



UNIONE EUROPEA



REGIONE BASILICATA



ASSOCIAZIONE ITALIANA
DI INGEGNERIA AGRARIA



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DELLA BASILICATA

Impiego in agricoltura di plastiche innovative biodegradabili per la solarizzazione del terreno

E S T R A T T O

**Università degli Studi della Basilicata
Dipartimento Tecnico-Economico**

**Regione Basilicata
Dipartimento attività Produttive**

**Associazione Italiana di Ingegneria Agraria
AIIA**

**Patrocinio
Unione Europea**

**Matera 14-17 Giugno 2000
Sala della Biblioteca Provinciale
Palazzo dell'Annunziata - Piazza Vittorio Veneto**

Progetto di ricerca finanziato dalla Regione Basilicata
nell'ambito del programma POP-FESR 1994-96

CARATTERISTICHE INGEGNERISTICHE DI FILM PLASTICI INNOVATIVI E DEGRADABILI

Pietro PICUNO

Dipartimento Tecnico-Economico per la Gestione del Territorio Agricolo e Forestale
Università degli Studi della Basilicata
C.da Macchia Romana – 85100 Potenza
Tel. 0971-205437 Fax. 0971- 205429 E-mail: picuno@unibas.it

Parole chiave: film plastici, film degradabili, caratteristiche ingegneristiche.

RIASSUNTO

La diffusione crescente nell'impiego di film plastici per la protezione delle colture impone una incrementata attenzione verso le conseguenze ambientali connesse, tra le altre, alle necessità di raccolta e smaltimento del materiale post-consumo.

Da questo punto di vista si rivelano estremamente interessanti nuovi prodotti proposti sul mercato, con crescente frequenza, dalle aziende produttrici, quali i laminati coestrusi multistrato a spessore estremamente ridotto, ovvero i film foto- o bio-degradabili; di tali materiali, tuttavia, non sono sempre note tutte le caratteristiche ingegneristiche.

Il presente lavoro riassume, con riferimento ai principali tra tali prodotti che all'attualità appaiono proponibili per applicazioni di protezione delle colture ovvero di sterilizzazione del terreno agrario mediante solarizzazione, le analisi condotte per definire le proprietà meccaniche, radiometriche e di efficacia nella modifica dei livelli termici del terreno nell'ambito del programma POP-FESR allo scopo finanziato dalla regione Basilicata, nonché i risultati ottenuti, che hanno consentito di esprimere giudizi circa la loro effettiva impiegabilità nel settore delle colture protette.

1. INTRODUZIONE

L'impiego di materie plastiche in agricoltura (Scarascia Mugnozza, 1999) registra ormai livelli, in Italia e nel mondo, tanto ragguardevoli da imporre in maniera ormai non ulteriormente dilazionabile la necessità di affrontare e risolvere il conseguente problema ambientale legato al flusso di materiale plastico divenuto un rifiuto al termine delle applicazioni.

Tra i possibili contributi utili a tale problematica, sono da annoverare i tentativi di realizzare film plastici sempre più sottili e, di conseguenza, più leggeri, ovvero laminati che, dopo una prima fase di applicazione, innescano spontaneamente un processo di degradazione che ne eviti la raccolta ed il conseguente smaltimento (Manera et al., 1999/a).

Diverse formulazioni di tale fatta vengono ormai proposte sul mercato dalle aziende produttrici; resta però da verificare se, unitamente alle loro caratteristiche di leggerezza e/o degradabilità, questi film risultano in grado di assicurare prestazioni tecniche che li rendano realmente utili per l'impiego per il quale vengono proposti, dovendo possedere caratteristiche perlomeno pari ai materiali tradizionali con i quali si confrontano.

Sotto questo profilo, un'accurata analisi delle caratteristiche ingegneristiche appare di rilevante interesse; è noto, infatti, come il ruolo che il materiale di copertura riveste nell'ambito delle diverse tipologie di apprestamenti per colture protette costituisce un comparto epistemologico originale ed esclusivo per il settore scientifico delle "Costruzioni rurali e territorio agro-forestale", poiché tale elemento costruttivo contribuisce contemporaneamente a svolgere:

- *) un ruolo "passivo" di protezione delle colture dalle avversità atmosferiche, svolgendo la funzione di resistenza meccanica propria di un materiale di chiusura dell'involucro edilizio;
- *) un ruolo "attivo" nella climatizzazione di apprestamenti ove avvengono processi biologici e

fotosintetici, in virtù dell'influenza delle proprietà radiometriche del materiale sul bilancio termico e luminoso; tale ruolo diventa prioritario nel caso di realizzazioni (quali piccoli e medi tunnel, pacciamatura, serre fredde, ecc.) in cui non sono presenti impianti appositi di controllo e regolazione del microclima.

2. PROPRIETÀ INGEGNERISTICHE DI FILM PLASTICI PER COLTURE PROTETTE

Come noto, le caratteristiche che hanno un'importanza sotto il profilo dell'ingegnerizzazione di un film plastico e delle conseguenti potenziali applicazioni nel settore della protezione delle coltivazioni o della sterilizzazione del terreno agrario mediante solarizzazione risultano aggregabili nelle seguenti tre categorie principali:

*) *Caratteristiche fisiche e chimiche*

Permeabilità a gas e vapore, massa volumica, coefficiente di dilatazione termica, conducibilità termica, inerzia chimica, alterabilità a basse ed alte temperature, punto di rammollimento, proprietà elettrostatiche, capacità di adesione superficiale del pulviscolo atmosferico.

*) *Caratteristiche meccaniche*

Resistenza a trazione, allungamento percentuale a rottura, limite elastico, modulo di Young

*) *Caratteristiche radiometriche*

Trasmissività e riflessività nella banda solare [0 ÷ 3.000] nm, trasmissività e riflessività nella banda dell'Infrarosso Lungo [7.500 ÷ 12.500] nm

Tali caratteristiche determinano le performance del materiale, rendendolo più o meno adatto alle differenti applicazioni; non va dimenticato, peraltro, che tali caratteristiche, ordinariamente determinate in laboratorio su campioni di materiale nuovo, sono poi soggette, nel trascorrere del tempo, a variazioni che solitamente ne alterano i valori a nuovo.

L'effetto dei fattori esterni sull'invecchiamento dei film plastici può determinare principalmente un abbassamento delle caratteristiche di resistenza meccanica, in particolare del modulo di elasticità e dell'allungamento percentuale a rottura, nonché un'influenza sulle caratteristiche chimico-fisiche del materiale, con abbassamento della temperatura di transizione vetrosa, ed infine un peggioramento delle caratteristiche radiometriche, con riduzione della trasmissività nel PAR o variazione di quella nell'Infrarosso lungo.

I principali fattori esterni che esercitano un'influenza più o meno marcata sull'invecchiamento dei film plastici sono (Manera et al., 1999/c):

-) radiazione solare;
-) temperatura e umidità relativa dell'aria;
-) contatto con l'ossigeno presente in aria e acqua.
-) effetto meccanico delle precipitazioni piovose o nevose;
-) effetto meccanico del vento;
-) contatto con polveri disperse nell'aria;
-) contatto con inquinanti atmosferici;
-) contatto con pesticidi e fitofarmaci;
-) contatto con il terreno agrario;
-) contatto con le strutture di sostegno;
-) tensioni interne conseguenti alla posa in opera e a sollecitazioni esterne.

