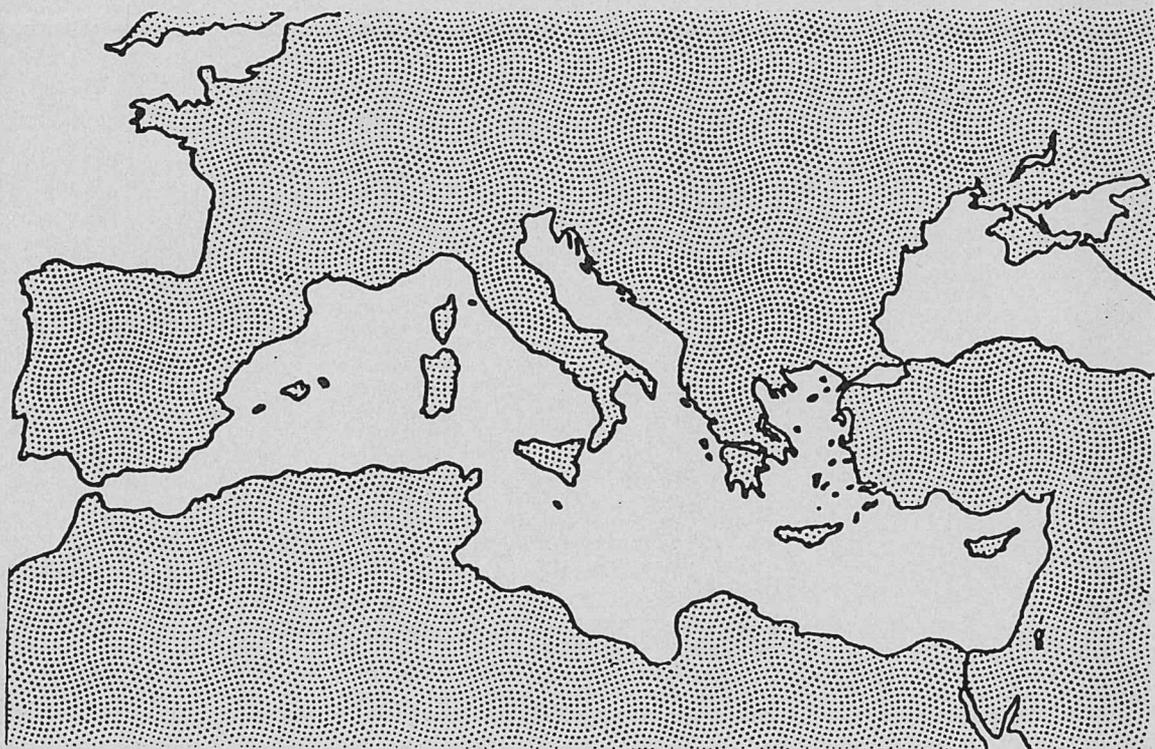


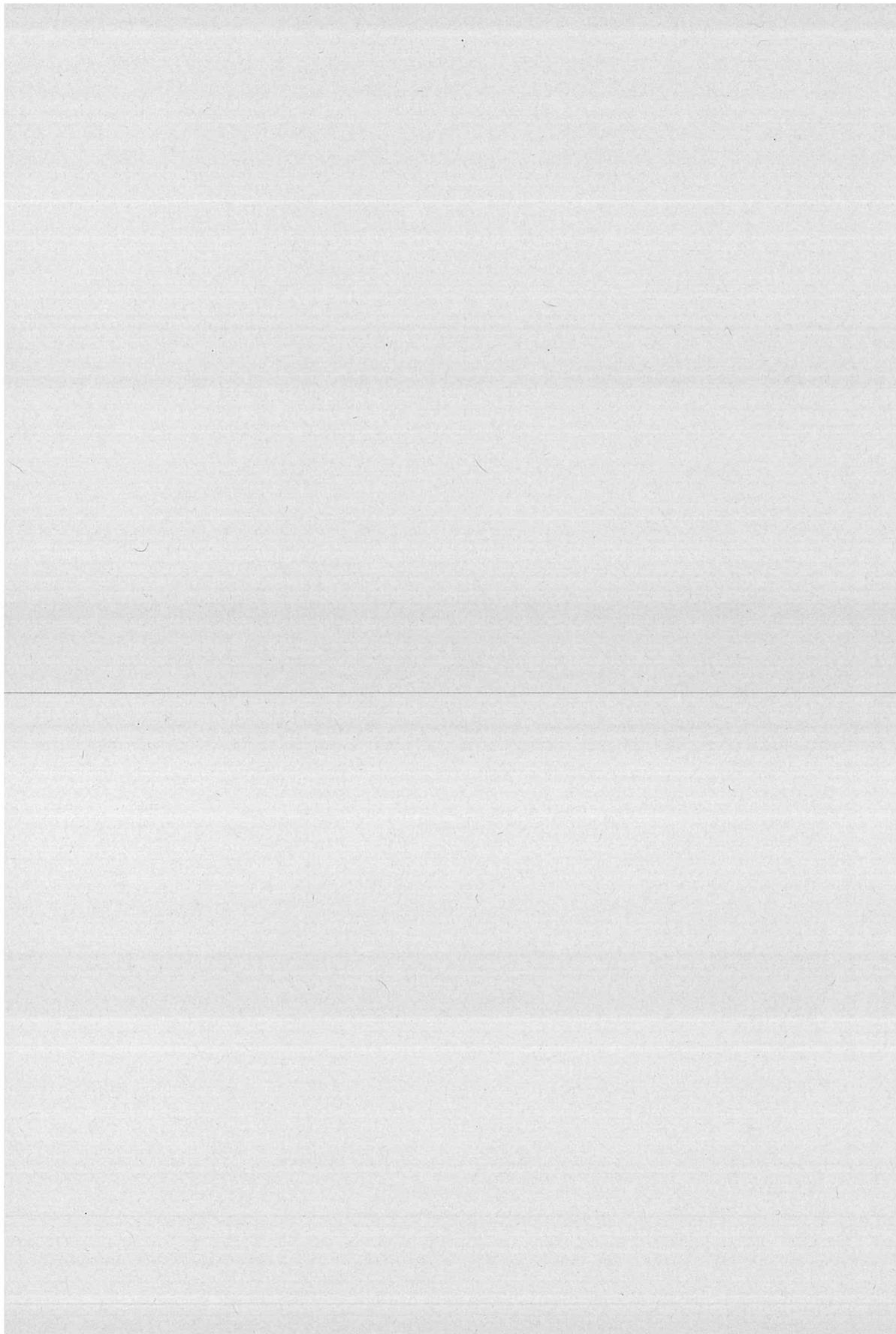
ESTRATTO DA :

