivinile (PVC), la poliammide (PA), l’etilenvinilacetato (EVA), l’etilenbutacrilato (EBA), l’etilenmetacrilato (EMA) e l’etilentetrafluoroetilene (ETFE) (Ferraresi *et al.*, 2010), oppure attraverso l’aggiunta al polimero di base di specifici additivi costituiti da cariche minerali contenenti silice, silicati (talco, mica, caolino), carbonati ecc. (Hancock, 1988). L’impiego di tali minerali si traduce nell’assorbimento e riemissione immediata di energia calorifica, radiante in tutte le direzioni, in quanto particelle metalliche come l’alluminio, il rame ecc. sono in grado di riflettere la radiazione infrarossa emessa dal terreno e diretta verso l’atmosfera indietro nella serra, funzionando di fatto come una superficie riflettente. Accanto a questi vantaggi, presentano tuttavia alcuni inconvenienti: possono ridurre considerevolmente la trasparenza della copertura e, qualora i metalli si trovino combinati a certi stabilizzanti alla luce, catalizzare il processo di foto-ossidazione, soprattutto se le cariche minerali non sono state precedentemente purificate dei loro elementi ferrosi (Ashkenazy, 1997). Possono inoltre influenzare negativamente le proprietà meccaniche del film, con fenomeni di irrigidimento che risultano poco graditi sia al momento della sua messa in opera, sia durante la permanenza dello stesso sulle strutture della serra o del tunnel (López, 2003). Infine hanno la tendenza a surriscaldarsi in corrispondenza delle zone di contatto con gli elementi strutturali dell’apprestamento di protezione.

La categoria dei film termici è ben conosciuta fin dagli anni Settanta per i vantaggi che tali materiali hanno apportato e ancora apportano alle coltivazioni sotto serre non climatizzate, prive di riscaldamento. Il loro sviluppo ha segnato un passo importante nella storia della plasticoltura, contribuendo in maniera significativa al boom economico di vaste aree geografiche, come ad esempio il sud-est spagnolo, divenute poi punti di riferimento a livello mondiale dell'agricoltura ad alto rendimento sotto copertura plastica. La loro utilità non si limita tuttavia alle sole serre fredde, ma consente notevoli risparmi in termini energetici anche in strutture dotate di impianti di riscaldamento.

Le più importanti acquisizioni tecnologiche nel campo dei materiali ad effetto termico risalgono, in ogni caso, agli anni Ottanta, periodo in cui fu possibile svincolarsi, quanto al polimero di base, dal tradizionale cloruro di polivinile (PVC), che aveva costituito fino a quel momento la migliore soluzione per ottenere il già citato “effetto barriera all'IR lungo”, ma che presentava, nel contempo, difficoltà di gestione in relazione a molteplici aspetti. L'attenzione si rivolse perciò verso l'impiego del copolimero etilenvinilacetato (EVA), eventualmente combinato, soprattutto tramite il processo di coestrusione, con il polietilene (LDPE), un polimero dotato di pregevoli caratteristiche meccaniche ma di mediocri proprietà termiche, migliorabili tuttavia attraverso l'aggiunta delle cariche minerali descritte in precedenza (Magnani, 1987; Magnani e Oggiano, 1990; Falleri e Magnani, 1991; Magnani, 1993).

Dopo tali acquisizioni, il principale fine della ricerca fu quello di migliorare i film di copertura sotto il profilo merceologico. Questo complesso di soluzioni tecnologiche innovative fu completamente recepito dalla normativa europea EN13206 (Magnani, 1999), nella quale i film termici vengono distinti in “trasparenti” (con prevalente trasmissione di luce diretta) e “traslucidi” (con prevalente trasmissione di luce diffusa), senza fare nessun ulteriore riferimento né ai processi tecnologici adottati dall'industria per la loro estrusione, né alla percentuale di polimeri utilizzati, pur tenendo conto che la normativa prendeva in considerazione solo quelli di uso comune, ovviamente in tutte le loro mescole, ossia il polietilene a bassa densità (LDPE), quello lineare (LLDPE) e l'etilenvinilacetato (EVA).

Ma in quegli anni prese avvio anche una tematica di ricerca volta a migliorare l'efficienza dei film di copertura destinati alle colture protette dell'ambiente mediterraneo, caratterizzato da un clima che determina, con una certa frequenza e per lunghi periodi, un eccessivo innalzamento della temperatura dell'aria all'interno dell'apprestamento di protezione, il cui effetto negativo è in grado di condizionare la crescita e la produzione delle colture. Tra le possibili soluzioni al problema vi è l'aggiunta al polimero di base di particolari additivi in

grado di limitare l'ingresso nella serra della radiazione infrarossa corta (780 – 1500 nm), responsabile del riscaldamento dell'aria confinata sotto la copertura. Si tratta di specifiche cariche minerali e pigmenti, molti dei quali ancora in fase di studio, che permettono di contenere le escursioni termiche nell'ambiente protetto (Verlodt *et al.*, 1995 e 1997; Benoit e Ceustermans, 1997; Schultz, 1997; Tanaka *et al.*, 1997; Verlodt e Verschaeren, 2000; Hoffmann e Waaijemberg, 2002; Von Elsner, 2006; Poch, 2007; Lopez-Marin *et al.*, 2008). Aberkany *et al.* (2008a e 2008b), hanno invece testato, con risultati positivi, una speciale schiuma che viene iniettata tra due film di LDPE (usati come copertura) ed è capace di ridurre i picchi di temperatura durante l'estate e nelle ore più calde della giornata.

Nel corso degli anni, altre soluzioni tecnologiche sono state proposte al problema del contenimento degli eccessi termici in coltura protetta. Tra queste il film che imprigiona al suo interno minutissime bolle d'aria (Magnani *et al.*, 1997b), per creare, oltre ad una marcata diffusione della luce trasmessa, una sorta di barriera termica, con riflessi positivi sia sulla temperatura notturna, più elevata rispetto ad un film tradizionale, sia su quella diurna, di cui viene contenuto l'innalzamento, con relativo beneficio delle colture. Di acquisizione più recente è invece un materiale di copertura, riconducibile anch'esso ai film termici, caratterizzato dall'inclusione di microsfele di vetro (con diametro medio pari a 50µm) nel polimero di base. Lo scopo era quello di ottenere un film termico in grado di ridurre lo scarto tra temperature minime e massime sotto le coperture e, nel contempo, determinare un'apprezzabile diffrazione della luce trasmessa. Tale film innovativo, che è stato testato presso l'Università di Pisa, ha fatto sì che all'interno dell'apprestamento di protezione si creassero condizioni ambientali più favorevoli per l'accrescimento e lo sviluppo delle ortive, che hanno portato infine a livelli produttivi più elevati (Magnani e Filippi, 2006).

I suddetti film termici, in grado di ridurre lo scarto tra temperature minime notturne e massime diurne, vengono definiti “ad effetto termico speciale” (Ferraresi *et al.*, 2010) per distinguerli da quelli ad effetto termico tradizionale.

Tra le ultime novità nel campo dei film termici di copertura, è possibile ricordare i fluorurati (Zanon D., 1990), quali il PTFE (politetrafluoroetilene) e l'ETFE (etilene-tetrafluoroetilene), caratterizzati da eccellenti proprietà ottico-radiometriche e di durata, ma nel contempo anche da costi elevati, che ne hanno limitato la diffusione (Stefani *et al.*, 2008).

Altri materiali innovativi sono i film ottenuti per coestrusione della poliammide (PA) con polimeri quali LDPE, LLDPE, EVA ed EBA. Si tratta di film coestrusi, multistrato, con la poliammide che può essere posta sia sullo strato più esterno che su quello più interno. Nel

primo caso si ottiene un notevole effetto anti-sporcamento (anti-dust), grazie alle proprietà antistatiche del polimero, che riducono l'adesione del pulviscolo ambientale sulla superficie del film. Se invece la PA viene posta all'interno svolge un'azione antigoccia permanente in virtù della sua particolare formulazione. Ma questo nuovo polimero consente anche di ottenere un effetto termico molto elevato, in grado di garantire, a parità di spessore, un "effetto barriera" alla radiazione IR lunga superiore del 30% rispetto ad un film in EVA e del 10% rispetto ad uno in PVC. Prove sperimentali condotte presso il Dipartimento di Biologia delle Piante Agrarie dell'Università di Pisa hanno messo in evidenza le notevoli performances produttive di questa nuova tipologia di film plastici (Filippi *et al.*, 2010; Magnani *et al.*, 2011).

I.6.3 Film fotoselettivi

I fotoselettivi rappresentano l'ultimo livello di evoluzione dei film di copertura delle serre. Appartengono a questo gruppo varie tipologie di plastiche, da quelle capaci di bloccare alcune bande di lunghezza d'onda (ad esempio i film termici ad effetto speciale descritti nel paragrafo precedente) lasciandone passare altre, a quelle che assorbono la stessa radiazione in un certo intervallo di lunghezze d'onda (es: UV) per riemetterla a lunghezza d'onda superiore (es: PAR).

Gli stessi manufatti additivati con stabilizzanti alla luce possono essere ascritti a questo gruppo, in quanto il blocco più o meno efficace delle radiazioni ultraviolette ha ripercussioni, ad esempio, sullo stato sanitario delle coltivazioni e sulla qualità delle loro produzioni. Le radiazioni UV, infatti, possono interferire con il ciclo biologico di alcuni patogeni (funghi e insetti vettori di virus), per cui le fitopatie ad essi riconducibili risultano, in mancanza di tali radiazioni, quantomeno rallentate nella loro diffusione all'interno delle colture protette (Leach, 1962 e 1967; Onesirosan e Bantari, 1969; Honda e Yunoki, 1977; Honda *et al.*, 1977; Kumagai, 1982; Sasaki *et al.*, 1985; Reuveni *et al.*, 1989; Vakalounakis, 1991; Panagopoulos *et al.*, 1992; Reuveni e Raviv, 1992 e 1998; Nicot *et al.*, 1996; Elad, 1997). Sui presupposti teorici dell'effetto "antifungino", limitato ovviamente ad alcune specie fitopatogene, che caratterizza i materiali di copertura stabilizzati alla luce, ovverosia sulle interazioni tra radiazioni UV a determinate lunghezze d'onda e crescita del micelio, formazione delle spore e loro germinazione, esiste ad oggi una vasta letteratura (Zachariah *et al.*, 1956; Walter, 1957;

Aragaki, 1961; Leach, 1962,1967 e 1971; Leach e Trione, 1966; Luckens, 1966; Honda *et al.*, 1977; Rotem *et al.*, 1978; Shahim e Shepard, 1979; Vakalounakis, 1982; Sasaki *et al.*, 1985).

In sostanza, è stato ampiamente dimostrato che la radiazione solare gioca, in molti casi, un ruolo determinante quale agente induttore delle modificazioni morfologiche da cui si originano la differenziazione delle spore e la loro germinazione. Sebbene le ricerche fin qui condotte siano principalmente di laboratorio, dove è stata messa in evidenza la diversa sensibilità dei patogeni alla disponibilità di UV, esistono anche riferimenti a sperimentazioni effettuate in serra (Vakalounakis, 1991 e 1992; Reuveni *et al.*, 1994; Reuveni e Raviv, 1997), specialmente riguardo alla *Botrytis cinerea*, che, sotto lo stimolo dell'UV, può, in casi limite, indurre la sintomatologia dell'infezione nel prodotto anche in post-raccolta, come è stato osservato su steli recisi di rosa (Rodriguez *et al.*, 1999).

Sulla riduzione della mobilità degli insetti vettori di virus, invece, determinata dall'assenza di radiazione ultravioletta che viene bloccata dagli additivi inglobati nel film di copertura, non esistono molti riferimenti sperimentali. In California risultati molto significativi sono stati ottenuti in piccoli tunnel senza aperture e privi della coltivazione. In queste condizioni sperimentali, l'assorbimento della radiazione UV praticato dalla copertura ha represso il volo degli insetti in misura altamente significativa, tanto per l'aleirodide *Bemisia argentifolii*, quanto per il tripide *Frankliniella occidentalis* (Costa e Robb, 1999).

Sempre in California, tali risultati positivi sono stati solo in parte confermati su colture floricole (*Chrysanthemum* sp., *Solidago* sp., *Lisianthus* sp.) quando si operava in serre commerciali diversamente coperte con film che bloccavano la radiazione UV a 380 oppure 360 nm di lunghezza d'onda; i minori effetti registrati in queste condizioni sperimentali sono forse riferibili al fatto che, utilizzando tali serre, la radiazione penetrava, almeno in parte, nell'ambiente protetto attraverso le finestre (Costa *et al.*, 2002). Anche a Taiwan, su colture di melone, sono stati osservati effetti, non sempre di facile interpretazione, sulla mobilità dell'entomofauna presente in serra (*Liriomyza bryoniae*, *Thrips palmi*, *Aphis gossypii*) in relazione alla diversa trasparenza all'UV della copertura (Cheng e Ho, 1997). In serre coperte con film che assorbivano con spettri differenti la radiazione UV, sono stati ottenuti, in colture di pomodoro e cetriolo, risultati altamente positivi sul contenimento delle popolazioni di insetti quali *Bemisia tabaci*, *Frankliniella occidentalis*, *Aphis gossypii*, e sulla conseguente incidenza della virosi responsabile dell'accartocciamento fogliare giallo del pomodoro (TYLCV), apparsa estremamente più elevata sotto la copertura che trasmetteva completamente la radiazione nelle bande dell'ultravioletto (Antignus *et al.*, 1996). Risultati

analoghi sono stati ottenuti, più recentemente, in Sicilia su pomodoro (Rapisarda *et al.*, 2006) mentre in Spagna l'efficacia dei film in grado di bloccare l'ultravioletto sulla riduzione dell'incidenza di virosi è stata osservata su lattuga (Feres *et al.*, 2003).

Riguardo al possibile effetto negativo dei film stabilizzati alla luce nei confronti dell'entomofauna utile, non sono state riscontrate, in sperimentazioni condotte in Italia e Giappone, riduzioni della mobilità dei bombi (*Bombus terrestris*) presenti sotto le coperture (Nishiguchi, 1999; Magnani *et al.*, 2007b), così come non sembra imputabile unicamente al film UV-blocking un'eventuale riduzione della mobilità delle api (*Apis mellifera* L.), in base a quanto è stato osservato in una prova condotta presso il Dipartimento di Biologia delle Piante Agrarie dell'Università di Pisa, su coltura di melone (Filippi *et al.*, 2007b).

I film opachi alla radiazione ultravioletta, tuttavia, oltre a condizionare lo sviluppo dei patogeni e l'attività degli insetti vettori di virus, sono in grado di influire anche sulla qualità della produzione, com'è stato evidenziato in prove sperimentali condotte su colture sia orticole che floricole. In particolare, su alcune cultivar di rosa, la mancanza dell'ultravioletto ha salvaguardato la qualità del fiore raccolto, riducendo la percentuale di annerimento dei petali e, conseguentemente, ha evitato un deprezzamento del prodotto (Raviv, 1988; Mor e Zieslin, 1990; Ramirez e Torres, 1995; Jaffrin, 2002). Al contrario, in alcuni ortaggi, la carenza di radiazioni UV sembra determinare un minor accumulo di composti fenolici (Boo *et al.*, 1997; Luthria *et al.*, 2006; García-Macías *et al.*, 2007; Ordidge *et al.*, 2010), i quali, come noto, giocano un importante ruolo come antiossidanti nell'alimentazione umana. In altre prove, condotte su vite, i materiali di copertura impermeabili all'UV hanno portato ad un minor contenuto di antociani nella buccia degli acini (Kataoka *et al.*, 2003), mentre in Israele, in pescheti coperti con polietilene che lasciava passare solo l'UV lungo, si è registrato un effetto positivo sull'accumulo degli antociani stessi in corrispondenza della maturazione dei frutti (Erez *et al.*, 1998).

Altra categoria di film fotoselettivi è quella dei fotocromatici, contenenti pigmenti o additivi che si colorano quando vengono esposti alla luce o ai raggi ultravioletti (UV), ma perdono la loro colorazione quando l'esposizione termina. Permettono di ottimizzare la trasmissione della radiazione fotosinteticamente attiva da parte della copertura, in quanto il colore che assumono corrisponde esattamente alla radiazione PAR, con conseguente effetto positivo sulla produttività delle colture (Lozano-González *et al.*, 1996a e 1996b).

Recentemente, la ricerca nel campo dei film per la protezione delle colture si è invece indirizzata verso lo sviluppo di film fotoselettivi innovativi in grado di modificare la

distribuzione spettrale della radiazione solare incidente (Novoplansky *et al.*, 1990a; Murakami *et al.*, 1996, 1998; Li *et al.*, 2000; Tatineni *et al.*, 2000; Runckle e Heins, 2001; Clifford *et al.*, 2004; Shahak *et al.*, 2004; Kittas *et al.*, 2006; Magnani *et al.*, 2007a; De Salvador *et al.*, 2008), in vista della possibilità di influenzare la morfogenesi e la crescita di alcune specie agrarie, andando ad agire su recettori quali il fitocromo (Smith, 1982) o variando il rapporto delle radiazioni visibili presenti nella banda del rosso o del blu rispetto a quello esistente nella radiazione solare PAR. Sono stati a tal proposito messi a punto laminati plastici in grado di alterare, in modo più o meno marcato, il rapporto tra le bande del rosso e quelle del rosso lontano, ossia tra 600-700 nm e 700-800 nm di lunghezza d'onda (Red/Far-red ratio), radiazioni, queste, che condizionano il comportamento del fitocromo suddetto (Kittas e Baille, 1998; Kittas *et al.*, 1999). Attualmente, la maggior parte degli autori è concorde sul fatto che incrementando il rapporto R/Fr si ottengono, in ambiente protetto, piante più compatte, mentre diminuendo il rapporto stesso si verifica l'effetto contrario, ossia si ha un portamento in linea generale più allungato dei vegetali (Cui *et al.*, 1995; Murakami *et al.*, 1995a, 1995b, 1996, 1997 e 1998; Rajapakse *et al.*, 1999 e 2001; Li *et al.*, 2000 e 2003; Takaichi *et al.*, 2000; Oren-Shamir *et al.*, 2001; Wilson e Rajapakse, 2001; Cerny *et al.*, 2003; Clifford *et al.*, 2004; Fletcher *et al.*, 2004; Rajapakse e Li, 2004; Ilias e Rajapakse, 2005; Lykas *et al.*, 2006; Schettini *et al.*, 2008b; Mata e Botto, 2009). Ricerche condotte su diverse specie orticole e floricole hanno inoltre evidenziato che l'incremento della radiazione nell'intervallo del blu (400-500 nm) produce piante caratterizzate da una maggior compattezza, mentre aumentando la radiazione nel rosso si ottiene l'effetto opposto (Oyaert *et al.*, 1999; Lykas *et al.*, 2006; Ovadia *et al.*, 2009). Con le suddette coperture si è cercato, principalmente, di ottenere piante più compatte senza dover ricorrere all'ausilio di fitoregolatori o, viceversa, più lussureggianti e anticipate per la fioritura.

Infine, nella categoria dei film fotoselettivi, possono essere annoverati i cosiddetti film fluorescenti (Tsekleev e Stoilov, 1990; Zarka e Zarka, 1990; Hemming *et al.*, 2006) e quelli luminescenti (Destro e De Corte, 2003; Magnani *et al.*, 2004a e 2007a; Schettini *et al.*, 2010; Vox *et al.*, 2010). Grazie a specifici additivi inclusi nel materiale, questi film sono in grado di assorbire la radiazione solare in determinate lunghezze d'onda e di riemetterla in differenti bande di lunghezza d'onda superiore (Kása *et al.*, 1997; Kittas e Baille, 1998). Ad esempio possono convertire la radiazione UV in radiazione compresa nelle bande del rosso (Tsekleev e Stoilov, 1990; Zarka e Zarka, 1990, Destro e De Corte, 2003; Magnani *et al.*, 2004a; Magnani *et al.*, 2007a) e determinare un incremento del rapporto R/Fr, oppure aumentare la radiazione

nel blu o nel rosso-blu (Schettini *et al.*, 2010; Vox *et al.*, 2010). Gli additivi impiegati nei film luminescenti possono essere costituiti, ad esempio, da luminofori organici molecolari, da complessi di terre rare contenenti composti organici (es: Ittrio, Europio, ecc.) o da fosfori cristallini inorganici. I primi sono caratterizzati da un'intensa emissione luminescente (rendimento quantico elevato) ma sono fotoinstabili, mentre gli ultimi sono eccellenti dal punto di vista della fotostabilità ma presentano un'intensità di luminescenza inferiore alle altre due tipologie di additivo (Kása *et al.*, 1997). In relazione al tipo di composti che vengono inclusi nel polimero è possibile ottenere sia film incolori (Tsekleev e Stoilov, 1990; Magnani e Fabbri, 1993) sia colorati (Novoplansky *et al.*, 1990a e 1990b; Zarka e Zarka, 1990; Park *et al.*, 1999; Magnani *et al.*, 2004a e 2007a). L'impiego di film fluorescenti e luminescenti per la copertura di serre e tunnel, come di altri apprestamenti di protezione, può avere differenti obiettivi, tra i quali il controllo della crescita e del portamento delle piante, della fioritura, della fruttificazione, ecc. senza far ricorso ai fitoregolatori, o, quantomeno, riducendone i quantitativi, con notevole vantaggio dal punto di vista della sostenibilità ambientale.

PARTE II: SCOPO DELLA RICERCA

Scopo del presente lavoro è stato quello di valutare, in un ambiente tipico dell'Italia centro-settentrionale, la rispondenza agronomica di nuovi film plastici termici di copertura delle serre, su una coltura di ampia diffusione qual è il pomodoro (*Lycopersicon esculentum* Mill.), con l'obiettivo di ottenere informazioni utili circa le potenzialità produttive dei suddetti manufatti, sia sotto il profilo quantitativo che qualitativo della produzione.

L'attività di valutazione si è svolta seguendo due distinte linee di ricerca, corrispondenti a due prove biennali di confronto tra materiali di copertura. Nella prima, le performances di un film termico innovativo contenente poliammide, attualmente allo stadio di prototipo, sono state confrontate con quelle di un film testimone in polietilene additivato, vale a dire la tipologia di plastica oggi più diffusa, in ambito agricolo, per la copertura delle serre. I film coestrusi contenenti poliammide rappresentano una delle più recenti ed interessanti novità nel campo dei laminati plastici ad effetto termico per la copertura degli apprestamenti di protezione. Il film oggetto della prova, nello specifico, rappresenta l'ultima generazione di una famiglia di prodotti che ha già fornito risultati positivi su varie colture orticole e di cui esso costituisce l'evoluzione tecnologica.

Nella seconda linea di ricerca, invece, ad essere posti a confronto sono stati due film termici coestrusi LDPE/EVA, uno a luce diretta e l'altro a luce diffusa, ciascuno stabilizzato con tre diverse formulazioni di additivi stabilizzanti alla luce. Anche queste combinazioni film-stabilizzazione erano allo stadio di prototipo.

Alla fine dei due anni di prova è stato possibile fornire un giudizio, di carattere agronomico, circa la maggior o minor idoneità dei prototipi testati allo specifico ambiente di coltivazione, e, quindi, ad un'eventuale messa in commercio degli stessi.

PARTE III: PROVA BIENNALE DI CONFRONTO TRA UN FILM TERMICO INNOVATIVO CONTENENTE POLIAMMIDE E UN FILM TESTIMONE IN LDPE ADDITIVATO SU COLTURA DI POMODORO (*Lycopersicon esculentum* Mill.)

III.1 PROVA BIENNALE DI CONFRONTO TRA UN FILM TERMICO INNOVATIVO CONTENENTE POLIAMMIDE E UN FILM TESTIMONE IN LDPE ADDITIVATO SU COLTURA DI POMODORO (*Lycopersicon esculentum* Mill.) – PRIMO ANNO DI PROVA

III.1.1 INTRODUZIONE

Come precedentemente ricordato, i film coestrusi contenenti poliammide (PE-PA) rappresentano una delle più recenti e interessanti novità nel campo delle coperture ad effetto termico per la copertura delle serre. Grazie all'utilizzo della poliammide (PA), polimero finora mai proposto per la realizzazione di manufatti di uso agricolo, è stato possibile ottenere una gamma di laminati plastici caratterizzati da un'eccellente resa termica (IR effectiveness), senz'altro superiore a quella dei materiali tradizionali dello stesso spessore (Graf.1), vale a dire con un effetto barriera tre volte più elevato rispetto ad un film in polietilene non additivato, più alto del 30% in confronto a quello di un film in EVA, maggiore del 10% nei confronti di quello del PVC, e uguale, infine, a quello del vetro. Buone risultano inoltre le caratteristiche meccaniche e ottiche dei film innovativi (Tab.1), caratteristiche, queste ultime, in grado di mantenersi inalterate nel tempo, grazie alle proprietà antistatiche della poliammide, che sono in grado di limitare l'accumulo di particelle pulviscolari e dello sporco in generale soprattutto sulla superficie esterna del film, così da garantire un'elevata trasmittanza alla radiazione fotosinteticamente attiva (PAR) per tutta la durata di vita prevista del manufatto. Buona è anche la risposta alle temperature estreme (da -40°C a 100°C) e ai residui di fitofarmaci, generalmente caratterizzati dalla presenza, nella loro composizione, di zolfo, ferro e cloro, elementi che accelerano la rottura delle catene polimeriche, cui consegue la perdita delle caratteristiche meccaniche del film (la durata del film coestruso con

poliammide è del 50% più lunga rispetto a quella di film ugualmente stabilizzati in polietilene o EVA).

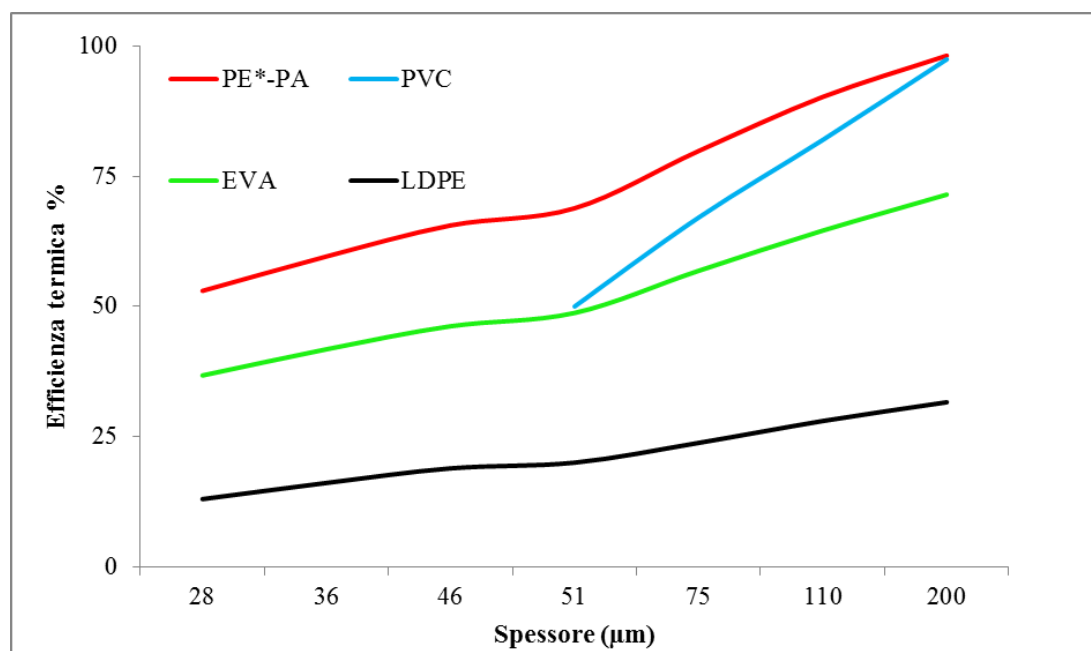
Trattandosi di film multistrato, la collocazione della poliammide può variare: nel caso della prima generazione di film PE-PA, i due strati esterni di polimero erano di LLDPE-LDPE/EVA e quello interno (40 μm) di PA. Nel caso della seconda generazione, invece, lo strato di PA (35 μm) è stato posto esternamente sulle due facce del film plastico, con uno spessore totale del laminato che può variare da 70 a 200 μm . Quest'ultima soluzione sembra particolarmente conveniente, poiché la poliammide, oltre ad evitare l'accumulo di polvere e a non essere permeabile ai sopra citati residui di fitofarmaci, attualmente non eliminabili dalla pratica agricola, è caratterizzata da una bassa tensione superficiale, per cui il film così ottenuto mostra un effetto antigoccia naturale, senza dover ricorrere, come nei tradizionali film no-drop, all'aggiunta di additivi tensioattivi, i quali, una volta inclusi nella matrice polimerica, tendono a migrare verso l'esterno, per poi essere dilavati e scomparire dalla copertura in un lasso di tempo più o meno lungo, a seconda delle specifiche condizioni d'impiego del film.

Le caratteristiche di questi materiali di copertura LLDPE-LDPE/EVA-PA sono infine in accordo con la relativa normativa europea EN-13206 (Tab.1). La valutazione agronomica dei film includenti poliammide, iniziata nel 2006, ha già, come ricordato in precedenza, fornito risultati di indubbio interesse (Filippi *et al.*, 2010; Magnani *et al.*, 2011) su colture di fragola e pomodoro.

Tabella 1: caratteristiche di un film PE-PA attualmente in commercio. I dati si riferiscono al film prima della messa in opera.

PROPRIETÀ	UNITÀ	VALORE	METODO
Proprietà dimensionali			
Tolleranza nominale sullo spessore			
Tolleranza sulla media dello spessore rispetto al nominale	μm	$\pm 5\%$	ISO 4591
Tolleranza sullo spessore puntuale rispetto al nominale	μm	$\pm 15\%$	ISO 4593
Tolleranza sulla larghezza rispetto al nominale	mm	0% +2%	ISO 4592
Proprietà meccaniche			
Carico a rottura MD + TD	N/mm ²	≥ 28	EN ISO 527-3
Allungamento a rottura MD + TD	%	≥ 520	EN ISO 527-3
Resistenza allo strappo (Elmendorf)	N	≥ 28	ISO 6383-2
Test di resistenza all'urto Piatto	g	≥ 1120	ISO 7765-1 A
Piega	g	≥ 1120	ISO 7765-1 A
Proprietà termiche e ottiche			
Trasmittanza alla luce visibile totale	%	≥ 89	EN 2155-5
Luce diffusa	%	≤ 25	EN 2155-5
Effetto serra	%	≥ 95	EN 13206
Altre proprietà			
Allungamento a rottura dopo esposizione	%	$\geq 50\%$	ISO 4892-2
Durata			
Classe		N.P.	EN 13206
Durata prevista	Mesi	84	area 100-130 kLy
	Mesi	72	area 130-160 kLy

Grafico 1: Efficienza termica del film innovativo PE-PA a confronto con film termici tradizionali.



III.1.2 MATERIALI E METODI

La ricerca è stata condotta a S.Piero a Grado (PI) presso il Centro Sperimentale del Dipartimento di Biologia delle Piante Agrarie dell'Università di Pisa. La prova di confronto ha riguardato i seguenti materiali:

- *Film coestruso chiaro termico innovativo contenente poliammide (PE-PA)*
- *Film testimone in LDPE additivato (LDPE)*

Entrambi i film, il primo di spessore 150 μm, il secondo 200 μm, sono stati messi in opera nel gennaio 2010 su dei tunnel praticabili lunghi 10 m, larghi 5 m e alti 2,5 m. Ogni materiale è stato installato su tre tunnel, che hanno costituito altrettante repliche dello stesso trattamento. La sperimentazione ha previsto due diverse epoche d'impianto della coltura di pomodoro, una nel mese di febbraio, l'altra a marzo. In data 8/02/2010, per l'impianto di febbraio, e 8/03/2010 per quello di marzo, il terreno all'interno dei tunnel è stato concimato con concime granulare ternario 11-22-16 (Hydro) e nitrato ammonico, ciascuno in ragione di 0,1 kg/m²,

quindi è stata effettuata una lavorazione con zappatrice rotativa. Successivamente sono stati disposti i teli per pacciamatura in LDPE nero da 50 μm e le manichette Aquatrax (Toro) per la micro-irrigazione, dotate di fori ogni 20 cm e posizionate sotto il film pacciamante. Il volume d'acqua irrigua da somministrare alle piante veniva determinato in base ai parametri climatici e allo specifico stadio fenologico della coltura. Le piantine di pomodoro, della cultivar "Caramba", sono state acquistate presso il vivaio Falorni (Colignola, PI) e messe a dimora il 24 febbraio e il 26 marzo rispettivamente per le due epoche di impianto. Per ciascuna serra sono state predisposte due file distanziate tra loro 2,5 m e lunghe 7,5 m, con una distanza delle piante sulla fila di 0,30 m, per un totale di 22 piante per fila (11 per ciascuna epoca di impianto). La tecnica colturale adottata è stata quella comunemente impiegata per l'ortiva, con periodiche rimozioni dei germogli laterali e cimatura all'altezza del quinto palco florale, avvenuta il 2 giugno per l'impianto di febbraio e il 2 luglio per quello di marzo. Nonostante un clima primaverile caratterizzato da notevole piovosità, la coltura non è andata incontro a problemi fitosanitari di rilievo, tanto che gli interventi con anticrittogamici si sono limitati a trattamenti preventivi a base di poltiglia bordolese irrorati con frequenza mensile.

Nei mesi di marzo, aprile e maggio sono state rilevate la temperatura e l'umidità relativa dell'aria all'interno dei tunnel utilizzando sensori portatili modello FT-102 SW (Econorma), mentre, nel corso dello sviluppo vegetativo della coltura, sono stati effettuati settimanalmente rilievi sull'altezza, il numero di foglie e il diametro del fusto delle piante. Ogni quindici giorni inoltre, per i primi due mesi dall'impianto, sono stati valutati il peso fresco, il peso secco e l'area fogliare delle piante stesse. Per la misura della superficie fogliare è stato utilizzato un planimetro modello ΔT Area Meter (Delta-T Devices) mentre il peso secco è stato ottenuto mediante essiccazione in stufa ventilata a 70°C fino a peso costante. A partire dai dati raccolti sono stati quindi calcolati la percentuale di sostanza secca nella parte aerea della pianta e i seguenti indici di crescita: l'indice di crescita assoluto della coltura (CGR, *Crop Growth Rate*, espresso come mg s.s. pianta/giorno), l'indice di assimilazione netta (NAR, *Net Absorption Rate* espresso come mg s.s. pianta/cm² superficie fogliare per giorno), l'indice di crescita relativo (RGR, *Relative Growth Rate* espresso come mg s.s. pianta/mg s.s. già presente per giorno) e l'indice di superficie fogliare (LAR, *Leaf Area Ratio* espresso in cm²/mg s.s.). Un ulteriore rilievo, eseguito con frequenza mensile, ha riguardato il contenuto di clorofille nelle foglie delle piante, quantificato tramite lettura allo spettrofotometro (modello Jenway 6400, Jenway Limited, England), alle lunghezze d'onda di 665,2 e 652,4 nm per la clorofilla a e b rispettivamente, ed espresso in $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ di foglia. I pigmenti sono stati estratti utilizzando

come solvente del metanolo al 99,9%, lasciando i campioni al buio e ad una temperatura di 4°C per 24 ore. Per il calcolo della concentrazione di clorofille si è fatto ricorso alla formula di Lichtenthaler (Lichtenthaler, 1987).

La raccolta delle bacche ha avuto inizio il 31 maggio nel caso dell'impianto precoce e il 7 giugno in quello di marzo, concludendosi nei giorni 17 e 26 luglio rispettivamente, per un totale di 8 interventi di raccolta per ciascuna epoca d'impianto. I pomodori, una volta raccolti, sono stati sottoposti a cernita per separare la produzione commerciale dallo scarto, quindi, per entrambe le categorie, sono stati registrati il numero e il peso fresco totale dei frutti, da cui si è poi ricavato il peso unitario degli stessi.

Per quanto riguarda la qualità della produzione, a tre diversi momenti del ciclo di raccolta sono stati prelevati campioni costituiti sia da pomodori allo stadio di invaiatura sia da bacche mature su cui è stata misurata la resistenza alla penetrazione del frutto intero e della sola polpa (RPI e RPP; kg/cm^2 , utilizzando un penetrometro manuale modello FT 327) e, previa omogeneizzazione e centrifugazione, sono stati poi valutati: conducibilità elettrica (CE; dS/m , misurata con conducimetro modello HI 8733 Hanna Instruments), pH, residuo ottico (RO; °brix, misurato con rifrattometro manuale), acidità titolabile (AT; % acido citrico, mediante titolazione con NaOH 0,1N), rapporto residuo ottico/acidità titolabile (RO/AT) ed infine il contenuto percentuale di sostanza secca (% s.s., tramite essiccazione in stufa a 70°C fino a peso costante). A metà del ciclo di raccolta è stato inoltre quantificato il contenuto in vitamina C ($\text{mg}/100$ s.f.) e in potassio (% sulla s.s.) nelle bacche. L'analisi della vitamina C è stata effettuata con metodo titrimetrico (AOAC, 1980): a 100 g di prodotto fresco (ottenuto da porzioni di polpa e buccia ricavate da 6 differenti frutti) sono stati aggiunti 100 ml di soluzione estraente a base di acido acetico e acido fosforico, quindi, dopo omogeneizzazione e filtrazione, sono stati prelevati 20 ml di filtrato che sono stati titolati con una soluzione a base di 2,6-dicloroindofenolo e NaHCO_3 . Applicando l'apposita formula matematica, in base ai millilitri di soluzione titolante impiegati e previa titolazione di una soluzione standard di acido ascorbico contenente 50 mg del composto in 50 ml di soluzione estraente, sono stati calcolati i milligrammi di vitamina C presenti in 100 g di sostanza fresca. Per la valutazione del contenuto in potassio si è fatto ricorso, invece, ad una digestione nitroperclorica della sostanza secca con successiva lettura al fotometro a fiamma (modello Jenway PFP7, Jenway Limited, England). Sui dati relativi allo sviluppo vegetativo della coltura è stata effettuata l'analisi di regressione non lineare scegliendo il grado di equazione più idoneo a rappresentare l'andamento della crescita della pianta, in base al raffronto dei rispettivi coefficienti di

determinazione (R^2). I dati relativi alla temperatura e umidità dell'aria sono stati sottoposti al test t, mentre quelli sulla produzione quantitativa e qualitativa ad un'analisi della varianza (ANOVA) a due fattori, per verificare l'eventuale presenza di interazione tra il film di copertura e l'epoca di impianto della coltura.

III.1.3 RISULTATI E DISCUSSIONE

III.1.3.1 Temperatura e umidità relativa dell'aria all'interno dei tunnel

III.1.3.1.1 Marzo

Marzo 2010 è stato caratterizzato da temperature tipiche per il mese, con una media di 8,2°C, pari al valore medio storico nel periodo 1996-2009. Tuttavia, nella prima metà del mese, le temperature hanno subito un brusco e sensibile calo in seguito all'afflusso di aria artica che ha portato alla formazione di estese ed intense gelate su tutta la Toscana. La piovosità è stata inferiore alla media storica (Fonte: ARSIA Toscana). Il film termico contenente poliammide ha permesso di ottenere una temperatura media settimanale significativamente superiore (+1,1°C) al film testimone, così come maggiori sono state le medie settimanali delle temperature minime (+1°C) e massime (+1,1°C) giornaliere (Tab.2). La minima più elevata è stata determinante nell'evitare danni da freddo alle giovani piantine, danni che si sono invece verificati sotto il film in LDPE additivato e che hanno fortemente pregiudicato lo sviluppo iniziale della coltura. Osservando i grafici relativi all'andamento delle temperature nell'arco di una singola giornata (Graf.5 e 6), misurate sia in presenza di cielo sereno che nuvoloso, si nota come il film contenente poliammide abbia manifestato livelli termici lievemente più elevati rispetto al film di controllo, sia nelle ore diurne che in quelle notturne, temperature che hanno determinato, come verrà descritto in seguito, un maggior accrescimento vegetativo delle piante di pomodoro.

Quanto all'umidità relativa dell'aria sotto le coperture (Tab.2), i valori medi più bassi sono stati registrati, sia per l'UR media che per quella minima e massima, sotto il film prototipo. Nell'arco del singolo giorno (Graf.15 e 16) i due film non hanno tra loro differito con cielo coperto, mentre in presenza di cielo sereno l'umidità relativa dell'ambiente confinato al di

sotto del film PE-PA è risultata fino a 7-8 punti percentuali più bassa rispetto al film in LDPE, e questo a partire dalle ore di maggior insolazione fino alla sera. Nelle ore notturne, invece, il livello di UR si è attestato su livelli simili sotto entrambe le coperture.

III.1.3.1.2 Aprile

La prima decade del mese ha visto, dopo un inizio discreto, un peggioramento durante il ponte pasquale a causa del transito di una perturbazione atlantica che ha portato nuvolosità e precipitazioni su tutta la Toscana. La seconda decade è invece trascorsa all'insegna del bel tempo. Nuove perturbazioni si sono verificate poi nella terza decade. Quindi aprile è stato sostanzialmente un mese piuttosto piovoso, con un cumulo medio regionale (89,8 mm) superiore alla media del periodo (73,4 mm). Le temperature sono invece risultate tipiche per il mese con una media di 12,3°C (Fonte: ARSIA Toscana).

Le due coperture poste a confronto non hanno differito nella temperatura media settimanale, mentre differenze significative sono state evidenziate nelle minime, mediamente più elevate (+1,1°C) nel film innovativo, e nelle massime, più alte (+1,1°C) nel film in LDPE (Tab.2). Quindi il film PE-PA ha ridotto l'intervallo tra temperature minime e massime, innalzando le prime e riducendo le seconde. Questo lo si osserva anche considerando l'andamento delle temperature nell'arco di una singola giornata (Graf.7 e 8), soprattutto in presenza di cielo sereno, dove nelle ore di maggior insolazione il film PE-PA ha lievemente contenuto l'innalzamento delle temperature, che hanno superato i 35°C nella parte iniziale del pomeriggio. Nel corso della notte, invece, il livello termico del film innovativo si è mantenuto su livelli superiori a quelli del polietilene, assicurando temperature più gradevoli alle piante sotto di esso allevate.

L'umidità relativa dell'aria nell'ambiente protetto è risultata ancora una volta inferiore nel film contenente poliammide (Tab.2), sia nei valori medi che in quelli minimi e massimi, come evidenzia, del resto, l'analisi dell'andamento giornaliero di detto parametro (Graf.17 e 18). Infatti sia con cielo nuvoloso che, soprattutto, sereno, l'UR del film prototipo è apparsa, nell'arco delle ventiquattro ore, sempre inferiore a quella del polietilene, se si eccettuano le ore mattutine del giorno soleggiato dove non si sono riscontrate sostanziali differenze.

III.1.3.1.3 Maggio

Il mese di maggio è stato caratterizzato, essenzialmente, da una prima fase perturbata con notevole piovosità media e poche giornate soleggiate, in particolare durante le prime due decadi, dominate da condizioni depressionarie sia in quota che in piano. Un miglioramento del quadro meteorologico si è avuto solo nella terza e ultima decade del mese, che ha favorito anche una ripresa delle temperature, fino a quel momento inferiori alla media mensile documentata negli ultimi anni (Fonte: ARSIA Toscana). I rilievi sulle temperature e sull'umidità relativa dell'aria sono stati condotti con le serre aperte e questo ha, come prevedibile, aumentato notevolmente la variabilità dei valori misurati (Tab.2). Differenze significative sono state osservate solamente nel caso della temperatura e umidità relativa minime, inferiori rispettivamente di 0,6°C e del 9% nel film prototipo rispetto al film in polietilene. Da sottolineare che, analogamente a quanto osservato nel mese di aprile, l'andamento delle temperature nell'arco di una singola giornata con cielo sereno (Graf.9 e 10) evidenzia la capacità del film prototipo di ridurre gli eccessi termici nelle ore del giorno caratterizzate da maggior insolazione, evitando in tal modo possibili problemi in fase di allegagione dovuti all'eccessiva temperatura.

L'evoluzione giornaliera dell'umidità relativa (Graf.19 e 20), invece, è sostanzialmente riconducibile a quella osservata per il mese di aprile, ma con la differenza che nelle ore notturne di una giornata soleggiata i due film hanno mostrato lo stesso livello di umidità.

III.1.3.2 Sviluppo vegetativo della coltura

Il clima primaverile caratterizzato da giornate nuvolose con scarsa radiazione solare ha influito negativamente sullo sviluppo vegetativo della coltura, soprattutto durante le prime fasi di crescita e, ovviamente, con maggior intensità sull'impianto precoce rispetto a quello tardivo. La temperatura minima prossima allo zero registrata il 6 marzo all'interno del tunnel testimone (Graf.11) ha provocato notevoli danni da freddo alle giovani piantine, mentre nessuna alterazione visibile è stata osservata sulle foglie delle piante allevate sotto il film termico contenente poliammide, dove la temperatura minima è risultata circa 0,7°C più elevata. Tali danni da freddo sono probabilmente all'origine delle maggiori differenze nello

sviluppo vegetativo della coltura osservate tra le due coperture nel caso dell'impianto precoce, differenze che, d'altra parte, tendono a ridursi o a scomparire nell'impianto di marzo.

III.1.3.2.1 Altezza, numero di foglie, area fogliare e diametro del fusto delle piante

Nel caso dell'impianto precoce l'altezza (Graf.21) e, soprattutto, il diametro del fusto (Graf.23) delle piante allevate sotto il film termico sono risultati più elevati rispetto al film di controllo, mentre il numero di foglie a pianta (Graf.22) non ha mostrato alcuna variazione. Le differenze più evidenti tra i due film posti a confronto sono state osservate in relazione alla superficie fogliare della singola pianta (Graf.25), più elevata nel film PE-PA rispetto a quello in LDPE. La maggior area fogliare è quindi da collegare essenzialmente alla maggior dimensione media della singola foglia, visto che non sono state evidenziate, come appena ricordato, differenze nell'entità numerica delle foglie. Le piante di pomodoro messe a dimora a marzo non si sono invece sostanzialmente differenziate, passando da una copertura all'altra, per nessuno dei quattro parametri considerati, sebbene il film prototipo abbia evidenziato valori medi leggermente superiori.

III.1.3.2.2 Peso fresco, peso secco e percentuale di sostanza secca della parte aerea delle piante.

In linea generale le piante sviluppatesi sotto il film innovativo contenente poliammide hanno mostrato valori, sia di peso fresco (Graf.24) che di peso secco (Graf.26) della parte aerea, superiori a quelli misurati sotto il film in polietilene additivato. Il maggior sviluppo vegetativo delle piante riscontrato sotto il film PE-PA è risultato più evidente nel caso dell'impianto precoce piuttosto che in quello tardivo e questo può essere legato al maggior effetto barriera all'IR lungo del film prototipo che ha garantito, dal punto di vista termico, condizioni più idonee all'accrescimento della coltura. E' importante tuttavia sottolineare che per poter sfruttare al massimo le caratteristiche di termicità di un film termico è necessaria la presenza di giornate soleggiate, giornate che nella primavera del 2010 sono state relativamente poco frequenti. Questo probabilmente ha permesso di immagazzinare nel terreno, così come in altre componenti dell'ambiente protetto (strutture, impianti, ecc.), nelle ore diurne, quantità di

energia non particolarmente elevate, con la conseguenza che l'emissione di radiazione infrarossa ad elevata lunghezza d'onda durante la notte è stata giocoforza inferiore. In presenza di un andamento climatico non anomalo, è quindi ragionevole pensare che le performances del film termico contenente poliammide, relativamente allo sviluppo vegetativo del pomodoro, possano ulteriormente migliorare.

Infine, prendendo in esame il contenuto percentuale di sostanza secca nella parte aerea della pianta (Graf.27), questo non ha differito significativamente passando da una copertura all'altra, né nell'impianto di febbraio né in quello di marzo. Nelle prime fasi di crescita della coltura le temperature piuttosto rigide hanno determinato i valori percentuali più elevati, in particolare nelle piante allevate sotto il film testimone, che probabilmente hanno avuto una maggior necessità di concentrare i succhi cellulari per evitare danni da freddo, comunque verificatisi nel caso dell'impianto precoce.

III.1.3.2.3 Indici di crescita

L'indice di crescita assoluto e quello relativo (CGR ed RGR) si sono differenziati passando da una copertura all'altra e, come era lecito aspettarsi, da un'epoca di impianto precoce ad una tardiva (Graf.28 e 30). Il film termico ha fornito risultati migliori rispetto al film in LDPE additivato e le piante messe a dimora a marzo hanno mostrato un tasso di crescita superiore rispetto a quelle trapiantate a febbraio. Tuttavia, andando ad osservare i valori dell'indice di assimilazione netta (NAR), vale a dire i milligrammi di sostanza secca prodotti ogni giorno per ogni centimetro quadrato di superficie fogliare, non si notano differenze tra le due coperture e, comunque, nelle fasi iniziali di sviluppo della coltura, questo parametro risulta essere leggermente più elevato nel film di controllo (Graf.29). Confrontando invece le due epoche di impianto, i valori di NAR dell'impianto di marzo sono maggiori solamente nelle fasi iniziali di crescita della coltura (fino a circa 30-40 giorni dalla messa a dimora), poi tendono ad attestarsi sostanzialmente su livelli simili a quelli dell'impianto precoce.

L'indice di superficie fogliare (LAR), infine, è risultato anch'esso più elevato nell'impianto di marzo rispetto all'impianto di febbraio (Graf.31). Tra le due coperture poste a confronto sono emerse differenze solo nell'impianto precoce dove il film PE-PA ha permesso di ottenere un LAR notevolmente più elevato rispetto al film in LDPE additivato.

III.1.3.2.4 Contenuto di clorofilla a e b nelle foglie delle piante

L'analisi del contenuto di clorofille nelle foglie non ha evidenziato, in linea generale, differenze sostanziali tra le due coperture poste a confronto (Graf.32, 33 e 34). Tuttavia, nel caso dell'impianto tardivo, è stata riscontrata una maggior concentrazione di clorofilla b, e conseguentemente un rapporto più elevato clorofilla b/clorofilla a, nei campioni raccolti sotto il film prototipo.

III.1.3.3 Produzione

Per quanto concerne la produzione di frutti commerciabili, questa è risultata quantitativamente più elevata nelle piante allevate sotto il film contenente poliammide, sia per il numero che per il peso totale delle bacche. La differenza, pur rimanendo statisticamente significativa, si è tuttavia attenuata passando dalle produzioni cumulate precoci a quella finale (Graf.35 e 36). Infatti a 20 giorni dall'inizio del ciclo di raccolta (Tab.3) il numero di pomodori prodotti da ciascuna pianta presente sotto il film prototipo era dell'80% superiore a quello delle rispettive piante allevate sotto il film testimone in LDPE, mentre il peso complessivo dei frutti stessi, sempre in relazione alla singola pianta, risultava maggiore dell'87%. A metà ciclo di raccolta (Tab.4) tali percentuali si sono ridotte al 46% per il numero e al 48,7% per il peso, per raggiungere in corrispondenza della produzione cumulata finale (Tab.5) valori rispettivamente del 10,3% e 10%. Quanto al peso unitario delle bacche non sono invece emerse differenze significative tra le due coperture poste a confronto. Risulta perciò evidente la capacità del film contenente poliammide di anticipare la produzione del pomodoro.

Differenze significative nella produttività sono state poi riscontrate tra l'impianto di febbraio e quello di marzo. Tali differenze si sono accentuate passando dalle produzioni cumulate precoci a quelle tardive (Graf.35 e 36). A 20 giorni dall'inizio della raccolta (Tab.3) i valori relativi al numero e al peso delle bacche non differivano significativamente tra loro, mentre a 30 giorni l'impianto di marzo mostrava un numero di frutti superiore del 44,5% all'impianto di febbraio con un corrispondente peso totale maggiore del 51,6% (Tab.4). A fine raccolta tali

valori hanno raggiunto rispettivamente il 48% e il 54% (Tab.5). Il peso unitario dei frutti è risultato significativamente diverso solo a metà ciclo di raccolta.

La maggior produttività dell'impianto di marzo può essere legata, almeno in parte, alle temperature più miti che hanno accompagnato lo sviluppo vegetativo delle giovani piantine di pomodoro nelle prime fasi di crescita.

L'interazione tra copertura ed epoca di impianto è risultata statisticamente più o meno significativa nel caso del numero e del peso totale dei frutti, indipendentemente dal momento del ciclo di raccolta considerato. Infatti, la messa a dimora più tardiva delle piantine di pomodoro ha, apparentemente, accentuato le differenze tra le due coperture in termini di produzione quantitativa, risultata sempre più elevata nel film prototipo. Nessuna interazione tra film ed epoca d'impianto è invece da riportare riguardo al peso unitario delle bacche.

Passando a considerare la produzione di scarto, questa era costituita in prevalenza da pomodori di piccole dimensioni, mentre decisamente ridotto era il numero di frutti colpiti da marciume apicale o da altre avversità di origine biotica e abiotica. Come la produzione commerciale anche quella di scarto è risultata più elevata nel film contenente poliammide (Graf.38 e 39), soprattutto in corrispondenza delle raccolte precoci (Tab.3), dove il numero di bacche non commerciabili raccolte sotto il film PE-PA era del 55% superiore a quello dei frutti raccolti sotto il film testimone, con il corrispondente peso totale maggiore del 67%. Tali percentuali si sono poi ridotte con l'avanzare del ciclo di raccolta, fino a raggiungere, alla raccolta cumulata finale (Tab.5), un valore pari al 17% sia per il numero che per il peso complessivo. Non sono state invece rilevate variazioni riguardo al peso medio delle bacche.

Differenze significative relative allo scarto sono state inoltre evidenziate tra le due epoche di impianto. In particolare, considerando le raccolte precoci (Tab.3), l'impianto di marzo ha prodotto un numero di frutti non commerciabili del 30% superiore all'impianto di febbraio, così come di circa il 30% maggiore è risultato il loro peso complessivo. Invece a metà ciclo di raccolta (Tab.4) la maggior produzione non commerciabile, sia in termini di numero che di peso totale dei pomodori, si è osservata nell'impianto di febbraio con valori superiori rispettivamente del 13,2% e 15,8% rispetto all'impianto di marzo. A fine raccolta (Tab.5) l'unica differenza significativa tra le due epoche d'impianto ha riguardato il peso complessivo delle bacche non destinabili alla vendita, risultato tuttavia di solo il 7% superiore per l'impianto precoce rispetto a quello più tardivo. Nessuna differenza è invece da segnalare relativamente al peso medio dei frutti.

L'interazione tra copertura ed epoca d'impianto è risultata significativa solamente nel caso del peso complessivo delle bacche, e questo indipendentemente dal momento del ciclo di raccolta considerato.

III.1.3.4 Qualità della produzione

Riguardo alla qualità merceologica del prodotto, per la maggior parte dei parametri presi in considerazione non sono state osservate differenze significative né tra le due coperture messe a confronto né tra le due diverse epoche d'impianto della coltura. Entrando nello specifico e partendo dall'analisi degli aspetti qualitativi della produzione precoce (Tab.6) sono innanzitutto da sottolineare differenze significative nel pH dei frutti, sia allo stadio di invaiatura che a quello di piena maturazione, con i valori più elevati, nel primo come nel secondo caso, registrati nel film prototipo. Nel pomodoro maturo sono stati inoltre osservati un residuo ottico, un'acidità titolabile ed una resistenza alla penetrazione, sia del frutto intero che della sola polpa, inferiori rispetto al film LDPE posto come controllo. Quanto alle differenze tra le due epoche d'impianto, solamente nel caso del pH del pomodoro invaiato vi è stata significatività, con il valore più elevato misurato nell'impianto precoce. L'interazione tra epoca d'impianto e tipo di copertura è apparsa significativa nel caso del pH allo stadio di frutto invaiato, così come dell'acidità titolabile e del rapporto residuo ottico/acidità titolabile della bacca matura.

Nei campioni prelevati a metà del ciclo di raccolta (Tab.7) sono state nuovamente riscontrate differenze tra le due coperture riguardo al pH del pomodoro invaiato e alla resistenza alla penetrazione del frutto maturo intero, con il valore più elevato registrato per il film PE-PA nel primo caso e per il film LDPE nel secondo. Allo stadio di invaiatura, le bacche raccolte sotto il film prototipo, hanno poi mostrato un'acidità titolabile inferiore a quelle del film di controllo. L'analisi della varianza ha quindi evidenziato differenze statisticamente significative tra le due epoche d'impianto nei valori di pH e di acidità titolabile del pomodoro maturo, mentre l'interazione tra copertura ed epoca d'impianto non è risultata significativa per nessuno dei parametri esaminati.

Considerando invece le raccolte tardive (Tab.8), non è stata osservata alcuna differenza significativa, dal punto di vista della qualità della produzione, tra i due film oggetto della prova, mentre statisticamente differenti sono risultati, nel confronto tra le due epoche di

impianto, i valori di residuo ottico, dell'acidità titolabile, del rapporto di questi ultimi e della resistenza alla penetrazione del pomodoro intero nel caso del frutto invaiato. Nello specifico, il residuo ottico e il rapporto residuo ottico/acidità titolabile sono risultati maggiori nell'impianto di marzo, mentre l'acidità titolabile e la resistenza alla penetrazione della bacca intera hanno evidenziato valori inferiori rispetto all'impianto di febbraio. Questo era del resto prevedibile se si considera che i pomodori prelevati nell'ultima raccolta dell'impianto di marzo sono maturati in presenza di condizioni climatiche ottimali (in particolare riguardo ai livelli termici), condizioni di cui, dato l'andamento anomalo della primavera-inizio estate del 2010, non hanno potuto beneficiare i frutti raccolti precedentemente. Riguardo all'interazione tra copertura ed epoca d'impianto essa è risultata molto significativa solo nel caso del residuo ottico dei frutti allo stadio di invaiatura.

Infine, per quel che concerne il contenuto di potassio e di vitamina C nelle bacche (Tab.9), nel primo caso non vi è stata alcuna differenza significativa né tra una copertura e l'altra né tra le due epoche d'impianto, mentre nel secondo differenze statisticamente significative sono state evidenziate, nei frutti invaiati, sia tra le coperture, con il tenore più elevato registrato nel film PE-PA, sia tra l'impianto tardivo e quello precoce, con il valore più alto legato a quest'ultimo. L'interazione copertura-epoca d'impianto, in relazione a questi due parametri, non è risultata significativa.

III.1.4 CONCLUSIONI

Già a una prima valutazione dello sviluppo vegetativo della coltura, il film innovativo contenente poliammide ha dimostrato un miglior comportamento agronomico rispetto al film in LDPE additivato che fungeva da testimone. La copertura realizzata con il film prototipo ha fatto sì che, all'interno dell'apprestamento di protezione, venissero a realizzarsi condizioni ambientali più favorevoli per l'accrescimento e lo sviluppo dell'ortiva. Andando infatti ad osservare gli andamenti delle temperature dell'aria all'interno dei tunnel, sotto quello coperto con il film PE-PA si sono registrati, nelle ore notturne, livelli termici superiori a quelli determinatisi nell'ambiente confinato sotto la copertura posta come controllo. Sebbene le differenze di temperatura tra i due tunnel non siano state particolarmente elevate (al massimo 1-2°C), questo ha tuttavia permesso alle piante presenti sotto il film termico di non risentire dei forti abbassamenti di temperatura verificatisi soprattutto nei primi giorni del mese di marzo. Le temperature prossime allo zero hanno infatti determinato, nelle giovani piantine allevate sotto il film in LDPE, notevoli danni da freddo all'apparato fogliare che hanno portato poi ad un ritardo della produzione. Quanto alle temperature massime, invece, il film innovativo ha fatto registrare, nei mesi di aprile e maggio, picchi meno elevati durante le ore centrali delle giornate soleggiate, evitando così possibili problemi in fase di allegagione. Tale riduzione delle temperature massime giornaliere non sembra tuttavia verificarsi in presenza di livelli termici dell'ambiente esterno ridotti, come quelli registrati nel mese di marzo, cosicché le condizioni ambientali sotto la copertura rimangono idonee al corretto sviluppo della coltura. Ma il film contenente poliammide si è inoltre caratterizzato per la minor umidità relativa dell'aria. Questo aspetto può essere rilevante in termini di prevenzione delle malattie crittogamiche che si avvantaggiano di condizioni climatiche umide, quali la peronospora, che non hanno comunque creato problemi di rilievo durante lo svolgimento delle prove.

Alle condizioni microclimatiche determinate dal film prototipo è corrisposto, come precedentemente ricordato, un miglioramento dello stato vegetativo della pianta, cui si è associato un miglior risultato in termini di produzione quantitativa. Attraverso le analisi di crescita è stato infatti possibile mettere in evidenza il maggior sviluppo vegetativo delle piante allevate sotto il film PE-PA, soprattutto in termini di area fogliare, con differenze che sono apparse assai più evidenti nel caso dell'impianto precoce e che hanno portato ad ottenere valori più elevati degli indici di crescita assoluto (CGR), relativo (RGR), oltre che dell'indice

di superficie fogliare (LAR). Le piantine messe a dimora nel mese di marzo hanno, come del resto era prevedibile, mostrato valori dei parametri di crescita superiori a quelli osservati nell'impianto precoce.

