

# **IL RUOLO DELL'INGEGNERIA PER L'AGRICOLTURA DEL 2000**

**V Convegno Nazionale A.I.G.R. 7 - 11 giugno 1993**



ASSOCIAZIONE ITALIANA  
DI GENIO RURALE



INTERNATIONAL COMMISSION  
OF AGRICULTURAL ENGINEERING



UNIVERSITA' DEGLI STUDI  
DELLA BASILICATA  
DITEC



# PROVE DI RESISTENZA A TRAZIONE SU MATERIALI PLASTICI PER SERRE SOTTOPOSTI AD INVECCHIAMENTO

Carlo MANERA \*, Pietro PICUNO \*, Giacomo SCARASCIA MUGNOZZA \*\*

\*Dipartimento Tecnico-Economico, Università della Basilicata, Potenza

\*\*Istituto di Costruzioni Rurali, Università di Bari

## RIASSUNTO

Allo scopo di ottenere indicazioni circa la variazione delle proprietà meccaniche di resistenza in funzione del tempo di alcuni tra i materiali plastici più diffusi per la copertura delle serre, sono stati esaminati cinque diversi film plastici (PE stagionale, PE pluristagionale, EVA, PVC e TFE) ed un laminato plastico rigido (PMMA). Nelle prove effettuate sono stati portati a rottura per trazione provini dei suddetti materiali nuovi e sottoposti ad invecchiamento naturale a Bari mediante esposizione alla radiazione solare per 3, 6, 9, 12, 18, 24 e 36 mesi nel caso dei film, e per 12 e 36 mesi nel caso delle lastre, rilevandone la resistenza massima e l'allungamento percentuale a rottura.

I risultati hanno mostrato che alcuni film hanno subito una progressiva riduzione delle caratteristiche meccaniche, mentre altri (EVA e TFE) non hanno risentito di tale abbattimento a causa del tempo di esposizione. Nel caso dei laminati plastici rigidi, invece, la resistenza massima, dopo tre anni di esposizione, è rimasta sostanzialmente immutata, mentre l'allungamento percentuale a rottura si è dimezzato.

## TENSILE TESTS ON NEW AND AGED GREENHOUSE PLASTIC MATERIALS

### SUMMARY

In order to obtain indications on mechanical characteristics change during ageing of some more common greenhouse cladding plastic materials, five different plastic films (PE one-season, PE multi-season, EVA, PVC and TFE) and a rigid plastic sheet (PMMA) were tested. Specimens of these materials, new and aged by exposure to solar radiation in Bari (Southern Italy) for 3, 6, 9, 12, 18, 24 and 36 months regarding to the films, and for 12 and 36 months regarding to the rigid sheet, were tested by tensile stress, obtaining maximum strength and percent elongation at break.

The obtained results showed that some films had a progressive reduction of their mechanical characteristics, while others (EVA and TFE) didn't exhibit this phenomenon. Plastic rigid sheets, finally, showed maximum strength unchanged after the three years ageing period, while percent elongation at break was about the half.

## 1. INTRODUZIONE

### 1. Foreword

La produzione di laminati plastici per la copertura di serre è stata indirizzata, nei tempi più recenti, verso la ricerca di materiali dotati di proprietà radiometriche tali da assicurare un'elevata trasparenza alle radiazioni solari, una bassa trasmittanza nell'I.R. lungo e caratterizzati da una durata nel tempo rispondente alle esigenze dei serricoltori. L'importanza del settore è testimoniata dai dati sul consumo annuo di materie plastiche per l'agricoltura, che per i film e le plastiche rigide è rispettivamente pari a oltre 90.000 e 1.000 tonnellate.

L'ottenimento di migliori prestazioni radiometriche e meccaniche ha permesso un'estensione

delle applicazioni oltre che in orticoltura, anche al settore vivaistico e a quello floricolo.