Tra tali fattori, la radiazione solare, particolarmente nella sua componente ultravioletta, risulta il fattore predominante sulla degradazione dei materiali plastici (Nijskens et al., 1990).

Nell'ambito del progetto "Impiego in agricoltura di plastiche innovative biodegradabili per la solarizzazione del terreno", finanziato dall'Unione Europea e dalla Regione Basilicata nell'ambito del Programma Operativo Plurifondo FESR sono stati pertanto condotti studi intesi a definire le principali caratteristiche ingegneristiche dei film plastici innovativi e/o degradabili

impiegabili in agricoltura, assumendo indicazioni circa l'effetto della loro degradazione nel tempo, ricavando informazioni a proposito dell'effetto di variazione dei livelli termici nel terreno ed ottenendo, in conclusione, elementi utili per possibili miglioramenti delle qualità prestazionali di tali materiali in funzione delle applicazioni per la protezione delle colture o la solarizzazione del terreno agrario.

3. PROVE SPERIMENTALI CONDOTTE

3.1. Caratteristiche meccaniche

Le prove meccaniche condotte nell'ambito del suindicato progetto hanno tenuto in particolare conto i requisiti che devono essere posseduti da laminati da impiegare per applicazioni di protezione delle colture, quali pacciamatura e realizzazione di tunnel piccoli e medi, ovvero per la solarizzazione del terreno.

Per tali applicazioni, infatti, le caratteristiche meccaniche che i film devono possedere possono venire ricondotte a:

- *) una resistenza a trazione sufficiente per le operazioni di installazione dei teli;
- *) nel caso di materiali non degradabili, un allungamento percentuale a rottura sufficiente per il recupero del materiale post-consumo; a tal proposito, va ricordato come la Normativa UNI 9738 (UNI, 1990/b) prevede che la diminuzione di tale valore al di sotto del 50% del valore a nuovo dello stesso materiale indica l'istante in cui procedere alla sostituzione a causa del decadimento delle proprietà meccaniche del materiale (Manera et al., 1996);
- *) nel caso di materiali degradabili, delle caratteristiche meccaniche sufficienti per la durata di applicazione del trattamento di pacciamatura o solarizzazione.

I materiali provati, riportati in tabella 1, sono stati campionati mediante fustellatura, ai sensi della Normativa UNI 8422 (UNI, 1982), per ricavare resistenza massima a trazione e allungamento percentuale a rottura; per ottenere la resistenza a lacerazione, poi, sono state ricavate e testate provette a "pantalone", ai sensi della Normativa UNI 9563 (UNI, 1990/a).

Tab. 1: Materiali plastici innovativi e degradabili provati a trazione

Materiale	Descrizione	Spessore (μm)
Polydak	Coestruso tristrato trasparente LDPE-EVA-LDPE e cariche min.	25
Polygon Al-OR	Coestruso tristrato nero LDPE-HDPE con cariche minerali	30
Polygon IR-50	Coestruso tristrato fumè LDPE-EVA-LDPE con cariche minerali	21
Ecostar	Film plastico biodegradabile opalescente LDPE - amido	70
Cabot	Film plastico biodegradabile opalescente LDPE - amido	60
Mater Bi/z	Film plastico biodegradabile opaco lattescente a base poliesteri	28
LDPE puro	Film plastico tradizionale	50

I risultati ottenuti sui materiali nuovi (Manera et al., 1999/a) sono riportati in tabella 2, mentre la figura 1 (Manera et al., 1999/c) mostra l'andamento nel tempo di esposizione agli agenti atmosferici in due differenti località dell'Italia Meridionale, separatamente a contatto col terreno o esposti su un apposito pannello, del materiale Polydak 25.

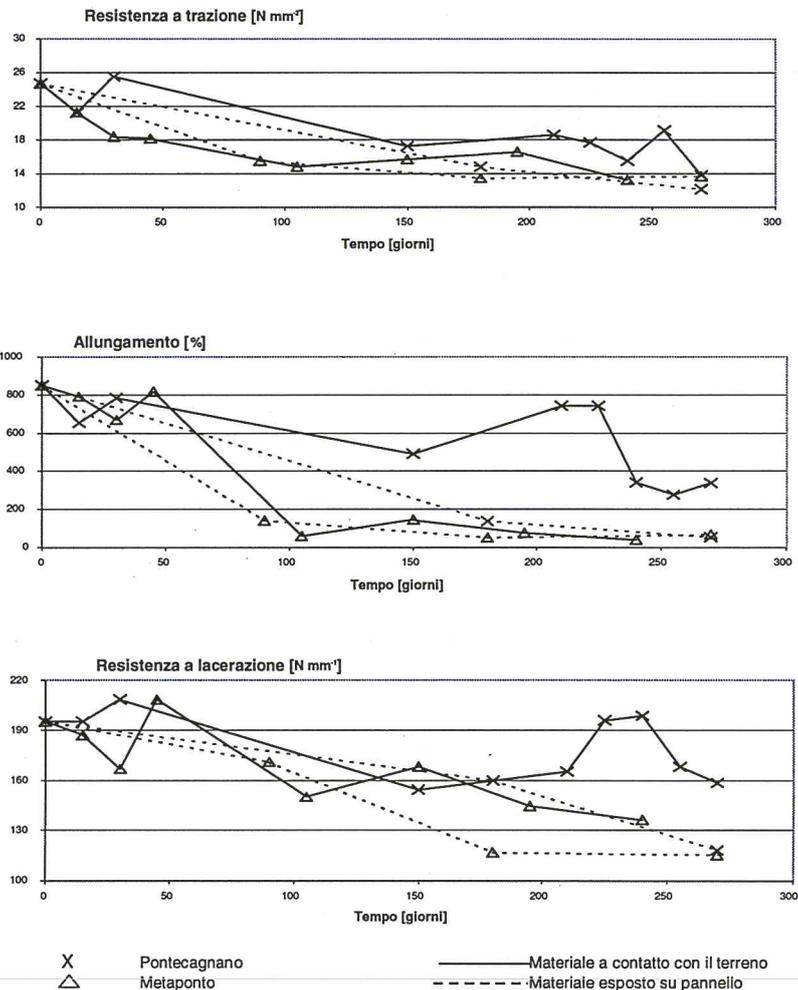


Figura 1: Risultati delle prove meccaniche su materiale coestruso tristrato sottile (tratto da: Manera et al., 1999/c).

Analogamente, la figura 2 mostra la variazione nel tempo di invecchiamento, a contatto col terreno, di un materiale fotodegradabile nelle diverse versioni fumè o trasparente, invecchiato in due differenti località dell'Italia Meridionale (Manera et al., 1999/c).