Riguardo alle produzioni conseguite sotto il film contenente poliammide, queste sono apparse quantitativamente più elevate durante tutto l'arco del ciclo di raccolta, ma con maggior rilevanza nel caso delle raccolte precoci, ad indicare una forte capacità del film innovativo di anticipare la produzione. Tra le due diverse epoche di impianto della coltura, quella effettuata in marzo ha permesso di ottenere i risultati produttivi migliori. Tra le due coperture non vi sono state, sostanzialmente, differenze nella qualità merceologica della produzione, eccetto il fatto che i frutti raccolti sotto il film prototipo erano tendenzialmente meno acidi rispetto a quelli prelevati da piante allevate sotto la copertura in LDPE. Differenze a livello qualitativo sono state invece rilevate tra l'impianto di febbraio e quello di marzo: in particolare i frutti raccolti dalle piante messe a dimora a fine marzo si sono caratterizzati per una minor acidità, un maggior residuo ottico e di conseguenza un rapporto RO/AT più elevato, indice di uno stadio più avanzato della maturazione, a parità di giorni trascorsi dall'inizio della raccolta, rispetto alle bacche ottenute dalle piante trapiantate a febbraio.

Infine, i pomodori invaiati raccolti sotto il film prototipo hanno mostrato il tenore più elevato in vitamina C, che è risultato superiore, sempre nel caso di frutti allo stadio di invaiatura, anche nell'impianto precoce rispetto a quello tardivo. Nelle bacche mature non sono invece state rilevate analoghe differenze. La percentuale di potassio sulla sostanza secca non ha, per concludere, subito variazioni significative né passando da una copertura all'altra né da un'epoca di impianto precoce ad una più tardiva.

III.1.5 TABELLE E GRAFICI

Tabella 2: medie settimanali delle temperature e dei valori di umidità relativa minimi, medi e massimi registrati sotto le coperture nei mesi di marzo, aprile e maggio 2010.

(2-8)/3/2010	Temperatura (°C)			Umidità relativa (%)		
	Minima	Media	Massima	Minima	Media	Massima
LDPE	** 4,9 b	* 12,1 b	** 23,6 b	*** 60,2 a	72,0 a	* 81,1 a
PE-PA	** 5,9 a	* 13,2 a	** 24,8 a	*** 55,5 b	70,2 a	* 80,3 b
(20-26)/4/2010	Temperatura (°C)			Umidità relativa (%)		
	Minima	Media	Massima	Minima	Media	Massima
LDPE	** 12,6 b	19,8 a	* 30,0 a	*** 53,7 a	** 72,1 a	** 81,8 a
PE-PA	** 13,3 a	20,0 a	* 28,9 b	*** 48,2 b	** 65,8 b	** 79,6 b
(12-18)/5/2010	Temperatura (°C)			Umidità relativa (%)		
	Minima	Media	Massima	Minima	Media	Massima
LDPE	* 14,6 a	20,6 a	28,7 a	** 60,0 a	72,2 a	82,0 a
PE-PA	* 14,0 b	20,8 a	29,8 a	** 51,0 b	67,7 a	81,7 a

I valori contrassegnati con lettere diverse differiscono significativamente per $P \leq 0,05$ (* $P \leq 0,05$; ** $P \leq 0,01$; *** $P \leq 0,001$).

Tabella 3: produzione commerciabile e di scarto a 20 giorni dall'inizio del ciclo di raccolta.

A 20 giorni dalla prima raccolta	COMMERCIALE			SCARTO		
	Frutti per pianta			Frutti per pianta		
	Numero	Peso (g)	Peso unitario (g)	Numero	Peso (g)	Peso unitario (g)
LDPE	*** 1,50 b	*** 231,04 b	153,31 a	*** 4,60 b	*** 255,50 b	55,86 a
PE-PA	*** 2,71 a	*** 432,48 a	159,67 a	*** 7,13 a	*** 426,47 a	58,25 a
Impianto febbraio	2,13 a	335,92 a	157,57 a	** 5,10 b	*** 297,14 b	57,95 a
Impianto marzo	2,08 a	327,59 a	155,41 a	** 6,63 a	*** 384,83 a	56,16 a
Interazione film X epoca di impianto	**	***	ns	ns	**	ns

I valori contrassegnati con lettere diverse differiscono significativamente per $P \leq 0,05$ (ns non significativo; * $P \leq 0,05$; ** $P \leq 0,01$; *** $P \leq 0,001$).

Tabella 4: produzione commerciabile e di scarto a 30 giorni dall'inizio del ciclo di raccolta.

A 30 giorni dalla prima raccolta	COMMERCIALE			SCARTO		
	Frutti per pianta			Frutti per pianta		
	Numero	Peso (g)	Peso unitario (g)	Numero	Peso (g)	Peso unitario (g)
LDPE	*** 4,16 b	*** 697,45 b	166,68 a	** 11,02 b	*** 636,02 b	57,67 a
PE-PA	*** 6,07 a	*** 1037,20 a	170,37 a	** 12,70 a	*** 763,65 a	60,16 a
Impianto febbraio	*** 4,19 b	*** 689,45 b	* 164,29 b	* 12,60 a	*** 751,10 a	59,59 a
Impianto marzo	*** 6,05 a	*** 1045,20 a	* 172,76 a	* 11,13 b	*** 648,67 b	58,24 a
Interazione film X epoca di impianto	***	**	ns	ns	**	ns

I valori contrassegnati con lettere diverse differiscono significativamente per $P \leq 0,05$ (ns non significativo; * $P \leq 0,05$; ** $P \leq 0,01$; *** $P \leq 0,001$).

Tabella 5: produzione commerciabile e di scarto a 50 giorni dall'inizio del ciclo di raccolta.

A 50 giorni dalla prima raccolta	COMMERCIALE			SCARTO		
	Frutti per pianta			Frutti per pianta		
	Numero	Peso (g)	Peso unitario (g)	Numero	Peso (g)	Peso unitario (g)
LDPE	** 9,99 b	*** 1759,23 b	175,89 a	** 13,48 b	*** 837,25 b	62,12 a
PE-PA	** 11,02 a	*** 1932,45 a	174,33 a	** 15,81 a	*** 979,58 a	62,05 a
Impianto febbraio	*** 8,47 b	*** 1453,60 b	171,68 a	15,23 a	*** 939,27 a	61,80 a
Impianto marzo	*** 12,54 a	*** 2238,08 a	178,54 a	14,07 a	*** 877,57 b	62,37 a
Interazione film X epoca di impianto	*	***	ns	ns	***	ns

I valori contrassegnati con lettere diverse differiscono significativamente per $P \leq 0,05$ (ns non significativo; * $P \leq 0,05$; ** $P \leq 0,01$; *** $P \leq 0,001$).

Tabella 6: qualità della produzione commerciabile a 20 giorni dall'inizio del ciclo di raccolta.

A 20 giorni dalla prima raccolta	FRUTTO INVAIATO							
	CE (dS/m)	pH	RO (° brix)	AT (% acido citrico)	RO/AT	S.S. (%)	RPI (kg/cm ²)	RPP (kg/cm ²)
LDPE	4,67 a	** 3,57 b	3,90 a	0,531 a	7,39 a	5,79 a	5,57 a	2,46 a
PE-PA	4,49 a	** 3,64 a	3,94 a	0,474 a	7,56 a	5,69 a	5,37 a	2,21 a
Impianto febbraio	4,56 a	** 3,64 a	3,82 a	0,510 a	7,17 a	5,71 a	5,48 a	2,30 a
Impianto marzo	4,59 a	** 3,57 b	4,03 a	0,495 a	7,78 a	5,77 a	5,46 a	2,37 a
Interazione film X epoca di impianto	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	FRUTTO MATURO							
	CE (dS/m)	pH	RO (° brix)	AT (% acido citrico)	RO/AT	S.S. (%)	RPI (kg/cm ²)	RPP (kg/cm ²)
LDPE	4,73 a	* 3,69 b	*** 4,50 a	* 0,495 a	9,15 a	6,09 a	* 4,29 a	* 1,58 a
PE-PA	4,77 a	* 3,71 a	*** 4,03 b	* 0,434 b	9,27 a	5,76 a	* 3,90 b	* 1,41 b
Impianto febbraio	4,72 a	3,75 a	4,25 a	0,470 a	8,96 a	5,96 a	4,07 a	1,44 a
Impianto marzo	4,78 a	3,66 a	4,28 a	0,459 a	9,46 a	5,88 a	4,11 a	1,55 a
Interazione film X epoca di impianto	ns	ns	ns	*	*	ns	ns	ns

I valori contrassegnati con lettere diverse differiscono significativamente per $P \leq 0,05$ (ns non significativo; * $P \leq 0,05$; ** $P \leq 0,01$; *** $P \leq 0,001$).

Tabella 7: qualità della produzione commerciabile a 30 giorni dall'inizio del ciclo di raccolta.

A 30 giorni dalla prima raccolta	FRUTTO INVAIATO									
	CE (dS/m)	pH	RO (° brix)	AT (% acido citrico)		RO/AT	S.S. (%)	RPI (kg/cm ²)		RPP (kg/cm ²)
LDPE	4,68 a	** 3,59 b	4,18 a	* 0,514	a	8,18 a	6,27 a	6,01 a		2,46 a
PE-PA	4,52 a	** 3,67 a	4,03 a	* 0,443	b	8,80 a	6,18 a	5,60 a		2,21 a
Impianto febbraio	4,60 a	3,63 a	4,08 a	0,465	a	8,94 a	6,20 a	5,88 a		2,34 a
Impianto marzo	4,60 a	3,62 a	4,13 a	0,491	a	8,01 a	6,24 a	5,74 a		2,33 a
Interazione film X epoca di impianto	ns	ns	ns	ns		ns	ns	ns		ns
	FRUTTO MATURO									
	CE (dS/m)	pH	RO (° brix)	AT (% acido citrico)		RO/AT	S.S. (%)	RPI (kg/cm ²)		RPP (kg/cm ²)
LDPE	4,76 a	3,73 a	4,53 a	0,435	a	10,42 a	6,43 a	* 4,38 a		1,53 a
PE-PA	4,78 a	3,71 a	4,20 a	0,407	a	10,66 a	6,13 a	* 4,03 b		1,35 a
Impianto febbraio	4,74 a	* 3,69 b	4,28 a	* 0,400	b	10,99 a	6,15 a	4,15 a		1,46 a
Impianto marzo	4,79 a	* 3,75 a	4,45 a	* 0,442	a	10,10 a	6,41 a	4,26 a		1,42 a
Interazione film X epoca di impianto	*	ns	ns	ns		ns	ns	ns		ns

I valori contrassegnati con lettere diverse differiscono significativamente per $P \leq 0,05$ (ns non significativo; * $P \leq 0,05$; ** $P \leq 0,01$; *** $P \leq 0,001$).

Tabella 8: qualità della produzione commerciabile a 50 giorni dall'inizio del ciclo di raccolta.

A 50 giorni dalla prima raccolta	FRUTTO INVAIATO							
	CE (dS/m)	pH	RO (° brix)	AT (% acido citrico)	RO/AT	S.S. (%)	RPI (kg/cm ²)	RPP (kg/cm ²)
LDPE	4,69 a	3,67 a	4,28 a	0,435 a	9,98 a	6,35 a	6,49 a	2,94 a
PE-PA	4,62 a	3,71 a	4,33 a	0,403 a	10,33 a	6,23 a	6,13 a	2,94 a
Impianto febbraio	4,62 a	3,65 a	* 4,25 b	** 0,455 a	* 9,13 b	6,29 a	** 6,74 a	2,93 a
Impianto marzo	4,68 a	3,72 a	* 4,35 a	** 0,383 b	* 11,18 a	6,29 a	** 5,88 b	2,95 a
Interazione film X epoca di impianto	ns	ns	**	ns	ns	ns	ns	ns
	FRUTTO MATURO							
	CE (dS/m)	pH	RO (° brix)	AT (% acido citrico)	RO/AT	S.S. (%)	RPI (kg/cm ²)	RPP (kg/cm ²)
LDPE	5,06 a	3,75 a	4,87 a	0,412 a	11,88 a	6,60 a	4,14 a	1,48 a
PE-PA	5,06 a	3,82 a	4,78 a	0,375 a	12,35 a	6,71 a	4,00 a	1,43 a
Impianto febbraio	5,01 a	3,73 a	4,45 a	0,380 a	11,66 a	6,64 a	4,08 a	1,43 a
Impianto marzo	5,11 a	3,84 a	5,19 a	0,407 a	12,58 a	6,67 a	4,06 a	1,48 a
Interazione film X epoca di impianto	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

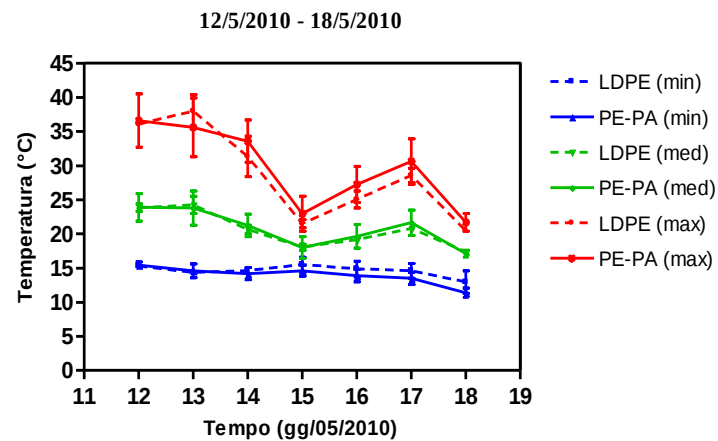
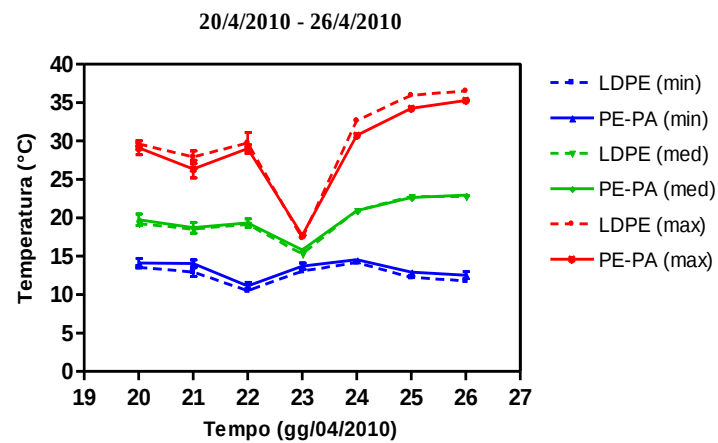
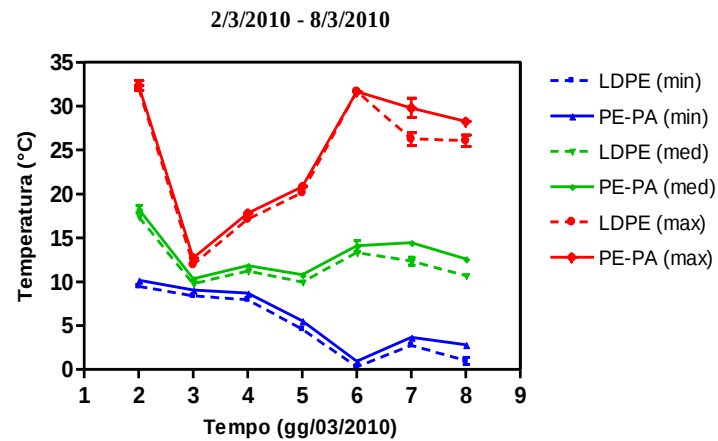
I valori contrassegnati con lettere diverse differiscono significativamente per $P \leq 0,05$ (ns non significativo; * $P \leq 0,05$; ** $P \leq 0,01$; *** $P \leq 0,001$).

Tabella 9: contenuto di vitamina C e potassio nei frutti prelevati a circa metà ciclo di raccolta.

	FRUTTO INVAIATO				FRUTTO MATURO			
	Vitamina C (mg/100 g s.f.)			Potassio (% s.s.)	Vitamina C (mg/100 g s.f.)			Potassio (% s.s.)
LDPE	***	21,37	b	2,30 a	20,91 a		2,30 a	
PE-PA	***	25,61	a	2,40 a	21,42 a		2,44 a	
Impianto febbraio	*	24,27	a	2,30 a	21,64 a		2,36 a	
Impianto marzo	*	22,71	b	2,40 a	20,69 a		2,38 a	
Interazione film X epoca di impianto	ns			ns	ns			ns

I valori contrassegnati con lettere diverse differiscono significativamente per $P \leq 0,05$ (ns non significativo; * $P \leq 0,05$; ** $P \leq 0,01$; *** $P \leq 0,001$).

Grafici 2, 3 e 4: andamento delle temperature minime, medie e massime giornaliere registrate nei mesi di marzo (settimana dal 2 all'8), aprile (dal 20 al 26) e maggio (dal 12 al 18) 2010 sotto le coperture.



Grafici 5-10: andamento delle temperature giornaliere registrate sotto i tunnel in un giorno nuvoloso e in un giorno sereno nei mesi di marzo, aprile e maggio 2010.

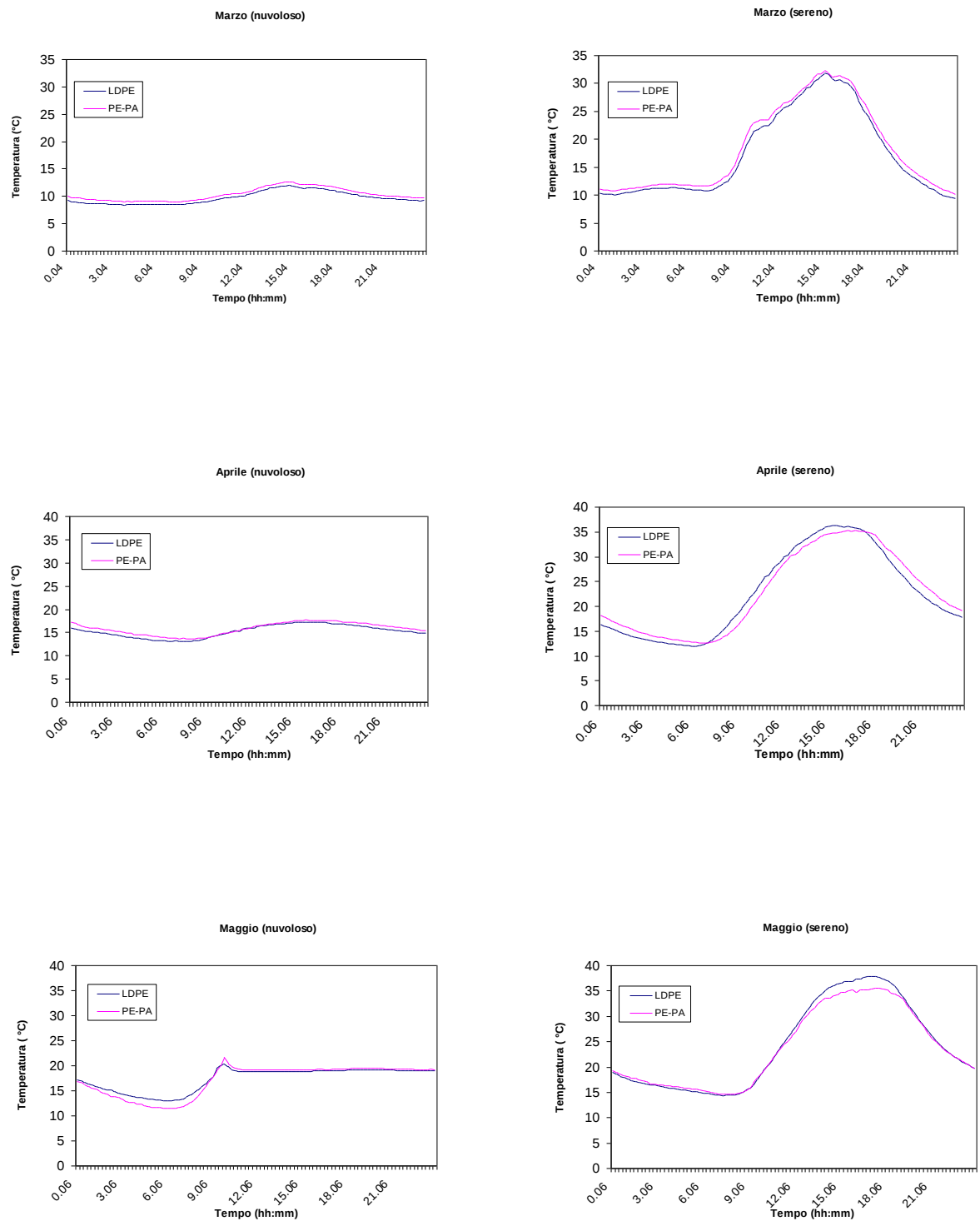
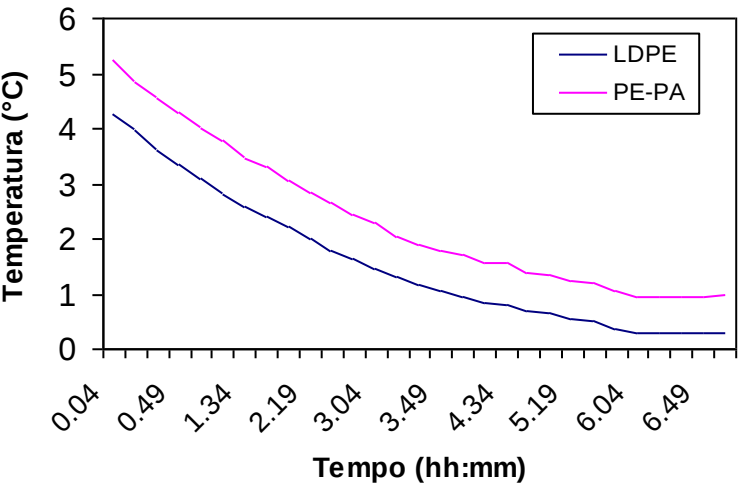
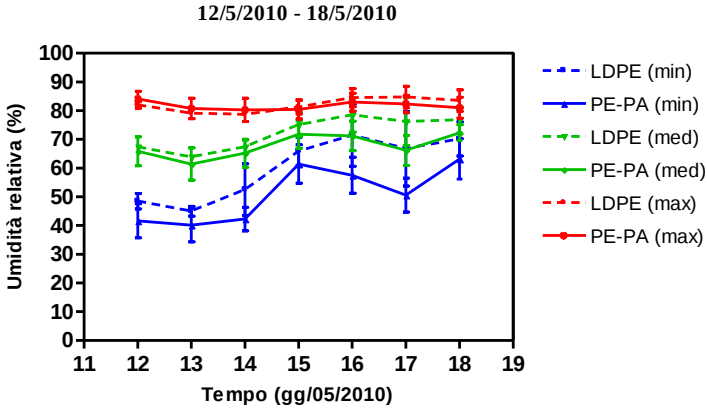
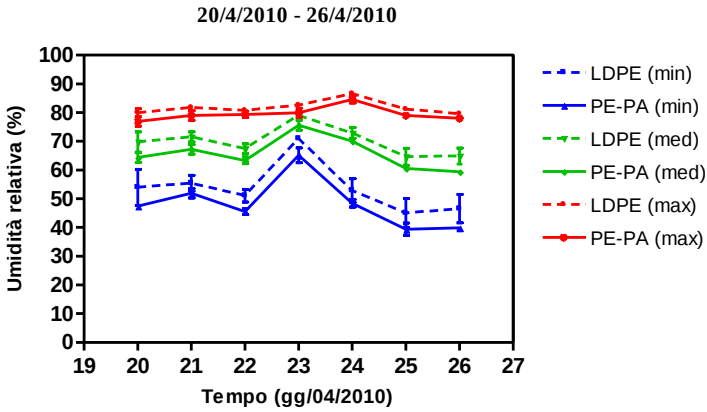
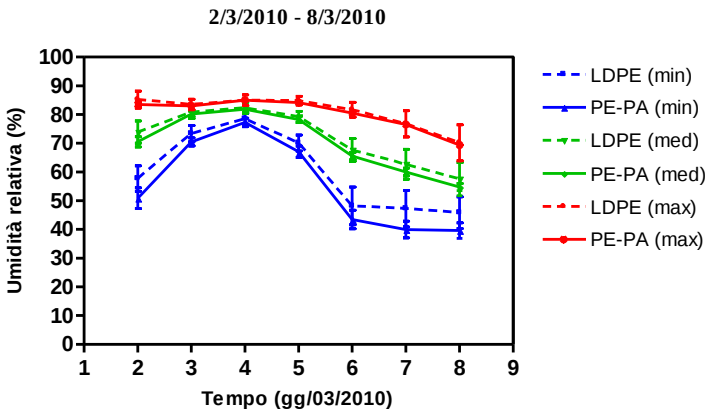


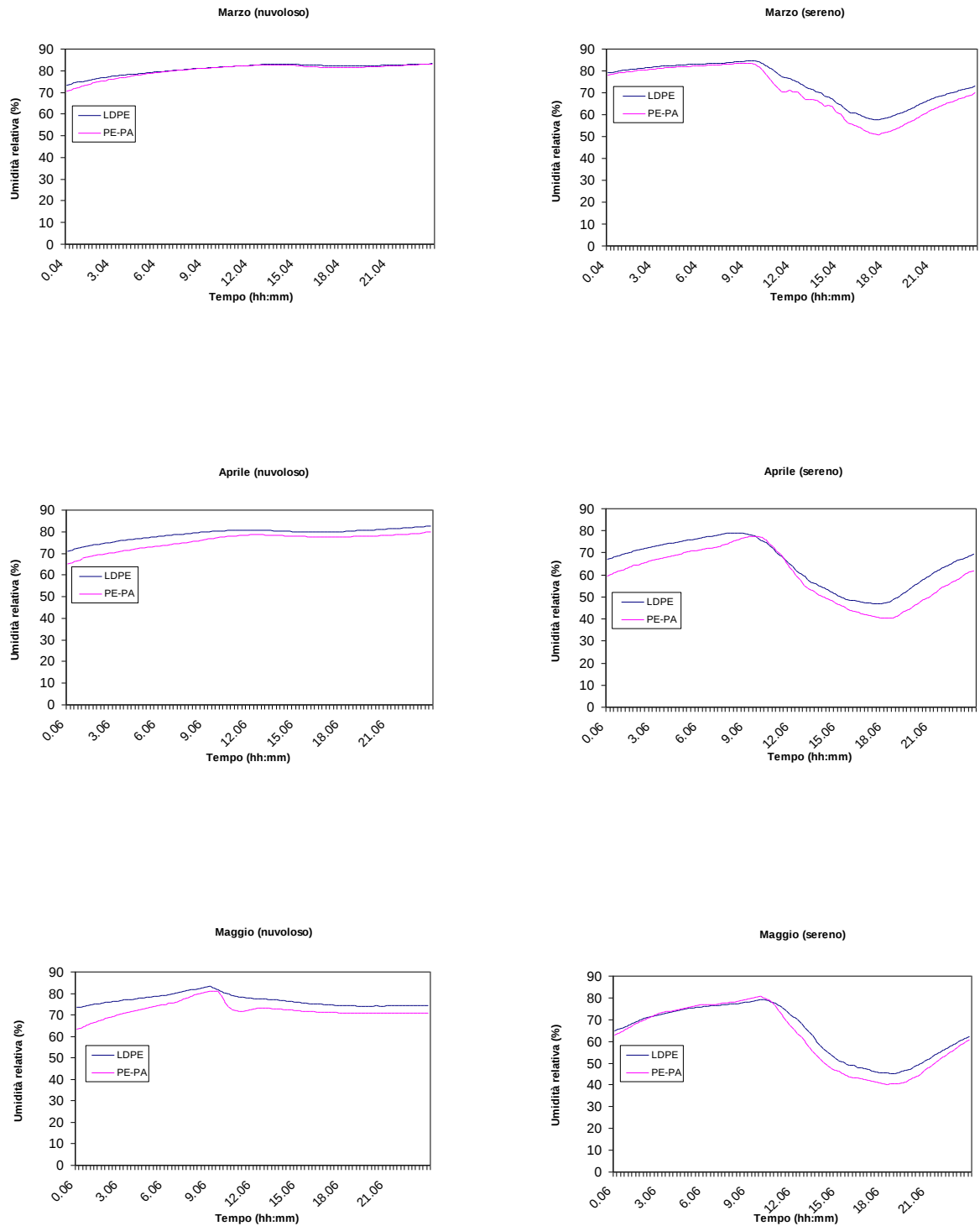
Grafico 11: andamento delle temperature all'interno dei tunnel in presenza di una gelata verificatasi nella notte tra il 5 e il 6 marzo 2010.



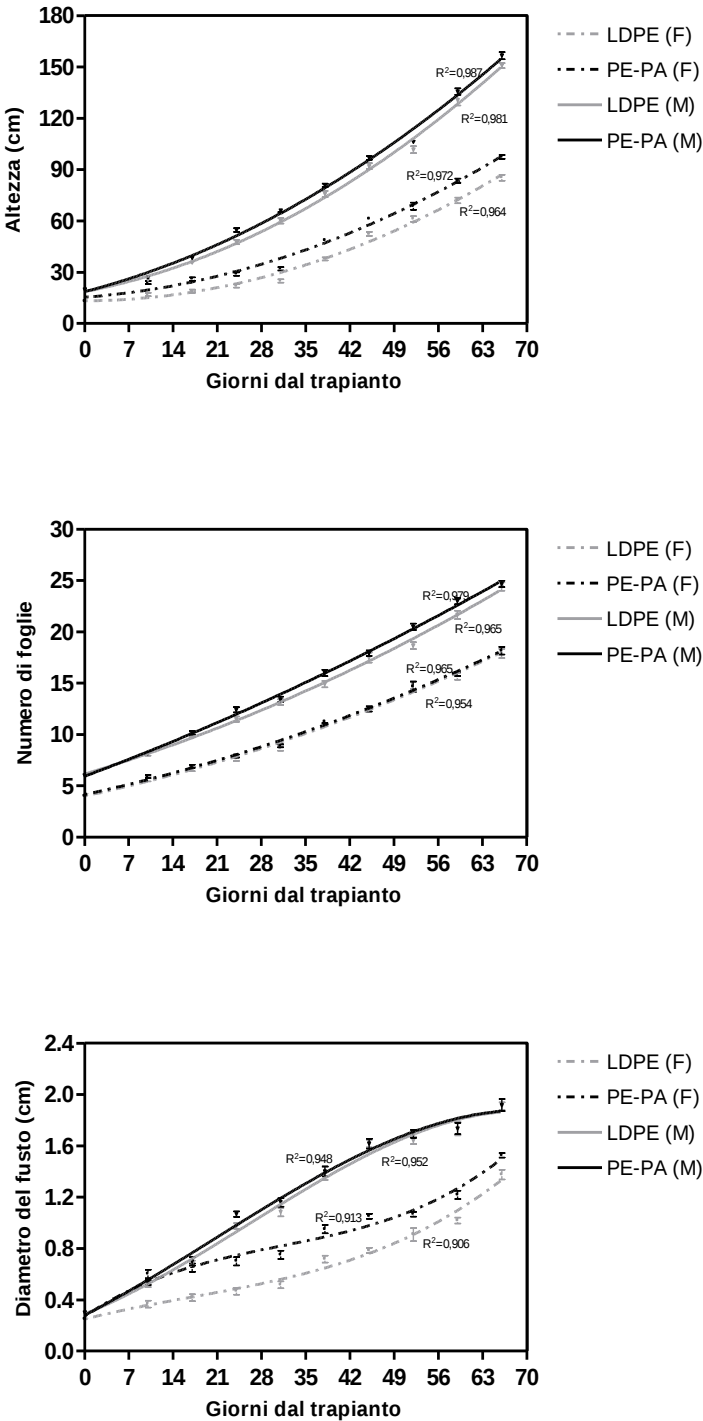
Grafici 12, 13 e 14: andamento dei valori di umidità relativa minimi, medi e massimi giornalieri registrati nei mesi di marzo (settimana dal 2 all’8), aprile (dal 20 al 26) e maggio (dal 12 al 18) 2010 sotto le coperture.



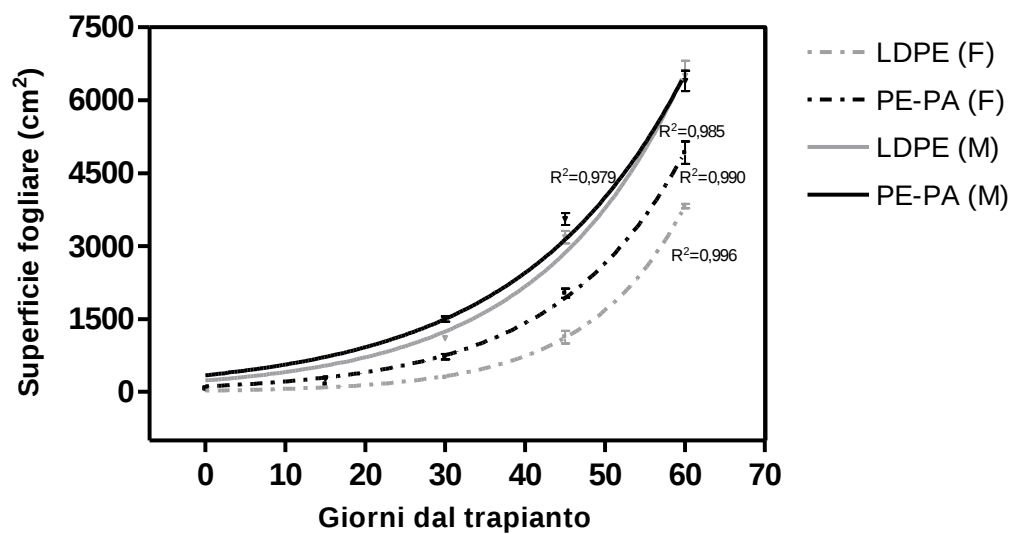
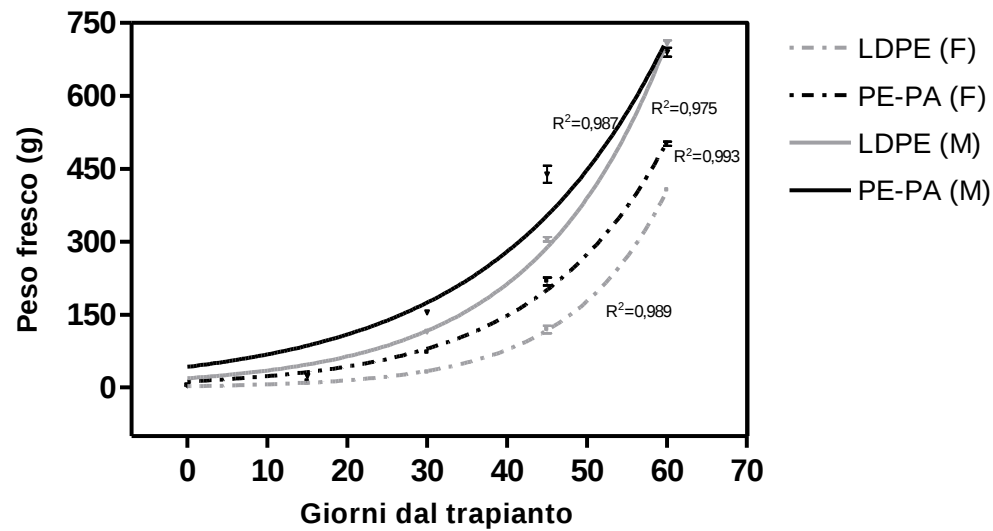
Grafici 15-20: andamento dell'umidità relativa giornaliera registrata sotto i tunnel in un giorno nuvoloso e in un giorno sereno nei mesi di marzo, aprile e maggio 2010.

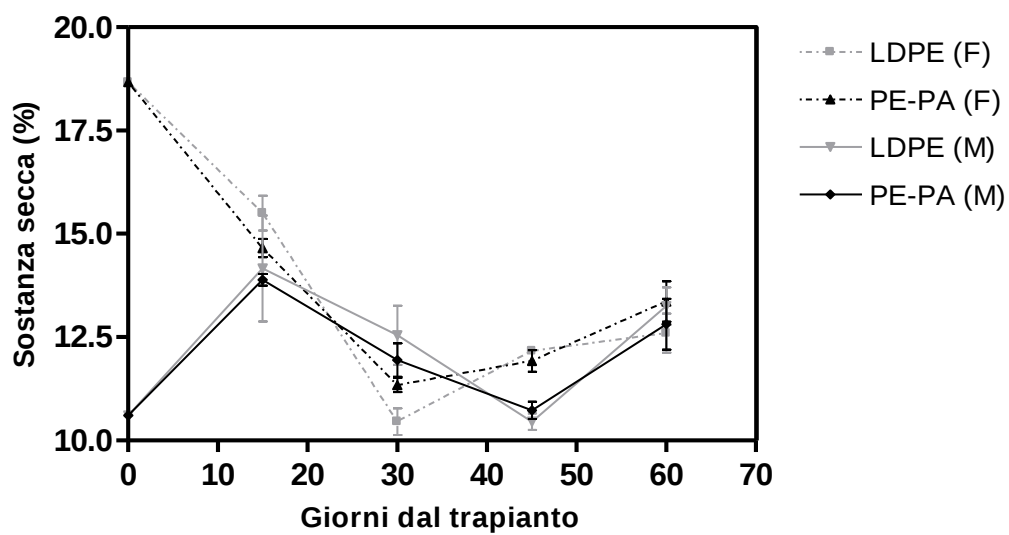
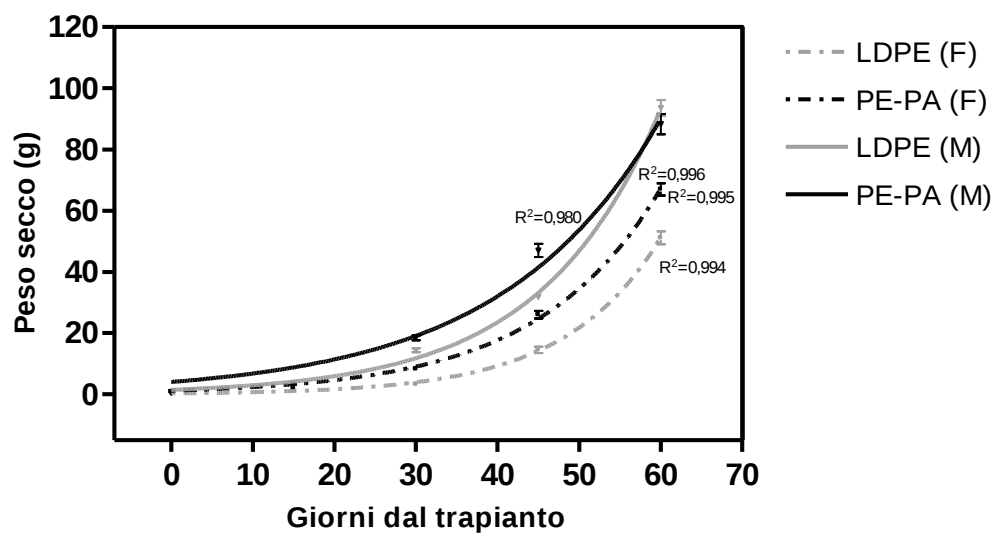


Grafici 21, 22 e 23: altezza, numero di foglie e diametro del fusto delle piante di pomodoro (valori medi a pianta).

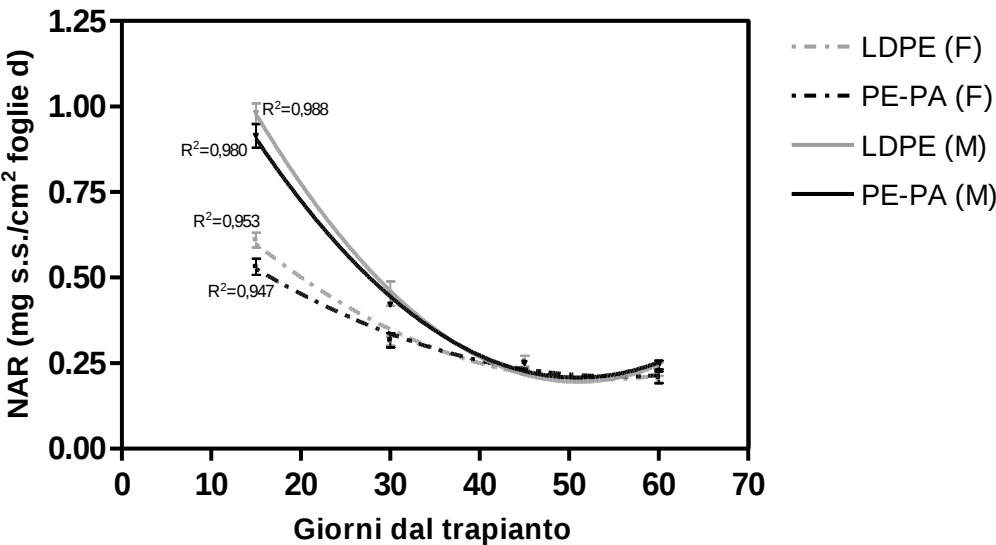
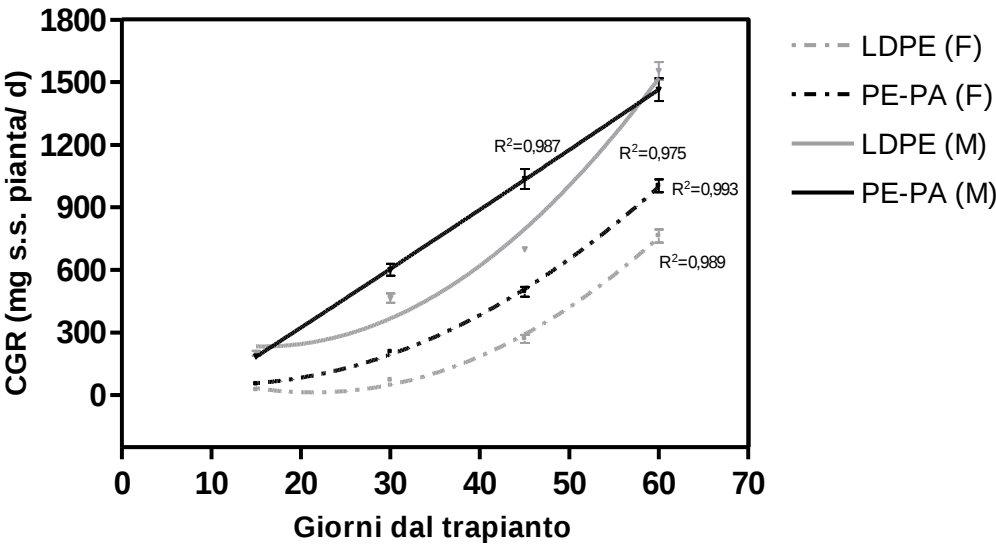


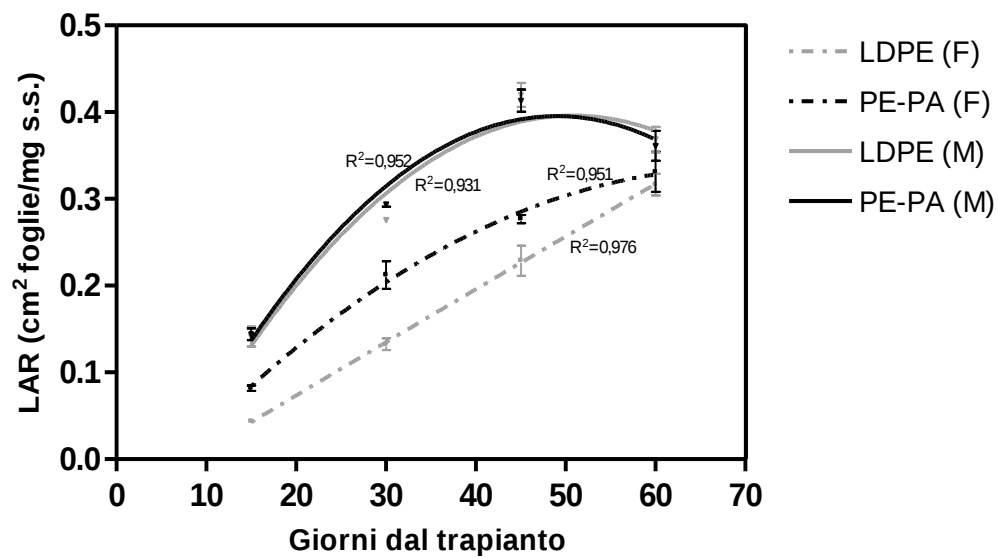
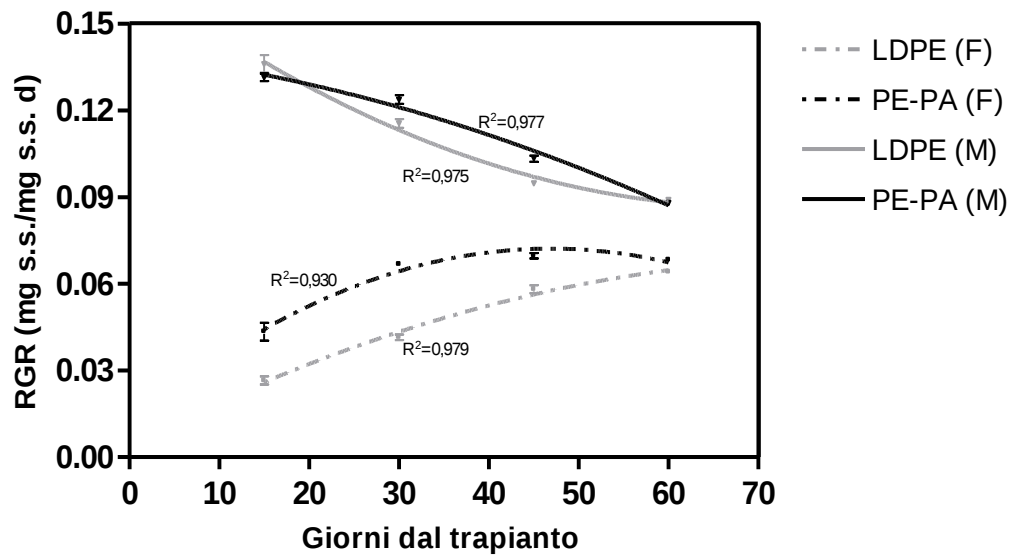
Grafici 24, 25, 26 e 27: peso fresco, superficie fogliare, peso secco e percentuale di sostanza secca nelle piante di pomodoro (valori medi a pianta).



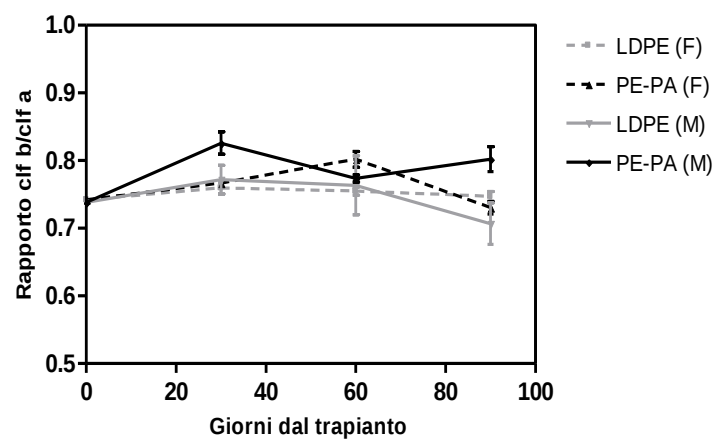
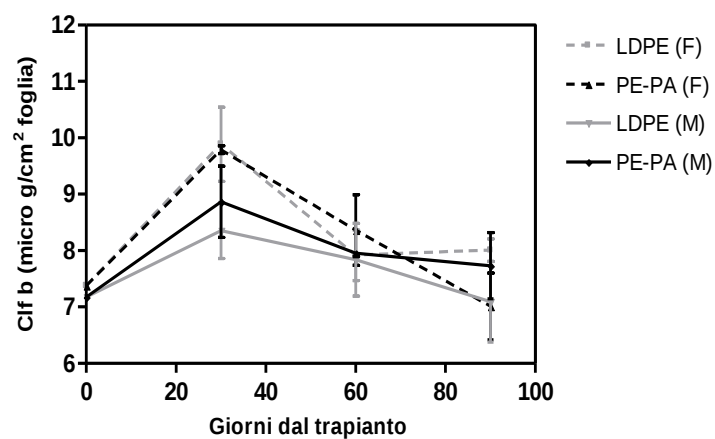
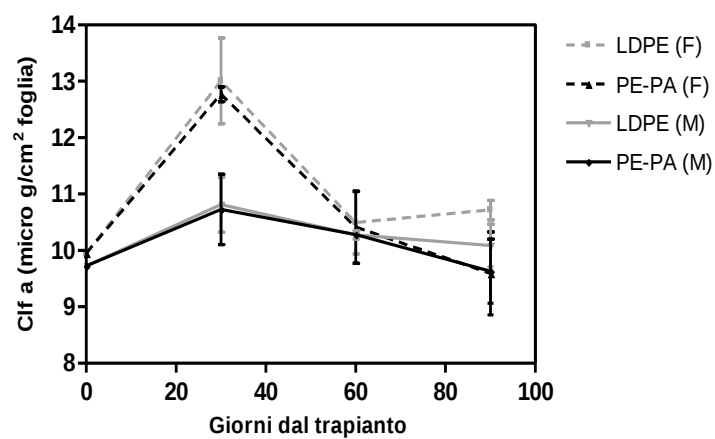


Grafici 28, 29, 30 e 31: indice di crescita assoluto (CGR), indice di assimilazione netta (NAR), indice di crescita relativo (RGR) e indice di superficie fogliare (LAR) delle piante di pomodoro (valori medi a pianta).

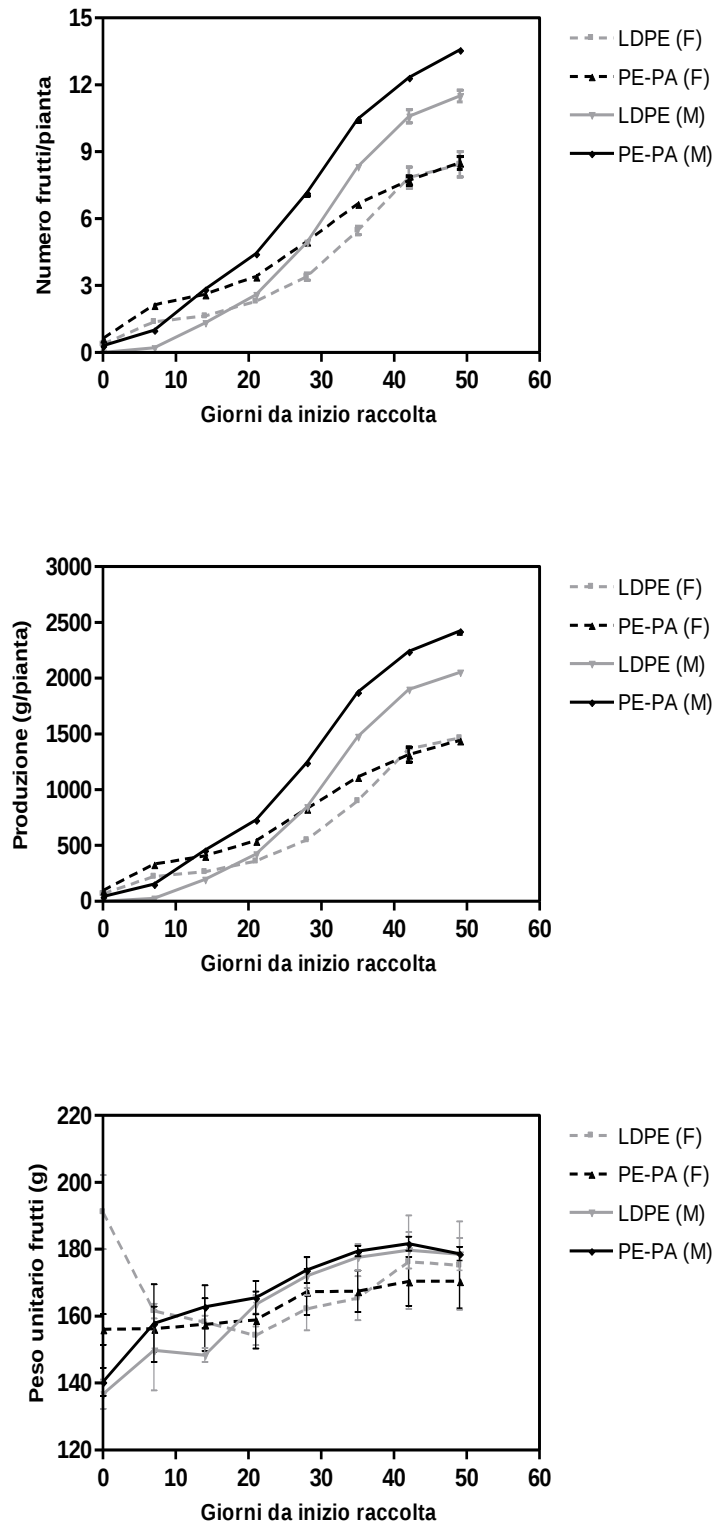




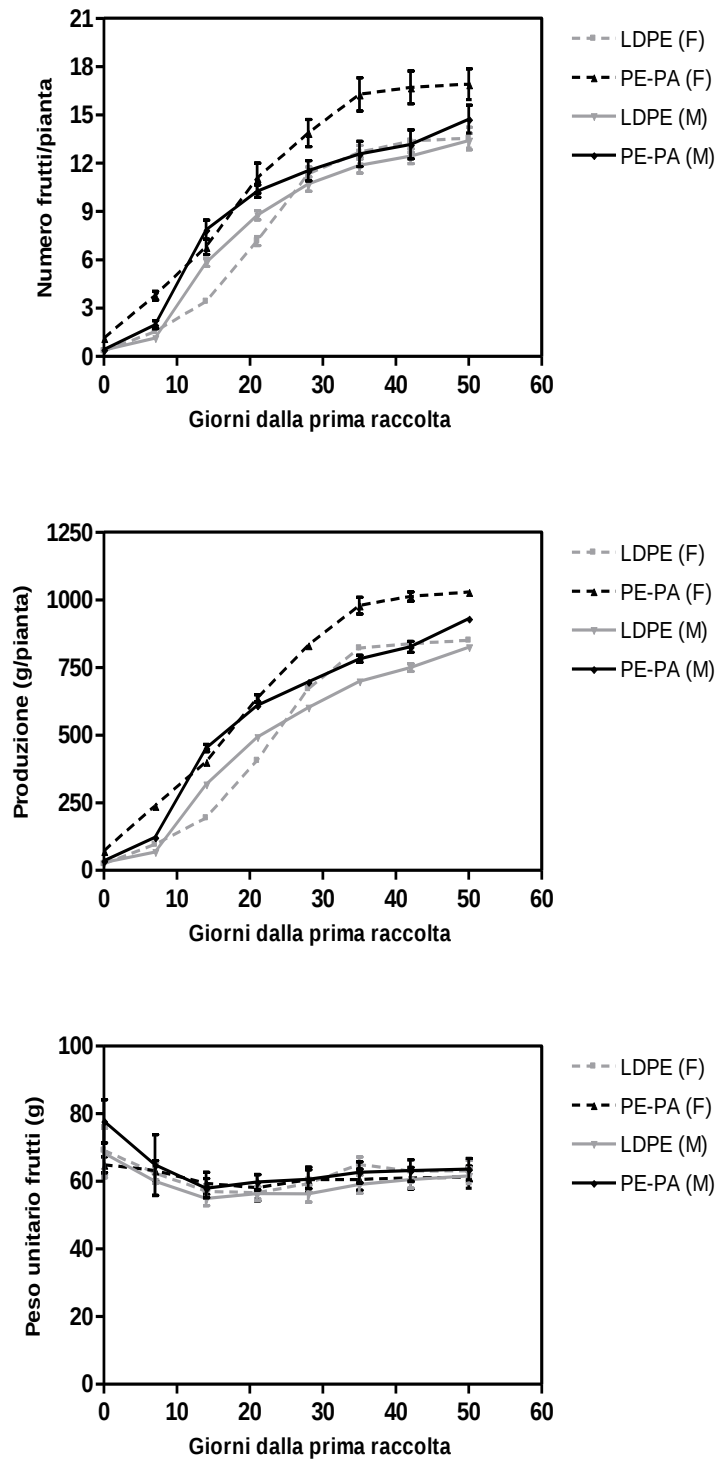
Grafici 32, 33 e 34: contenuto di clorofilla “a” e “b” nelle foglie delle piante di pomodoro e rapporto clorofilla “b”/ clorofilla “a”.



Grafici 35, 36 e 37: cumulate del numero e del peso totale dei frutti commerciabili ed evoluzione temporale del loro peso unitario.



Grafici 38, 39 e 40: cumulate del numero e del peso totale dei frutti di scarto ed evoluzione temporale del loro peso unitario.



III.2 PROVA DI CONFRONTO TRA UN FILM TERMICO INNOVATIVO CONTENENTE POLIAMMIDE E UN FILM TESTIMONE IN LDPE ADDITIVATO SU COLTURA DI POMODORO (*Lycopersicon esculentum* Mill.) – SECONDO ANNO DI PROVA

III.2.1 MATERIALI E METODI

La ricerca è stata condotta a S.Piero a Grado (PI) presso il Centro Sperimentale del Dipartimento di Biologia delle Piante Agrarie dell'Università di Pisa. La prova di confronto ha riguardato i seguenti materiali:

- *Film coestruso chiaro termico innovativo contenente poliammide (PE-PA)*
- *Film testimone in LDPE additivato (LDPE)*

Entrambi i film, il primo di spessore 150 µm, il secondo 200 µm, sono stati messi in opera nel gennaio 2010 su dei tunnel praticabili lunghi 10 m, larghi 5 m e alti 2,5 m. Ogni materiale è stato installato su tre tunnel, che hanno costituito altrettante repliche dello stesso trattamento. I film erano quindi al loro secondo anno di esposizione.

La sperimentazione ha previsto due diverse epoche d'impianto della coltura di pomodoro, una nel mese di marzo, l'altra a fine agosto, in modo da poter valutare gli effetti delle coperture sia su coltura primaverile che autunnale. Per quanto concerne la coltura primaverile, in data 28/02/2011 il terreno all'interno dei tunnel è stato concimato con concime granulare ternario 11-22-16 (Hydro) e concime organico in pellets, ciascuno in ragione di 0,1 kg/m², quindi è stata effettuata una lavorazione con zappatrice rotativa. Successivamente sono stati disposti i teli per pacciamatura in LDPE nero da 50 µm e le manichette Aquatrax (Toro) per la micro-irrigazione, dotate di fori ogni 20 cm e posizionate sotto il film pacciamante. Le piantine di pomodoro, della cultivar "Caramba", sono state acquistate presso il vivaio Falorni (Colignola, PI) e messe a dimora il 7 marzo. Per ciascuna serra sono state predisposte due file distanziate tra loro 2,5 m e lunghe 7,5 m, con una distanza delle piante sulla fila di 0,30 m, per un totale di 22 piante per fila. La tecnica colturale adottata è stata quella comunemente impiegata per l'ortiva, con periodiche rimozioni dei germogli laterali e cimatura all'altezza del quinto palco

fiorale. Il volume d'acqua irrigua da somministrare alle piante veniva determinato in base ai parametri climatici e allo specifico stadio fenologico della coltura. La primavera particolarmente calda e umida ha favorito l'insorgenza di malattie parassitarie, soprattutto la peronospora, il cui controllo è stato efficacemente condotto attraverso periodici trattamenti antiparassitari a base di Ridomil, alle dosi indicate per la specie coltivata. Nessun tipo di problema si è invece evidenziato relativamente ad attacchi di insetti.

Nel mese di marzo sono state rilevate la temperatura e l'umidità relativa dell'aria all'interno dei tunnel utilizzando sensori portatili modello FT-102 SW (Econorma) mentre, nel corso dello sviluppo vegetativo della coltura, sono stati effettuati, ogni quindici giorni, rilievi sull'altezza, il numero di foglie e il diametro del fusto delle piante. Inoltre, sempre con frequenza quindicinale, per i primi 45 giorni dall'impianto, sono stati valutati il peso fresco, il peso secco e l'area fogliare delle piante stesse. Per la misura della superficie fogliare è stato utilizzato un planimetro modello ΔT Area Meter (Delta-T Devices) mentre il peso secco è stato ottenuto mediante essiccazione in stufa ventilata a 70°C fino a peso costante. Un ulteriore rilievo, eseguito anch'esso ogni quindici giorni e per i primi due mesi dall'impianto, ha riguardato il contenuto di clorofille nelle foglie delle piante, che è stato quantificato tramite lettura allo spettrofotometro (modello Jenway 6400, Jenway Limited, England), alle lunghezze d'onda di 665,2 e 652,4 nm per la clorofilla a e b rispettivamente, ed espresso in $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ di foglia. I pigmenti sono stati estratti utilizzando come solvente del metanolo al 99,9%, lasciando i campioni al buio e ad una temperatura di 4°C per 24 ore. Per il calcolo della concentrazione di clorofille si è fatto ricorso alla formula di Lichtenthaler (Lichtenthaler, 1987). A partire dai dati raccolti sono stati quindi calcolati la percentuale di sostanza secca nella parte aerea della pianta e i seguenti indici di crescita: l'indice di crescita assoluto della coltura (CGR, *Crop Growth Rate*, espresso come mg s.s. pianta/giorno), l'indice di assimilazione netta (NAR, *Net Absorption Rate* espresso come mg s.s. pianta/ cm^2 superficie fogliare per giorno), l'indice di crescita relativo (RGR, *Relative Growth Rate* espresso come mg s.s. pianta/mg s.s. già presente per giorno) e l'indice di superficie fogliare (LAR, *Leaf Area Ratio* espresso in cm^2/mg s.s.). Sempre nel corso dello sviluppo vegetativo della coltura, in particolare a 20, 50 e 80 giorni dall'impianto, sono stati poi misurati gli scambi gassosi, e, nello specifico, la fotosintesi netta ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), la conduttanza stomatica ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), la traspirazione ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e la *Water Use Efficiency* (WUE, $\mu\text{mol CO}_2/\text{mol H}_2\text{O}$), con un IRGA (Infrared Gas Analyzer) modello Licor LI 6400. Nel mese di giugno inoltre, in condizioni di cielo sereno e nelle ore centrali della giornata, si è proceduto alla misura

dell'irradianza sotto le coperture (per le lunghezze d'onda comprese tra 300 e 1050 nm) con uno spettrometro Ocean Optics HR2000, ottenendo i relativi spettri. Dal 7 al 13 luglio, in assenza della coltura, è stato poi fatto un ulteriore rilievo sulla temperatura e umidità dell'aria sotto i tunnel, volto a verificare la capacità del film innovativo di ridurre gli innalzamenti termici, nei giorni e nelle ore di massima insolazione.

