

# Prove sperimentali con applicazioni di film biodegradabili nella protezione delle colture

Giacomo Scarascia Mugnozza, Giuliano Vox, Evelia Schettini

Dipartimento PROGESA - Università di Bari, Via Amendola 165/a, 70126 Bari  
e-mail dell'autore per la corrispondenza: evelia.schettini@agr.uniba.it

## 1. Introduzione

L'utilizzazione di film plastici in agricoltura sia per la pacciamatura del suolo sia per la forzatura e la protezione delle colture mediante la copertura di serre è, a livello mondiale, in continua espansione anche per il notevole incremento delle coltivazioni in ambiente protetto in paesi emergenti quali l'India e la Cina. I vantaggi conseguibili con l'uso delle plastiche sono riconducibili, principalmente, alla precocità del raccolto, all'incremento di qualità del prodotto, alla riduzione dei consumi idrici e di fitofarmaci e all'ampliamento del periodo di disponibilità dei prodotti sul mercato.

Le coperture di serre e tunnel proteggono le colture dagli agenti atmosferici e determinano significative variazioni microclimatiche all'interno del volume protetto, riducendo le perdite energetiche convettive e radiative. L'incremento del regime termico negli apprestamenti protetti sfruttando la radiazione solare incidente, noto come "effetto serra", dipende dalle proprietà radiometriche dei materiali di copertura utilizzati.

I film plastici utilizzati per la pacciamatura del suolo consentono il controllo delle erbe infestanti e dei patogeni, la riduzione dei consumi idrici e dei pesticidi, la protezione dall'erosione della superficie coltivata.

I film plastici per serre e pacciamatura hanno una vita utile variabile, da alcuni mesi a 3-4 anni, in funzione dello spessore e degli additivi presenti nel materiale per contrastare l'azione degradante della frazione ultravioletta della radiazione solare incidente. Inoltre la vita utile dei film è influenzata dai valori elevati di temperatura e umidità relativa dell'aria, da agenti atmosferici avversi quali il vento, la neve, la grandine e i prodotti chimici utilizzati durante la coltivazione. Per queste ragioni nella pratica agricola viene utilizzata una gran quantità di film plastici, i quali devono essere, dunque, smaltiti e rappresentano un problema per l'agricoltore essendo, tra l'altro, un fattore non trascurabile di costo. Il riciclo delle plastiche post-consumo delle serre sta, se pur lentamente, incrementandosi per soddisfare le direttive del decreto legislativo 22/97, noto come "Decreto Ronchi", e sue modifiche. In alcuni casi i film plastici vengono abbandonati in discariche abusive, nei corsi d'acqua o bruciati in modo incontrollato dagli agricoltori, determinando il rilascio di sostanze nocive nell'atmosfera e nel suolo con ovvie conseguenze negative nell'agro-ecosistema (Scarascia et al., 1999). I materiali plastici per la pacciamatura del suolo, utilizzati generalmente per una stagione colturale, essendo a diretto contatto con il suolo rendono più complesse le operazioni di raccolta e di riciclo al termine della loro vita.

Il problema dello smaltimento dei materiali derivati dal petrolio può essere attenuato o riducendo lo spessore dei film plastici, o incrementandone la durata mediante master additivi più efficaci. Il problema può essere, invece, risolto introducendo film biodegradabili (Kaplan et al., 1993;

Malinconico et al., 2002; Manera et al., 1999) che possono essere smaltiti, grazie alle proprietà del materiale base, direttamente nel suolo agrario mediante interrimento o per mezzo di compostaggio.

Ricerche e sperimentazioni in campo e in laboratorio su materiali innovativi biodegradabili a base di amido di mais per la pacciamatura del suolo e per la copertura di piccoli tunnel (Briassoulis, 2004; Scarascia et al., 2004) sono state eseguite nell'ambito del progetto di ricerca europeo RTD QLRT "Environmentally friendly mulching and low tunnel cultivation - BIOPLASTICS" dalle Università di Bari, di Hannover (Germania) e di Atene (Grecia), dai centri di ricerca Cemagref (Montpellier, Francia) e VTT (Finlandia), dall'Istituto di Chimica e Tecnologia dei Polimeri del CNR (Napoli) in collaborazione con le industrie Novamont SpA (Novara), Pati SpA (San Zenone degli Ezzelini, Treviso) e Plastika Kritis SA (Creta, Grecia). Nel presente lavoro sono riportati i risultati più significativi ottenuti durante il progetto "BIOPLASTICS" utilizzando materiali innovativi biodegradabili di spessori diversi per la pacciamatura del suolo e per la copertura di piccoli tunnel nella coltivazione della fragola, del melone e del pomodoro nel Sud Italia. La funzionalità dei materiali innovativi è stata analizzata con riferimento alla durata dei materiali, alle loro caratteristiche radiometriche nonché alla sostenibilità ambientale dei materiali innovativi utilizzati.

## **2. I materiali biodegradabili**

La produzione attuale di materiali biodegradabili riguarda principalmente prodotti realizzati per scopi diversi da quelli agricoli, utilizzando materiali di base provenienti da fonti agricole rinnovabili o da polimeri sintetici. Per la preparazione di prodotti biodegradabili vengono usati: polimeri naturali non modificati (amido, collagene, ecc.), polimeri naturali modificati (cellulosa, acetati di amido, ecc.), polimeri sintetici ottenuti da monomeri naturali (acido polilattico, ecc.), polimeri sintetici ottenuti da monomeri petrolchimici (poliesterammidi, ecc), polimeri a catena C-C (polivinilalcol, ecc.) e polimeri compositi ottenuti da polimeri naturali e sintetici.

