

# La resistenza di materiali plastici per serre in relazione alla termoelasticità ed all'invecchiamento

Carlo Manera <sup>(1)</sup> - Giacomo Scarascia Mugnozza <sup>(2)</sup> -  
Pietro Picuno <sup>(3)</sup>

<sup>(1)</sup> <sup>(3)</sup> Professore Straordinario e Ricercatore presso l'Istituto di Genio Rurale e Forestale - Università della Basilicata, Potenza.  
<sup>(2)</sup> Ricercatore confermato presso l'Istituto di Costruzioni Rurali - Università di Bari

## 1. Premessa

L'adozione sempre più diffusa delle materie plastiche in agricoltura, particolarmente di quelle utilizzate per la copertura di apprestamenti protetti (5) (6) (11), rende indispensabile un approfondimento delle caratteristiche che tali materiali presentano sia sotto l'aspetto termico ed ottico (2) (7), che sotto quello statico-deformativo, senza trascurare i fenomeni di variazione di tali proprietà nel tempo.

Lo studio delle capacità di resistenza dei materiali può essere utile per migliorare la conoscenza delle caratteristiche meccaniche degli stessi e fornire indica-

zioni, per una scelta più accurata e motivata, agli operatori del settore che offre, ormai, un'ampia gamma di soluzioni tra i materiali per la copertura di apprestamenti protetti (13).

Proseguendo l'indagine sperimentale avviata (8) ci si propone, con la presente ricerca, di approfondire l'applicazione della termoelasticità in relazione alla valutazione del modulo di elasticità ed all'esame dello stato tensionale di elementi sollecitati in fase elastica, nonché di confrontare le caratteristiche meccaniche di materiali plastici, sotto forma di film e lastre rigide, sia nuovi che invecchiati naturalmente.

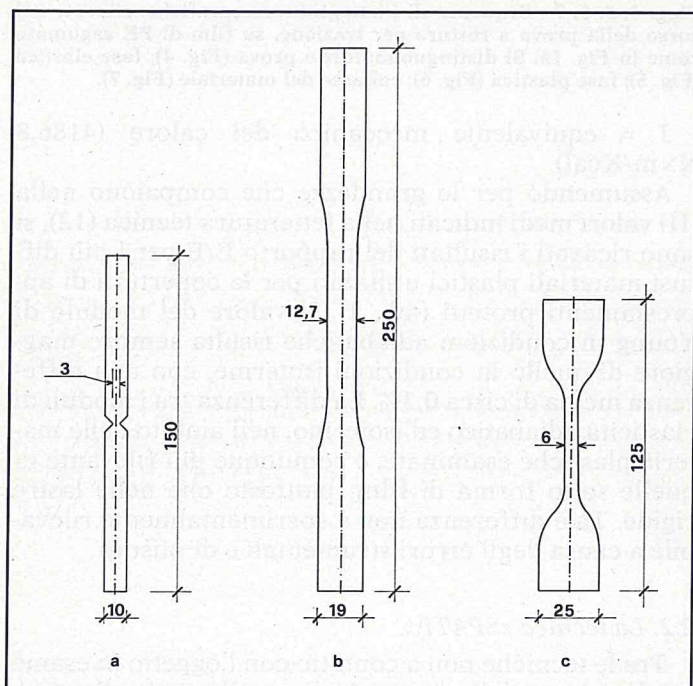


Fig. 1 - Sagome dei provini portati a rottura per trazione: a) film con intaglio centrale per analisi termografiche; b) plastica rigida per prove normalizzate e per analisi termografiche; c) film fustellato per prove normalizzate (dimensioni in mm).

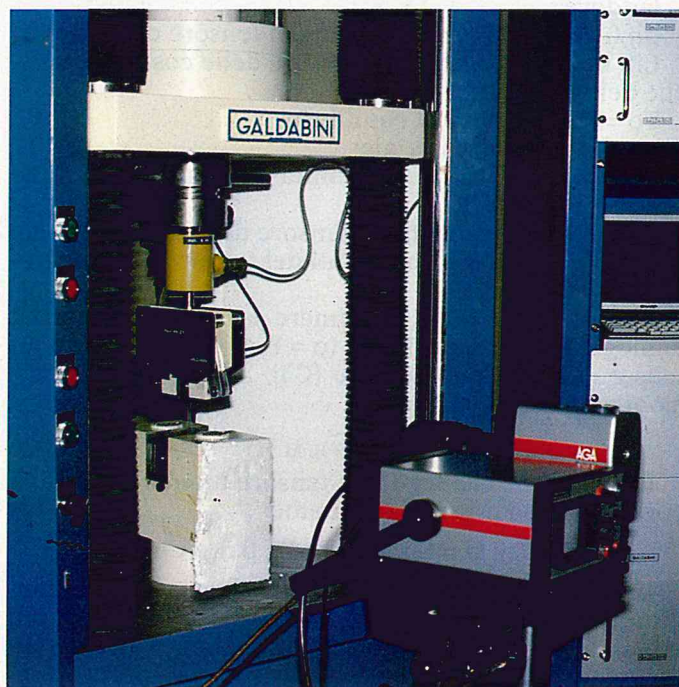


Fig. 2 - Vista d'insieme delle apparecchiature di prova.

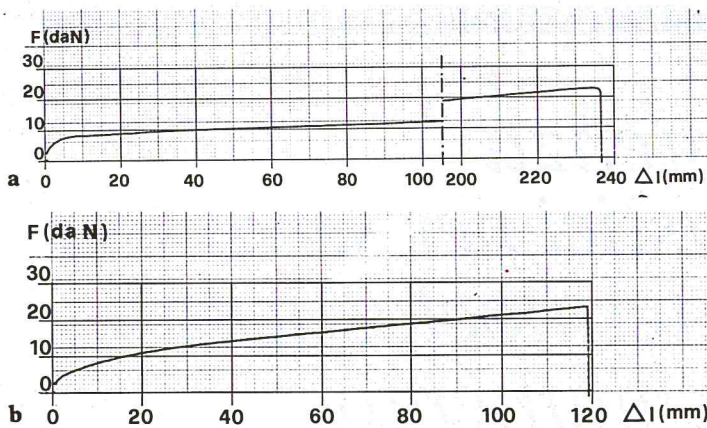


Fig. 3 - Diagramma tipo (F, Δl) di un provino di copolimero EVA sottoposto a trazione, nuovo (a) ed invecchiato per 12 mesi (b).