La raccolta delle bacche ha avuto inizio il 1 giugno concludendosi il giorno 22 dello stesso mese, per un totale di 4 interventi. I pomodori, una volta raccolti, sono stati sottoposti a cernita per separare la produzione commerciale dallo scarto, quindi, per entrambe le categorie, sono stati registrati il numero e il peso fresco totale dei frutti, da cui si è poi ricavato il peso unitario degli stessi.

Per quanto riguarda la qualità della produzione, a due diversi momenti del ciclo di raccolta sono stati prelevati campioni costituiti sia da pomodori allo stadio di invaiatura sia da bacche mature su cui è stata misurata la resistenza alla penetrazione del frutto intero e della sola polpa (RPI e RPP; kg/cm^2 , utilizzando un penetrometro manuale modello FT 327) e, previa omogeneizzazione e centrifugazione, sono stati valutati: conducibilità elettrica (CE; dS/m , misurata con conducimetro modello HI 8733 Hanna Instruments), pH, residuo ottico (RO; $^{\circ}\text{brix}$, misurato con rifrattometro manuale), acidità titolabile (AT; % acido citrico, mediante titolazione con NaOH 0,1N), rapporto residuo ottico/acidità titolabile (RO/AT), ed infine il contenuto percentuale di sostanza secca (% s.s., tramite essiccazione in stufa a 70°C fino a peso costante). A metà del ciclo di raccolta è stato inoltre quantificato il contenuto in vitamina C ($\text{mg}/100$ s.f.) delle bacche, quello in potassio (% sulla s.s.), l'attività antiossidante ($\text{mM Fe}^{2+}/\text{kg}$ s.f.) e il contenuto in carotenoidi (mg licopene/ kg s.f.). Quest'ultimo, valutato unicamente sui frutti allo stadio di piena maturazione, è stato analizzato con il metodo spettrofotometrico impiegato da Lugasi *et al.* (2003), parzialmente modificato: i pigmenti sono stati estratti utilizzando una miscela di esano-acetone-etanolo in rapporto 2:1:1 vol/vol (0,2 g di buccia e 1 g di polpa di pomodoro, precedentemente conservati a -80°C , sono stati posti in un becker completamente avvolto in alluminio contenente 50 ml della soluzione estraente, il quale è stato collocato su un agitatore orbitale per un tempo di 45 minuti. Alla fine di tale periodo sono stati aggiunti 10 ml di acqua distillata lasciando il tutto in agitazione per ulteriori 5 minuti). Quindi è stata prelevata un'aliquota di 1 ml del campione ottenuto, su cui è stata effettuata la lettura allo spettrofotometro (modello Shimadzu UV-vis 1204, Tokyo Japan) alla lunghezza d'onda di 472 nm. Con apposita formula, basandosi sui valori di assorbanza rilevati e sul coefficiente di estinzione molare del solvente, è stato calcolato il

contenuto di carotenoidi totali, esprimendo il risultato come milligrammi di licopene per chilogrammo di peso fresco. La determinazione della vitamina C è stata effettuata con metodo titrimetrico (AOAC, 1980): a 100 g di prodotto fresco (ottenuto da porzioni di polpa e buccia ricavate da 6 differenti frutti) sono stati aggiunti 100 ml di soluzione estraente a base di acido acetico e acido fosforico, quindi, dopo omogeneizzazione e filtrazione, sono stati prelevati 20 ml di filtrato che sono stati titolati con una soluzione a base di 2,6-dicloroindofenolo e NaHCO_3 . Applicando l'apposita formula matematica, in base ai millilitri di soluzione titolante impiegati e previa titolazione di una soluzione standard di acido ascorbico contenente 50 mg del composto in 50 ml di soluzione estraente, sono stati calcolati i milligrammi di vitamina C presenti in 100 g di sostanza fresca. Per la valutazione del contenuto in potassio si è fatto ricorso ad una digestione nitroperclorica della sostanza secca con successiva lettura al fotometro a fiamma (modello Jenway PFP7, Jenway Limited, England). La capacità antiossidante è stata invece valutata con il metodo FRAP (*ferric-reducing antioxidant power*) messo a punto da Benzie & Strain (1996): i campioni sono stati estratti utilizzando del metanolo al 99,9%, quindi una piccola quantità di estratto (0,1 ml) è stata aggiunta a 0,9 ml di reagente FRAP, miscelando il tutto. La miscela così ottenuta è stata lasciata a 20°C per 4 minuti, dopodiché si è proceduto alla lettura dell'assorbanza ad una lunghezza d'onda di 593 nm (con spettrofotometro modello Shimadzu UV-vis 1204, Tokyo Japan). Il reagente FRAP era costituito da 1 mol m^{-3} di 2,4,6-tripiridyl-2-triazina (TPTZ) e 2 mol m^{-3} di cloruro di ferro in 250 mol m^{-3} di acetato di sodio (pH 3,6).

Sui dati relativi allo sviluppo vegetativo della coltura è stata effettuata l'analisi di regressione non lineare scegliendo il grado di equazione più idoneo a rappresentare l'andamento della crescita della pianta, in base al raffronto dei rispettivi coefficienti di determinazione (R^2). I dati inerenti la temperatura e umidità relativa dell'aria, gli scambi gassosi e la produzione quanti-qualitativa sono stati invece confrontati utilizzando il test t.

Per quanto riguarda l'impianto autunnale, la preparazione del terreno, la concimazione e la tecnica colturale sono state le stesse descritte per la coltura primaverile, eccetto la somministrazione di $0,1 \text{ kg/m}^2$ di nitrato ammonico in sostituzione del letame pellettato usato in primavera. L'impianto della coltura ha avuto luogo il 30 agosto, predisponendo una fila unica per ciascuna serra con una distanza tra le piante di 30 cm (per un totale di 18 piante/tunnel). I rilievi effettuati, sia durante lo sviluppo vegetativo della coltura sia sulla produzione quanti-qualitativa, sono stati gli stessi dell'impianto primaverile. Tuttavia, considerando che nel suddetto impianto le due coperture non si erano sostanzialmente

differenziate tra loro riguardo alla qualità del prodotto, come evidenziato dalle analisi condotte sui pomodori raccolti in primavera-estate, la valutazione dei parametri qualitativi si è limitata ad un solo rilievo effettuato a circa metà ciclo di raccolta. La raccolta delle bacche ha avuto inizio il 14 novembre 2011 e si è conclusa il 3 gennaio 2012, per un totale di sei interventi. Infine, anche le analisi statistiche condotte sui dati raccolti non hanno differito da quelle effettuate per l'impianto primaverile.

III.2.2 RISULTATI E DISCUSSIONE

III.2.2.1 Irradianza sotto le coperture

L'irradianza sotto il film innovativo, per tutte le lunghezze d'onda considerate, è risultata minore o uguale rispetto a quella registrata sotto il film in polietilene additivato (Graf.41). Entrambe le coperture hanno dimostrato di tagliare la totalità della radiazione ultravioletta, mentre, per quanto concerne l'infrarosso corto, i livelli di irradianza inferiori registrati sotto la copertura in poliammide possono rappresentare un notevole vantaggio nelle stagioni più calde, in quanto determinano una riduzione dei picchi di temperatura nelle ore centrali della giornata, come dimostrano, del resto, i dati sulle temperature misurati in piena estate e descritti nel paragrafo seguente.

III.2.2.2 Temperatura e umidità relativa dell'aria all'interno dei tunnel

I rilievi effettuati nel mese di marzo sulla temperatura e umidità relativa dell'aria all'interno degli apprestamenti di protezione (Tab.10) hanno fornito risultati riconducibili a quelli ottenuti nella prova del 2010.

In particolare il film innovativo ha permesso di ottenere, come del resto era lecito aspettarsi, livelli termici significativamente più elevati, sia per quanto riguarda la media settimanale delle temperature minime giornaliere (+0,7°C rispetto al film LDPE) sia delle temperature medie giornaliere (+0,3°C). Contemporaneamente il film PE-PA è riuscito a ridurre gli innalzamenti termici durante le ore centrali della giornata (-0,6°C), diminuendo in tal modo

l'intervallo tra la temperatura minima e quella massima nell'arco della giornata. L'umidità relativa dell'aria è risultata minore sotto il film prototipo, sia nel caso della media settimanale dei valori minimi (48,6% del PE-PA contro il 55,3% dell'LDPE) sia di quelli medi (69,6% e 71,4% rispettivamente). I valori medi settimanali dell'umidità giornaliera massima, invece, non hanno dato luogo a differenze statisticamente significative tra le due tesi.

La capacità del film contenente poliammide di limitare gli innalzamenti termici durante le ore centrali della giornata ha poi trovato ulteriore riscontro nel rilievo effettuato nel mese di luglio (Tab.11), quando, sotto la copertura PE-PA, sono state registrate temperature massime giornaliere di circa 1°C inferiori rispetto a quelle misurate sotto il film in LDPE additivato (41,6°C per il film prototipo contro 42,5°C per il film testimone), nonostante tali differenze non siano risultate significative dal punto di vista statistico.

III.2.2.3 Sviluppo vegetativo della coltura e scambi gassosi

Analogamente a quanto osservato nella prova dell'anno precedente, anche nel 2011 le temperature particolarmente rigide registrate nei giorni immediatamente successivi all'impianto della coltura a ciclo primaverile (prima decade del mese di marzo), hanno determinato iniziali ritardi di sviluppo nelle giovani piantine. Differentemente dalla passata stagione, tuttavia, le temperature prossime allo zero sono perdurate per più giorni consecutivi, arrecando notevoli danni alle piante presenti sotto il film testimone in LDPE, mentre, sotto il film termico contenente poliammide, gli effetti negativi legati al freddo sono apparsi assai meno evidenti, quantomeno a livello di sintomi visibili. I mesi di aprile e maggio hanno invece fatto registrare temperature notevolmente superiori alla media del periodo, che hanno reso necessario aprire anticipatamente le porte delle serre, rendendo, in tal modo, meno evidenti gli effetti positivi legati ai maggiori livelli termici ottenuti di notte sotto il film innovativo. Questo non ha tuttavia impedito di osservare, confermando quanto visto l'anno passato, un miglior sviluppo vegetativo delle piante presenti sotto la copertura in poliammide, a cui si sono associati, soprattutto nelle prime fasi di crescita, valori degli scambi gassosi anch'essi favorevoli al film PE-PA.

Il periodo fine estate-inizio autunno si è anch'esso caratterizzato per temperature superiori alla media, che si sono protratte fino ad ottobre inoltrato. In particolare, le temperature esterne prossime ai 40°C registrate nell'ultima decade di agosto hanno fortemente ritardato l'impianto

della coltura a ciclo autunnale e rallentato, nei giorni successivi al trapianto, l'accrescimento delle giovani piantine. Ciononostante queste hanno mostrato, nelle successive settimane, un buon sviluppo vegetativo, favorite soprattutto dall'attestarsi delle temperature all'interno dell'ambiente protetto su livelli ottimali per la specie. Le differenze tra le due coperture, riguardo alla crescita delle piante, sono risultate, in linea generale, pressoché nulle, dimostrando che gli effetti positivi del film innovativo sullo sviluppo vegetativo dell'ortiva tendono a ridursi drasticamente in presenza di temperature elevate dell'ambiente esterno e, di conseguenza, di quello confinato sotto i tunnel.

III.2.2.3.1 Altezza, numero di foglie, area fogliare e diametro del fusto delle piante

I risultati delle misure condotte sulle piante di pomodoro in coltura primaverile sono sostanzialmente in linea con quelli rilevati nella scorsa stagione, evidenziando un'altezza (Graf.42) e, soprattutto, un diametro del fusto (Graf.44) maggiori nei vegetali cresciuti sotto il film innovativo, inoltre caratterizzatosi per la maggior superficie fogliare (Graf.46). Il numero di foglie a pianta (Graf.43), sebbene risulti leggermente più alto nel caso della copertura PE-PA, non ha mostrato differenze particolarmente evidenti, suggerendo che la maggior area fogliare delle piante sviluppatesi sotto il film contenente poliammide sia da collegare ad una dimensione media più elevata della singola foglia piuttosto che all'entità numerica delle foglie stesse.

Nel caso della coltura a ciclo autunnale, invece, non sono state riscontrate sostanziali differenze tra film innovativo e film testimone per nessuno dei parametri considerati (Graf.62, 63 e 64).

III.2.2.3.2 Peso fresco, peso secco e percentuale di sostanza secca della parte aerea delle piante.

Per quanto riguarda il peso fresco (Graf.45) e secco (Graf.47) della parte aerea delle piante allevate in primavera, dopo una fase iniziale in cui non sono state riscontrate differenze evidenti tra le due coperture, il film innovativo ha permesso di raccogliere, a partire dal trentesimo giorno circa dall'impianto, una quantità di biomassa, sia fresca che secca,

maggiore rispetto al film testimone. L'accrescimento della coltura è stato infatti caratterizzato da una stasi iniziale causata dalle rigide temperature di fine inverno, che hanno provocato danni più ingenti alle piantine allevate sotto il film testimone, aspetto, questo, che si è tradotto in una loro successiva ripresa più lenta rispetto alle corrispondenti piante cresciute sotto la copertura PE-PA. La percentuale di sostanza secca nei tessuti (Graf.48) non ha, invece, mostrato differenze se non intorno ai 45 giorni dall'impianto, dove risultava maggiore nel film in LDPE.

Il maggior sviluppo vegetativo delle piante di pomodoro allevate sotto il film innovativo osservato nella prova dell'anno precedente ha trovato perciò ulteriore conferma in una stagione diametralmente opposta dal punto di vista climatico, dimostrando che le condizioni presenti sotto la copertura PE-PA sembrano essere in grado, in linea generale, di favorire l'accrescimento dell'ortiva rispetto a quelle riscontrabili sotto un classico film in polietilene additivato, quantomeno in coltura di pomodoro primaverile.

Riguardo all'impianto autunnale, non sono state invece rilevate particolari differenze tra le due coperture per nessuno dei parametri esaminati (Graf.65, 66, 67 e 68).

III.2.2.3.3 Indici di crescita

Eccettuato il caso dell'indice di assimilazione netta (NAR), risultato più elevato nel film in LDPE nella fase iniziale del ciclo vegetativo dell'ortiva impiantata a marzo (Graf.50), tutti gli indici di crescita considerati hanno mostrato valori superiori nelle piante allevate sotto il film innovativo rispetto a quelle cresciute sotto al film testimone. Questi risultati sono in piena concordanza con quelli ottenuti nel primo anno di sperimentazione.

In particolare, mentre nel caso del tasso di crescita assoluto (CGR) le differenze tra le due coperture tendono ad aumentare con il trascorrere del tempo (Graf.49), per gli altri tre indici (graf.50, 51 e 52) si registra la tendenza opposta, ossia le due curve convergono al sopraggiungere della stagione calda. Questo andamento dimostra l'efficacia del film PE-PA nel promuovere la crescita delle piante di pomodoro soprattutto in presenza di temperature esterne inferiori alle esigenze climatiche della specie, mentre nel caso di livelli termici sufficientemente elevati, tali divergenze si riducono progressivamente, data anche la maggior circolazione d'aria nell'ambiente protetto dovuta all'apertura delle porte dei tunnel, che riduce notevolmente le differenze, in fatto di temperatura e umidità relativa, tra le due coperture.

Nel caso dell'impianto autunnale, le differenze tra le due tesi in relazione ai parametri considerati sono risultate, eccetto per il LAR, minime (Graf.69, 70, 71 e 72). Nello specifico, il film testimone si è caratterizzato per le performances migliori nelle fasi di sviluppo immediatamente successive all'impianto, mentre con l'abbassarsi delle temperature, legato al sopraggiungere della stagione autunnale (per quanto queste risultassero comunque oltre i valori medi del periodo), la maggior termicità del film in poliammide ha permesso di evidenziare tassi di crescita leggermente più elevati delle piante allevate sotto di esso, sebbene di modesta entità rispetto a quelli osservati in coltura primaverile.

III.2.2.3.4 Contenuto di clorofilla a e b nelle foglie delle piante

Per quel che concerne il contenuto di clorofille all'interno delle foglie delle piante, differenze tra le due tesi poste a confronto si sono evidenziate solamente nei 10-15 giorni seguenti l'impianto della coltura primaverile, con i valori più alti registrati per il film PE-PA (Graf.53, 54 e 55). Per entrambe le coperture la tendenza è stata quella di un progressivo aumento del contenuto delle due clorofille fino a circa 25-30 giorni dalla messa a dimora, cui è seguita una brusca diminuzione dello stesso, legata presumibilmente al repentino innalzarsi delle temperature fino a livelli anomali per il periodo, che sembra aver avuto un effetto negativo sulla crescita dei vegetali. La maggior quantità di clorofille a e b osservata inizialmente nel film contenente poliammide può essere, almeno in parte, ricollegata ai danni da gelo subiti dalle giovani piantine presenti sotto il film LDPE, nei giorni immediatamente successivi al trapianto, cui è seguita tuttavia una fase di recupero che ha riportato, a circa un mese dalla data di impianto, i valori rilevati per l'LDPE su livelli simili a quelli del PE-PA. Altre differenze, sebbene di minor entità, sono state registrate nel rilievo effettuato a due mesi dalla messa a dimora, vale a dire nella prima decade di maggio, dove si è osservato, in particolare, un maggior valore del contenuto di clorofilla b e, conseguentemente, del rapporto clorofilla b/clorofilla a, nel caso del film termico contenente poliammide.

Riguardo alla coltura a ciclo autunnale (Graf.73, 74 e 75), differenze significative nel contenuto delle due clorofille sono state evidenziate solamente nel rilievo effettuato a un mese dall'impianto, dove i valori di entrambe sono risultati più elevati nel film innovativo. Il rapporto clorofilla b/clorofilla a non si è invece differenziato in modo significativo passando da una copertura all'altra.

III.2.2.3.5 Scambi gassosi

I dati raccolti concernenti gli scambi gassosi della coltura a ciclo primaverile (Tab.12) hanno evidenziato differenze statisticamente significative tra le due coperture soltanto nelle fasi iniziali del ciclo vegetativo, precisamente a 20 giorni dall'impianto, quando la fotosintesi netta misurata nelle piante allevate sotto il film innovativo risultava del 46,7% superiore rispetto a quella delle piante presenti sotto la copertura in polietilene additivato. La conduttanza stomatica e la traspirazione si sono attestate, addirittura, su valori più che doppi rispetto a quelli registrati sotto il film LDPE (+133,6% e +120% rispettivamente), mentre la WUE è risultata del 41,6% più elevata in quest'ultimo. I rilievi effettuati a 50 e 80 giorni dal trapianto, ovvero a fine aprile e fine maggio, non hanno invece mostrato alcuna differenza significativa tra le due tesi, a dimostrazione di come le elevate temperature tendano a ridurre gli effetti positivi del film termico.

In coltura autunnale (Tab.18), differenze significative tra le coperture sono state registrate solamente in occasione del primo rilievo, eseguito ad un mese dal trapianto, in relazione alla traspirazione, più elevata nel film innovativo, e alla WUE, maggiore nel film testimone. Da sottolineare che la fotosintesi netta, più alta nel film in LDPE nelle prime fasi del ciclo di sviluppo dell'ortiva, ha mostrato, una volta che si è proceduto alla chiusura delle porte delle serre, in conseguenza dell'abbassarsi delle temperature esterne, valori leggermente più elevati nel film innovativo rispetto al film testimone, nonostante le differenze non siano apparse significative dal punto di vista statistico.

III.2.2.4 Produzione

La produzione cumulata finale di bacche commerciabili, nel caso della coltura a ciclo primaverile (Graf.56 e 57), non ha mostrato differenze significative tra le due coperture, così come non si è differenziata la produzione di scarto (Graf.59 e 60). Il film contenente poliammide ha tuttavia messo in luce, per il secondo anno consecutivo, la propria capacità di anticipare la produzione. Infatti, osservando la cumulata dei primi due interventi di raccolta (Tab.13), corrispondenti alla metà dell'intero ciclo, si notano differenze statisticamente

significative tra i due manufatti plastici posti a confronto. Nello specifico, il film PE-PA ha prodotto un numero di frutti commerciabili del 32,3% più elevato rispetto al film LDPE, mentre il peso complessivo degli stessi è risultato maggiore del 17,6%. Tuttavia il peso medio dei pomodori è apparso di poco superiore nel film in polietilene additivato. Nessuna differenza significativa è invece da segnalare per la produzione precoce di scarto.

La tendenza del film innovativo ad anticipare la maturazione dei frutti è stata poi nuovamente osservata nella coltura impiantata a fine estate (Graf.76 e 77). La produzione commerciabile cumulata a 20 giorni dall'inizio della raccolta ha infatti mostrato un numero di pomodori raccolti da piante allevate sotto il film PE-PA superiore di circa il 63% rispetto al film testimone, mentre il peso complessivo delle bacche stesse è risultato del 49,3% più alto (Tab.19). Come nella coltura primaverile, il film testimone si è tuttavia caratterizzato per il peso unitario dei frutti più elevato, sebbene con differenze non significative dal punto di vista statistico. La produzione cumulata finale (Tab.20) non ha invece evidenziato differenze significative tra le due coperture confrontate, sebbene sia ancora il film contenente poliammide ad aver mostrato le performances produttive migliori, sia i termini di entità numerica delle bacche sia di peso complessivo delle stesse. Infine, nessuna differenza significativa è da riportare, anche in questo caso, per la produzione di scarto (Tab.20).

III.2.2.5 Qualità della produzione

Come per la produzione quantitativa, anche per la qualità dei pomodori ottenuti dalla coltura a ciclo primaverile-estivo non sono state riscontrate particolari differenze tra i due film plastici (Tab.15 e 16). Queste si sono limitate ad un maggior contenuto di sostanza secca nei frutti maturi prelevati sotto il film PE-PA dopo una settimana dall'inizio del ciclo di raccolta (Tab.15) e, nel caso delle bacche campionate a fine ciclo (Tab.16), una minor conducibilità elettrica e una minor resistenza alla penetrazione della polpa nel film contenente poliammide. Nel caso degli altri parametri i valori sono molto vicini tra loro a dimostrazione che l'andamento particolarmente caldo della primavera inizio-estate 2011 non ha permesso di evidenziare differenze dal punto di vista qualitativo tra i frutti prelevati sotto i due diversi manufatti, differenze che erano invece emerse nella prova del 2010, anno caratterizzato da una primavera fresca e piovosa, con perturbazioni che si erano protratte fino a giugno inoltrato.

Per quanto riguarda il contenuto di vitamina C nelle bacche (Tab.17), questo è apparso ancora una volta superiore nel film innovativo, sebbene con differenze non significative. Differenze significative sono state invece osservate nella capacità antiossidante valutata con il metodo FRAP, in particolare nei frutti invaiati, dove i valori più elevati sono da ricondurre al film PE-PA, mentre nessuna significatività si è registrata per i frutti maturi, per i quali, al contrario, è il film LDPE ad aver mostrato valori leggermente più alti (Tab.17). Il contenuto di carotenoidi non si è differenziato passando da una copertura all'altra. Infine, per quanto concerne la percentuale di potassio nella sostanza secca delle bacche, le due coperture si sono differenziate, in maniera significativa, solo nel caso dei frutti invaiati, dove il valore più elevato è stato registrato nei pomodori raccolti sotto il film testimone (Tab.17).

La qualità della produzione autunnale è risultata, come prevedibile, inferiore a quella delle bacche campionate a fine primavera- inizio estate. Tra le due tesi poste a confronto non sono state osservate, in linea generale, differenze statisticamente significative riguardo alla qualità dei frutti (Tab.21), eccetto una conducibilità elettrica lievemente superiore registrata sia nei pomodori invaiati che maturi raccolti sotto il film contenente poliammide. Anche il contenuto di vitamina C è apparso simile, mentre la capacità antiossidante è risultata ancora una volta maggiore nel caso del film PE-PA, per entrambi gli stadi di maturazione considerati, sebbene con differenze non statisticamente significative (Tab.22). Il film contenente poliammide si è inoltre caratterizzato per il maggior contenuto di carotenoidi, mostrando, nel contempo, anche la più elevata percentuale di potassio nella sostanza secca dei frutti, siano essi invaiati o maturi, con differenze, nel primo caso, statisticamente significative (Tab.22).

III.2.3 CONCLUSIONI

La prova di confronto 2011 tra il film prototipo contenente poliammide e il manufatto in LDPE additivato, che fungeva da testimone, ha sostanzialmente confermato i risultati ottenuti l'anno precedente, permettendo di affermare che le condizioni ambientali che si realizzano sotto la copertura PE-PA sono più favorevoli all'accrescimento dell'ortiva, quantomeno durante le sue prime fasi di sviluppo, durante le quali le temperature esterne sono troppo basse per le esigenze specifiche della specie. I maggiori livelli termici che si registrano sotto il film innovativo determinano, infatti, due vantaggi principali: da un lato evitano possibili danni da gelo alla parte aerea delle giovani piantine appena messe a dimora, soprattutto se l'impianto avviene in epoca piuttosto anticipata, dall'altro sembrano favorire l'accumulo di biomassa, come dimostrano chiaramente i rilievi effettuati sulla crescita e sugli scambi gassosi. Questo sembra poi portare ad una maggior precocità di produzione, sebbene a livello di entità ponderale e numerica finale non vi siano state differenze significative dal punto di vista statistico. La stagione particolarmente calda non ha, comunque, permesso di valorizzare appieno le caratteristiche proprie della copertura termica, considerando che già a meno di un mese dall'impianto della coltura a ciclo primaverile si è presentata la necessità di aprire, permanentemente, le porte delle serre per evitare eccessi termici durante il giorno.

Anche dal punto di vista della qualità della produzione, quest'ultima è risultata, in linea generale, piuttosto elevata nei frutti raccolti sotto entrambe le coperture, senza che si verificassero differenze evidenti tra di esse. Interessante sembra invece la capacità del film innovativo di determinare nelle bacche, soprattutto se raccolte allo stadio di invaiatura, un maggior contenuto di vitamina C e una più elevata capacità antiossidante.

Quanto alla coltura autunnale, l'andamento anomalo della fine estate – inizio autunno, caratterizzato da temperature ben oltre la media del periodo, ha positivamente condizionato l'accrescimento delle piante di pomodoro, che hanno mostrato un notevole sviluppo vegetativo sotto entrambe le coperture sottoposte a valutazione (senza differenze di rilievo), non permettendo però di sfruttare, anche in questo caso, le caratteristiche di maggior termicità del film innovativo, il quale ha comunque confermato la propria capacità di anticipare la produzione. La prova autunnale ha poi nuovamente evidenziato la ridotta influenza della copertura sulle caratteristiche qualitative del prodotto, nonostante il film innovativo sembri essere in grado di fornire pomodori caratterizzati da un maggior potere antiossidante e, nel

caso specifico, anche da un più elevato contenuto di carotenoidi. Ulteriori sperimentazioni future, in presenza di andamenti climatici ordinari per il periodo, possono dare più precise indicazioni circa le potenzialità produttive del film contenente poliammide valutato su coltura autunnale di pomodoro.

III 2.4 TABELLE E GRAFICI

III.2.4.1 Prova primaverile

Tabella 10: Medie settimanali delle temperature e dei valori di umidità relativa minimi, medi e massimi registrati sotto le coperture tra il 22 e il 28 marzo 2011.

22-28/3/2011	Temperatura (°C)			Umidità relativa (%)		
	Minima	Media	Massima	Minima	Media	Massima
LDPE	*** 7,4 b	* 17,0 b	32,8 a	*** 55,3 a	* 71,4 a	78,5 a
PE-PA	*** 8,1 a	* 17,3 a	32,2 a	*** 48,6 b	* 69,6 b	78,5 a

I valori contrassegnati con lettere diverse differiscono significativamente per $P \leq 0,05$ (* $P \leq 0,05$; ** $P \leq 0,01$; *** $P \leq 0,001$).

Tabella 11: Medie settimanali delle temperature e dei valori di umidità relativa minimi, medi e massimi registrati sotto le coperture tra il 7 e il 13 luglio 2011.

7-13/7/2011	Temperatura (°C)			Umidità relativa (%)		
	Minima	Media	Massima	Minima	Media	Massima
LDPE	20,7 a	30,8 a	42,5 a	42,8 a	61,8 a	80,2 a
PE-PA	21,0 a	30,5 a	41,6 a	40,9 a	60,3 a	79,0 a

I valori contrassegnati con lettere diverse differiscono significativamente per $P \leq 0,05$ (* $P \leq 0,05$; ** $P \leq 0,01$; *** $P \leq 0,001$).

Tabella 12: scambi gassosi a 20,50 e 80 giorni dal trapianto.

A 20 gg dall'impianto	Fotosintesi netta ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)			Conduttanza stomatica ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)			Traspirazione ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)			WUE (Water Use Efficiency) ($\mu\text{mol CO}_2/\text{mol H}_2\text{O}$)		
LDPE	***	9,98	b	***	0,098	b	***	2,70	b	*	4,08	a
PE-PA	***	14,63	a	***	0,229	a	***	5,94	a	*	2,88	b
A 50 gg dall'impianto	Fotosintesi netta ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)			Conduttanza stomatica ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)			Traspirazione ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)			WUE (Water Use Efficiency) ($\mu\text{mol CO}_2/\text{mol H}_2\text{O}$)		
LDPE		17,78	a		0,227	a		3,79	a		5,05	a
PE-PA		17,05	a		0,236	a		4,57	a		4,00	a
A 80 gg dall'impianto	Fotosintesi netta ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)			Conduttanza stomatica ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)			Traspirazione ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)			WUE (Water Use Efficiency) ($\mu\text{mol CO}_2/\text{mol H}_2\text{O}$)		
LDPE		16,93	a		0,506	a		11,78	a		1,44	a
PE-PA		17,46	a		0,482	a		11,86	a		1,47	a

I valori contrassegnati con lettere diverse differiscono significativamente per $P \leq 0,05$ (* $P \leq 0,05$; ** $P \leq 0,01$; *** $P \leq 0,001$).

Tabella 13: produzione commerciabile e di scarto a 7 giorni dall'inizio del ciclo di raccolta.

A 7 giorni dalla prima raccolta	COMMERCIALE			SCARTO		
	Frutti per pianta			Frutti per pianta		
	Numero	Peso (g)	Peso unitario (g)	Numero	Peso (g)	Peso unitario (g)
LDPE	** 2,97 b	* 452,87 b	152,93 a	7,00 a	439,33 a	63,03 a
PE-PA	** 3,93 a	* 532,40 a	135,58 a	7,42 a	451,07 a	61,94 a

I valori contrassegnati con lettere diverse differiscono significativamente per $P \leq 0,05$ (* $P \leq 0,05$; ** $P \leq 0,01$; *** $P \leq 0,001$).

Tabella 14: produzione commerciabile e di scarto a 30 giorni dall'inizio del ciclo di raccolta.

A 30 giorni dalla prima raccolta	COMMERCIALE			SCARTO		
	Frutti per pianta			Frutti per pianta		
	Numero	Peso (g)	Peso unitario (g)	Numero	Peso (g)	Peso unitario (g)
LDPE	8,42 a	1178,77 a	139,86 a	15,52 a	975,73 a	62,90 a
PE-PA	9,20 a	1198,73 a	130,54 a	16,09 a	1004,00 a	62,43 a

I valori contrassegnati con lettere diverse differiscono significativamente per $P \leq 0,05$ (* $P \leq 0,05$; ** $P \leq 0,01$; *** $P \leq 0,001$).

Tabella 15: qualità della produzione commerciabile a 7 giorni dall'inizio del ciclo di raccolta.

A 7 giorni dalla prima raccolta	FRUTTO INVAIATO							
	CE (dS/m)	pH	RO (° brix)	AT (% acido citrico)	RO/AT	S.S. (%)	RPI (kg/cm ²)	RPP (kg/cm ²)
LDPE	4,66 a	4,02 a	5,45 a	0,537 a	10,16 a	6,36 a	4,98 a	2,04 a
PE-PA	4,22 a	3,98 a	5,50 a	0,496 a	10,85 a	7,03 a	5,23 a	2,32 a
	FRUTTO MATURO							
	CE (dS/m)	pH	RO (° brix)	AT (% acido citrico)	RO/AT	S.S. (%)	RPI (kg/cm ²)	RPP (kg/cm ²)
LDPE	4,55 a	4,06 a	5,78 a	0,524 a	11,05 a	* 6,67 b	3,47 a	1,40 a
PE-PA	4,59 a	4,01 a	5,88 a	0,487 a	11,80 a	* 7,33 a	3,52 a	1,48 a

I valori contrassegnati con lettere diverse differiscono significativamente per $P \leq 0,05$ (* $P \leq 0,05$; ** $P \leq 0,01$; *** $P \leq 0,001$).

Tabella 16: qualità della produzione commerciabile a 21 giorni dall'inizio del ciclo di raccolta.

A 21 giorni dalla prima raccolta	FRUTTO INVAIATO							
	CE (dS/m)	pH	RO (° brix)	AT (% acido citrico)	RO/AT	S.S. (%)	RPI (kg/cm ²)	RPP (kg/cm ²)
LDPE	* 4,14 a	4,18 a	5,80 a	0,376 a	15,41 a	6,24 a	4,44 a	2,00 a
PE-PA	* 3,82 b	4,19 a	5,60 a	0,371 a	15,00 a	6,32 a	4,53 a	2,23 a
	FRUTTO MATURO							
	CE (dS/m)	pH	RO (° brix)	AT (% acido citrico)	RO/AT	S.S. (%)	RPI (kg/cm ²)	RPP (kg/cm ²)
LDPE	4,31 a	4,18 a	5,80 a	0,368 a	15,79 a	6,67 a	3,63 a	* 1,50 a
PE-PA	4,05 a	4,17 a	5,80 a	0,376 a	15,14 a	6,36 a	3,60 a	* 1,32 b

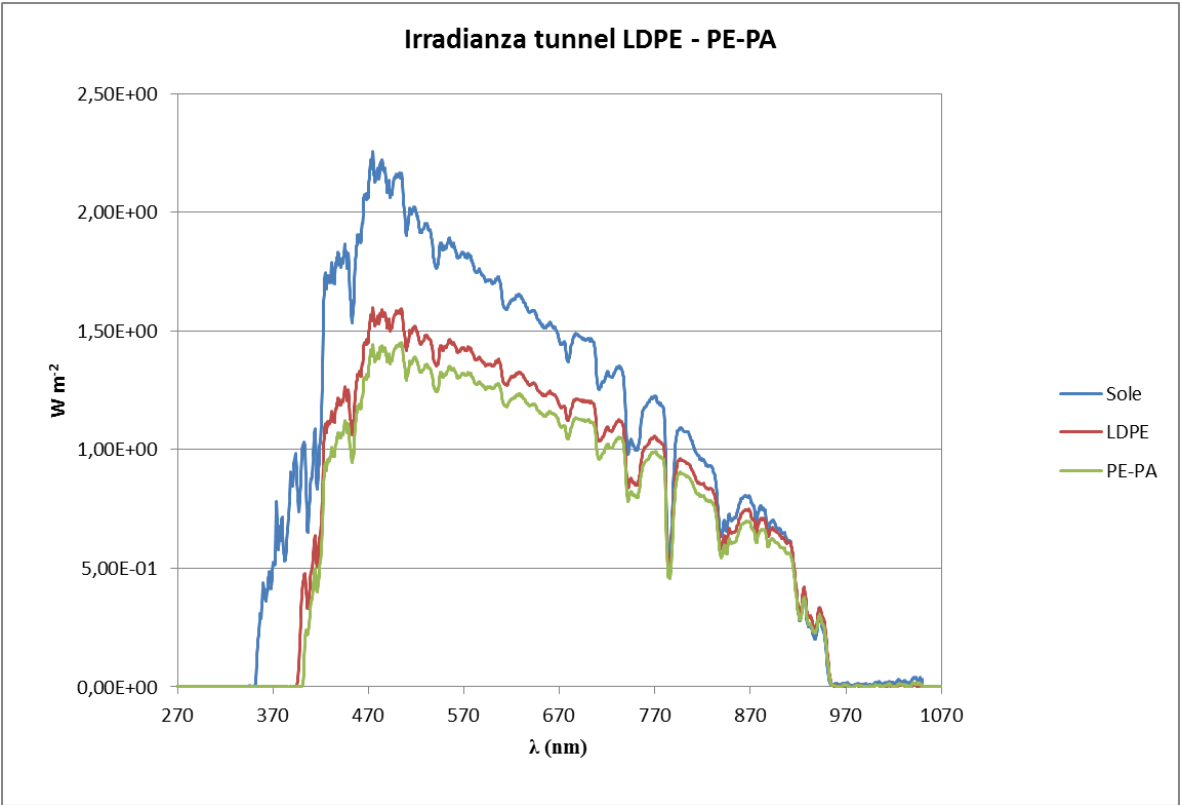
I valori contrassegnati con lettere diverse differiscono significativamente per $P \leq 0,05$ (* $P \leq 0,05$; ** $P \leq 0,01$; *** $P \leq 0,001$).

Tabella 17: contenuto di vitamina C, carotenoidi totali, potassio e capacità antiossidante dei frutti prelevati a circa metà ciclo di raccolta.

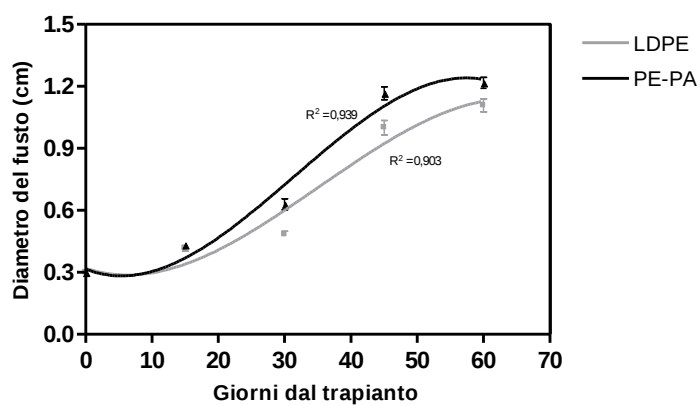
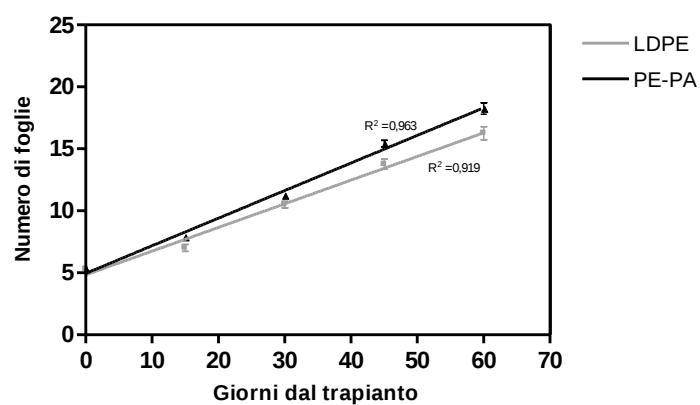
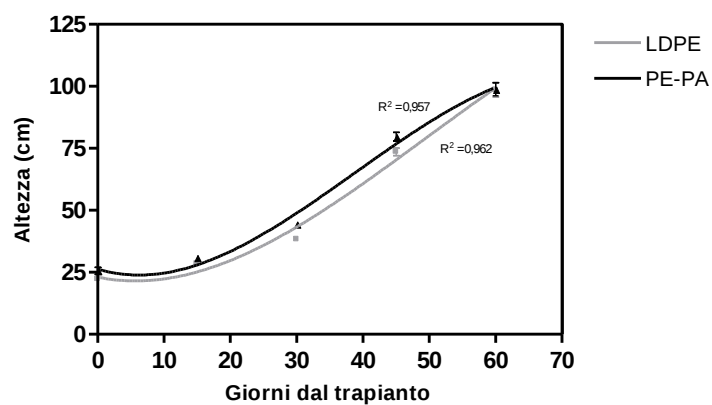
	FRUTTO INVAIATO			FRUTTO MATURO			
	Vitamina C (mg/100 g s.f.)	Potassio (% s.s.)	Capacità antiossidante (mM Fe ²⁺ /kg ⁻¹ s.f.)	Vitamina C (mg/100 g s.f.)	Potassio (% s.s.)	Capacità antiossidante (mM Fe ²⁺ /kg s.f.)	Carotenoidi totali (mg licopene/kg s.f.)
LDPE	31,18 a	* 2,78 a	* 4,69 b	29,41 a	2,63 a	4,41 a	37,56 a
PE-PA	32,35 a	* 2,16 b	* 6,82 a	31,06 a	2,66 a	3,90 a	37,82 a

I valori contrassegnati con lettere diverse differiscono significativamente per $P \leq 0,05$ (* $P \leq 0,05$; ** $P \leq 0,01$; *** $P \leq 0,001$).

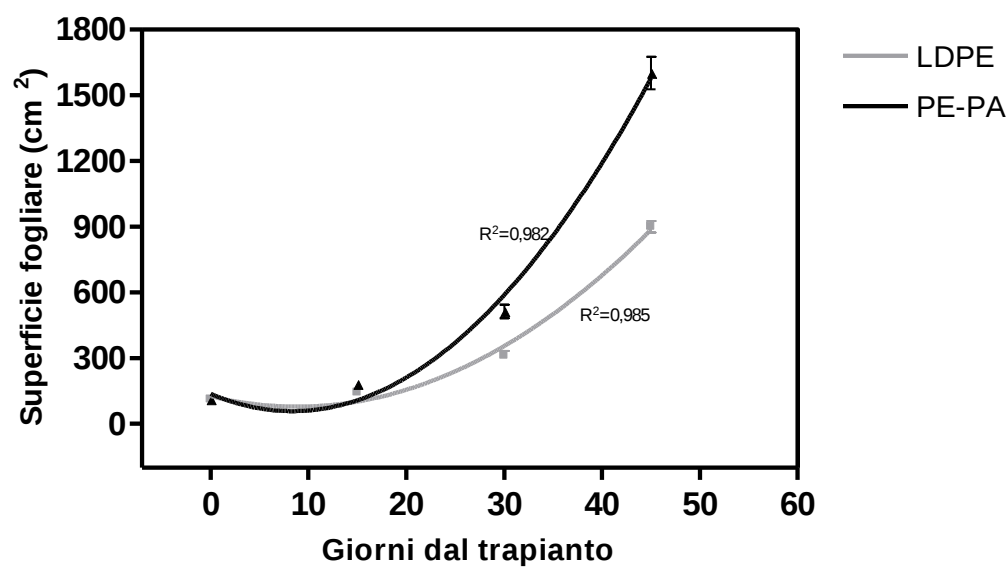
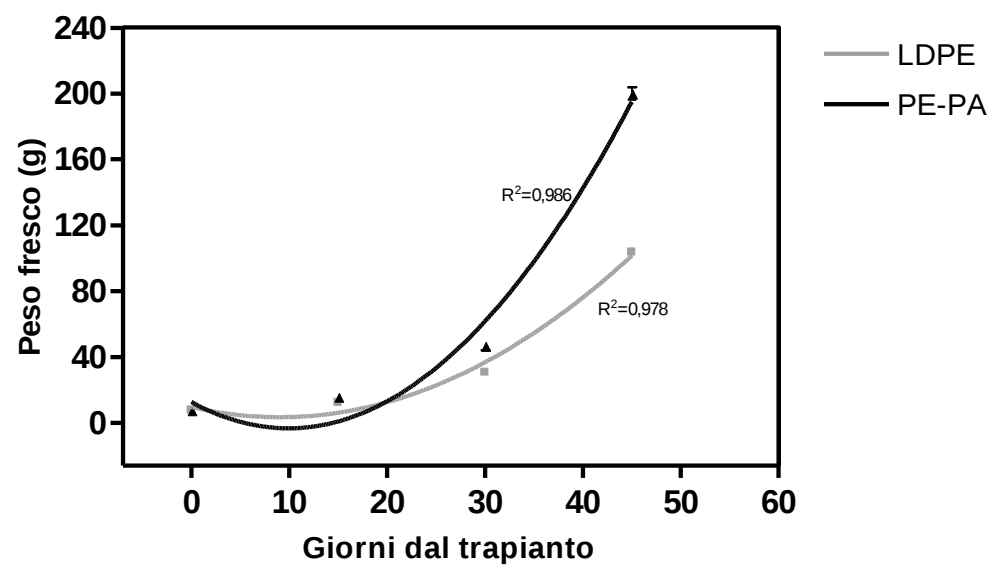
Grafico 41: Spettri di irradianza delle coperture.

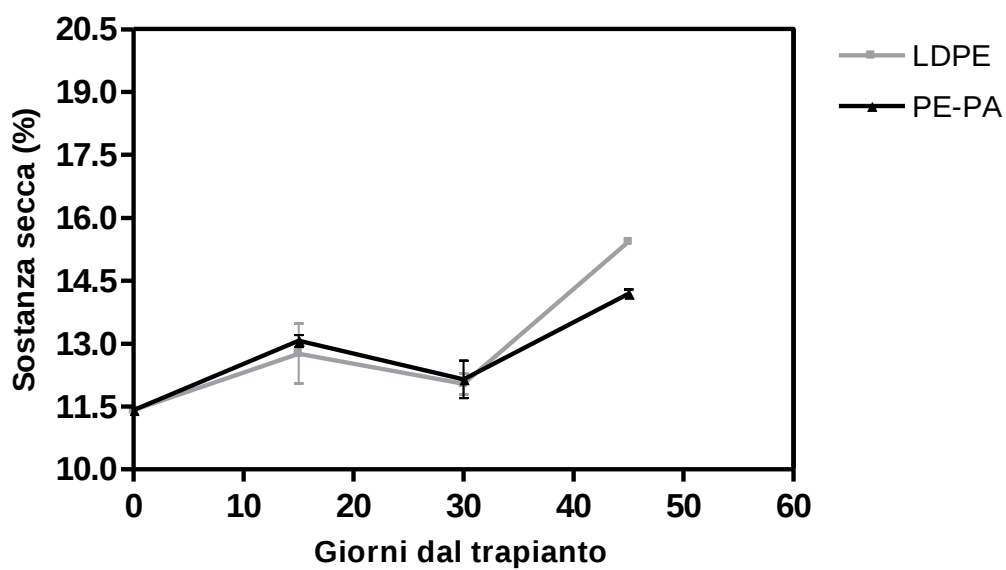
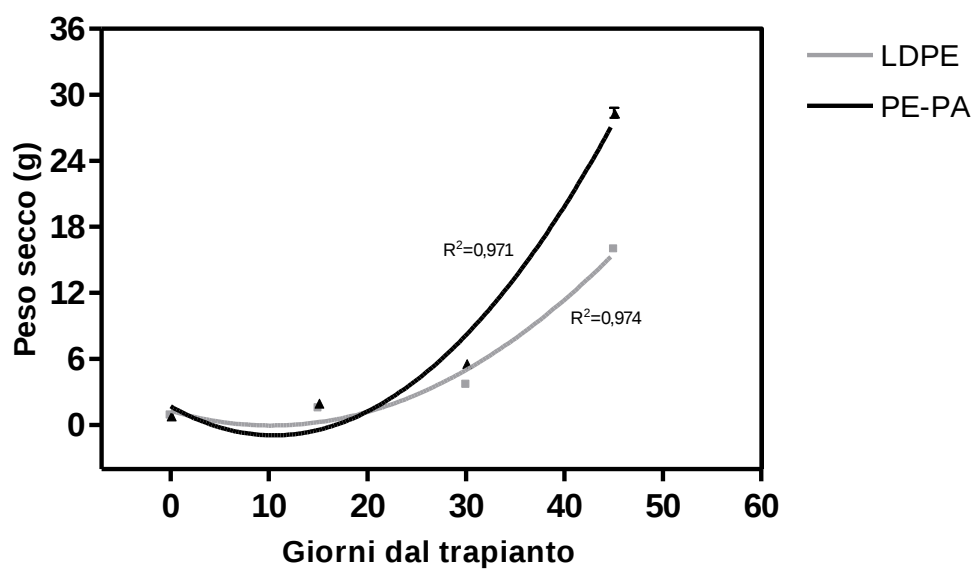


Grafici 42, 43 e 44: altezza, numero di foglie e diametro del fusto delle piante di pomodoro (valori medi a pianta).

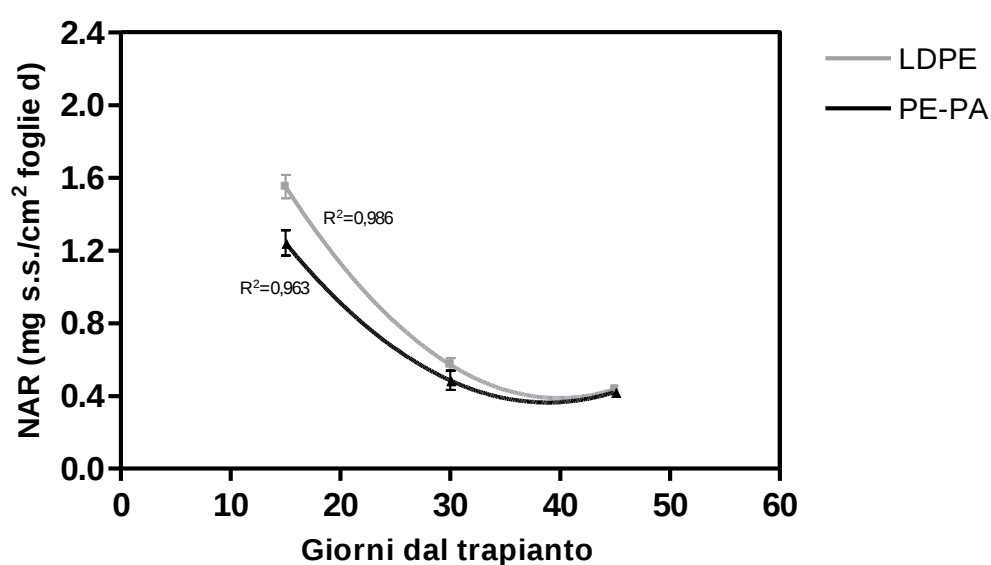
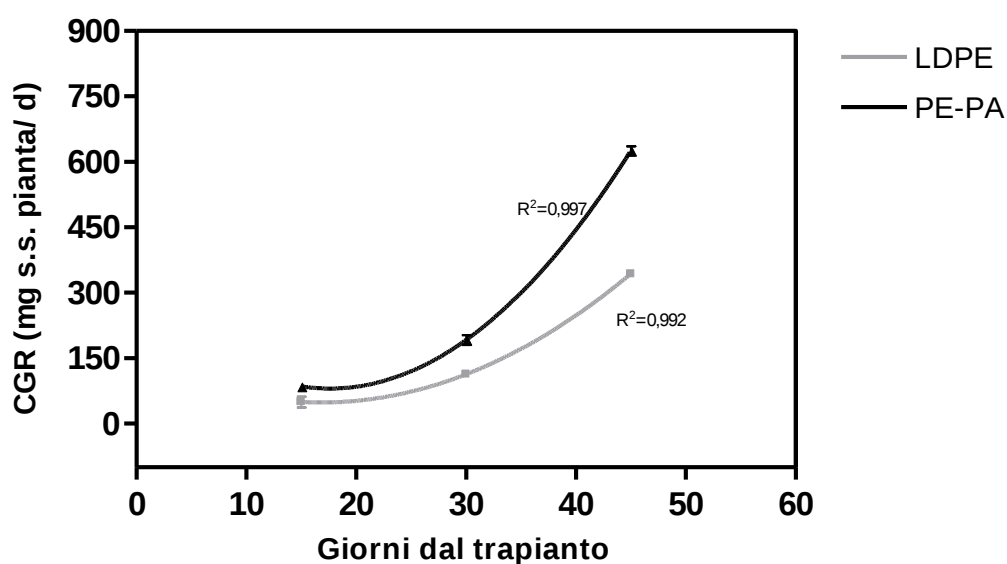


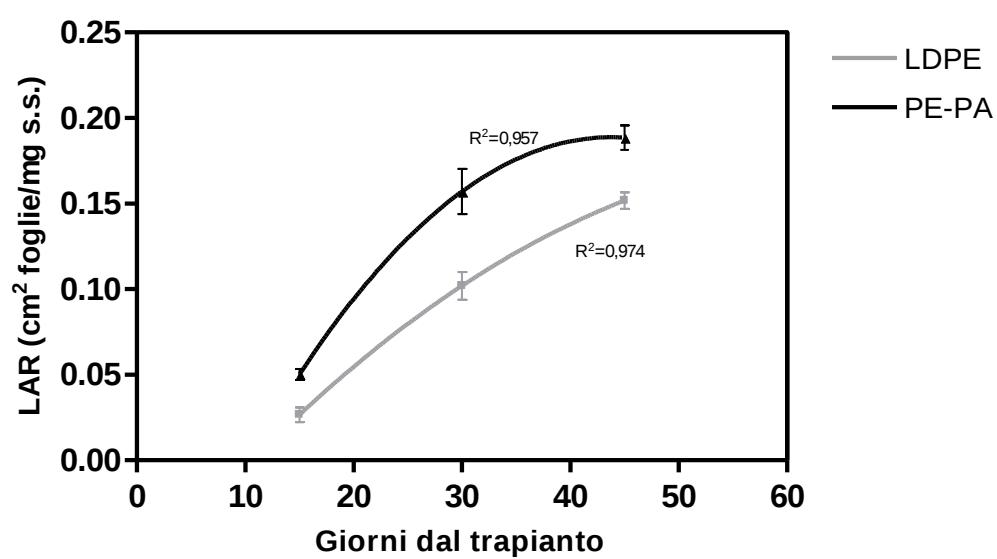
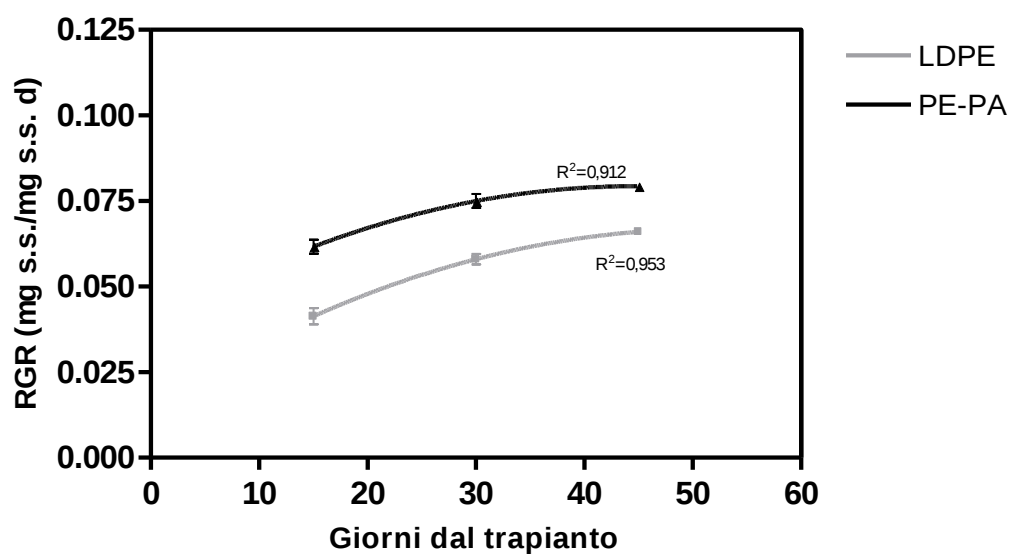
Grafici 45, 46, 47 e 48: peso fresco, superficie fogliare, peso secco e percentuale di sostanza secca nelle piante di pomodoro (valori medi a pianta).



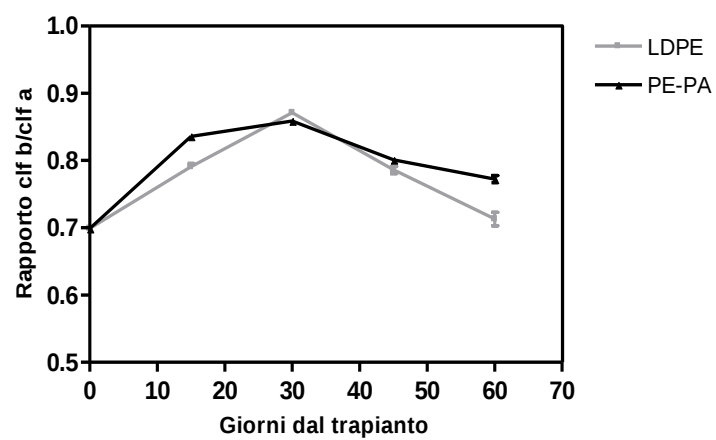
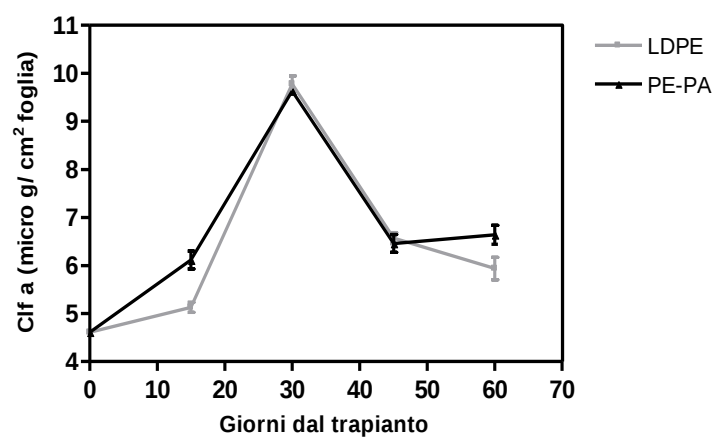
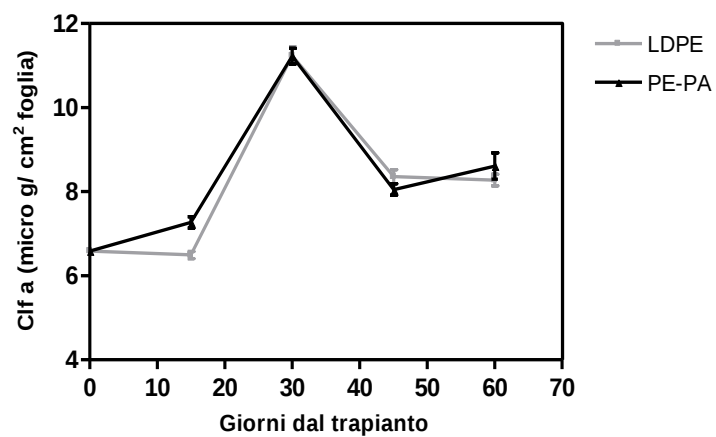


Grafici 49, 50, 51 e 52: indice di crescita assoluto (CGR), indice di assimilazione netta (NAR), indice di crescita relativo (^RGR) e indice di superficie fogliare (LAR) delle piante di pomodoro (valori medi a pianta).