Tabella 2: Risultati delle prove a trazione e lacerazione sui materiali innovativi e degradabili provati

Materiale	Resistenza a trazione N mm ⁻²	Allungamento a rottura %	Resistenza a lacerazione N mm ⁻¹
Polydak	24,68	849,72	195,00
Polyon AI-OR	12,37	835,04	111,46
Polyon IR-50	25,54	653,01	119,05
Ecostar	13,97	538,14	88,39
Cabot	13,38	266,63	58,33
Mater Bi/z	12,67	669,23	71,43
LDPE puro	20,56	575,67	130,00

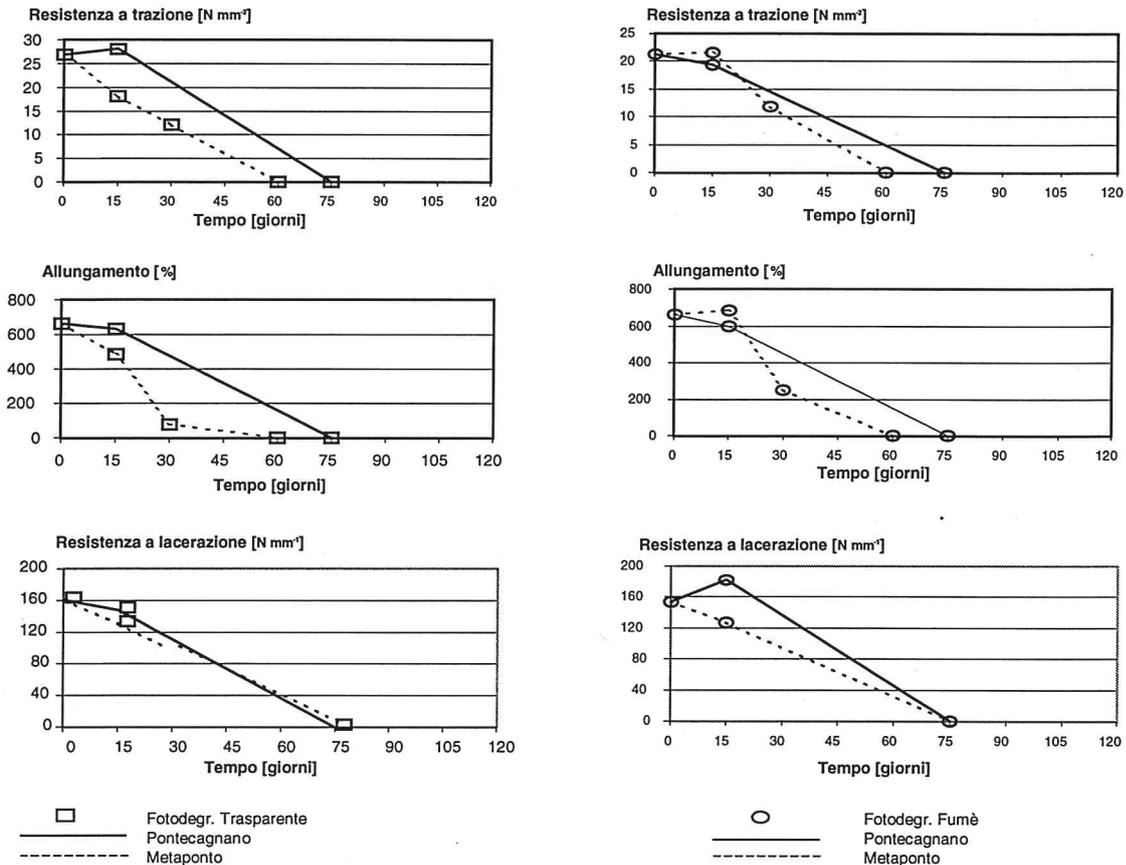


Figura 2: Risultati delle prove meccaniche su materiale degradabile invecchiato (tratto da: Manera et al., 1999/c).

In conclusione, dalle prove meccaniche condotte sembra di poter ricavare le seguenti indicazioni:

- *) i valori delle resistenze a rottura per trazione dei materiali plastici coestrusi multistrato molto sottili testati sono, ad eccezione del Polyon Al-OR, rispondenti al valore minimo (17 N mm²) previsto dalla Norma UNI 9738/90 per materiali per pacciamatura; tali valori unitari sono peraltro simili a quelli riscontrati in film ordinariamente impiegati nelle coperture di serre, il che li rende inutilizzabili in tali ultime applicazioni in quanto gli spessori ridotti determinerebbero, a parità di carichi esterni da dover sopportare, tensioni di esercizio incompatibili con i valori di resistenza unitaria a trazione del materiale;
- *) la correlazione tra perdita delle proprietà meccaniche e tempo di esposizione agli agenti esterni non è sempre di tipo lineare, poiché un iniziale “tempo di recupero” può venire generato dalla formazione di reticolazioni chimiche che possono inizialmente incrementare i valori delle proprietà meccaniche;
- *) mentre i materiali non degradabili hanno mostrato tempi di durata compatibili con le applicazioni proposte, quelli fotodegradabili testati, dopo soli 30 ÷ 40 giorni di esposizione a contatto con il terreno hanno perso oltre il 50% dell’allungamento percentuale a rottura, potendo pertanto trovare, sulla base di tali prime indicazioni, utilizzo in pieno campo solo per colture veloci;
- *) tenendo conto della peculiarità del tipo di applicazioni, per le quali le caratteristiche di resistenza dei materiali non degradabili sono connesse esclusivamente al recupero integrale al termine dell’applicazione ed al riciclaggio, la considerazione non solo dell’allungamento

percentuale a rottura, ma anche delle resistenze a trazione e a lacerazione del materiale usato, in qualità di indicatori dello stato di degrado del materiale possono probabilmente introdurre elementi aggiuntivi per una valutazione ispirata a criteri di economia e tutela dell'ambiente.

3.2. Caratteristiche radiometriche

Per le applicazioni di protezione delle colture o di solarizzazione del terreno le caratteristiche radiometriche che vengono richieste ai film plastici sono essenzialmente riconducibili a:

- *) un'elevata trasmissività nel solare accompagnata da bassa trasmissività ed elevata riflessività nell'infrarosso lungo per materiali trasparenti da impiegare per pacciamatura, copertura di piccoli o medi tunnel, solarizzazione del terreno;
- *) opacità a tutte le bande della radiazione, che si mantenga nel tempo di applicazione, per pacciamatura con materiali neri o fumè.

Dei materiali provati, sono stati ottenuti mediante uno spettrofotometro da laboratorio Jasco gli spettri tanto in trasmissione quanto in riflessione ininterrottamente nel range di lunghezze d'onda [190 ÷ 12.500] nm, in modo da poter ricavare tutti i valori significativi, ed in particolare quelli nel PAR [400 ÷ 700] nm e quelli impiegabili per il calcolo dell'effetto termico (Falleri & Magnani, 1991) nel range [7.500 ÷ 12.500] nm.

Alcuni esempi dei risultati ottenuti su materiali nuovi e dopo invecchiamento sono riportati nelle figure n° 3 e 4 rispettivamente in termini di trasmissività e riflessività di un film coestruso tristrato trasparente (Polydak 20 µm), e n° 5 per la trasmissività di un film LDPE nero tradizionale.