## 2. Applicazioni della teoria della termoelasticità

L'analisi delle proprietà termoelastiche dei materiali ha condotto alla definizione di un modulo di elasticità longitudinale valido in condizioni adiabatiche, cioè durante l'azione di carichi istantanei o ciclici di breve periodo. La tecnica di rilievo all'infrarosso termico nel contempo ha consentito un progresso nelle ricerche relative allo stato elastico dei materiali mediante indagini di tipo non distruttivo e non a contatto con il materiale in prova.

### 2.1. Valutazione termoelastica del modulo di elasticità

Come ricavato da studi precedenti (3) (8), la legge di Hooke generalizzata, nel caso di condizioni adiabatiche, può essere espressa dalla seguente relazione:

$$\sigma_{ij} = \sum_{kl} (C_{ij, kl} + T_0 \beta_{ij} \beta_{kl} / \rho C_p) \epsilon_{kl} \quad (I)$$

laddove:

$\sigma_{ij}$  (i, j = 1,2,3) = componenti del tensore di tensione;  
 $C_{ij, kl}$  = componenti del tensore delle costanti elastiche del materiale;

$T_0$  = temperatura di equilibrio;

$\rho$  = densità del materiale;

$C_p$  = calore specifico per unità di massa a pressione costante;

$\beta_{ij}, \beta_{kl}$  = componenti del tensore dei moduli termici;

$\epsilon_{ij}$  (i, j = 1,2,3) = componenti del tensore di deformazione.

Allo scopo di poter esprimere la (I) in una forma analoga alla legge di Hooke ( $\sigma = E \epsilon$ ), introducendo un tensore di costanti elastiche ( $C'_{ij, kl}$ ) valido in condizioni adiabatiche si ha:

$$\sigma_{ij} = \sum_{kl} C'_{ij, kl} \epsilon_{kl}$$

La relazione che lega tale tensore a quello valido in condizione isoterme è la seguente:

$$C'_{ij, kl} = C_{ij, kl} + T_0 \beta_{ij} \beta_{kl} / \rho C_p$$

In particolare, nel caso del modulo di elasticità longitudinale è possibile correlare il valore in condizioni adiabatiche ( $\dot{E}$ ) con quello in condizioni isoterme ( $E$ ) mediante la relazione:

$$1/\dot{E} = 1/E - \alpha^2 T_0 / \rho C_p \quad (II)$$

ove:

$\alpha$  = coefficiente di dilatazione lineare;

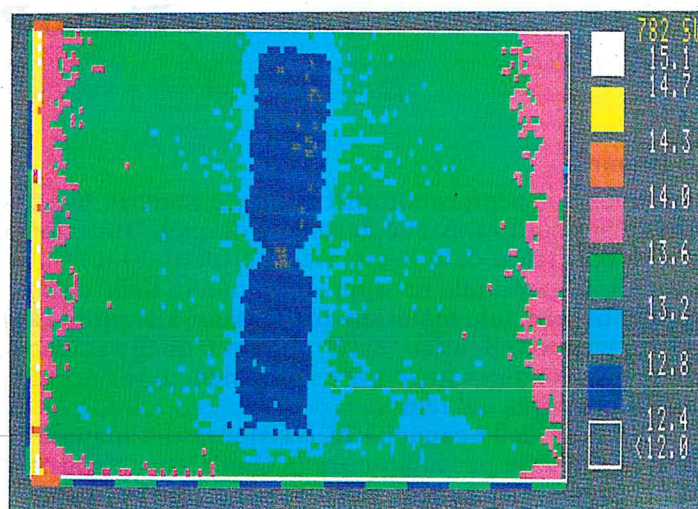
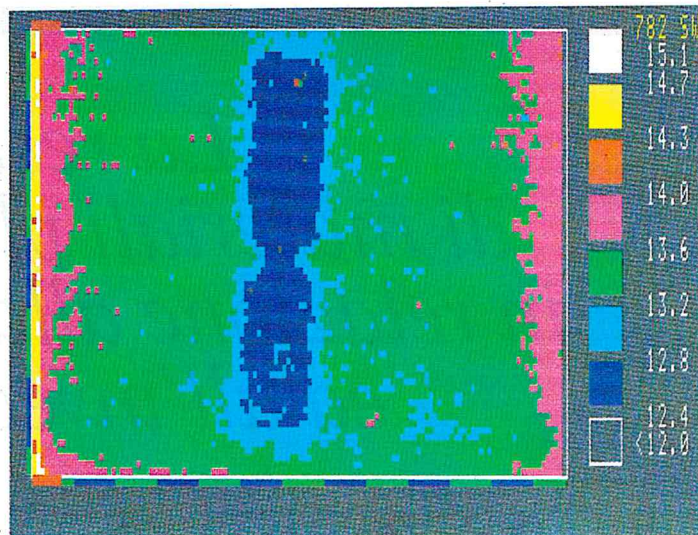


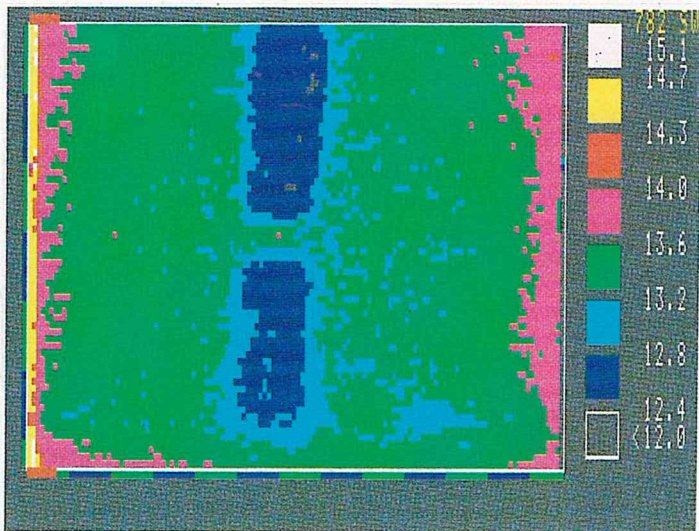
Fig. 4, 5, 6, 7 - Sequenza di immagini termografiche, rilevate nel corso della prova a rottura per trazione, su film di PE sagomato come in Fig. 1a. Si distinguono: inizio prova (Fig. 4); fase elastica (Fig. 5); fase plastica (Fig. 6); collasso del materiale (Fig. 7).