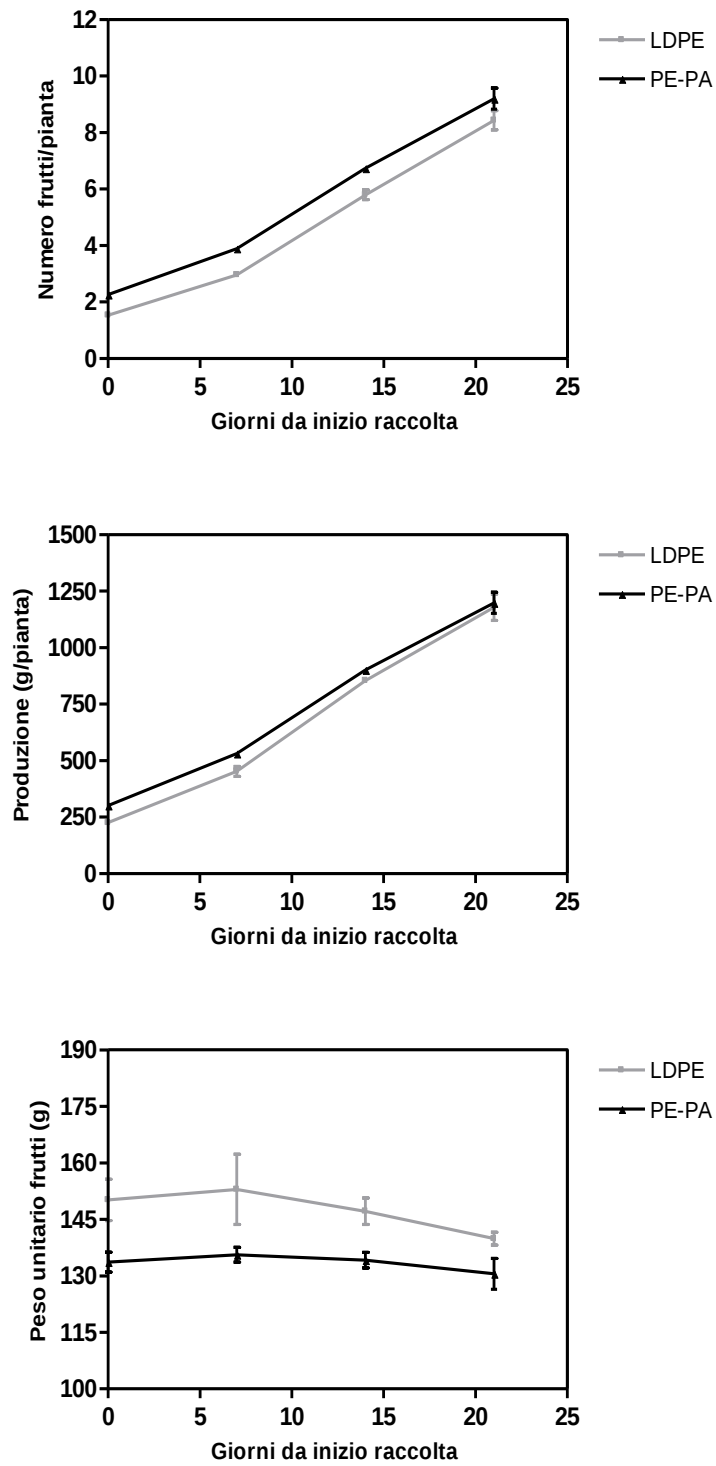




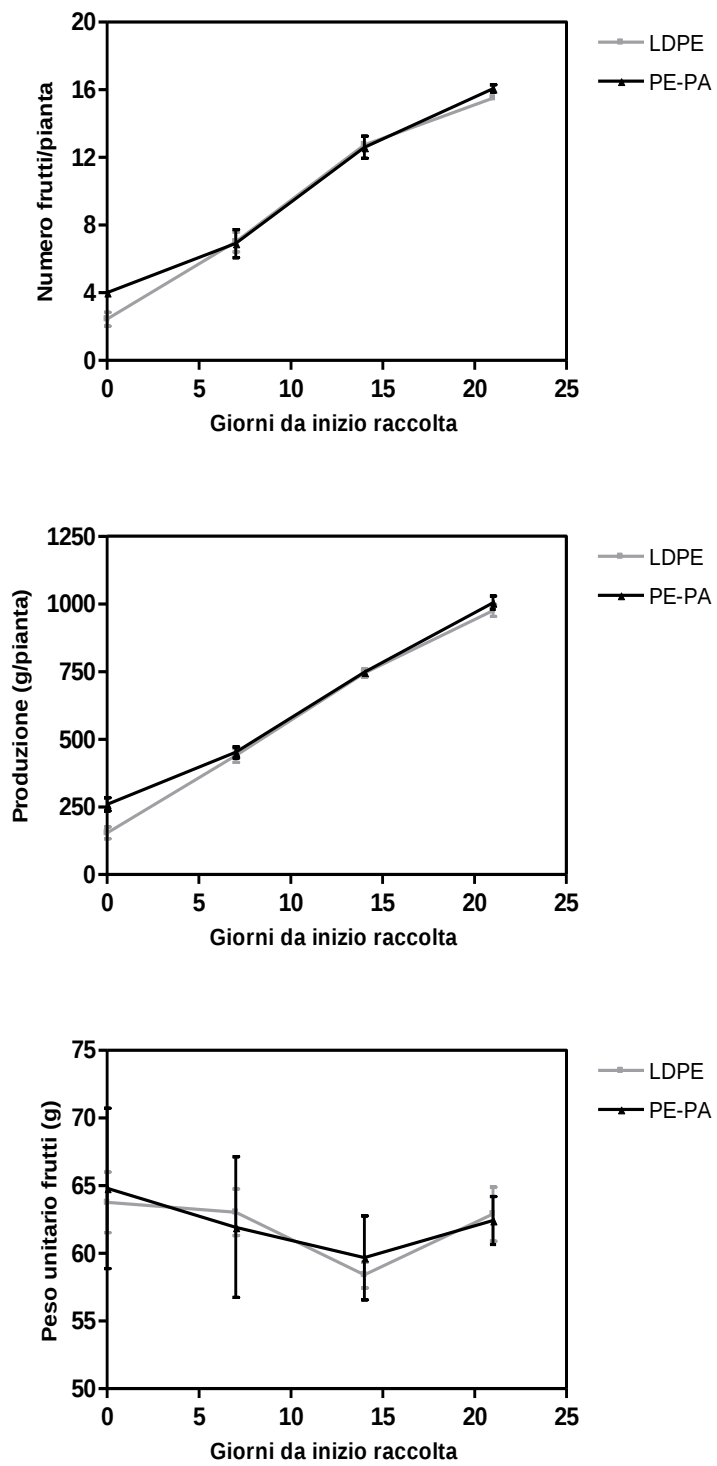
Grafici 53, 54 e 55: contenuto di clorofilla “a” e “b” nelle foglie delle piante di pomodoro e rapporto clorofilla “b” / clorofilla “a”.



Grafici 56, 57 e 58: cumulate del numero e peso totale di frutti commerciabili ed evoluzione temporale del loro peso unitario.



Grafici 59, 60 e 61: cumulate del numero e peso totale di frutti di scarto ed evoluzione temporale del loro peso unitario.



III.2.4.2 Prova autunnale

Tabella 18: scambi gassosi a 30 e 60 giorni dal trapianto.

A 30 gg dall'impianto	Fotosintesi netta ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	Conduttanza stomatica ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	Traspirazione ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	WUE (Water Use Efficiency) ($\mu\text{mol CO}_2/\text{mol H}_2\text{O}$)
LDPE	18,69 a	0,495 a	* 8,46 b	*** 2,23 a
PE-PA	17,79 a	0,533 a	* 9,42 a	*** 1,90 b
A 60 gg dall'impianto	Fotosintesi netta ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	Conduttanza stomatica ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	Traspirazione ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	WUE (Water Use Efficiency) ($\mu\text{mol CO}_2/\text{mol H}_2\text{O}$)
LDPE	16,97 a	0,705 a	5,38 a	3,55 a
PE-PA	17,49 a	0,759 a	5,66 a	3,28 a

I valori contrassegnati con lettere diverse differiscono significativamente per $P \leq 0,05$ (* $P \leq 0,05$; ** $P \leq 0,01$; *** $P \leq 0,001$).

Tabella 19: produzione commerciabile e di scarto a 20 giorni dall'inizio del ciclo di raccolta.

A 20 giorni dalla prima raccolta	COMMERCIALE			SCARTO		
	Frutti per pianta			Frutti per pianta		
	Numero	Peso (g)	Peso unitario (g)	Numero	Peso (g)	Peso unitario (g)
LDPE	** 1,65 b	** 333,86 b	202,01 a	0,74 a	53,91 a	72,79 a
PE-PA	** 2,59 a	** 498,57 a	192,82 a	0,65 a	54,74 a	84,53 a

I valori contrassegnati con lettere diverse differiscono significativamente per $P \leq 0,05$ (* $P \leq 0,05$; ** $P \leq 0,01$; *** $P \leq 0,001$).

Tabella 20: produzione commerciabile e di scarto a 50 giorni dall'inizio del ciclo di raccolta.

A 50 giorni dalla prima raccolta	COMMERCIALE			SCARTO		
	Frutti per pianta			Frutti per pianta		
	Numero	Peso (g)	Peso unitario (g)	Numero	Peso (g)	Peso unitario (g)
LDPE	5,98 a	1243,55 a	207,88 a	5,11 a	363,33 a	71,04 a
PE-PA	6,95 a	1356,14 a	195,21 a	4,52 a	335,53 a	74,22 a

I valori contrassegnati con lettere diverse differiscono significativamente per $P \leq 0,05$ (* $P \leq 0,05$; ** $P \leq 0,01$; *** $P \leq 0,001$).

Tabella 21: qualità della produzione commerciabile a 30 giorni dall'inizio del ciclo di raccolta.

A 30 giorni dalla prima raccolta	FRUTTO INVAIATO							
	CE (dS/m)	pH	RO (° brix)	AT (% acido citrico)	RO/AT	S.S. (%)	RPI (kg/cm ²)	RPP (kg/cm ²)
LDPE	* 4,01 b	3,57 a	4,23 a	0,614 a	7,02 a	5,22 a	4,40 a	2,20 a
PE-PA	* 4,21 a	3,70 a	4,20 a	0,561 a	7,57 a	5,40 a	4,35 a	2,03 a
	FRUTTO MATURO							
	CE (dS/m)	pH	RO (° brix)	AT (% acido citrico)	RO/AT	S.S. (%)	RPI (kg/cm ²)	RPP (kg/cm ²)
LDPE	* 4,06 b	3,91 a	4,27 a	0,539 a	7,96 a	* 5,59 b	3,93 a	1,28 a
PE-PA	* 4,28 a	3,93 a	4,23 a	0,485 a	8,74 a	* 5,73 a	3,90 a	1,25 a

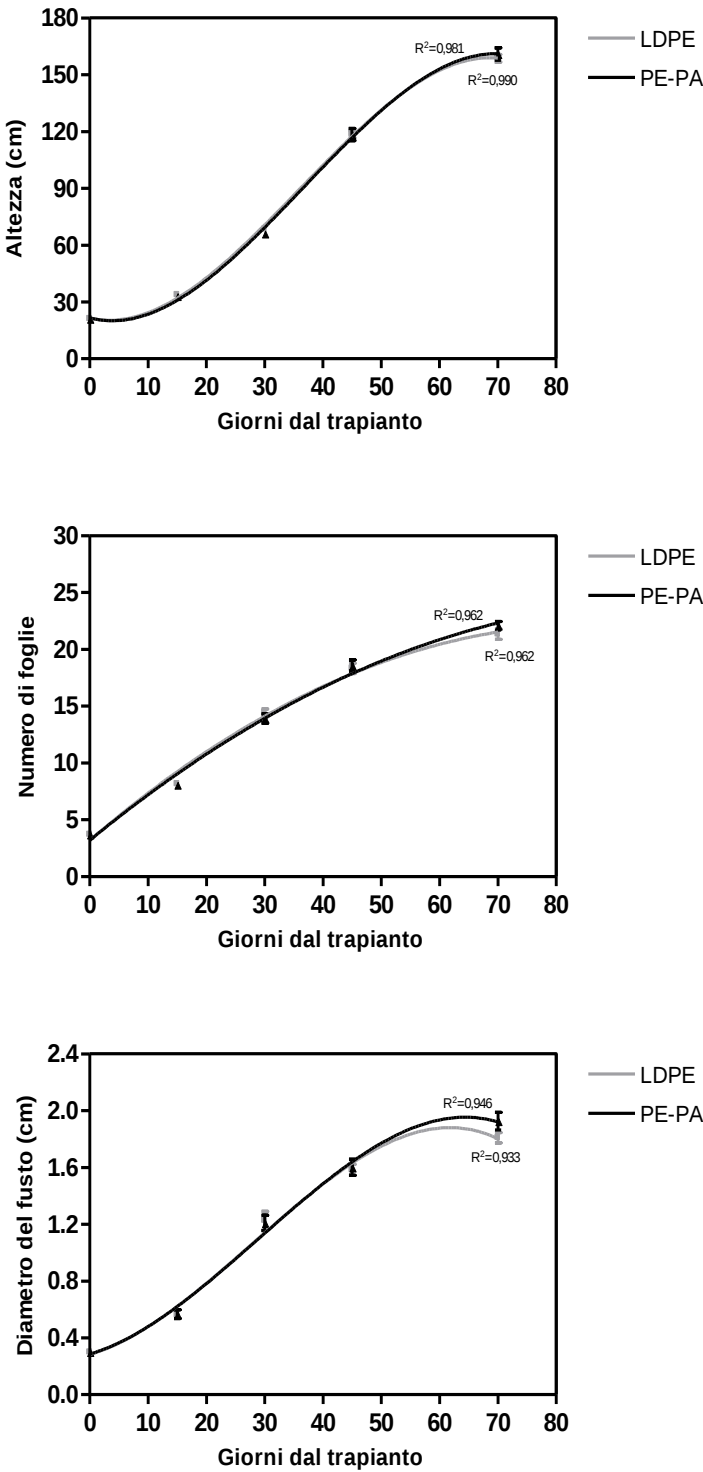
I valori contrassegnati con lettere diverse differiscono significativamente per $P \leq 0,05$ (* $P \leq 0,05$; ** $P \leq 0,01$; *** $P \leq 0,001$).

Tabella 22: contenuto di vitamina C, carotenoidi totali, potassio e capacità antiossidante dei frutti prelevati a circa metà ciclo di raccolta.

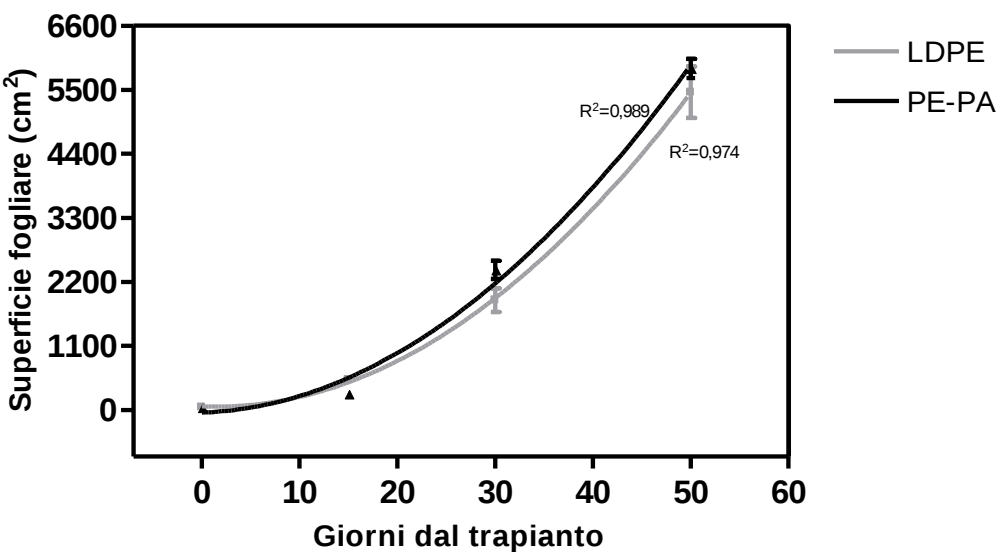
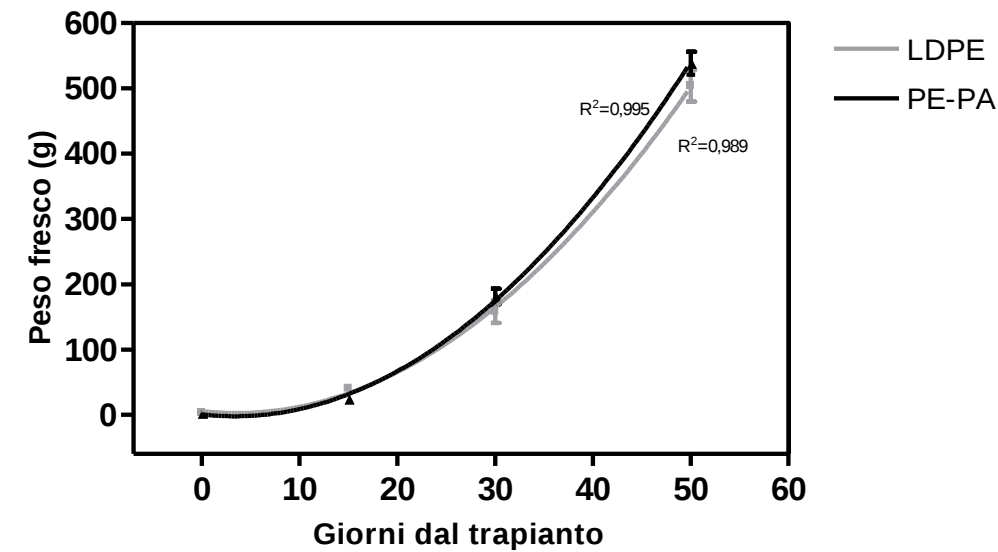
	FRUTTO INVAIATO			FRUTTO MATURO			
	Vitamina C (mg/100 g s.f.)	Potassio (% s.s.)	Capacità antiossidante (mM Fe ²⁺ /kg s.f.)	Vitamina C (mg/100 g s.f.)	Potassio (% s.s.)	Capacità antiossidante (mM Fe ²⁺ /kg s.f.)	Carotenoidi totali (mg licopene/kg s.f.)
LDPE	20,65 a	* 3,83 b	2,56 a	19,81 a	3,85 a	2,35 a	* 18,67 b
PE-PA	20,39 a	* 4,10 a	3,21 a	19,87 a	4,00 a	2,65 a	* 29,43 a

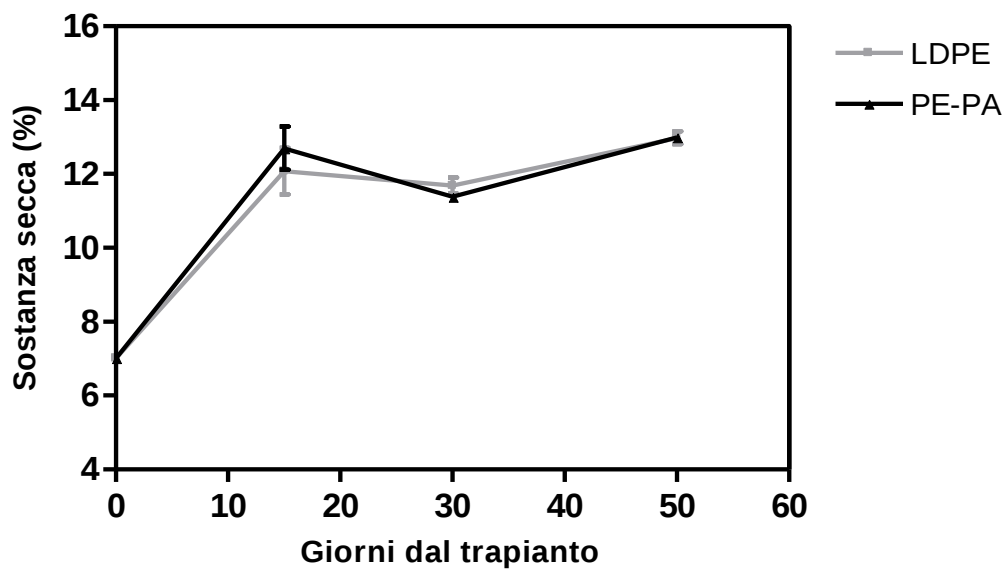
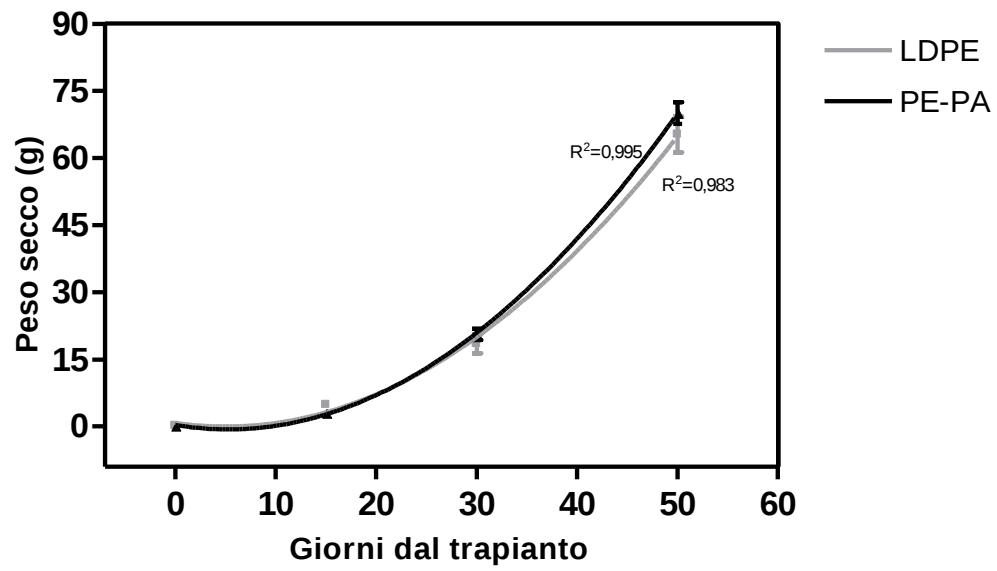
I valori contrassegnati con lettere diverse differiscono significativamente per $P \leq 0,05$ (* $P \leq 0,05$; ** $P \leq 0,01$; *** $P \leq 0,001$).

Grafici 62, 63 e 64: altezza, numero di foglie e diametro del fusto delle piante di pomodoro (valori medi a pianta).

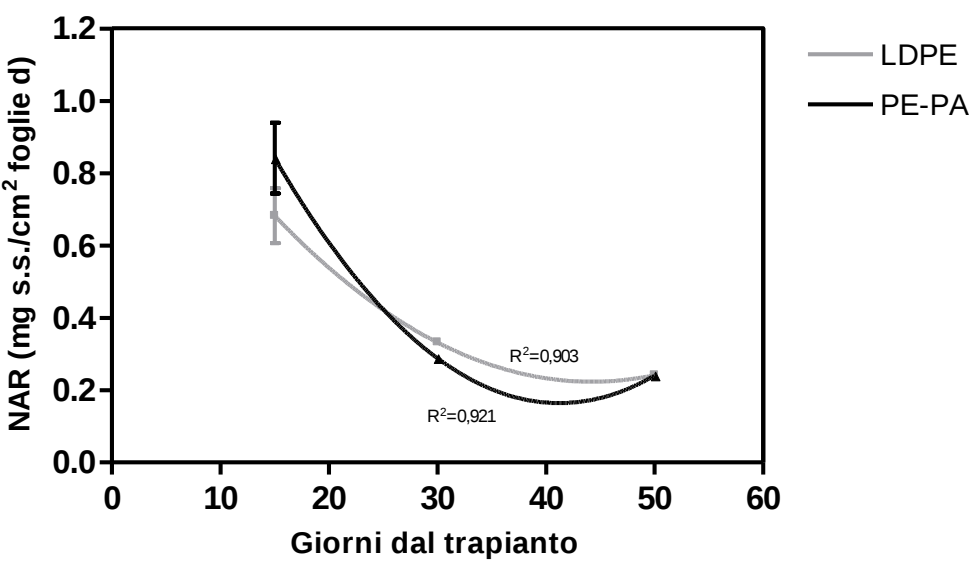
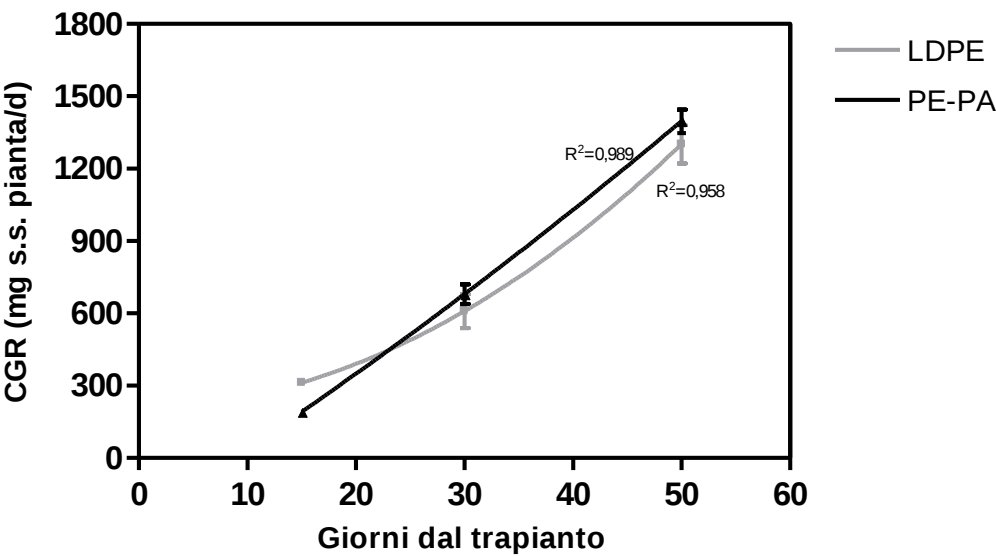


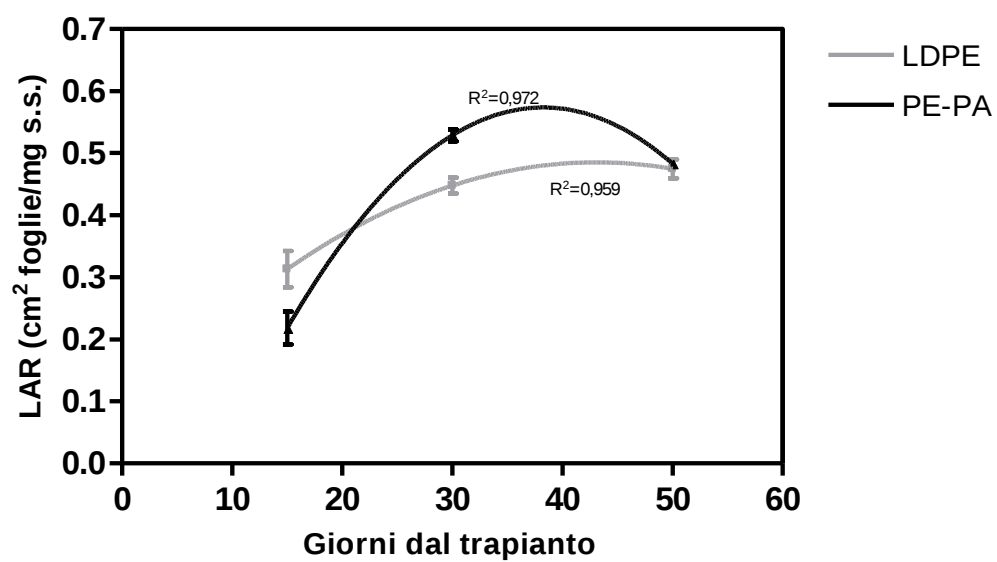
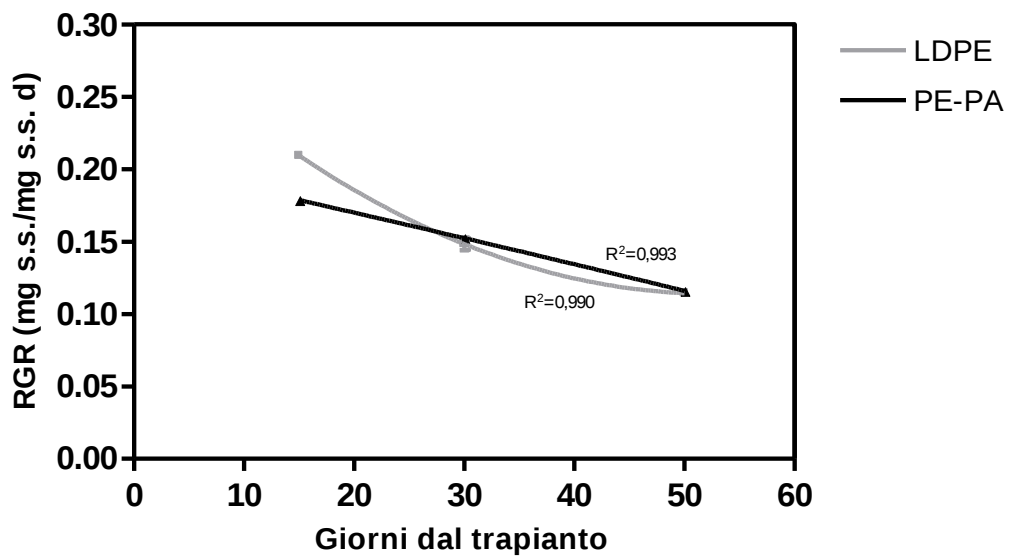
Grafici 65, 66, 67 e 68: peso fresco, superficie fogliare, peso secco e percentuale di sostanza secca nelle piante di pomodoro (valori medi a pianta).



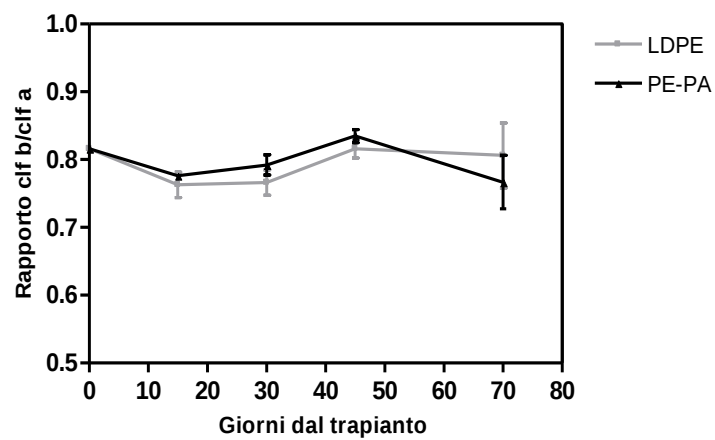
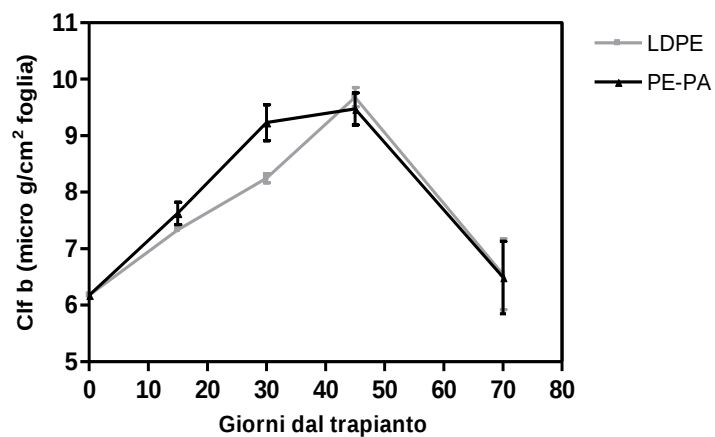
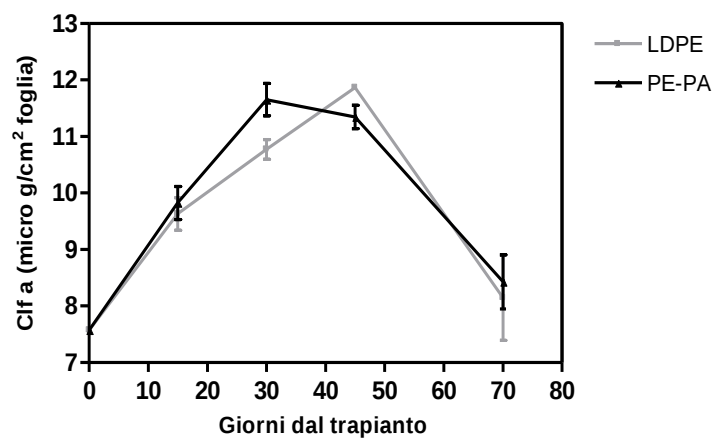


Grafici 69, 70, 71 e 72: indice di crescita assoluto (CGR), indice di assimilazione netta (NAR), indice di crescita relativo (RGR) e indice di superficie fogliare (LAR) delle piante di pomodoro (valori medi a pianta).

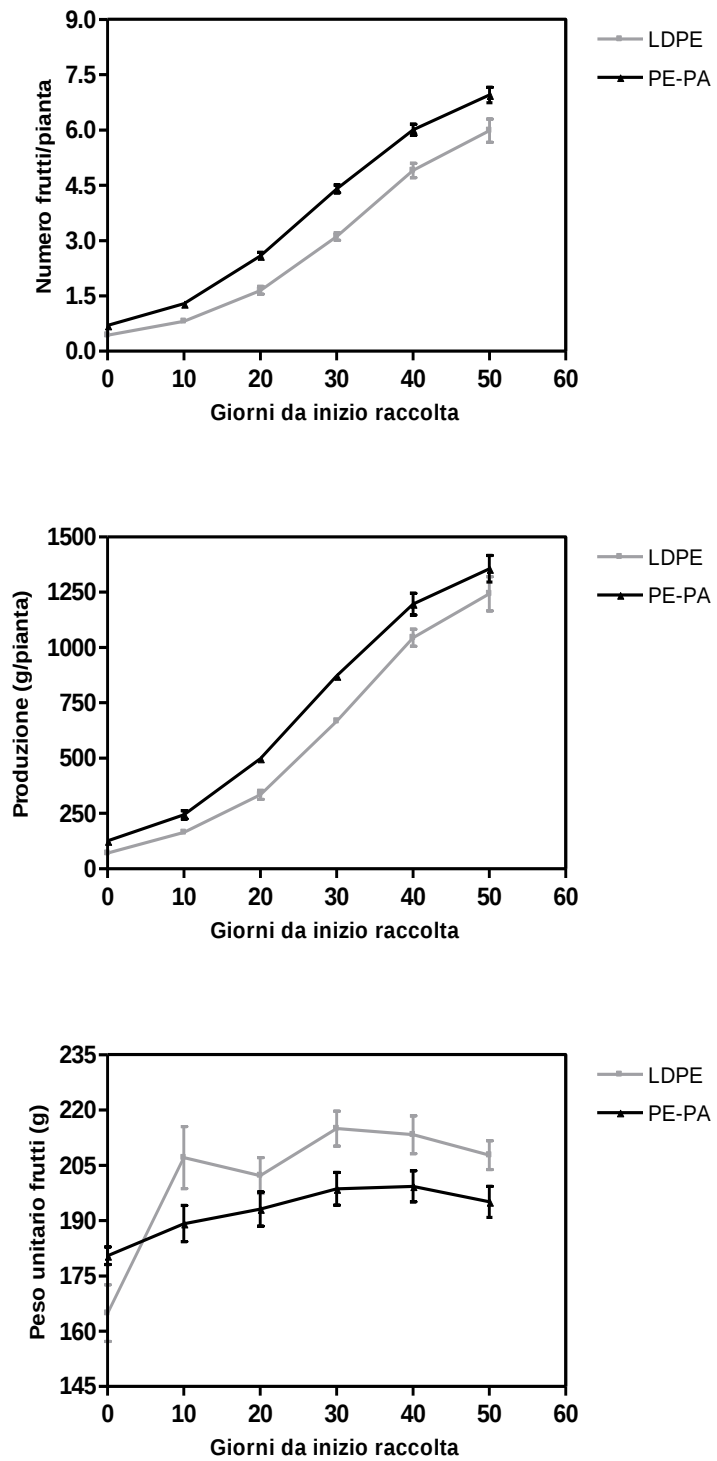




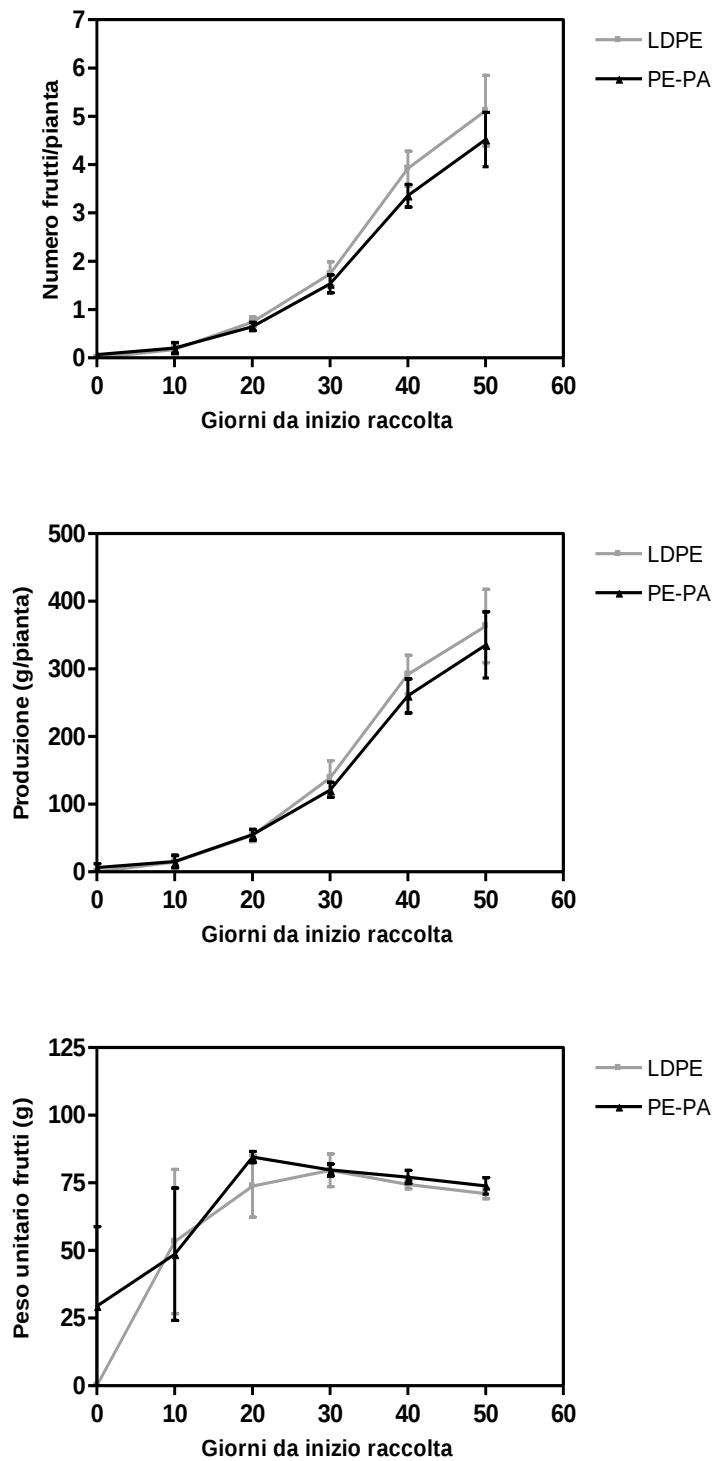
Grafici 73, 74 e 75: contenuto di clorofilla “a” e “b” nelle foglie delle piante di pomodoro e rapporto clorofilla “b” / clorofilla “a”.



Grafici 76, 77 e 78: cumulate del numero e peso totale di frutti commerciabili ed evoluzione temporale del loro peso unitario.



Grafici 79, 80 e 81: cumulate del numero e peso totale di frutti di scarto ed evoluzione temporale del loro peso unitario.



III.3 CONCLUSIONI (Due anni di sperimentazione)

In base ai risultati ottenuti nei due anni di sperimentazione, appare evidente come il film termico innovativo contenente poliammide abbia dimostrato, nelle specifiche condizioni in cui si è operato, un miglior comportamento agronomico rispetto al film testimone in LDPE additivato, che rappresenta, ad oggi, la tipologia di laminato plastico di copertura delle serre più diffusa in ambito agricolo.

La copertura realizzata con il film prototipo ha fatto sì che, all'interno dell'apprestamento di protezione, venissero a realizzarsi condizioni ambientali più favorevoli per l'accrescimento e lo sviluppo dell'ortiva, come dimostrano chiaramente le curve di crescita ottenute. Tale effetto positivo è risultato maggiormente evidente nel caso di impianti precoci piuttosto che in quelli tardivi. La ragione risiede presumibilmente nel fatto che, in questi ultimi, l'apertura delle porte dei tunnel, indispensabile con l'incremento delle temperature esterne legato al sopraggiungere dei mesi più caldi, avviene a breve distanza di tempo dall'impianto della coltura, non consentendo, perciò, di sfruttare appieno le caratteristiche di maggior termicità del film innovativo. Lo stesso si verifica qualora la messa a dimora avvenga in presenza di temperature dell'aria esterna già elevate, come quelle di fine estate, per gli impianti autunnali. Tale comportamento risulta in linea con quanto osservato nella generazione precedente dei film contenenti poliammide (Magnani *et al.*, 2011). Diverso è invece il caso di impianti eseguiti in epoca piuttosto anticipata, con livelli termici dell'ambiente esterno ancora notevolmente ridotti: in questa situazione il film termico ha permesso di evitare, per due anni consecutivi, danni da gelo alle giovani piantine di pomodoro appena trapiantate, favorendone, in seguito, lo sviluppo vegetativo. Del resto, osservando l'andamento delle temperature all'interno dei tunnel, risulta evidente la capacità del film prototipo di ridurre l'intervallo tra temperature minime e massime giornaliere, innalzando le prime (da +0,7 a +1,1°C) e limitando i picchi delle seconde (fino a circa -1°C in piena estate).

Riguardo alle produzioni conseguite sotto la copertura realizzata con il film innovativo, queste sono risultate, nella maggior parte delle prove condotte, quantitativamente superiori a quelle ottenute sotto il film testimone, quantomeno in relazione al numero e al peso totale delle bacche (sebbene tali differenze non siano sempre apparse significative dal punto di vista statistico). Nella totalità delle suddette prove, tuttavia, il film innovativo si sempre caratterizzato per la capacità di determinare un notevole anticipo di produzione.

Per quanto concerne invece la qualità merceologica del prodotto, le due coperture poste a confronto non si sono sostanzialmente differenziate tra loro, mentre, in relazione al contenuto di vitamina C e alla capacità antiossidante, i migliori risultati sono stati osservati nelle bacche raccolte sotto il film innovativo, quantomeno nei frutti invaiati. La correlazione positiva tra contenuto di acido ascorbico e capacità antiossidante nei frutti di pomodoro è stata del resto dimostrata in diverse ricerche (Adalid *et al.*, 2007; Odriozola-Serrano *et al.*, 2008; Gonzalez-Cebrino *et al.*, 2011). Più elevato è inoltre risultato il contenuto di carotenoidi totali nei pomodori raccolti sotto il film prototipo in coltura autunnale, mentre la percentuale di potassio nella sostanza secca non ha mostrato valori univoci, risultando talvolta maggiore nel film innovativo, in altri casi nel film testimone.

Occorre a questo punto sottolineare che entrambe le annate di prova sono state caratterizzate da andamenti climatici anomali e di fatto opposti: il 2010 ha presentato, infatti, una primavera e un inizio dell'estate molto nuvolosi e con temperature inferiori alle medie storiche del periodo. Le poche giornate soleggiate non hanno permesso di sfruttare, in modo completo, il maggior effetto barriera alla radiazione infrarossa lunga del film innovativo. Infatti, in giornate con cielo coperto, la quantità di energia solare immagazzinabile nel terreno e in altri corpi presenti nell'ambiente protetto, corpi questi ultimi in grado di assorbirla e riscaldarsi, risulta ridotta, e, di conseguenza, è minore anche la quantità di tale energia che può essere riemessa, durante la notte, sotto forma di radiazione infrarossa calorifica ad elevata lunghezza d'onda, che viene trattenuta dalla copertura ad effetto termico.

Nella primavera 2011, al contrario, sono state registrate temperature ben al di sopra della media del periodo, fin dai primi giorni del mese di aprile, che hanno reso necessaria l'apertura anticipata delle porte dei tunnel, anche durante le ore notturne. In conseguenza della maggior circolazione d'aria nell'ambiente protetto, le differenze di temperatura tra le due coperture si sono fortemente ridotte, non permettendo, anche in questo caso, di sfruttare adeguatamente il maggior "effetto serra" del film termico. Quindi, alla luce dei risultati ottenuti, è possibile prevedere che, in annate caratterizzate da un decorso climatico tipico per la zona, le performances del film contenente poliammide possano ulteriormente migliorare.

È importante inoltre precisare che i risultati ottenuti nella ricerca di cui si riferisce, sebbene sostanzialmente concordi nei due anni di sperimentazione, dovranno trovare ulteriore conferma in prove condotte all'interno di apprestamenti di protezione di dimensioni maggiori e dotati di adeguati sistemi di ventilazione, caratterizzati perciò da un maggior volano termico

e in grado di garantire, nello specifico, un maggior controllo dei picchi di temperatura durante le ore centrali della giornata nelle stagioni più calde.

Il giudizio finale sul comportamento agronomico del nuovo film plastico di copertura è, comunque sia, indubbiamente positivo, ed esso risulta pertanto idoneo all'impiego nelle condizioni ambientali tipiche della zona in cui è stata condotta la sperimentazione, oltre che, ovviamente, ad un'eventuale futura commercializzazione. La convenienza nell'utilizzo di questa nuova famiglia di film termici trova giustificazione anche dal punto di vista economico, considerando il fatto che le differenze di costo con i film standard in polietilene additivato sono piuttosto ridotte (circa il 10% in più), così come lo sono quelle con altri film termici tradizionali (mediamente +5%), e, soprattutto laddove si fa ampio utilizzo di agrochimici (specialmente quelli contenenti zolfo e alogeni), l'elevata impermeabilità della PA ai residui dei suddetti fitofarmaci permette di aumentare, talvolta in maniera rilevante, la longevità del film plastico di copertura, cosicché risulta possibile ammortizzare il suo maggior costo iniziale su un periodo, in alcuni casi, notevolmente più lungo, rendendo di fatto il costo medio annuo del film stesso inferiore a quello dei manufatti in LDPE additivato e di altri laminati plastici ad effetto termico di tipo tradizionale.

PARTE IV: PROVA BIENNALE DI CONFRONTO TRA DUE FILM TERMICI COESTRUSI LDPE-EVA, UNO A LUCE DIRETTA E L'ALTRO A LUCE DIFFUSA, CON TRE DIVERSE STABILIZZAZIONI, SU COLTURA DI POMODORO (*Lycopersicon esculentum* Mill.)

IV.1 PROVA BIENNALE DI CONFRONTO TRA DUE FILM TERMICI COESTRUSI LDPE-EVA, UNO A LUCE DIRETTA E L'ALTRO A LUCE DIFFUSA, CON TRE DIVERSE STABILIZZAZIONI, SU COLTURA DI POMODORO (*Lycopersicon esculentum* Mill.) – PRIMO ANNO DI PROVA

IV.1.1 MATERIALI E METODI

La ricerca è stata condotta a S.Piero a Grado (PI) presso il Centro Sperimentale del Dipartimento di Biologia delle Piante Agrarie dell'Università di Pisa. La prova di confronto ha riguardato i seguenti materiali:

- *Film chiaro termico coestruso LDPE-EVA (CT)*
- *Film diffusivo termico coestruso LDPE-EVA (DT)*

Ognuna delle due tipologie di film plastico era inoltre stabilizzata con tre diverse formulazioni di stabilizzanti alla luce (Stab1, Stab2, Stab3), per un totale di sei differenti combinazioni film-stabilizzazione. I film, di spessore 200 µm, sono stati messi in opera nel gennaio 2010 su dei tunnel praticabili lunghi 20 m, larghi 5 m e alti 2,5 m, con orientazione Nord/Est – Sud/Ovest.

In data 8/02/2010 il terreno all'interno dei tunnel è stato concimato con concime granulare ternario 11-22-16 (Hydro) e nitrato ammonico, ciascuno in ragione di 0,1 kg/m², quindi è stata effettuata una lavorazione con zappatrice rotativa. Successivamente sono stati disposti i teli per pacciamatura in LDPE nero da 50 µm e le manichette Aquatrax (Toro) per la micro-

irrigazione, dotate di fori ogni 20 cm e posizionate sotto il film pacciamante. Il volume d'acqua irrigua da somministrare alle piante veniva determinato in base ai parametri climatici e allo stadio fenologico della coltura. Le piantine di pomodoro, della cultivar “Caramba”, sono state acquistate presso il vivaio Falorni (Colignola, PI) e messe a dimora il 24 febbraio. Le piante sono state disposte su un'unica fila, ad una distanza di 0,30 m l'una dall'altra, per un totale di 36 piante per fila (suddivise in due repliche da 18 piante ciascuna). La tecnica colturale adottata è stata quella comunemente impiegata per l'ortiva, con periodiche rimozioni dei germogli laterali e cimatura all'altezza del quinto palco florale, avvenuta il 2 giugno. Nonostante un clima primaverile caratterizzato da notevole piovosità, la coltura non è andata incontro a problemi fitosanitari di rilievo, tanto che gli interventi con anticrittogamici si sono limitati a trattamenti preventivi a base di poltiglia bordolese irrorati con frequenza mensile.

Nella settimana compresa tra il 27 aprile e il 3 maggio sono state rilevate la temperatura e l'umidità relativa dell'aria all'interno dei tunnel, utilizzando sensori portatili modello FT-102 SW (Econorma), mentre, nel corso dello sviluppo vegetativo della coltura, sono stati effettuati, settimanalmente, rilievi sull'altezza, il numero di foglie e il diametro del fusto delle piante e ogni quindici giorni, per i primi due mesi dall'impianto, sono stati valutati il peso fresco, il peso secco e l'area fogliare delle piante stesse. Per la misura della superficie fogliare si è utilizzato un planimetro modello ΔT Area Meter (Delta-T Devices), mentre il peso secco è stato ottenuto mediante essiccazione in stufa ventilata a 70°C fino a peso costante. A partire dai dati raccolti sono stati quindi calcolati la percentuale di sostanza secca nella parte aerea della pianta e i seguenti indici di crescita: l'indice di crescita assoluto della coltura (CGR, *Crop Growth Rate*, espresso come mg s.s. pianta/giorno), l'indice di assimilazione netta (NAR, *Net Absorption Rate* espresso come mg s.s. pianta/cm² superficie fogliare per giorno), l'indice di crescita relativo (RGR, *Relative Growth Rate* espresso come mg s.s. pianta/mg s.s. già presente per giorno) e l'indice di superficie fogliare (LAR, *Leaf Area Ratio* espresso in cm²/mg s.s.). In occasione dell'ultimo rilievo sulla crescita, a 60 giorni dal trapianto, sono state inoltre separate le foglie dagli steli e di entrambi sono stati misurati il peso fresco e il peso secco (dopo essiccazione in stufa ventilata a 70°C fino a peso costante), calcolando poi a partire da questi il contenuto percentuale di sostanza secca nei tessuti, separatamente per ciascuna delle due parti, cui si è aggiunta la valutazione della sostanza secca presente nelle radici. Il peso fresco delle foglie e degli steli è stato quindi rapportato al peso complessivo delle parti stesse in modo da determinare la maggiore o minore “fogliosità” o “stelosità” delle piante. Ulteriori rilievi, eseguiti con frequenza mensile, hanno riguardato il contenuto di

clorofille nelle foglie, quantificato tramite lettura allo spettrofotometro (modello Jenway 6400, Jenway Limited, England), alle lunghezze d'onda di 665,2 e 652,4 nm per la clorofilla a e b rispettivamente, ed espresso in $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ di foglia. I pigmenti sono stati estratti utilizzando come solvente del metanolo al 99,9%, lasciando i campioni al buio e ad una temperatura di 4°C per 24 ore. Per il calcolo della concentrazione di clorofille si è fatto ricorso alla formula di Lichtenthaler (Lichtenthaler, 1987).

La raccolta delle bacche ha avuto inizio il 14 giugno concludendosi il 2 agosto, per un totale di otto interventi. I pomodori, una volta raccolti, sono stati sottoposti a cernita per separare la produzione commerciale dallo scarto, quindi, per entrambe le categorie, sono stati registrati il numero e il peso fresco totale dei frutti, da cui si è poi ricavato il peso unitario degli stessi.

Per quanto riguarda la qualità della produzione, a due diversi momenti del ciclo di raccolta sono stati prelevati campioni costituiti sia da pomodori allo stadio di invaiatura sia da bacche mature su cui è stata misurata la resistenza alla penetrazione del frutto intero e della sola polpa (RPI e RPP; kg/cm^2 , utilizzando un penetrometro modello FT 327) e, previa omogeneizzazione e centrifugazione, sono stati poi valutati: conducibilità elettrica (CE; dS/m , misurata con conducimetro modello HI 8733 Hanna Instruments), pH, residuo ottico (RO; °brix, misurato con rifrattometro manuale), acidità titolabile (AT; % acido citrico, mediante titolazione con NaOH 0,1N), rapporto residuo ottico/acidità titolabile (RO/AT) ed infine il contenuto percentuale di sostanza secca (% s.s., tramite essiccazione in stufa a 70°C fino a peso costante). A metà del ciclo di raccolta è stato inoltre quantificato il contenuto in vitamina C ($\text{mg}/100$ s.f.) e in potassio (% sulla s.s.) nelle bacche. La determinazione della vitamina C è stata effettuata con metodo titrimetrico (AOAC, 1980): a 100 g di prodotto fresco (ottenuto da porzioni di polpa e buccia ricavate da 6 differenti frutti) sono stati aggiunti 100 ml di soluzione estraente a base di acido acetico e acido fosforico, quindi, dopo omogeneizzazione e filtrazione, sono stati prelevati 20 ml di filtrato che sono stati titolati con una soluzione a base di 2,6-dicloroindofenolo e NaHCO_3 . Applicando l'apposita formula matematica, in base ai millilitri di soluzione titolante impiegati e previa titolazione di una soluzione standard di acido ascorbico contenente 50 mg del composto in 50 ml di soluzione estraente, sono stati calcolati i milligrammi di vitamina C presenti in 100 g di sostanza fresca. Per la valutazione del contenuto in potassio si è fatto ricorso, invece, ad una digestione nitroperclorica della sostanza secca con successiva lettura al fotometro a fiamma (modello Jenway PFP7, Jenway Limited, England).

Sui dati raccolti relativi allo sviluppo vegetativo della coltura è stata effettuata l'analisi di regressione non lineare scegliendo il grado di equazione più idoneo a rappresentare l'andamento della crescita della pianta, in base al raffronto dei rispettivi coefficienti di determinazione (R^2). I dati sulle temperature e l'umidità relativa dell'aria sono stati analizzati attraverso l'analisi della varianza (ANOVA) ad una via, mentre quelli inerenti i parametri valutati in occasione dell'ultimo rilievo sulla crescita e quelli concernenti la produzione quantitativa e qualitativa sono stati sottoposti ad un'ANOVA a due fattori, per verificare l'eventuale presenza di interazione tra il film di copertura e il tipo di stabilizzante impiegato.

IV.1.2 RISULTATI E DISCUSSIONE

IV.1.2.1 Temperatura e umidità relativa dell'aria all'interno dei tunnel

Per quanto concerne i rilievi sulla temperatura e umidità relativa dell'aria, effettuati sotto le coperture nel periodo fine aprile – inizio maggio, l'analisi della varianza ha messo in evidenza differenze significative, tra i film confrontati, sia nei valori minimi che in quelli medi e massimi (Tab.23). In particolare, i film a luce diffusa hanno mostrato, mediamente, temperature minime notturne più elevate, sebbene con scarti inferiori al grado centigrado, rispetto ai corrispettivi laminati plastici a luce chiara, caratterizzandosi nel contempo anche per le temperature medie e massime più ridotte (eccettuato il caso della seconda tipologia di stabilizzazione, dove non vi sono state differenze riguardo alle temperature massime e la media è apparsa superiore nel film a luce diffusa rispetto a quello a luce diretta, di circa 1°C). Le minime notturne più alte sono state registrate, nello specifico, sotto le coperture DT Stab2 e DT Stab3 con un valore pari a 14,1°C, mentre la temperatura più bassa è stata misurata sotto il film CT Stab2 (13,2°C). Durante il giorno, il maggior innalzamento termico si è avuto sotto la copertura a luce chiara con la terza tipologia di stabilizzazione (CT Stab3), con 32,5°C, seguita dal film, anch'esso a luce diretta, additivato con il primo tipo di stabilizzante (CT Stab1), dove sono stati raggiunti i 32°C. Le temperature massime più contenute (29,1°C), sono state invece rilevate sotto il tunnel coperto con il film DT Stab1, caratterizzatosi inoltre per la minor temperatura media (19,2°C), mentre le medie giornaliere più elevate sono da attribuire alla copertura CT Stab3 (21,2°C).

Per quel che concerne l'umidità relativa, le percentuali più alte sono state osservate, in linea generale, sotto le coperture DT Stab1, CT Stab2 e DTStab3, mentre sotto gli altri tunnel i valori si sono attestati su livelli mediamente più bassi (Tab.23).

I dati relativi all'andamento giornaliero della temperatura e dell'UR all'interno dell'ambiente protetto danno ulteriore conferma di quanto sopra riportato (Graf.82, 83, 84 e 85).

IV.1.2.2 Sviluppo vegetativo della coltura

La primavera del 2010 è stata caratterizzata da una notevole piovosità e da poche giornate soleggiate, in particolare nei mesi di aprile e maggio. Sebbene le temperature di fine inverno abbiano fatto registrare valori superiori alle medie storiche del periodo, un afflusso di aria artica, nella prima decade di marzo, ha provocato danni da freddo alle giovani piantine di pomodoro presenti sotto due dei sei tunnel posti a confronto (CT Stab1 e CT Stab2), pregiudicandone fortemente lo sviluppo vegetativo iniziale.

IV.1.2.2.1 Altezza, numero di foglie, area fogliare e diametro del fusto delle piante

Le diverse coperture poste a confronto, in linea generale, non hanno evidenziato particolari differenze per quel che riguarda l'altezza (Graf.86) e il numero di foglie a pianta (Graf.87), fatta eccezione per i film chiari termici con la prima e seconda tipologia di stabilizzazione, vale a dire quelli che hanno risentito maggiormente del forte abbassamento termico verificatosi nelle prime fasi di sviluppo della coltura. Tale effetto negativo risulta ancora più evidente osservando le curve relative al diametro del fusto delle piante (Graf.88), sebbene per questo parametro vi sia stato, successivamente, un forte recupero da parte delle stesse nel periodo compreso tra i 60 e i 90 giorni dall'impianto. Anche in termini di superficie fogliare (Graf.90) i film chiari termici con i primi due tipi di stabilizzazione hanno fornito performances inferiori alle altre coperture, con differenze che si sono accentuate con il trascorrere del tempo, mentre gli altri manufatti non hanno tra loro mostrato sostanziali variazioni.

IV.1.2.2.2 Peso fresco, peso secco e percentuale di sostanza secca della parte aerea delle piante

Riguardo ai valori di peso fresco (Graf.89) e secco (Graf.91) della parte aerea delle piante valgono, in linea generale, le stesse osservazioni fatte nel paragrafo precedente. Infatti le diverse coperture non si sono differenziate in maniera evidente tra loro, con l'esclusione dei due film chiari termici sopra citati, che hanno risentito maggiormente delle gelate di fine inverno. All'interno di essi le piante mostravano uno sviluppo vegetativo nettamente inferiore a quello riscontrabile sotto gli altri tunnel, mentre, come del resto era lecito aspettarsi, la percentuale di sostanza secca nei tessuti delle stesse (Graf.92) è risultata leggermente più elevata, fino a circa 40 giorni dall'impianto, probabilmente per le maggiori necessità di indurimento alle basse temperature.

IV.1.2.2.3 Indici di crescita

Per quanto concerne il calcolo degli indici di crescita relativi ai primi 60 giorni del ciclo colturale, in linea generale le differenze tra le diverse coperture tendono ad accentuarsi con il trascorrere del tempo nel caso dell'indice di crescita assoluto (Graf.93) e di superficie fogliare (Graf.96), mentre, per i valori di NAR (Graf.94) ed RGR (Graf.95), la tendenza è quella opposta.

I risultati ottenuti pongono nuovamente in evidenza il ritardo di sviluppo delle piante allevate sotto i film chiari termici stabilizzati con la prima e seconda tipologia di stabilizzazione. Infatti, sia i valori dell'indice di crescita assoluto, sia quelli degli indici di crescita relativo e di superficie fogliare si sono attestati, in particolare nei primi 40-45 giorni dall'impianto, su livelli più bassi rispetto alle altre coperture oggetto della sperimentazione. Tuttavia i valori dell'indice di assimilazione netta non hanno evidenziato altrettante differenze.

Tra i film a luce diffusa, quello con la seconda tipologia di stabilizzazione ha mostrato i valori di NAR e di RGR inferiori, sebbene con differenze di modesta entità, soprattutto fino a 25-30 giorni dall'impianto.

IV.1.2.2.4 Peso fresco, peso secco e percentuale di sostanza secca in foglie, steli e radici a 60 giorni dal trapianto

I valori, sia di peso fresco che secco, dello stelo e delle foglie (e conseguentemente dell'intera pianta) più elevati sono stati registrati nei film a luce diffusa e, nell'ambito delle diverse stabilizzazioni, nella terza tipologia (Tab.24). Tali risultati, legati principalmente al ritardo di sviluppo che ha caratterizzato le piante allevate sotto le coperture CT Stab1 e CT Stab2, sono sostanzialmente contrari alle aspettative, secondo cui l'andamento primaverile caratterizzato dalla presenza di molte giornate nuvolose faceva prevedere migliori performances da parte dei film a luce chiara.

