

Gruppo Italiano Frattura (IGF)
Atti III Convegno Nazionale
Torino, 22-23 maggio 1986

GRUPPO ITALIANO FRATTURA

III CONVEGNO NAZIONALE

Istituto G. Donegani - Novara

R. SERRA , I. GUANELLA , T. CASIRAGHI^{*}

"Valutazione della resistenza alla iniziazione e pro-
pagazione della frattura in miscele di polipropilene
tenacizzato con gomma"

* Consulente MONTEDISON

1 INTRODUZIONE

Sul piano pratico e' molto sentita l'esigenza di valutare la tenacita' dei materiali polimerici, sia tal quali che compositi, ricorrendo a metodi aggiornati quali quelli derivanti dai criteri della Meccanica della Frattura (MF).

In prove impulsive, fino a due metri al secondo e in campo lineare elastico, e' gia' stato mostrato che si possono ottenere valori di alto significato parametrico.

Sono invece tuttora aperti i problemi associati alle misure che vengono svolte a bassa velocita' o su materiali che, anche a velocita' di sollecitazione elevato, manifestano comunque una scarsa resistenza allo snervamento ed un basso valore di modulo elastico. In questi casi infatti, i diagrammi forza-spostamento di prove di MF indicano l'esistenza di un notevole processo di deformazione plastica.

Sono in atto parecchi sforzi(1,2,3) per cercare di ottenere anche per questi materiali valori di tenacita' di tipo parametrico. Questo lavoro riguarda la valutazione di nuovi prodotti polipropilenici antiurto, basata sulla misura della resistenza alla propagazione della fessura, relativa sia alla fase di iniziazione che di diffusione fino a rottura.

La valutazione della resistenza di iniziazione e' stata svolta adottando, per ragioni di confronto, tre criteri:

- quello di Begley e Landes (4) ;
- quello di Rice (5) ;
- quello di Ernst (6) .

La valutazione della resistenza di diffusione e' stata svolta ricorrendo, ancora per ragioni di confronto, a due criteri: il primo basato su una semplice derivazione della variazione della energia totale di rottura rispetto alla variazione della profondita' di intaglio (dU_T/da), e sulla determinazione del $T_m(4)$; il secondo basato ancora sulla espressione di Rice ($2U_T/A$).

Nel presente lavoro non e' stato preso in considerazione il problema delle dimensioni critiche del provino .

Riguardo ai materiali polimerici questo problema andrebbe considerato anche da un punto di vista pratico; infatti gli spessori degli oggetti prodotti con questi materiali sono generalmente di bassa entita'.

2 PARTE SPERIMENTALE

2.1 Materiale

Sono state valutate quattro miscele di polipropilene antiurto contenenti una gomma stirolo-butadiene-stirolo, con e senza accoppiante.

Le miscele ottenute hanno la composizione riportata in tabella 1.

2.2 Preparazione dei provini

I componenti sono stati estrusi due volte al fine di raggiungere una buona miscelazione. I granuli ottenuti con questa operazione sono stati stampati a compressione ricavando delle lastre con le seguenti dimensioni: 150x150x3 mm.

Da tali lastre sono stati tagliati i provini per le misure di meccanica della frattura 3PB (three point bending), aventi le dimensioni indicate in figura 1.

L'intaglio dei provini è stato ottenuto in due tempi; dapprima si è raggiunta una profondità stabilita utilizzando una frese circolare, successivamente tale profondità è stata aumentata di circa 0.5 mm utilizzando una lametta in grado di produrre un intaglio molto acuto (vedi particolare di figura 1).

Si è scelto un range di profondità di intaglio $a/w = 0.4 \div 0.6$. Le misure sono state condotte alla temperatura di -63°C e alla velocità di 10 mm/min.

3 RISULTATI

3.1 Caratterizzazione a trazione

In tabella 2 sono riportati i valori del modulo elastico, dello sforzo e della deformazione in corrispondenza del carico massimo per i quattro campioni sollecitati a trazione.

3.2 Curve sperimentali

Le curve carico-spostamento sono riportate nelle figure 2 ÷ 5, la loro forma evidenzia in modo chiaro il differente comportamento delle quattro miscele. I campioni A e C risultano i più fragili, tra i due A si rompe prima di raggiungere il carico limite.

I campioni B e D presentano invece una rottura di tipo stabile; nella fase di propagazione della fessura le curve prodotte dalla miscela D indicano una maggiore rapidità di decadimento del carico dovuta sicuramente ad una minore resistenza alla propagazione. Per ciascun materiale le curve ottenute presentano sempre lo stesso valore di spostamento in corrispondenza del carico massimo. Tale singolarità è molto importante perché, come si vedrà in seguito, consente di trattare i valori di energia ad essa corrispondenti, secondo il criterio di Begley e Landes.

Le curve prodotte dai provini che manifestano una rottura stabile, presentano una forma molto simile al variare della profondità dell'intaglio (5). Tale comportamento consente una normalizzazione il cui risultato è riportato nelle figure 6 e 7. Si può osservare che nell'intervallo di a/w prescelto, i fattori di normalizzazione (P_0/P_i) si dispongono con buona approssimazione su di una retta (figure 6a e 7a).

Diagrammando i valori del carico limite in funzione della profondità di intaglio si può notare come questi siano ben interpolati da una curva calcolata con la seguente espressione (figure 8 ÷ 11):

$$P = Z[2\sigma_y(1-a/w)^{3/2}/3L] \quad (1)$$

il campione A ha un fattore di intensificazione Z compreso tra 1.5 e 2.04; i campioni B, C, D hanno tutti invece un fattore Z pari a 2.04.

Tale risultato indicherebbe la presenza di una elevata deformazione plastica. L'esame frattografico, qui non riportato, mostra che il processo di rottura avviene in condizioni di plain strain cioè nessuna superficie presenta segni significativi di strizione. L'assenza di strizione porterebbe a considerare che il cedimento plastico possa essere governato da due processi, uno per shear l'altro per crazing o cavitazione. Ciò è in accordo con la forma delle curve di trazione.

3.3 Determinazione di J_{IC}

Per valutare J_{IC} si è utilizzato il criterio di Begley e Landes.

Infatti, se si diagrammano i valori di energia al carico limite ed in condizioni di isodeformazione i dati sperimentali risultano disporsi con buona approssimazione su una retta la cui pendenza rappresenta il valore di J_{Ic} (i dati ottenuti sono riportati nelle figure 12 ÷ 15, i coefficienti di correlazione variano da 0.991 a 0.997).

Dai valori J_{Ic} ottenuti, risulta che la resistenza, all'iniziazione della fessura, per le due miscele con minor contenuto di gomma, è più elevata nel campione C.

Tra le due miscele al 20% di gomma la più tenace è risultata la B. Il confronto incrociato tra i campioni con diverso contenuto di gomma ha evidenziato come la J_{Ic} del campione D sia pressoché uguale a quella di C.