SCIENZA E TECNICA AGRARIA

Rivista bimestrale di agricoltura meridionale



Anno XXXIV, 3-4 n.s. Bari Maggio - Agosto 1994



L'INFLUENZA DELLE CARATTERISTICHE FISICHE SULLE TECNICHE DI MONTAGGIO DI FILM DI EVA PER SERRE

G. SCARASCIA MUGNOZZA (*), P. PICUNO (°), G. VOX (•)

(*) *Istituto di Costruzioni Rurali, Università di Bari*

(°) *Dipartimento Tecnico-economico, Università della Basilicata, Potenza*

(•) *Istituto di Orticoltura e Colture industriali del C.N.R., Tito (PZ),*

RIASSUNTO - I numerosi film plastici per serre attualmente disponibili sul mercato non sono generalmente corredati da una sufficiente documentazione tecnica relativa alle qualità meccaniche e radiometriche dei film per poter operare una scelta e una valutazione di redditività. La conoscenza delle principali caratteristiche meccaniche è peraltro indispensabile per una messa in opera adeguata, in modo che il film venga tesato con valori di tensione sufficientemente inferiori al limite di elasticità, evitando possibili fenomeni di cedimento sotto i carichi accidentali.

Allo scopo di approfondire le caratteristiche fisiche dei film di EVA, sono state provate in laboratorio 3 differenti qualità di EVA monostrato mediante prove radiometriche nel range 200-25000 nm e prove di resistenza a trazione, rilevando il carico di snervamento, la resistenza massima e l'allungamento percentuale a rottura. I risultati hanno consentito di approfondire il comportamento dei film sotto carico e formulare opportune indicazioni per un corretto montaggio ed impiego, in modo da poter conseguentemente garantire un idoneo utilizzo del materiale ed evitare danni ed inconvenienti ai serricoltori.

SUMMARY - The influence of the physical-mechanical properties on installation techniques of EVA monolayer films for greenhouses - The large diffusion of the greenhouse plastic films has aroused a growing interest in their physical-mechanical properties. The fitting up of the film requires the knowledge of the mechanical properties in order to avoid permanent set of the film caused by the overcoming of the tensile strength at yield especially in the EVA monolayer films.

The radiometric properties have been evaluated by means of spectrometers in the range 200-25000 nm and the mechanical properties by tensile tests. The results have permitted to define the different mechanical and radiometric properties of several EVA monolayer films in order to give correct fitting up instructions and then to avoid problems to the growers.

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

Relazione presentata al 13° Congresso Internazionale C.I.P.A. su "Innovazione nella produzione e nell'uso di materiali plastici in agricoltura", Verona, 8-11 Marzo 1994.

Si ringraziano i P.I. Cosimo Marano e Gennaro Ventura del Dipartimento Tecnico-economico dell'Università della Basilicata per la collaborazione prestata nello svolgimento delle prove sperimentali.

INTRODUZIONE

La crescente diffusione nell'impiego dei materiali plastici per la copertura di apprestamenti protetti ha spinto le case produttrici verso la ricerca di laminati plastici caratterizzati da:

- proprietà ottiche sempre migliori, tali da elevare al massimo valore possibile le prestazioni energetiche ottenibili in virtù dell'effetto serra unitamente alla massima disponibilità di radiazione nel PAR;
- resistenze meccaniche e stabilizzanti alle radiazioni UV che ne assicurano durata nel tempo;
- costo contenuto, in modo da consentire un miglioramento dell'economia complessiva di impiego fin dalla fase di acquisto e messa in opera.