La percentuale di sostanza secca nei tessuti della pianta (Tab.24) non ha, invece, evidenziato differenze tra le due coperture poste a confronto, mentre, per quanto concerne le stabilizzazioni, i valori più elevati sono stati osservati nei film additivati con il terzo tipo di stabilizzante. Le altre due stabilizzazioni non si sono differenziate tra loro, se non riguardo alla percentuale di sostanza secca nelle foglie, più elevata nella Stab2.

IV.1.2.2.5. Rapporto peso fresco foglie/peso fresco totale parte aerea e rapporto peso fresco stelo/peso fresco totale parte aerea

Sebbene con differenze non statisticamente significative, le piante allevate sotto i film a luce chiara hanno mostrato il maggior rapporto tra peso fresco degli steli e peso fresco totale della parte aerea (Tab.24). Nell'ambito delle stabilizzazioni, la terza tipologia di stabilizzante si è caratterizzata per la maggior "fogliosità" dei vegetali cresciuti sotto le coperture con essa additivate, con differenze risultate significative dal punto di vista statistico.

IV.1.2.2.6 Contenuto di clorofilla a e b nelle foglie delle piante

In relazione al contenuto di clorofille nelle foglie delle piante (Graf.97, 98 e 99), le differenze più evidenti tra le due tipologie di coperture sono state osservate nel caso della clorofilla b. I film a luce diffusa, infatti, ne hanno mostrato il maggior contenuto, soprattutto durante la fase

centrale del ciclo vegetativo (dai 30 ai 60 giorni dal trapianto), con conseguente maggior rapporto clorofilla b/clorofilla a.

Tra le diverse stabilizzazioni, invece, non sono state registrate differenze di rilievo.

IV.1.2.3 Produzione

Riguardo alla produzione quantitativa di frutti commerciabili, nel caso delle raccolte cumulate precoci (Tab.25), sono emerse differenze significative sia tra le due tipologie di film poste a confronto sia tra le tre diverse stabilizzazioni. In particolare, sia il numero che il peso totale dei frutti sono risultati superiori, mediamente, nelle piante allevate sotto i film a luce diffusa, rispettivamente del 23,9 e 13,1%, mentre il maggior peso unitario è stato rilevato sotto i film chiari termici, ma con differenze non significative statisticamente. Tra le stabilizzazioni, invece, le performances migliori sono da ricondurre alla seconda tipologia, almeno per quel che riguarda l'entità numerica (+29,6% rispetto alla Stab1 e +18,4% rispetto alla Stab3) e la produzione totale (+14,3 e +23,7% rispettivamente) di pomodori, mentre il peso unitario delle bacche più elevato è stato rilevato nella stabilizzazione 1, con 191,23 grammi.

A circa metà ciclo di raccolta (Tab.26) e in corrispondenza della produzione cumulata finale (Tab.27) le differenze sopra riportate tra le due coperture non apparivano più significative, mentre, per quanto concerne il confronto tra stabilizzazioni, i risultati relativi al numero e al peso totale delle bacche non hanno evidenziato particolari variazioni tra la prima e la seconda tipologia, differenziatisi tuttavia dalla terza, che ha fatto registrare valori notevolmente più bassi. Per quanto riguarda il peso unitario, invece, quanto sopra riportato vale solo nel caso della produzione cumulata a metà ciclo di raccolta, in quanto prendendo in considerazione la cumulata finale si notano differenze significative tra tutte e tre le stabilizzazioni, con valori che decrescono passando dalla prima tipologia (213,89 g) alla seconda (193,52 g) e, quindi, alla terza (161,33 g). L'interazione tra copertura e stabilizzazione è apparsa molto significativa per tutto il ciclo di raccolta, in relazione al numero e al peso totale dei frutti, mentre nessuna interazione è stata osservata per il peso unitario.

Passando a considerare la produzione di scarto (Tab.25, 26 e 27), nell'arco dell'intero ciclo di raccolta i film a luce diffusa hanno prodotto, sia in termini di numero che di peso totale, un maggior quantitativo di frutti non commerciabili (in media +50%), con differenze maggiori nelle raccolte precoci (+75%), rispetto ai film a luce diretta. Il peso unitario dei frutti di

scarto, invece, si è diversificato in maniera significativa solo nel caso della produzione cumulata a metà ciclo di raccolta (con il valore più elevato nei film diffusivi) e in quella finale (dove il maggior peso è stato osservato nei film chiari). Anche tra le diverse stabilizzazioni poste a confronto sono emerse differenze significative nell'entità numerica e ponderale delle bacche non commerciabili, e, in particolare, le performances peggiori sono da attribuire, indipendentemente dal momento del ciclo di raccolta considerato, alla terza tipologia di stabilizzazione, mentre i migliori risultati riguardano la stabilizzazione 1. Infatti, sotto i film stabilizzati con la terza formulazione di additivi, sono stati raccolti molti frutti piccoli e si è avuta una maggior incidenza di marciume apicale nel periodo di fine luglio, in corrispondenza di un forte innalzamento delle temperature. E' importante a questo punto sottolineare che gran parte della produzione di scarto ottenuta nelle prime raccolte è legata alla presenza, sulle piante, di un numero particolarmente elevato di frutti partenocarpici di piccole dimensioni. La formazione di tali frutti potrebbe essere imputabile alle forti escursioni termiche verificatisi in corrispondenza dell'emissione dei primi due palchi fiorali, ed in particolare alle elevate temperature diurne, che hanno probabilmente determinato il formarsi di fiori imperfetti con conseguenti problemi di allegagione.

Infine, l'interazione tra il tipo copertura e di stabilizzazione è apparsa molto significativa, analogamente a quanto osservato per la produzione commerciale, nel caso del numero e peso totale dei pomodori, mentre, per quanto concerne il peso unitario, solo nella cumulata a metà ciclo di raccolta l'analisi statistica ha evidenziato una significatività.

IV.1.2.4 Qualità della produzione

Dai risultati delle analisi condotte sui campioni prelevati a quindici giorni dall'inizio della raccolta (Tab.28) non sono emerse, eccetto per il pH dei frutti maturi, differenze significative tra le due coperture poste a confronto, per quel che concerne la qualità della produzione. Al contrario sembra esservi stata un'influenza da parte delle diverse stabilizzazioni sul pH, l'acidità titolabile e la percentuale di sostanza secca dei frutti allo stadio di invaiatura, oltre che su quasi tutti i parametri dei pomodori allo stadio di piena maturazione. In particolare, i frutti invaiati raccolti sotto i film stabilizzati con la prima tipologia di stabilizzazione hanno mostrato un pH leggermente più acido e un'acidità titolabile maggiore, contrariamente a quanto osservato nelle coperture con la terza stabilizzazione, che si sono caratterizzate per il

pH più alto e l'acidità titolabile più bassa. Le bacche raccolte da piante allevate sotto queste ultime coperture hanno mostrato anche la percentuale di sostanza secca più elevata. Nei pomodori maturi, le differenze osservate in precedenza tra le diverse stabilizzazioni nei frutti invaiati e relative al pH e alla percentuale di sostanza secca sono rimaste sostanzialmente invariate, mentre i valori dell'acidità titolabile non hanno, questa volta, differito significativamente tra loro. Il residuo ottico più elevato è stato misurato nel caso della stabilizzazione 3 (con 4,88 °brix) mentre il valore più basso è stato registrato per la stabilizzazione 2 (4,47 °brix). Il rapporto tra residuo ottico e acidità titolabile, indice del grado di avanzamento della maturazione, è risultato più alto nei film con la stabilizzazione 3. Questi ultimi si sono anche caratterizzati per la maggior resistenza alla penetrazione, sia in relazione al frutto intero sia considerando la sola polpa, mentre la minor compattezza è stata valutata nei frutti raccolti sotto le coperture con la prima tipologia di stabilizzazione. L'interazione tra film di copertura e stabilizzazione è apparsa significativa solamente nel caso dell'acidità titolabile dei frutti invaiati.

Passando quindi a considerare le caratteristiche qualitative dei pomodori raccolti in epoca più tardiva, e, precisamente, a 45 giorni dalla data di impianto (Tab.29), non si osservano, analogamente a quanto riportato per le produzioni precoci, differenze significative tra le due tipologie di copertura oggetto della prova, eccetto che nel valore di residuo ottico dei frutti invaiati (valore leggermente più elevato nei film chiari) e nella conducibilità elettrica delle bacche mature (più alta nei film a luce diffusa). Differenze significative sono state invece evidenziate, e questo vale per tutti i parametri qualitativi ad esclusione della resistenza alla penetrazione del frutto intero, tra le diverse stabilizzazioni nel caso dei frutti invaiati. In particolare, i pomodori raccolti sotto i film con la seconda stabilizzazione si sono caratterizzati per la maggior acidità e il minor residuo ottico, con un conseguente valore del rapporto residuo ottico/acidità titolabile più basso. Le coperture con la stabilizzazione 3 hanno ancora una volta mostrato i valori di pH e della percentuale di sostanza secca delle bacche più alti, oltre alla maggior conducibilità elettrica.

Nei pomodori maturi, differenze significative tra le diverse stabilizzazioni sono emerse in relazione alla conducibilità elettrica, al residuo ottico, e alla resistenza alla penetrazione sia del frutto intero che della sola polpa, con i valori più elevati registrati, per tutti i parametri ora citati, nella terza tipologia di stabilizzazione. L'interazione tra film di copertura e tipo di stabilizzazione adottato è apparsa significativa nel caso della conducibilità elettrica, del residuo ottico e del rapporto RO/AT del pomodoro invaiato, così come della resistenza alla

penetrazione della polpa del frutto maturo, mentre è risultata molto significativa in relazione alla resistenza alla penetrazione della polpa del pomodoro invaiato e della conducibilità elettrica di quello maturo.

Infine, per quanto concerne il contenuto in vitamina C, le due coperture hanno differito significativamente solo nel frutto maturo (Tab.30), dove il film a luce diffusa ha mostrato un valore più elevato (29,94 mg/100 g s.f.) rispetto a quello a luce diretta (27,93 mg/100 g s.f.), mentre nessuna differenza è stata osservata nel pomodoro invaiato. Tra le diverse stabilizzazioni la terza tipologia si è caratterizzata per le migliori performances, mostrando il tenore di vitamina C più elevato, sia nel frutto allo stadio di invaiatura (37,74 mg/100 g s.f.) sia nella bacca matura (34,12 mg/100 g s.f.).

Il contenuto percentuale di potassio sulla sostanza secca (Tab.30), invece, non è variato significativamente passando da una copertura all'altra e solo nel caso del pomodoro invaiato l'analisi della varianza ha evidenziato, tra le stabilizzazioni, differenze significative dal punto di vista statistico. L'interazione tra copertura e stabilizzazione non è, per concludere, risultata significativa per nessuno dei due parametri considerati.

IV.1.3 CONCLUSIONI

I risultati delle analisi di crescita condotte sulla coltura di pomodoro evidenziano, in termini generali, un maggior sviluppo vegetativo delle piante allevate sotto i film a luce diffusa rispetto a quelle sviluppatesi sotto le coperture a luce diretta. Tale differenza, che è maggiore nelle fasi iniziali del ciclo vegetativo della coltura, deve essere senza dubbio messa in relazione ai danni da freddo subiti dalle giovani piantine presenti sotto i film chiari (stabilizzati con la prima e seconda tipologia di stabilizzazione) nei primi giorni del mese di marzo. Lo sviluppo vegetativo sotto queste ultime coperture è stato infatti fortemente pregiudicato dalla perdita di parte della superficie fotosintetizzante delle piante, come indicano, del resto, i valori relativi all'altezza, al numero di foglie e al diametro del fusto dei vegetali, oltre agli indici di crescita assoluto (CGR), relativo (RGR) e di superficie fogliare (LAR).

In linea generale, comunque, le migliori performances dal punto di vista dello sviluppo vegetativo della coltura sono da attribuire ai film con la terza tipologia di stabilizzazione, siano essi a luce chiara o diffusa, da cui non sono tuttavia scaturiti analoghi risultati in termini di produzione quantitativa. Questa infatti è apparsa più elevata, indipendentemente dal momento del ciclo di raccolta considerato, nei film con le prime due stabilizzazioni, soprattutto in virtù del maggior peso unitario dei frutti commerciabili, ma anche, da circa metà ciclo in poi, dell'entità numerica delle bacche. Tra le due tipologie di film, invece, differenze significative nel numero e nel peso totale dei frutti destinabili al mercato sono state osservate solo nelle raccolte precoci, mentre, per quel che concerne la produzione di scarto, questa è risultata sempre più elevata sotto il film diffusivo. La maggior produttività dei film a luce diffusa all'inizio del ciclo di raccolta è da collegare, almeno in parte, al ritardo di produzione manifestato dai film chiari con la prima e seconda tipologia di stabilizzazione, ossia le coperture maggiormente colpite dalle gelate nei primi giorni di marzo, che si sono tuttavia caratterizzate per un forte recupero della produzione stessa nel tempo, conclusosi con una cumulata finale addirittura superiore a quella dei film diffusivi (sebbene con differenze non significative dal punto di vista statistico).

Riguardo alle caratteristiche di qualità merceologica del prodotto, solamente per alcuni parametri si sono osservate differenze significative tra le due coperture, mentre molto più evidenti sono state le differenze tra le diverse stabilizzazioni. Nello specifico, i frutti maturi

raccolti sotto entrambi i film con la terza stabilizzazione hanno mostrato valori di residuo ottico, percentuale di sostanza secca e resistenza alla penetrazione (sia della bacca intera che della polpa), maggiori rispetto a quelli registrati sotto le altre coperture. Allo stadio di invaiatura, invece, gli stessi frutti si sono caratterizzati per la minore acidità.

Per quel che concerne il tenore in vitamina C, questo è apparso più elevato nei pomodori, siano essi invaiati o maturi, prelevati sotto i film con la terza stabilizzazione, che quindi, pur avendo fornito una produzione quantitativa notevolmente più bassa rispetto alle altre coperture, si sono parallelamente caratterizzati per la miglior qualità. Tra le due tipologie di materiale, invece, le differenze nel contenuto in vitamina C hanno riguardato solo il pomodoro allo stadio di piena maturazione, con il valore più elevato registrato nei film a luce diffusa.

Infine, la percentuale di potassio nella sostanza secca dei frutti non ha subito variazioni passando da una copertura all'altra e, eccetto nel caso del pomodoro invaiato (dove il valore più basso è stato osservato nei film con la terza stabilizzazione), neppure tra le diverse tipologie di stabilizzazione impiegate.

IV.1.4 TABELLE E GRAFICI

Tabella 23: medie settimanali delle temperature e dei valori di umidità relativa minimi, medi e massimi registrati sotto le coperture dal 27/4/2010 al 3/5/2010.

(27/4 - 3/5)- 2010	Temperatura (°C)			Umidità relativa (%)		
	Minima	Media	Massima	Minima	Media	Massima
CT Stab1	*** 13,6 b	*** 21,0 a	*** 32,0 a	*** 48,7 c	*** 66,2 c	*** 79,4 d
DT Stab1	*** 13,7 b	*** 19,2 c	*** 29,1 c	*** 53,3 b	*** 72,5 a	*** 85,5 a
CT Stab2	*** 13,2 c	*** 20,2 b	*** 31,0 b	*** 56,7 a	*** 72,1 ab	*** 82,6 c
DT Stab2	*** 14,1 a	*** 21,1 a	*** 31,0 b	*** 46,8 d	*** 64,4 d	*** 78,8 d
CT Stab3	*** 13,7 b	*** 21,2 a	*** 32,5 a	*** 48,2 cd	*** 65,9 c	*** 79,7 d
DT Stab3	*** 14,1 a	*** 20,9 a	*** 30,3 b	*** 54,3 b	*** 71,3 b	*** 84,2 b

I valori contrassegnati con lettere diverse differiscono significativamente per $P \leq 0,05$ secondo il test di Duncan (ns non significativo; * $P \leq 0,05$; ** $P \leq 0,01$; *** $P \leq 0,001$).

Tabella 24: Peso fresco, peso secco e percentuale di sostanza secca in steli e foglie; percentuale di sostanza secca nelle radici e rapporti peso fresco stelo/peso fresco parte aerea e peso fresco foglie/peso fresco parte aerea delle piante di pomodoro a 60 giorni dal trapianto.

	Peso fresco stelo (g)	Peso fresco foglie (g)	Peso fresco parte aerea (g)	Peso secco stelo (g)	Peso secco foglie (g)	Peso secco parte aerea (g)
DT	* 177,00 a	* 278,57 a	* 455,57 a	* 20,17 a	** 38,70 a	* 58,87 a
CT	* 158,99 b	* 237,62 b	* 396,61 b	* 18,20 a	** 32,61 b	* 50,81 b
Stabilizzazione 1	* 164,59 ab	* 252,65 b	* 417,24 b	* 18,32 b	** 32,56 b	** 50,88 b
Stabilizzazione 2	* 156,88 b	* 229,73 b	* 386,60 b	* 17,50 b	** 31,35 b	** 48,85 b
Stabilizzazione 3	* 182,53 a	* 291,90 a	* 474,43 a	* 21,73 a	** 43,06 a	** 64,79 a
Interazione film X stabilizzazione	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	Sostanza secca radici (%)	Sostanza secca stelo (%)	Sostanza secca foglie (%)	Sostanza secca parte aerea (%)	PF stelo/PF parte aerea	PF foglie/PF parte aerea
DT	13,51 a	11,38 a	13,88 a	12,91 a	0,39 a	0,61 a
CT	13,71 a	11,43 a	13,65 a	12,76 a	0,41 a	0,59 a
Stabilizzazione 1	* 13,43 b	* 11,12 b	** 12,88 c	12,18 b	* 0,40 b	* 0,60 ab
Stabilizzazione 2	* 13,06 b	* 11,21 b	** 13,68 b	12,68 b	* 0,41 a	* 0,59 b
Stabilizzazione 3	* 14,35 a	* 11,90 a	** 14,75 a	13,65 a	* 0,39 b	* 0,62 a
Interazione film X stabilizzazione	ns	ns	ns	ns	ns	ns

I valori contrassegnati con lettere diverse differiscono significativamente per $P \leq 0,05$ secondo il test di Duncan (ns non significativo; * $P \leq 0,05$; ** $P \leq 0,01$; *** $P \leq 0,001$).

Tabella 25: produzione commerciabile e di scarto a 15 giorni dall'inizio del ciclo di raccolta.

A 15 giorni dalla prima raccolta	COMMERCIALE			SCARTO		
	Frutti per pianta			Frutti per pianta		
	Numero	Peso (g)	Peso unitario (g)	Numero	Peso (g)	Peso unitario (g)
DT	** 5,54 a	** 912,92 a	168,28 a	*** 17,53 a	*** 855,44 a	49,36 a
CT	** 4,47 b	** 807,10 b	180,98 a	*** 10,03 b	*** 490,26 b	51,32 a
Stabilizzazione 1	** 4,43 b	** 841,20 b	* 191,23 a	*** 5,23 c	*** 279,47 c	* 54,65 a
Stabilizzazione 2	** 5,74 a	** 961,65 a	* 172,03 ab	*** 14,85 b	*** 761,03 b	* 50,25 a
Stabilizzazione 3	** 4,85 b	** 777,18 c	* 160,65 b	*** 21,27 a	*** 978,04 a	* 46,12 b
Interazione film X stabilizzazione	**	***	ns	**	***	ns

I valori contrassegnati con lettere diverse differiscono significativamente per $P \leq 0,05$ secondo il test di Duncan (ns non significativo; * $P \leq 0,05$; ** $P \leq 0,01$; *** $P \leq 0,001$).

Tabella 26: produzione commerciabile e di scarto a 30 giorni dall'inizio del ciclo di raccolta.

A 30 giorni dalla prima raccolta	COMMERCIALE			SCARTO		
	Frutti per pianta			Frutti per pianta		
	Numero	Peso (g)	Peso unitario (g)	Numero	Peso (g)	Peso unitario (g)
DT	12,21 a	2395,25 a	195,80 a	*** 17,25 a	*** 911,57 a	* 56,19 a
CT	11,75 a	2431,15 a	201,83 a	*** 13,63 b	*** 702,55 b	* 52,38 b
Stabilizzazione 1	*** 12,89 a	*** 2865,35 a	*** 222,23 a	*** 6,09 c	*** 359,27 c	** 59,88 a
Stabilizzazione 2	*** 13,91 a	*** 2838,75 a	*** 206,05 a	*** 16,24 b	*** 871,30 b	** 53,20 b
Stabilizzazione 3	*** 9,14 b	*** 1535,50 b	*** 168,18 b	*** 23,99 a	*** 1190,62 a	** 49,78 b
Interazione film X stabilizzazione	**	***	ns	**	***	*

I valori contrassegnati con lettere diverse differiscono significativamente per $P \leq 0,05$ secondo il test di Duncan (ns non significativo; * $P \leq 0,05$; ** $P \leq 0,01$; *** $P \leq 0,001$).

Tabella 27: produzione commerciabile e di scarto a 50 giorni dall'inizio del ciclo di raccolta.

A 50 giorni dalla prima raccolta	COMMERCIALE			SCARTO		
	Frutti per pianta			Frutti per pianta		
	Numero	Peso (g)	Peso unitario (g)	Numero	Peso (g)	Peso unitario (g)
DT	15,96 a	2987,37 a	186,04 a	*** 21,96 a	*** 1192,52 a	* 55,43 b
CT	16,26 a	3045,28 a	193,11 a	*** 14,15 b	*** 815,80 b	* 61,20 a
Stabilizzazione 1	** 17,20 a	*** 3689,50 a	*** 213,89 a	*** 7,43 c	*** 470,53 c	* 64,33 a
Stabilizzazione 2	** 20,30 a	*** 3614,34 a	*** 193,52 b	*** 19,53 b	*** 1130,97 b	* 58,70 a
Stabilizzazione 3	** 10,83 b	*** 1745,13 b	*** 161,33 c	*** 27,22 a	*** 1410,98 a	* 51,92 b
Interazione film X stabilizzazione	**	**	ns	**	**	ns

I valori contrassegnati con lettere diverse differiscono significativamente per $P \leq 0,05$ secondo il test di Duncan (ns non significativo; * $P \leq 0,05$; ** $P \leq 0,01$; *** $P \leq 0,001$)

Tabella 28: qualità della produzione commerciabile a 15 giorni dall'inizio del ciclo di raccolta.

A 15 giorni dalla prima raccolta	FRUTTO INVAIATO							
	CE (dS/m)	pH	RO (° brix)	AT (% acido citrico)	RO/AT	S.S. (%)	RPI (kg/cm ²)	RPP (kg/cm ²)
DT	4,69 a	3,44 a	4,48 a	0,500 a	9,01 a	5,71 a	5,56 a	2,29 a
CT	4,55 a	3,46 a	4,44 a	0,500 a	9,01 a	5,62 a	5,54 a	2,43 a
Stabilizzazione 1	4,69 a	* 3,41 b	4,70 a	*** 0,555 a	8,62 a	* 5,60 ab	5,41 a	2,18 a
Stabilizzazione 2	4,57 a	* 3,46 a	4,28 a	*** 0,490 b	8,79 a	* 5,44 b	5,63 a	2,32 a
Stabilizzazione 3	4,62 a	* 3,50 a	4,42 a	*** 0,459 c	9,64 a	* 5,96 a	5,62 a	2,59 a
Interazione film X stabilizzazione	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns
	FRUTTO MATURO							
	CE (dS/m)	pH	RO (° brix)	AT (% acido citrico)	RO/AT	S.S. (%)	RPI (kg/cm ²)	RPP (kg/cm ²)
DT	4,84 a	* 3,51 a	4,71 a	0,430 a	10,99 a	5,85 a	4,11 a	1,31 a
CT	4,95 a	* 3,47 b	4,74 a	0,467 a	10,20 a	5,82 a	4,22 a	1,41 a
Stabilizzazione 1	4,87 a	*** 3,42 b	* 4,83 ab	0,483 a	* 10,06 b	** 5,65 b	** 3,99 c	*** 1,17 b
Stabilizzazione 2	4,89 a	*** 3,51 a	* 4,47 b	0,440 a	* 10,19 ab	** 5,53 b	** 4,17 b	*** 1,27 b
Stabilizzazione 3	4,93 a	*** 3,54 a	* 4,88 a	0,423 a	* 11,54 a	** 6,33 a	** 4,34 a	*** 1,65 a
Interazione film X stabilizzazione	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

I valori contrassegnati con lettere diverse differiscono significativamente per $P \leq 0,05$ secondo il test di Duncan (ns non significativo; * $P \leq 0,05$; ** $P \leq 0,01$; *** $P \leq 0,001$).

Tabella 29: qualità della produzione commerciabile a 45 giorni dall'inizio del ciclo di raccolta.

A 45 giorni dalla prima raccolta	FRUTTO INVAIATO							
	CE (dS/m)	pH	RO (° brix)	AT (% acido citrico)	RO/AT	S.S. (%)	RPI (kg/cm ²)	RPP (kg/cm ²)
DT	4,84 a	3,53 a	* 4,57 b	0,381 a	11,80 a	5,77 a	5,00 a	2,35 a
CT	4,83 a	3,52 a	* 4,67 a	0,412 a	11,69 a	6,00 a	4,94 a	2,36 a
Stabilizzazione 1	*** 4,71 c	* 3,48 b	*** 4,78 a	* 0,373 b	** 12,84 a	* 5,72 b	5,02 a	* 2,41 a
Stabilizzazione 2	*** 4,84 b	* 3,51 b	*** 4,38 b	* 0,430 a	** 10,32 b	* 5,80 ab	5,03 a	* 2,30 a
Stabilizzazione 3	*** 4,97 a	* 3,60 a	*** 4,70 a	* 0,390 b	** 12,09 a	* 6,15 a	4,87 a	* 2,37 ab
Interazione film X stabilizzazione	*	ns	*	ns	*	ns	ns	***
	FRUTTO MATURO							
	CE (dS/m)	pH	RO (° brix)	AT (% acido citrico)	RO/AT	S.S. (%)	RPI (kg/cm ²)	RPP (kg/cm ²)
DT	* 5,35 a	3,67 a	5,13 a	0,369 a	13,94 a	6,21 a	3,88 a	1,46 a
CT	* 5,23 b	3,60 a	5,04 a	0,380 a	13,30 a	6,16 a	3,93 a	1,47 a
Stabilizzazione 1	*** 4,97 c	3,58 a	*** 4,90 b	0,364 a	13,51 a	6,08 a	* 3,88 b	*** 1,34 b
Stabilizzazione 2	*** 5,21 b	3,67 a	*** 4,93 b	0,380 a	13,03 a	6,09 a	* 3,80 b	*** 1,36 b
Stabilizzazione 3	*** 5,70 a	3,66 a	*** 5,44 a	0,381 a	14,33 a	6,40 a	* 4,04 a	*** 1,69 a
Interazione film X stabilizzazione	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*

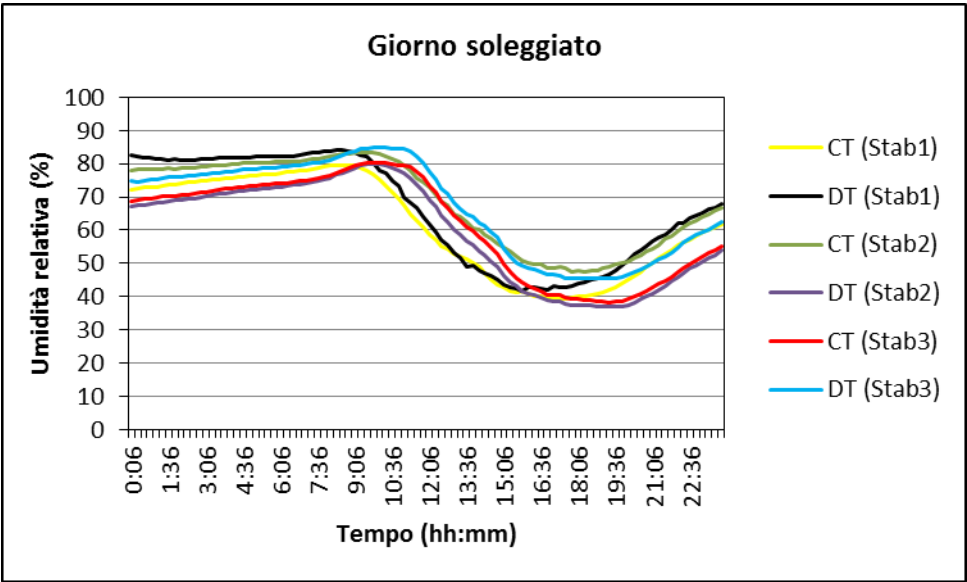
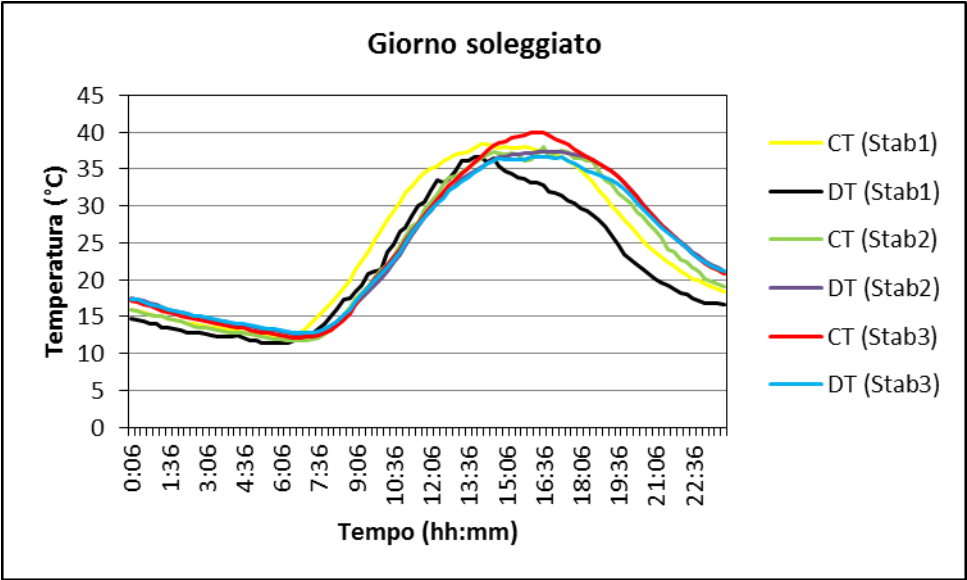
I valori contrassegnati con lettere diverse differiscono significativamente per $P \leq 0,05$ secondo il test di Duncan (ns non significativo; * $P \leq 0,05$; ** $P \leq 0,01$; *** $P \leq 0,001$).

Tabella 30: contenuto di vitamina C e potassio nei frutti prelevati a circa metà ciclo di raccolta.

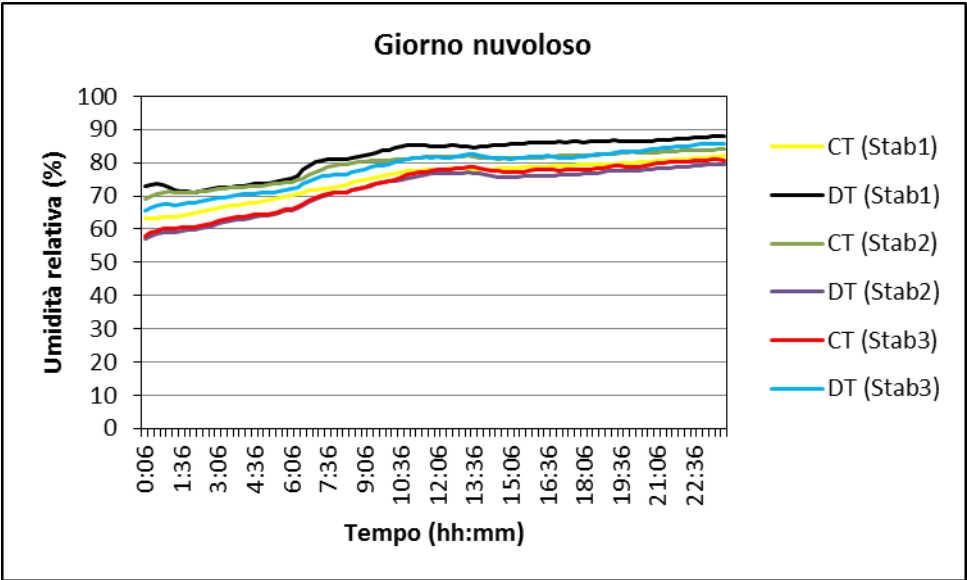
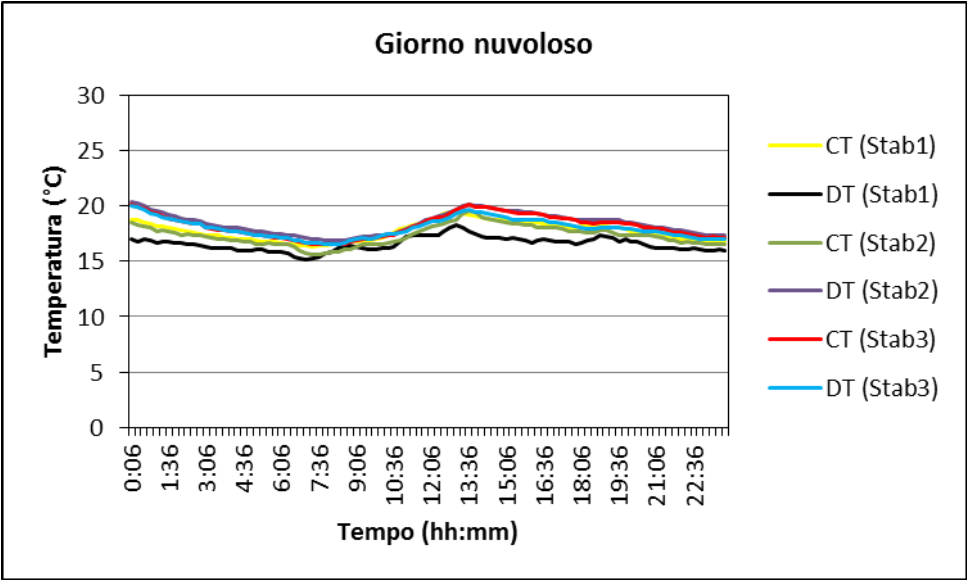
	FRUTTO INVAIATO				FRUTTO MATURO			
	Vitamina C (mg/100 g s.f.)		Potassio (% s.s.)		Vitamina C (mg/100 g s.f.)		Potassio (% s.s.)	
DT	32,84	a	2,47	a	* 29,94	a	2,59	a
CT	31,33	a	2,37	a	* 27,93	b	2,60	a
Stabilizzazione 1	*** 28,97	b	* 2,50	a	*** 24,60	c	2,67	a
Stabilizzazione 2	*** 29,56	b	* 2,49	ab	*** 28,10	b	2,63	a
Stabilizzazione 3	*** 37,74	a	* 2,27	b	*** 34,12	a	2,49	a
Interazione film X stabilizzazione	ns		ns		ns		ns	

I valori contrassegnati con lettere diverse differiscono significativamente per $P \leq 0,05$ secondo il test di Duncan (ns non significativo; * $P \leq 0,05$; ** $P \leq 0,01$; *** $P \leq 0,001$).

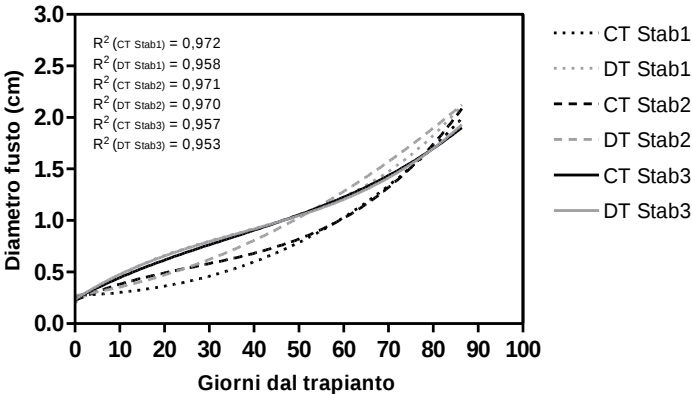
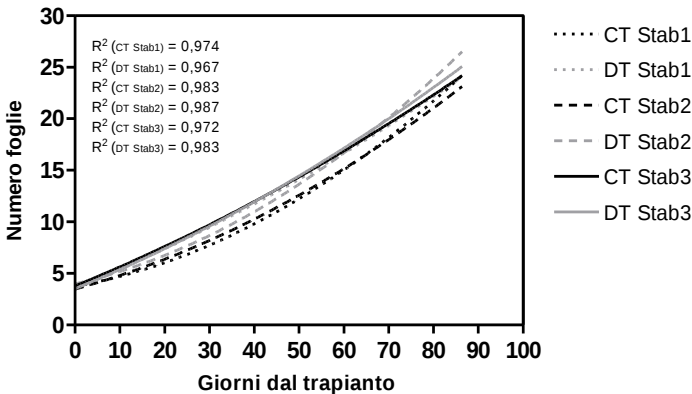
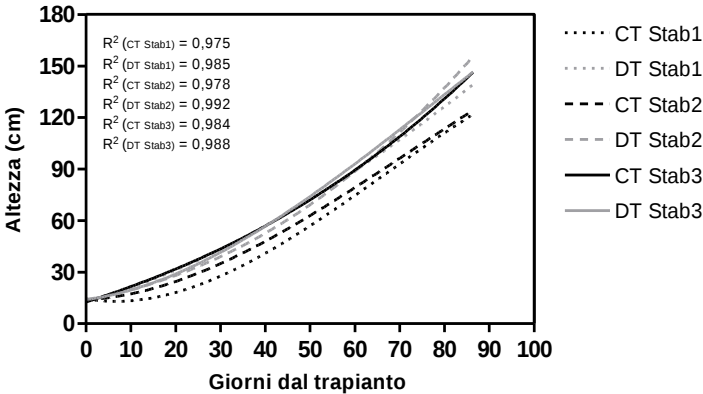
Grafici 82 e 83: andamento giornaliero della temperatura e dell'umidità relativa dell'aria sotto le coperture in un giorno soleggiato.



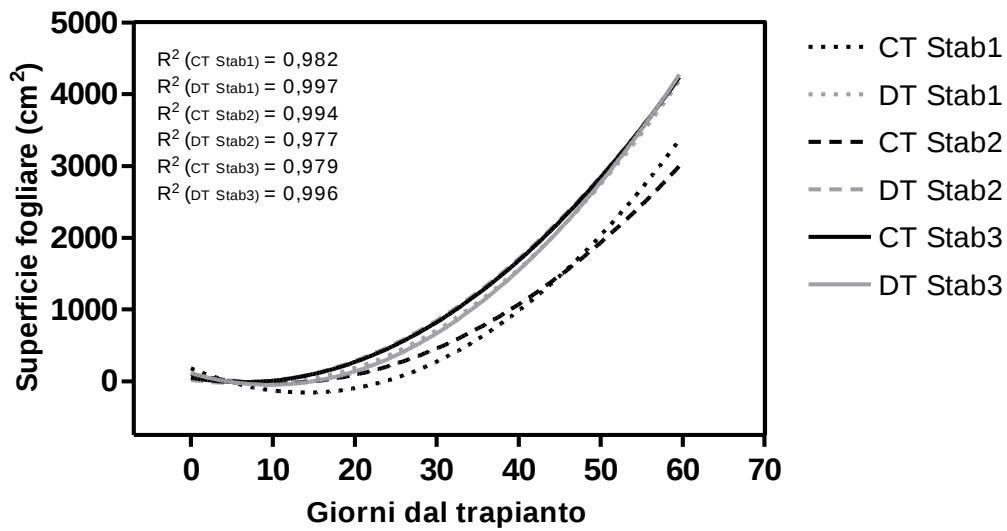
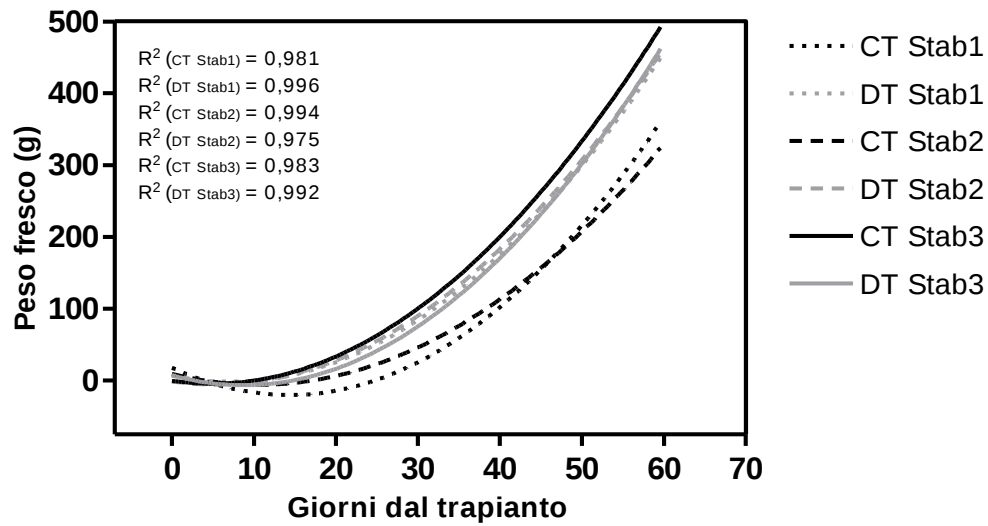
Grafici 84 e 85: andamento giornaliero della temperatura e dell'umidità relativa dell'aria sotto le coperture in un giorno nuvoloso.

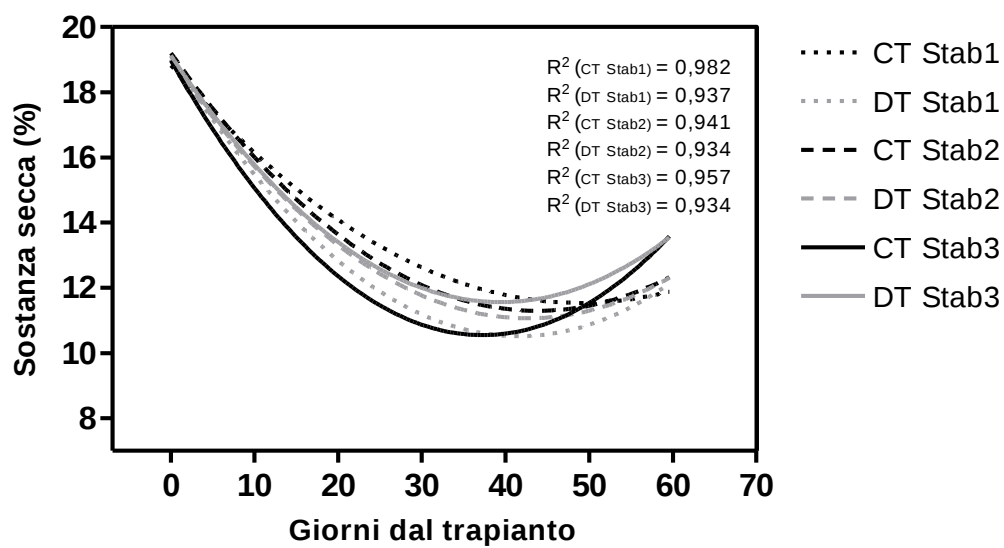
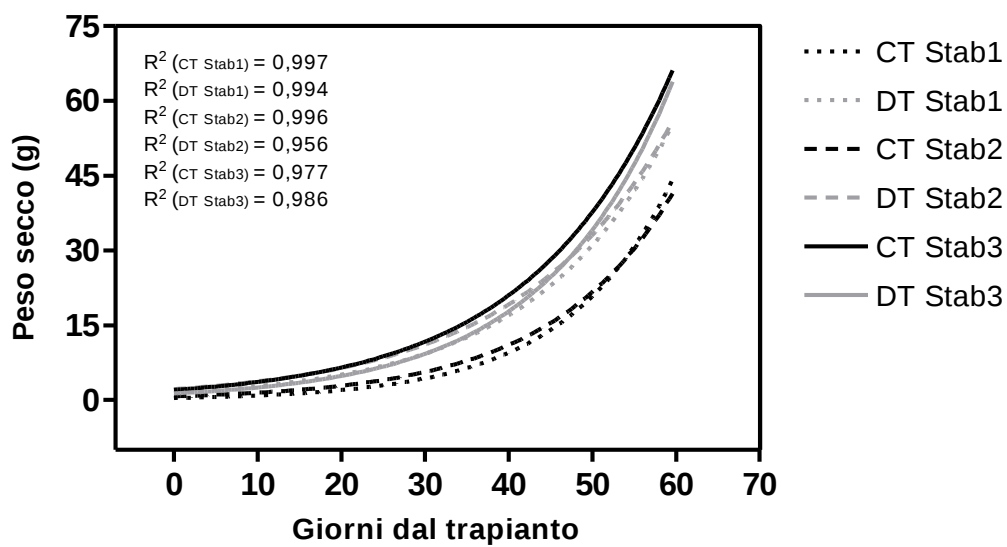


Grafici 86, 87 e 88: altezza, numero di foglie e diametro del fusto delle piante di pomodoro (valori medi a pianta).

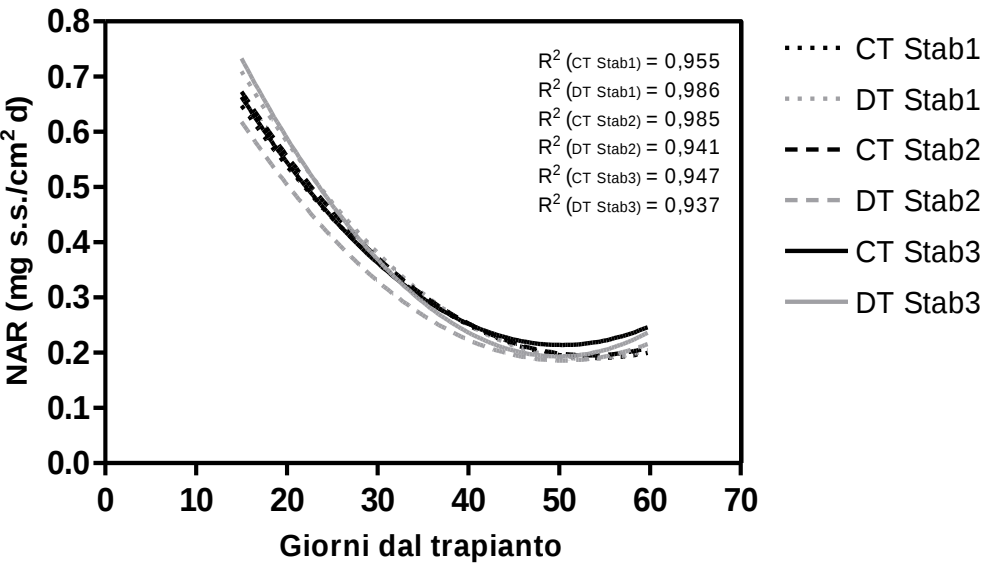
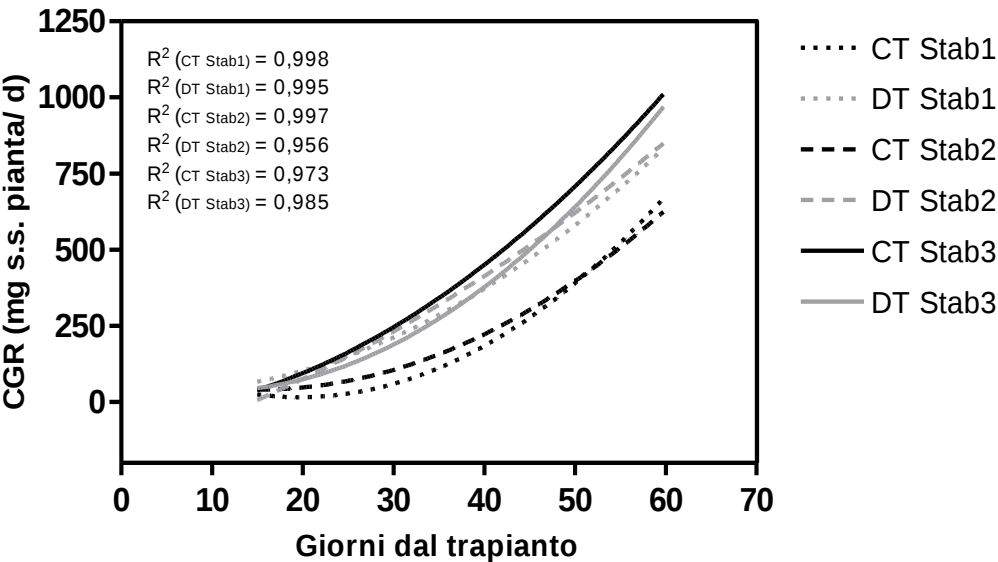


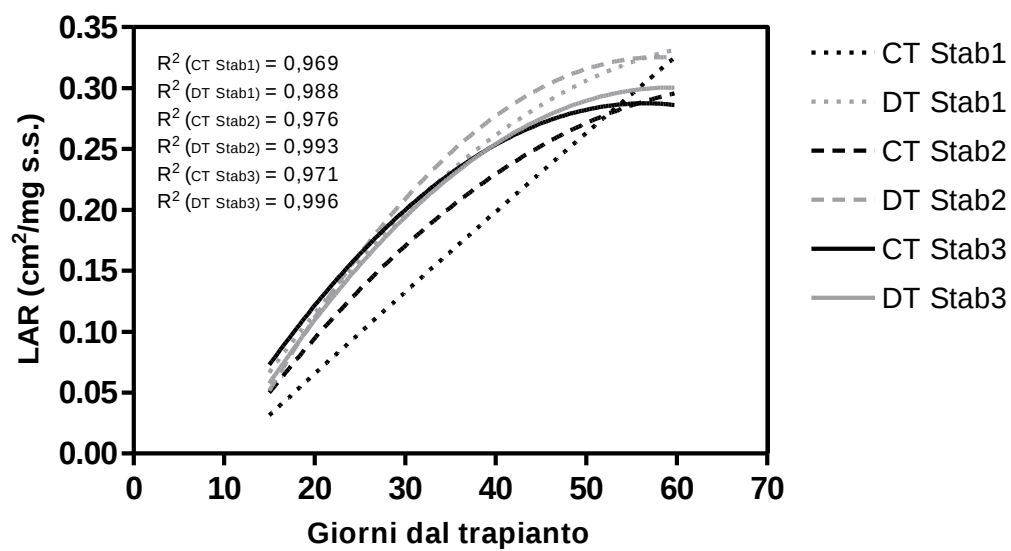
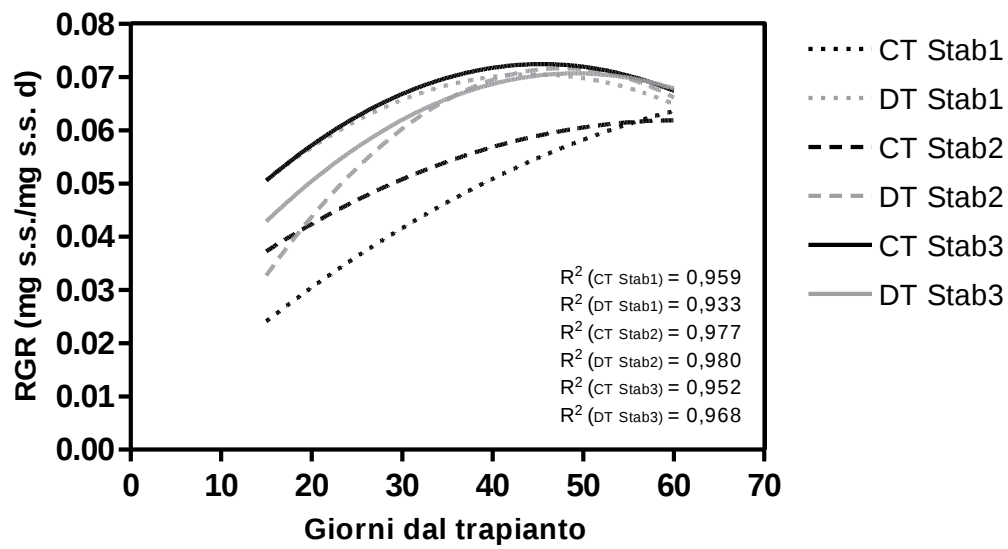
Grafici 89, 90, 91 e 92: peso fresco, superficie fogliare, peso secco e percentuale di sostanza secca nelle piante di pomodoro (valori medi a pianta).



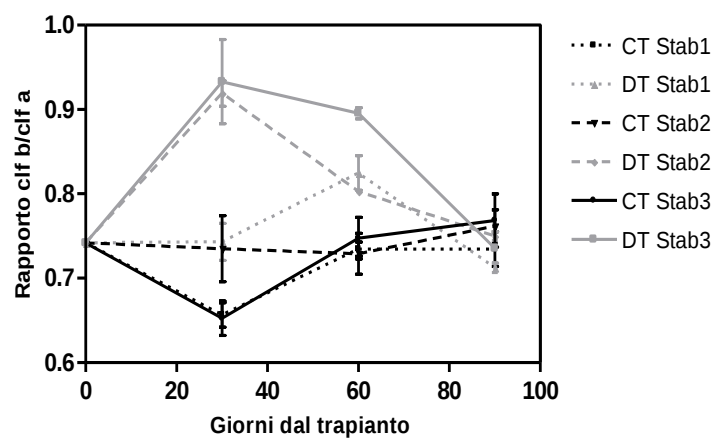
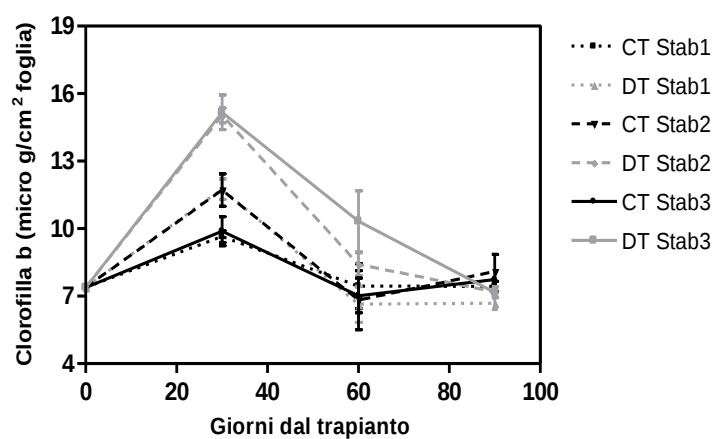
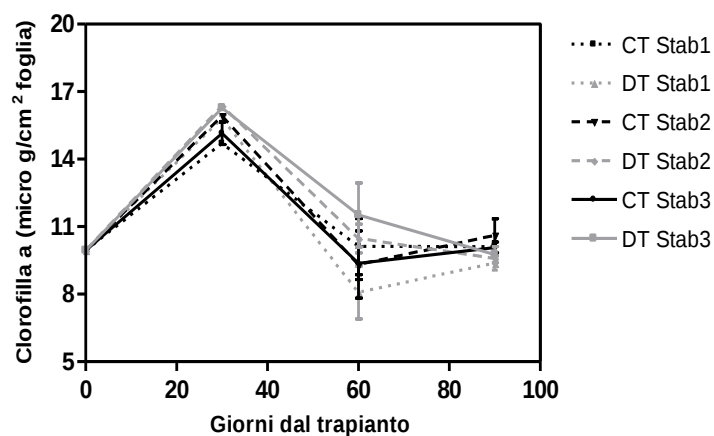


Grafici 93, 94, 95 e 96: indice di crescita assoluto (CGR), indice di assimilazione netta (NAR), indice di crescita relativo (RGR) e indice di superficie fogliare (LAR) delle piante di pomodoro (valori medi a pianta).

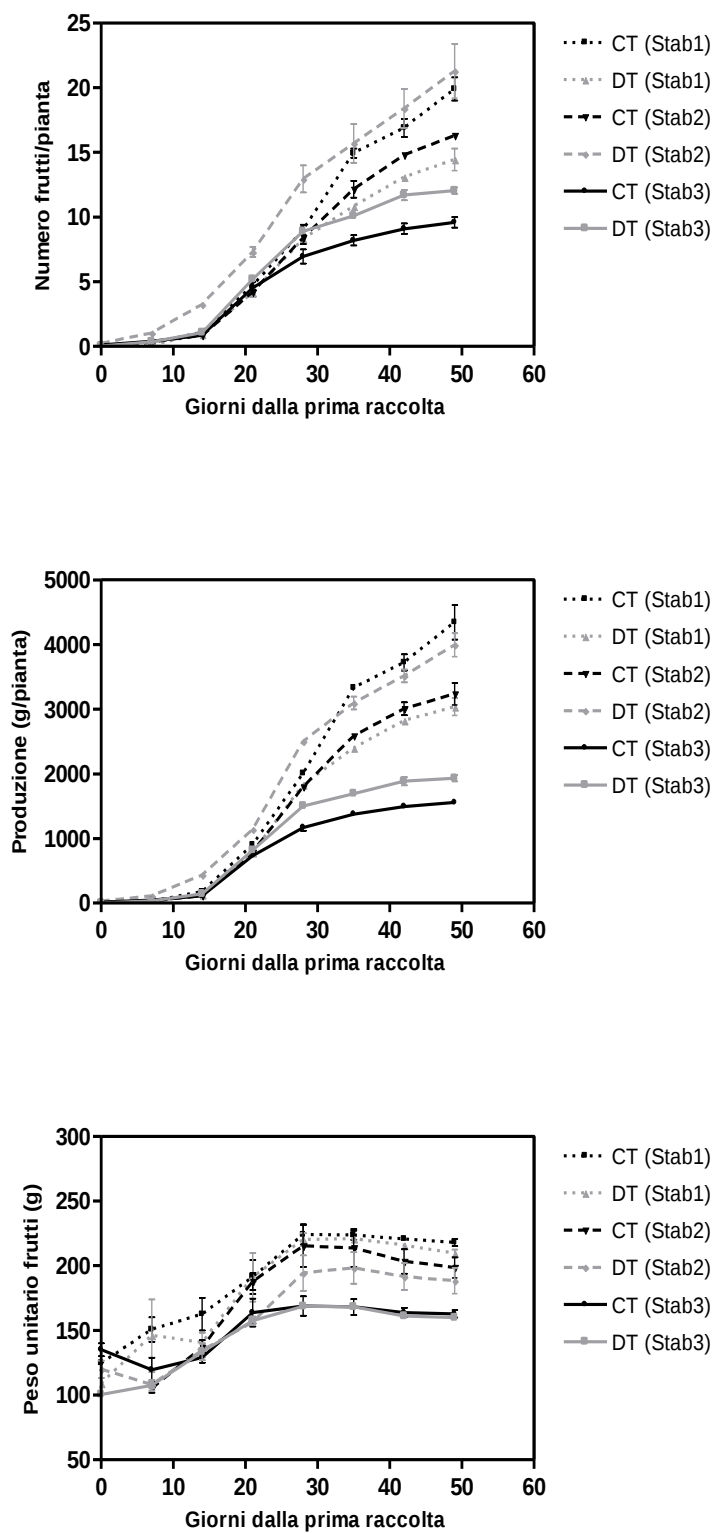




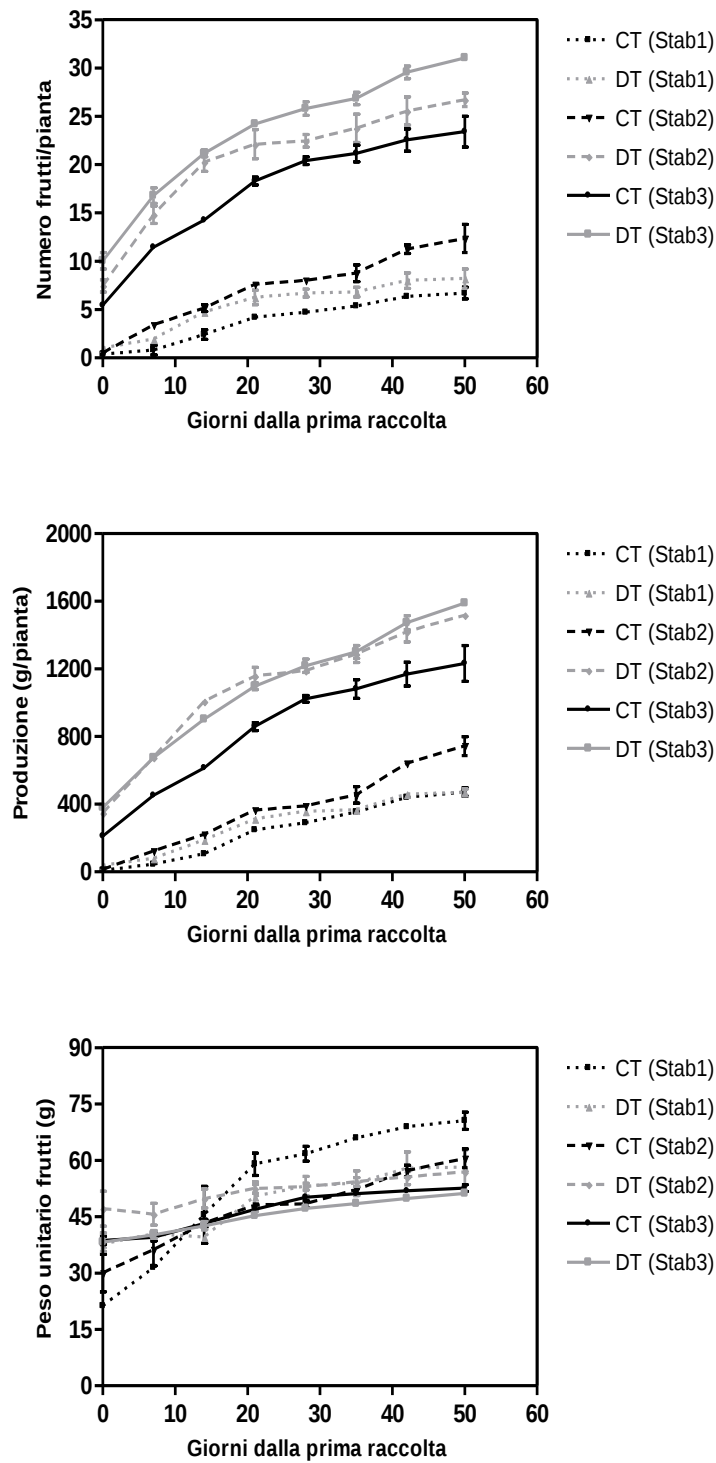
Grafici 97, 98 e 99: contenuto di clorofilla “a” e “b” nelle foglie delle piante di pomodoro e rapporto clorofilla “b”/ clorofilla “a”.