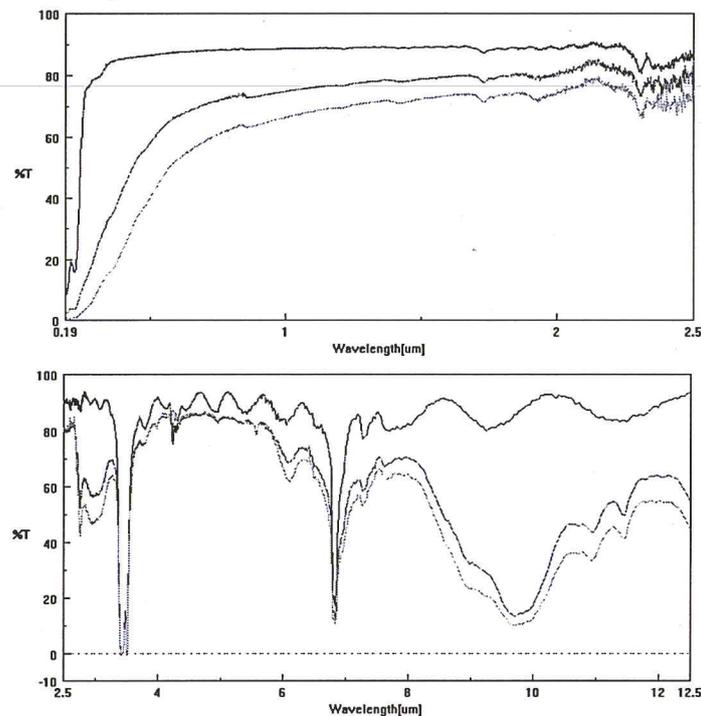


Figura 3: Spettri in trasmissione totale UV-VIS-NIR (in alto) e IR (in basso) di film Polydak 20µm nuovo (blu) / invecchiato dopo 165 giorni (rosso)/ invecchiato dopo 270 giorni (verde)

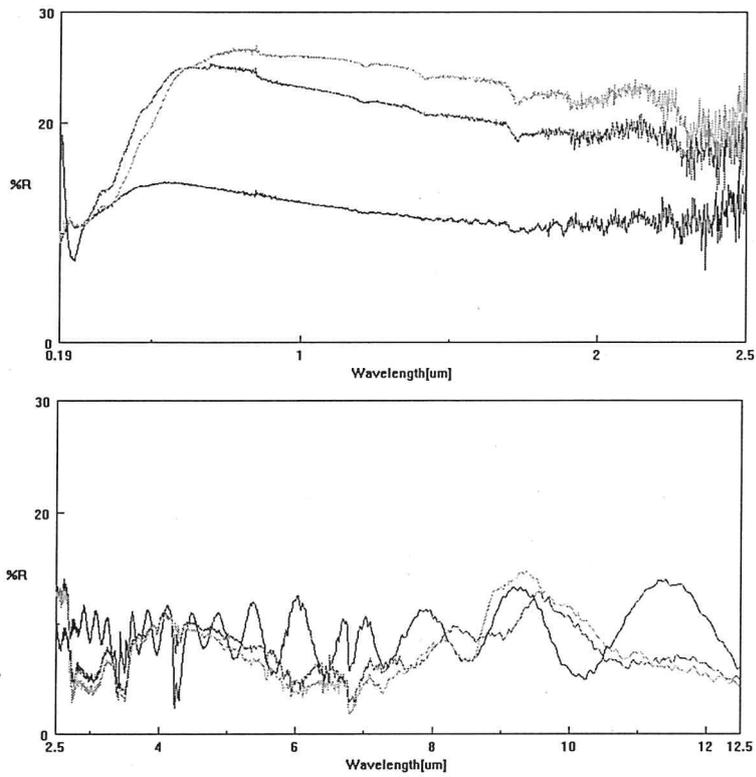


Figura 4: Spettri in riflessione totale UV-VIS-NIR (in alto) e IR (in basso) di film Polydak 20 μ m nuovo (blu) / invecchiato dopo 165 giorni (rosso)/ invecchiato dopo 270 giorni (verde)

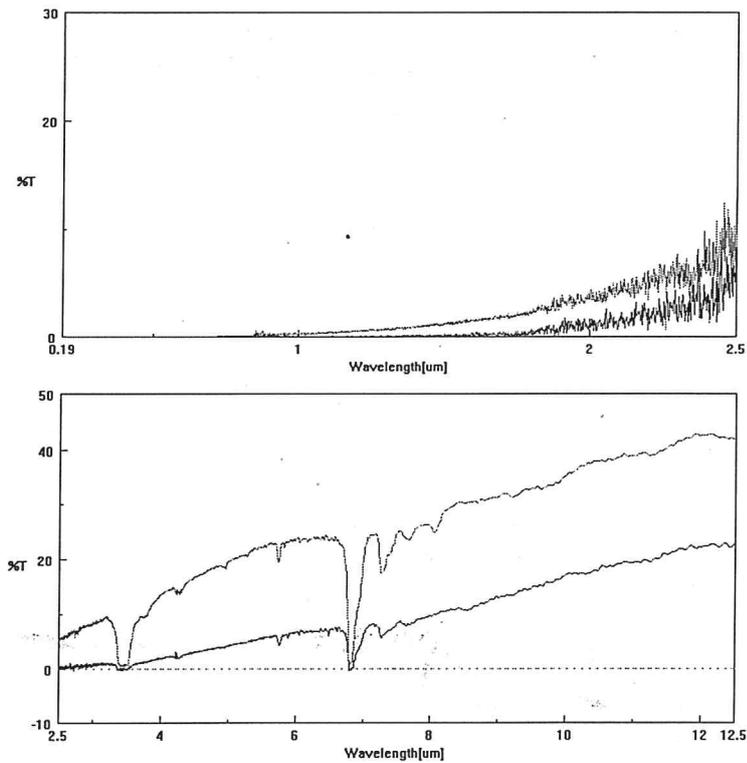


Figura 5: Spettri in trasmissione totale UV-VIS-NIR (in alto) e IR (in basso) di film LDPE nero nuovo (blu) / invecchiato (rosso)

Inoltre, allo scopo di indagare l'effetto che il livello termico del materiale determina sulla trasmissività nelle bande del solare sono state condotte (Mormile et al., 2000) prove spettroradiometriche sulla medesima apparecchiatura, integrata con un apposito fornetto portacampioni (sistema Mettler) inserito all'interno, partendo dalla temperatura ambiente sino a 65 °C, ottenendo così l'analisi spettrale in funzione della temperatura riportata in figura 6.