La molteplicità di iniziative messe in atto dai produttori nella definizione di materiali dotati di tali caratteristiche ha così determinato un notevole ampliamento della gamma dei laminati flessibili disponibili sul mercato (Manera *et al.*, 1993); tale situazione, se da un lato è certamente positiva poiché consente ai costruttori di serre di effettuare la scelta del materiale di copertura in maniera da soddisfare al meglio le esigenze termiche e luminose della specie allevata, dall'altra parte però può determinare un certo disorientamento nella scelta, poiché di molti dei

materiali disponibili sul mercato non sono ben specificate le differenti caratteristiche radiometriche e meccaniche.

A tale proposito, una recente Norma (UNI, 1988) ha stabilito i requisiti fondamentali per le caratteristiche dimensionali e fisico-meccaniche dei diversi tipi di foglia in LDPE, di E/VAC e di PVC-P, cui dovrebbero fare riferimento i fabbricanti e gli utilizzatori in modo da consentirne un impiego razionale.

Tale Normativa si applica in generale a foglie di materie plastiche trasparenti ed incolore, destinate alla copertura di serre fisse e mobili (a tunnel o a padiglione) ed analoghi apprestamenti di forzatura e semi-forzatura delle coltivazioni orto-florovivaistiche, con esclusione della pacciamatura e di altri impieghi agricoli; tra le principali caratteristiche considerate vi sono quelle meccaniche (carico di rottura ed allungamento percentuale a rottura per trazione, deformazione sotto carico costante) e quelle ottiche (trasmittanza luminosa totale, torbidità, fattore di trasmissione IR e fattore di assorbimento IR).

Tali caratteristiche, tuttavia, non appaiono sufficienti a caratterizzare le prestazioni del materiale soprattutto nel caso dei film di EVA monostrato, nei quali la percentuale di acetato di vinile riveste un ruolo fondamentale nel conferimento delle caratteristiche

di resistenza meccanica; com'è noto, infatti, nel momento in cui la percentuale di VA supera il 14% il materiale tende ad essere soggetto a fenomeni di "creep", ossia di allungamento sotto carico costante, per cui, a seguito di eventi meteorologici avversi, si possono determinare fenomeni di "imborsamento" del telo (Falleri e Magnani, 1991).

Ulteriori sollecitazioni sui film posti in opera sulle serre possono prodursi a causa delle variazioni termiche giornaliere e stagionali, nonché in seguito agli interventi di tesatura dei film effettuati in tempi successivi al montaggio qualora si ravvisi un eccessivo rilassamento del materiale di copertura. Poiché la tendenza alla deformazione sotto carico costante può risultare particolarmente dannosa quanto più il carico è prossimo al limite elastico, al fine di evitare situazioni di collasso del materiale occorre far sì che le tensioni di esercizio si tengano ben al di sotto di tale limite.

E' stato infatti rilevato come, a seguito del carico dovuto alle acque meteoriche in corrispondenza della linea di gronda, alcuni film di EVA hanno subito considerevoli fenomeni di creep, con formazione di numerose borse (fig. 1), alcune delle quali hanno provocato la rottura del film sotto il peso dell'acqua che in esse si era raccolta (fig. 2). Tale

fenomeno appare riconducibile alle operazioni di messa in opera del materiale che è stato probabilmente tesato a valori vicini al limite elastico, determinando una deformazione permanente sotto il carico di montaggio e successiva plasticizzazione all'atto dell'applicazione dei carichi dovuti alle azioni esterne.

In virtù di tale considerazione, pertanto, appare di rilevante importanza l'indicazione del valore del limite elastico del materiale da parte del produttore, in modo da poter valutare correttamente, all'atto del montaggio, lo sforzo di tesatura del materiale che dovrà essere mantenuto entro i limiti di elasticità; in tal senso, pertanto, andrebbe completata anche la Normativa (UNI, 1988) con l'inclusione, tra le caratteristiche meccaniche del materiale, del limite elastico a trazione, in modo che ad esso possano fare riferimento, in modo più completo, i costruttori e gli utilizzatori delle serre coperte con tali film.

Allo scopo di approfondire le proprietà fisiche di diversi tipi di film plastici di EVA monostato disponibili sul mercato italiano sono state effettuate alcune prove che hanno consentito di definire le principali caratteristiche spettro radiometriche e di resistenza meccanica, con particolare riferimento al limite elastico.