Per approfondire le caratteristiche di resistenza dei laminati plastici trasparenti flessibili e rigidi più diffusi in Italia, è stata condotta una serie di prove di resistenza a trazione su materiali nuovi e durante il periodo di invecchiamento naturale per una durata di 36 mesi.

## 2. CARATTERISTICHE DEI FILM PLASTICI PER SERRE

### 2. Greenhouse plastic films characteristics

La ricerca di materiali dotati contemporaneamente di migliori caratteristiche ottiche e di resistenza meccanica viene condotta dalle industrie produttrici attraverso la modifica della struttura

chimica del materiale di base ovvero attraverso la definizione di nuovi polimeri.

In particolare, mediante l'adozione di sostanze additanti, sono stati ottenuti film del tipo anti-goccia (no drop), sulla cui superficie interna l'acqua di condensa prende la forma di un sottile velo liquido pressochè continuo, impedendo così fenomeni di stillicidio dannosi per le colture praticate in serra; tale caratteristica anti-goccia, tuttavia, tende a svanire durante il periodo di impiego del film, probabilmente a causa dell'effetto delle radiazioni UV che determinano una diminuzione dell'efficacia della sostanza additivante.

L'utilizzo di additivi stabilizzanti anti-UV ha permesso la realizzazione di film caratterizzati da una maggiore durata nel tempo; è stato tuttavia osservato (2) che il contatto del film con i pesticidi impiegati per i trattamenti delle colture praticate sotto serra determina una perdita di efficacia degli stabilizzanti anti-UV e, conseguentemente, un rapido decremento della resistenza meccanica del film, non più protetto dall'azione delle radiazioni UV. L'effetto disgregante dei pesticidi è risultato (2) pressochè indipendente dal tipo di film, PE ovvero EVA, o dallo spessore del laminato, mentre è stato notato un differente ritardo dell'inesco del processo di degradazione delle caratteristiche di resistenza meccanica in funzione della quantità di additivi stabilizzanti anti-UV presenti nella miscela del polimero. Si può affermare che l'applicazione di fitofarmaci produce in generale effetti negativi sui film di copertura delle serre, per cui appare importante, in sede di applicazione di tali trattamenti, avere la maggior cura possibile nell'evitare contatti tra il pesticida ed il laminato plastico ricorrendo ad accorgimenti, quali la ventilazione, che possono ridurre le possibilità di contatto, oltre che con gli operatori, anche con il materiale di copertura dell'apprestamento protetto.

La ricerca di materiali dotati di ridotta trasmittanza nell'I.R. lungo, a cui comunemente si attribuisce la definizione di film termici, ha condotto (3, 5) alla realizzazione di film di EVA con differenti percentuali di acetato di vinile, di film costituiti da due o tre strati coestrusi di EVA e di PE a bassa densità (LDPE), nonché di LDPE cui sono state aggiunte cariche minerali. È stato peraltro notato (3) come ad un incremento dell'effetto termico non sempre corrisponde una resa produttiva più elevata, a causa della riduzione della trasmittanza alla radiazione nel PAR provocata dall'aggiunta di cariche minerali ai film. In quest'ultimo tipo di laminati plastici flessibili, inoltre, anche la resistenza meccanica risulta più limitata nel tempo (3), a causa dell'azione negativa esercitata dalle cariche minerali sulla stabilità del polimero di base che tende ad infragilirsi più rapidamente.

I laminati plastici rigidi sono stati oggetto di ricerche intese alla definizione di materiali dotati di caratteristiche radiometriche simili a quelle del vetro ma aventi, rispetto a questo, un peso notevolmente inferiore, minore fragilità agli urti e dimensioni delle lastre più elevate, contribuendo così ad alleggerire le strutture portanti e ridurre i costi di costruzione.