La definizione "biodegradabile" è applicabile per quei materiali che subiscono la degradazione biologica principalmente per l'azione di enzimi secreti da microrganismi quali batteri, funghi ed alghe. Durante il processo di degradazione il composto organico viene trasformato in anidride carbonica o metano, acqua e biomassa. La funzionalità di tali materiali deriva dal fatto che essi possono sostituire le poliolefine ottenute dal petrolio. Per questi nuovi materiali i costi di produzione sono ancora elevati, ma in caso di larga diffusione è lecito attendersi significative economie di scala tali da renderli competitivi con gli attuali materiali plastici di origine fossile. L'uso di manufatti biodegradabili comporta notevoli vantaggi come l'utilizzo di materie prime rinnovabili, la riduzione delle contaminazioni nell'ambiente per la capacità dei prodotti innovativi di decomporsi in maniera naturale o di poter essere compostati. Inoltre, il bilancio energetico dei materiali biodegradabili è migliore rispetto ai derivati del petrolio, in quanto richiedono durante la produzione e nel ciclo di vita circa un terzo dell'energia necessaria alle plastiche tradizionali.

Alcuni materiali biodegradabili ottenuti dall'amido di mais, di frumento, di riso o di patata, presenti in commercio, sono prodotti da Avebe (Olanda), Biopac (Austria), Biotec (Germania), Earthshell (USA), Ecostar (Germania), National Starch and Chemical Company (USA), Novamont (Italia), Storopack (Germania). Gli amidi vengono usati per il loro basso costo, per la disponibilità in grandi quantità quali materie prime rinnovabili, e per la loro capacità di subire la degradazione biologica.

I prodotti ottenuti dall'amido incidono sul mercato mondiale complessivo di materie biodegradabili per circa il 75-80%, con una produzione annua di 25000 t (Degli Innocenti e Bastioli, 2002), quantitativi, tra l'altro, in continua crescita.

Il mercato dei materiali biodegradabili copre attualmente un settore di nicchia e richiede, dunque, per poter espandersi, numerosi sforzi in campo scientifico, tecnologico e industriale in un contesto internazionale affinché questi nuovi materiali diventino funzionali dal punto di vista applicativo e sostenibili dal punto di vista ambientale ed economico.

### 3. Prove sperimentali

La funzionalità di film biodegradabili espressamente progettati per usi agricoli è stata verificata dall'Università di Bari, nell'ambito del progetto BIOPLASTICS, in ambienti colturali nell'Italia meridionale. Prove sperimentali sono state condotte utilizzando materiali innovativi biodegradabili con l'obiettivo di testare le loro caratteristiche fisiche e le loro prestazioni in campo durante l'intero ciclo di coltivazione. I film biodegradabili sono stati utilizzati per la pacciamatura del suolo e la copertura di piccoli tunnel in tre prove sperimentali: la prima prova è stata eseguita per la coltivazione della fragola da settembre 2001 a luglio 2002, la seconda per la coltivazione del melone da marzo ad agosto 2003, la terza prova per la coltivazione del pomodoro da aprile a luglio 2004. Le prime due prove sono state svolte presso l'azienda Pantanelli dell'Università di Bari sita in Policoro (MT), mentre la terza presso l'azienda Martucci dell'Università di Bari sita in Valenzano (BA). Le sperimentazioni sono state realizzate seguendo il più possibile le tecniche di coltivazione adottate per le colture protette nel Sud Italia.

Tabella 1: Materiali biodegradabili e a base di polietilene usati durante le prove sperimentali.

Uso	Spessore (µm)	Materiale	Colore	Produttore	Durata in campo (durata richiesta)	
<b>Prima prova: coltivazione della fragola</b>						
M0A	pacciamatura	50	LDPE	nero	Pati	9 mesi (9 mesi)
M1A	pacciamatura	50	biodegradabile	nero	Pati	9 mesi (9 mesi)
M2A	pacciamatura	30	biodegradabile	nero	Pati	9 mesi (9 mesi)
M3A	pacciamatura	25	biodegradabile	nero	Plastika Kritis	9 mesi (9 mesi)
L0A	piccoli tunnel	60	LDPE	trasparente	Pati	4.5 mesi (4.5 mesi)
L1A	piccoli tunnel	60	biodegradabile stabilizzato	trasparente	Pati	4.5 mesi (4.5 mesi)
L3A	piccoli tunnel	60	biodegradabile stabilizzato	trasparente	Plastika Kritis	4.5 mesi (4.5 mesi)
<b>Seconda prova: coltivazione del melone</b>						
M0B	pacciamatura	40	LDPE	nero	Pati	4.5 mesi (4.5 mesi)
M0FB	pacciamatura	40	LDPE	fumé	Pati	4.5 mesi (4.5 mesi)
M0TB	pacciamatura	40	LDPE	trasparente	Pati	4.5 mesi (4.5 mesi)
M1B	pacciamatura	20	biodegradabile	nero	Pati	4.5 mesi (4.5 mesi)
M2B	pacciamatura	15	biodegradabile	nero	Pati	4.5 mesi (4.5 mesi)
M9B	pacciamatura	20	biodegradabile	trasparente	Pati	2 mesi (4.5 mesi)
L0B	piccoli tunnel	40	LDPE	trasparente	Plastika Kritis	1.5 mesi (1.5 mesi)
L1B	piccoli tunnel	40	biodegradabile	trasparente	Plastika Kritis	0.3 mese (1.5 mesi)
L2B	piccoli tunnel	40	biodegradabile stabilizzato	trasparente	Plastika Kritis	0.5 mese (1.5 mesi)
<b>Terza prova: coltivazione del pomodoro</b>						
M0C	pacciamatura	40	LDPE	nero	Pati	4 mesi (4 mesi)
M1C	pacciamatura	20	biodegradabile	verde	Plastika Kritis	3 mesi (4 mesi)
M2C	pacciamatura	12	biodegradabile	nero	Pati	4 mesi (4 mesi)
M3C	pacciamatura	20	biodegradabile	nero	Plastika Kritis	4 mesi (4 mesi)
L0C	piccoli tunnel	40	LDPE	trasparente	Plastika Kritis	1.5 mesi (1.5 mesi)
L1C	piccoli tunnel	30	biodegradabile	trasparente	Plastika Kritis	0.6 mese (1.5 mesi)
L2C	piccoli tunnel	30	biodegradabile stabilizzato	trasparente	Plastika Kritis	1 mese (1.5 mesi)
L3C	piccoli tunnel	30	biodegradabile stabilizzato	trasparente	Pati	1 mese (1.5 mesi)

Nelle tre prove sperimentali sono stati impiegati, per la pacciamatura del suolo, film biodegradabili di diverso spessore aventi colore nero; nella seconda prova si è utilizzato anche un

film biodegradabile trasparente, mentre nella terza prova è stato testato anche un film verde (Tab. 1). La copertura dei piccoli tunnel è stata realizzata con film biodegradabili trasparenti di diversi spessori (Tab. 1). Durante le prove il comportamento dei materiali biodegradabili è stato sempre confrontato con quello di film plastici non biodegradabili a base di polietilene, usati come testimone (Tab.1).