$J$  = equivalente meccanico del calore (4186,8 N×m/Kcal).

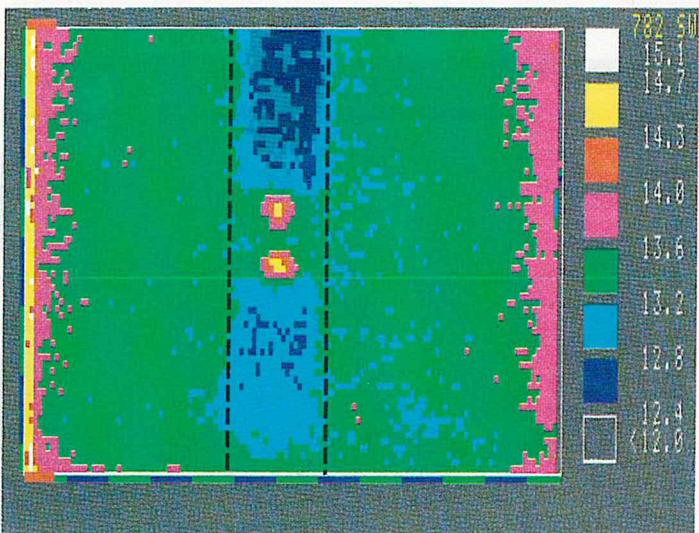
Assumendo per le grandezze che compaiono nella (II) valori medi indicati nella letteratura tecnica (12), si sono ricavati i risultati del rapporto  $\dot{E}/E$  per i più diffusi materiali plastici utilizzati per la copertura di apprestamenti protetti (tab. 1). Il valore del modulo di Young in condizioni adiabatiche risulta sempre maggiore di quello in condizioni isoterme, con una differenza media di circa 0,3%. La differenza tra i moduli di elasticità adiabatico ed isoterme, nell'ambito delle materie plastiche esaminate, è comunque più rilevante in quelle sotto forma di film, piuttosto che nelle lastre rigide. Tale differenza non è sperimentalmente rilevabile a causa degli errori strumentali e di misura.

### 2.2. La tecnica «SPATE»

Tra le tecniche non a contatto con l'oggetto in esame per la misura delle tensioni interne di corpi sollecitati, si è affermata di recente, accanto a metodi già ampiamente diffusi quali la fotoelasticità od altri, una tecnica nota come analisi dello stato tensionale attraverso



6



7

emissione termica: «SPATE» (Stress Pattern Analysis by Thermal Emission).

Essa sfrutta i principi della termoelasticità, consentendo il rilievo all'infrarosso delle piccole variazioni di temperatura che accompagnano le variazioni dello stato tensionale (9) (10).

Come noto (3) (8) infatti, la considerazione degli effetti termoelastici consente una trattazione più completa della meccanica del continuo e la formulazione della teoria della termoelasticità, la cui legge fondamentale, derivante dalla (I), è la legge di Kelvin in condizioni adiabatiche:

$$\partial T/\partial t = - (T \beta_{ij} / \rho C_p) \times \partial \epsilon_{ij} / \partial t \quad (III)$$

ove:

T = temperatura;

t = tempo.

Integrando rispetto alla variabile tempo, la (III) diventa:

$$\Delta T = -E \alpha T \sum_{i=1,2,3} \epsilon_{ii} / \rho C_p (1-2 \nu) \quad (IV)$$

con  $\nu$  = modulo di contrazione laterale e avendo posto, nel caso di un solido elastico isotropo,  $\beta_{ij} = \beta = E \alpha / (1-2 \nu)$ .

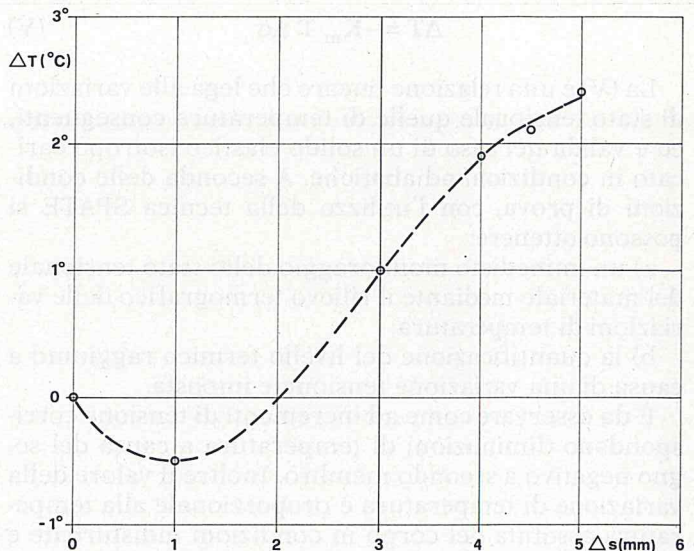


Fig. 8 - Andamento della variazione di temperatura in funzione della deformazione subita nel corso della prova di trazione su un provino di film.

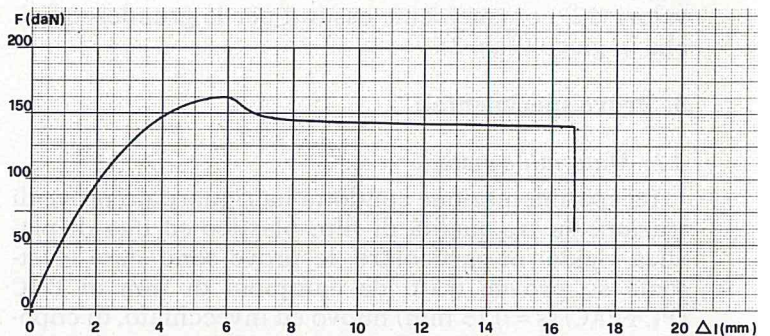


Fig. 9 - Diagramma tipo (F, Δl) di un provino di PMMA sottoposto a trazione.