Tra i laminati plastici rigidi più diffusi per la copertura di apprestamenti protetti, oltre ai tradizionali Policarbonati (PC), Polimetilmetacrilati (PMMA) ed al Poliestere rinforzato con fibra di vetro (PRFV), è stato più recentemente introdotto il PVC bi-orientato (7), caratterizzato, rispetto al normale PVC rigido, da migliori proprietà di resistenza meccanica e di durata nel tempo ottenute in virtù dello sviluppo delle tecniche di bi-orientamento delle catene molecolari e dello sviluppo di nuovi metodi di protezione del PVC dalle radiazioni UV.

L'interesse dei ricercatori verso lo studio della resistenza dei materiali plastici nel tempo ha condotto ad alcuni risultati significativi (4, 6); in particolare, Nijskens et al. (6) hanno condotto prove meccaniche e radiometriche su campioni di film di polietilene invecchiato sia naturalmente, in due diverse località europee, che artificialmente, mediante una apparecchiatura per l'invecchiamento accelerato; dai risultati ottenuti è stato osservato come l'evoluzione nel tempo delle principali caratteristiche meccaniche (resistenza ed allungamento percentuale a rottura) è strettamente connessa alle condizioni di invecchiamento (latitudine, clima, ecc.). È stato inoltre notato che non appare possibile stabilire una relazione tra invecchiamento naturale ed artificiale poichè non è possibile, in quest'ultimo caso, intervenire esattamente sulla frazione di radiazione UV, che risulta il fattore determinante nel processo di invecchiamento del polietilene.

L'indagine avviata (4) con l'esame delle caratteristiche meccaniche dei principali laminati plastici rigidi e flessibili nuovi e dopo invecchiamento naturale è proseguita esaminando il decadimento, in un periodo di invecchiamento di 36 mesi, della resistenza meccanica dei film e delle lastre più diffusi in Italia.

### **3. PROVE SPERIMENTALI**

#### **3. Experimental tests**

##### **3.1. Materiali e metodi**

##### **3.1. Materials and methods**

Le prove sono state condotte portando a rottura per trazione campioni di materiale nuovo ed invecchiato di laminati plastici rigidi e flessibili (tab.1).

Laminato plastico	Materiale	Nome commerciale	Spessore (mm)	Periodo di invecchiamento
Rigido	PMMA	Vedril	2.80	15.09.87 - 15.09.90
Flessibile	PE	Polyane AI 3F	0.18	15.02.89 - 15.02.92
"	PVC	Plypac	0.15	15.02.89 - 15.02.92
"	PE	PE Federplast	0.20	15.02.89 - 15.02.92
"	EVA	Polytherm 35	0.18	15.02.89 - 15.02.92
"	TFE	TFE 90	0.10	15.02.89 - 15.02.92

Tab. 1 - Laminati plastici rigidi e flessibili oggetto della prova e relativo periodo di invecchiamento naturale mediante esposizione alle radiazioni solari.

Tab. 1 - Tested plastic sheets and films with their period of natural ageing, obtained by exposure to solar radiation.