I materiali utilizzati durante le prove sono stati prodotti in collaborazione dai 3 partner industriali del progetto BIOPLASTICS: il granulo biodegradabile a base di amido di mais è stato fornito dalla ditta Novamont (Novara), l'estrusione dei film è stata effettuata dalla Pati (San Zenone degli Ezzelini, TV) e dalla Plastika Kritis (Heraklion, Creta, Grecia).

La prima prova relativa alla coltivazione della fragola è iniziata, a settembre 2001, con l'installazione meccanica dei film di pacciamatura biodegradabili e tradizionali ed il successivo trapianto delle piante di fragola frigo-conservate della varietà Tudla New. Nel gennaio 2002 il terreno pacciamato è stato protetto con piccoli tunnel coperti con film trasparenti, sia biodegradabili sia tradizionali, installati manualmente (Fig. 1). La raccolta delle fragole è stata eseguita nel periodo aprile-giugno 2002.



Figura 1: Prima prova sperimentale: coltivazione della fragola in Policoro (MT).

La seconda prova è partita nel marzo 2003 con l'installazione meccanica dei film di pacciamatura, seguita dal montaggio manuale dei film di copertura dei piccoli tunnel e dal successivo trapianto delle piante di melone della varietà Drake e Zafiro (Fig. 2). La raccolta del melone è stata realizzata nel periodo giugno-agosto 2003.



Figura 2: Seconda prova sperimentale: coltivazione del melone in Policoro (MT).

La terza prova è iniziata ad aprile 2004 con l'installazione manuale dei film di pacciamatura del suolo e la copertura dei piccoli tunnel, cui è seguito il trapianto delle piante di pomodoro della varietà ISI 40282 Micron (Fig. 3). La raccolta del pomodoro è stata eseguita nel periodo giugno-luglio 2004.



Figura 3: Terza prova sperimentale: coltivazione del pomodoro in Valenzano (BA).

Nelle tre prove i piccoli tunnel sono stati realizzati con archi in acciaio aventi altezza 0.8 m e larghezza 1.0 m. I piccoli tunnel sono stati aperti nel periodo diurno quando necessario per la ventilazione naturale, per limitare i picchi di temperatura dell'aria e per eseguire le normali operazioni colturali.

L'irrigazione è stata realizzata con il sistema della microirrigazione mediante manichette forate.

Durante le diverse sperimentazioni sono stati utilizzati schemi sperimentali con tre ripetizioni parcellari per tesi aventi disposizione random (Fig. 4). Le tesi sono state realizzate sia con i materiali biodegradabili combinati tra loro, sia con i film plastici tradizionali non biodegradabili usati come testimone.

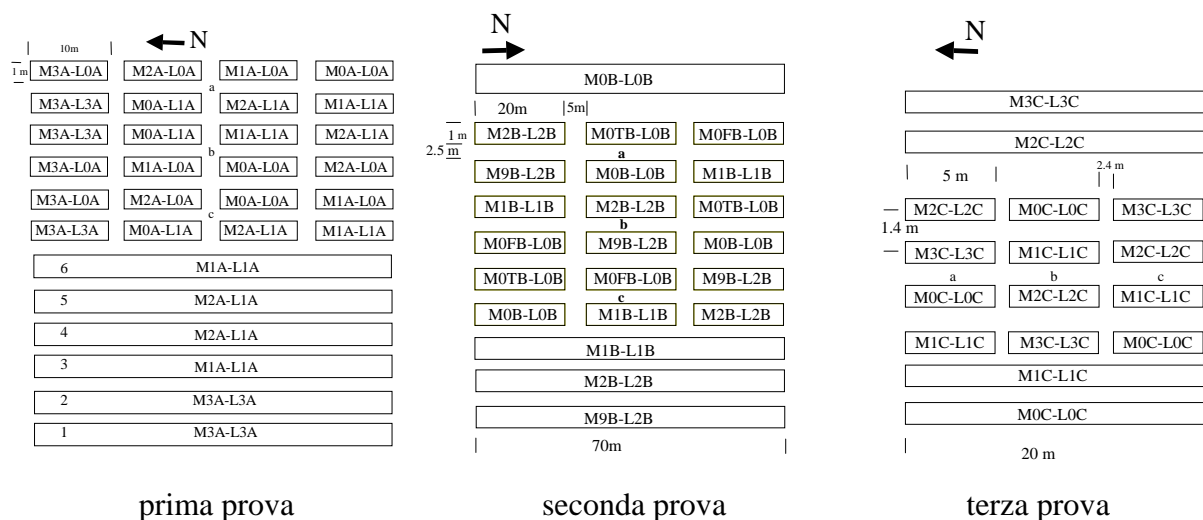


Figura 4: Schemi planimetrici delle tre prove sperimentali.

Nel corso delle prove sono state valutate le variazioni della morfologia e della fisiologia delle piante ed eseguiti rilievi periodici sulle epoche di fioritura ed allegazione dei frutti e sulla produzione, in funzione delle mutate condizioni di allevamento dovute ai differenti tipi di film impiegati.

Al termine delle tre coltivazioni e dopo la raccolta, i film di pacciamatura biodegradabili sono stati fresati insieme alle piante per essere interrati allo scopo di indurre il processo di degradazione

nel suolo mentre i film plastici in LDPE di pacciamatura e di copertura per i piccoli tunnel sono stati rimossi e portati nelle apposite discariche. L'eventuale rilascio di sostanze potenzialmente nocive per il suolo, durante i processi di degradazione cui sono soggetti i materiali biodegradabili, è stato analizzato mediante test di ecotossicità condotti dal centro di ricerca VTT (Finlandia).