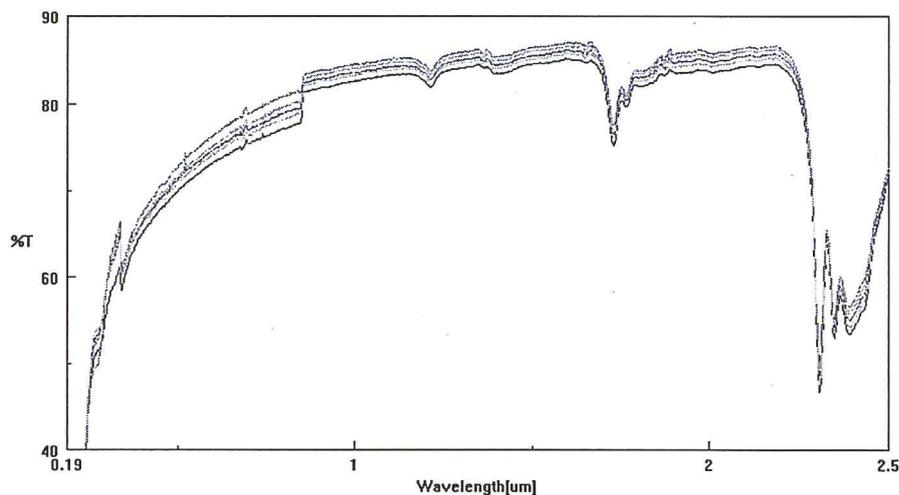


Figura 6: Spettro in trasmissione collimata UV-VIS-NIR di un film EVA a varie temperature: T = 25°C (curva blu), T = 35°C (curva celeste), T = 45°C (curva rossa), T = 55°C (curva verde), T = 65°C (curva fucsia) (tratto da: Mormile et al., 2000).

Un'ulteriore interessante applicazione delle prove spettroradiometriche condotte consiste nella possibilità di ricavare indicazioni circa l'invecchiamento dei materiali attraverso il calcolo del Carbonil Index (Manera et al., 1999/c). Tale parametro, calcolato attraverso la Legge di Lambert-Beer:

$$C_I = \varepsilon \frac{A^t - A^0}{S}$$

ove:

C_I = Carbonil Index (concentrazione gruppi carbonilici), %;

A^t = Assorbanza del gruppo carbonilico nella regione 5380 - 6060 nm al tempo t, %;

A^0 = Assorbanza del gruppo nella regione 5380 - 6060 nm al tempo 0, %;

ε = Coefficiente di assorbimento molare, m;

S = Spessore del film, m.

risulta un indice affidabile per la misurazione del livello di invecchiamento del film plastico, nel quale i gruppi carbonilici, quasi assenti nel polimero nuovo, aumentano la concentrazione durante l'esposizione del materiale polimerico agli agenti atmosferici variando, di conseguenza, l'assorbanza nella regione [5.380 ÷ 6.060] nm, con un picco nella regione [5.715 ÷ 5.850] nm.

La figura 7 mostra i diagrammi spettroradiometrici nella banda [2.500 ÷ 12.500] nm di un materiale nuovo e dopo invecchiamento; è evidente, nella regione innanzi indicata, la diminuzione della trasmissività registrata nel materiale invecchiato che, in assenza di una sostanziale modifica dei valori di riflessività, si traduce in un pari aumento dell'assorbanza.

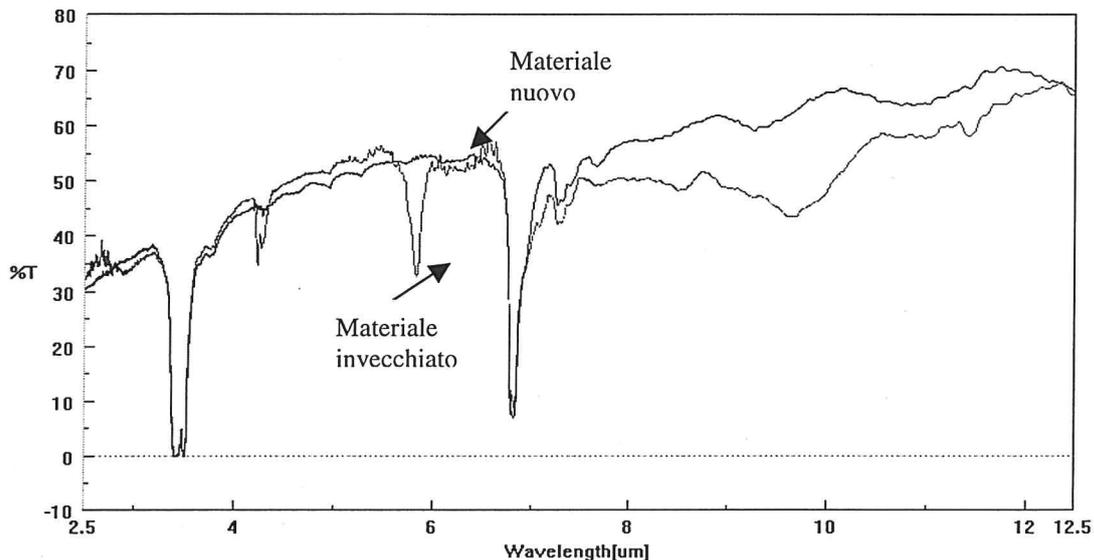


Figura 7: Diagramma spettroradiometrico di un film plastico sottoposto ad invecchiamento (tratto da: Manera et al., 1999/c).

Dalle prove radiometriche condotte è pertanto possibile ricavare le seguenti indicazioni:

- *) in generale, le caratteristiche radiometriche per i film plastici coestrusi multistrato molto sottili sotto il profilo dell'effetto termico appaiono insufficienti (Manera et al., 1999/a) con valori bassi probabilmente dovuti all'eccessiva riduzione dello spessore del film; è noto infatti che i film costituiti da EVA, se caratterizzati da una percentuale di VA intorno al 12.5 % e non additivati da specifiche cariche minerali, non raggiungono un "effetto barriera all'Infrarosso" del 75% se lo spessore non è pari ad almeno 140 µm (Falleri & Magnani, 1991). Da questo punto di vista, pertanto, alcuni dei materiali provati necessitano di un supplemento di analisi, in modo da poterli meglio indirizzare verso qualità prestazionali sufficienti solo per specifiche applicazioni nella pacciamatura, nella copertura di tunnel piccoli e medi, ovvero nella solarizzazione del terreno;
- *) una simile indicazione sembra doversi ricavare anche per i materiali biodegradabili sottoposti a prova, le cui caratteristiche ottiche dovranno venire migliorate attraverso studi di mescole e formulazioni specifiche;
- *) l'andamento del Carbonil Index, ricavato dalle prove spettroradiometriche, può venire assunto quale parametro indicativo dello stato di degradazione del materiale plastico; esso aumenta man mano che si sviluppa il processo di ossidazione e di conseguente degradazione.

3.3. Prestazioni termiche

Un'utile integrazione delle analisi di laboratorio intese a determinare le proprietà meccaniche e spettroradiometriche dei materiali testati è consistita, infine, nella loro sperimentazione in campo nelle applicazioni per le quali sono stati proposti, ossia per la pacciamatura di coltivazioni, per la realizzazione di piccoli tunnel e per la sterilizzazione del terreno agrario mediante solarizzazione.