Per la legge di Hooke, sostituendo le deformazioni principali ( $\epsilon_{ii}$ ) con le tensioni principali ( $\sigma_{ii}$ ), la (IV) diventa:

$$\Delta T = -\alpha T \sum_{i=1,2,3} \sigma_{ii} / \rho C_p$$

o meglio:

Tab. 1 - Valori del rapporto  $\dot{\epsilon}/E$  per i più diffusi materiali plastici per serre.

Materiale	$\dot{\epsilon}/E$
PE b.d.	1,00250
PVC	1,00388
PC	1,00165
PMMA	1,00274

Tab. 2 - Valori della costante termoelastica  $K_m$  per i più diffusi materiali plastici per serre.

Materiale	$K_m$ (mm <sup>2</sup> / N)
PE b.d.	$10,34 \times 10^{-5}$
PVC	$5,98 \times 10^{-5}$
PC	$4,16 \times 10^{-5}$
PMMA	$4,23 \times 10^{-5}$

$$\Delta T = -K_m T \Delta \sigma \quad (V)$$

La (V) è una relazione lineare che lega alle variazioni di stato tensionale quelle di temperatura conseguenti, ed è valida nel caso di un solido elastico isotropo caricato in condizioni adiabatiche. A seconda delle condizioni di prova, con l'utilizzo della tecnica SPATE si possono ottenere:

a) un immediato monitoraggio dello stato tensionale del materiale mediante il rilievo termografico delle variazioni di temperatura;

b) la quantificazione del livello termico raggiunto a causa di una variazione tensionale imposta.

È da osservare come ad incrementi di tensione corrispondano diminuzioni di temperatura a causa del segno negativo a secondo membro. Inoltre il valore della variazione di temperatura è proporzionale alla temperatura assoluta del corpo in condizioni indisturbate e ad una costante ( $K_m \alpha / \rho C_p$ ) che prende il nome di costante termoelastica ed è una caratteristica tipica di ciascun materiale. Analogamente a quanto eseguito per la valutazione di  $\dot{E}$ , sono stati calcolati i valori di  $K_m$  per le materie plastiche più diffuse, sulla base dei valori (12) comunemente assunti per le grandezze fisiche in gioco (Tab. 2).

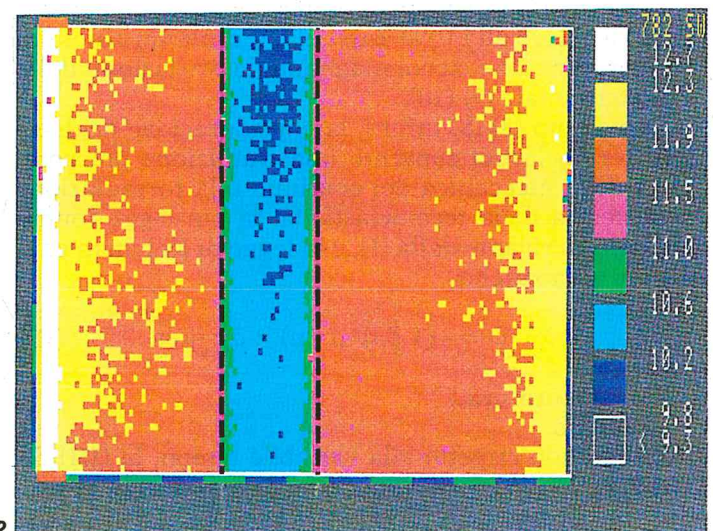
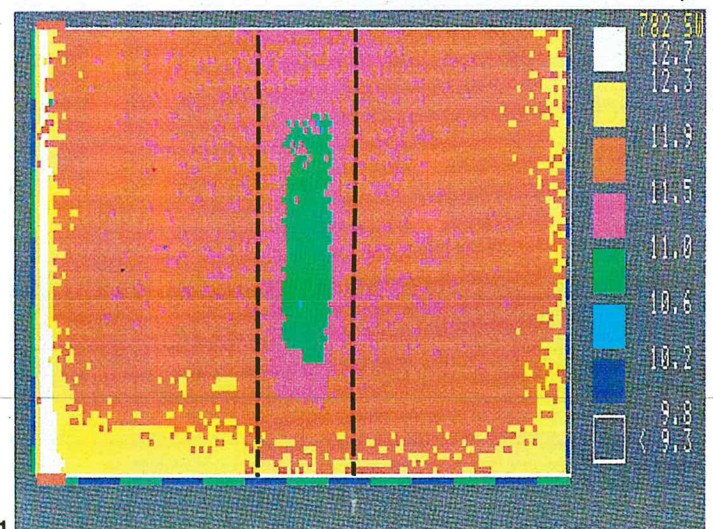
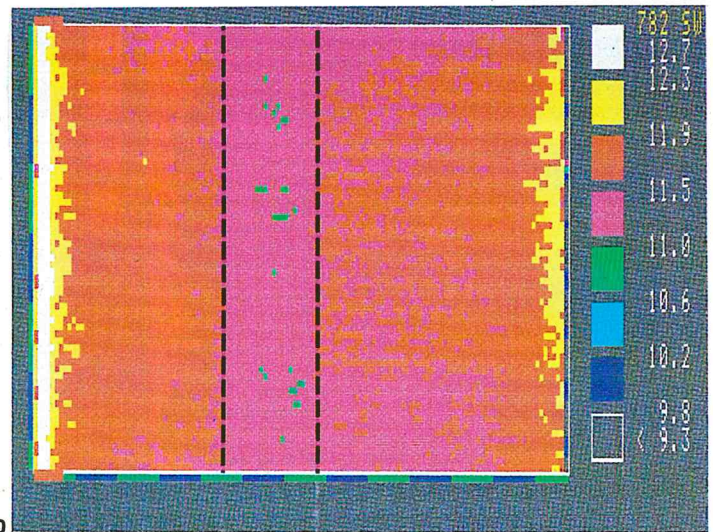
### 3. Prove sperimentali