Durante le tre prove sperimentali sono stati rilevati i parametri climatici del sito, quali la temperatura e l'umidità relativa dell'aria, la radiazione solare, la direzione e la velocità del vento. Sono state inoltre misurate la temperatura e l'umidità relativa dell'aria all'interno dei piccoli tunnel e la temperatura e l'umidità del suolo al di sotto della pacciamatura. L'acquisizione dei dati è stata ottenuta utilizzando un data logger TECNO-EL mod. Kampus, con registrazione media oraria dei parametri acquisiti con frequenza di 60 s. La temperatura dell'aria è stata misurata utilizzando sonde a termoresistenza PT 100; l'umidità relativa dell'aria mediante sonde capacitivie Rotronic; la velocità e la direzione del vento sono state rilevate per mezzo di un anemometro Young; la radiazione solare incidente è stata acquisita per mezzo di un piranometro Schenk nel range di lunghezza d'onda 0.3-3 $\mu$ m. Le sonde di temperatura e umidità relativa dell'aria sono state inserite in campane schermate alla radiazione solare e ventilate con velocità di flusso dell'aria di 4 m/s. Per verificare il valore dell'umidità relativa dell'aria all'interno dei piccoli tunnel sono state utilizzate anche sonde PT 100 a bulbo umido. Le sonde di temperatura del terreno sono state interrate a 20 cm di profondità in corrispondenza del baricentro di ciascuna parcella.

Prove di laboratorio per valutare le curve di trasmissività e di riflessività dei film utilizzati, espresse in funzione della lunghezza d'onda (Papadakis et al., 2000; Pearson et al., 1995), sono state eseguite mediante l'uso di spettrofotometri presso il Dipartimento PROGESA dell'Università di Bari. La trasmissività diretta nel range di lunghezza d'onda compreso fra 200 e 2500 nm è stata analizzata per mezzo di uno spettrofotometro Perkin-Elmer UV-VIS-NIR Lambda 950, accessorio di sfera integratrice avente diametro 60 mm, in grado di misurare la frazione diffusa di radiazione trasmessa e riflessa. Il coefficiente di trasmissione è stato valutato, come media pesata (ISO 9050, 1990), negli intervalli di lunghezza d'onda 400÷700 nm (Radiazione Fotosinteticamente Attiva, PAR) e 300÷2500 nm (solare). Le misure di trasmissività e di riflessività nel range di lunghezza d'onda dell'IR comprese fra 3  $\mu$ m e 25  $\mu$ m sono state eseguite mediante uno spettrofotometro Perkin-Elmer FT-IR 1760X. I test in laboratorio sui materiali sono stati realizzati seguendo metodologie e condizioni di prova in accordo con quanto stabilito dalle norme EN 13206, ISO 9050, UNI-EN 2155.

## **4. Risultati e discussione**

### **4.1. Funzionalità dei film biodegradabili**

I materiali innovativi biodegradabili utilizzati durante le tre prove sperimentali hanno evidenziato un comportamento funzionale differente al variare dello spessore e del colore (Tab. 1).

I film neri biodegradabili utilizzati per la pacciamatura del suolo, anche con spessori sottili dell'ordine di 12  $\mu$ m, hanno evidenziato caratteristiche meccaniche tali da garantire la protezione del suolo per l'intero ciclo di coltivazione. Tutti i film di pacciamatura neri hanno avuto un comportamento simile ai film non biodegradabili in polietilene per tutto il periodo di utilizzo dal trapianto alla raccolta. Il film di pacciamatura trasparente, usato nella seconda prova, ha avuto una durata inferiore a quella richiesta, favorendo inoltre lo sviluppo di malerbe in corrispondenza di lesioni evidenziate durante l'uso. Il film di pacciamatura verde ha avuto una durata leggermente inferiore a quella richiesta.

I film trasparenti biodegradabili utilizzati per la copertura dei piccoli tunnel hanno fatto riscontrare un comportamento comparabile a quello dei film in LDPE solo nel caso di spessori dell'ordine di 60  $\mu$ m. Pur presentando nel corso del tempo di utilizzo delle lesioni, i film hanno svolto la loro funzione di protezione per l'intero periodo richiesto. Film trasparenti di copertura con spessori inferiori ai 60  $\mu$ m, invece, hanno presentato un comportamento fragile subendo lesioni a

causa delle azioni meteorologiche, quali il vento, o per effetto delle operazioni di apertura dei tunnel per le pratiche agronomiche. Tali materiali possono essere utilizzati attualmente solo per pochi mesi, come previsto nella pratica corrente per la coltivazione in piccoli tunnel.

#### 4.2. Proprietà radiometriche ed effetti sul microclima

Le proprietà radiometriche dei film biodegradabili realizzati per le diverse prove in campo condotte nell'ambito del progetto, hanno mostrato caratteri comuni, quali un basso valore di trasmissività nell'infrarosso lungo e, per i materiali trasparenti, una buona trasmissione alla radiazione solare e un'alta capacità di diffusione della radiazione solare.

I coefficienti radiometrici di trasmissione nel range di lunghezza d'onda dell'infrarosso lungo hanno evidenziato, infatti, valori molto bassi per i materiali biodegradabili in confronto con i tradizionali realizzati a base di LDPE (tabelle 2 e 3). Per i film biodegradabili trasparenti utilizzati per la copertura di piccoli tunnel il coefficiente di trasmissione nell'infrarosso lungo ha raggiunto un valore molto ridotto pari anche al 3%, presentando di conseguenza un'elevata capacità di produrre l'effetto serra al di sotto dei piccoli tunnel.

Tabella 2: Coefficienti di trasmissione dei film utilizzati durante la prima prova per la coltivazione della fragola nei range del solare, del PAR (Radiazione Fotosinteticamente Attiva) e del LWIR (Infrarosso lungo).

Film	solare totale (%)	solare diffusa (%)	PAR totale (%)	PAR diffusa (%)	LWIR (%)
L0A	91.1	9.7	91.4	13.7	81.9
L1A	80.8	45.1	79.0	63.4	6.7
L3A	81.2	70.4	80.4	74.8	3.0
M0A	0.0	0.0	0.0	0.0	13.2
M1A	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8
M2A	0.0	0.0	0.0	0.0	2.9
M3A	0.1	0.1	0.0	0.0	8.7

Tabella 3: Coefficienti di trasmissione dei film utilizzati durante la terza prova per la coltivazione del pomodoro nei range del solare, del PAR (Radiazione Fotosinteticamente Attiva) e del LWIR (Infrarosso lungo).