Le prove sperimentali in campo sono state innanzitutto precedute da modellizzazioni numeriche dei processi di scambio termico nel terreno coperto da film plastici (De Luca et al., 1996, Candura et al., 1999, Mormile et al., 2000), in cui sono state definite essenzialmente (fig. 8):

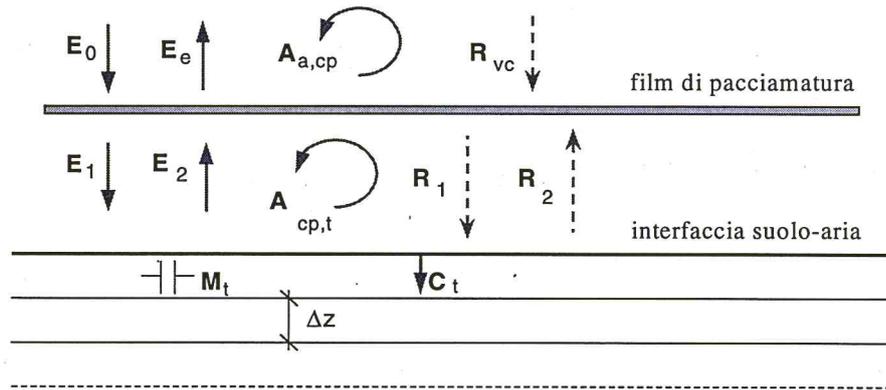


Figura 8: Schematizzazione degli scambi energetici per uno strato di pacciamatura con film plastico (tratto da: Candura et al., 1999)

-) le equazioni di bilancio energetico per il film plastico:

$$E_0 + E_2 - E_e - E_1 + A_{a,cp} - A_{cp,t} + \epsilon_{cp}(R_{vc} + R_2) - 2\epsilon_{cp}\sigma T_{cp}^4 = 0$$

-) le equazioni di bilancio energetico per lo strato di interfaccia terreno - aria sottostante

$$E_1 - E_2 - C_t - M_t + A_{cp,t} + \epsilon_t R_1 - \epsilon_t \sigma T_t^4 = 0$$

-) le equazioni relative ai flussi termici radiativi che interessano il materiale di copertura ed il suolo nelle 2 incognite rappresentate dai flussi termici R1 e R2:

$$R_1 = \epsilon_{cp}\sigma T_{cp}^4 + \tau_{r,cp}R_{vc} + \rho_{r,cp}R_2 \quad R_2 = \epsilon_t\sigma T_t^4 + \rho_{r,t}R_1$$

Le modellizzazioni numeriche approntate sono state quindi confrontate con i risultati sperimentali ottenuti in termini di temperatura misurata nel terreno coperto da un film plastico ad 1, 5, 15, 30 e 50 cm di profondità (figg. 9, 10, 11, 12 e 13).

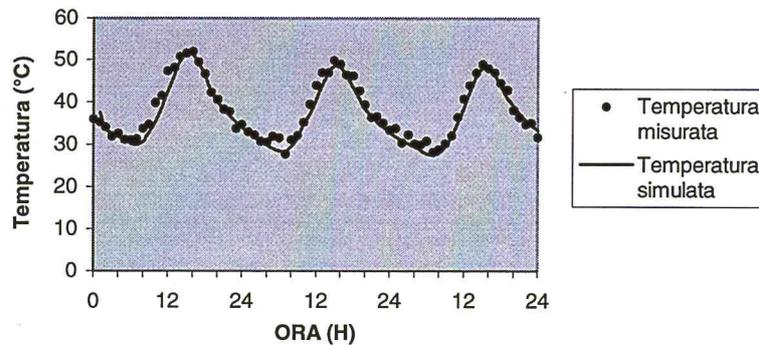


Figura 9: Temperatura misurata e simulata del terreno coperto da un film plastico a profondità di 1 cm nel periodo 13 - 15 Agosto 1994.

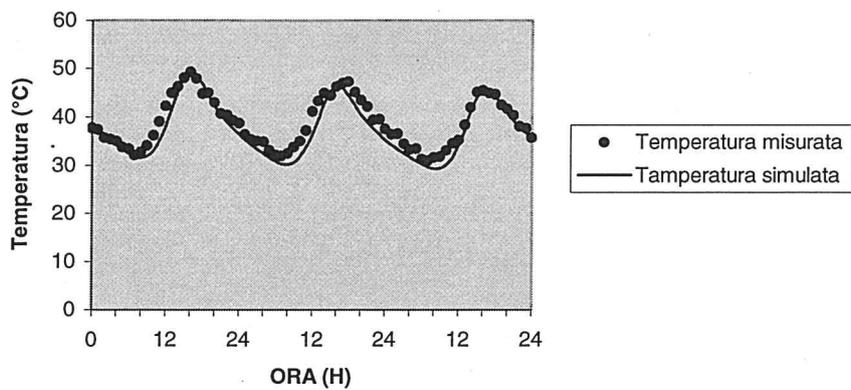


Figura 10: Temperatura misurata e simulata del terreno coperto da un film plastico a profondità di 5 cm nel periodo 13 - 15 Agosto 1994.

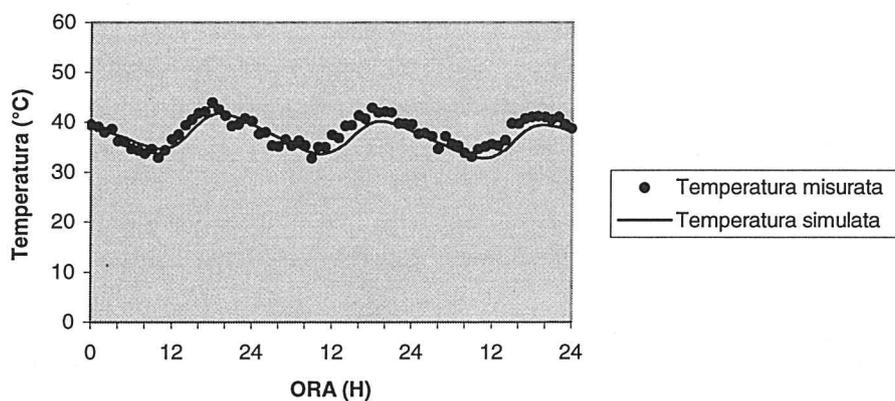


Figura 11: Temperatura misurata e simulata del terreno coperto da un film plastico a profondità di 15 cm nel periodo 13 - 15 Agosto 1994.

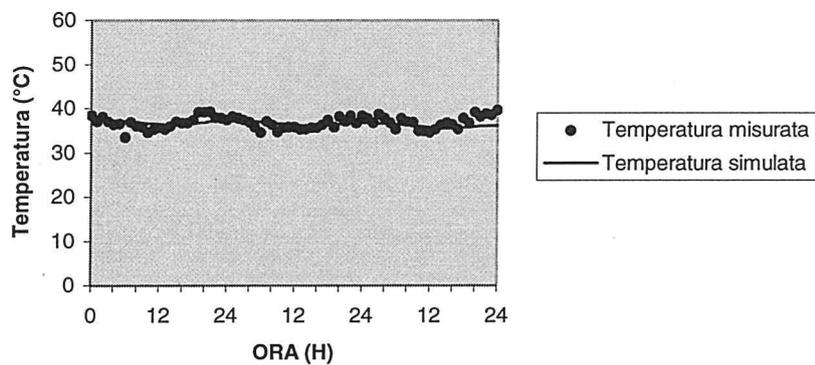


Figura 12: Temperatura misurata e simulata del terreno coperto da un film plastico a profondità di 30 cm nel periodo 13 - 15 Agosto 1994.