Questa apparente incongruenza ha messo in evidenza i limiti sul significato da dare a J_{Ic} come indice di tenacità. Tale parametro infatti ci informa sul lavoro da fare per vincere la resistenza all'inizio di propagazione della fessura ma non su come questa propaghi.

In tabella 3 sono riportati i valori di J_{Ic} ottenuti con il metodo precedente a confronto con quelli calcolati con i metodi di Ernst e di Rice.

Il metodo di Ernst permette di valutare J_{Ic} partendo dalla seguente espressione:

$$J_{Ic} = G_c + 2/b(w-a) \int_0^{\delta_{p1}} P d\delta_{p1} \quad (2)$$

dove:

δ_{p1} è lo spostamento dovuto alla deformazione plastica della barretta;

G_c è calcolato considerando soltanto la componente elastica della energia al carico massimo;

$P d\delta_{p1}$ è la componente della energia al carico massimo relativa alla deformazione plastica.

Il significato dei termini su indicati è illustrato in figura 16.

I valori di J_{Ic} ottenuti con il metodo di Rice sono stati calcolati con la seguente espressione:

$$J_{Ic} = 2U_{pmax}/A$$

dove:

U_{pmax} è l'energia in corrispondenza del carico massimo;

$A = b(w-a)$ è la sezione resistente del provino.

Poiché risulta che i valori ottenuti con la precedente equazione variano con la profondità di intaglio, supponendo che ciò possa dipendere dalla componente elastica, si è sottratta tale componente alla energia totale come suggerito dallo stesso Rice. L'equazione utilizzata è la seguente:

$$J_{Ic} = 2U_{pmax} - U_{pmax} \ell / A \quad (3)$$

I valori ottenuti dalle equazioni (2) e (3) sono diagrammati nelle figure 17 e 18.

Risulta che i valori di J_{Ic} calcolati con tali metodi sono nume-

ricamente molto prossimi a quelli ottenuti con il criterio di Begley e Landes e, nell'intervallo di a/w prescelto, risultano praticamente indipendenti dalla profondita' di intaglio.

3.4 Energia di rottura

Nelle figure 19 e 20 sono diagrammati i valori della energia totale, rapportata allo spessore, in funzione delle dimensioni del ligament ($w-a$).

Tale valutazione e' possibile solo per i campioni B e D che presentano una rottura di tipo stabile, cioe' espressa da una curva continua.

I valori di energia diagrammati, possono essere bene interpolati con una retta se limitati a rapporti a/w variabili tra 0.4 e 0.6 (figure 19 e 20), o con una curva quadratica per un range piu' ampio. Nel primo caso otterremo un parametro J_T^* che puo' essere ritenuto, per comodita', un valore medio-efficace di resistenza alla propagazione della fessura.

Nel secondo caso, invece, si ottengono, derivando l'equazione della quadratica, valori di J_T crescenti con la dimensione del ligament, questi rappresentano il tasso di variazione dell'energia necessaria alla propagazione della fessura.

Tramite questo valore e' possibile ricavare $dJ_T/d(w-a)$ e quindi il T_m mediante la seguente espressione:

$$T_m = dJ_T / d(w-a) * (E/\sigma_y^2)$$

Dal confronto tra i dati di J_T^* e T_m riportati in tabella 3, risulta evidente come questi due parametri siano entrambi molto sensibili e discriminanti al riguardo della resistenza alla propagazione della fessura.

Sulla base di cio', ed in vista della definizione di un metodo semplice e rapido per prove routinarie di laboratorio, non ci sembra fuori luogo svolgere delle riflessioni per verificare la convenienza di valutare la tenacita' attraverso il parametro J_T^* qui definito.

4 CONCLUSIONI

L'adozione del criterio della MF in campo elasto-plastico per valutare quattro campioni di PP antiurto ha consentito di ottenere valori di tenacità a rottura di carattere parametrico. Sono stati determinati due parametri : uno concernente la condizione energetica in corrispondenza del carico limite e l'altro l'energia totale di rottura.

I valori di J_{Ic} ottenuti al carico limite derivati dall'uso del criterio di Begley e Landes si accordano bene con quelli derivati dai criteri di Rice e di Ernst.

I risultati ottenuti hanno però mostrato che la migliore discriminazione tra i campioni con diverso contenuto di gomma si ottiene valutandoli tenendo conto del loro comportamento complessivo: comprendente sia la fase di raggiungimento del carico limite sia quella di propagazione della fessura attraverso tutto il ligament. In questo caso la determinazione di un valore parametrico è possibile soltanto quando il processo di frattura si compie in maniera completamente stabile.

Se si diagrammano i valori della energia totale in funzione del ligament questi risultano bene interpolati da una quadratica.

Il parametro ricavato con tale operazione consente di calcolare il T_m , che risulta discriminare efficacemente i materiali in relazione alla loro tenacità.

Si è visto che in un campo più ristretto di a/w ($0.4 \div 0.6$) i valori della energia totale possono essere interpolati con una retta ottenendo un parametro di tipo empirico J_T^* altrettanto significativo e discriminante. In questo modo la tenacità di un materiale è valutabile con un minor numero di prove ed una più rapida elaborazione dei dati.

5 BIBLIOGRAFIA

- (1) A. Savadori ,M. Bramuzzo ,C. Marega , "J-Integral Analysis of Ductile Fracture of PP/PE Rubber Blends ", Polymer Testing ,vol 4 ,pp 73,1984,Elsevier Applied Science Publisher Ltd.
- (2) T. Ricco` ,M. Rink ,S. Caporusso ,A. Pavan "An Analysis of Fracture Initiation and Crack Growth in ABS Resins", Conf. Int .of Toughening of Plastics II ,2-4 July ,1985 London.
- (3) J.G. Williams ,S. Hashemi , "Testing of Toughened Polymer" Conf. Int.of Toughening of Plastics II,2-4 July,1985 London
- (4) J.A. Begley ,J.D. Landes , "Fracture Toughness",ASTM STP 514 American Society for Testing and Materials,pp 1,1972
- (5) J.R. Rice ,P.C. Paris ,J.G. Merkle , "Progress in Flaw Growth and Fracture Testing",ASTM STP 536,American Society for Testing and Materials,pp 231 ,1973
- (6) H.A. Ernst ,P.C. Paris ,J.D.Landes , "Fracture Mechanics : Thirteenth Conference",ASTM STP 743, American Society for Testing and Materials,pp 476 ,1981.
- (7) P.C. Paris ,H. Tada ,A. Zahoor ,H. Ernst , "Elastic-Plastic Fracture ",ASTM STP 668, American Society for Testing and Materials,pp 5-251 ,1979.
- (8) A. Martinelli ,E. Monti ,S. Venzi , "Relationship between J and a during the whole crack propagation", Paper presented at the 11th Plenary Meeting of European Group of Fracture", CISE, Milan,Maggio 1985.
- (9) T.R. Wilshaw ,P.L. Pratt , "On the plastic deformation of Charpy specimens prior to general yield",J. Mech. Phys. Solids,vol 14,pp 7,1966 ,Pergamon Press Ltd.