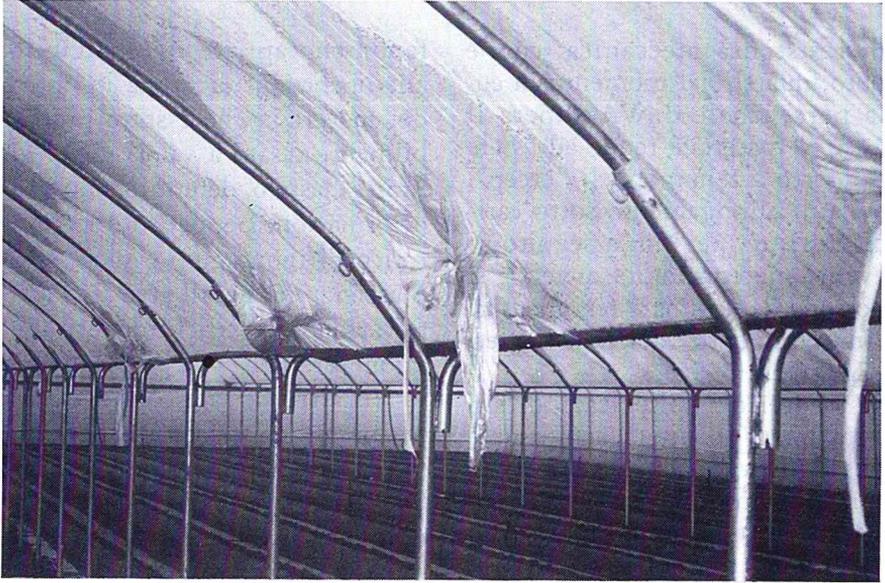


Fig. 1 - Film di EVA monostrato con formazione di borse in corrispondenza della linea di gronda per fenomeni di creep in una serra-tunnel.

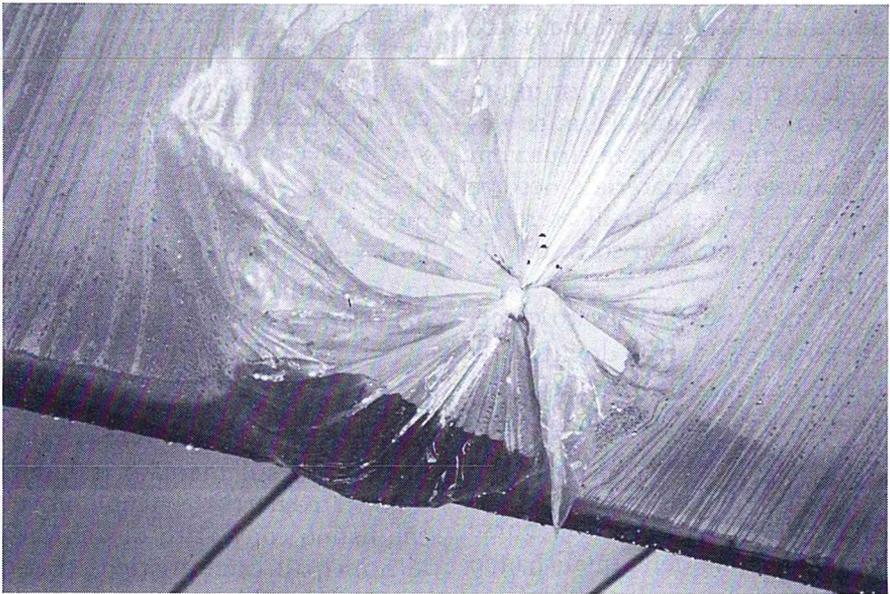


Fig. 2 - Rottura del film di EVA monostrato in corrispondenza di una zona di imborsamento.

PROVE SPERIMENTALI

Materiali e metodi

La sperimentazione condotta ha riguardato prove meccaniche ed ottiche su 3 film nuovi di EVA monostrato (Tab.1): Evalux, Enichem e Patilux.

In particolare, nel caso dell'Evalux sono stati sottoposti a prova sia campioni di materiale indisturbato, sia campioni di materiale prelevato da una zona di copertura di serra tunnel e pertanto soggetto a trazione in fase di montaggio. Tali campioni si possono considerare privi degli effetti dovuti all'invecchiamento poichè sono stati prelevati circa 1 mese dopo la posa in opera.

Per quanto riguarda l'Eva Enichem, ne sono state esaminate due versioni, cosiddette "standard" e "no drop", quest'ultima con aggiunta di un additivo in grado di limitare lo stillicidio della condensa all'interno delle serre.

A riguardo dell'ultimo materiale, infine, sono state sottoposte a prova due versioni differenti tra loro soltanto per lo spessore, pari rispettivamente a 150 μm e 200 μm .

Le caratteristiche meccaniche sono state determinate attraverso prove di trazione su provini dei differenti materiali, campionati secondo la direttiva UNI 8514/83 (1983).

Per ciascun materiale sono

stati portati a rottura per trazione almeno 10 provini provati nel senso longitudinale e trasversale rispetto alla direzione di estrusione, in modo da poter esprimere i risultati in termini di valor medio ed intervallo di fiducia (UNI, 1966). I provini di film da sottoporre a trazione sono stati ottenuti mediante fustelle in acciaio (Manera *et al.*, 1989) in accordo con la norma UNI 8422 (1982).

Le prove, eseguite in accordo con la Normativa specifica (UNI, 1982), 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 100 mm/min.

Le condizioni ambientali di prova sono state le seguenti:

- temperatura media ambientale = 10-15 °C;
- umidità relativa media = 60-70%.