Grafici 100, 101 e 102: cumulate del numero e peso totale dei frutti commerciabili ed evoluzione temporale del loro peso unitario.



Grafici 103, 104 e 105: cumulate del numero e peso totale dei frutti di scarto ed evoluzione temporale del loro peso unitario.



IV.2 PROVA BIENNALE DI CONFRONTO TRA DUE FILM TERMICI COESTRUSI LDPE-EVA, UNO A LUCE DIRETTA E L'ALTRO A LUCE DIFFUSA, CON TRE DIVERSE STABILIZZAZIONI, SU COLTURA DI POMODORO (*Lycopersicon esculentum* Mill.) – SECONDO ANNO DI PROVA

IV.2.1 MATERIALI E METODI

La ricerca è stata condotta a S.Piero a Grado (PI) presso il Centro Sperimentale del Dipartimento di Biologia delle Piante Agrarie dell'Università di Pisa. La prova di confronto ha riguardato i seguenti materiali:

- *Film chiaro termico coestruso LDPE-EVA (CT)*
- *Film diffusivo termico coestruso LDPE-EVA (DT)*

Ognuna delle due tipologie di copertura era inoltre stabilizzata con tre diverse formulazioni di additivi stabilizzanti alla luce (Stab1, Stab2, Stab3). I film, di spessore 200 µm, sono stati messi in opera nel gennaio 2010 su dei tunnel praticabili lunghi 20 m, larghi 5 m e alti 2,5 m, con orientazione Nord/Est – Sud/Ovest. Le coperture erano dunque al loro secondo anno di esposizione.

In data 15/03/2011 il terreno all'interno dei tunnel è stato concimato con concime granulare ternario 11-22-16 (Hydro) e concime organico pellettato, ciascuno in ragione di 0,1 kg/m², quindi è stata effettuata una lavorazione con zappatrice rotativa. Successivamente sono stati disposti i teli per pacciamatura in LDPE nero da 50 µm e le manichette Aquatrax (Toro) per la micro-irrigazione, dotate di fori ogni 20 cm e posizionate sotto il film pacciamante. Il volume d'acqua irrigua da somministrare alle piante veniva determinato in base ai parametri climatici e allo stadio fenologico della coltura. Le piantine di pomodoro, della cultivar "Caramba", sono state acquistate presso il vivaio Falorni (Colignola, PI) e messe a dimora il 30 marzo. Le piante sono state disposte su un'unica fila ad una distanza di 0,35 m l'una dall'altra, per un totale di 32 piante per fila (suddivise in due repliche da 16 piante ciascuna). La tecnica colturale adottata è stata quella comunemente impiegata per l'ortiva, con periodiche rimozioni dei germogli laterali e cimatura all'altezza del sesto palco florale, eseguita il 7 giugno. La

primavera particolarmente calda e umida ha favorito l'insorgenza di malattie parassitarie, soprattutto la peronospora, il cui controllo è stato efficacemente condotto attraverso periodici trattamenti antiparassitari a base di Ridomil, alle dosi indicate per la specie coltivata.

Nel corso dello sviluppo vegetativo della coltura sono stati effettuati, ogni quindici giorni, rilievi sull'altezza, il numero di foglie e il diametro del fusto delle piante e, sempre con frequenza quindicinale, per i primi due mesi dall'impianto, sono stati valutati il peso fresco, il peso secco e l'area fogliare delle piante stesse, oltre al contenuto in clorofille a e b nelle foglie. Per la misura della superficie fogliare è stato utilizzato un planimetro modello ΔT Area Meter (Delta-T Devices), mentre il peso secco è stato ottenuto mediante essiccazione in stufa ventilata a 70°C fino a peso costante. Il contenuto in clorofille nelle foglie delle piante è stato quantificato tramite lettura allo spettrofotometro (modello Jenway 6400, Jenway Limited, England), alle lunghezze d'onda di 665,2 e 652,4 nm per la clorofilla a e b rispettivamente, ed espresso in $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ di foglia. I pigmenti sono stati estratti utilizzando come solvente del metanolo al 99,9%, lasciando i campioni al buio e ad una temperatura di 4°C per 24 ore. Per il calcolo della concentrazione di clorofille si è fatto ricorso alla formula di Lichtenthaler (Lichtenthaler, 1987). A partire dai dati raccolti sono stati quindi calcolati la percentuale di sostanza secca nella parte aerea della pianta (% s.s.) e i seguenti indici di crescita: l'indice di crescita assoluto della coltura (CGR, *Crop Growth Rate*, espresso come mg s.s. pianta/giorno), l'indice di assimilazione netta (NAR, *Net Absorption Rate* espresso come mg s.s. pianta/ cm^2 superficie fogliare per giorno), l'indice di crescita relativo (RGR, *Relative Growth Rate* espresso come mg s.s. pianta/mg s.s. già presente per giorno) e l'indice di superficie fogliare (LAR, *Leaf Area Ratio* espresso in cm^2/mg s.s.). Sempre nel corso dello sviluppo vegetativo della coltura, in particolare a 20, 40 e 75 giorni dall'impianto, sono stati inoltre misurati gli scambi gassosi, e, nello specifico, la fotosintesi netta ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), la conduttanza stomatica ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), la traspirazione ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e la *Water Use Efficiency* (WUE, $\mu\text{mol CO}_2/\text{mol H}_2\text{O}$), con un IRGA (Infrared Gas Analyzer) modello Licor Li 6400. In occasione dell'ultimo rilievo sulla crescita, a 70 giorni dal trapianto, sono state separate le foglie dagli steli e di entrambi sono stati misurati il peso fresco e il peso secco (dopo essiccazione in stufa ventilata a 70°C fino a peso costante), calcolando poi a partire da questi il contenuto percentuale di sostanza secca nei tessuti, separatamente per ciascuna delle due parti, cui si è aggiunta la valutazione della sostanza secca percentuale presente nelle radici. Il peso fresco delle foglie e degli steli è stato quindi rapportato al peso complessivo delle parti stesse in modo da determinare la maggiore o minore "fogliosità" o "stelosità" delle

piante. Nel mese di giugno inoltre, in condizioni di cielo sereno e nelle ore centrali della giornata, si è proceduto alla misura dell'irradianza sotto le coperture (per le lunghezze d'onda comprese tra 300 e 1050 nm), tramite l'impiego di uno spettrometro Ocean Optics HR2000, ottenendo i relativi spettri.

La raccolta delle bacche ha avuto inizio il 16 giugno concludendosi il 15 luglio, per un totale di 5 interventi. I pomodori, una volta raccolti, sono stati sottoposti a cernita per separare la produzione commerciale dallo scarto, quindi, per entrambe le categorie, sono stati registrati il numero e il peso fresco totale dei frutti, da cui si è poi ricavato il peso unitario degli stessi.

Per quanto riguarda la qualità della produzione, a due diversi momenti del ciclo di raccolta sono stati prelevati campioni costituiti sia da pomodori allo stadio di invaiatura sia da bacche mature su cui è stata misurata la resistenza alla penetrazione del frutto intero e della sola polpa (RPI e RPP; kg/cm^2 , utilizzando un penetrometro modello FT 327) e, previa omogeneizzazione e centrifugazione, sono stati poi valutati: conducibilità elettrica (CE; dS/m , misurata con conducimetro modello HI 8733 Hanna Instruments), pH, residuo ottico (RO; °brix, misurato con rifrattometro manuale), acidità titolabile (AT; % acido citrico, mediante titolazione con NaOH 0,1N), rapporto residuo ottico/acidità titolabile (RO/AT) ed infine il contenuto percentuale di sostanza secca (% s.s., tramite essiccazione in stufa a 70°C fino a peso costante). A metà del ciclo di raccolta è stato inoltre quantificato il contenuto in vitamina C ($\text{mg}/100$ s.f.), quello in potassio (% sulla s.s.), l'attività antiossidante ($\text{mM Fe}^{2+}/\text{kg s.f.}$) e il contenuto in carotenoidi ($\text{mg licopene}/\text{kg s.f.}$) delle bacche. Quest'ultimo, valutato unicamente sui frutti allo stadio di piena maturazione, è stato analizzato con il metodo spettrofotometrico impiegato da Lugasi *et al.* (2003), parzialmente modificato: i pigmenti sono stati estratti utilizzando una miscela di esano-acetone-etanolo in rapporto 2:1:1 vol/vol (0,2 g di buccia e 1 g di polpa di pomodoro, precedentemente conservati a -80°C, sono stati posti in un becker completamente avvolto in alluminio contenente 50 ml della soluzione estraente, il quale è stato collocato su un agitatore orbitale per un tempo di 45 minuti. Alla fine di tale periodo sono stati aggiunti 10 ml di acqua distillata lasciando il tutto in agitazione per ulteriori 5 minuti). Quindi è stata prelevata un'aliquota di 1 ml del campione così ottenuto su cui è stata effettuata la lettura allo spettrofotometro (modello Shimadzu UV-vis 1204, Tokyo Japan) alla lunghezza d'onda di 472 nm. Con apposita formula, basandosi sui valori di assorbanza rilevati e sul coefficiente di estinzione molare del solvente, è stato calcolato il contenuto di carotenoidi totali, esprimendo il risultato come milligrammi di licopene per chilogrammo di peso fresco. La determinazione della vitamina C è stata effettuata con metodo

titrimetrico (AOAC, 1980): a 100 g di prodotto fresco (ottenuto da porzioni di polpa e buccia ricavate da 6 differenti frutti) sono stati aggiunti 100 ml di soluzione estraente a base di acido acetico e acido fosforico, quindi, dopo omogeneizzazione e filtrazione, sono stati prelevati 20 ml di filtrato che sono stati titolati con una soluzione a base di 2,6-dicloroindofenolo e NaHCO_3 . Applicando l'apposita formula matematica, in base ai millilitri di soluzione titolante impiegati e previa titolazione di una soluzione standard di acido ascorbico contenente 50 mg del composto in 50 ml di soluzione estraente, sono stati calcolati i milligrammi di vitamina C presenti in 100 g di sostanza fresca. Per la valutazione del contenuto in potassio, invece, si è fatto ricorso ad una digestione nitroperclorica della sostanza secca con successiva lettura al fotometro a fiamma (modello Jenway PFP7, Jenway Limited, England). La capacità antiossidante è stata valutata con il metodo FRAP (*ferric-reducing antioxidant power*) messo a punto da Benzie & Strain,(1996): i campioni sono stati estratti utilizzando del metanolo al 99,9%, quindi una piccola quantità di estratto (0,1 ml) è stata aggiunta a 0,9 ml di reagente FRAP, miscelando il tutto. La miscela così ottenuta è stata lasciata a 20°C per 4 minuti, dopodiché si è proceduto alla lettura dell'assorbanza ad una lunghezza d'onda di 593 nm (con spettrofotometro modello Shimadzu UV-vis 1204, Tokyo Japan). Il reagente FRAP era costituito da 1 mol m^{-3} di 2,4,6-tripiridyl-2-triazina (TPTZ) e 2 mol m^{-3} di cloruro di ferro in 250 mol m^{-3} di acetato di sodio (pH 3,6).

Sui dati relativi allo sviluppo vegetativo della coltura è stata effettuata l'analisi di regressione non lineare scegliendo il grado di equazione più idoneo a rappresentare l'andamento della crescita della pianta, in base al raffronto dei rispettivi coefficienti di determinazione (R^2). Invece, i dati sugli scambi gassosi, la produzione quantitativa e quella qualitativa sono stati sottoposti ad un'analisi della varianza (ANOVA) a due fattori, per verificare l'eventuale presenza di interazione tra il film di copertura e il tipo di stabilizzante impiegato.

IV.2.2 RISULTATI E DISCUSSIONE

IV.2.2.1 Irradianza sotto le coperture

I livelli di irradianza maggiori sono stati rilevati, nell'ambito della stessa tipologia di stabilizzazione e, in linea generale, per tutte le lunghezze d'onda considerate, nei film a luce

diffusa rispetto ai corrispettivi laminati a luce chiara (Graf.106). In particolare, il film a luce diffusa con la seconda tipologia di stabilizzazione ha fatto registrare i valori più elevati, mentre l'irradianza più bassa si è osservata in entrambi i film con il terzo tipo di stabilizzante. Tuttavia, le stabilizzazioni si sono differenziate tra loro soprattutto per la maggior o minore capacità di tagliare la radiazione ultravioletta. Nello specifico, l'ultravioletto viene escluso dall'ambiente protetto in misura maggiore passando, nell'ordine, dalla stabilizzazione 1 alla stabilizzazione 3, la quale impedisce completamente l'ingresso della suddetta radiazione sotto la copertura.

IV.2.2.2 Sviluppo vegetativo della coltura e scambi gassosi

L'impianto piuttosto tardivo della coltura, unito ad un inizio della stagione primaverile caratterizzato da temperature ben oltre la media del periodo, ha reso necessaria l'apertura anticipata delle porte dei tunnel, cosicché non è stato possibile valutare appieno gli eventuali effetti positivi sullo sviluppo dei vegetali legati al diverso effetto termico delle coperture oggetto della sperimentazione. Le temperature particolarmente miti hanno inoltre evitato danni da gelo simili a quelli verificatisi nella prova dell'anno precedente, danni che avevano portato a differenze di sviluppo vegetativo piuttosto evidenti tra le piante cresciute sotto le diverse coperture, penalizzando fortemente quelle allevate all'interno dei film maggiormente interessati dal fenomeno.

IV.2.2.2.1 Altezza, numero di foglie, area fogliare e diametro del fusto delle piante

Per quanto concerne l'altezza (Graf.107) e il numero di foglie (Graf.108), non sono state evidenziate particolari differenze tra le coperture nell'arco di tutto il ciclo vegetativo della coltura, mentre in relazione al diametro del fusto (Graf.109) è da sottolineare come le piante sviluppatesi sotto i film chiari fossero caratterizzate, nel periodo immediatamente antecedente l'inizio della raccolta, da un fusto mediamente più largo, aspetto che può aver giocato un ruolo importante, come verrà riportato in seguito, nell'ottenimento di una maggior produzione in termini quantitativi (sebbene con differenze non statisticamente significative) dei film a luce chiara rispetto a quelli a luce diffusa. Riguardo, infine, alla superficie fogliare (Graf.111),

questa è risultata leggermente più elevata, nelle fasi iniziali di sviluppo, nei manufatti stabilizzati con la terza tipologia di stabilizzazione, in modo analogo a quanto osservato nella prova 2010, mentre i film contenenti il primo tipo di stabilizzante si sono caratterizzati, inizialmente, per le peggiori performances. Tuttavia, con il progressivo avvicinarsi alla stagione estiva e, soprattutto, in presenza di livelli termici elevati, si è osservato un forte recupero di queste ultime coperture, che, a 70 giorni dalla data di impianto, mostravano valori di superficie fogliare pari o addirittura superiori a quelli misurati nei film con la terza tipologia di stabilizzazione. Questi, a loro volta, sembrano aver risentito negativamente dell'innalzarsi delle temperature esterne, aspetto che ha probabilmente contribuito all'ottenimento una minor produzione quantitativa di bacche commerciabili rispetto agli altri manufatti.

IV.2.2.2.2 Peso fresco, peso secco e percentuale di sostanza secca della parte aerea delle piante

I valori di peso fresco (Graf.110) e secco (Graf.112) registrati durante l'accrescimento delle piante non hanno evidenziato differenze particolarmente rilevanti tra le coperture poste a confronto, soprattutto nelle fasi iniziali del ciclo, dove le performances migliori sono comunque da attribuire ai film stabilizzati con la terza tipologia di stabilizzazione e al film chiaro termico con il secondo tipo di stabilizzante. In prossimità della raccolta, tuttavia, sono stati osservati pesi leggermente inferiori nei vegetali prelevati sotto i film con la stabilizzazione 3, aspetto che conferma quanto precedentemente riportato a proposito della superficie fogliare, ossia una certa diminuzione del tasso di accrescimento delle piante allevate nei suddetti tunnel all'aumentare delle temperature esterne.

Per quanto concerne il contenuto percentuale di sostanza secca nei tessuti delle piante (Graf.113), è interessante osservare come sia nelle fasi iniziali del ciclo vegetativo dell'ortiva, sia nella fase finale, i film a luce diffusa abbiano mostrato in media i valori più elevati, mentre nelle fasi centrali del ciclo stesso le differenze risultino di minor entità. E' altresì da sottolineare la più elevata percentuale di sostanza secca nelle piante raccolte sotto le coperture con la terza tipologia di stabilizzazione a partire dai 45 giorni dal trapianto, vale a dire nel periodo di maggior innalzamento delle temperature.

IV.2.2.2.3 Indici di crescita

Per quanto riguarda l'indice di crescita assoluto (CGR) le differenze tra le diverse coperture sono apparse più accentuate durante le fasi centrali del ciclo di sviluppo dell'ortiva, con i valori più elevati registrati nei film con la terza tipologia di stabilizzazione e nel film chiaro con il secondo tipo di stabilizzante (Graf.114). Invece nella parte iniziale del ciclo stesso e in prossimità della raccolta delle bacche, le piante hanno mostrato tassi di crescita assoluti, rispetto alla data di impianto, sostanzialmente simili. Questo era legato da un lato al forte recupero nello sviluppo vegetativo evidenziato dalle piante allevate sotto i film CT Stab1 e DT Stab2 (che inizialmente si erano caratterizzate per i tassi di crescita minori) durante i mesi più caldi, dall'altro al contemporaneo deperimento delle piante sviluppatesi sotto le coperture con la terza stabilizzazione e il film a luce chiara con la stabilizzazione 2. Altro aspetto da evidenziare è il maggior tasso di crescita assoluto osservato, in media, nei film a luce chiara rispetto a quelli a luce diffusa, che appare, per certi versi, contrario alle aspettative secondo cui in una stagione caratterizzata da poche giornate nuvolose e con forte irraggiamento solare, i film in grado di operare un'apprezzabile diffrazione della luce dovrebbero garantire migliori risultati.

L'indice di assimilazione netta (NAR) si è invece caratterizzato per un andamento piuttosto simile a quello osservato l'anno precedente, con valori leggermente più elevati, nelle prime fasi del ciclo, osservati nei film a luce diffusa, mentre con il trascorrere del tempo la tendenza si è invertita e, a partire da circa un mese dal trapianto, sono stati i film chiari a mostrare, mediamente, i tassi di assimilazione più elevati (Graf.115). A 70 giorni dalla data di impianto, tuttavia, non sono da segnalare differenze particolarmente rilevanti tra le diverse tesi.

Per quanto riguarda l'indice di crescita relativo (RGR) le maggiori differenze tra i film sono state osservate nei primi 20 giorni successivi alla messa a dimora delle piantine, con i film chiari che hanno mostrato le performances migliori, mentre nei mesi a seguire i valori calcolati non si sono fondamentalmente differenziati passando da una copertura all'altra (Graf.116).

Infine, in relazione all'indice di superficie fogliare (LAR), è importante sottolineare come le piante sviluppatesi sotto i film con la prima stabilizzazione si siano caratterizzate per il minor rapporto centimetri quadrati di foglie/milligrammo di sostanza secca, fino in prossimità

dell'inizio della raccolta, quando i valori più bassi sono stati invece calcolati nelle piante presenti sotto le coperture con la terza stabilizzazione (Graf.117).

IV.2.2.2.4 Peso fresco, peso secco e percentuale di sostanza secca in foglie, steli e radici a 70 giorni dal trapianto

I valori di peso fresco dello stelo e delle foglie (e conseguentemente dell'intera pianta) più alti sono stati registrati nei film a luce chiara e, nell'ambito delle diverse stabilizzazioni, nella prima tipologia, mentre per quanto concerne il peso secco, questo è risultato significativamente più elevato (sempre nei film chiari e nel primo tipo di stabilizzazione) solamente nel caso dello stelo (Tab.31).

Infatti il peso secco delle foglie e dell'intera pianta non ha mostrato differenze statisticamente significative. Nel caso del peso fresco delle foglie si è avuta interazione significativa tra copertura e tipologia di stabilizzazione impiegata.

Per quanto riguarda invece la percentuale di sostanza secca in foglie, radici e steli, le due coperture non si sono differenziate tra loro, mentre tra le diverse stabilizzazioni la terza formulazione ha mostrato i valori più elevati per tutte e tre le parti considerate e, in particolare, differenze statisticamente significative sono state ottenute per le foglie e per l'intera pianta (Tab.31).

IV.2.2.2.5 Rapporto peso fresco foglie/peso fresco totale parte aerea e rapporto peso fresco stelo/peso fresco totale parte aerea a 70 giorni dal trapianto

I film chiari termici e, nell'ambito delle diverse stabilizzazioni, quelli con il primo tipo di stabilizzante si sono caratterizzati per il maggior rapporto tra peso fresco degli steli e peso fresco totale della parte aerea, con un'interazione significativa tra copertura e stabilizzazione impiegata (Tab.31). E' importante sottolineare, in tal senso, che le piante che mostravano un maggior diametro e peso fresco dello stelo sono quelle che poi hanno fornito le produzioni più elevate in termini quantitativi.

IV.2.2.2.6 Contenuto di clorofilla a e b nelle foglie delle piante

Le differenze più evidenti nel contenuto di clorofilla nelle foglie delle piante (Graf.118, 119 e 120) sono state evidenziate intorno ai 45 giorni dal trapianto. In linea generale, sia il contenuto di clorofilla “a” che quello di clorofilla “b” sono risultati più elevati nelle piante allevate sotto i film a luce diffusa, fino a circa due mesi dalla data di impianto, quando si è iniziata ad avere un’inversione di tendenza, con i film a luce chiara che a 70 giorni dal trapianto, ossia in prossimità dell’inizio della raccolta, si sono caratterizzati per i valori più alti.

Il rapporto tra clorofilla “b” e clorofilla “a” è risultato più elevato nei film a luce diffusa fino a circa un mese dal trapianto, mentre nei mesi a seguire è apparso superiore nei film a luce chiara. Inoltre i film con la terza stabilizzazione hanno mostrato i valori più alti del suddetto rapporto nelle fasi iniziali del ciclo vegetativo, dove i film con la prima stabilizzazione evidenziavano invece i rapporti più bassi, mentre, con l’innalzamento delle temperature, la situazione si è invertita, con i rapporti più alti calcolati proprio nei film additivati con il primo tipo di stabilizzante.

IV.2.2.2.7 Scambi gassosi

Nella fase iniziale del ciclo di sviluppo vegetativo della coltura (a 20 giorni dall’impianto), i film a luce diffusa hanno evidenziato, sebbene con differenze non significative dal punto di vista statistico, i valori più elevati di fotosintesi netta (+8%) e conduttanza stomatica (+18%) rispetto ai film chiari, mentre è risultata significativa la maggior traspirazione degli stessi film diffusivi (+11,2%). La WUE è invece apparsa leggermente più elevata nei film a luce chiara (+4,5%). Nell’ambito delle diverse stabilizzazioni, la terza tipologia ha evidenziato i valori più alti di fotosintesi netta, conduttanza stomatica e traspirazione, con differenze non significative rispetto alla seconda tipologia ma significative rispetto alla prima, che si è caratterizzata per le performances peggiori (Tab.32). La *Water Use Efficiency* è invece risultata più alta nelle piante allevate sotto la prima tipologia. Eccetto per la conduttanza stomatica, si è avuta interazione più o meno significativa tra film e tipo di stabilizzazione.

Per tutti e quattro i parametri considerati, a 40 giorni dall'impianto non erano più apprezzabili le differenze tra le coperture, mentre erano ancora presenti quelle tra le diverse stabilizzazioni. Sia la fotosintesi netta che la conduttanza stomatica hanno risentito negativamente dell'aumento delle temperature all'interno delle serre legato alla primavera particolarmente calda. E' importante sottolineare, a questo proposito, la forte riduzione dei valori di conduttanza stomatica e fotosintesi netta verificatasi nelle piante presenti sotto le coperture con la seconda tipologia di stabilizzazione.

Per quanto riguarda invece la traspirazione, questa è ovviamente incrementata con l'innalzarsi delle temperature, ed ha mostrato valori significativamente più elevati, ancora una volta, sotto le coperture additivate con il terzo tipo di stabilizzante agli UV. L'interazione tra copertura e stabilizzazione è, in questo caso, risultata significativa per tutti i parametri valutati.

Infine, nell'ultimo rilievo effettuato a 75 giorni dall'impianto, i film a luce diffusa hanno nuovamente mostrato i valori più elevati in termini di fotosintesi netta (con differenze significative, +10,6% rispetto ai film chiari), mentre nessuna significatività si è avuta per la conduttanza stomatica, la traspirazione e la WUE.

Tra le diverse stabilizzazioni è interessante osservare la forte riduzione della fotosintesi netta e della *Water Use Efficiency* nei film con il secondo tipo di stabilizzante, mentre le coperture con la prima stabilizzazione sono le uniche ad aver mostrato un incremento della fotosintesi netta rispetto al rilievo precedente, caratterizzandosi inoltre per i valori più elevati di conduttanza stomatica e traspirazione, sebbene con differenze non risultate statisticamente significative. L'interazione tra film e stabilizzazione non è risultata, in questo caso, significativa per nessuno dei parametri considerati.

IV.2.2.3 Produzione

In relazione alla produzione commerciabile, come a quella di scarto, non sono da riportare differenze statisticamente significative tra i film a luce chiara e quelli a luce diffusa, sia che si considerino le raccolte cumulate precoci (Tab.33) sia che ci si riferisca alla raccolta cumulata finale (tab.34), dove tuttavia i film chiari hanno mostrato le performances produttive migliori in termini di numero, peso totale e peso unitario delle bacche (+9,8%, +14,8% e +5% rispettivamente).

Differenze significative sono state invece rilevate tra le stabilizzazioni e, per quanto concerne le raccolte cumulate precoci (a 7 giorni dall'inizio della raccolta), i film con la prima tipologia di stabilizzazione hanno mostrato i valori più elevati sia per il numero che per il peso totale e unitario dei frutti, seguiti dalle coperture con il secondo tipo di stabilizzante e, in ultimo, dai manufatti additivati con la terza tipologia di stabilizzazione, che, per il secondo anno consecutivo, si sono caratterizzati per le performances produttive peggiori. L'interazione tra copertura e stabilizzazione è apparsa significativa solo per il peso unitario.

La produzione precoce di scarto, invece, non ha dato luogo a differenze significative dal punto di vista statistico, eccetto per il peso unitario (risultato più elevato nei film con stabilizzazione 1), e nessuna significatività è inoltre da riportare per l'interazione tra film e stabilizzante.

Passando a considerare la raccolta cumulata finale, i film con la prima stabilizzazione hanno indubbiamente fornito le produzioni più elevate, sia in termini di numero (+23,6% rispetto alla Stab2 e +27,5% rispetto alla Stab3) che di peso totale (+32,4% e +29,8% nell'ordine), mentre per il peso unitario le differenze non sono apparse statisticamente significative.

Infine, nel caso della produzione cumulata finale di scarto, le coperture non si sono differenziate tra loro in modo significativo, sebbene i valori più elevati siano da attribuire alla seconda tipologia di stabilizzazione. Nessuna significatività è inoltre da segnalare per l'interazione film per stabilizzante.

I dati sulla produzione raccolti nel corso dell'anno confermano, in parte, quanto osservato nella prova del 2010, ovvero la maggior capacità produttiva, in termini quantitativi, dei film con la prima tipologia di stabilizzazione, e, dall'altro lato, le ridotte performances delle coperture Stab3. Notevoli differenze rispetto alla prova dell'anno precedente hanno invece riguardato i film con la stabilizzazione 2, caratterizzati da produzioni elevate nel 2010 e che nel 2011 si sono attestati su livelli produttivi prossimi a quelli dei manufatti additivati con il terzo tipo di stabilizzante.

IV.2.2.4 Qualità della produzione

Dai risultati delle analisi condotte sui campioni prelevati ad una settimana dall'inizio del ciclo di raccolta (Tab.35), le uniche differenze osservate tra le due coperture nei pomodori invaiati riguardano l'acidità titolabile, apparsa più elevata nei film a luce chiara, e il rapporto residuo

ottico/acidità titolabile, risultato più alto nei film a luce diffusa, ad indicazione, probabilmente, di un grado di maturazione delle bacche più avanzato. Tra le stabilizzazioni, differenze significative sono state riscontrate per il pH, l'acidità titolabile (più elevata nei film con la prima tipologia di stabilizzazione), il rapporto RO/AT (maggiore nella stabilizzazione 3) e la resistenza alla penetrazione (anch'essa più alta nella terza stabilizzazione). L'interazione tra copertura e stabilizzazione non è risultata significativa per nessuno dei suddetti parametri.

Nei pomodori maturi campionati nello stesso momento del ciclo di raccolta permangono le differenze tra le due coperture riguardanti acidità titolabile e rapporto RO/AT, a cui si aggiungono quelle relative alla resistenza alla penetrazione sia del frutto intero che della sola polpa, apparse leggermente più elevate nei film diffusivi. Nell'ambito delle stabilizzazioni, invece, pressoché per tutti i parametri considerati sono state registrate differenze significative dal punto di vista statistico (solamente la resistenza alla penetrazione del frutto intero non ha mostrato differenze).

Nello specifico, la conducibilità elettrica, il pH, il residuo ottico e la percentuale di sostanza secca nelle bacche sono risultati più alti nei pomodori raccolti da piante allevate sotto i film con la prima stabilizzazione, mentre il rapporto RO/AT è apparso, nei suddetti film, più basso, mostrando i valori più elevati ancora una volta sotto le coperture con la stabilizzazione 1. Le stabilizzazioni 2 e 3 non si sono invece sostanzialmente differenziate tra loro, eccetto per il pH minore e la resistenza alla penetrazione della polpa maggiore nella Stab3. L'interazione tra copertura e stabilizzazione è risultata significativa per il rapporto RO/AT e la resistenza alla penetrazione del frutto intero.

Passando invece a considerare la qualità delle bacche raccolte verso la fine del ciclo di raccolta (Tab.36) non sono state registrate differenze significative tra le due coperture né per quanto concerne i frutti invaiati né per i frutti maturi. Differenze sono invece emerse tra le diverse stabilizzazioni, e, in particolare, queste hanno riguardato, per i frutti invaiati, la conducibilità elettrica (più alta nella Stab1), il pH, il rapporto RO/AT (maggiore nella stabilizzazione 2) e la resistenza alla penetrazione della polpa (che ha mostrato i valori più bassi nella terza tipologia di stabilizzazione). L'interazione film per stabilizzazione è apparsa significativa solo nel caso del rapporto RO/AT.

Nei pomodori maturi gran parte delle suddette differenze non sono più apprezzabili, restando significative solo nel caso della conducibilità elettrica, dove i valori più elevati si osservano nuovamente nella stabilizzazione 1, che si caratterizza, anche, per il maggior residuo ottico.

Nessuna interazione significativa tra copertura e tipo di stabilizzante è stata in questo caso registrata.

Per quel che concerne il contenuto in vitamina C e la capacità antiossidante dei pomodori (Tab.37), non sono state rilevate differenze tra le due coperture, mentre, considerando le stabilizzazioni, la terza tipologia si è caratterizzata per i valori più elevati dei due parametri, sebbene differenze significative siano state osservate solo per la vitamina C nei frutti invaiati. Le stabilizzazioni 1 e 2 non hanno invece differito tra loro. Nelle bacche mature sono stati i film con Stab3 a mostrare i livelli più bassi, ma con differenze non significative dal punto di vista statistico. Nessuna interazione significativa, infine, si è avuta tra copertura e stabilizzazione, né per quanto riguarda la vitamina C né per la capacità antiossidante.

Riguardo al contenuto di carotenoidi, non sono da riportare, anche in questo caso, differenze significative tra le due coperture, mentre, nell'ambito delle diverse stabilizzazioni, sono i film con la terza formulazione di stabilizzanti alla luce ad aver mostrato i valori significativamente più bassi. Le plastiche con le stabilizzazioni 1 e 2, invece, non si sono tra loro differenziate, così come non è risultata significativa l'interazione tra copertura e stabilizzazione.

Il contenuto di potassio nelle bacche (Tab.37), infine, è risultato più elevato nei film a luce chiara, ma con differenze significative solo nel caso dei frutti invaiati, mentre, per entrambi gli stadi di maturazione considerati, sono state le tre stabilizzazioni a differire in modo significativo tra loro. Nello specifico sono stati i pomodori raccolti sotto i film con la prima tipologia di stabilizzazione a mostrare il maggior contenuto dell'elemento.

IV.2.3 CONCLUSIONI

L'inizio della primavera 2011, caratterizzato da temperature oltre la media del periodo, ha reso necessaria l'apertura anticipata delle porte delle serre, non permettendo, in tal modo, di apprezzare eventuali effetti sull'accrescimento dei vegetali legati alla maggior o minor termicità di alcune delle coperture confrontate rispetto alle altre. Comunque sia, confermando quanto emerso dalla prova dell'anno precedente, le migliori performances in termini di sviluppo vegetativo sono state osservate nei film con la terza tipologia di stabilizzazione, ma solo fino a circa metà del ciclo vegetativo, poiché le elevate temperature registrate nel mese di maggio sembrano aver avuto un effetto negativo sulla crescita delle piante allevate sotto di esse. Al contrario, le piante di pomodoro sviluppatesi sotto i film additivati con il primo tipo di stabilizzante, caratterizzate nelle fasi iniziali da una crescita più lenta, hanno mostrato un notevole recupero con l'avvicinarsi della stagione estiva e il conseguente incremento delle temperature, e questo sembra aver avuto un ruolo determinante, in seguito, per l'ottenimento di produzioni migliori sia dal punto di vista quantitativo che qualitativo. I dati relativi agli scambi gassosi e al contenuto in clorofilla danno ulteriore conferma, sostanzialmente, di quanto osservato con le analisi di crescita.

Riguardo invece alla produzione commerciabile, non sono emerse differenze significative tra le due coperture né a livello di raccolte cumulate precoci né di cumulata finale, sebbene i film a luce diretta abbiano mostrato valori più elevati sia in termini di numero che di peso totale e unitario delle bacche. Al contrario, le diverse stabilizzazioni si sono differenziate significativamente per quel che concerne la produzione quantitativa, con i film stabilizzati con la prima tipologia di stabilizzazione che hanno fornito le migliori performances nel corso dell'intero ciclo di raccolta.

La qualità merceologica del prodotto non ha evidenziato, dal canto suo, differenze rilevanti tra le due coperture, se non per alcuni parametri e limitatamente alle produzioni precoci, mentre le diverse stabilizzazioni hanno, tra loro, nuovamente mostrato differenze statisticamente significative, con i film additivati con il primo tipo di stabilizzante che hanno fatto registrare, anche in questo caso, i migliori risultati.

IV.2.4 TABELLE E GRAFICI

Tabella 31: Peso fresco, peso secco e percentuale di sostanza secca in steli e foglie; percentuale di sostanza secca nelle radici e rapporti peso fresco stelo/peso fresco parte aerea e peso fresco foglie/peso fresco parte aerea delle piante di pomodoro a 70 giorni dal trapianto.

	Peso fresco stelo (g)	Peso fresco foglie (g)	Peso fresco parte aerea (g)	Peso secco stelo (g)	Peso secco foglie (g)	Peso secco parte aerea (g)
DT	*** 303,42 b	* 555,42 b	** 858,83 b	* 45,08 b	88,15 a	133,23 a
CT	*** 342,00 a	* 583,58 a	** 925,58 a	* 48,88 a	87,45 a	136,33 a
Stabilizzazione 1	*** 350,98 a	* 590,63 a	** 941,60 a	* 49,95 a	86,85 a	136,80 a
Stabilizzazione 2	*** 316,93 b	* 579,05 a	** 895,98 b	* 44,68 b	87,95 a	132,63 a
Stabilizzazione 3	*** 300,23 c	* 538,83 b	** 839,05 c	* 46,33 b	88,60 a	134,93 a
Interazione film X stabilizzazione	ns	*	ns	ns	ns	ns
	Sostanza secca radici (%)	Sostanza secca stelo (%)	Sostanza secca foglie (%)	Sostanza secca parte aerea (%)	PF stelo/PF parte aerea	PF foglie/PF parte aerea
DT	18,38 a	14,90 a	15,89 a	15,54 a	* 0,35 b	* 0,65 a
CT	17,70 a	14,31 a	15,03 a	14,77 a	* 0,37 a	* 0,63 b
Stabilizzazione 1	17,58 a	14,24 a	* 14,71 b	* 14,53 b	* 0,37 a	* 0,63 b
Stabilizzazione 2	18,22 a	14,12 a	* 15,22 b	* 14,83 ab	* 0,36 b	* 0,64 a
Stabilizzazione 3	18,32 a	15,47 a	* 16,45 a	* 16,10 a	* 0,36 b	* 0,65 a
Interazione film X stabilizzazione	ns	ns	ns	ns	*	*

I valori contrassegnati con lettere diverse differiscono significativamente per $P \leq 0,05$ secondo il test di Duncan (ns non significativo; * $P \leq 0,05$; ** $P \leq 0,01$; *** $P \leq 0,001$).

Tabella 32: scambi gassosi a 20, 40 e 75 giorni dal trapianto.

A 20 gg dall'impianto	Fotosintesi netta ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)		Conduttanza stomatica ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)		Traspirazione ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)		WUE (Water Use Efficiency) ($\mu\text{mol CO}_2/\text{mol H}_2\text{O}$)	
DT	19,69	a	0,405	a	*	7,28	a	* 2,70 b
CT	18,22	a	0,343	a	*	6,55	b	* 2,82 a
Stabilizzazione 1	***	15,65 b	***	0,252 b	***	5,49	b	* 2,88 a
Stabilizzazione 2	***	19,87 a	***	0,419 a	***	7,36	a	* 2,70 b
Stabilizzazione 3	***	21,35 a	***	0,453 a	***	7,91	a	* 2,70 b
Interazione film X stabilizzazione	*		ns		*			***
A 40 gg dall'impianto	Fotosintesi netta ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)		Conduttanza stomatica ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)		Traspirazione ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)		WUE (Water Use Efficiency) ($\mu\text{mol CO}_2/\text{mol H}_2\text{O}$)	
DT	16,90	a	0,394	a		8,48	a	2,09 a
CT	16,75	a	0,399	a		8,13	a	2,12 a
Stabilizzazione 1	***	15,42 b	***	0,387 b	***	6,31	c	** 2,48 a
Stabilizzazione 2	***	17,23 a	***	0,355 b	***	8,81	b	** 2,02 b
Stabilizzazione 3	***	17,84 a	***	0,449 a	***	9,81	a	** 1,82 b
Interazione film X stabilizzazione	*		**		**			*
A 75 gg dall'impianto	Fotosintesi netta ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)		Conduttanza stomatica ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)		Traspirazione ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)		WUE (Water Use Efficiency) ($\mu\text{mol CO}_2/\text{mol H}_2\text{O}$)	
DT	*	15,77 a		0,559 a		12,54	a	1,26 a
CT	*	14,25 b		0,540 a		12,00	a	1,24 a
Stabilizzazione 1	***	16,59 a		0,613 a		12,45	a	* 1,35 a
Stabilizzazione 2	***	11,24 b		0,488 a		12,04	a	* 1,00 b
Stabilizzazione 3	***	17,20 a		0,548 a		12,34	a	* 1,40 a
Interazione film X stabilizzazione	ns		ns		ns			ns

I valori contrassegnati con lettere diverse differiscono significativamente per $P \leq 0,05$ secondo il test di Duncan (ns non significativo; * $P \leq 0,05$; ** $P \leq 0,01$; *** $P \leq 0,001$).

Tabella 33: produzione commerciabile e di scarto a 7 giorni dall'inizio del ciclo di raccolta.

A 7 giorni dalla prima raccolta	COMMERCIALE			SCARTO		
	Frutti per pianta			Frutti per pianta		
	Numero	Peso (g)	Peso unitario (g)	Numero	Peso (g)	Peso unitario (g)
DT	4,53 a	743,87 a	161,53 a	241,52 a	241,52 a	65,07 a
CT	4,63 a	770,97 a	166,20 a	267,31 a	267,31 a	69,53 a
Stabilizzazione 1	** 5,50 a	** 958,55 a	* 173,50 a	245,85 a	245,85 a	** 75,15 a
Stabilizzazione 2	** 4,55 b	** 738,20 b	* 162,50 b	261,64 a	261,64 a	** 65,15 b
Stabilizzazione 3	** 3,70 c	** 575,50 c	* 155,60 b	255,77 a	255,77 a	** 61,60 b
Interazione film X stabilizzazione	ns	ns	*	ns	ns	ns

I valori contrassegnati con lettere diverse differiscono significativamente per $P \leq 0,05$ secondo il test di Duncan (ns non significativo; * $P \leq 0,05$; ** $P \leq 0,01$; *** $P \leq 0,001$).

Tabella 34: produzione commerciabile e di scarto a 30 giorni dall'inizio del ciclo di raccolta.

A 30 giorni dalla prima raccolta	COMMERCIALE			SCARTO		
	Frutti per pianta			Frutti per pianta		
	Numero	Peso (g)	Peso unitario (g)	Numero	Peso (g)	Peso unitario (g)
DT	9,93 a	1572,43 a	157,33 a	10,23 a	651,55 a	64,07 a
CT	10,90 a	1805,77 a	165,33 a	9,87 a	657,75 a	66,80 a
Stabilizzazione 1	* 12,05 a	* 2006,35 a	166,45 a	9,25 a	647,56 a	70,05 a
Stabilizzazione 2	* 9,75 b	* 1515,00 b	155,90 a	11,85 a	734,27 a	62,30 a
Stabilizzazione 3	* 9,45 b	* 1545,95 b	161,65 a	9,05 a	582,13 a	65,30 a
Interazione film X stabilizzazione	ns	ns	ns	ns	ns	ns

I valori contrassegnati con lettere diverse differiscono significativamente per $P \leq 0,05$ secondo il test di Duncan (ns non significativo; * $P \leq 0,05$; ** $P \leq 0,01$; *** $P \leq 0,001$).

Tabella 35: qualità della produzione commerciabile a 7 giorni dall'inizio del ciclo di raccolta.

A 7 giorni dalla prima raccolta	FRUTTO INVAIATO															
	CE (dS/m)		pH		RO (° brix)		AT (% acido citrico)		RO/AT		S.S. (%)		RPI (kg/cm ²)		RPP (kg/cm ²)	
DT	4,44 a		3,66 a		4,94 a		** 0,478 b		** 10,67 a		6,42 a		5,57 a		2,46 a	
CT	4,95 a		3,68 a		5,17 a		** 0,559 a		** 9,36 b		6,18 a		5,31 a		2,29 a	
Stabilizzazione 1	5,07 a		* 3,74 a		5,23 a		** 0,633 a		** 8,28 b		6,43 a		5,10 a		** 2,10 b	
Stabilizzazione 2	4,58 a		* 3,62 b		4,98 a		** 0,474 b		** 10,65 a		6,25 a		5,50 a		** 2,40 a	
Stabilizzazione 3	4,45 a		* 3,66 b		4,97 a		** 0,449 b		** 11,13 a		6,23 a		5,72 a		** 2,62 a	
Interazione film X stabilizzazione	ns		ns		ns		ns		ns		ns		ns		ns	
	FRUTTO MATURO															
	CE (dS/m)		pH		RO (° brix)		AT (% acido citrico)		RO/AT		S.S. (%)		RPI (kg/cm ²)		RPP (kg/cm ²)	
DT	4,62 a		3,67 a		5,23 a		* 0,478 b		** 11,15 a		6,66 a		*** 3,87 a		* 1,19 a	
CT	4,80 a		3,64 a		5,13 a		* 0,517 a		** 9,96 b		6,46 a		*** 3,49 b		* 1,09 b	
Stabilizzazione 1	** 5,27 a		*** 3,75 a		* 5,45 a		*** 0,578 a		** 9,44 b		* 7,00 a		3,74 a		** 1,10 b	
Stabilizzazione 2	** 4,50 b		*** 3,69 b		* 4,99 b		*** 0,461 b		** 10,96 a		* 6,39 b		3,69 a		** 1,07 b	
Stabilizzazione 3	** 4,37 b		*** 3,54 c		* 5,10 b		*** 0,454 b		** 11,28 a		* 6,30 b		3,62 a		** 1,25 a	
Interazione film X stabilizzazione	ns		ns		ns		ns		*		ns		***		ns	

I valori contrassegnati con lettere diverse differiscono significativamente per $P \leq 0,05$ secondo il test di Duncan (ns non significativo; * $P \leq 0,05$; ** $P \leq 0,01$; *** $P \leq 0,001$).

Tabella 36: qualità della produzione commerciabile a 21 giorni dall'inizio del ciclo di raccolta.

A 21 giorni dalla prima raccolta	FRUTTO INVAIATO							
	CE (dS/m)	pH	RO (° brix)	AT (% acido citrico)	RO/AT	S.S. (%)	RPI (kg/cm ²)	RPP (kg/cm ²)
DT	4,71 a	3,67 a	5,12 a	0,441 a	11,67 a	6,53 a	4,55 a	2,31 a
CT	4,92 a	3,64 a	5,39 a	0,446 a	12,07 a	6,47 a	4,41 a	2,28 a
Stabilizzazione 1	* 5,02 a	** 3,57 c	5,46 a	0,460 a	* 11,87 ab	6,82 a	4,59 a	** 2,45 a
Stabilizzazione 2	* 4,67 b	** 3,76 a	5,25 a	0,430 a	* 12,26 a	6,54 a	4,64 a	** 2,59 a
Stabilizzazione 3	* 4,75 ab	** 3,65 b	5,07 a	0,441 a	* 11,48 b	6,14 a	4,22 a	** 1,85 b
Interazione film X stabilizzazione	ns	ns	ns	ns	**	ns	ns	ns
	FRUTTO MATURO							
	CE (dS/m)	pH	RO (° brix)	AT (% acido citrico)	RO/AT	S.S. (%)	RPI (kg/cm ²)	RPP (kg/cm ²)
DT	4,77 a	3,64 a	5,50 a	0,437 a	12,69 a	6,52 a	3,48 a	1,18 a
CT	5,01 a	3,58 a	5,61 a	0,455 a	12,39 a	6,44 a	3,63 a	1,20 a
Stabilizzazione 1	* 5,39	3,54 a	* 5,95 a	0,485 a	12,34 a	6,77 a	3,62 a	1,19 a
Stabilizzazione 2	* 4,70	3,64 a	* 5,33 b	0,424 a	12,69 a	6,32 a	3,60 a	1,17 a
Stabilizzazione 3	* 4,59	3,65 a	* 5,39 b	0,431 a	12,60 a	6,36 a	3,45 a	1,22 a
Interazione film X stabilizzazione	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

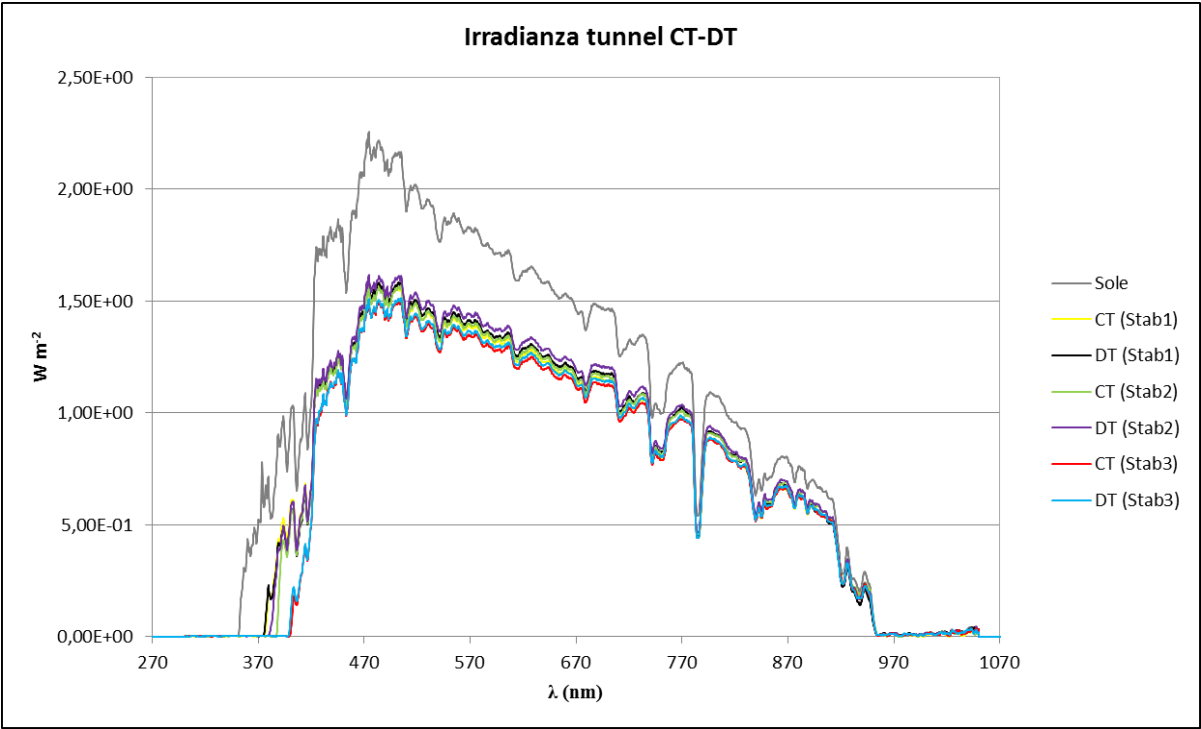
I valori contrassegnati con lettere diverse differiscono significativamente per $P \leq 0,05$ secondo il test di Duncan (ns non significativo; * $P \leq 0,05$; ** $P \leq 0,01$; *** $P \leq 0,001$).

Tabella 37: contenuto di vitamina C, carotenoidi, potassio e capacità antiossidante dei frutti prelevati a circa metà ciclo di raccolta.

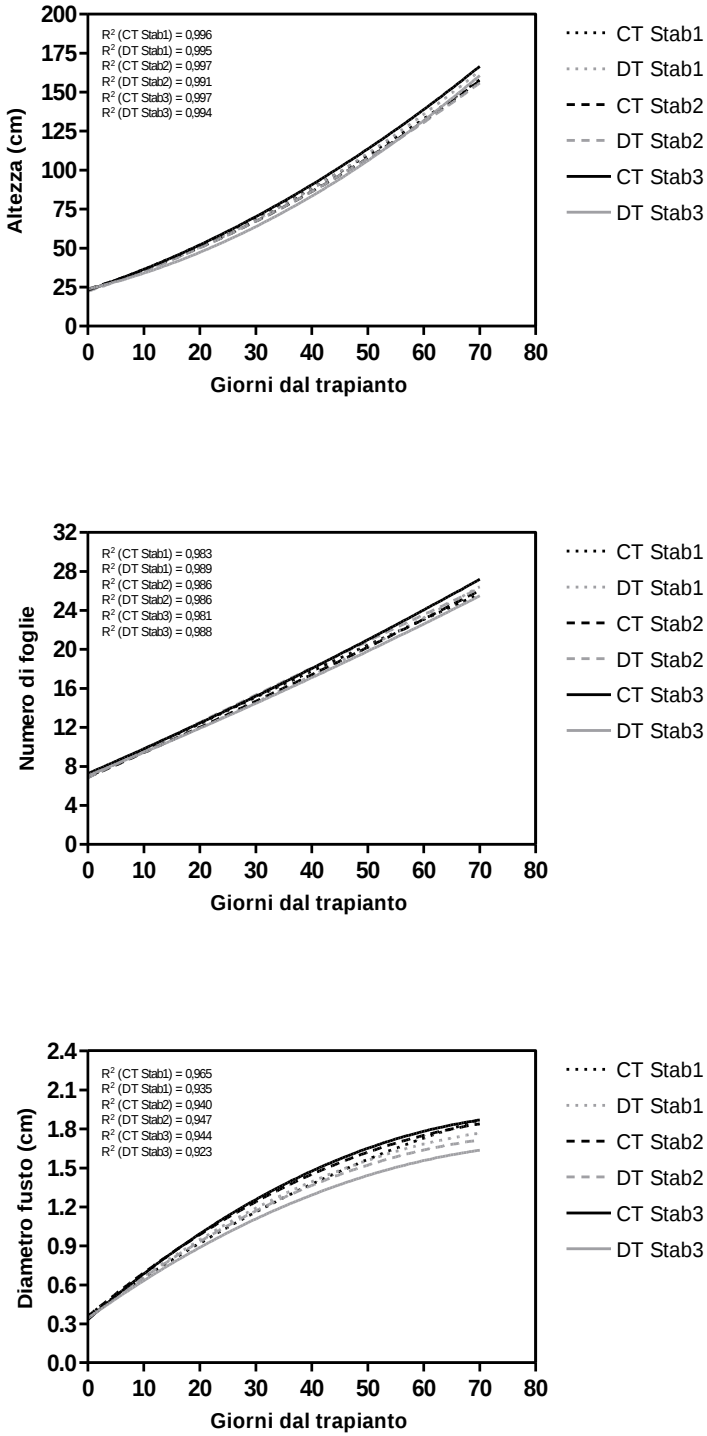
	FRUTTO INVAIATO			FRUTTO MATURO			
	Vitamina C (mg/100 g s.f.)	Potassio (% s.s.)	Capacità antiossidante (mM Fe ²⁺ /kg s.f.)	Vitamina C (mg/100 g s.f.)	Potassio (% s.s.)	Capacità antiossidante (mM Fe ²⁺ /kg s.f.)	Carotenoidi totali (mg licopene/kg s.f.)
DT	33,49 a	* 2,45 b	4,80 a	28,00 a	2,65 a	4,23 a	38,43 a
CT	33,10 a	* 2,79 a	4,67 a	27,43 a	2,81 a	4,37 a	43,82 a
Stabilizzazione 1	* 32,12 b	* 2,91 a	4,34 a	28,24 a	* 2,89 a	4,26 a	** 49,39 a
Stabilizzazione 2	* 32,24 b	* 2,52 b	4,84 a	28,63 a	* 2,61 b	4,75 a	** 47,00 a
Stabilizzazione 3	* 35,53 a	* 2,44 b	5,02 a	26,29 a	* 2,69 ab	3,90 a	** 26,98 b
Interazione film X stabilizzazione	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

I valori contrassegnati con lettere diverse differiscono significativamente per $P \leq 0,05$ secondo il test di Duncan (ns non significativo; * $P \leq 0,05$; ** $P \leq 0,01$; *** $P \leq 0,001$).

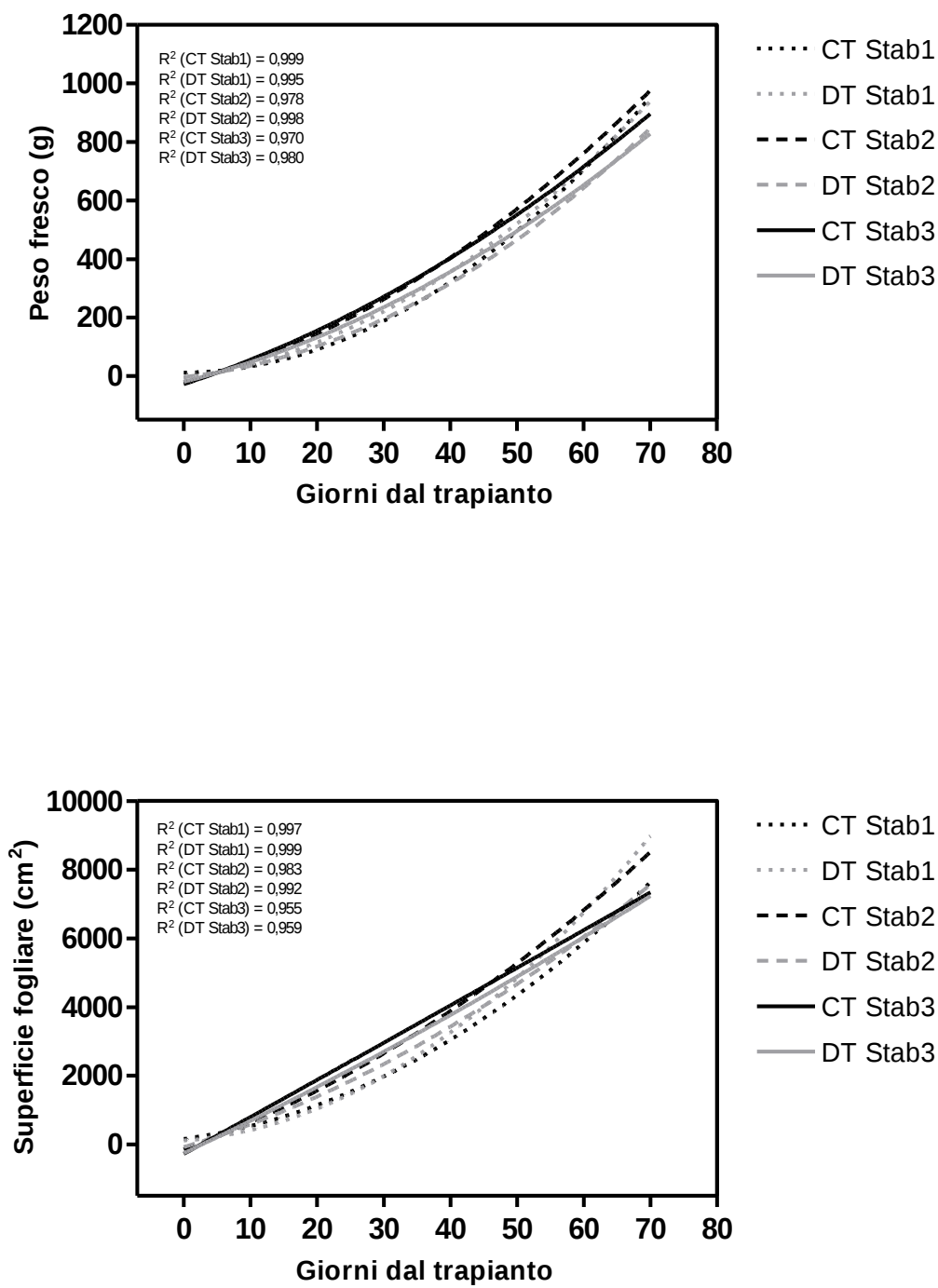
Grafico 106: Spettri di irradianza delle coperture.

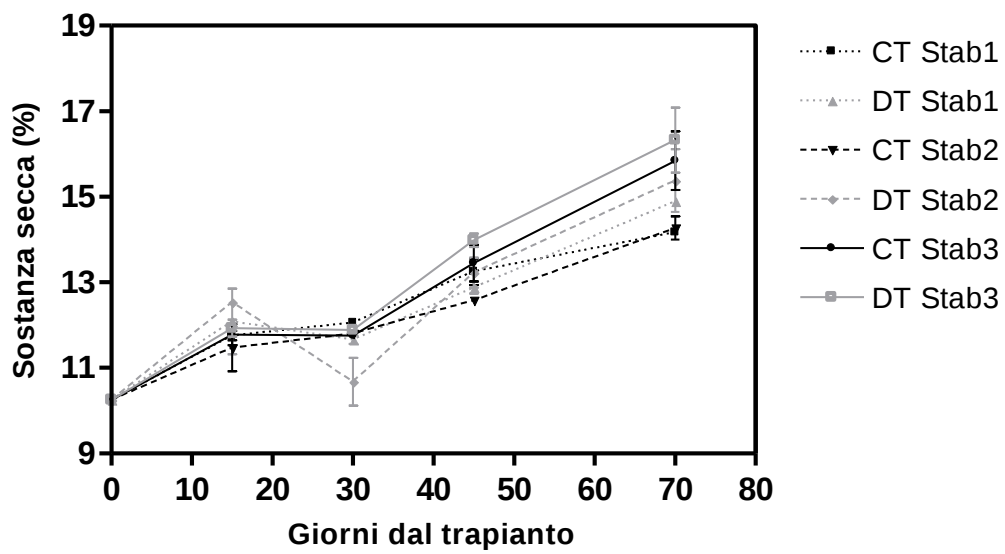
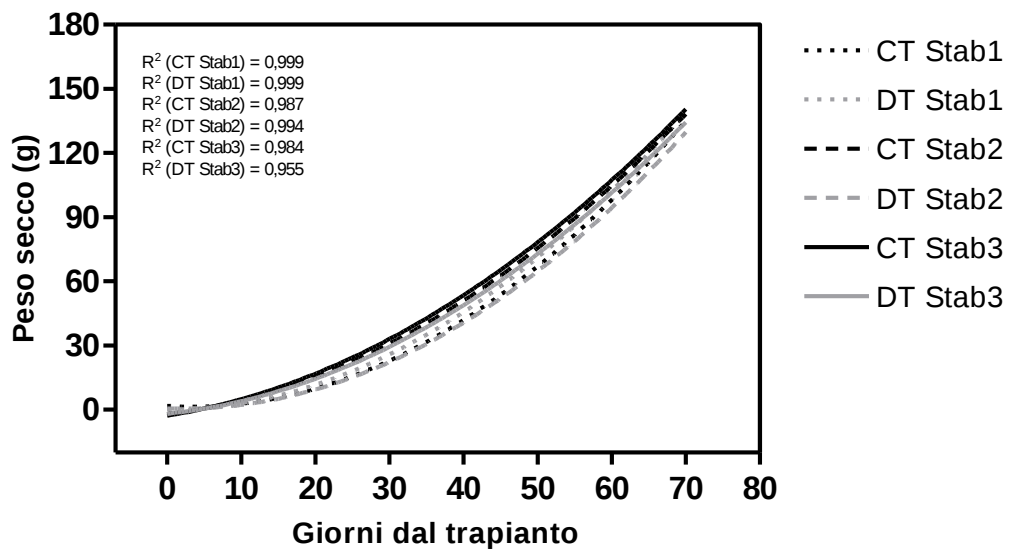


Grafici 107, 108 e 109: altezza, numero di foglie e diametro del fusto delle piante di pomodoro (valori medi a pianta).