Film	solare totale (%)	solare diffusa (%)	PAR totale (%)	PAR diffusa (%)	LWIR (%)
L0C	85.0	16.6	84.8	23.6	40.0
L1C	85.1	60.9	84.2	69.0	29.7
L2C	85.8	64.0	85.2	72.0	28.0
L3C	77.4	62.1	75.1	68.3	12.5
M0C	0.0	0.0	0.0	0.0	13.4
M1C	52.2	36.1	31.9	27.8	22.1
M2C	0.5	0.0	0.0	0.0	14.2
M3C	0.3	0.2	0.0	0.0	9.6

Il confronto tra le differenti curve di trasmissività di un film biodegradabile e di un film in LDPE nel range di lunghezza d'onda dell'infrarosso lungo è illustrato in Figura 5.

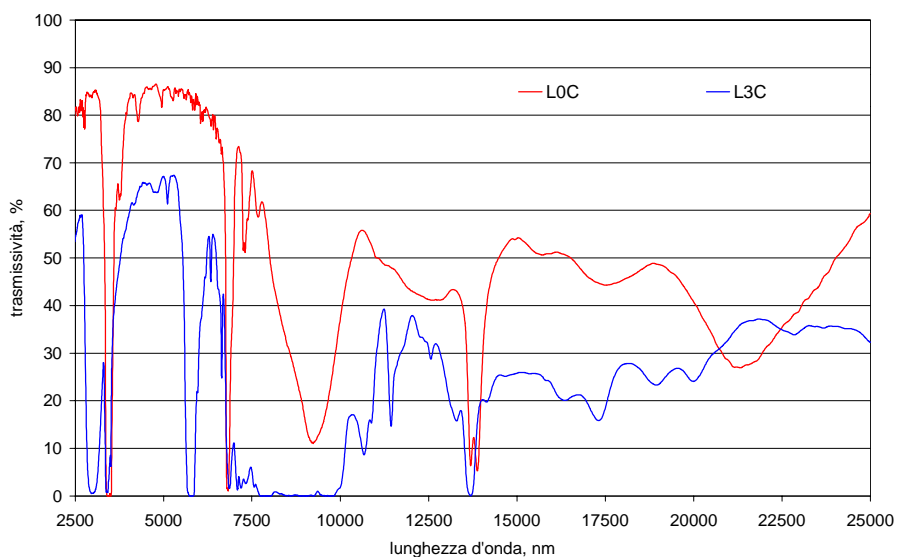


Figura 5: Curve di trasmissività del film L0C in LDPE e del film biodegradabile L3C utilizzati nella prova di produzione di pomodoro, nel range di lunghezza d'onda dell'infrarosso lungo.

I film trasparenti biodegradabili utilizzati per i piccoli tunnel sono caratterizzati anche per un'elevata capacità diffusiva, avendo registrato per il coefficiente di trasmissione diffusa nel range del solare un valore superiore anche al 70% (tabelle 2 e 3). La differente capacità diffusiva di un materiale biodegradabile, nei confronti del film in LDPE, è visibile dal grafico delle curve di trasmissività dei diversi materiali nel range del solare (Fig. 6).

In relazione al coefficiente di trasmissione totale della radiazione solare, l'utilizzo di film biodegradabili sempre più sottili ha consentito l'incremento di tale coefficiente riducendo, per i materiali utilizzati nella terza prova di campo, la differenza riscontrata nei confronti dei materiali in LDPE durante la prima prova (Tabelle 2 e 3).

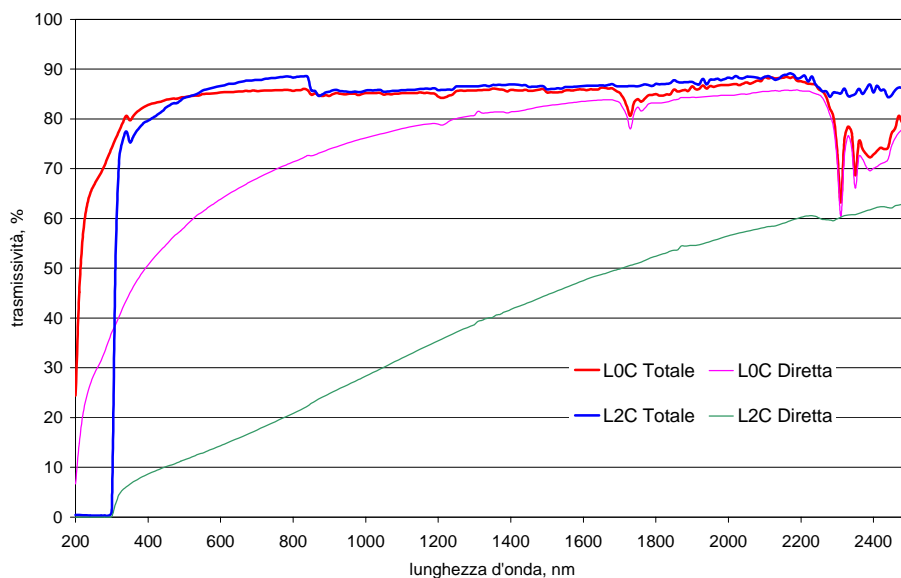


Figura 6: Curve di trasmissività totale e diretta del film L0C in LDPE e del film biodegradabile L2C utilizzati nella terza prova, nel range di lunghezza d'onda del solare.

Per quanto concerne i materiali utilizzati per la pacciamatura, i film neri si sono rivelati opachi in tutto il range del solare e quindi del PAR, ciò ha consentito di ridurre fortemente la crescita di erbe infestanti, adempiendo quindi alla funzione del materiale di pacciamatura svolta dal film in LDPE.