TABELLA 1

Composizione chimica delle miscele caratterizzate.

CAMPIONE	%PP	% Gomma	% Accoppiante
A	95	5	/
B	80	20	/
C	95	5	1
D	80	20	1

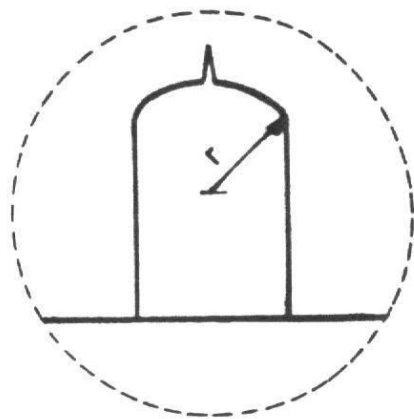
TABELLA 2

Caratterizzazione a trazione.

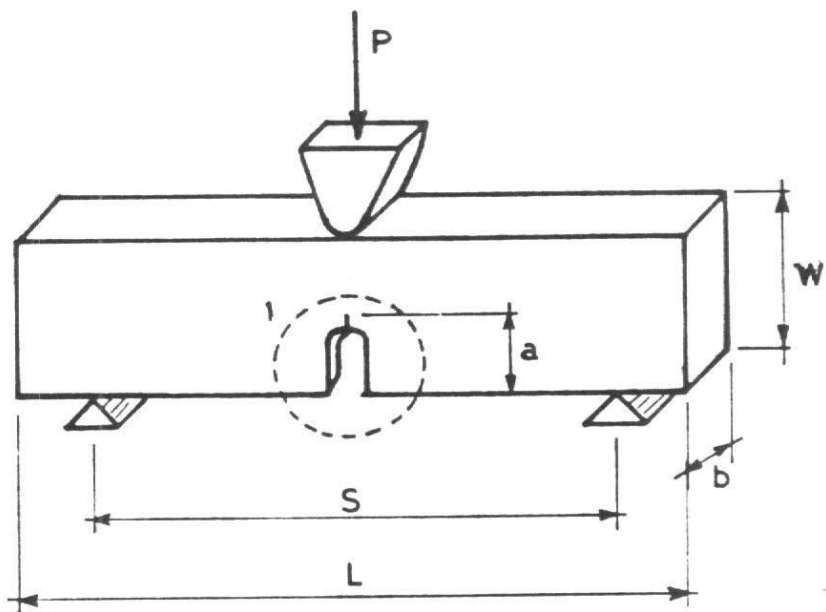
CAMPIONE	σ_{pmax} (MPa)	ϵ_{pmax} (%)	E(MPa)
A	71	11	3292
B	48.4	6.2	2420
C	67	6.6	3000
D	55	4.9	2340

TABELLA 3

CAMPIONE PROPRIETA	A	B	C	D
J_{Ic} (KJ/m ²) Begley & Landes	8.3	16.6	11.5	11
J_{Ic} (KJ/m ²) Ernst	8.7	15	12.3	12
J_{Ic} (KJ/m ²) Rice	7	18	12.4	14.4
J_T^* (KJ/m ²)	instabile	74	instabile	46
T_m	instabile	15.2	instabile	4.3



Particolare_1



a = Profondità di intaglio variabile ($\frac{a}{W} = 0.4 \div 0.6$)