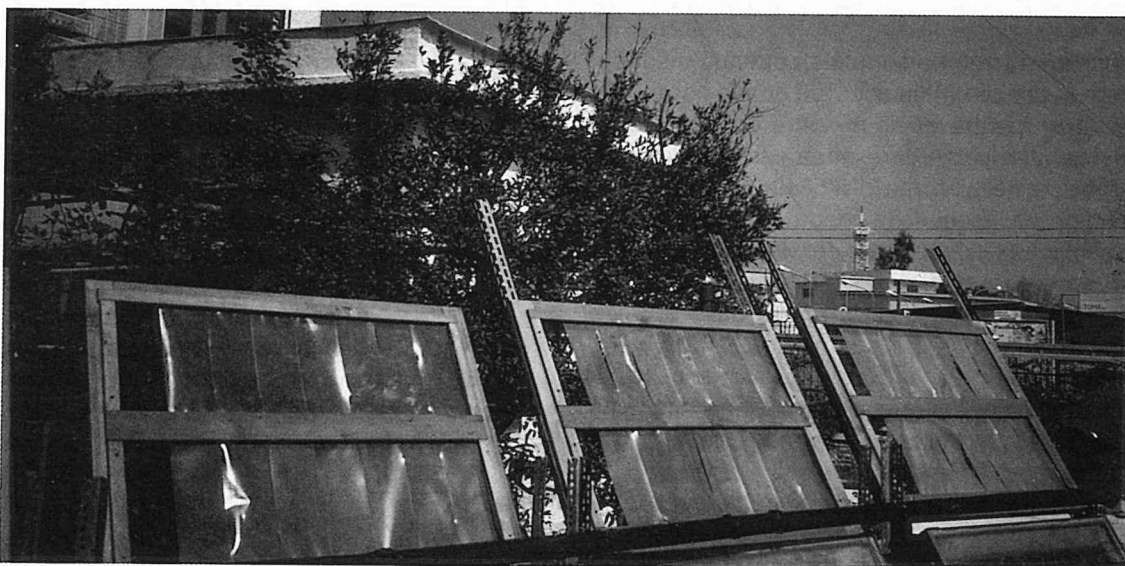


Fig. 1 - Telai di supporto dei materiali plastici esposti all'invecchiamento naturale.

Fig. 1 - Supporting frames for plastic materials exposed to natural ageing.

L'invecchiamento è stato ottenuto per esposizione all'aperto nell'ambito del Campus della Facoltà di Agraria di Bari (41° 07' Latitudine N); i campioni dei diversi materiali sono stati fissati su idonei telai di supporto orientati verso S, inclinati sull'orizzontale di circa 30° (fig. 1). La tabella 2 riporta, per tutto il periodo di invecchiamento, i valori cumulati mensili della radiazione solare, registrati (12) con il solarimetro della Stazione Agrometeorologica dell'Istituto Sperimentale Agronomico di Bari del M.A.F.; la radiazione UV, valutata pari a circa il 5% dell'energia totale emessa dal sole, è variata in tale periodo tra un minimo

di 6 MJ m<sup>-2</sup> mese<sup>-1</sup> ed un massimo di 39 MJ m<sup>-2</sup> mese<sup>-1</sup>.

Per ogni laminato plastico flessibile sono state effettuate prove sul materiale nuovo e dopo 3, 6, 9, 12, 18, 24 e 36 mesi di invecchiamento, mentre il PMMA è stato provato nuovo e dopo 12 e 36 mesi di esposizione, a conclusione di un ciclo di prove (4) già in precedenza avviato.

I materiali sono stati campionati secondo la direttiva UNI 8514/83 (11); per ciascuna prova su campioni nuovi o invecchiati sono stati portati a rottura per trazione almeno 10 provini, in modo da poter esprimere i risultati in termini di valor medio ed intervallo di fiducia (8). I provini di film da

Mese /Anno	1987	1988	1989	1990	1991	1992
Gennaio		169	196	204	189	156
Febbraio		277	279	286	226	246
Marzo		398	412	426	331	
Aprile		515	479	485	504	
Maggio		595	691	678	656	
Giugno		692	698	768	761	
Luglio		762	705	779	699	
Agosto		753	671	657	681	
Settembre	523	503	482	483	480	
Ottobre	344	325	318	317	319	
Novembre	194	184	202	202	201	
Dicembre	153	169	132	136	128	

Tab. 2 - Valori cumulati mensili di radiazione solare ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ mese}^{-1}$ ) nel periodo di invecchiamento (Fonte: Istituto Sperimentale Agronomico di Bari).

Tab. 2 - Monthly cumulated values of solar radiation ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ month}^{-1}$ ) during the ageing period (Source: Istituto Sperimentale Agronomico of Bari).

sottoporre a trazione sono stati ottenuti mediante fustelle in acciaio (4) in accordo con le norme UNI 8422 (10), mentre quelli di lastre di PMMA sono stati ricavati mediante fresatura secondo la sagoma prevista nella norma UNI 5819 (9).