L'effetto delle differenti caratteristiche radiometriche nella determinazione del microclima al di sotto degli apprestamenti protetti è stato valutato mediante l'analisi dei dati climatici misurati durante i test in campo. I dati illustrati in Tabella 4 si riferiscono alla prima prova condotta per la coltivazione della fragola: le migliori prestazioni energetiche all'interno dei piccoli tunnel sono state conseguite con l'uso dei film trasparenti biodegradabili. Questi hanno mostrato temperature diurne e notturne dell'aria nei piccoli tunnel più elevate di quelle ottenute con il film LDPE (Tab. 4), a causa del più basso coefficiente di trasmissione nell'IR lungo che ha compensato anche il maggiore valore del coefficiente di trasmissione nel solare dell'LDPE, pari al 91.1% contro 80.8% per L1A e 81.2% per L3A. L'elevato effetto barriera nell'IR lungo ha consentito, inoltre, per i film biodegradabili, di evitare l'insorgere del fenomeno dell'inversione termica notturna (Bianchi e Scarascia, 1996) che invece si è verificato per il film in LDPE, il quale presenta una più elevata trasparenza alle radiazioni nell'IR lungo: infatti nelle ore notturne la temperatura al sotto del film plastico in LDPE è risultata inferiore a quella dell'aria esterna.

Tabella 4: Prima prova sperimentale: valori medi relativi all'intero ciclo di coltivazione delle temperature del suolo: media, massima e minima giornaliera al di sotto delle pacciamature e del suolo scoperto esterno; valori medi relativi al periodo di coltivazione dal 25/3/2002 al 2/4/2002 delle temperature dell'aria: media, massima e minima giornaliera all'interno dei piccoli tunnel e della temperatura dell'aria esterna.

Tesi	Temperatura del suolo (°C)			Temperatura dell'aria (°C)		
	media	massima	minima	media	massima	minima
M0A-L0A	13.4	16.0	11.5	9.9	21.9	2.6
M1A-L1A	13.8	16.9	11.5	11.5	22.8	4.9
M2A-L1A	14.4	17.1	12.2	11.9	23.6	4.8
M3A-L3A	14.3	17.2	11.7	11.6	23.5	4.6
esterno	14.0	18.3	10.5	9.0	15.3	3.9

L'analisi delle temperature misurate nel terreno ha mostrato valori più elevati per i film di pacciamatura biodegradabili rispetto al testimone in LDPE.

L'analisi dei valori di umidità relativa dell'aria misurata all'interno dei piccoli tunnel ha evidenziato alcune differenze nel comportamento dei film biodegradabili in confronto con quelli del testimone: il film in LDPE ha fatto registrare tendenzialmente un valore di umidità relativa inferiore rispetto ai film biodegradabili, eccetto che in corrispondenza del calare del sole. La differenza registrata può essere probabilmente imputata all'elevata igroscopicità dei materiali biodegradabili che ha prodotto un incremento del contenuto di umidità dell'aria al di sotto dei film biodegradabili in comparazione con il film plastico in LDPE, che presenta valori inferiori di permeabilità al vapore. Tale differenza di comportamento non è stata tale, comunque, da determinare sostanziali differenze nella produzione agricola o problemi sanitari per le piante.

Ottimi risultati sono stati ottenuti dal punto di vista della produttività agronomica delle piante nelle tre prove, in termini di anticipo della produzione e di produzione commerciabile.

### 4.3. Sostenibilità ambientale ed economica

L'introduzione in agricoltura di materiali biodegradabili, se per un verso consente di risolvere il problema dello smaltimento dei film utilizzati, per un altro potrebbe produrre problemi di accumulo di residui e di rilascio di sostanze nocive nel suolo durante il processo di degradazione degli stessi. Infatti, al termine del ciclo di coltivazione, i film biodegradabili possono essere interrati per favorire il processo di degradazione da parte dei microrganismi del terreno, processo che risulta più intenso al crescere della temperatura e dell'umidità del suolo. Nella presente ricerca i film di pacciamatura biodegradabili sono stati fresati insieme con le piante dopo la raccolta dei frutti. Durante i mesi successivi alla fresatura sono state condotte continue osservazioni sul terreno interessato dalle prove, verificando una progressiva degradazione dei residui dei film nel suolo. Al fine di quantificare la velocità del processo di degradazione, sono stati pesati nel tempo i residui presenti nel terreno per le diverse combinazioni dei film biodegradabili, mediante la setacciatura di porzioni definite di terreno. Tali misurazioni hanno mostrato, nell'arco di 12 mesi dalla fresatura del terreno, un'effettiva riduzione dei residui presenti: nel caso della prima prova per la coltivazione della fragola si sono raggiunti, dopo un anno dall'interramento, valori prossimi al 4% (Fig. 7) del peso iniziale del film biodegradabile usato per pacciamare il terreno.