$b = 3 \text{ mm}$

$W = 12.7 \text{ mm}$ — $\frac{S}{W} \cong 4$

$L = 70 \text{ mm}$ — $r = 2 \text{ mm}$

$S = 50.8 \text{ mm}$ —

- FIG. 1 -

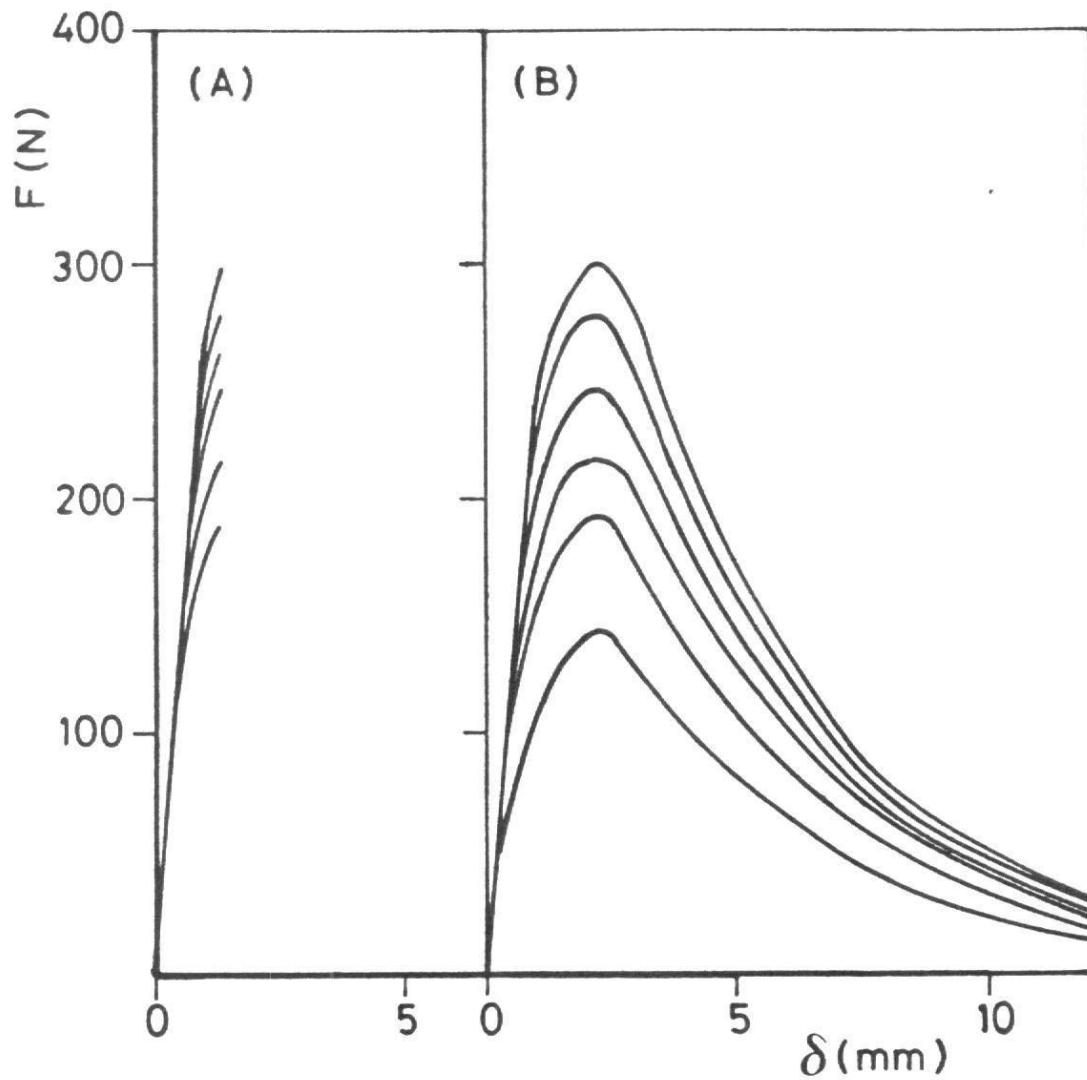


FIG. 2

FIG. 3

CURVE SPERIMENTALI

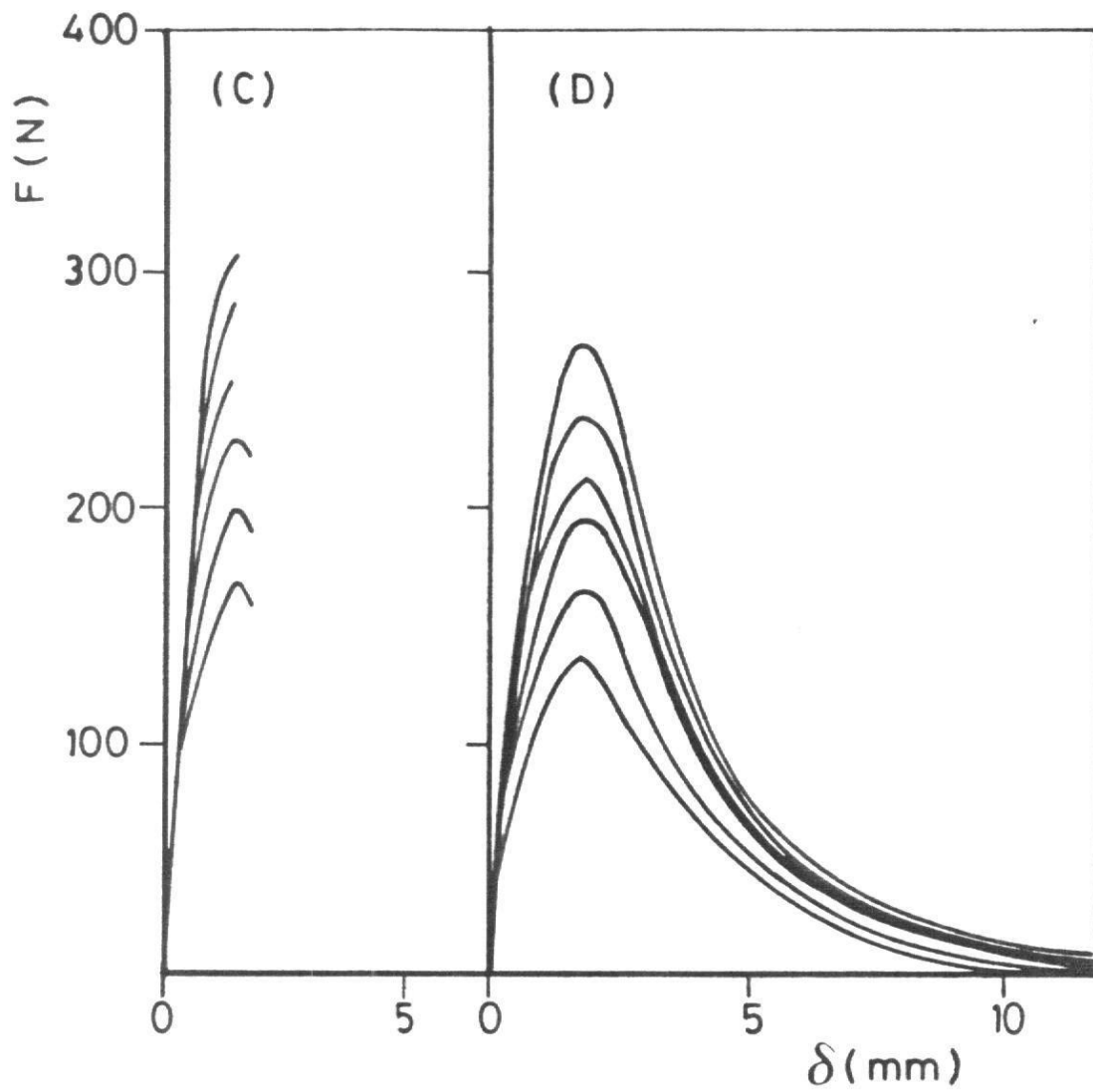


FIG. 4

FIG. 5

CURVE SPERIMENTALI