Le prove, eseguite in accordo con la Normativa specifica (1), sono state condotte nel laboratorio prove materiali del Dipartimento Tecnico-economico dell'Università della Basilicata, impiegando una pressa universale computerizzata Galdabini PMA 10; le prove sono state effettuate con velocità di deformazione costante, pari a 5 e 50 mm/min rispettivamente per i laminati plastici rigidi e flessibili.

Le condizioni ambientali di prova sono state le seguenti:

- ) temperatura media ambientale = 13 - 15 °C;
- ) umidità relativa media = 60 - 70 %.

### 3.2. Risultati e discussione

#### 3.2. Results and discussion

I film sottoposti a prova hanno presentato, ovviamente, un diverso comportamento nel tempo sia per quanto concerne la resistenza a rottura (figg. 2, 4) sia per l'allungamento percentuale a rottura (figg. 3, 5). Con l'unica eccezione del tetrafluoroetilene (TFE), che ha fatto riscontrare resistenze superiori a  $40 \text{ N mm}^{-2}$ , gli altri film sottoposti a prova hanno fornito, all'inizio del periodo di prova, valori di resistenza a rottura compresi tra  $18.5$  e  $26.8 \text{ N mm}^{-2}$ .

Si può inoltre affermare che un decadimento delle caratteristiche di resistenza, ed in particolare dell'allungamento percentuale a rottura, superiore

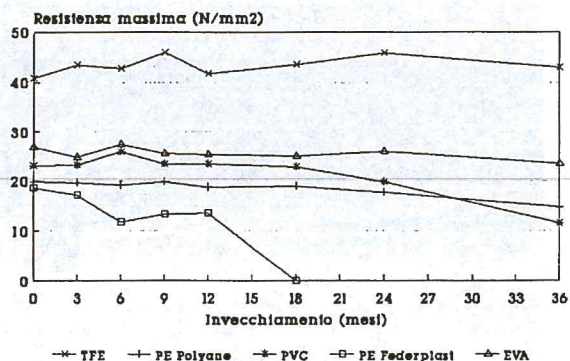


Fig. 2 - Valori della  $\sigma$  massima in funzione del periodo di invecchiamento.

Fig. 2 - Maximum strength relating to ageing period.

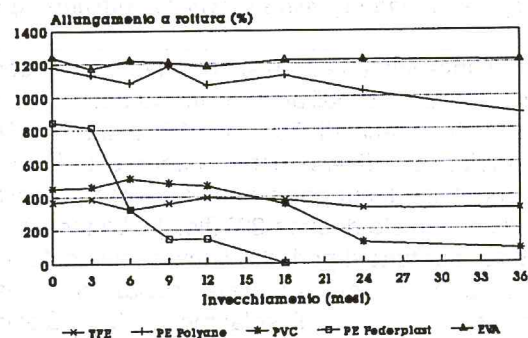


Fig. 3 - Valori dell'allungamento percentuale a rottura in funzione del periodo di invecchiamento.

Fig. 3 - Percent elongation at break relating to ageing period.

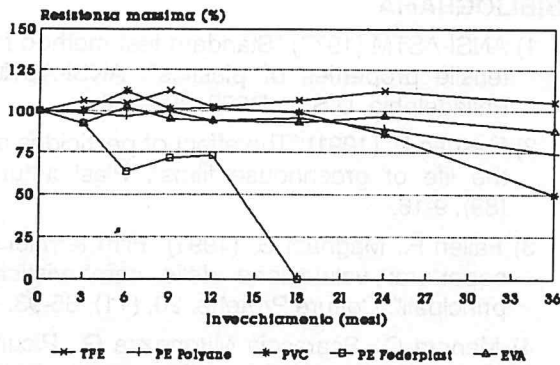


Fig. 4 - Variazione percentuale della  $\sigma$  massima nel tempo di esposizione all'atmosfera.