#### 3.1. Materiali e metodi

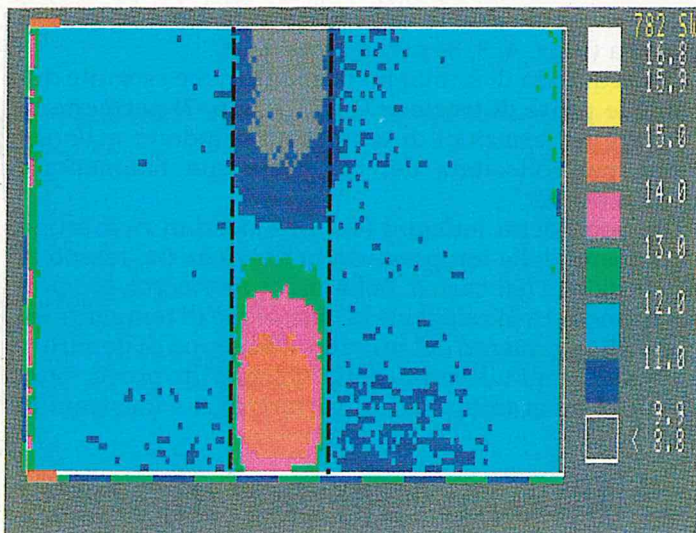
La sperimentazione condotta ha riguardato prove di trazione su tre qualità di film plastico ed una di plastica rigida; in particolare, le prove sono state effettuate su provini tratti da campioni di film di PVC (PLYPAC) ( $s = 0,15$  mm) nuovo ed invecchiato, di copolimero EVA (PATILUX) ( $s = 0,2$  mm) nuovo ed invecchiato e di PE neutro stagionale non additivato ( $s = 0,2$  mm), nonché su provini tratti da lastre rigide di polimetilmetacrilato (VEDRIL) ( $s = 2,8$  mm) nuovo ed invecchiato; tali materiali sono stati campionati secondo la direttiva UNI 8514/83 (17) dalle fabbriche produttrici. Parte dei campioni sono stati provati nuovi, cioè senza essere sottoposti a processi di invecchiamento, mentre i rimanenti sono stati esposti agli agenti atmosferici esterni nell'ambito dell'area del Campus della Facoltà di Agraria dell'Università di Bari; di questi, alcuni sono stati provati dopo esposizione per 1 anno (dal 15/9/1987 al 15/9/1988) che ne ha consentito un invecchiamento naturale sotto l'alternarsi delle stagioni. Il materiale rimanente è stato lasciato in esposizione per consentire, in futuro, il completamento del ciclo di prove. I provini di film da sottoporre a trazione, sono stati ottenuti mediante fustelle in acciaio in accordo con le norme UNI 8422 (16) (Fig. 1c) mentre quelli di lastre rigide sono stati ricavati mediante fresatura secondo la sagoma indicata nella norma UNI 5819 (15) (Fig. 1b).

L'analisi termografica è stata condotta su provini del tipo 1a ed 1b per quanto riguarda rispettivamente i campioni di plastica rigida e di film.

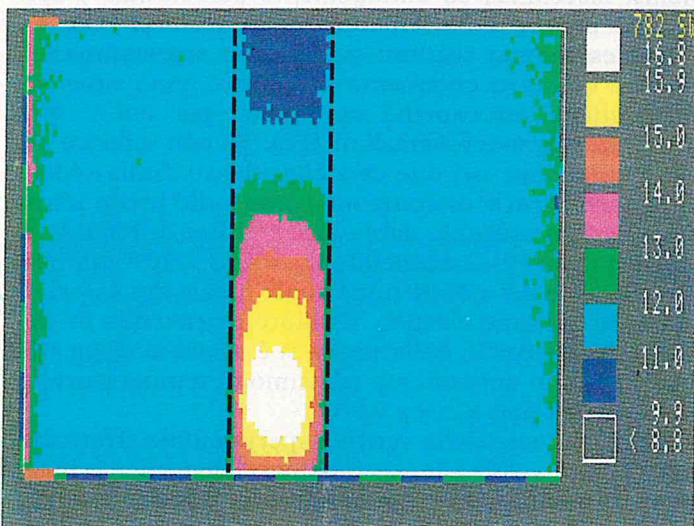
Le prove, eseguite secondo la normativa specifica (1), sono state condotte nel laboratorio dell'Istituto di Genio Rurale e Forestale dell'Università della Basilicata di Potenza utilizzando una pressa universale com-



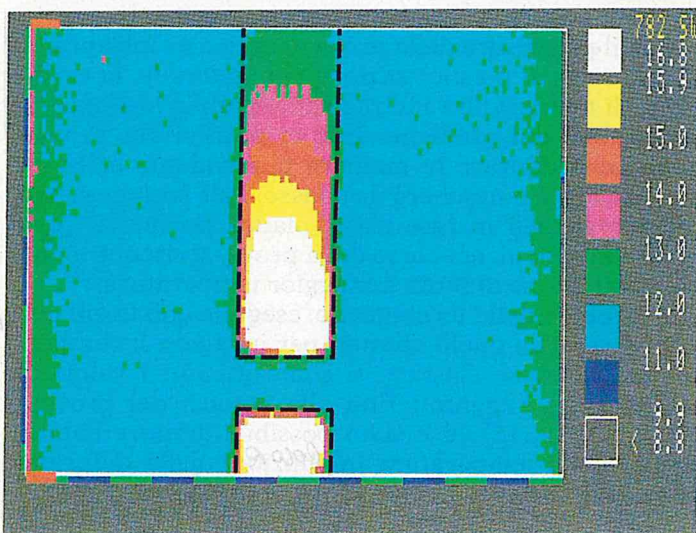
Figg. 10, 11, 12 - Sequenza di immagini termografiche, rilevate nel corso della fase elastica della prova a trazione, su una plastica rigida. Si distinguono: inizio prova (Fig. 10); fase elastica (Fig. 11); limite fase elastica (Fig. 12).



13



14



15

Figg. 13, 14, 15 - Sequenza di immagini termografiche, rilevate nel corso della fase plastica della prova a rottura per trazione, su plastica rigida (PMMA). Si distinguono: fase plastica (Fig. 13); istante immediatamente precedente (Fig. 14) e successivo (Fig. 15) al collasso del materiale.

Tab. 3 - Valori delle resistenze a rottura e degli allungamenti percentuali a rottura per film plastici nuovi e invecchiati per un anno, espressi in termini di media ed intervallo di fiducia bilaterale con probabilità del 95%.