Per quanto riguarda le caratteristiche ottiche, la determinazione della curva di trasmittanza in funzione della lunghezza d'onda è stata effettuata mediante uno spettrofotometro Perkin Elmer modello UV/VIS Lambda 2 nel range 200-1100 nm e per mezzo di uno spettrofotometro Perkin Elmer modello FT-IR 1760 X nel range 2500-25000 nm presso l'Istituto di Costru-

zioni Rurali dell'Università di Bari. Le elaborazioni matematiche sono state effettuate su un PC 486 33 MHz. La trasmittanza nell'infrarosso lungo è stata rilevata nel range di lunghezza d'onda 5000-25000 nm. Tale banda è stata scelta perché in essa la curva di emissione di un corpo nero a temperatura ambiente assume un valore superiore al 20% del massimo, individuando così la regione dell'infrarosso lungo ove avvengono la maggior parte degli scambi energetici per i corpi a temperatura ambiente (Scarascia Mugnozza *et al.*, 1994).

Dalle curve di trasmittanza in funzione della lunghezza d'onda si sono quindi ricavati i valori medi ponderati di trasmittanza. L'espressione utilizzata per il calcolo della media ponderale di τ è

$$\tau_w = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} E_{\lambda_b} \cdot \tau_{\lambda} \cdot d\lambda}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} E_{\lambda_b} \cdot d\lambda} \quad (1)$$

(Scarascia Mugnozza *et al.*, 1994):

Nella (1) λ_1 e λ_2 valgono rispettivamente 5000 e 25000 nm, E_{λ_b} rappresenta l'energia per unità di area per unità di tempo per l'intervallo unitario di lunghezza d'onda nell'intorno di λ . Nello stesso tempo sono state calcolate le medie aritmetiche secondo la metodologia classica (UNI, 1988) nel range di lunghezza d'onda 7,5-12,5 μm . Nel campo del visibile (UNI, 1979),

dell'I.R. corto e di parte dell'ultravioletto sono state effettuate misure da 200 a 1100 nm e si sono ricavate le medie aritmetiche della trasmittanza relativamente al PAR, cioè fra 400 e 700 nm.

Risultati e discussione

I risultati delle prove meccaniche, espressi in termini di resistenza a rottura, allungamento percentuale a rottura e carico di snervamento, sono riportati in tabella 1; i valori ottenuti sono presentati in termini di media ed intervallo di fiducia bilaterale con probabilità del 95% (UNI, 1966).

Mentre i valori di resistenza a rottura e di allungamento percentuale a rottura sono stati registrati automaticamente dall'attrezzatura di prova, il valore del carico di snervamento è stato ottenuto (UNI, 1982) tracciando sul diagramma $F/\Delta l$ la parallela alla tangente nell'origine alla curva $F/\Delta l$, spostata sull'asse delle ascisse di una quantità corrispondente ad un allungamento del 10%; l'ordinata del punto di intersezione di tale retta con la curva è stata assunta come carico di snervamento convenzionale (Tab.1), valore rispetto al quale il limite elastico è inferiore o uguale.

Per quanto riguarda le caratteristiche ottiche, i risultati, espressi in termini di trasmittanza, sono riportati nelle figure 3 e

4 e nella tabella 2. Nella tabella 2 compaiono i valori di trasmittanza calcolati, nel PAR, come media aritmetica fra 400 e 700 nm e nell'I.R. lungo sia come media aritmetica fra 7,5 e 12,5 μm sia come media ponderale fra 5 e 25 μm .

- le diverse qualità di film di EVA monostrato nuovo mostrano differenze abbastanza sensibili tra loro per quanto riguarda le caratteristiche di resistenza; in particolare, si può osservare che alcuni materiali sono caratterizzati da elevate resistenze a rottura ma

Tab. 1 - Risultati delle prove meccaniche sui differenti tipi di film di EVA monostrato.

Materiale	Spessore (mm)	Resistenza a rottura (N mm ⁻²)	Allungamento a rottura (%)	Carico di snervamento (N mm ⁻²)
Evalux indisturbato	0,13	30,74±0,93	484±29	4,86±0,20
Evalux tesato	0,13	26,74±1,22	417±30	4,67±0,50
Enichem standard	0,18	23,48±0,45	499±18	6,12±0,26
Enichem no drop	0,15	28,73±1,74	461±31	5,82±0,20
Patilux 150 μm	0,15	22,36±0,75	494±20	5,54±0,21
Patilux 200 μm	0,20	24,44±0,32	547±27	6,03±0,12

Tab. 2 - Valori di trasmittanza nel PAR e nell'I.R. lungo per differenti film plastici.