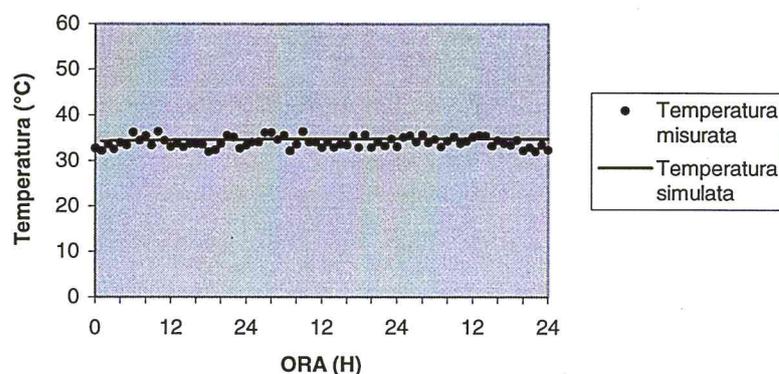


Figura 13: Temperatura misurata e simulata del terreno coperto da un film plastico a profondità di 50 cm nel periodo 13 - 15 Agosto 1994.

Dalle prove sperimentali condotte, in pieno campo e sotto serra, anche in collaborazione con ricercatori di altri settori scientifico-disciplinari, sono state ottenute infine indicazioni circa l'efficacia nell'applicazione di tecniche di pacciamatura (Manera et al., 1999/b) e/o piccoli tunnel (Candido et al., 2000) ovvero nella sterilizzazione del terreno agrario mediante solarizzazione (Manera et al., 2000). A titolo di esempio si riportano in questa sede nelle figure 14, 15, 16 e 17 i valori di temperatura misurati rispettivamente a 10 e 30 cm di profondità in due diversi periodi dell'anno nel terreno sottostante tesi pacciamate con diversi film plastici per la coltivazione del melone sotto serra; come si può notare, i valori termici ottenuti sotto la pacciamatura effettuata con materiale degradabile sono nell'arco dell'intera giornata più elevati rispetto a quelli misurati sotto una pacciamatura effettuata con un film coestruso multistrato molto sottile, nel quale caso però rimangono, salvo le situazioni vicine alle minime notturne, comunque superiori a quelli ottenuti sotto un film tradizionale di LDPE.

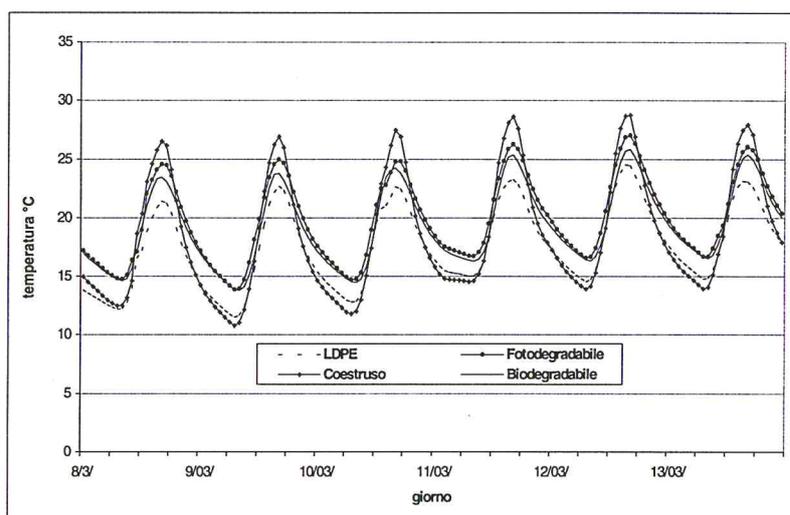


Figura 14 – Andamento della temperatura del suolo a 10 cm di profondità dal 08/03/99 al 13/03/99 (tratto da: Manera et al., 1999/b).

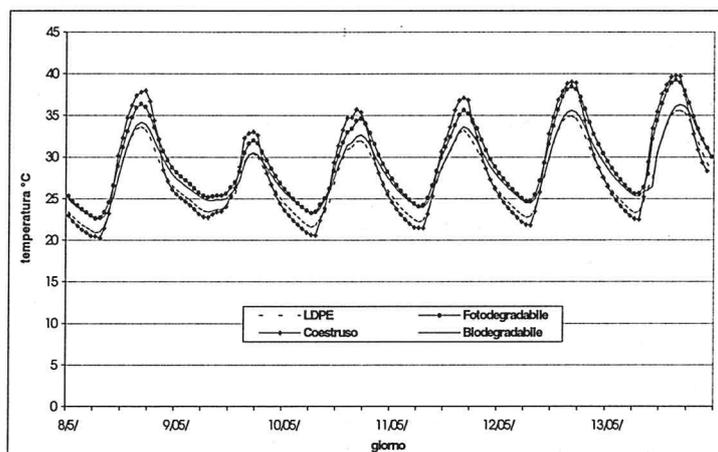


Figura 15 – Andamento della temperatura del suolo a 10 cm di profondità dal 08/05/99 al 13/05/99 (tratto da: Manera et al., 1999/b).

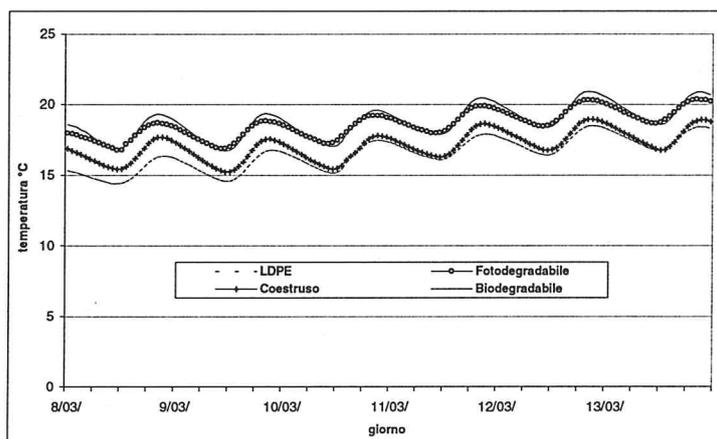


Figura 16 – Andamento della temperatura del suolo a 30 cm di profondità dal 08/03/99 al 13/03/99 (tratto da: Manera et al., 1999/b).

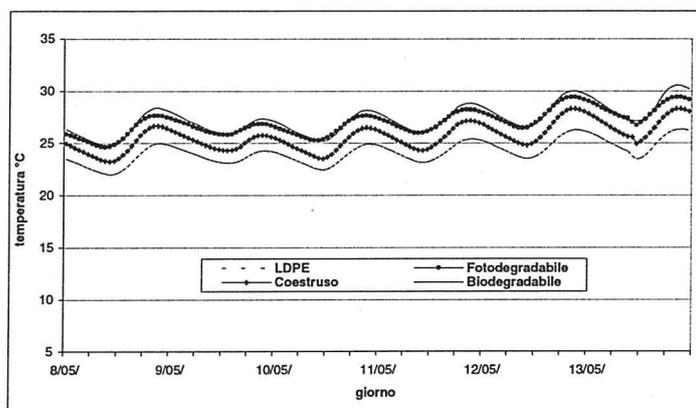


Figura 17 – Andamento della temperatura del suolo a 30 cm di profondità dal 08/05/99 al 13/05/99 (tratto da: Manera et al., 1999/b).