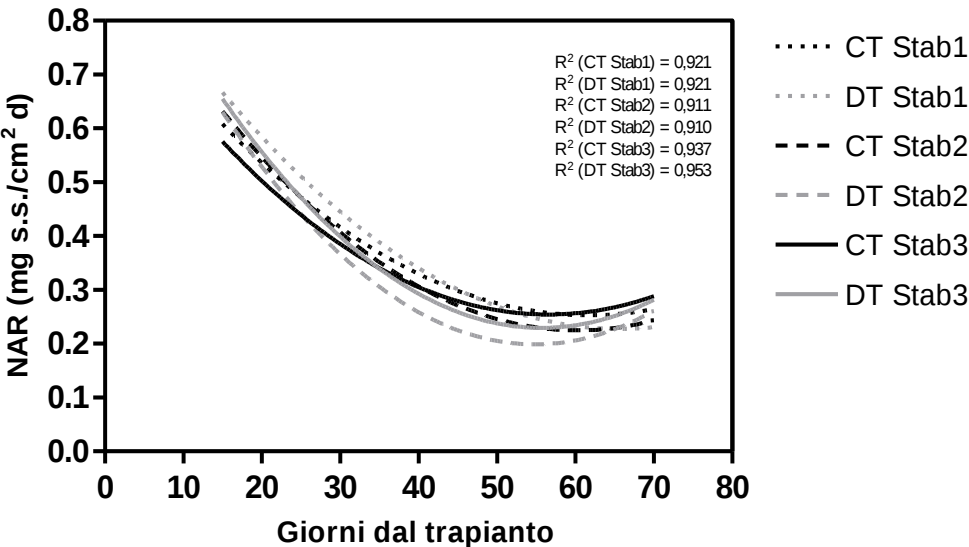
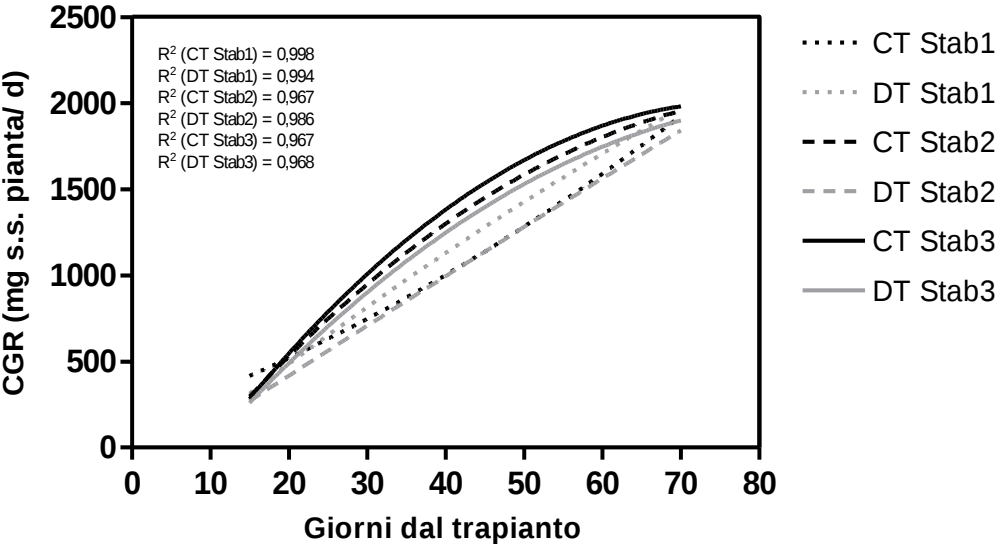


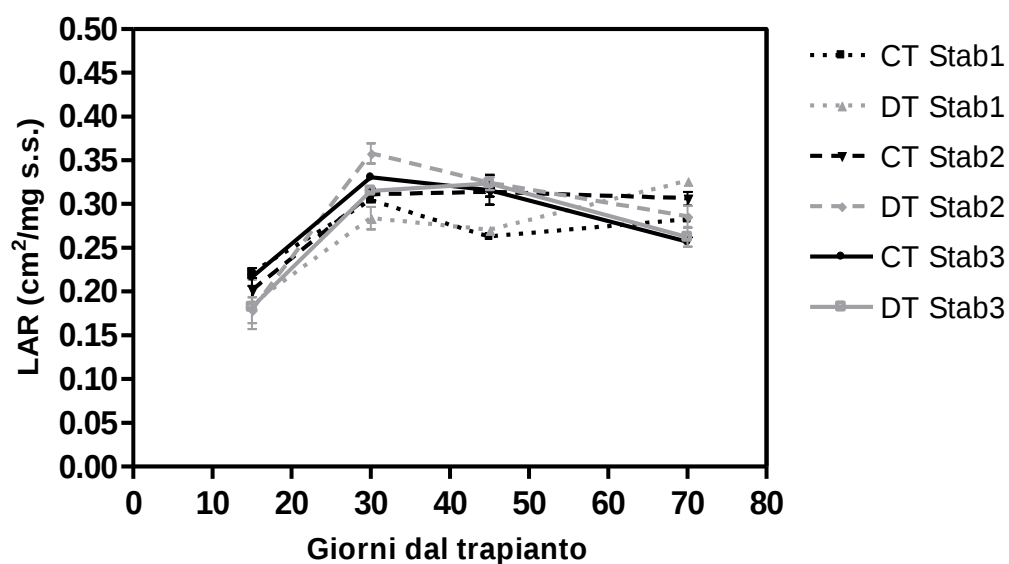
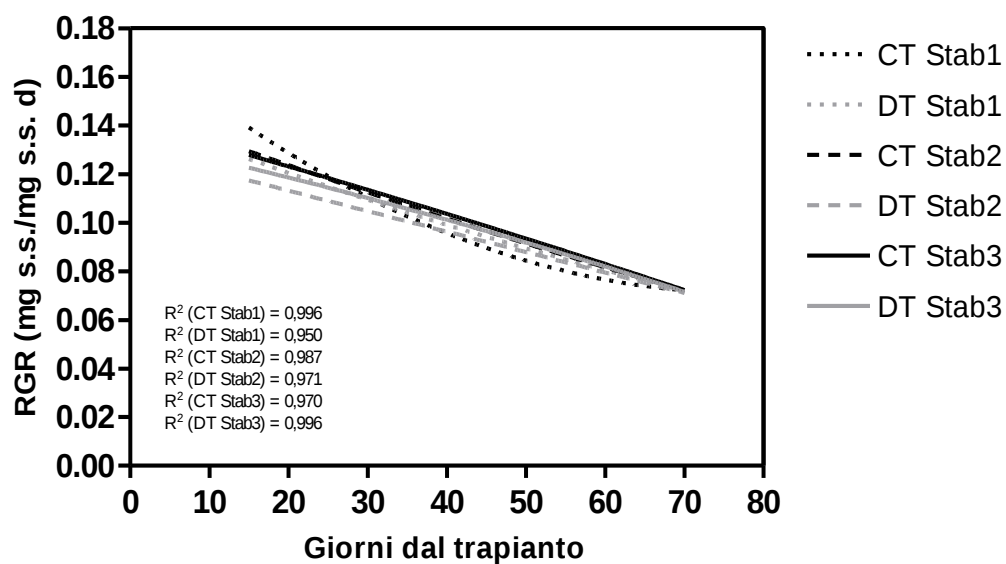
Grafici 110, 111, 112 e 113: peso fresco, superficie fogliare, peso secco e percentuale di sostanza secca nelle piante di pomodoro (valori medi a pianta).



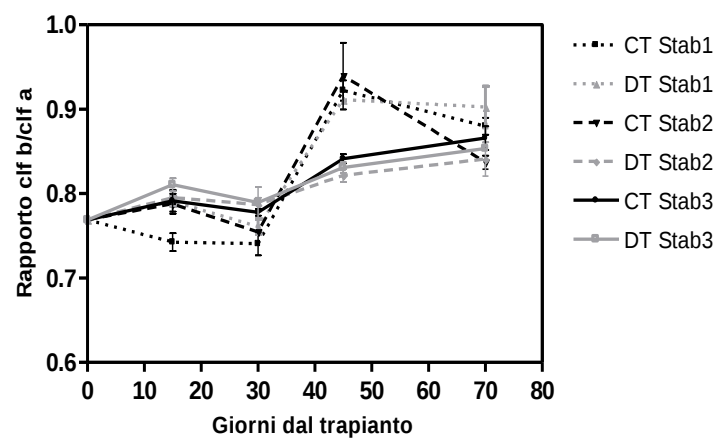
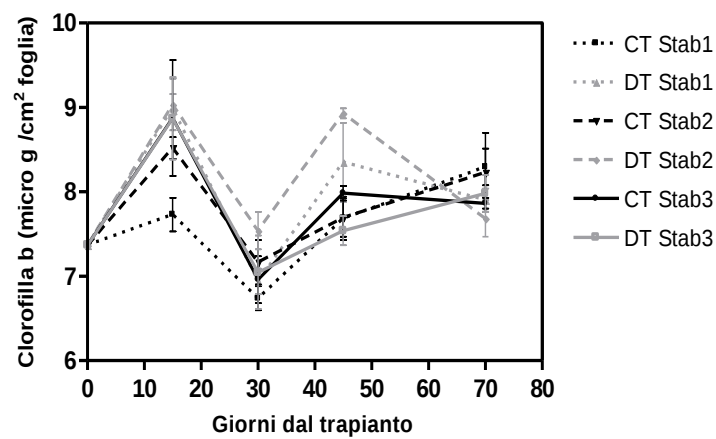
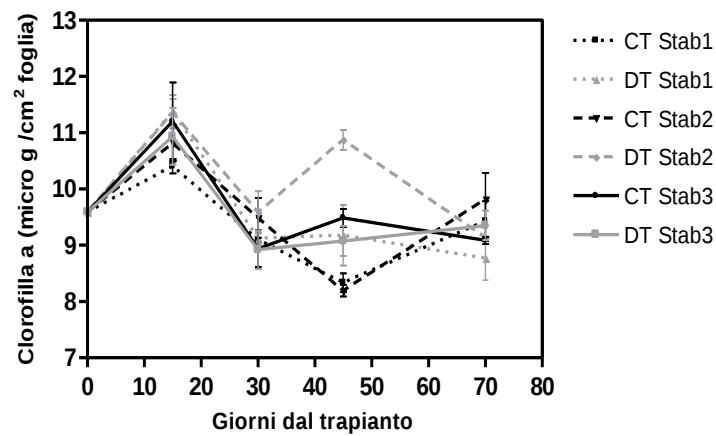


Grafici 114, 115, 116 e 117: indice di crescita assoluto (CGR), indice di assimilazione netta (NAR), indice di crescita relativo (RGR) e indice di superficie fogliare (LAR) delle piante di pomodoro (valori medi a pianta) .

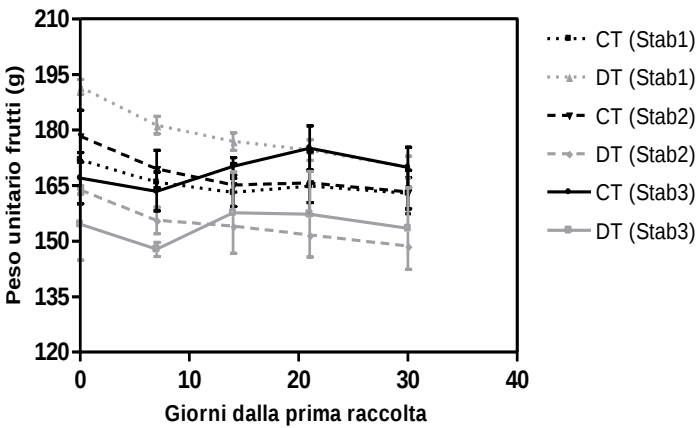
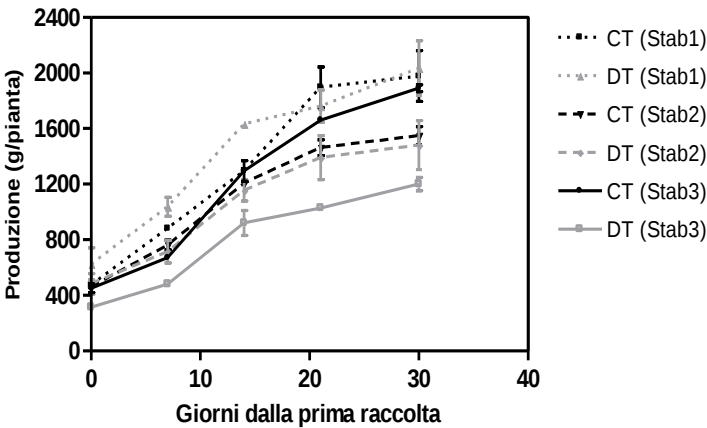
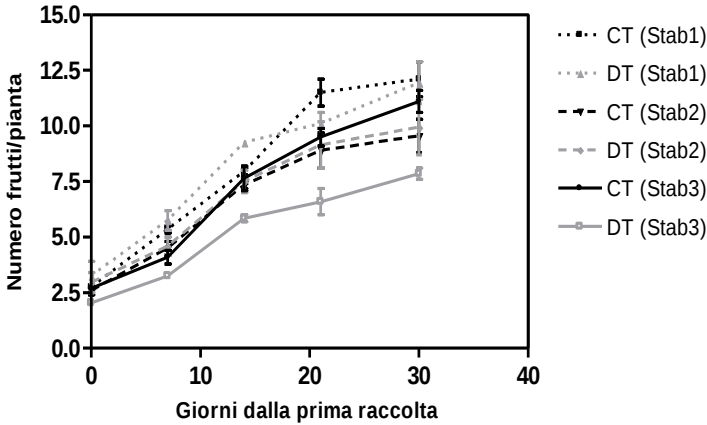




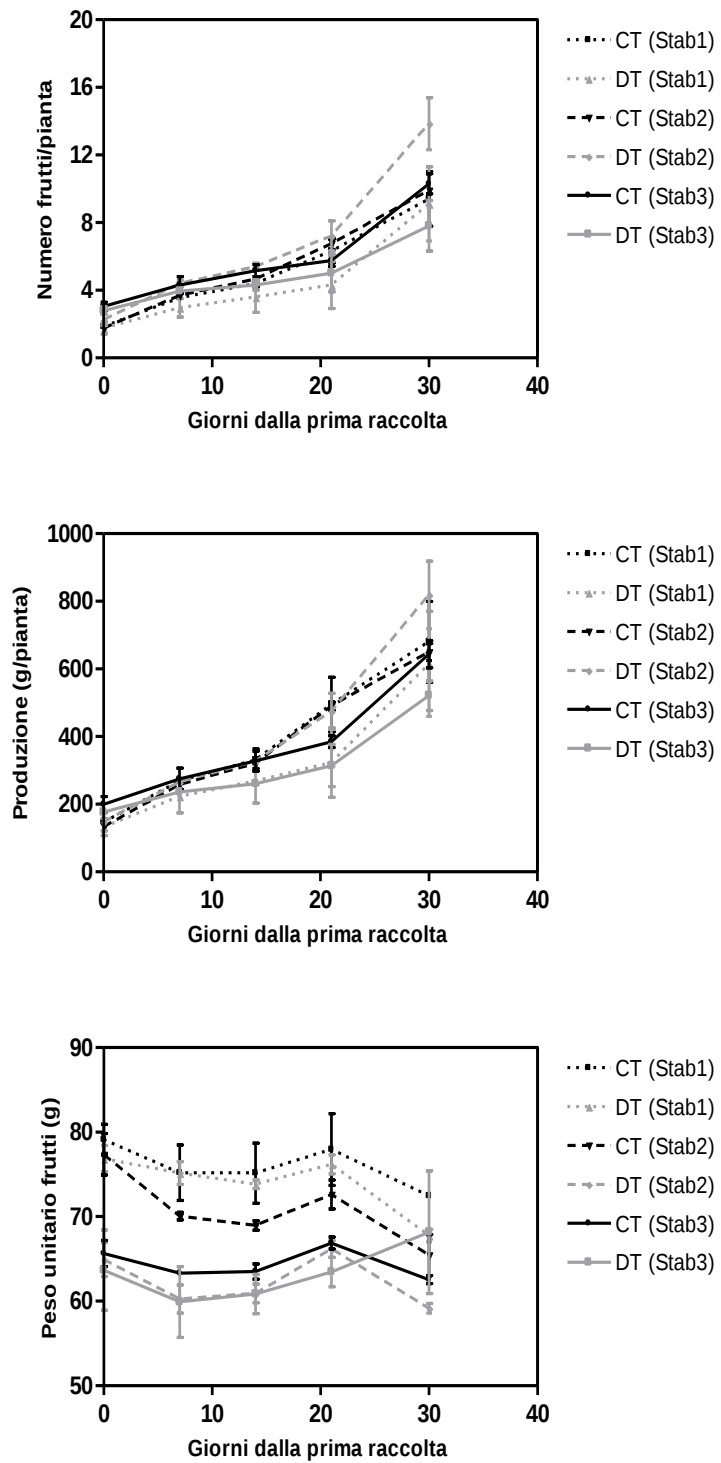
Grafici 118, 119 e 120: contenuto di clorofilla “a” e “b” nelle foglie delle piante di pomodoro e rapporto clorofilla “b” / clorofilla “a”.



Grafici 121, 122 e 123: cumulate del numero e peso totale di frutti commerciabili ed evoluzione temporale del loro peso unitario.



Grafici 124, 125 e 126: cumulate del numero e peso totale di frutti di scarto ed evoluzione temporale del loro peso unitario.



IV.3 CONCLUSIONI (Due anni di sperimentazione)

Sulla base dei risultati ottenuti nei due anni di sperimentazione, limitatamente alle condizioni in cui si è operato, è possibile affermare che il comportamento agronomico delle plastiche poste a confronto è stato influenzato, in maniera più accentuata, dal tipo di formulazione di stabilizzanti alla luce con cui sono state additivate, piuttosto che dalla capacità delle stesse di diffondere o meno la luce.

Se si considerano gli aspetti relativi all'accrescimento dell'ortiva, le coperture con la terza tipologia di stabilizzazione hanno evidenziato, in entrambe le annate di prova, le migliori performances agronomiche, non riuscendo, tuttavia, a tradurre tale maggior sviluppo vegetativo in analoghe produzioni di maggior entità ponderale. Al contrario, i migliori risultati produttivi sono stati ottenuti nei film additivati con la prima formulazione di stabilizzanti, film questi che si sono nel contempo caratterizzati, mediamente, per i minori tassi di crescita, quantomeno nelle fasi iniziali di accrescimento della coltura. Tale minor sviluppo vegetativo potrebbe essere legato, almeno in parte, alla maggior permeabilità delle suddette coperture all'ultravioletto. Infatti numerosi studi hanno evidenziato la capacità della radiazione ultravioletta di determinare una riduzione dell'altezza delle piante di pomodoro (Lercari e Sodi, 1992; Lercari *et al.*, 1992; Del Corso e Lercari, 1997; Hao *et al.*, 1997; Bae *et al.*, 1998; Bertram e Lercari, 2002; Lercari *et al.*, 2002; Yang *et al.*, 2004; Jeong e Huh, 2010), così come della loro superficie fogliare (Del Corso e Lercari, 1997; Hao *et al.*, 1997).

I laminati plastici con il secondo tipo di stabilizzante, invece, hanno mostrato risultati alterni nei due anni di prova: positivi nel primo, dove hanno raggiunto livelli produttivi simili a quelli dei manufatti con la Stab1, negativi nel secondo, dove hanno prodotto, sostanzialmente, lo stesso numero di pomodori per pianta delle coperture con la terza tipologia di stabilizzazione e con lo stesso peso totale.

Per quanto concerne la qualità merceologica del prodotto, questa è risultata, nel primo anno di sperimentazione, più elevata nei film con la terza stabilizzazione, mentre nel secondo anno frutti qualitativamente migliori sono stati raccolti sotto la copertura con il primo tipo di stabilizzante. I film con la Stab3 si sono caratterizzati, sia nella prova del 2010 che in quella del 2011, per il maggior contenuto di vitamina C e, nel secondo anno, per la maggior capacità antiossidante, quantomeno nel caso dei frutti invaiati, evidenziando tuttavia anche il minor contenuto di carotenoidi. La ridotta concentrazione di questi ultimi composti può essere

legata, in una certa misura, alla carenza di radiazioni ultraviolette all'interno dell'ambiente protetto. Diverse ricerche hanno infatti dimostrato l'influenza promotrice dell'ultravioletto sull'accumulo di carotenoidi e licopene in pomodoro sia prima della raccolta dei frutti (Li *et al.*, 2006; Pèrez *et al.*, 2009) che nelle fasi di post-raccolta (Maharaj *et al.*, 2010; Liu *et al.*, 2009, 2011a e 2011b), sebbene la loro concentrazione possa variare, nel prodotto fresco, anche in dipendenza di numerosi altri fattori (Abushita *et al.*, 2000; Gómez *et al.*, 2001; Raffo *et al.*, 2002; Giuntini *et al.*, 2005; Toor e Savage, 2005; Toor *et al.*, 2006; Javanmardi e Kubota, 2006; Odriozola-Serrano *et al.*, 2008; Hernández Suárez *et al.*, 2008; Favati *et al.*, 2009), tra i quali un ruolo importante è svolto dalla temperatura (Martínez-Valverde *et al.*, 2002). Anche il contenuto di acido ascorbico nelle bacche può essere influenzato dalla radiazione ultravioletta, con risposte variabili, in termini di accumulo, in dipendenza del genotipo considerato (Giuntini *et al.*, 2005 e 2008), ma può variare anche, analogamente a quanto sopra riportato per i carotenoidi, in funzione di vari altri fattori (Abushita *et al.*, 2000; Raffo *et al.*, 2002; George *et al.*, 2004; Spagna *et al.*, 2005; Adalid *et al.*, 2007; Zapata *et al.*, 2007; Odriozola-Serrano *et al.*, 2008; Favati *et al.*, 2009). Nella presente ricerca la disponibilità della suddetta radiazione non sembra aver influito positivamente sulla concentrazione di acido ascorbico nei frutti, risultando quest'ultima sempre più elevata, come precedentemente descritto, nelle bacche raccolte sotto le coperture totalmente impermeabili nell'intervallo di lunghezze d'onda dell'UV. La più alta percentuale di potassio nella sostanza secca è stata, infine, sempre rilevata nei pomodori raccolti sotto i tunnel con la prima stabilizzazione.

Tra coperture a luce diretta e diffusa non sono state riscontrate, sostanzialmente, particolari differenze, né riguardo alla produzione quantitativa né alla qualità del prodotto, sebbene sotto i film chiari siano stati raggiunti, in media, livelli produttivi leggermente più elevati, ma con differenze non significative statisticamente.

In conclusione, le coperture con il primo tipo di stabilizzante, siano esse a luce diretta o diffusa, sono apparse le più idonee allo specifico ambiente di coltivazione, avendo fornito per due anni consecutivi i migliori risultati in termini di produzione quantitativa e, nel secondo anno di prova, anche qualitativa.

PARTE V: BIBLIOGRAFIA

AA.VV., 2005. *Enciclopedia della chimica*. Garzanti Editore.

Abak K., Pakyürek Y., Gürsöz N., Onsinejad R., 1990. *The effects of mulch treatments on soil temperature and yield and earliness of some vegetables*. The 5th Turkish Greenhouse Symposium, Elit Ajans, Izmir, 45-55 (Turkish).

Abak K., Sar N., Pakyürek A.Y., 1992. *Effects of mulch and low tunnels on the yield, earliness and root development of greenhouse eggplants and on soil temperature*. Doga, Türk Tarm ve Ormanclk Dergisi 16 (1), 212-221.

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

Aberkany K., Gosselin A., De Halleux D., Dorais M., Hao X., Villeneuve J., April L., 2008a. *Effects of a shading and an insulating foam injected between double polyethylene films on light transmission, growth and productivity of greenhouse tomato*". Proceedings of the International Symposium on High Technology for Greenhouse System Management, GREENSYS 2007, Naples, Italy, 4-6 October 2007. Acta Horticulturae (801) Vol. 1 Leuven: International Society for Horticultural Science (ISHS), 187-194.

Aberkany K., Hao X., Gosselin A., De Halleux D., 2008b. *Responses of leaf gas exchanges, chlorophyll a fluorescence, and fruit yield and quality of greenhouse tomatoes to shading with retractable liquid foam*. Proceedings of the International Workshop on Greenhouse Environmental Control and Crop Production in Semi – Arid Regions, Tucson, Arizona, USA, October 20-24, 2008. Acta Horticulturae (797) Leuven: International Society for Horticultural Science (ISHS), 235-240.

Abushita A.A., Daood H.G., Biacs P.A., 2000. *Change in carotenoids and antioxidant vitamins in tomato as a function of varietal and technological factors.* J. Agr. Food Chem. 48, 2075-2081.

Adalid A.M., Roselló S., Nuez F., 2007. *Mejora de la calidad nutritiva en tomate: búsqueda de nuevas fuentes de variabilidad con alto contenido en carotenoides y vitamina C.* Actas de Horticultura 48, 121-124.

Ahn J.H., Hahm Y.I., Lee J.M., 1994. *Influence of covering materials and meteorological elements on yield and TuMV infection of Chinese cabbage.* RDA Journal of Agricultural Science, Crop Protection 36 (2), 349-356.

Al Kayssi A.W., Ahmed S., Hussain R., 1989. *Influence of soil solarization on salts movement and distribution.* Plasticulture 84 (1989/4), 47-53.

Amaral R.C., Queiroz B.C., Garcia E.H.C., Sáneto A., Bernardes T.F., Nussio L.G., 2010. *Aerobic deterioration in maize silages under different covering methods of the plastic film.* Grassland in a changing world. Proceedings of the 23rd General Meeting of the European Grassland Federation, Kiel, Germany, 29th August – 2nd September 2010. Dunderstadt: Mecke Druck und Verlag, 2010, 482-484.

Andris H.L., Crisosto C.H., 1996. *Reflective Materials Enhance “Fuji” Apple Color.* California Agriculture 50: 27-30.

Andris H.L., Crisosto C.H., Grossman Y.L., 1997. *The use of reflective films to improve the Apple fruit red color.* Plasticulture 116, 33-42.

Antignus Y., Cohen S., Mor N., Masika Y., Lapidot M., 1996. *The effects of UV-blocking greenhouse covers on insects and insect-borne virus diseases.* Plasticulture 112, 15-20.

Antignus Y., Mor N., Joseph R.B., Lapidot M., Cohen S., 1996. *Ultraviolet-absorbing plastic sheets protect crops from insect pests and from virus diseases vectored by insect.* Environmental Entomology 25 (5), 919-924.

Antón A., Montero J.I., Muñoz P., 2005. *Use of high light transmission greenhouse covers in the geranium crop.* Plasticulture 124, 74-79.

AOAC, 1980. Official Methods of Analysis. 13th Ed. Washington, D.C., Association of Official Analytical Chemists.

Aragaki M., 1961. *Radiation and temperature interaction on the sporulation of Alternaria tomato.* Phytopathology 51, 803-805.

Arbolí I.M., 2000. *Plastic as cover for greenhouses and small tunnels.* Plasticulture 119, 15-25.

ARSIA Toscana. www.arsia.toscana.it

Ashbell G., Lisker N., 1988. *Aerobic deterioration in maize silage stored in a bunker silos under farm conditions in a subtropical climate.* Journal of the Science of Food and Agriculture 45, 307-315.

Ashkenazi Y., 1997. *Improving the properties of polyethylene films for agricultural uses.* Plasticulture 115, 3-15.

Avella M., Di Pace E., Immirzi B., Impallomeni G., Malinconico M., Santagata G., 2007. *Addition of glycerol plasticizer to seaweeds derived alginates: influence of microstructure on chemical-physical properties.* Carbohydr Polym 69 (3): 503-511.

Avilla C., Collar J.L., Duque de Cella M., Hernáiz P.J., Pérez P., Fereres A., 1994. *Virosis control on pepper by means of agrotextile cover/ Control de virosis en pimiento mediante cubiertas agrotextiles.* Boletín de Sanidad Vegetal, Plagas 20 (2), 457-464.

Bae E.J., Inamoto K., Doi M., Imanishi H., 1998. *Retardation of hypocotyl elongation of ornamental and vegetable seedlings by ultraviolet irradiation.* Journal of the Japanese Society for Horticultural Science 67 (6), 945-950.

Baevre L., 1990. *Ensiling methods and silage quality.* Meieriposten 79 (10), 288-293.

Balemans L., 1990. *PAR interception by condensation droplets on plastics: a basic approach.* Abstract of contributed papers – 1. Oral, XXIII International Horticultural Congress, Firenze (Italy), 27 August – 1 September 1990, ISHS, 2296.

Balsari P., 1990. *La tecnica della fasciatura delle rotoballe per l'insilamento del foraggio.* L'Informatore Agrario 46 (22), 33-38, 41-47.

Barahona F.J., Gomez Vasquez J.M., 1985. *Influence of pesticides on the degradation of polyethylene film greenhouse cladding on the Andalusian coast.* Plasticulture 65, 3-10.

BASF AG, 1980. *Semi-forcing and mulching under plastics film: the present situation in W. Germany.* Plasticulture 45, 3-9.

Bastioli C., 1997. *Materiali biodegradabili a base d'amido: stato dell'arte e prospettive future.* Chimica e Industria, 1-2.

Bastioli C., 1998. *Properties and applications of Mater-Bi starch-based materials.* Polymer Degradation and Stability, 59, 263-272.

Bastioli C., Bellotti V., Del Giudice L., Gilli G., 1993. *Mater-Bi: Properties and Biodegradability.* Journal of Environmental Polymer Degradation 1, (3).

Bastioli C., Facco S., Marini L., 1999. *Mater-Bi Starch-Based Materials: Present Situation and Future Perspectives.* Biodegradable Plastics Conference, April 19-20, 1999, Frankfurt (Germany).

Baudonnel J., Sotton M., 1985. *Properties of textile for agricultural and horticultural use.* Plasticulture 66, 45-56.

Bellha H.S., 1988. *Tomato response to trickle irrigation and black polyethylene mulch.* J. Amer. Soc. Hort. Sci. 113: 543-546.

Bello A., González J.A., Arias M., Rodríguez-Kábana R., 1998. *Alternatives to Methyl Bromide for the Southern European Countries.* Phytoma-España DGXI EU, CSIC, Valencia, Spain, 99-126.

Benoit F., Ceustermans N., 1986. *Growth control of tomatoes and cucumbers in NFT by means of rockwool and polyurethane blocks.* Plasticulture 71, 31-36.

Benoit F., Ceustermans N., 1988. *Substrate cultivation of tomatoes and recycled polyurethane (PU).* Plasticulture 77, 39-44.

Benoit F., Ceustermans N., 1990a. *Morphogenesis of butterhead lettuce (*Lactuca sativa* var *capitatis*) under double direct crop cover (DC).* Proceedings of the 6th symposium on the timing of field production of vegetables, held at Wageningen, Netherlands on 21-25 Aug 1989 [edited by Booij R., Dekker P.H.M.]. Acta Horticulturae (267), 29-36.

Benoit F., Ceustermans N., 1990b. *Effect of the removal of the two direct cover sheeting (DC) on the development of carrots (*Daucus carota* L.).* Proceedings of the 6th symposium on the timing of field production of vegetables, held at Wageningen, Netherlands on 21-25 Aug 1989 [edited by Booij R., Dekker P.H.M.]. Acta Horticulturae (267), 45-52.

Benoit F., Ceustermans N., 1990c. *Morphogenesis of Chinese cabbage (*Brassica campestris* subsp. *pekinensis*) under single and double layers of direct cover/ Morfogense van Chinakool (*Brassica campestris* subsp. *pekinensis* Rubr), onder enkele en dubbele direkte gewasafdekking (DA).* Revue de l' Agriculture 43 (4), 557-566.

Benoit F., Ceustermans N., 1993. *Growing tomatoes on ecologically sound substrates.* Plasticulture 97, 41-47.

Benoit F., Ceustermans N., 1994. *A decade of research on polyurethane ether foam (PUR) substrates.* Plasticulture 104, 47-53.

Benoit F., Ceustermans N., 1997. *Effect of photoselective greenhouse film on a few vegetable crops in Belgian north climate.* CIPA Intern. Congr., 81-91.

Benzie I.F.F., Strain J.J., 1996. *The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of “antioxidant power”: the FRAP assay.* Anal. Biochem. 1996, 239, 70-76.

Bernardes T.F., Nussio L.G., Amaral R.C., 2010. *Top losses in maize silage sealed with different plastic films.* Grassland in a changing world. Proceedings of the 23rd General Meeting of the European Grassland Federation, Kiel, Germany, 29th August – 2nd September 2010. Dunderstadt: Mecke Druck und Verlag, 2010, 428-430.

Bertram L., Lercari B., 2002. *Time-dependent effectiveness of UV-treatment on the control of the elongation growth of tomato transplants.* Proceedings of the Fourth International ISHS Symposium on Artificial Lighting, Québec City, Canada, 7-9 November, 2000. Acta Horticulturae (580) Leuven: International Society for Horticultural Science (ISHS), 157-162.

Besozzi M., Pignedoli S., 1996. *Nuove tecnologie per l'insilamento delle rotoballe.* L'Informatore Agrario 52 (41), 49-51.

Bisaglia C., Borreani G., Tabacco E., 2003. *Una nuova modalità di fasciatura per rotoballe.* L'Informatore Agrario 59 (29) Verona: Edizioni L'Informatore Agrario Srl, 55-60.

Bisaglia C., Borreani G., Tabacco E., 2008. *Film plastici al posto delle reti per la fasciatura delle rotoballe.* L'Informatore Agrario 64 (21) Verona: Edizioni L'Informatore Agrario Srl, 63-67.

Bisaglia C., Tabacco E., Borreani G., 2011. *The use of plastic film instead of netting when tying round bales for wrapped baled silage.* Biosystems Engineering 108 (1) Oxford: Elsevier Ltd, 1-8.

Bleyaert P., 1991. *Influence of soil covering on tomatoes grown in plastics greenhouses.* Plasticulture 89 (1991/1), 39-44.

Boldrin L., 1989. *Use of “Ecopac” mulch film.* Plasticulture 83, 51-54.

Bollen G.J., 1985. *Lethal temperatures of soil fungi.* In: Ecology and management of soil-borne plant pathogens (Parker C.A., Rovira A.D., Moore K.J., Wong P.T.W. e Kollmorgen J.F. coord.) American Phytopathological Society, St. Paul, Minnesota, USA: 191-193.

Boo H., Tomitaka Y., Ichimura M., Kimura M., 1997. *Effect of environmental factors on anthocyanin synthesis and sugar content in Cichorium intybus L. var foliosum.* Environment Control in Biology 35 (2), 91-98.

Borošić J., Zutić I., Heblin D., 1994. *Spring crops of lettuce, carrot and pak-choi growth under direct covers.* 13th International congress on plastics in agriculture [Congresso internazionale del CIPA]. Proceedings of a conference held in Verona, Italy, 8-11 March 1994. Volume 1. Verona: Ente Autonomo Fiere di Verona, 22pp.

Borreani G., Tabacco E., Cavallarin L., 2007. *A new oxygen barrier film reduces aerobic deterioration in farm-scale corn silage.* Journal of Dairy Science 90, 4701-4706.

Borreani G., Tabacco E., 2001. *L’insilamento mediante fasciatura delle rotoballe.* L’Informatore Agrario 57 (25) Verona: Edizioni l’ Informatore Agrario Srl, 45-50.

Borreani G., Tabacco E., 2010. *Use of new plastic stretch films with enhanced oxygen impermeability to wrap baled alfalfa silage.* Transactions of the ASABE 53 (2) St. Joseph: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 635-641.

Bouchier R., 2004. *The evolution of the plastic film demand in agriculture.* Plasticulture 123, 96-99.

Boyan G.E., Brown J.E., 1998. *Reflective mulch reduces infestation of melonworm in squash.* Journal of Vegetable Crop production 4: 2, 17-22.

Brault D., Stewart K.A., Jenni S., 2002. *Optical properties of paper and polyethylene mulches used for weed control in lettuce.* Hortscience 37: 1, 87-91.

Briassoulis D., 2004. *Mechanical design requirements for low tunnel biodegradable and conventional films.* Byosystems Engineering 87 (2) London: Academic Press, 2004, 209-223.

Briassoulis D., 2007. *Analysis of the mechanical and degradation performances of optimized agricultural biodegradable films.* Polymer Degradation and Stability 92 (6) Oxford: Elsevier, 1115-1132.

Briassoulis D., Aristopoulou A., Bonora M., Verlodt I., 2004. *Degradation characterization of agricultural low-density polyethylene films.* Biosystems Engineering 88 (2) London: Academic Press, 131-143.

Briassoulis D., Waaijemberg D., Gratraud J., Von Elsner B., 1997a. *Mechanical properties of covering materials for greenhouse: part 1, general overview.* Journal of Agricultural Engineering Research 67 (2), 81-96.

Briassoulis D., Waaijemberg D., Gratraud J., Von Elsner B., 1997b. *Mechanical properties of covering materials for greenhouse: part 2, quality assessment.* Journal of Agricultural Engineering Research 67 (2), 171-217.

Brown J.E., Dangler J.M., Woods F.M., Tilt K.M., Henshaw M.D., Griffey W.A., West M.S., 1993. *Delay in mosaic virus onset and aphid vector reduction in summer squash grown on reflective mulches.* Hortscience 28: 9, 895-896.

Brown J.E., Yates R.P., Stevens C., Khan V.A., Wih J.B., 1996. *Reflective mulches increase yields, reduce aphids and delay infection of mosaic viruses in summer squash.* Journal of Vegetable Crop production 2: 1, 55-60.

Buczkowska H., 1992. *Evaluation of suitability of low plastic tunnels for accelerated rhubarb cultivation.* Biuletyn Warzywniczy (38), 63-72.

Buriol G.A., Schneider F.M., Streck N.A., Medeiros S.L.P., 1993. *Environmental modification by means of low tunnels of perforated transparent polyethylene for growing lettuce/ Modificação ambiental causada por túneis baixos de polietileno transparente perfurado cultivados com alface.* *Ciência Rural* 23 (3), 261-266.

Candido V., Miccolis V., Gatta G., Margiotta S., Manera C., 2003. *Innovative films for Melon Mulching in Protected Cultivation.* *Acta Hort.* 614, 379-386.

Candura A., Scarascia Mugnozza G., Russo G., Vox G., 1999. *Modello numerico di solarizzazione e prove con film biodegradabile.* *Colture Protette* 28 (3), 79-86.

Carnell C.D., 1996. *High reflective white and black mulch plastics in hot climates.* *Plasticulture* 111, 17-22.

Caruso G., 1997. *Studio sui film plastici di pacciamatura per la coltivazione della fragola nel Sud Italia.* *Rivista di Frutticoltura e di Ortofloricoltura*, 59: 9, 79-83.

Cascone G., Arcidiacono C., D'Emilio A., 1999. *Influenza dell'apprestamento di protezione e della natura del terreno sui regimi termici della solarizzazione.* *Atti del seminario sul tema "Le colture protette: aspetti agronomici, territoriali e tecnico-costruttivi".* Ragusa, 24-26 giugno 1999.

Cascone G., Polizzi G., D'Emilio A., 2000. *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 Convegno su "Impiego in agricoltura di Plastiche innovative biodegradabili per la solarizzazione del terreno"*, Matera 15 giugno.

Cascone G., Polizzi G., D'Emilio A., Grillo R., 2001a. *Influenza sulla solarizzazione sotto serra di un film di copertura in ETFE.* *Colture Protette* 3, 77-86.

Cascone G., Polizzi G., D'Emilio A., Grillo R., 2001b. *La solarizzazione del terreno con film plastici innovativi a confronto con altri mezzi di lotta per il contenimento della *Pyrenochaeta lycopersici* e *Meloidogyne spp.** *Atti Convegno Nazionale "Impiego in*

agricoltura di plastiche innovative biodegradabili per la solarizzazione del terreno”. Matera, 14-17 giugno, 53-60.

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.

Castellano S., Candura A., Scarascia Mugnozza G., 2007. *Reti per l’agricoltura: caratteristiche costruttive e tipologiche*. Colture Protette 11: 103-109.

Castellano S., Russo G., 2005. *Reti in plastica per l’agricoltura: modi d’uso, materiali, proprietà fisiche*. Atti del Convegno AIIA “L’Ingegneria Agraria per lo sviluppo sostenibile nell’area mediterranea” Catania, 27-29 giugno.

Castilla N., 1994. *Greenhouses in the Mediterranean area: technological level and strategic management*. Acta Horticulturae 361, 44-56.

Castilla N., Hernandez J., 1995. *Protected cultivation in the Mediterranean area*. Plasticulture 107 (1995/3), 13-20.

Cerny T.A., Faust J.E., Layne D.R., Rajapakse N.C., 2003. *Influence of photoselective films and growing season on stem growth and flowering of six plant species*. Journal of the American Society for Horticultural Science 128 (4) Alexandria: American Society for Horticultural Science, 486-491.

Chen Y., Katan J., 1980. *Effect of solar heating of soils by transparent polyethylene mulching on their chemical properties*. Soil Science 130 (5): 271-277.

Cheng C.H., Ho S.C., 1997. *Evaluation of the effects of ultraviolet-absorbing film on the population of insect pests and yield of muskmelon*. Plant Protection Bulletin Taipei 39 (4), 289-304.

Chiapale M., 1984. *Influence de la condensation sur la transmission de l'infrarouge* CPA, 65, rue de Prony, 75017B Paris. Comité des Plastiques en Agriculture, Congrès de Montpellier, 23-25 mai 1984.

CIPA, 1980a. *Recent trials with unsupported plastics covers in France.* Plasticulture 45, 10-14.

CIPA, 1980b. *Pad pavan machine for setting out hoops and laying film.* Plasticulture 46, 52.

CIPA, 1994. *Dr Emmert E.M., The Father of American Plasticulture.* Plasticulture 104, 2.

Clarke A.D., 1990. *The beginnings of Silage under plastics film in the United Kingdom.* Plasticulture 87, 7-10.

Clifford S.C., Runckle E.S., Langton F.A., Mead A., Foster S.A., Pearson S., Heins R.D., 2004. *Height control of poinsettia using photoselective filters.* HortScience 39 (2), 383-387.

Cockshull K.E., Graves C.J., Cave R.J., 1992. *The influence of shading on yield of glasshouse tomatoes.* Journal of Horticultural Science, 67, 11-24.

Conway E.K., McCraw B.D., Motes J.E., Sherwood J.L., 1989. *Evaluation of mulches and row covers to delay virus diseases and their effects on yield of yellow squash.* Applied Agricultural Research vol.4, n° 3, 201-207.

Costa H.S., Robb K.L., 1999. *Effects of ultraviolet-absorbing greenhouse plastic films on flight behavior of Bemisia argentifolii (Homoptera: Aleyrodidae) and Frankliniella occidentalis (Thysanoptera: Thripidae).* Journal of Economic Entomology 92 (3): 557-562.

Costa H.S., Robb K.L., Wilen C.A., 2002. *Field trials measuring the effects of ultraviolet-absorbing greenhouse plastic films on insect populations.* Journal of Economic Entomology 95 (1), 113-120.

Cozzolino E., Leone V., Lombardi P., Piro F., 2011a. *I teli pacciamanti per il pomodoro da industria.* Colture Protette (40) 7/8, 86-90.

Cozzolino E., Leone V., Lombardi P., Piro F., 2011b. *Teli biodegradabili in Mater-Bi® e fotoselettivi Mulch More nella pacciamatura del melone.* Colture Protette (40) 9, 82-85.

Cozzolino E., Leone V., Piro F., 2010a. *Teli biodegradabili e tradizionali a confronto su pomodoro.* L'Informatore Agrario 38, 56-58.

Cozzolino E., Leone V., Piro F., Ranghino F., Guerrini S., 2010b. *Con i film in Mater-Bi® risultati comparabili al polietilene nella pacciamatura del melone.* Colture Protette 7/8, 76-80.

Critten D.L., 1983. *A computer model to calculate the daylight integral and transmissivity of a greenhouse.* Journal of Agricultural Engineering Research, 28, 61-76.

Csizinszky A.A., Schuster D.J., Bring J.B., 1995. *Color mulches influence yield and insect pest populations in tomatoes.* Journal of the American Society for Horticultural Science 120: 5, 778-784.

Csizinszky A.A., Schuster D.J., Polston J.E., Ben Yehoshua S., 1998. *Influence of color and reflective mulches on tomato (Lycopersicon esculentum Mill.) yields and on the silverleaf whitefly (Bemisia argentifolii Bellows and Perring).* 14th International congress on plastics in agriculture. Tel Aviv, Israel, March 1997, 111-117.

Cui H., Murakami K., Kiyota M., Aiga I., 1995. *The development of covering materials to control plant growth by changing the red/far-red photon flux ratio of natural radiation. Effects on elongation and growth of sunflower and cabbage seedlings.* Environment Control in Biology 33 (1), 37-42.

Dal Sasso P., Scarascia Mugnozza G., Marinelli G., 2010. *Sistema di analisi territoriale per l'individuazione dell'impiego delle protezioni plastiche.* Colture Protette, anno XXXIX, n. 2, pp. 85-94.

Dan M., Visileanu E., Dumitrescu I., Mocioiu A.M., Radulescu R., Lagunovski V.L., 2009. *Manufactured textile cover meant for plant protection in the cold season.* Lucrari Stiintifice – Universitatea de Stiinte Agronomice si Medicina Veterinara Bucuresti. Seria B, Horticultura (53). Bucuresti: Universitatea de Stiinte Agronomice si Medicina Veterinara Bucuresti, 92-98.

D'Anna F., 2003. *Funziona la solarizzazione con film plastici su fragola.* Colture Protette 5, 87-95.

Daponte T., 1992. *Co-extruded films in silage.* Plasticulture 96, 35-44.

Dartiguepeyrou R., 1986. *EVA for cladding plastics structures. What to choose?* Plasticulture 70, 19-26.

Dauplé P., 1979. *The technique of semi-forcing. Ventilation of low tunnels.* Plasticulture 43, 3-19.

Davies D.H.K., Drysdale A., McKinlay R.J., Dent J.B., Williams G.H., 1993. *Novel approaches to mulches for weed control in vegetables.* Proceedings of a conference on crop protection in Northern Britain, Dundee, UK, 23-25 March 1993, 271-276.

De Carsalade B., 1982. *Applications in agriculture and horticulture.* Plasticulture 54, 40-41.

De Halleux D., Nijskens J., Deltour J., Coutisse S., Nisen A., 1985. *Effet de la condensation sur les transferts thermiques des couvertures des serres: cas du verre et du polyethylene.* Plasticulture 66.

Del Corso G., Lercari B., 1997. *Use of UV radiation for control of height and conditioning of tomato transplants (*Lycopersicon esculentum* Mill.).* Scientia Horticulturae 71 (1/2), 27-34.

Delwiche S.R., Willits D.H., 1984. *The effect of condensation on heat transfer through polyethylene films.* Transactions of the ASAE, 1476-1482.

D'Emilio A., 2006. *Efficienza termica di un film verde per la solarizzazione sotto serra.* Colture Protette 11, 67-76.

De Salvador F.R., Scarascia-Mugnozza G., Vox G., Schettini E., Mastrorilli M., Bou Jaoudé M., 2008. *Innovative photoselective and photoluminescent plastic films for protected cultivation.* Acta Horticulturae (ISHS) 801, 115-122.

Desriac P., 1991. *The effect of pesticides on the life of greenhouse films.* Plasticulture 89, 9-16.

Destro M., De Corte D., 2003. *Smart additives for a larger production of roses.* Plasticulture 122, 71-79.

Díaz A., Lira S., 1988. *Memorias del curso: Uso de películas plásticas como arropado del suelo para la produccion agrícola.* PRONAPA, SARH, Gomez Palacio Durango pp 66-67.

Dilara P.A., Briassoulis D., 1998. *Critical review of testing methods for the mechanical properties of polyethylene films used as greenhouse covering materials.* Polymer Testing, 17 (8), 549-585.

Dilara P.A., Briassoulis D., 2000. *Degradation and stabilization of low-density polyethylene films used as greenhouse covering materials.* Journal of Agricultural Engineering Research 76: 4, 309-321.

Dimitrov P., Tzekleev G., 1998. *Early head cabbage under direct covers.* Bulgarian Journal of Agricultural Science 4 (5), 641-644.

Elad Y., 1997. *Effect of filtration of solar light on the production of conidia by field isolates of Botrytis cinerea and on several diseases of greenhouse-grown vegetables.* Crop Protection, 16, 635-642.

Eltez R.Z., Tüzel Y., 1994. *Effects of different mulch materials on yield and quality of greenhouse tomato crop.* Plasticulture 103 (1994/3), 23-25.

EN13206, 2001. *Covering thermoplastic films for use in agriculture and horticulture.*

Erez A., Yablowitz Z., Korcinski R., 1998. *Greenhouse peach growing.* Proceedings of the fourth international peach symposium, Bordeaux, France, 22-26 June 1997, Vol. 2. Acta Horticulturae 465, 593-600.

Espí E., Fontecha A., García-Alonso Y., Marín A., Salmerón A., 2004. *Advantages of EVA copolymers in film covers for greenhouses.* Plasticulture 123, 72-85.

Falleri F., Magnani G., 1991. *Film termici di copertura: valutazione delle caratteristiche principali.* Colture Protette 11, 85-93.

Favati F., Lovelli S., Galgano F., Miccolis V., Di Tommaso T., Candido V., 2009. *Processing tomato quality as affected by irrigation scheduling.* Sci Hortic 122, 562-571.

Favia A., 2002. *Verso plastiche utili ed ecocompatibili.* Colture Protette 2, 37-41.

Favilli R., Magnani G., 1985. *Materiali di copertura.* L'Italia Agricola 1, 70-87.

Fähnrich I., Meyer J., Von Zabeltitz C., 1989. *Influence of condensation on light transmission and heat transfer through greenhouse covering materials.* Plasticulture 84 (1989/4), 13-18.

Fereres A., Burrún R., Moreno A., Díaz B., Nebeda M., 2003. *Impact of ultraviolet-absorbing films on insect vectors of virus diseases infecting crisp lettuce.* Bulletin OILB/SROP 26 (10) Dijon: International Organization for Biological and Integrated Control of Noxious Animals and Plants (OIBC/OILB), West Palaearctic Regional Section (WPRS/SROP), 95-99.

Ferraresi A., Cascone M., Balloni A., 2010. *Evoluzione tecnologica nei film plastici per l'agricoltura.* Il Floricoltore 12, 35-38.

Feuilloley P., Gratraud J., 1995. *Optimisation of out of season cropping in mild winter greenhouses by crop diversification, quality improvment, and better use of means.* EC contract 8801 CT 90 0015, Final Report.

Feuilloley P., Guillaume S., Issanchou G., 1989. *The determination of Thermal Transparency of Plastics Materials for covering Greenhouses.* Plasticulture 81, 43-53.

Feuilloley P., Issanchou G., Jacques J.C., Guillaume S., Mekikdjian C., Mirabella J.F., Merlot A., 1994. *Effects of condensation on plastics films used for greenhouses.* Plasticulture 103 (1994/3), 2-10.

Feuilloley P., Mekikjjan C., Yard C., 1995. *Natural ventilation in low plastics tunnels in the Mediterranean zone.* Plasticulture 105, 21-24.

Filippi F., Botrini L., Marchetti L., Magnani G., 2010. *Nuovi film termici di copertura per la protezione della fragola.* Colture Protette 10, 80-84.

Filippi F., Magnani G., Bertolacci M., 2009. *Pacciamatura biodegradabile e irrigazione del cavolfiore.* Colture Protette 11, 66-72.

Filippi F., Magnani G., Bonora M., 2007a. *Film di copertura diversamente stabilizzati e produzione del pomodoro.* Colture Protette 7, 65-69.

Filippi F., Magnani G., Pinzauti M., Bonora M., 2007b. *Melone: film di copertura e attività impollinatrice delle api.* Colture Protette 10, 87-94.

Flechaire M., 1991. *Mater-Bi: un materiel thermoplastique biodegradable a base d'amidon.* Valorisation Industrielle non alimentaire des productions de grande culture. Paris (France) 20-21 Nov 1991.

Fletcher J.M., Tatsiopoulou A., Hardley P., Davis F.J., Henbest R.G.C., 2004. *Growth, yield and development of strawberry cv “Elsanta” under novel photoselective film clad greenhouses.* Protected cultivation 2002: in search of structures, systems and plant materials for sustainable greenhouse production, a proceedings of the XXVI International Horticultural Congress, Toronto, Canada, 11-17 August 2002. Acta Horticulturae (633) Leuven: International Society for Horticultural Science (ISHS), 99-106.

Foury C., 2003. *Direct covers: actual status and prospects.* Proceedings of the Sixth International Symposium on Protected Cultivation in Mild Winter Climate: Product and Process Innovation, Ragusa-Sicilia, Italy, 5-8 March 2002. Acta Horticulturae 614 (Vol 1) Leuven: International Society for Horticultural Science (ISHS), 335-339.

Gaillard F., 1990a. *L’ensilage en balles rondes sous film étirable.* Fourrages (123), 289-304.

Gaillard F., 1990b. *The use of stretch film with round bales of dry and wet hay: potential capacity, plastic consumption, preservation results, control of wrapping impermeability.* Proceedings of the 11th international congress on the use of plastics in agriculture. New Delhi, India, 26 February – 2 March 1990. Rotterdam: A.A. Balkema, D11-D18.

Galli P., 1998. *New polyolefins for advanced use in agriculture.* Plasticulture 117, 32-40.

Gamliel A, Stapleton J.J., 1997. *Improvement of soil solarization with volatile cogenerated from organic amendments.* Phytoparasitica 25 (suppl.) 3 IS-38S.

García-Macías P., Ordidge M., Vysini E., Waroonphan S., Battey N.H., Gordon M.H., Hadley P., John P., Lovegrove J.A., Wagstaffe A., 2007. *Changes in the flavonoid and phenolic acid contents and antioxidant activity of red leaf lettuce (Lollo Rosso) due to cultivation under plastic films varying in ultraviolet transparency.* Journal of Agricultural and Food Chemistry 55 (25) Washington: American Chemical Society, 10168-10172.

Garnaud J.C., 1987. *A survey of the development of plasticulture. Questions to be answered.* Plasticulture 74, 5-14.

Garnaud J.C., 2000. *“Plasticulture” magazine: A milestone for a history of progress in plasticulture.* Plasticulture 119, 30-43.

Garnaud J.C., Schales F.D., 1985. *Plastics in Chinese Agriculture.* Plasticulture 67, 17-26.

Gasper M., Benko Z., Dogossy G., Reczey K., Czigany T., 2005. *Reducing water absorption in compostable starch-based plastics.* Polymer Degradation and Stability, 90, 563-569.

Gatta G., Candido V., Miccolis V., Manera C., Margiotta S., 2002. *New formulations of plastic materials for soil mulching.* Italus Hortus 9: 6, 112-116.

Geeola F., Peiper U.M., Geoola F., 1994. *Outdoor testing of the condensation characteristics of plastic film covering materials using a model greenhouse.* Journal of agricultural Engineering Research, 57, 167-172.

George B., Kaur C., Khurdiya D.S., Kapoor H.C., 2004. *Antioxidants in tomato (*Lycopersicum esculentum*) as a function of genotype.* Food Chem 84, 45-51.

Gilby G.W., 1989. *Greenhouse cladding film developments.* Plasticulture 81, 19-28.

Gimenez C., Otto R.F., Castilla N., 2002. *Productivity of leaf and root vegetable crops under direct cover.* Scientia Horticulturae 94 (1/2) Amsterdam: Elsevier Science B.V., 1-11.

Giordano I., Pentangelo A., Graziani E., Fogliano V., 2003. *Effects of plastic screens on virus infection, yield and qualitative characteristics of small tomatoes.* Proceedings of the Sixth International Symposium on Protected Cultivation in Mild Winter Climate: Product and Process Innovation, Ragusa-Sicilia, Italy, 5-8 March 2002. Acta Horticulturae 614 (Vol 2). Leuven: International Society for Horticultural Science (ISHS), 735-740.

Giuntini D., Graziani G., Lercari B., Fogliano V., Soldatini G.F., Ranieri A., 2005. *Changes in carotenoid and ascorbic acid contents in fruits of different tomato genotypes*

related to the depletion of UV-B radiation. Journal of Agricultural and Food Chemistry 53 (8) Washington: American Chemical Society, 3174-3181.

Giuntini D., Lazzeri V., Calvenzani V., Dall'Asta C., Galaverna G., Tonelli C., Petroni K., Ranieri A., 2008. *Flavonoid profiling and biosynthetic gene expression in flesh and peel of two tomato genotypes grown under UV-B depleted conditions during ripening. Journal of Agricultural and Food Chemistry* 56 (14) Washington: American Chemical Society, 5905-5915.

Gómez R., Costa J., Amo M., Alvarruiz A., Picazo M., Pardo J.E., 2001. *Physicochemical and colorimetric evaluation of local varieties of tomato grown in SE Spain. J Sci Food Agr* 81, 1101-1105.

Gonzalez-Cebrino F., Lozano M., Ayuso M.C., Bernalte M.J., Vidal-Aragon M.C., Gonzalez-Gomez D., 2011. *Characterization of traditional tomato varieties grown in organic conditions. Spanish Journal of Agricultural Research* 9 (2), 444-452.

Goren M., Gazit M., 1996. *Review of the plastic industry and plasticulture in Israël. Plasticulture* 112, 3-14.

Grudzien K., 1994. *Timing of early carrots by means of direct covers. Seventh international symposium on timing field production of vegetables, Skierniewice, Poland, 23-27 Aug 1993. Acta Horticulturae* (371), 323-325.

Gugumus F., 1979. *Developments in the UV-Stabilization of polymers.* In: *Developments in Polymer Stabilization – 1* (Scott G. ed), p 1. Applied Science Publishers, London.

Gugumus F., 1990. *Light Stabilizers, Plastics Additives.* Third Edition, Gaechter, Mueller and Klemchuk, editors; Hanser Publishers, Munich, pages 129-270.

Gül A., Tüzel Y., 1992. *Effects of non-woven direct covers in carrot and lettuce production. Plasticulture* 93, 19-22.

Guo M., Horsey D., Lelli N., Bonora M., 1997. *Stabilization of agricultural films: past, present and future.* Polyolefins X Conference, Houston, Texas, 439-451.

Halley P., Rutgers R., Coombs S., Kettels J., Gralton J., Christie G., Jenkins M., Beh H., Griffin K., Jayasekara R., Lonergan G., 2001. *Developing Biodegradable mulch films from Starch-based polymers.* Starch, 53, 362-367.

Hancock M., 1988. *Mineral additives for thermal barrier plastics film.* Plasticulture 79 (1988/3), 4-14.

Hao X.M., Hale B.A., Ormrod D.P., 1997. *The effects of ultraviolet-B radiation and carbon dioxide on growth and photosynthesis of tomato.* Canadian Journal of Botany 75 (2), 213-219.

Hemming S., 2008. *Diffuse covering materials not only for warm climate.* Plasticulture 127, 24-39.

Hemming S., Van Os E.A., Hemming J., Dieleman J.A., 2006. *The effect of new developed fluorescent greenhouse films on the growth of *Fragaria x ananassa* "Elsanta".* European Journal of Horticultural Science 71 (4), 145-154.

Henninger F., 1992. In Handbook of Polymer Degradation (Hamid S.H., Amin M.B., Maadhah A.G. eds), pp 411-431.

Henninger F., Pedrazzetti E., 1988. *Aspects of greenhouse film stabilization.* Plasticulture 80 (4), 5-24.

Henninger F., Pedrazzetti E., 1990. *Evaluation of the light stability of greenhouse cover films.* Plasticulture 86, 6-20.

Henninger F., Roncaglione L.C., 1990. *Evaluation de las peliculas de invernadero expuestas en Brasil.* XII Congress Intern. De Plasticos en Agricultura, Barcellona, C3-C25.