Fig. 4 - Percent variation of maximum strength during the ageing period.

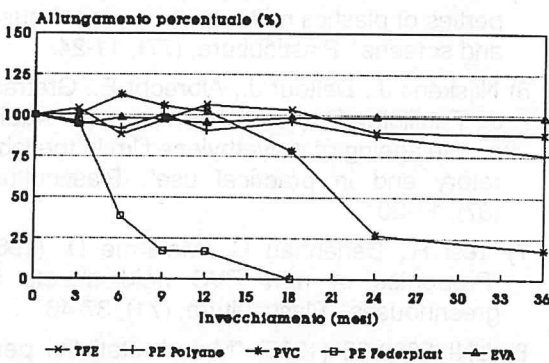


Fig. 5 - Variazione percentuale dell'allungamento a rottura nel tempo di esposizione all'atmosfera.

Fig. 5 - Percent variation of elongation at break during the ageing period.

al 50% rispetto al materiale nuovo è tale da consigliare una sostituzione del materiale di copertura in esame. Tale limite può essere dettato da considerazioni sulle residue risorse plastiche del mate-

riale sollecitato, al fine di evitare l'innescò di fenomeni di rottura di tipo fragile.

Per quanto attiene alle lastre di laminato plastico rigido provato, i risultati, riportati nella tabella 3, sono espressi in termini di resistenza massima ed allungamento percentuale a rottura con valore medio ed intervallo di fiducia bilaterale con probabilità del 95%.

Dall'esame dei risultati riportati si possono trarre le seguenti conclusioni:

- ) la resistenza meccanica nel tempo risulta estremamente variabile tra i diversi tipi di laminati plastici flessibili; mentre alcuni di essi hanno presentato valori accettabili di resistenza a trazione sia nuovi che nel tempo di invecchiamento, come nel caso dell'EVA e del TFE, gli altri hanno mostrato nei 3 anni di esposizione all'atmosfera, come era prevedibile, una tendenza più o meno spiccata alla perdita di resistenza meccanica che, nel caso del PE Federplast, non ha consentito una durata superiore ai 24 mesi in quanto il materiale, già completamente infragilito, si è deteriorato durante l'esposizione (fig. 2);
- ) i risultati ottenuti sotto il profilo della resistenza massima a trazione sono stati confermati anche per quanto riguarda l'allungamento percentuale a rottura; mentre il TFE e l'EVA, pur caratterizzati da valori dell'allungamento a rottura del materiale nuovo notevolmente differenti tra loro, hanno mostrato valori pressochè costanti di tale grandezza nel tempo di invecchiamento, gli altri tre film plastici provati hanno mostrato una tendenza alla riduzione dell'allungamento percentuale a rottura, e quindi un comportamento più fragile a rottura (fig. 3);
- ) le lastre di PMMA hanno mostrato, dopo 36 mesi di invecchiamento, un "incrudimento"

Periodo di Invecchiamento	$\sigma$ massima (N mm <sup>-2</sup> )	Allungamento a rottura (%)
Nuovo	46.35 ± 0.39	35 ± 6
12 mesi	46.29 ± 0.69	36 ± 4
36 mesi	51.04 ± 0.05	18 ± 2

Tab. 3 - Valori delle resistenze massime e degli allungamenti percentuali a rottura per lastre di PMMA in funzione del periodo di invecchiamento, espressi in termini di media ed intervallo di fiducia bilaterale con probabilità del 95%.