Materiale	N. provini	$\sigma_{rottura}$ (N/mm <sup>2</sup> )	All. rottura %
PVC nuovo .....	10	24,21 ± 1,35	482 ± 32
PVC invecchiato .....	10	30,02 ± 3,29	1146 ± 91
EVA nuovo .....	10	21,83 ± 3,06	1094 ± 129
EVA invecchiato .....	10	19,12 ± 0,68	477 ± 12
PE nuovo .....	10	20,72 ± 1,20	885 ± 70

Tab. 4 - Valori delle tensioni massime, delle resistenze e degli allungamenti percentuali a rottura per lastre rigide di PMMA nuove ed invecchiate per un anno, espresse in termini di media ed intervallo di fiducia bilaterale con probabilità del 95%.

Materiale	N. provini	$\sigma_{max}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_{rottura}$ (N/mm <sup>2</sup> )	All. rot. %
Vedril nuovo .....	8	46,35 ± 0,39	39,95 ± 0,43	35 ± 6
Vedril invecchiato ..	8	46,29 ± 0,69	39,83 ± 0,54	36 ± 4

puterizzata Galdabini PMA 10, che ha consentito la restituzione grafica della curva  $F/\Delta l$  del materiale in prova.

Il provino in trazione è stato ripreso, nel corso della prova, con l'apparecchiatura termografica a raggi infrarossi AGEMA 782 SW, munita di monitor per la restituzione in diretta della ripresa, di videoregistratore per la sua registrazione, di datalink e asservito personal computer, per l'elaborazione e la restituzione a colori dell'immagine. Nel corso delle riprese termografiche sono stati usati schermi di lastre di polistirolo espanso, disposte tutt'intorno all'apparecchiatura di prova per eliminare l'influenza radiante degli oggetti circostanti, ed anelli distanziali montati sull'obiettivo della camera ad infrarossi per avere un'immagine più ravvicinata, e così più dettagliata, del provino. Al fine di esaltare il fenomeno emissivo dei materiali trasparenti e quindi di migliorare la qualità delle riprese termografiche si è ritenuto necessario ottenere un'emissività superficiale elevata ed uniforme, per cui sui provini è stata applicata una vernice nera, particolarmente adatta allo scopo, che ha consentito di raggiungere un'emissività pari a circa il 95%. Il complesso delle apparecchiature descritte è rappresentato nella Fig. 2.

Le condizioni ambientali di prova sono state le seguenti:

- temperatura media ambiente = 13 - 15°C (286-288°K)
- umidità relativa media = 60 - 70%
- illuminamento medio ambiente = 10 - 20 lux.

### 3.2. Risultati e discussione

Le prove svolte hanno rivelato una diversa risposta alle sollecitazioni meccaniche dei campioni di film, al variare del materiale e dell'invecchiamento, mentre per le lastre rigide non si sono riscontrate differenze significative, in termini di resistenza e di duttilità.

L'analisi termografica all'infrarosso termico ha consentito inoltre la verifica sperimentale dell'equazione

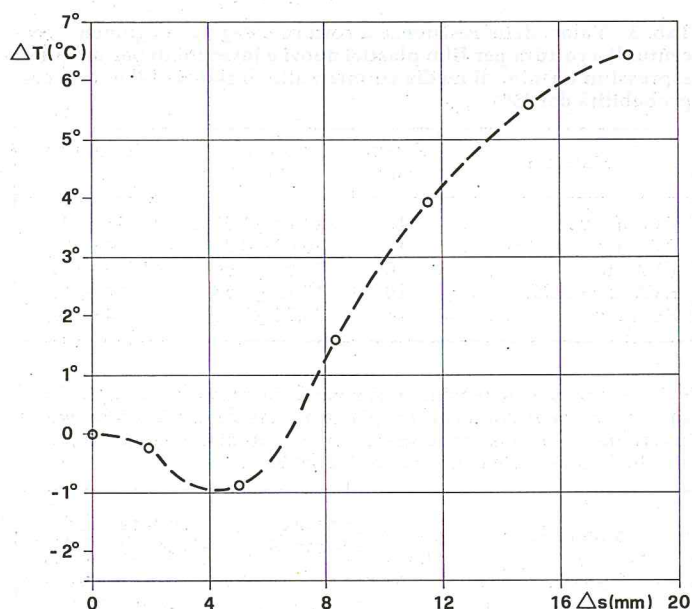


Fig. 16 - Andamento della variazione di temperatura in funzione della deformazione subita nel corso della prova di trazione su un provino di PMMA.

(V) e la determinazione delle variazioni di temperatura, in regime elastico, di provini di film e lastre rigide sollecitati a trazione.

### 3.2.1. Film

Sulla base della valutazione delle resistenze e degli allungamenti percentuali a rottura dei singoli provini si sono elaborati i risultati (Tab. 3) espressi in termini di media e relativo intervallo di fiducia bilaterale con probabilità del 95%, secondo la normativa UNI 5309-66 (14).

Il materiale che ha evidenziato le migliori caratteristiche di resistenza è il PVC PLYPAC il quale, dopo un anno di invecchiamento, rivela un incremento (Tab. 3) dei valori di resistenza e di allungamento percentuale a rottura. Tale comportamento è probabilmente dovuto al fenomeno di perdita di plastificante che avviene nel PVC al passare del tempo a causa della migrazione e dispersione delle sue molecole.

Per quanto attiene il copolimero EVA (Fig. 3a) ed il PE nuovi, essi denotano caratteristiche meccaniche abbastanza simili, che, nell'EVA invecchiato per un anno (Fig. 3b) subiscono una riduzione del 12% e del 56% rispettivamente per quanto riguarda la resistenza a rottura e l'allungamento percentuale.

Con l'ausilio dell'analisi termografica su provini di PE sottoposti a trazione si è proceduto quindi sia alla verifica sperimentale dell'equazione che esprime le variazioni di temperatura in funzione dello stato tensionale (V) che alla valutazione dei gradienti di temperatura che si generano nel corso della prova.