Dalle modellizzazioni numeriche e dalle differenti prove sperimentali effettuate, sembra così di poter ricavare le seguenti indicazioni:

- *) i valori di temperatura alle diverse profondità del terreno, previsti in linea teorica mediante l'utilizzo di un modello matematico, sono stati confermati con buona approssimazione da quelli rilevati mediante prove sperimentali;
- *) i livelli termici ottenuti sotto materiali degradabili sono generalmente più elevati rispetto a quelli sotto film plastici coestrusi multistrato molto sottili, con un andamento più regolare delle curve di temperatura; tale risultato appare principalmente imputabile alle diverse caratteristiche radiometriche dei materiali, che giocano un ruolo dominante nel bilancio termodinamico del sistema.

4. CONCLUSIONI

Atteso che l'impiego di film plastici innovativi, quali quelli coestrusi multistrato molto sottili ovvero quelli degradabili, possono determinare un apporto di benefici in termini economici ed ambientali, appare comunque possibile concludere che quelli attualmente disponibili in commercio dovrebbero venire migliorati attraverso formulazioni intese ad affinarne le caratteristiche in modo da renderli più confacenti alle necessità peculiari di applicazioni proprie in agricoltura, quali la protezione delle colture mediante pacciamatura o realizzazione di piccoli o medi tunnel ovvero quale la sterilizzazione del terreno agrario mediante solarizzazione.

Nello specifico, i film plastici coestrusi multistrato molto sottili dovrebbero venire migliorati attraverso ulteriori incrementi delle caratteristiche meccaniche e radiometriche e mediante formulazioni che assicurino durate anche in condizioni di impiego gravose, quali il contatto con terreno agrario molto caldo o con fitofarmaci, situazioni di stress legato a tensioni indotte da particolari tesature, ecc.

Per quanto riguarda i film degradabili, poi, la ricerca di formulazioni specifiche per applicazioni in agricoltura diventa ancora più importante; i film fotodegradabili testati, infatti, hanno rapidamente perso le proprietà meccaniche se esposti su terreno nudo in pieno campo, al punto da renderli proponibili solo per colture veloci: una volta impiegati per la pacciamatura del melone sotto serra, invece, gli stessi film si sono degradati molto più lentamente, soprattutto a causa della copertura della vegetazione. I film biodegradabili provati, poi, pur avendo mostrato tempi di degradazione compatibili con la pacciamatura del melone sotto serra, hanno però mostrato inconvenienti pratici quali l' "incollaggio" con la manichetta di PE nero per l'irrigazione, con conseguente lacerazione, nonché una mancata degradazione se utilizzati su terreno affetto da malerbe perché non precedentemente sterilizzato (Manera et al., 1999/b).

L'opportunità circa l'impiego dei materiali degradabili, infine, non può non venire complessivamente valutata a condizione di accompagnare il materiale da istruzioni circa il suo corretto impiego e i suoi tempi di degradazione, nonché, soprattutto, di procedere ad approfondire le conseguenze che i residui della degradazione possono determinare nel terreno agrario e nell'agro-ecosistema in generale.

BIBLIOGRAFIA

-) Candido V. , Miccolis V., Gatta G., Margiotta S., Picuno P., Manera C. (2000) – *The effect of soil solarization and protection techniques on yield traits of melon in unheated greenhouse*. – Atti del Convegno dell'International Society for Horticultural Sciences su: "Protected cultivation in mild winter climates: current trends for sustainable technologies", Cartagena-Almeria (Spagna), 7-11 Marzo 2000 (in corso di stampa su: Acta Horticulturae);
-) Candura A., Scarascia Mugnozza G., Russo G., Vox G. (1999) – *Modello numerico di solarizzazione e prove con film fotodegradabile* – Colture Protette, 28, (3): 79-86;

-) De Luca V., Manera C., Mazza S. (1996) – *Solarizzazione con film in PES: studio dinamico e spettrale*. – *Colture Protette*, 25, (10): 67-74;
-) Falleri F. & Magnani G. (1991) - *Film termici di copertura: valutazione delle caratteristiche principali*. - *Colture Protette*, 20, (11): 85-93;
-) Manera C., Margiotta S., Picuno P. (1996) – *Caratteristiche meccaniche di film per pacciamatura*. – *Colture Protette*, 25, (5), 77-81;
-) Manera C., Margiotta S., Picuno P. (1999)/a – *Film plastici innovativi e biodegradabili per le colture protette*. – *Colture Protette*, 28, (4), 59-64;
-) Manera C., Margiotta S., Picuno P., Gatta G. (1999)/b – *Prove di pacciamatura con film plastici innovativi, foto e biodegradabili*. - Atti del Seminario sul tema: “Le colture protette: aspetti agronomici, territoriali e tecnico-costruttivi”, Ragusa, 24-26 Giugno 1999 (in corso di stampa);
-) Manera C., Margiotta S., Picuno P., Preziosa P. (1999)/c – *Meccanismi di invecchiamento dei film plastici impiegati per la protezione delle colture*. - Atti del Seminario sul tema: “Le colture protette: aspetti agronomici, territoriali e tecnico-costruttivi”, Ragusa, 24-26 Giugno 1999 (in corso di stampa);
-) Manera C., Margiotta S., Basile M., Gatta G. (2000) – *Prove di solarizzazione in serra con film innovativi*. – Atti del Convegno Nazionale A.I.I.A. su: “Impiego in agricoltura di plastiche innovative biodegradabili per la solarizzazione del terreno”, Matera, 14-17 Giugno 2000 (in corso di stampa);
-) Mormile P., Petti L., Immirzi B., Malinconico M., De Luca V., Manera C. (2000) – *Optical characterisation of polymeric films by a new methodological approach*. – (in corso di stampa su: Applied Spectroscopy);
-) Nijskens J, Deltour J., Albrecht E., Gratraud J., Feuilloley P. (1990) – *Etude comparative du vieillissement d'un film de polyethylene en laboratoire et en serre*. – *Plasticulture*, 87, (3), 11-20;
-) Scarascia Mugnozza G. (1999) – *Aspetti strutturali ed impiantistici degli apprestamenti per le colture protette: criteri attuali e prospettive*. - Atti del Seminario sul tema: “Le colture protette: aspetti agronomici, territoriali e tecnico-costruttivi”, Ragusa, 24-26 Giugno 1999 (in corso di stampa);
-) UNI (1982) – *Materie plastiche. Determinazione delle proprietà a trazione di film e foglie*. - UNIPLAST 8422, Milano;
-) UNI (1990)/a – *Materie plastiche. Film e foglie. Determinazione della resistenza a lacerazione. Metodo della provetta a pantalone*. - UNIPLAST 9563, Milano;
-) UNI (1990)/b – *Foglie flessibili di polietilene bassa densità per pacciamatura di coltivazioni orto-floro-frutticole. Dimensioni, requisiti e metodi di prova*. - UNIPLAST 9738, Milano.