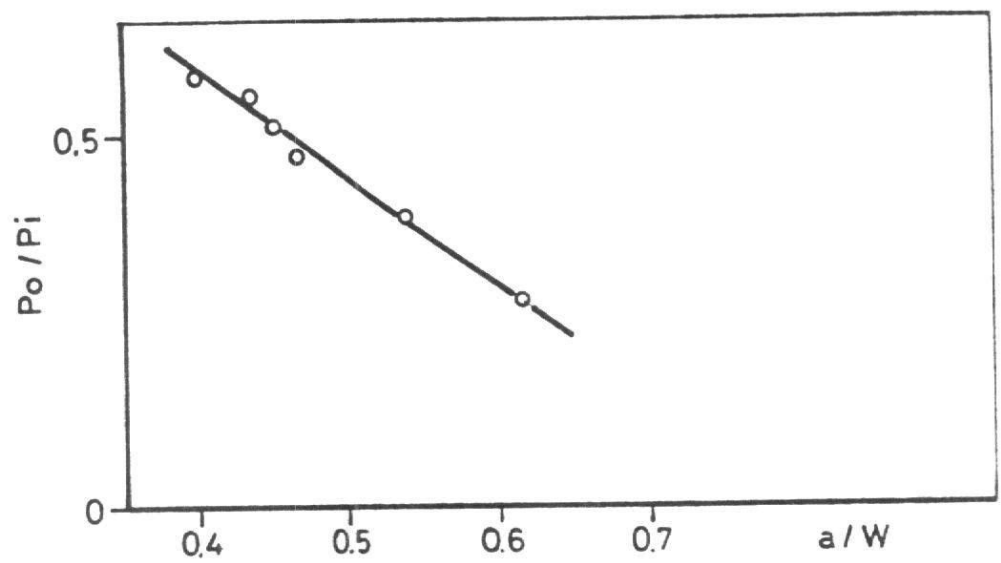


FIG. 6a - FATTORE DI NORMALIZZAZIONE - CAMPIONE B

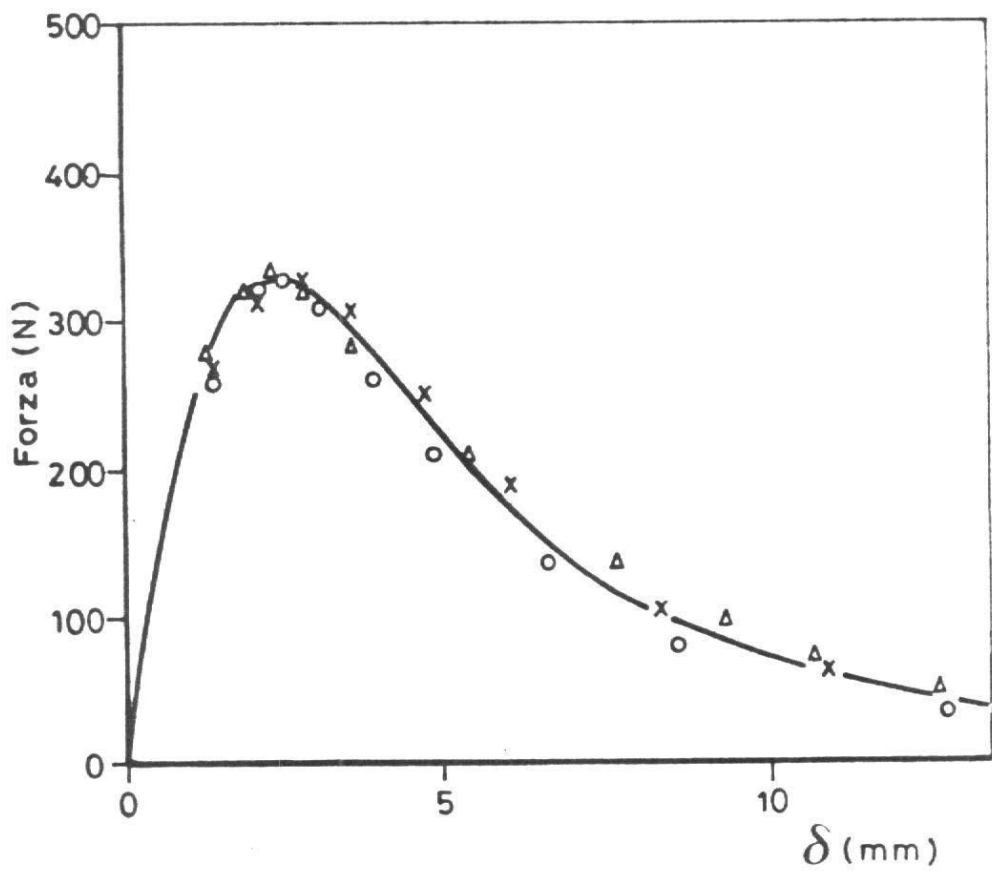


FIG. 6 - CURVE NORMALIZZATE - CAMPIONE B

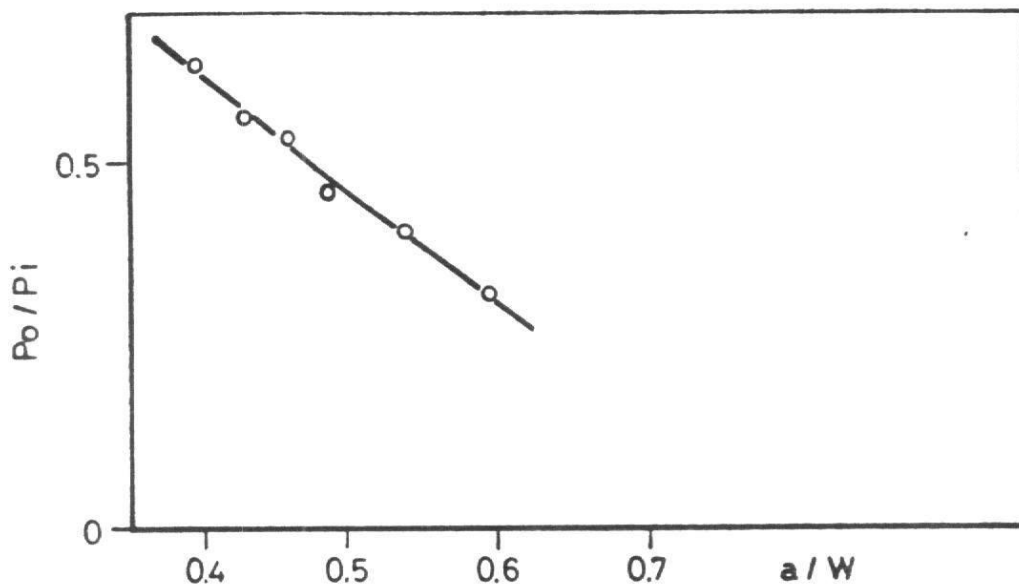


FIG. 7a - FATTORE DI NORMALIZZAZIONE - CAMPIONE D