Assumendo i seguenti valori delle grandezze che compaiono nella (V):  $K_m = 10,34 \times 10^{-5} \text{ mm}^2/\text{N}$ ,  $T = 288 \text{ °K}$  e  $\Delta \sigma = 10 \text{ N/mm}^2$ , ottenuto, quest'ultimo, attraverso il calcolo della media dei valori del limite elastico nei provini di PE, ne deriva  $\Delta T = -0,3 \text{ °C}$ . Dai rilievi sperimentali, con riferimento alla sezione di intaglio, si evidenzia una diminuzione di temperatura tra la fase di

inizio di applicazione del carico e la fine della fase elastica (Figg. 4, 5, 8) pari a circa  $0,5 \text{ °C}$ .

La sequenza di immagini termografiche eseguite durante le prove di trazione (Figg. 4, 5, 6, 7) permette di rilevare le variazioni di temperatura indotte nella sezione più sollecitata del materiale con l'aumentare della tensione.

Da precedenti indagini (4) (8), sono stati ricavati gli andamenti della temperatura in funzione del tempo di applicazione del carico; nella presente ricerca si è preferito mettere in relazione la variazione di temperatura con l'allungamento del provino, allo scopo di depurare i risultati dall'influenza della velocità di prova, ottenendo il diagramma  $\Delta T$  al variare di  $\Delta s$  illustrato in Fig. 8.

### 3.2.2. Plastica rigida

Analogamente all'elaborazione dei risultati eseguita per le prove sui film, si sono ottenuti i valori di resistenza meccanica ed allungamento percentuale a rottura dei provini di PMMA nuovo ed invecchiato (Tab. 4).

Dall'esame dei risultati si evince la scarsissima influenza dell'invecchiamento di un solo anno sulle caratteristiche meccaniche esaminate, per cui il diagramma sforzi-deformazioni (Fig. 9) non subisce alcuna variazione nei due casi considerati. Sulla scorta delle termografie ottenute nel corso delle prove a trazione è stata eseguita, anche per le lastre di PMMA, la verifica della (V). Assumendo  $K_m = 4,23 \times 10^{-5} \text{ mm}^2/\text{N}$ ,  $T = 288 \text{ °K}$  e  $\Delta \sigma = 46 \text{ N/mm}^2$  quale media dei valori di tensione al limite elastico, il valore teorico che ne deriva è  $\Delta T = -0,6 \text{ °C}$ ; dalle prove si è ricavato (Figg. 10, 11, 12, 16) un decremento massimo di temperatura in fase elastica pari a circa  $0,9 \text{ °C}$ .

Come nel caso della verifica sperimentale effettuata per i film, i valori rilevati risultano leggermente maggiori di quelli di calcolo; lo scostamento dai risultati teorici appare imputabile all'approssimazione nell'assegnazione di valori certi ai parametri fisici introdotti nel calcolo, nonché alla relativa sensibilità degli strumenti di misura.

Con il progredire della prova di carico e l'instaurarsi di uno stato di plasticizzazione nel materiale, la variazione di temperatura indotta subisce un'inversione, riscontrabile dai gradienti termici positivi che si vengono ad instaurare in maniera più evidente nella sezione in cui si innescherà il collasso. Tale sezione si può individuare già in fase elasto-plastica poiché si trova nella zona in cui, nel corso della prova, si riscontra una concentrazione di punti a maggior temperatura.

Per mezzo delle termografie, eseguite con livelli termici diversi da quelli adottati per indagare il comportamento in fase elastica, si sono ottenuti i valori di temperatura raggiunti fino alla rottura del provino (Figg. 13, 14, 15) ed è stato possibile definire l'andamento della temperatura in funzione della deformazione (Fig. 16).

## 4. Conclusioni

Lo studio del comportamento meccanico dei materiali plastici riveste un'importanza notevole ai fini della scelta e della utilizzazione razionale nelle applica-

zioni per copertura di apprestamenti protetti.

Tra i materiali sottoposti a prova sono state rilevate, per quanto riguarda i film, migliori caratteristiche di resistenza nel PVC (PLYPAC) rispetto al copolimero EVA ed al PE stagionale. Va inoltre sottolineato il miglioramento del comportamento del PVC (PLYPAC) in funzione del tempo di utilizzazione nelle coperture di serre, al contrario di quanto verificato nell'EVA. Nel caso delle lastre di PMMA, l'influenza dell'invecchiamento naturale nel corso di un anno non ha provocato significative variazioni delle proprietà meccaniche esaminate.

È necessario comunque indagare sulla variabilità delle proprietà ottiche dei materiali plastici in funzione del tempo, nonché approfondire ulteriormente l'indagine sulle caratteristiche meccaniche più importanti con l'applicazione di cicli di carico e con periodi di invecchiamento più lunghi di esposizione all'atmosfera.

Il rilievo termografico si è rivelato strumento importante da affiancare alle prove di trazione ed ha consentito:

- il monitoraggio degli stati tensionali prodotti;
- la verifica sperimentale della teoria della termoelasticità nel caso delle materie plastiche;
- la definizione dell'andamento della variazione di temperatura in funzione delle deformazioni del materiale;
- l'individuazione della sezione di probabile collasso del materiale, mediante i gradienti termici rilevati, anche allo scopo di definire l'influenza delle temperature di esercizio dei materiali plastici di copertura per serre sulla resistenza degli stessi in corrispondenza di punti singolari, quali i giunti e le zone di collegamento con le strutture portanti.

(<sup>2</sup>) Il contributo all'impostazione ed allo svolgimento del lavoro va suddiviso in maniera paritetica tra gli Autori.

#### RIASSUNTO

Allo scopo di mettere a confronto le proprietà di resistenza di materiali plastici per la copertura di serre sono state effettuate prove non cicliche a trazione su plastiche sotto forma di film (PE, PVC, EVA) e di lastre rigide (PMMA). L'indagine è stata condotta su provini ottenuti da campioni di materiale nuovo oppure invecchiato con un'esposizione all'atmosfera della durata di un anno; il raffronto tra i risultati ottenuti ha consentito di formulare, per ciascun materiale, considerazioni circa la stabilità delle sue caratteristiche meccaniche nel tempo.

Dopo aver valutato i valori teorici del modulo di elasticità adiabatico  $E'$  e del decremento di temperatura in fase elastica, previsto dalla legge di Kelvin, l'analisi delle riprese termografiche, eseguite parallelamente alle prove meccaniche, ha consentito di confrontare le variazioni di temperatura teoriche con quelle rilevate sperimentalmente in corrispondenza di stati tensionali noti.