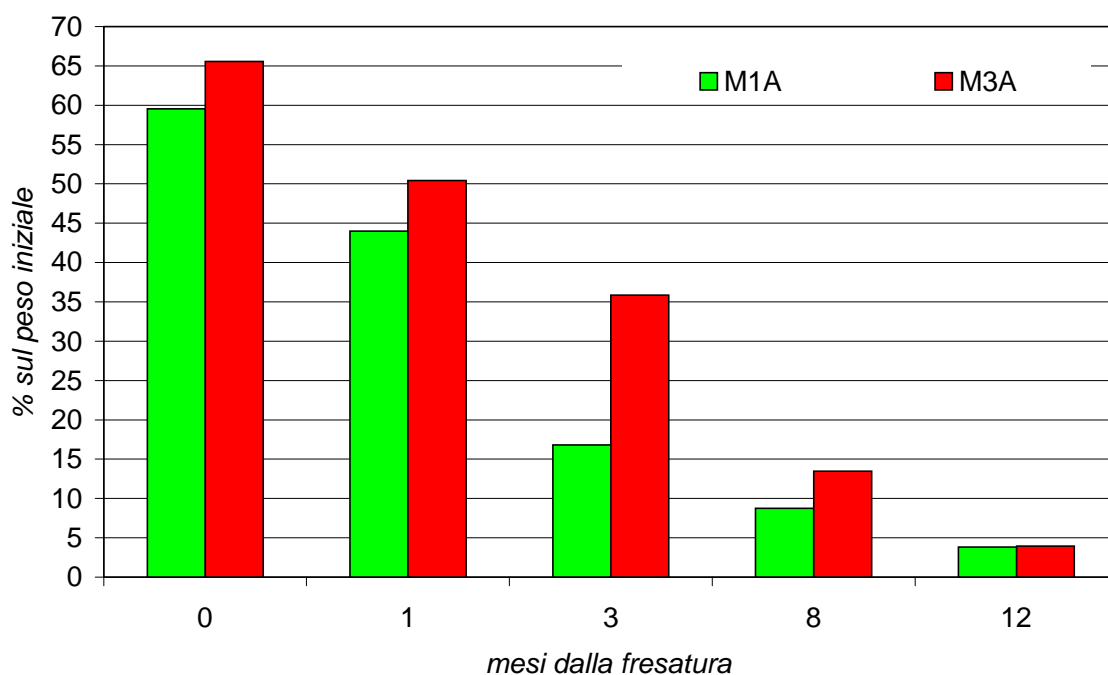


Figura 7: Percentuale di materiale biodegradabile residuo nel suolo rispetto al peso iniziale, in funzione del tempo intercorso dalla fresatura, nella prima prova sperimentale condotta sulla fragola.

L'aspetto relativo al rilascio di eventuali sostanze tossiche nel terreno è stato inoltre investigato, in collaborazione con il VTT (Finlandia), mediante test di ecotossicità e di attività microbiologica nel suolo, realizzati su campioni prelevati prima, durante e dopo la coltivazione. Tali analisi hanno evidenziato l'assenza del rilascio di sostanze nocive durante il processo di degradazione dei film biodegradabili a contatto con il terreno (Kapanen e Itavarara, 2004).

Se dunque, in base ai risultati conseguiti, la sostenibilità ambientale dell'uso di plastiche biodegradabili è soddisfatta, è necessario comunque analizzare la sostenibilità economica di tale pratica. Come spesso accade nell'introduzione di una tecnologia innovativa, il primo periodo di sviluppo è caratterizzato da elevati costi che non rendono il prodotto competitivo con la situazione del mercato (Dentchev et al., 1994). Anche per i materiali biodegradabili il costo del prodotto è

attualmente superiore a quello delle plastiche di origine fossile. Tale problema tende ad essere superato con il diffondersi del prodotto innovativo e, quindi, con il crescere dei volumi di produzione che consentono la riduzione dei costi.

Peraltro una prima valutazione economica, basata sulle presenti sperimentazioni, ha consentito di comparare i costi delle coltivazioni condotte utilizzando i film biodegradabili con quelli relativi a una coltivazione con film plastici in LDPE. Il costo del lavoro incide maggiormente nella coltivazione quando si usa il polietilene in quanto, oltre alle operazioni comuni a tutti i materiali usati, è necessaria la manodopera per alcune attività post-raccolta quali l'estirpazione delle piante e l'eliminazione della pacciamatura, operazioni non presenti nella produzione con film biodegradabili, in quanto sono state sostituite con la fresatura del terreno pacciamato insieme alle piante. Per le plastiche tradizionali devono essere computate anche le voci di spesa relative al ritiro e allo smaltimento dei materiali usati e al contributo da versare al consorzio POLIECO. Nel caso dei materiali biodegradabili ha una maggiore incidenza percentuale il costo del film, che è naturalmente proporzionale allo spessore dello stesso. La coscienza ecologica nazionale ed internazionale sta spingendo la ricerca scientifica ed industriale verso soluzioni innovative e potrà contribuire alla diffusione sul mercato di materiali biodegradabili ecologicamente sostenibili, riducendone il costo.

## **5. Conclusioni**

Le tre prove sperimentali e le misure di laboratorio realizzate negli anni dal 2001 al 2004 nel corso del progetto di ricerca hanno mostrato la validità funzionale dei film biodegradabili come alternativa ai film a base di polietilene attualmente in uso per la protezione delle colture. I film utilizzati per pacciamatura, soprattutto neri, hanno mostrato caratteristiche di resistenza nel tempo comparabili con i tradizionali materiali in LDPE, consentendo di seguire le usuali pratiche agronomiche di coltivazione normalmente adottate dagli agricoltori. Alcuni problemi di resistenza meccanica sono stati riscontrati per i materiali trasparenti utilizzati sia per la pacciamatura sia per la copertura dei piccoli tunnel. L'uso di questi film trasparenti non è attualmente possibile al di là di 3-4 mesi, suggerendone l'uso solo per applicazione stagionale su piccoli tunnel. Lo sviluppo di film trasparenti a più elevata resistenza meccanica e a più lunga durata sarà l'obiettivo della ricerca dei prossimi anni. Dal punto di vista delle caratteristiche radiometriche i film biodegradabili sono già oggi un'alternativa affidabile dei film tradizionali, mostrando anzi un valore molto basso di trasmissività nel range di lunghezza d'onda dell'infrarosso lungo e, quindi, un'elevata capacità di produrre l'effetto serra. Da un punto di vista strettamente ambientale la pratica che prevede la fresatura e l'interramento del film biodegradabile al termine del periodo di coltivazione è stata accuratamente analizzata rivelando l'assenza di rilascio di residui tossici nel terreno. L'auspicabile diffusione di film biodegradabili nel campo agricolo potrà contribuire alla riduzione dei costi, attualmente più elevati in misura di circa il 400% nei confronti dei film di LDPE a causa dei limitati volumi di produzione raggiunti dai film biodegradabili.