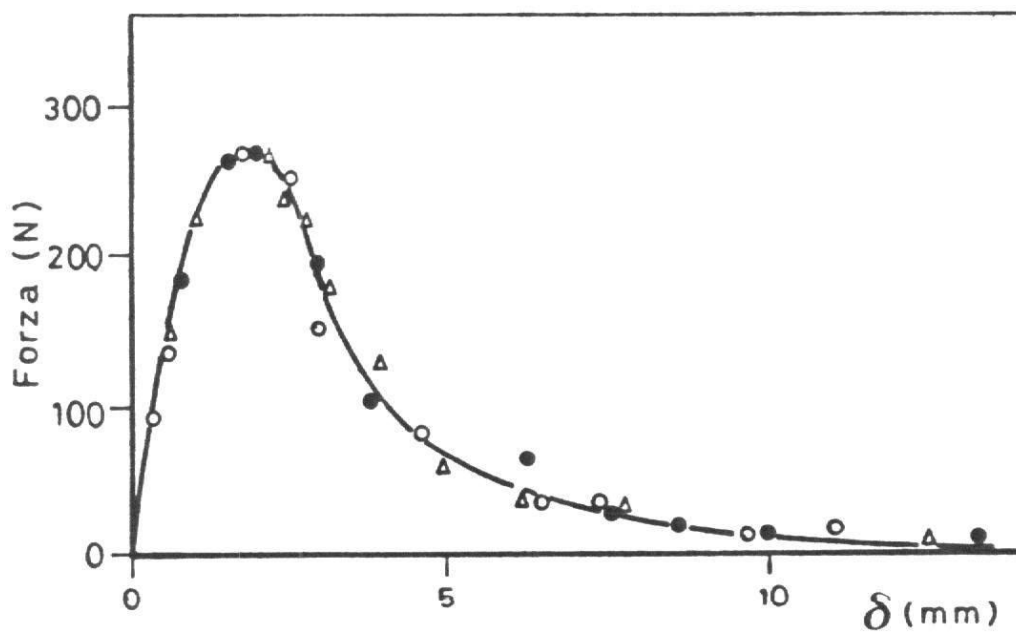


FIG. 7 - CURVE NORMALIZZATE - CAMPIONE D

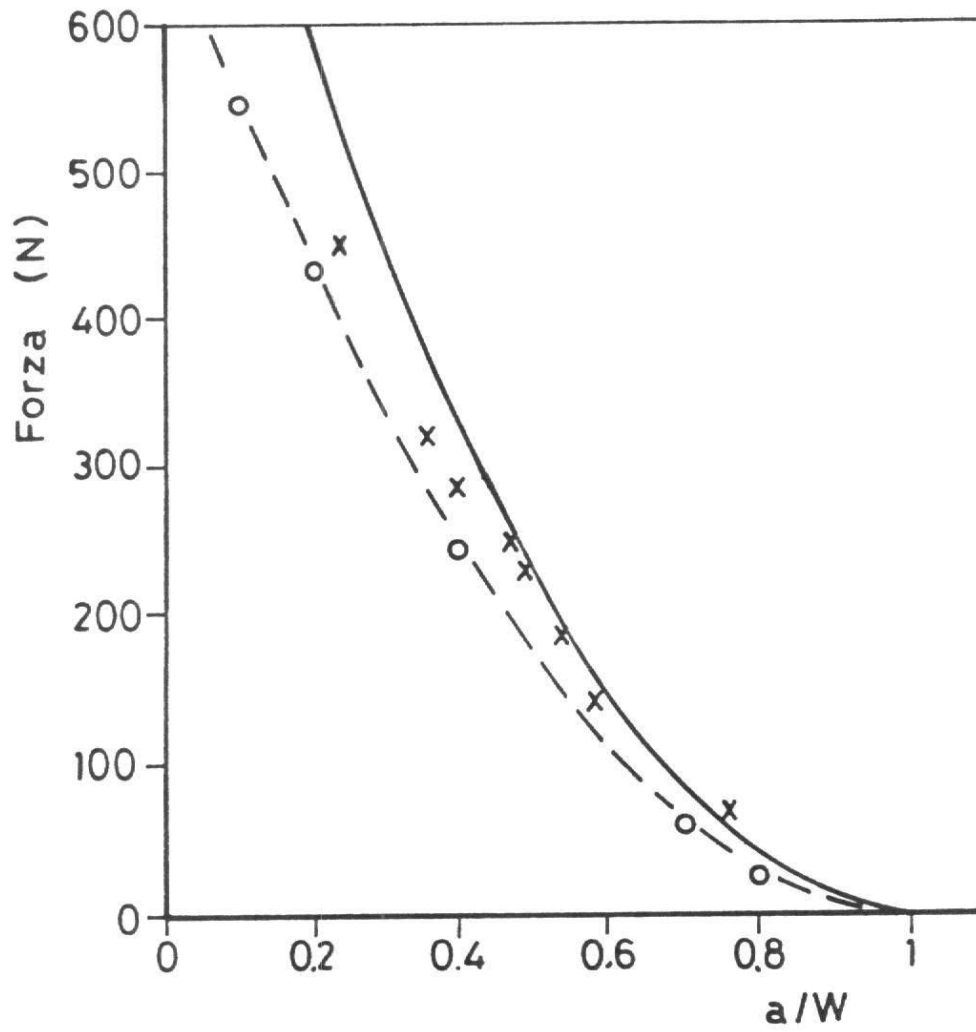


FIG. 8 - DECADIMENTO DEL CARICO MASSIMO IN FUNZIONE DI a/W . CAMPIONE A

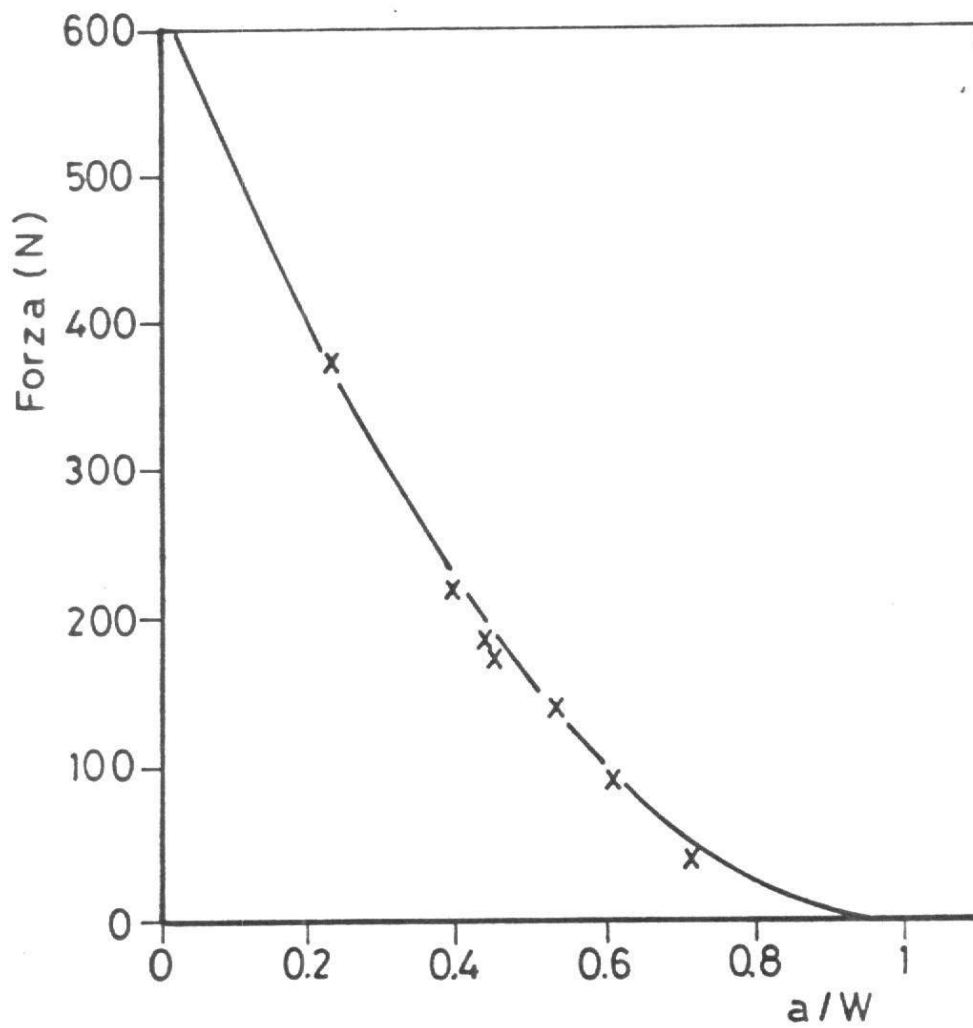


FIG. 0 - DECADIMENTO DEL CARICO MASSIMO IN FUNZIONE DI a/W . CAMPIONE B.