	Trasmittanza		
	PAR	Infrarosso lungo	
	400-700 nm	Media ponderale 5-25 μm	Media aritmetica 7,5-12,5 μm
Evalux indisturbato	0,92	0,47	0,30
Evalux tesato	0,92	0,45	0,28
Enichem standard	0,88	0,44	0,27
Enichem no drop	0,92	0,39	0,23
Patilux 150 μm	0,92	0,51	0,35
Patilux 200 μm	0,90	0,41	0,24

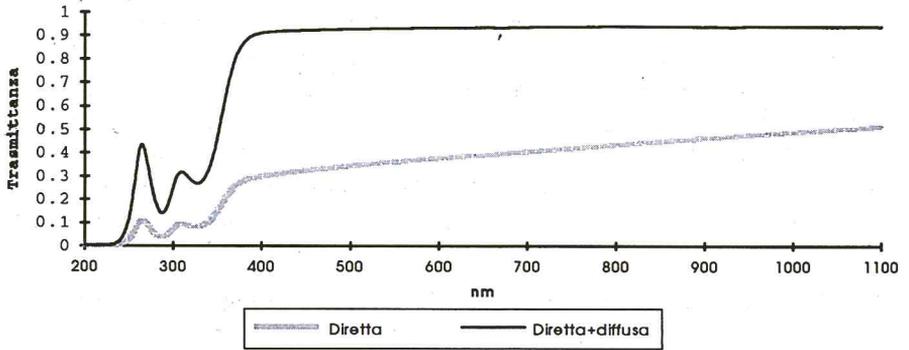
Valori determinati con i seguenti metodi:

- media aritmetica negli intervalli 400-700 nm (PAR) e 7,5-12,5 μm (I.R. lungo).
- calcolo ponderale nell'I.R. lungo al variare di λ per temperatura di emissione $T = 293 \text{ K}$ (20°C).

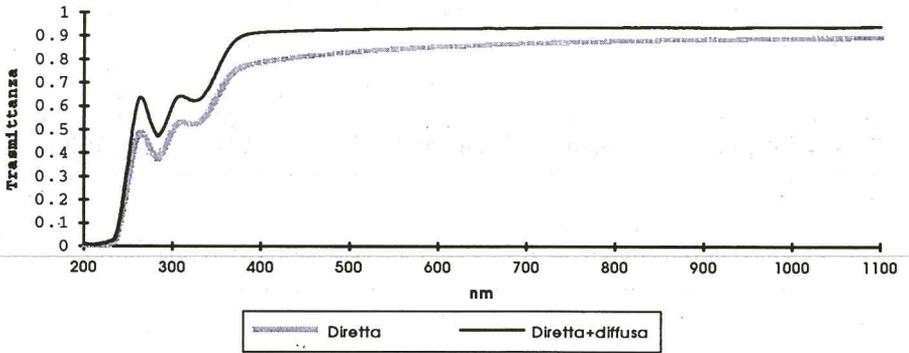
Dall'esame dei risultati, si possono evincere le seguenti considerazioni:

basso carico di snervamento, mentre altri film, che hanno una più bassa resistenza massima,

ENICHEM NO DROP



PATILUX



EVALUX

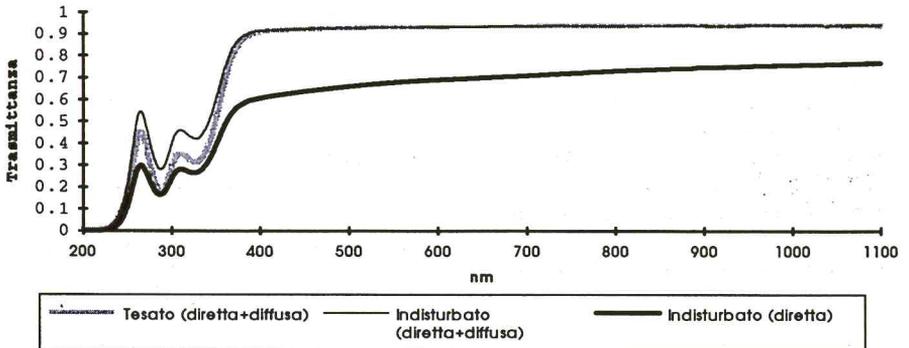
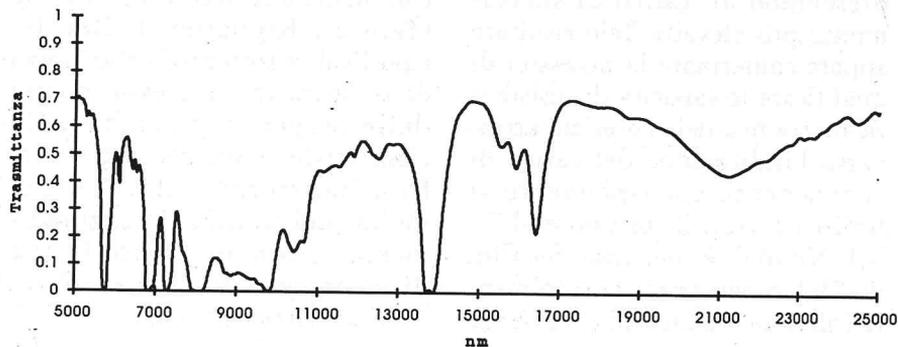
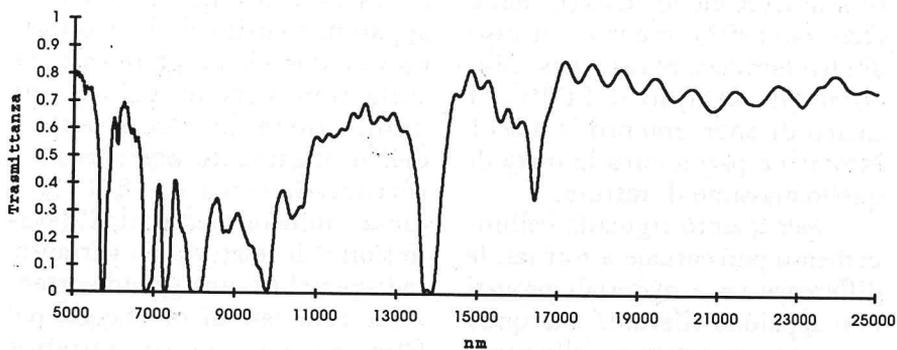