## **Riassunto**

Nella ricerca sono illustrati i risultati di tre anni di sperimentazione in campo e in laboratorio di film biodegradabili a base di amido di mais utilizzati in agricoltura per la protezione delle colture. I film sono stati testati per la pacciamatura del terreno e per la copertura di piccoli tunnel nella coltivazione della fragola, del melone e del pomodoro, comparandone i risultati con film a base di polietilene attualmente utilizzati in agricoltura per gli stessi scopi. Film biodegradabili di pacciamatura e per piccoli tunnel di diverso spessore sono stati combinati tra loro e confrontati con plastiche in LDPE. Durante le sperimentazioni sono stati acquisiti i parametri ambientali esterni e quelli relativi al microclima degli apprestamenti protetti, i parametri relativi allo sviluppo vegetativo e alla produzione agricola delle piante. Le proprietà radiometriche dei film sono state

analizzate in laboratorio mediante spettrofotometri: tutti i film biodegradabili hanno mostrato un basso valore del coefficiente di trasmissione nell'infrarosso lungo, compreso fra il 3% e il 28%, presentando quindi un'elevata capacità di produrre l'effetto serra; i film biodegradabili trasparenti hanno inoltre mostrato un'alta trasmittanza alla radiazione solare con un coefficiente di trasmissione compreso tra 77% e 85%. Le proprietà radiometriche dei film biodegradabili hanno consentito di raggiungere, per quanto concerne le temperature nell'ambiente confinato, risultati pari e, talvolta, superiori ai valori registrati nelle parcelle coperte con film plastico in polietilene. In maniera simile ottimi risultati sono stati ottenuti dal punto di vista della produttività agronomica, in termini di anticipo della produzione e produzione lorda commerciabile. I materiali biodegradabili da un punto di vista funzionale sono stati applicati per le colture in campo seguendo le tecniche usualmente seguite con i film in polietilene ed hanno soddisfatto sostanzialmente i requisiti richiesti in relazione a durata e resistenza meccanica. Al termine delle coltivazioni, i film di pacciamatura biodegradabili sono stati fresati e interrati insieme alle piante per indurre il processo di degradazione nel suolo; le analisi di ecotossicità e di attività microbiologica nel suolo hanno evidenziato l'assenza del rilascio di sostanze nocive durante il processo di degradazione dei film biodegradabili a contatto con il terreno.

### **Abstract**

The main results of three years of experimental field and laboratory trials using biodegradable films in agriculture are described. Trials were carried out in order to test innovative biodegradable materials for the protected cultivation of strawberry, of melon and tomato applying the cropping methods used in Southern Italy. Biodegradable films with different thickness were used for the soil mulching and for the covering of the low tunnels and they were compared with non biodegradable LDPE films. Climatic data of the site, air temperature and relative humidity inside the low tunnels and soil temperature under the mulching films were gathered during the tests. Besides laboratory radiometric tests, by means of spectrophotometers, were executed on the films in order to evaluate parameters such as the transmissivity in different wavelength ranges. All the films showed a low value for the long wave infrared transmissivity coefficient, changing between 3% and 28%, that induces the greenhouse effect inside the protected volume. The biodegradable transparent films showed high transmissivity coefficients in the solar range, values between 77% and 85%. The radiometric properties of the biodegradable films induce internal low tunnel air and soil temperatures equal or higher in comparison with the temperatures obtained using LDPE plastics. Concerning the agronomical productions, as marketable total yield and earliness, optimum results were obtained using biodegradable films. The experimental trials highlighted how the biodegradable films had the functionality needed for agricultural applications, such as the duration and the mechanical strength, during the whole experimental crop cycle. At the end of the cultivation period, biodegradable mulching films were shattered and buried with plants; ecotoxicity tests showed no evidence of ecotoxicity in the soil. The research showed that the biodegradable materials could be a sustainable alternative to the plastic films based on fossil raw materials.

### **Bibliografia**

- Bianchi A., Scarascia Mugnozza G. (1996) "Studio e verifica sperimentale di un modello matematico di simulazione del microclima in serre a regime naturale con copertura in film plastico". *Rivista di Ingegneria Agraria*, 27 (4): 220-229.
- Briassoulis D. (2004) "Mechanical design requirements for low tunnel biodegradable and conventional films" *Biosystems Engineering*, Vol 87 (2), February: 209-223.
- Degli Innocenti F., Bastioli C. (2002) "Starch-based biodegradable Polymeric materials and plastics-History of a decade activity". United Nations Industrial Development Organization-UNIDO, Trieste (<http://www.ics.trieste.it/chemistry/plastics/egm-edp2002.htm>).

- Dentchev R., De Santis F., Vox G. (1994) "Engineering and economic aspects of the N.F.T. systems". *Acta Horticulturae* 361/94: 423-428.
- EN 13206 (2001) "Covering thermoplastic films for use in agriculture and horticulture".
- ISO 9050 (1990) "Glass in building—determination of light transmittance, solar direct transmittance, total solar energy transmittance and ultraviolet transmittance, and related glazing factors".
- Kapanen A., Itavaara M. (2004) VTT Biotechnology, Finland, comunicazione personale.
- 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.
- Malinconico M., Immirzi B., Massenti S., La Mantia F P., Mormile P., Petti L. (2002) Blends of polyvinylalcohol and funzionalized polycaprolactone. A study on the melt extrusion and post-cure of films suitable for protected cultivation. *Journal of Materials Science*, 37, 4973-4978.
- Manera C., Margiotta S., Picuno P. (1999) "Film plastici innovativi e biodegradabili per le colture protette", *Colture Protette* (4): 59-64.
- Papadakis G., Briassoulis D., Scarascia Mugnozza G., Vox G., Feuilloley 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.
- Pearson S., Wheldon A.E., Hadley P. (1995) "Radiation transmission and fluorescence of nine greenhouse cladding materials." *Journal of Agricultural Engineering Research*, 62: 61-70.
- 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, 24-26/6: 313-326.
- Scarascia Mugnozza G., Schettini E., Vox G. (2004) "Effects of the Solar Radiation on the Radiometric Properties of Biodegradable Films for Agricultural Applications" *Biosystems Engineering*, Vol 87 (4), April: 479-487.
- UNI-EN 2155 (1989) "Metodi di prova per materiali trasparenti per vetratura velivoli – Determinazione della trasmissione della luce nel campo visibile".

### **Ringraziamenti**

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

La Ricerca è stata svolta nell'ambito del Progetto EC RTD QLRT "Environmentally friendly mulching and Low tunnel cultivation- BIOPLASTICS" (Contract n° QLK5-CT-2000-00044).

Si ringraziano il Geom. Antonio Ventrelli del Dipartimento di Scienze delle Produzioni Vegetali dell'Università di Bari, per la collaborazione nelle prove agronomiche e il Geom. Michele Cosmo del Dipartimento PROGESA dell'Università di Bari per la collaborazione nelle prove spettrofotometriche dei materiali.