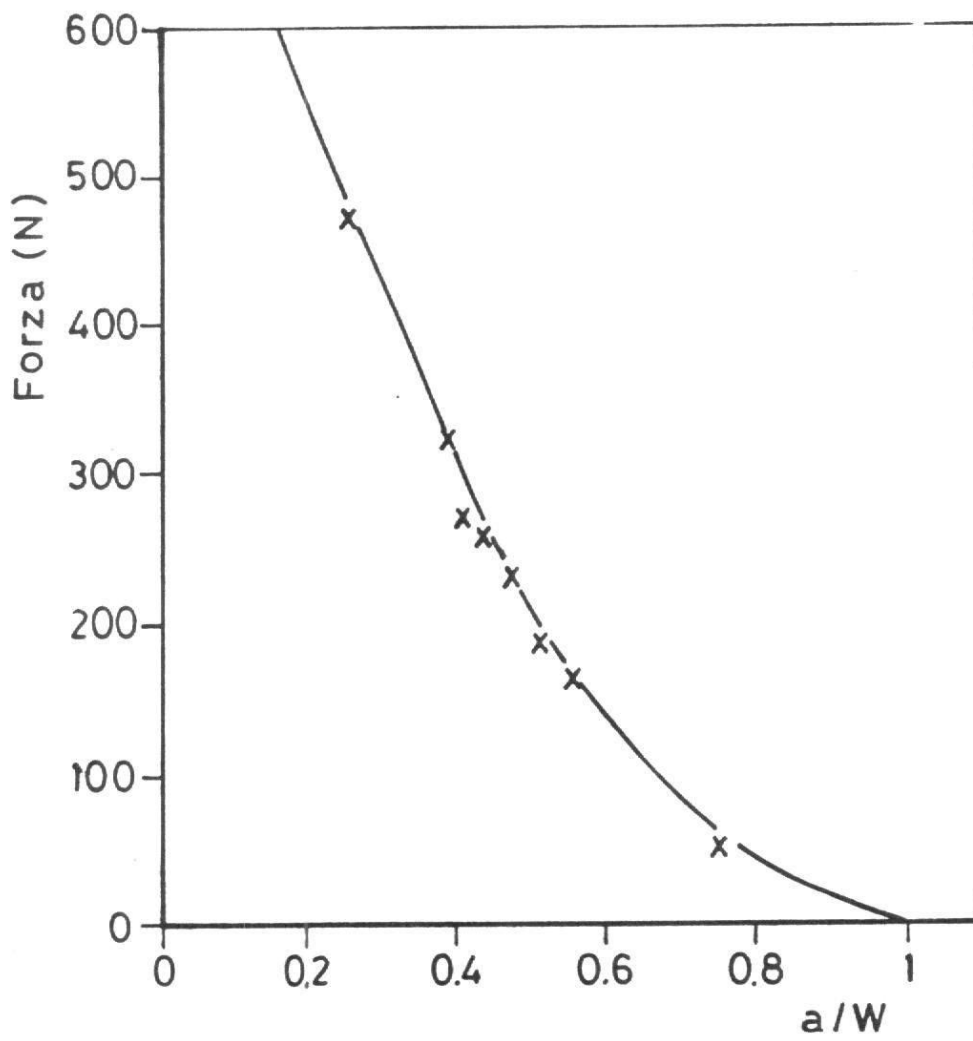


FIG. 10 - DECADIMENTO DEL CARICO MASSIMO IN FUNZIONE DI a/W . CAMPIONE C

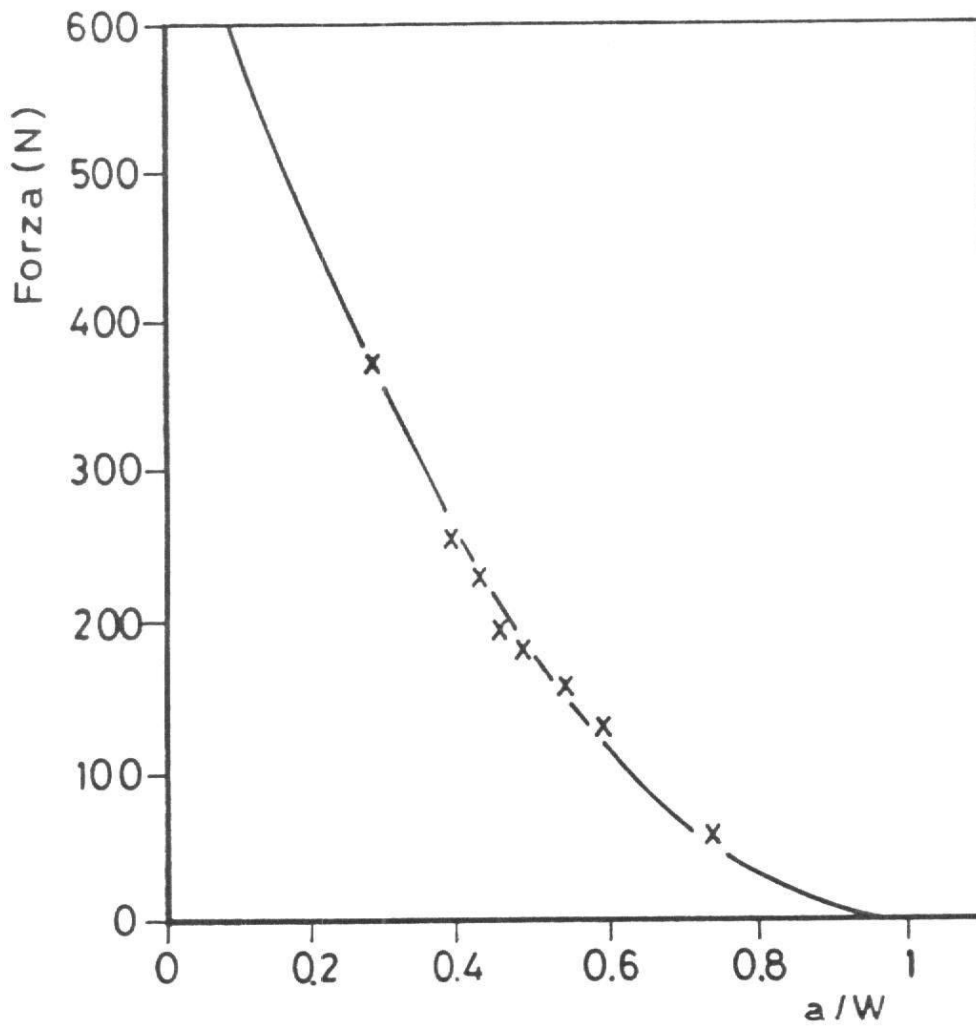


FIG. 11 - DECADIMENTO DEL CARICO MASSIMO IN FUNZIONE DI a/W . CAMPIONE D.