Tab. 3 - PMMA sheets maximum strength and percent elongation at break relating to ageing period, expressed as average and corresponding bilateral confidence interval with 95% probability.

del comportamento meccanico, con resistenze superiori di quasi il 10% rispetto a quelle del materiale nuovo ed allungamenti percentuali a rottura pari all'incirca alla metà;

- ) dall'esame complessivo dei risultati ottenuti si possono valutare le differenti qualità, sotto l'aspetto delle caratteristiche di resistenza meccanica nel tempo, dei materiali provati utilizzabili per la copertura delle serre; tale parametro deve, naturalmente, essere tenuto in conto insieme alle altre proprietà del materiale di copertura, in primo luogo quelle radiometriche, in modo da operare una scelta conforme alle caratteristiche complessive dell'apprestamento protetto, sia sotto il profilo tecnico che sotto quello economico.

#### 4. CONCLUSIONI

##### 4. Conclusions

Le prove meccaniche condotte su alcuni dei materiali plastici più diffusi in Italia per la copertura delle serre consentono la formulazione di giudizi sulla maggiore o minore resistenza nel tempo dei diversi tipi di laminati plastici, rigidi e flessibili.

Un approfondimento dell'analisi dei fenomeni di invecchiamento, d'altra parte, deve tenere conto anche della variazione, nel tempo di esposizione all'atmosfera, delle caratteristiche ottiche del materiale; in tal senso, quindi, appare opportuno proseguire l'indagine conducendo in parallelo prove meccaniche e radiometriche sui diversi materiali, per tutta la durata del periodo di invecchiamento.

In definitiva, una valutazione complessiva della variazione nel tempo delle proprietà radiometriche e meccaniche del laminato plastico, condotta unitamente ad un'analisi costi/prestazioni nel periodo di impiego, potrà consentire la scelta del materiale più idoneo per la copertura dell'apprestamento protetto in funzione delle specifiche esigenze del serricoltore.

---

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

Si ringrazia il P.I. Cosimo MARANO del Dipartimento Tecnico-Economico dell'Università della Basilicata per la collaborazione nell'effettuazione delle prove sperimentali.

---

#### BIBLIOGRAFIA

- 1) ANSI-ASTM (1977) "Standard test method for tensile properties of plastics". ANSI-ASTM, Philadelphia, U.S.A., D638, 225-240.
- 2) Desriac P. (1991) "The effect of pesticides on the life of greenhouse films". *Plasticulture*, (89), 9-16.
- 3) Falleri F., Magnani G. (1991) "Film termici di copertura: valutazione delle caratteristiche principali". *Colture Protette*, 20, (11), 85-93.
- 4) Manera C., Scarascia Mugnozza G., Picuno P. (1989) "La resistenza di materiali plastici per serre in relazione alla termoelasticità ed all'invecchiamento". *Colture Protette*, 19, (8-9), 103-109.
- 5) Mermier M., Baille A. (1988) "The optical properties of plastics materials for greenhouses and screens". *Plasticulture*, (77), 11-24.
- 6) Nijskens J., Deltour J., Albrecht E., Graudaud J., Feuilloley P. (1990) "Comparative studies on the ageing of polyethylene film in the laboratory and in practical use". *Plasticulture*, (87), 11-20.
- 7) Tesi R., Dehennau C., Malarme D. (1986) "Properties of new PVC rigid sheets for greenhouses". *Plasticulture*, (71), 37-46.
- 8) UNI 5309-66 (1966) "Metodi statistici per il controllo della qualità. Presentazione di una media con il corrispondente intervallo di fiducia". UNI, Milano.
- 9) UNI 5819-66 (1966) "Prove sulle materie plastiche. Determinazione delle caratteristiche a trazione dei materiali plastici". UNIPLAST, Milano.
- 10) UNI 8422 (1982) "Materie plastiche. Determinazione delle proprietà a trazione di film e foglie". UNIPLAST, Milano.
- 11) UNI 8514-83 (1983) "Film e foglie di materie plastiche. Campionamento". UNIPLAST, Milano.
- 12) Venezian M.E., Losavio N., Mastroilli M. (1982) "Caratteristiche agro-climatiche della Murgia barese". *Annali dell'Istituto Sperimentale Agronomico di Bari*, 13, (1), 189-216.