Hernández Suárez M., Rodríguez Rodríguez E.M., Díaz Romero C., 2008. *Chemical composition of tomato (Lycopersicon esculentum) from Tenerife, the Canary Islands.* Food Chem 106, 1046-1056.

Hert M., Raviola F., 1982. *The structure of linear polyethylene and its properties.* Plasticulture 54, 32-39.

Hochmuth G., Stall W., Hopper R., 1993. *Certain pesticides can lead to premature degradation of polyethylene mulch in the field.* Plasticulture 100, 36-40.

Hoffmann S., Waaijemberg D., 2002. *Tropical and subtropical greenhouse – a challenge for new plastic films.* Proceedings of the international symposium on design and environmental control of tropical and subtropical greenhouses. Taichung, Taiwan, 15-18 April 2001. Acta Horticulturae (578) Leuven: International Society for Horticultural Science (ISHS), 163-169.

Honda Y., Toki T., Yunoki T., 1977. *Control of gray mold of greenhouse cucumber and tomato by inhibiting sporulation.* Plant. Dis. Rep. 61, 1041-1044.

Honda Y., Yunoki T., 1977. *Control of Sclerotinia disease of greenhouse eggplant and cucumber by inhibition of development of apothecia.* Plant. Dis. Rep. 61, 1036-1040.

Hoxey R.P., Richardson G.M., 1984. *Measurements of wind loads on full-scale film plastic clad greenhouse.* J. Wind Engng and Ind. Aerodyn 1984-16, 57-83.

Hoxey R.P., Robertson A.P., 1993. *Design developments in plastics greenhouse.* Plasticulture 97, 3-16.

Höhn E., 1989. *Round bale silage/Ensilage en balles rondes.* Technique Agricole 51 (8), 6-12.

Ilias I.F., Rajapakse N., 2005. *The effects of end-of-the-day red and far red light on growth and flowering of Petunia X hybrid "Countdown Burgundy" grown under photoselective films.* Hortscience 40 (1), 131-133.

Immirzi B., Malinconico M., Casale E., Mormile P., Shenker Y., 1998. *Testing of innovative co-extruded films in anticipated cultures in south Italy.* 14th International congress on plastics in agriculture, Tel Aviv, Israel, March 1997. Jerusalem: Laser Pages Publishing, 177-180.

Immirzi B., Malinconico M., Santagata G., Trautz D., 2008. *Characterization of Galactomannans and Cellulose Fibres Based Composites for New Mulching Spray Technology.* Proceedings of the International Symposium on High Technology for Greenhouse System Management. Acta Horticulturae 801, vol. I, 195-202.

Kaewruang W., Sivasithamparam K., Hardy G.E., 1989a. *Use of soil solarization to control root rots in gerberas (Gerbera jamesonii).* Biol. Fertil. Soils 8, 34-47.

Kaewruang W., Sivasithamparam K., Hardy G.E., 1989b. *Effect of solarization of soil within plastic bags on root rot of gerbera (Gerbera jamesonii).* Plant and Soil 120, 303-306.

Kaplan D.L., Mayer J.M., Ball D., McCassie J., Stenhouse S., 1993. *Biodegradable polymers and packaging.* (Edited by C.Ching, D.L. Kaplan and E.L. Thomas). Technomic Publishing Co., Lancaster, PA, USA.

Kása I., Túri G., Kelemen O., Vig A., Vabrik R., 1997. *Investigation of photostability of different types of luminophors in polyethylene films.* Plasticulture 115, 16-25.

Katan J., 1981. *Solar heating (solarization) of soil for control of soilborne pests.* Annual review of Phytopathology 19, 211-236.

Katan J., 1999. *The methyl bromide issue: problems and potential solutions.* Journal of Plant Pathology 81: 153-159.

Katan J., De Vay J.E., 1991. *Soil solarization*. CRC Press, Boca Raton.

Katan J., Greenberger A., Alon H., Grinstein A., 1976. *Solar-heating by polyethylene mulching for control of disease caused by soil-borne pathogens*. *Phytopathol.* 66, 683-688.

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

Kataoka I., Sugiyama A., Beppu K., 2003. *Role of ultraviolet radiation in accumulation of anthocyanin in berries of “Gros Colman” grapes (Vitis vinifera L.)*. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science* 72 (1) Kyoto: Japanese Society for Horticultural Science, 1-6.

Khan J.H., Hamid S.H., 1995. *Durability of HALS stabilized polyethylene film in a greenhouse environment*. *Polymer Degradation and Stability* 48, 137-142.

Kittas C., Baille A., 1998. *Determination of the spectral properties of several greenhouse cover materials and evaluation of specific parameters related to plant response*. *Journal of Agricultural Engineering Research* 71, 193-202.

Kittas C., Baille A., Giaglaras P., 1999. *Influence of covering material and shading on the spectral distribution of light in greenhouses*. *Journal of Agricultural Engineering Research* 73, 341-351.

Kittas C., Tchamitchian M., Katsoulas N., Karaiskou P., Papaioannou C., 2006. *Effect of two UV-absorbing greenhouse-covering films on growth and yield of an eggplant soilless crop*. *Scientia Horticulturae* 110, 30-37.

Kline W.L., Roberts W.J., Kania S.I., Johnston S.A., 1999. *Soil solarization to eliminate diseases from greenhouses*. *Plasticulture* 118, 35-41.

Kromer K.H., 1982. *Intensive growing using plastics mulches. A summary of experimental results*. *Gemuse* 18 (9), 278-282.

Kumagai T., 1982. *Blue and near ultraviolet reversible photoreaction in the induction of fungal conidiation.* Photochem. Photobiol. 35, 123-125.

Jaffrin A., 2002. *Rose blackening under various types of greenhouse covers.* Plasticulture 121 (3), 10-21.

Jaffrin A., Guion J., 1994. *The molecular origin of surface phenomena as affects the optical transmission of polymer films.* Plasticulture 102 (2), 41-57.

Jaffrin A., Morisot A., 1994. *Rôle de la structure porteuse, de la poussiere et de la condensation sur la transmission lumineuse de films de couverture de serre.* Plasticulture 101, 33-44.

Jaffrin A., Morisot A., Gartraud J., 1993. *Bénéfice d'un nettoyage des surfaces externes de films de couverture de serres/ Advantages of cleaning the external film surfaces of greenhouses.* CPA, 65, Rue de Prony, 75 Paris, Colloque de Colmar.

Javanmardi J., Kubota C., 2006. *Variation of lycopene, antioxidant activity, total soluble solids and weight loss of tomato during postharvest storage.* Postharvest Biol Technol 41, 151-155.

Jensen M.H., 1997. *Hydroponics.* Hortscience, vol 32 (6), 1018-1021.

Jeong S.W., Huh M.R., 2010. *Growth inhibition and seedling injury in response to UV spectra and irradiation timing in plug-transplants of pepper (*Capsicum annuum* L.) and tomato (*Solanum lycopersicum*).* Journal of the Japanese Society for Horticultural Science 79 (1) Kyoto: Japanese Society for Horticultural Science, 40-46.

Jouët J.P., 2001. *Plastics in the world.* Plasticulture 120, 108-126.

Jouët J.P., 2004. *The situation of plasticulture in the world.* Plasticulture 123, 48-57.

Kučera J., 1989. *The Overwintering of Vegetable Crops under Direct Covers.* Plasticulture 83, 33-36.

Kuo F.Y., 1996. *The effect of non-woven material on growth of vegetables.* Chinese Journal of Agrometeorology 3 (2), 111-119.

La Casa A., Guirao P., Guerrero M.M., Ros C., López-Pérez J.A., Bello A., Bielza P., 1999. *Alternatives to methyl bromide for sweet pepper cultivation in plastic greenhouses in south east.* 3rd International Workshop “Alternatives to Methyl Bromide for the Southern European Countries”, 7-10 Dicembre, Heraclion, Creta (Greece), 133-135.

Lagier J., Magnani G., Bonora M., 2000. *Agronomic evaluation in Italy and France of greenhouse films stabilized with a new HALS system.* 15th Intern. Congr. for Plastics in Agriculture (CIPA), Hershey Pennsylvania USA, 352-355.

Lagier J., Rooze A.K., Moens F., 1992. *Comparative agronomical experiment on greenhouse films stabilized with HALS and Nickel Quenchers.* Plasticulture 96, 29-34.

Lakshmana Rao C.B., Gopalaswamy C.R., Srinivasamurthy N., Chayapathy H.G., Raghuram N.S., 1990. *Role of LDPE as a geomembrane in pisciculture – a case study.* Proceedings of the 11th international congress on the use of plastics in agriculture, New Delhi, India, 26 February – 2 March 1990. Rotterdam: A.A. Balkema, C45-C51.

Lamont L.W. jr, 1993. *Plastic Mulches for the Production of Vegetable Crops.* Hortecchnology 3 (1) pp. 35-38 Kansas State University.

Lazzeri L., Manici L.M., 2001. *Allelopathic effect of glucosinolate-containing plant green manure on *Phythium* sp and total fungal population in soil.* Hortscience 36, 7, 1283-1289.

Leach M., 1962. *Sporulation of diverse species of fungi under near-ultraviolet radiation.* Can. J. Bot. 40, 151-161.

Leach M., 1967. *Interaction of near-ultraviolet light and temperature on sporulation of the fungi Alternaria, Cercospora, Fusarium, Helminthosporium and Stemphylium.* Can. J. Bot. 45, 808-812.

Leach M., 1971. *A practical guide to the effects of visible and ultraviolet light on fungi.* In: Methods in Microbiology, Vol.4 Ed. Academic Press, New York, 609-664.

Leach M., Trione E.J., 1966. *Action spectra for light-induced sporulation of the fungi Pleospora herbarum and Alternaria dauci.* Photochemistry and Photobiology 5, 621-630.

Lelli N., Bonora M., 1997. *New developments in agrofilms stabilization.* International Congress for Plastics in Agriculture, Tel Aviv, Israel.

Lelli N., Gugumus F., 1996. *New developments in agrofilms stabilization.* Plasticulture 111 (1996/3), 3-16.

Lemaire J., 1993. *Control of the weathering of polymers in plasticulture.* Plasticulture 97, 17-22.

Le Moine B., 2003. *Mulch films: Toward a new generation of rapidly decaying plastics.* Plasticulture 122, 96-103.

Lercari B., Bertram L., Nieri A., Bigonciari M., 2002. *Use of UV radiation for control of height and conditioning of greenhouse transplants.* Proceedings of the Fourth International ISHS Symposium on Artificial Lighting, Québec City, Canada, 7-9 November, 2000. Acta Horticulturae (580) Leuven: International Society for Horticultural Science (ISHS), 113-116.

Lercari B., Bretzel F., Piazza S., 1992. *Effects of UV treatments on stem growth of some greenhouse crops.* Acta Horticulturae (327), 99-104.

Lercari B., Sodi F., 1992. *Photomorphogenic responses to UV radiation. II: a comparative study of UV effects on hypocotyl elongation in a wild-type and an aurea mutant of tomato (Lycopersicon esculentum Mill.).* Photochemistry and Photobiology 56 (5), 651-654.

Li F.M., Wang J., Chen Y.P., Zou Z.R., Wang X.L., Yue M., 2006. *The combined effects of enhanced UV-B radiation and CO₂ concentration on the growth, fruit quality and yield of tomato in winter plastic greenhouse.* Journal of Wuhan Botanical Research 24 (1) Beijing: Science Press, 49-53.

Li S., Rajapakse N.C., Young R.E., 2003. *Far-red light absorbing photoselective plastic films affect growth and flowering of chrysanthemum cultivars.* Hortscience 38 (2), 284-287.

Li S., Rajapakse N.C., Young R.E., Oi R., 2000. *Growth responses of crisanthemum and bell pepper transplants to photoselective plastic films.* Scientia Horticulturae 84, 3-4, 215-225.

Lichtenthaler H.K., 1987. *Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic membranes.* Methods Enzymology 148, 350-382.

Lieftink D.A., Van Oosten R.M., 1986. *Geleidelijke verbetering van anticondensdruppelmaterialen / Gradual improvement of anti-drop materials.* Vakblad voor de bloemisterij, 41, 118-119.

Lima R., Bassi A., De Corte D., Pacheco V., 2006. *Stabilization of long life agricultural plastics for greenhouse covers.* Plasticulture 125, 19-33.

Lingvall P., Lindberg H., Jonsson A., 1990. *The impact of packing technique, plastic film and silage additives on round bale silage quality.* Soil grassland animal relationships. Proceedings of 13th general meeting of the European Grassland Federation, Banská Bystrica, Czechoslovakia, June 25-29, Volume 2. Banská Bystrica: Grassland Research Institute, 240-248.

Liu C.H., Han X.X., Cai L.Y., Lu X.Y., Ying T.J., Jiang Z.H., 2011. *Postharvest UV-B irradiation maintains sensory qualities and enhances antioxidant capacity in tomato fruit during storage.* Postharvest Biology and Technology 59 (3) Oxford: Elsevier Ltd, 232-237.

Liu C.H., Lu X.Y., Cai L.Y., Han X.X., Ying T.J., 2011. *Effects of UV-C irradiation to antioxidants of postharvest tomato during storage.* Nongye Jixie Xuebao. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery 42 (4) Beijing: Chinese Society of Agricultural Machinery, 116-119, 126.

Liu L.H., Zabaras D., Bennett L.E., Aguas P., Woonton B.W., 2009. *Effects of UV-C, red light and sun light on the carotenoid content and physical qualities of tomatoes during postharvest storage.* Food Chemistry 115 (2) Oxford: Elsevier, 495-500.

López C., 2003. *Solar radiation and agricultural plastic.* Plasticulture 122, 12-31.

López-Hernández J.C., Pérez-Parra J., 2006. *Evolution of greenhouse structures.* Plasticulture 125, 8-17.

Lopez-Marin J., Gonzalez A., Garcia-Alonso Y., Espi E., Salmeron A., Fontecha A., Real A.I., 2008. *Use of cool plastic films for greenhouse covering in Southern Spain.* Proceedings of the International Symposium on High Technology for Greenhouse System Management. GREENSYS 2007, Naples, Italy, 4-6 October 2007. Acta Horticultrae 801 (Vol 1), 181-186.

López-Medina J., Medina J.J., Palencia P., 2005. *Use of agricultural plastics in strawberry cultivations in Huelva (Spain).* Plasticulture 124, pag. 22-34.

Lörcks J., 1998. *Properties and applications of compostable starch-based plastic material.* Polymer Degradation and Stability, 59, 245-249.

Lozano-González M.J., González-Cantú M.C., González de los Santos E.A., 1996a. *Growing lettuces in greenhouses clad with polychromatic films.* Plasticulture 110 (1996/2), 15-22.

Lozano-González M.J., González-Cantú M.C., González de los Santos E.A., 1996b. *Use of polychromatic polypropylene films for greenhouses in lettuce cultivation.* Plasticulture 111 (1996/3), 36-42.

Lozano-González M.J., González de los Santos E.A., 1999. *Degradation of polyethylene films for greenhouses: the effect of Thermo and Photo Chromatic Additives.* Plasticulture 117, 3-11.

Luckens R.J., 1966. *Interference of low temperature with the control of tomato early blight through use of nocturnal illumination.* Phytopathology 56, 1430-1431.

Lugasi A., Bíró L., Hóvárie J., Sági K.V., Brandt S., Barna É., 2003. *Lycopene content of foods and lycopene intake in two groups of the Hungarian population.* Nutrition Research 23, 1035-1044.

Luthria D.L., Mukhopadhyay S., Krizek D.T., 2006. *Content of total phenolics and phenolic acids in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) fruits as influenced by cultivar and solar UV radiation.* Journal of Food Composition and Analysis 19 (8) Amsterdam: Elsevier, 771-777.

Lykas C., Petsani D., Kittas C., Papafotiu M., 2006. *Effect of a red to far red light filtering plastic film on growth of gardenia (*Gardenia jasminoides*).* Proceedings of the 5th International Symposium on Artificial Lighting in Horticulture, Lillehammer, Norway, 21-24 June 2005. Acta Horticulturae (711) Leuven: International Society for Horticultural Science (ISHS), 399-404.

Magnani G., 1987. *Agronomical performance of new LDPE and EVA films with mineral fillers two years research.* Plasticulture 76, 5-18.

Magnani G., 1993. *I materiali di copertura rigidi e flessibili.* Colture Protette 7/8, 25-33.

Magnani G., 1999. *Film di copertura: la nuova norma UE.* Colture Protette 11, 33-39.

Magnani G., 2004a. *Film di copertura innovativi per le colture protette.* "I Georgofili" – Atti dell'Accademia dei Georgofili, serie VIII, vol I, tomo II, 213-238.

Magnani G., 2004b. *Film di copertura a durata predefinita, una scelta ragionata.* Colture Protette 10, 63-70.

Magnani G., Bonora M., 2000. *Greenhouse Films stabilized with improved HALS stabilizers.* Plasticulture 119, 83-101.

Magnani G., Bonora M., Destro M., Filippi F., 2004a. *Nuovi film luminescenti di copertura, primi risultati su colture orto-floricole.* Colture Protette 2, 89-95.

Magnani G., Bonora M., Destro M., Filippi F., 2007a. *Effetti del film luminescente rosso sulla produzione di garofano.* Colture Protette (36) 4, 72-80.

Magnani G., Bonora M., Landuzzi A., 2003. *Agronomical evaluation of covering films based on innovative light stabilizer systems.* Proceedings of the Sixth International Symposium on Product and process innovation for protected cultivation in mild winter climate. Ragusa, Italy, 5-8 March 2002, ISHS, Acta Horticulturae 614, 415-420.

Magnani G., Bonora M., Lelli N., 1997. *Nuovi film di copertura: prime valutazioni agronomiche.* Colture Protette 25 (12): 85-92.

Magnani G., Fabbri A., 1993. *Ricerche su un film “fluorescente” per copertura.* Colture Protette 6, 69-74.

Magnani G., Filippi F., 2006. *Un film di copertura a microsfere in vetro.* Colture Protette 9, 85-92.

Magnani G., Filippi F., 2009. *Film adatti per ogni pianta.* Colture Protette 6, 50-56.

Magnani G., Filippi F., Graifenberg A., Bertolacci M., 2005. *Valutazione agronomica di film biodegradabili per la pacciamatura.* Colture Protette 1, 59-68.

Magnani G., Filippi F., Marchetti L., Ferraresi A., Cascone M., 2011. *Nuovo film termico PE/EVA-PA per la copertura delle serre. Risultati su pomodoro.* Colture Protette 10, 86-93.

Magnani G., Filippi F., Pinzauti M., Bonora M., Calderisi M., 2007b. *Film di copertura e attività dei bombi in serra.* Colture Protette 8, 73-83.

Magnani G., Graifenberg A., Filippi F., Marroni E., 2003. *Pacciamatura colorata e tessuto non tessuto per lo zucchini in piena aria.* Colture Protette 8, 51-56.

Magnani G., Oggiano N., 1990. *Valutazione agronomica di "film termici" multistrato LDPE-EVA per la copertura delle serre.* Colture Protette 1, 81-85.

Magnani G., Perrone C., Servi G., 1985. *Film plastici in polietilene lineare diversamente stabilizzati per le colture protette.* Colture Protette 10, 39-46.

Maharaj R., Arul J., Nadeau P., 2010. *UV-C irradiation of tomato and its effects on color and pigments.* Advances in Environmental Biology 4 (2) Ma'an: American-Eurasian Network for Scientific Information, 308-315.

Maiero M., Schales F.D., Ng T.J., 1987. *Genotype and Plastic Mulch Effects on Earliness, Fruit, Characteristics, and Yield in Muskmelon.* Hortscience 22 (5): 945-946.

Malinconico M., 2005. *Verso film plastici meno costosi.* Colture Protette 10, 51-52.

Malinconico M., Immirzi B., Massenti S., La Mantia F.P., Mormile P., Petti L., 2002. *Blends of polyvinylalcohol and functionalized polycaprolactone. A study on the melt extrusion and post-cure of films suitable for protected cultivation.* Journal of Materials Science, 37, 4973-4978.

Malinconico M., Immirzi B., Santagata G., Schettini E., Vox G., Scarascia Mugnozza G., 2007. In: H.W. Moeller (Ed.) *Progress in Polymer Degradation and Stability Research.* Nova Science Publishers, NY USA.

Malorgio F., Incrocci L., Dimauro B., Pardossi A., 2008. *La tecnica della coltivazione fuori suolo*. Progetto Interregionale “Orticoltura” 2001-2004. Sottoprogetto “Colture protette”. 144 pp.

Manera C., Margiotta S., Picuno P., 1999. *Film plastici innovativi e biodegradabili per le colture protette*. *Colture Protette*, 28 (4), 59-64.

Mansour N.S., Hemphill D.D., 1986. *Floating covers promise increased returns for Northwest USA vegetable growers*. *Plasticulture* 70, 45-51.

Martin-Closas L., Bach M.A., Pelacho A.M., 2008. *Biodegradable mulching in an organic tomato production system*. Proceedings of the International Symposium on sustainability through integrated and organic horticulture, IHC 2006, Seoul, Korea. *Acta Horticulturae* 767, 267-274.

Martin Vincente L., 1989. *Quality control of plastics used in Spanish agriculture*. *Plasticulture* 82, 23-32.

Martínez-Valverde I., Periago M.J., Provan G., Chesson A., 2002. *Phenolic compounds, lycopene and antioxidant capacity in commercial varieties of tomato (*Lycopersicum esculentum*)*. *J Sci Food Agr* 82, 323-330.

Mass E.M.C., Kotze J.M., 1990. *Crop rotation and take-all of wheat in South Africa*. *Soil Biol. Biochem* 22 (4), 489-494.

Mata D.A., Botto J.F., 2009. *Manipulation of light environment to produce high-quality poinsettia plants*. *Hortscience* 44 (3), 702-706.

Materazzi A., Triolo E., Vannacci G., Scaramuzzi G., 1987. *Impiego della solarizzazione del terreno per il controllo del “marciume del colletto” della lattuga in serra*. *Colture Protette* 10, 51-53.

Maync A., Rohlfing H.R., 1986. *Efficient utilization of flat plastics covers systems in early vegetable field production.* Plasticulture 69, 9-18.

Mazollier C., 2001. *Paillages biodegradables en maraichage.* PHM Revue Horticole, 42, 16-20.

McCree K., 1972. *The action spectrum, absorptance and quantum yield of photosynthesis in crop plants.* Agricultural Meteorology, 9, 191-216.

Medany M.A., Hassanein M.K., Farag A.A., Tüzel Y., Öztekin G.B., Meric M.K., 2009. *Effect of black and white nets as alternative covers to sweet pepper production under greenhouses in Egypt.* Acta Horticulturae 807 (Vol 1). Leuven: International Society for Horticultural Science (ISHS), 121-126.

Mermier M., Baille A., 1988. *The optical properties of plastics materials for greenhouses and screens.* Plasticulture 77, 11-24.

Mermier M., Reyd G., Simon J.C., Boulard T., 1995. *The microclimate under Agryl P17 for growing lettuce.* Plasticulture 107, 4-12.

Miccolis V., 2000. *Impiego di film plastici innovativi per la pacciamatura e la solarizzazione del terreno in ambiente protetto.* Atti Conv. Impiego in agricoltura di plastiche innovative biodegradabili per la solarizzazione del terreno, Matera, 14-17 giugno 2000, 21-27.

Miguel A., Silva A.M., Rosa R., 1994. *Solar radiation inside a single-span greenhouse with shading screens.* Journal of Agricultural Engineering Research, 59, 61-72.

Minuto G., Bruzzone C., Guerrini S., Farachi F., Garibaldi A., 2002a. *Lotta alle malerbe in orticoltura con pacciamatura biodegradabile.* Informatore Fitopatologico – La difesa delle piante, 52 (1), 24-30.

Minuto G., Frumento A., Versari M., Farachi F., Garibaldi A., 2002b. *Impiego della pacciamatura con film biodegradabili per la lotta alle malerbe in orticoltura.* Atti “Incontri Fitoiatrici”, Grugliasco 5-6 settembre 2001, 121-125.

Minuto A., Gullino M.L., 1999. *Le alternative al bromuro di metile per la disinfestazione del terreno.* Cassetta audiovisiva. Università di Torino – Di. Va. P.R.A., Gallo Audiovisivi S.n.c. Savona n.cat. 001/99.

Mladenov I., Solakov I., Kishovski N., Solakova D., Ivanov S., 1988. *New stabilizer systems for polyethylene films. The effect on the microclimate.* *Plasticulture* 79 (1988/3), 15-21.

Monteiro J.E.B.A, Da Silva I.J.O., Piedade S.M., 2002. *Perforated plastic film for low tunnels cultivated with lettuce/ Filme plástico perfurado em túneis baixos cultivados com alface.* *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 6 (3) Campina Grande: Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal da Paraíba, 535-538.

Montero A., Lanca C., Rosa A., Joardo A., Portas C.M., 1988. *Evolution of arid issues associated with economically useful plastic greenhouses for production in the portuguese mild winter.* *Hortscience* 23(4), 665-668.

Montero J.I., Antón A., 2003. *Tomato response to high light transmission film used as a covering material for greenhouses.* *Proceedings of the Sixth International Symposium on Protected Cultivation in Mild Winter Climate: Product and Process Innovation, Ragusa-Sicilia, Italy, 5-8 March 2002.* *Acta Horticulturae* 614 (Vol 1), 401-405.

Montero J.I., Antón A., Muñoz P., 1999. *Performance of an insect-proof screen as covering material in a greenhouse with improved opening surface.* *Agricultura Mediterranea* 129 (1), 5-12.

Montero J.I., Antón A., Muñoz P., 2005. *Tomato Response of High Light Transmission Greenhouse Film.* *Plasticulture* 124, 80-89.

Mor Y., Zieslin N., 1990. *UV-induced blackening of rose petals.* Environmental and Experimental Botany 30 (4), 455-462.

Moreno M.M., Moreno A., 2008. *Effect of different biodegradable and polyethylene mulches on soil properties and production in a tomato crop.* Scientia Horticulturae 116, 3, 256-263.

Moreno M.M., Moreno A., Mancebo I., Villena J., 2006. *Materials for mulching in tomato cultivation.* Horticultura Internacional 13-51, 10-18.

Mormile P., Petti L., Rippa M., Immirzi B., Malinconico M., Santagata G., 2007. *Monitoring of the degradation dynamics of agricultural films by IR thermography.* Polym. Degrad. Stabil. 92, 777-784.

Mosch G., 1998. *What is important for plastics for silage cover/Worauf Sie bei Silofolien achten sollten.* Milchpraxis 36 (2), 76-77.

Mougou R., Mougou A., Ben Mechlia N., 1989. *Comparative Study of Greenhouse Covers with and without Thermal Screens.* Plasticulture 81 (1989/1), 37-42.

Munguia-López J., Quezada R., Zermeño G.A., Peña V., 1997. *Plastic mulch effect on the spatial distribution of solutes and water in the soil profile and relationship with growth and yield of muskmelon crop.* Plasticulture 116, 27-32.

Murakami K., Cui H., Kiyota M., Aiga I., 1995b. *The design of special covering materials for greenhouses to control plant elongation by changing spectral distribution of daylight.* Greenhouse environment control and automation. Proceedings of the XXIV international horticultural congress held in Kyoto, Japan, 21-27 August 1994. Acta Horticulturae 399, 135-142.

Murakami K., Cui H., Kiyota M., Aiga I., Yamane T., 1997. *Control of plant growth by covering materials for greenhouses which alter the spectral distribution of transmitted light.*

Proceedings of the second workshop on environmental regulation of plant morphogenesis, Wellesbourne, UK, 8-10 May 1996. *Acta Horticulturae* 435, 123-130.

Murakami K., Cui H., Kiyota M., Takemura Y., Oi R., Aiga I., 1996. *Covering materials to control plant growth by modifying the spectral balance of daylight.* *Plasticulture* 110, 2-14.

Murakami K., Nakamura R., Kodama K., Cui H., Kiyota M., Aiga I., 1995a. *The development of covering materials to control plant growth by changing the red/far red photon flux ratio of natural radiation. Design of materials.* *Environment Control in Biology* 33 (1), 31-36.

Murakami K., Oi R., Takemura Y., Ben-Yehoshua S., 1998. *Effect of growth retardants used with R/Fr control covering materials.* 14th International Congress on Plastics in Agriculture, Tel Aviv, Israel, March 1997, Laser Pages Publishing, 245-250.

Ngouajio M., Auras R., Fernandez R.T., Rubino M., Counts J.W. jr, Kijchavengkul T., 2008. *Field performance of aliphatic-aromatic copolyester biodegradable mulch films in a fresh market tomato production system.* *Hortechonology* 18: 4, 605-610.

Nicot P.C., Mermier M., Vaissière B.E., Lagier J., 1996. *Differential spore production by Botrytis cinerea on agar medium and plant tissue under near-ultraviolet light-absorbing polyethylene film.* *Plant Disease*, 80, 555-558.

Nisen A., 1988. *Charles Baron, pionnier de la plasticulture europeenne.* *Plasticulture* 77, 54.

Nishiguchi I., 1999. *Effect of ultraviolet radiation absorbing film in pollination work of foreign bumblebee (Bombus terrestris)*” *Bulletin of the Mie Agricultural Technical Center (Japan)*, 26, 7-12.

Noda T., Suzuki H., Matsumura S., 1991. *Variation of soil temperatures under direct covers in a cultivated field.* *Kagawa Daigaku Nogakubu Gakuzyutu Hokoku. Technical Bulletin of the Faculty of Agriculture, Kagawa University* 43 (1), 65-75.

Noto G., 1994. *Soil solarization in greenhouse: effects on tomato crops.* Acta Horticulturae (ISHS) 357, 237-242.

Novoplansky A., Sachs T., Cohen D., Bar R., Bodenheimer J., Reisfeld R., 1990a. *Increasing plant productivity by changing the solar spectrum.* Solar Energy Material 21, 17-23.

Novoplansky A., Shoshany H., Assenhaim D., Schnizer M., Eyal M., Chernyak V., Reisfeld R., Segal I., 1990b. *Greenhouse cover for morphogenetic signaling.* Proceedings of the international seminar and British-Israel workshop on greenhouse technology, Bet Dagan, 119-129.

Odriozola-Serrano I., Soliva-Fortuny R., Martín-Belloso O., 2008. *Effect of minimal processing on bioactive compounds and color attributes of fresh cut tomatoes.* LWT-Food Sci Technol 41, 217-226.

O'Kiely P., Forristal D., Lenehan J.J., 2000. *Forage dry matter concentration, bale density and the quantity of plastic wrap used as a factors affecting baled silage.* Beef from grass and forage. Reading: British Grassland Society (BGS), 131-135.

Olsen J.K., Gounder R.K., 2001. *Alternatives to polyethylene mulch film, a field assessment of transported materials in capsicum (Capsicum annuum L.).* Australian Journal of Experimental Agriculture 41: 1, 93-103.

Onesirosan P.T., Banttari E.E., 1969. *The effect of light and temperature upon sporulation of Helminthosporium teresi in culture.* Phytopatology 59, 906-909.

Ordidge M., García-Macías P., Battey N.H., Gordon M.H., Hardley P., John P., Lovegrove J.A., Vysini E., Wagstaffe A., 2010. *Phenolic contents of lettuce, strawberry, raspberry, and blueberry crops cultivated under plastic films varying in ultraviolet transparency.* Food Chemistry 119 (3) Oxford: Elsevier, 1224-1227.

Oren-Shamir M., Gussakovsky E.E., Spiegel E., Nissim-Levi A., Ratner K., Ovadia R., Giller Y.E., Shahak Y., 2001. *Coloured shade nets can improve the yield and quality of green decorative branches of Pittosporum variegatum.* Journal of Horticultural Science e Biotechnology 76 (3), 353-361.

Osman A.R., Saheb A.F., 1983. *Control of Rhizoctonia solani by soil solarization.* Acta Horticulturae 152: 245-251.

Ovadia R., Dori I., Nissim-Levi A., Shahak Y., Oren-Shamir M., 2009. *Coloured shade nets influence stem length, time to flower, flower number and inflorescence diameter in four ornamental cut-flower crops.* Journal of Horticultural Science & Biotechnology 84 (2), 161-166.

Oyaert E., Volckaert E., Debergh P.C., 1999. *Growth of chrysanthemum under coloured plastic films with different light qualities and quantities.* Scientia Horticulturae 79 (3/4), 195-205.

Pacini L., 1985. *Plastics specified for improvement of protected crops: the Italian standard mark.* Plasticulture 65, 11-16.

Pacini L., 1993. *Plasticulture in Italy.* Plasticulture 100, 13-16.

Pacini L., 1998. *Technological and legislative updating for plastic materials used in agriculture.* Plasticulture 117, 25-31.

Pacini L., 2004. *L'uso delle plastiche in agricoltura nel 2002.* Colture Protette 11, 44-46.

Panagopoulos I., Bornman J.F., Bjorn L.O., 1992. *Response of sugar beet plants of ultraviolet-B (280-320 nm) radiation and Cercospora leaf spot disease.* Physiol. Plant. 84, 140-145.

Papadakis G., 1989. *Experimental analysis and dynamic simulation of the greenhouse microclimate.* (In Greek). PhD thesis, Agricultural University of Athens, Greece, 166 pp.

Papadakis G., Briassoulis D., Mugnozza G.S., Vox G., Feuilleley P., Stoffers J.A., 2000. *Radiometric and thermal properties of, and testing methods for, greenhouse covering materials.* Journal of Agricultural Engineering Research 77: 1, 7-38. 59 ref.

Papadakis G., Frangoudakis A., Kyritsis S., 1986. *A model for the calculation of direct and diffuse light transmission in greenhouses.* Proceedings of the 2nd International Conference “Energy & Agriculture”, Sirmione/Brescia, Italy, Vol. 3, 265-276.

Papadakis G., Manolakos D., Kyritsis S., 1998. *Solar radiation transmissivity of a single span greenhouse through measurements on scale models.* Journal of Agricultural Engineering Research, 71, 331-338.

Papasett P., Badiolo J., Armengol E., 1997. *Plastics and agriculture.* Ediciones de Horticultura, S.L., Reus 1997, pp. 208.

Pardossi A., Malorgio F., Incrocci L., Tognoni F., 2005. *Hydroponic technologies for greenhouse crops.* In Crops: Growth, Quality, and Biotechnology: current status and future prospects. R. Dris (Ed.), Worl Food Ltd, WFL Publisher Science & Tecnology, Helsinki, Finland.

Park H.B., Kim J.C., Kwon S.W., Kon J.S., Kong S.W., Wang K.H., 1999. *Effect of soft covering films on fruit vegetable production in greenhouse.* Journal of the Korean Society for Horticultural Science 40, 2, 200-204.

Pasotti P.P., Bolognesi S., 2004. *Prestazioni di film per la pacciamatura.* Informatore Agrario 60: 2, 57-59.

Pasquini N., 1998. *Technological and market development of new polyolefinic materials.* Plasticulture 117, 41-47.

Patel D.J., Patel H.V., Patel S.K., 1991. *Comparative efficacy of LDPE films covers for soil solarization in control of root-knot nematodes in tomato nurseries.* Plasticulture 91 (1991/3), 33-36.

Patel D.J., Patel H.V., Patel S.K., Makwana M.G., 1990. *Soil solarization through clear polyethylene tarping for management of root-knot disease in tobacco nursery.* Proceedings of XI International Congress on the use of plastics in Agriculture held at New Delhi on Feb 26 – March 2, PP E 111-116.

Pentangelo A., Carboni A., Grassi G., Giordano I., Ragozzino A., 1999. *Use of agri-fabric tissue to protect processing tomato from CMV e TSWV.* Proceedings of the Sixth International ISHS Symposium on the Processing Tomato and the Workshop on Irrigation and Fertigation of Processing Tomato, Pamplona, Spain, 25-29 May 1998. Acta Horticulturae (487), 171-178.

Pérez C.P., Ulrichs C., Huyskens-Keil S., Schreiner M., Krumbein A., Schwarz D., Kläring H.P., 2009. *Composition of carotenoids in tomato fruits as affected by moderate UV-B radiation before harvest.* Proceedings of the International Symposium on Tomato in the Tropics, Villa de Leyva, Colombia, 9-13 September 2008. Acta Horticulturae (821) Leuven: International Society for Horticultural Science (ISHS), 217-221.

Pieters J., 1991. *Lichtinterceptie door condensatie druppels op plastics – Modelmatige benadering / PAR interception by condensation droplets on plastics – Modelling approach.* Master's thesis Faculteit Landbouwwetenschappen, Gent, 141 pp.

Pieters J., 1996. *Condensation and PAR transmittance of greenhouses.* Plasticulture 112 (1996/4), 23-31.

Pieters J., Balemans L., 1992. *PAR interception by condensation droplets on plastics: theoretical advances.* Actas del XII Congreso internacional de plasticos en agricultura, Granada (España), 3-8 Mayo 1992, B 132-138.

Pieters J., Deltour J., Debruyckere M., 1996. *Numerical method for the determination of the geometry and PAR transmittance of real drops on transparent materials.* Journal de Physique, 6, 975-989.

Plaisier H.F., 1991. *The importance of aluminised LS-Screens for the growth of tomatoes, peppers and aubergines in unheated greenhouses.* Plasticulture 90 (1991/2), 19-28.

Poch J.F., 2007. *Effects of the cold or antithermal plastic greenhouses in the inter tropical zone.* Plasticulture 126, 20-35.

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

Poll J.T.K., 1990. *Effects of low plastic tunnels on earliness, production and quality of green asparagus in the Netherlands.* Asparagus Research Newsletter 7 (2), 1-4.

Printz P., 1992. *Long life greenhouse films.* Plasticulture 96 (1992/4), 17-20.

Printz P., 1995. *Tunnels 4 and 5 metres wide: a simple and useful equipment.* Plasticulture 108, 39-43.

Prinzivalli C., D'Anna F., Rosati C., 2001. *Solarizzazione con film plastici per la fragola in alternativa al bromuro di metile.* L'Informatore Agrario 37, 55-57.

Pullman G.S., De Vay J.E., Elmore C.L., Hart W.H., 1984. *Soil solarization a non-chemical method for controlling diseases and pests.* UC Division of Agric. 8 Natural Resources. Leaflet 21337.

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

Quail P.H., Boylan M.T., Parks B.M., Short T.W., Xu Y., Wagner D., 1995. *Phytochromes: Photosensory perception and signal transduction*. Science 268: 675-680.

Quesada F.M., Hernández J., Morales M.I., Castilla N., 1992. *Semi-protected techniques (direct cover) evaluation in the watermelon (Citrullus vulgaris Schrad) crop*. XII Congreso internacional de plásticos en agricultura. Proceedings of a conference held in Granada, Spain, on 3-8 May 1992. Madrid: Comité Español de Plásticos en Agricultura, E 83-91.

Quezada-Martín M.R., Munguia-López J., De La Rosa-Ibarra M., 2004. *The effects of photo-selective mulching in the development and yield of vegetables*. Plasticulture 123, 30-45.

Quezada-Martín M.R., Munguia-López J., Sánchez-Valdés S., 1997. *Photodegradable and photobiodegradable films for mulching melons*. Plasticulture 113, 11-19.

Rabek J.F., 1983. In: *The Effects of Hostile Environments on Coatings and Plastics* (Garner D.P., Stahl G.A., eds), pp 291-307 ACS Symposium Series.

Rabek J.F., 1995. In: *Polymer Photodegradation. Mechanism and Experimental Methods*, pp. 73. Chapman & Hall, London.

Raffo A., Leonardi C., Fogliano V., Ambrosino P., Salucci M., Gennaro L., Bugianesi R., Giuffrida F., Quaglia G., 2002. *Nutritional value of cherry tomatoes (Lycopersicon esculentum cv Naomi F1) harvested at different ripening stages*. J Agr Food Chem 50, 6550-6556.

Rajapakse N.C., Cerny T., Li S.M., Oi R., 2001. *Alteration of greenhouse light environment by photoselective covers to produce compact plants*. Proceedings of the Fifth International Symposium on Protected Cultivation in Mild Winter Climates: Current Trends for Sustainable Technologies, Cartagena-Almeria, Spain, 7-11 march 2000. Vol. 1. Acta Horticulturae (559) Leuven: International Society for Horticultural Science (ISHS), 243-248.

Rajapakse N.C., Li S., 2004. *Exclusion of far red light by photoselective greenhouse films reduces height of vegetable seedlings*. Issues and advances in transplant production and stand

establishment research, a proceedings of the XXVI International Horticulturae Congress, Toronto, Canada, 11-17 August 2002. Acta Horticulturae (631) Leuven: International Society for Horticultural Science (ISHS), 193-199.

Rajapakse N.C., Young R.E., Mc Mahon M.J., Oi R., 1999. *Plant height control by photoselective filters: current status and future prospects.* Hortechonology 9: 618-624.

Ramirez A.R., Torres G.A., 1995. *Effecto de un plastico fotoselectivo y de una pantalla climatica en la enfermedad causada por el hongo Botrytis cinerea Pers. y en el negreamento de los petalos en un cultivo de rosas (Rosa hybrida).* Agronomia Colombiana 12 (2), 127-133.

Rapisarda C., Tropea G., Colombo A., Cascone G., Mazzarella R., Serges T., 2006. *UV-absorbing plastic films for the control of Bemisia tabaci (Gennadius) on tomato yellow leaf curl disease (TYLCD) in protected cultivations in Sicily (South Italy).* Proceedings of the International Symposium on Greenhouse Cooling, Almeria, Spain, 24-27 April 2006. Acta Horticulturae 719, 597-604.

Ravinder K., Srivastava B.K., 1998a. *Effect of low plastic tunnels on the incidence of late blight of tomato.* Crop Research (Hisar) 15 (2/3), 279-280.

Ravinder K., Srivastava B.K., 1998b. *Effect of low plastic tunnels on the quality parameters of winter tomato.* Indian Journal of Agricultural Research 32 (4), 239-242.

Raviv M., 1988. *Ultraviolet radiation effect on blackening of rose petals.* Applied Agricultural Research 3 (5), 302-304.

Raviv M., Allingham Y., 1983. *Characteristics of modified polyethylene films.* Plasticulture 59, 3-12.

Raviv M., Reuveni R., 1998. *Fungal photomorphogenesis: a basis for the control of foliar diseases using photoselective covering materials for greenhouse.* HortScience 33 (6), 925-929.

Remotti D., De Vecchi M., 2006. *Possibilities to use different kinds of mulching materials on ornamental plants for urban green areas: experimental results.* Agricultura Mediterranea 136: 1, 20-29.

Resh H.M., 1998. *Hydroponic food production: a definitive guidebook of soilless food-growing methods.* 5° ed. Woodbridge Press Publishing Company, California, 527 pp.

Reuveni R., Raviv M., 1992. *The effect of spectrally-modified polyethylene films on the development of Botrytis cinerea in greenhouse-grown tomato plants.* Biological Agriculture and Horticulture 9 (1), 77-86.

Reuveni R., Raviv M., 1997. *Control of downy mildew in greenhouse grown cucumbers using blue photoselective polyethylene sheets.* Plant Disease 81, 999-1004.

Reuveni R., Raviv M., Bar R., 1989. *Sporulation of Botrytis cinerea as affected by photoselective polyethylene sheets and filters.* Ann. Appl. Biol. 115, 417-424.

Reuveni R., Raviv M., Bar R., Ben-Efraim Y., Assenhaim D., Schnitzer M., 1994. *Developments of photoselective PE films for control of foliar pathogens in greenhouse-grown crops.* Plasticulture 102 (2), 7-16.

Richardson G.M., Westgate G.R., 1986. *Full-scale measurements of the wind loads on film plastics clad greenhouses: A comparison of measured and calculated strains on the supporting hoops of a tunnel greenhouse".* J. agric. Engng Res. 1986-33, 101-110.

Rodriguez A., De Vis R., Arbealez G., Fischer G., Angarita A., 1999. *Effect of a photoselective plastic and a climatic screen on the disease caused by Botrytis cinerea Pers. in a rose farm.* Proceedings of the International Symposium on Cut Flowers in the Tropics, Bogotá, Colombia, 14-17 October 1997. Acta Horticulturae 482, 227-233.

Rooze K., 1990. *Influencia de los pesticidas en la vida de las películas para cubierta de invernaderos.* XII Congress Intern. De Plasticos en Agricultura, Barcellona, C110-C111.

Rotem J., Cohen Y., Banshi E., 1978. *Host and environmental influences on sporulation in vivo.* Annual Review of Phytopathology 16, 83-101.

Rull F., Marin A., 2007. *The influence of metham-sodium on the degradation of films used as covers in greenhouses.* Plasticulture 126, 6-19.

Runckle E.S., Heins R.D., 2001. *Specific functions of red, far-red and blue light in flowering and stem extension of long-day plants.* J. Americ. Soc. Hort. Sci. 126 (3), 275-282.

Russo G., Scarascia Mugnozza G., Frisullo S., 2004. *Solarizzazione del terreno in pieno campo con film sperimentali e biodegradabili.* Colture Protette 4, 81-89.

Sánchez López S., Prado H.L., Ramirez E., Martinez J.G., 1994. *Long life films from blends of polyethylenes.* Plasticulture 102, 2-6.

Sánchez-Valdés S., Yañez-Flores I., Quezada-Martin R., Cedillo-García R., 1995. *Photodegradable polyethylene mulch films.* Plasticulture 106, 15-24.

Sasaki T., Honda Y., Umekawa M., Nenoto M., 1985. *Control of certain diseases of greenhouse vegetables with ultraviolet-absorbing vinyl film.* Plant. Dis. 69, 530-533.

Scarascia Mugnozza G.S., Castellano S., Roux P., Gratraud J., Robertson A., Palier P., Virel M.D., 2003a. *Snow shape coefficients for vaulted roof greenhouse structures.* Rivista di Ingegneria Agraria 34 (2) Bologna: Università di Bologna, Facoltà di Agraria, 3-12.

Scarascia Mugnozza G., Dal Sasso P., 2007. *Film biodegradabili: aumenta il loro impiego nelle colture protette.* Colture Protette 8, 85-94.

Scarascia Mugnozza G., Mancini L., Vox G., Schettini E., 2003b. *Fragola sotto tunnel con film sperimentali biodegradabili.* Colture Protette, 32 (10), 73-79.

Scarascia Mugnozza G., Vox G., Picuno P., 1999. *Metodologie di analisi territoriale in relazione all'uso di plastiche per le coltivazioni protette.* Atti del seminario sul tema "Le

colture protette: aspetti agronomici, territoriali e tecnico costruttivi". Ragusa, 24-26 giugno pp 313-326.

Schettini E., De Salvador F.R., Scarascia Mugnozza G., Vox G., 2010. *Film fotoselettivi e fotoluminescenti ed effetti sulla crescita delle piante.* Colture Protette 4, 68-72.

Schettini E., Vox G., Candura A., Malinconico M., Immirzi B., Santagata G., 2008a. *Starch-Based Films and Spray Coatings as Biodegradable Alternatives to LDPE Mulching Films.* Proceedings of the International Symposium on High Technology for Greenhouse System Management. Acta Horticulturae 801, I, 171-180.

Schettini E., Vox G., Scarascia-Mugnozza G., De Salvador F.R., 2008b. *Influence of the radiometric characteristics of innovative photoselective and photoluminescent plastic films on the growth of fruit trees.* Agricultural and biosystems engineering for a sustainable world. International Conference on Agricultural Engineering, Hersonissos, Crete, Greece, 23-25 June 2008. Silsoe: European Society of Agricultural Engineers (AgEng), OP-1165.

Schnabel W., 1981. *Polymer Degradation.* Hanser International, New York.

Schultz W., 1997. *Investigation of plastic films with different spectral properties for greenhouse covering.* Gartenbauwissenschaft 62 (1), 23-30.

Sciortino A., 2001. *Pacciamatura, a quali condizioni?* Colture Protette 30, 39-43.

Seginer I., Kantz D., 1989. *Night time use of dehumidifiers in greenhouse: an analysis.* J. Agric. Engng Res. (1989), 44, 141-158.

Serrano T.D., 2003. *Plastic covering for greenhouses: a wide range of possibilities.* Plasticulture 122, 50-62.

Shachar R., Stelman R., Efrat B., Ashkenazy Y., Lelli N., Ben-Yehoshua S., 1998. *Experiments with HALS stabilized LDPE agrifilms in rose greenhouses.* 14th International Congress on Plastics in Agriculture, Tel Aviv, Israel, March 1997, 673-683.

Shahak Y., Gussakovsky E.E., Cohen Y., Lurie S., Stern R., Kfir S., Naor A., Atzmon I., Doron I., Greenblat-Avron Y., 2004. *ColorNets a new approach for light manipulation in fruit trees.* Acta Horticulturae 636, 609-616.

Shahim E.A., Shepard J.F., 1979. *An efficient technique for inducing profuse sporulation of Alternaria species.* Phytopathology 69, 618-620.

Short T.H., Bauerle W.L., 1986. *Regional advantages of solanacea production in controlled environments.* Acta Horticulturae 191, 35-41.

Silveira H.L., Gomes R., Aguiar L., Caixinhas M.L., Bica J., Bica M., 1990. *Soil solarization under polyethylene film: cultivation of lettuce and onions.* Plasticulture 85, 1990/1, 35-42.

Siviero P., 2008. *Vivaismo orticolo, i materiali per una produzione moderna.* Colture Protette 8, 80-83.

Smith F.F., Webb R., 1969. *Repelling aphids by reflective surfaces, a new approach to the control of insect-transmitted plant viruses.* In: Viruses, vectors and vegetation, Maramorosch K. (Ed.) Interscience, 631-639.

Smith H., 1982. *Light quality, photoperception, and plant strategy.* Annual Reviews of Plant Physiology 33, 481-518.

Smith H.A., Koenigh R.L., Mc Auslane H.J., Mc Sorley R., 2000. *Effect of silver reflective mulch and a summer squash trap crop on densities of immature Bemisia argentifolii (Homoptera: Aleyrodidae) on organic bean.* Journal of Economic Entomology 93: 3, 726-731.

Snell H., Oberndorfer C., 2001. *Choice of the correct film for silage: effects of film colour and thickness on silage quality.* Mais 29 (2) Bonn: Deutsches Maiskomitee e. V., 80-82.

Snell H.G.J., Oberndorfer C., Lücke W., Van der Weghe H.F.A., 2002. *Effects of the colour and thickness of polyethylene film on ensiling conditions and silage quality of chopped maize, as investigated under ambient conditions and in mini-silos.* Grass and Forage Science 57 (4) Oxford: Blackwell Science, 2002, 342-350.

Snell H.G.J., Oberndorfer C., Lücke W., Van der Weghe H.F.A., 2003. *Effects of polyethylene colour and thickness on grass silage quality.* Grass and Forage Science 58 (3) Oxford: Blackwell Publishing, 2003, 239-248.

Solieri L., 2005. *Lo standard europeo per la costruzione delle serre.* Colture Protette 34 (2), 61-63.

Spagna G., Barbagallo R.N., Chisari M., Branca F., 2005. *Characterization of a tomato polyphenol oxidase and its role in browning and lycopene content.* J Agr Food Chem 53, 2032-2038.

Sportelli G.F., 2008. *Serre più produttive con i nuovi film plastici.* Colture Protette 7, 52-58.

Stanghellini C., 1991. *Effect of the major environmental factors on growth and production of greenhouse crop, with reference to Mediterranean conditions.* AGRIMED Research Programme, Report EUR 15123 EN, Workshop of Valencia (Spain), 20-21 November.

Stapleton J.J., De Vay J.E., 1982. *Effect of soil solarization on population of selected soil-borne microorganisms and growth of deciduous fruit tree seedling.* Phytopathol. 72 (3): 323-326.

Stapleton J.J., Quick J., De Vay J.E., 1985. *Soil solarization: Effects on soil properties crop fertilization and plant growth.* Soil Biol Biochem 17 (3): 369-373.

Stapleton J.J., Paplomatas E.J., Wakeman R.J., De Vay J.E., 1993. *Establishment of apricot and almond trees using soil mulching with transparent (solarization) and black polyethylene film: Effect on Verticillium wilt and tree health.* Plant Pathology 42, 3, 333-338.

Stefani L., Zanon M., Modesti M., Ugel E., Vox G., Schettini E., 2008. *Reduction of the environmental impact of plastic film for greenhouse covering by using fluoropolymeric materials.* Acta Horticulturae 801, 131-138.

Steinhöfel O., 2003. *Ensilage in plastic film tubes/Silierung in Folienschlauch.* Milchpraxis 41 (3) Gelsenkirchen Verlag Th. Mann, 156-159.

Streck N.A., Buriol G.A., Andriolo J.L., 1994. *Lettuce growth in low tunnels with perforated polyethylene film/ Crescimento da alface em túneis baixos com filme de polietileno perfurado.* Ciência Rural 24 (2), 235-240.

Taber H.G., 1993. *Early Muskmelon Production with Wavelength-Selective and Clear Plastic Mulches.* Hortotechnology 3 (1): 70-80.

Takaichi M., Shimaji H., Higashide T., 2000. *Effect of red/far-red photon flux ratio of solar radiation on growth of fruit vegetable seedlings.* Acta Horticulturae 514, 147-156.

Takakura T., 1989. *The climate inside the greenhouse.* 130 pp.

Tanaka I., Ishu Y., Ogura T., 1997. *A model experiment on reduction of greenhouse cooling load in the daytime using shading material against infrared radiation as covering material.* Environment Control in Biology 35 (1), 15-20.

Tatineni A., Rajapakse N.C., Fernandez R.T., Riech J.R., 2000. *Effectiveness of plant growth regulators under photoselective greenhouse covers.* J. Amer. Soc. Hort. Sci. 125 (6), 673-678.

Tesi R., 1992. *Cultivation in greenhouses in Italy. Present and future.* Plasticulture 93, 27-34.

Thompson K.A., Marshall M.R., Sims C.A., Wei C.I., Sargent S.A., Scott J.W., 2000. *Cultivar, maturity, and heat treatments on lycopene content in tomatoes.* J Food Sci 65, 791-795.

Toneatti P., 1988. *Material requirements in Agriculture and Horticulture markets.* Plasticulture 78, 2-8.

Toneatti P., 1989. *“Anti-fog” films. Facts and Fiction.* Plasticulture 84 (1989/4), 6-12.

Toor R.K., Savage G.P., 2005. *Antioxidant activities in different fractions of tomatoes.* Food Res Int 38, 487-494.

Toor R.K., Savage G.P., Lister C.E., 2006. *Seasonal variations in the antioxidant composition of greenhouse grown tomatoes.* J Food Compos Anal 19, 1-10.

Tsekleev G., Boyadjieva N., Solakov Y., Tabakova M., 1992. *Influence of photoselective mulch films on tomatoes in greenhouses.* Plasticulture 95 (1992/3), 45-49.

Tsekleev G., Stoilov S., 1990. *Fluorescent film for the cultivation of tomatoes in Bulgaria.* Plasticulture 86 (1990/2), 47-51.

Tüzel Y., Gül A., 1991. *Effects of different plastics mulching materials on yield and soil temperature of spring-season glasshouse cucumber crops.* Plasticulture 91 (1991/3), 37-40.

Vakalounakis D.J., 1982. *An efficient and simple technique for inducing profuse sporulation in Alternaria solani.* Phytopathologia Mediterranea 21, 89-90.

Vakalounakis D.J., 1991. *Control of early blight of greenhouse tomato caused by Alternaria solani, by inhibiting sporulation with ultraviolet absorbing vinyl film.* Plant Dis. 75, 795-797.

Vakalounakis D.J., 1992. *Control of fungal diseases of greenhouse tomato under long-wave infrared-absorbing plastic film.* Plant Disease 76, 43-46.

Van Os E.A., Stanghellini C., 2001. *Diffusion and environmental aspects of soilless growing systems.* Italus Hortus, 8 (6), 9-15.

Velásquez J.F., Jiménez L.I., 1997. *Effect of mulch on the availability of nutritive elements on courgettes grown in greenhouses.* Plasticulture 115, 36-46.

Verlodd H., 1990. *Greenhouses in Cyprus.* In: Protected Cultivation in the Mediterranean Climate. FAO Plant Production and Protection Paper N° 90.

Verlodd I., Daponte T., Verschaeren P., 1995. *Interference pigments for greenhouse films.* Plasticulture 108 (1995/4), 13-26.

Verlodd I., Verschaeren P., 2000. *New interference film for climate control.* Proceedings of the XXV International Horticultural Congress. Part 4. Culture techniques with special emphasis on environmental implications: chemical, physical and biological means of regulating crop growth in vegetables and fruits, Brussels, Belgium, 2-7 August 1998. Acta Horticulturae 514, 139-146.

Verlodd I., Verschaeren P., Oyaert E., 1997. *New developments in photoselective films.* 14th International Congress on Plastics in Agriculture, Tel Aviv, Israel, March 1997. Jerusalem: Laser Pages Publishing, 297-308.

Verschoor F., 1993. *Irrigation and plastics in water conservation.* Plasticulture 98 (1993/2), 41-45

Vidril V., 2001. *Paillages biodegradables en espace verts.* PHM Revue Horticole 421, 21-27.

Von Elsner B., 2006. *Interference pigments in photoselective shading paint for greenhouse.* Proceedings of the 5th International Symposium on Artificial Lighting in Horticulture, Lillehammer, Norway, 21-24 June 2005. Acta Horticulturae (711) Leuven: International Society for Horticultural Science (ISHS), 417-422.

Von Zabeltitz C., 1988. *Greenhouse design for warmer climates.* Plasticulture 80, 39-50.

Von Zabeltitz C., 1992. *Energy-efficient greenhouse designs for Mediterranean countries.* Plasticulture 96, 6-16.

Von Zabeltitz C., 1999. *Greenhouse structures*. In: Ecosystems of the world, Greenhouse Ecosystems. Capitolo I, 1-15. Ed. Elsevier, 432 pp.

Von Zabeltitz C., 2001. *Design and construction of plastic film greenhouses*. *Plasticulture* 120, 12-30.

Vox G., 1999. *Materiali plastici di copertura negli impianti per la viticoltura protetta*. *Colture Protette* 12, 87-94.

Vox G., Scarascia Mugnozza G., De Salvador F.R., Schettini E., 2010. *Caratteristiche radiometriche di film fotoselettivi e fotoluminescenti*. *Colture Protette* 3, 68-72.

Waijemberg D., Braam C.R., Bakker J.C., 1998. *Code of practice for greenhouses with flexible claddings; design criteria and practical recommendations*. 14th International congress on plastics in agriculture, Tel Aviv, Israel, March 1997. Jerusalem: Laser Pages Publishing, 56-62.

Walker R.L., 1957. *The use of uncoated cellophane in ultraviolet irradiation of microorganisms*. *Phytopathology* 47, 573.

Weber C., 2000. *Biologisch abbaubare Mulchfolien für Einlegegurken*. *Gemüse-Munchen* 36: 4, 30-32.

Wells D.A., Hoxey R.P., 1980. *Measurements of wind loads on full-scale greenhouses*. *J. Wind Engng and Ind. Aerodyn* 1980-6, 139-167.

Wien H.C., Minotti P.L., 1987. *Growth, yield, and nutrient uptake of transplanted fresh-market tomatoes as affected by plastic mulch and initial nitrogen rate*. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 112: 759-763.

Wilson S.B., Rajapakse N.C., 2001. *Growth regulation of sub-tropical perennials by photoselective plastic films.* Journal of Environmental Horticulture 19 (2) Washington: Horticultural Research Institute, 65-68.

Wolfenbarger D.O., Moore W.D., 1979. *Insect abundance on tomatoes and squash mulched with aluminium and plastic sheeting.* Journal of Economic Entomology 61: 34-36.

Yang H., Jiao G.L., Feng H.Y., An L.Z., Wang X.L., 2004. *Effects of enhanced ultraviolet-B radiation on growth, POD and IAA oxidase activities in tomato seedling.* Acta Botanica Boreali – Occidentalia Sinica 24 (5) Beijing: Science Press, 826-830.

Yi P.S., 1991. *Reflective silver polyethylene mulch film.* Plasticulture 89 (1991/1), 25-30.

Zachariah A.T., Hansen H.N., Snyder W.C., 1956. *The influence of environmental factors on cultural characters of Fusarium species.* Mycologia 48, 459-467.

Zarka Y., Zarka A., 1990. *New PVC fluorescent film for cladding greenhouses the results from three years trials.* Plasticulture 85, 6-16.

Zanon D., 1990. *Fluorinated polymers for cladding greenhouses.* Plasticulture 86 (1990/2), 33-36.

Zapata L., Gerard L., Davies C., Oliva L., Schva B.M., 2007. *Correlación matemática de índices de color del tomate con parámetros texturales y concentración de carotenoides.* Ciencia, Docencia y Tecnología 34, 207-226.

Ritengo doveroso ringraziare i miei genitori, la mia ragazza Laura, il Prof. Galileo Magnani e il Dott. Ferruccio Filippi per il prezioso supporto fornitomi in questi tre anni di dottorato di ricerca. Ringrazio inoltre il Prof. Alberto Graifenberg, il Dott. Luca Botrini e il Dott. Andrea Ferraresi, oltre a tutto il personale del Dipartimento di Biologia delle Piante Agrarie dell'Università di Pisa. Un grazie particolare al Dott. Damiano Remorini per le misure sugli scambi gassosi e alla Dott.ssa Eva Borghesi per l'assistenza nelle analisi sulla capacità antiossidante ed i carotenoidi.