Fig. 3 - Curve di trasmittanza, nel range 200-1100 nm, per l'Enichem no drop (0,15 mm), il Patilux (0,15 mm) e l'Evalux (0,13 mm) tesato ed indisturbato.

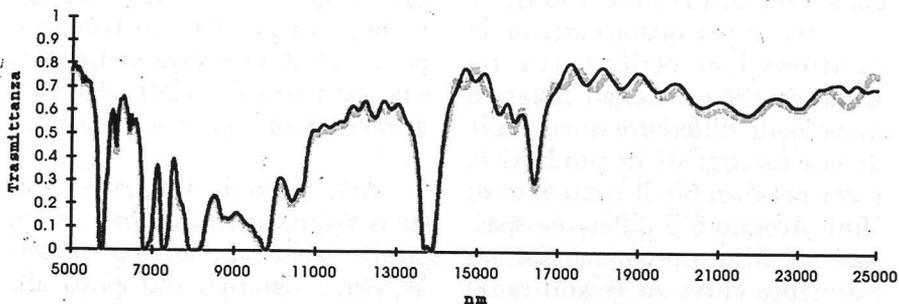
ENICHEM NO DROP



PATILUX



EVALUX



— Tesato — Indisturbato

Fig. 4 - Curve di trasmittanza, nel range 5000-25000 nm, per l'Enichem no drop (0,15 mm), il Patilux (0,15 mm) e l'Evalux (0,13 mm) tesato ed indisturbato.

presentano un carico di snervamento più elevato. Tale risultato appare confermare la necessità di qualificare le capacità di resistenza meccanica del materiale attraverso l'indicazione del carico di snervamento corrispondente al limite elastico, il cui valore ($4,7 \div 6,1 \text{ Nmm}^{-2}$) è, nel caso dei film di EVA monostrato, notevolmente inferiore rispetto alla resistenza massima che il materiale è in grado di offrire; un simile fenomeno è caratteristico infatti dei film di EVA monostrato (Falleri e Delfino, 1993), mentre nel caso di altri laminati plastici flessibili, come ad esempio il LDPE, il carico di snervamento ($10 \div 11 \text{ Nmm}^{-2}$) è pari a circa la metà di quello massimo di rottura;

- per quanto riguarda l'allungamento percentuale a rottura, le differenze tra i materiali provati non appaiono rilevanti, ma quasi tutti i valori, ottenuti dalle prove sperimentali, sono lievemente inferiori al limite minimo previsto dalla Normativa (UNI, 1988);

- anche per quanto attiene le caratteristiche ottiche, si è riscontrato che i materiali testati, a meno delle differenze dovute alle diverse caratteristiche produttive, come per esempio il contenuto di Vinil Acetato o il differente spessore del film, presentano sostanzialmente curve di trasmittanza simili e, di conseguenza, valori molto vicini fra loro di trasmittanza sia nel PAR che nell'I.R. lungo, calcolati, questi ultimi,

con media aritmetica o ponderale (Tab. 2). Riguardo il film del tipo Evalux sottoposto allo sforzo di tesatura iniziale esso mostra delle leggere variazioni nelle caratteristiche ottiche rispetto al film indisturbato dovute, con molta probabilità, al raggiungimento del limite elastico in fase di montaggio che ne ha alterato le caratteristiche fisiche;

- come si può evincere dal confronto tra l'Evalux indisturbato e quello sottoposto allo sforzo di tesatura iniziale, le differenze appaiono sensibili: il materiale provato dopo la messa in trazione sulla copertura ha subito una diminuzione della resistenza e dell'allungamento percentuale a rottura di circa il 10-15% a causa, probabilmente, dell'elevato sforzo di tesatura. È, pertanto, indispensabile una grande attenzione nella fase di montaggio del film, per cui questo andrebbe accompagnato da un certificato di qualità attestante i valori delle principali caratteristiche meccaniche, con particolare riguardo per il carico di snervamento, e la sua resistenza andrebbe verificata attraverso un opportuno calcolo.