#### SUMMARY

##### *Greenhouse plastic materials performance in relation with thermoelasticity and weathering*

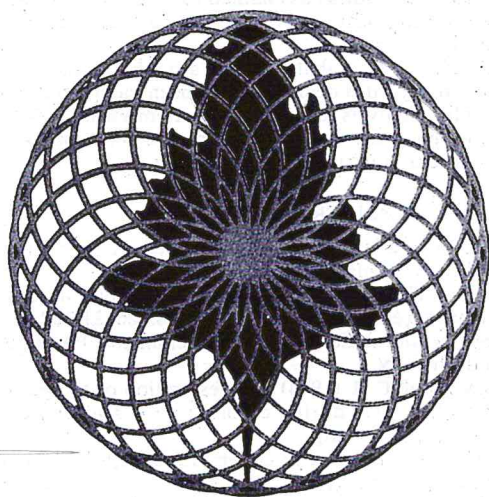
In order to compare mechanical properties of different greenhouse covering materials, tensile tests have been carried out on plastic films (PE, PVC, EVA) and plastic sheets (PMMA). The study has been conducted on new and one year weathering specimens; the comparison among the obtained results has enabled to express some considerations about weathering influence on the mechanical characteristics of each material.

Then, theoretical values of adiabatic Young's modulus and Kelvin's formula elastic temperature decrease have been calculated. By means of thermographic analysis, carried out contemporarily with mechanical tests, experimental values of temperature decrease have been evaluated and compared with the theoretical ones.

#### BIBLIOGRAFIA

- 1) Ansi-Astm (1977) - «Standard test method for tensile properties of plastics». Ansi-Astm, Philadelphia, U.S.A., (638), 225-240.
- 2) Bailey B.J. (1981) - «The reduction of thermal radiation in glasshouses by thermal screens». J. of Agr. Eng. Res., 26, 215-224.
- 3) Fung Y.C. (1965) - «Foundations of solid mechanics». Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J.
- 4) Huang Y., Li S.X., Shih C.H. (1984) - «Investigation of temperature fields of stainless steel during deformation». The Chinese Academy of Sciences, Shenuang.
- 5) Magnani G. (1984) - «I materiali di copertura: caratteristiche a confronto». Colture protette, (7), 17-26.
- 6) Magnani G., Perrone C., Servi G. (1985) - «Film plastico in polietilene lineare diversamente stabilizzato per colture protette». Colture protette, (10), 39-46.
- 7) Manera C., Dal Sasso P. (1985) - «Misure spettrometriche su alcuni materiali di copertura per serre». Colture protette, (2), 37-43.
- 8) Manera C., Picuno P., Scarascia Mugnozza G. (1988) - «Analisi termoelastica dello stato tensionale e deformativo di materiali di copertura per serre». Atti del IV convegno nazionale AIGR, Alghero.
- 9) Oliver D.E. (1986) - «Stress pattern analysis by thermal emission» tratto da «Handbook on experimental mechanics». Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J., 610-620.
- 10) Pasta A., Tschinke M.F., Tumino N., Virzi Mariotti G. (1988) - «Studio termografico e con gli elementi finiti di elementi piani intagliati». Atti del XVI conv. naz. Ass. It. Analisi Sollecit., L'Aquila, 289-304.
- 11) Ram A. (1978) - «Weathering resistance of polyethylene and PVC films used in protected cultivation». Acta Horticulturae, (87), 31-38.
- 12) Saechtling H. (1981) - «Manuale delle materie plastiche». Tecniche Nuove, Milano.
- 13) Tesi D., Tesi R. (1985) - «Influenza di alcune coperture plastiche sulla produzione di pomodoro in serra tunnel». Colture Protette, (10), 33-38.
- 14) UNI 5309-66 (1966) - «Metodi statistici per il controllo della qualità. Presentazione di una media con il corrispondente intervallo di fiducia». UNI, Milano.
- 15) UNI 5819-66 (1966) - «Prove sulle materie plastiche. Determinazione delle caratteristiche a trazione dei materiali plastici». UNIPLAST, Milano.
- 16) UNI 8422 (1982) - «Materie plastiche. Determinazione delle proprietà a trazione di film e foglie». UNIPLAST, Milano.
- 17) UNI 8514-83 (1983) - «Film e foglie di materie plastiche. Campionamento». UNIPLAST, Milano.

CITTÀ DI ALBENGA - MINISPORT



10<sup>a</sup> Mostra Mercato del  
**CRISANTEMO**  
E DELLE PIANTE ORNAMENTALI IN VASO

6-8 Ottobre 1989

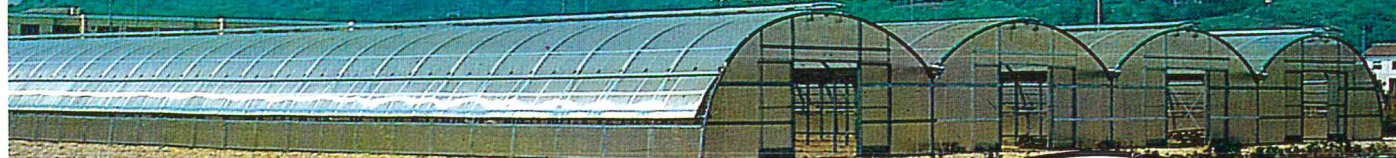
Albenga-Minisport - V.le Italia 35  
Tel. (0182) 53458



**VENTILAZIONE REGOLATA** Apertura continua regolabile  
**ACCESSIBILITÀ**



**APERTURA LATERALE** - Brevetto N. 190588



**T8 - T8C - T8CL**  
**SERIE SERRE A TUNNEL**

Brevettate con aperture di colmo, laterali e porte scorrevoli sulle testate. Costruite in ferro zincato a caldo, coperture in vetroresina. Misure da 8 m, da 15,50 m, da 23 m ecc. distanza modulare degli archi 1,52 m. Tunnel adatti per l'ortofruitticoltura, il vivaismo, la funghicoltura, la lombricoltura, ecc.

**Agri Serre**  
s.r.l.

**COSTRUZIONI PER L'AGRICOLTURA**  
UFFICI e STABILIMENTO PESARO - Via Toscana, 5  
Tel. 07217453466 - TELEX 560214 SIPREM I