Allo scopo di suggerire valori di tensione introducibili in un simile calcolo, sono state espresse, per i materiali sottoposti alle prove di laboratorio, le tensioni limite di esercizio in analogia con le norme in vigore per le strutture in acciaio:

$$\sigma_d = \frac{\sigma_y}{\gamma_m}$$

ove:

σ_d = resistenza di calcolo del materiale, N mm⁻²;

σ_y = valore della tensione di snervamento, assunto pari al valore medio (tab. 1) meno l'intervallo di fiducia, N mm⁻²;

γ_m = coefficiente di sicurezza relativo al materiale, assunto pari a 1.12, analogamente alle norme sullo stato limite di collasso plastico delle strutture in acciaio.

Sulla base dei risultati riportati in tabella 1, si ottengono così i valori riportati in tabella 3, che possono essere assunti come base per i calcoli di verifica della resistenza dei film di copertura per serre sotto l'azione sia delle tensioni di montaggio che delle azioni esterne.

cola, impone di prestare la massima attenzione agli aspetti costruttivi degli apprestamenti protetti, ed in particolare ai laminati plastici flessibili di copertura. Quando questi, infatti, vengono realizzati in EVA monostrato va tenuto conto della particolarità connessa a valori del limite di elasticità notevolmente inferiori rispetto alla resistenza massima a rottura, per cui in tal caso occorre procedere con estrema attenzione nella fase di montaggio, tesando il materiale a valori sufficientemente inferiori al limite elastico. In caso contrario, lo snervamento del materiale altera in maniera sensibile, non solo le caratteristiche meccaniche, rendendolo così più facilmente soggetto a fenomeni di rottura sotto le azioni esterne, ma anche quelle ottiche. Si produce, pertanto, una

Tab. 3 - Valori di resistenza di calcolo e di carico massimo per unità di lunghezza del film per la verifica statica dei diversi film di EVA monostrato.

	Spessore (mm)	Resistenza di calcolo (N mm ⁻²)	Carico max complessivo per unità di lunghezza (Nm ⁻¹)
Evalux	0,13	4,16	540,9
Enichem standard	0,18	5,23	941,8
Enichem no drop	0,15	5,02	752,7
Patilux 150 µm	0,15	4,76	713,8
Patilux 200 µm	0,20	5,28	1055,4

CONCLUSIONI

L'importanza che hanno assunto le colture protette nel panorama della produzione agri-

sostanziale modificazione delle capacità di resistenza del materiale in opera e, contemporaneamente, una alterazione delle prestazioni radiometriche rispetto a

quelle che erano state previste e in base alle quali quel particolare tipo di film era stato prescelto. E' stato quindi proposto un metodo di calcolo di verifica statica dei film considerando le tensioni complessive cui può essere sollecitato un film di copertura per serre, a causa della combinazione dei carichi dovuti alle trazioni di montaggio ed alle azioni esterne quali il carico vento, neve, le variazioni termiche, ecc. Al fine di consentire una corretta messa in opera dei film di copertura, siano essi di EVA monostrato come di altro materiale, appare pertanto indispensabile che questi vengano sempre accompagnati da certificati con l'indicazione delle principali caratteristiche di resistenza meccanica e, tra esse, in particolare del carico di snervamento e del limite di elasticità.

BIBLIOGRAFIA

- Falleri F., Magnani G., 1991. Film termici di copertura: valutazione delle caratteristiche principali. *Culture Protette*, 20 (11), 85-93.
- Falleri F., Delfino S., 1993. Sericoltura: materiali plastici flessibili per coperture. *Giornata di studio del TTA su: "Plastiche, agricoltura, ambiente"*, Ferrara, 8 novembre 1993.
- Manera C., Scarascia Mugnozza G., Picuno P., 1989. La resistenza di materiali plastici per serre in relazione alla termoeasticità ed all'inevchiamento". *Culture Protette*, 19 (8-9), 103-109.
- Manera C., Picuno P., Scarascia Mugnozza G., 1993. Prove di resistenza a trazione su materiali plastici per serre sottoposti ad invecchiamento. *Atti V Convegno Nazionale A.I.G.R., Maratea (PZ), 7-11 Giugno 1993.*
- Scarascia Mugnozza G., Russo G., Vox G., 1994. Trasmissione nell'I.R. lungo dei film per serre. *Culture Protette*, 23 (3), 69-73.
- UNI 5309-66, 1966. Metodi statistici per il controllo della qualità. Presentazione di una media con il corrispondente intervallo di fiducia. UNI, Milano.
- UNI 8028, 1979. Lastre e foglie trasparenti di materie plastiche. Determinazione della trasmittanza luminosa totale e della torbidità. UNIPLAST, Milano.
- UNI 8422, 1982. Materie plastiche. Determinazione delle proprietà a trazione di film e foglie. UNIPLAST, Milano.
- UNI 8514-83, 1983. Film e foglie di materie plastiche. Campionamento. UNIPLAST, Milano.
- UNI 9298, 1988. Foglie flessibili di materiale plastico trasparente incolore per serre ed analoghi apprestamenti di forzatura e semiforzatura di coltivazioni orto-floro-frutticole. Requisiti e metodi di prova. UNIPLAST, Milano.