FIG. 12

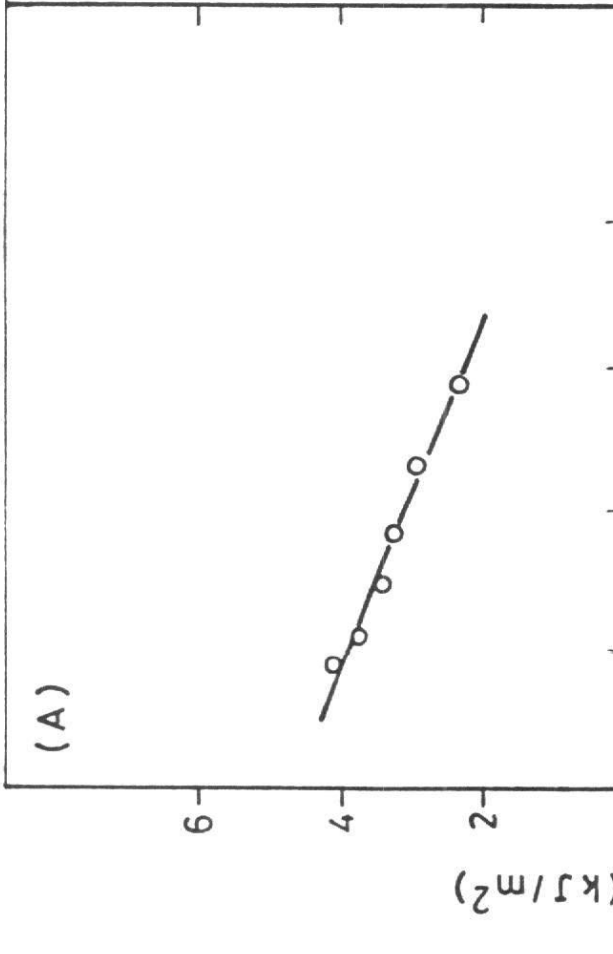


FIG. 13

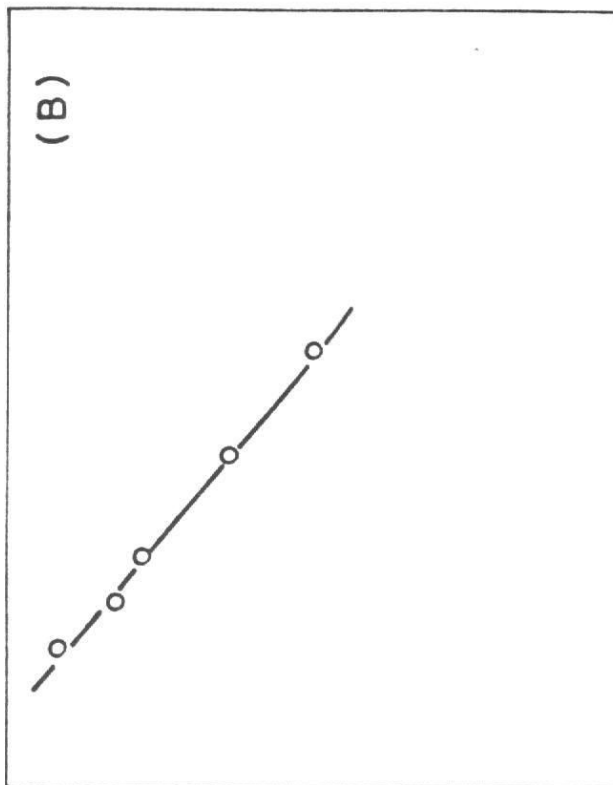


FIG. 14

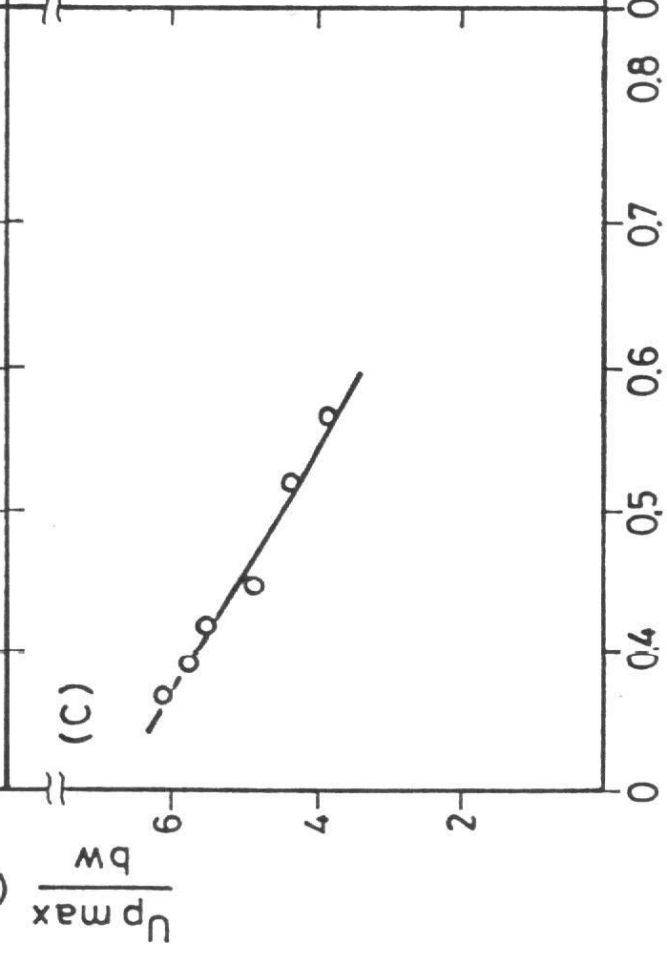
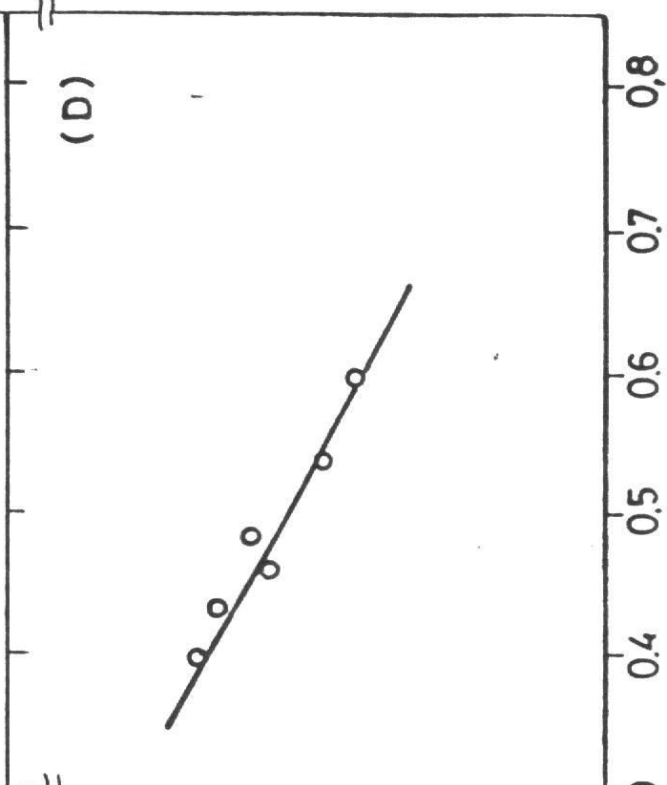
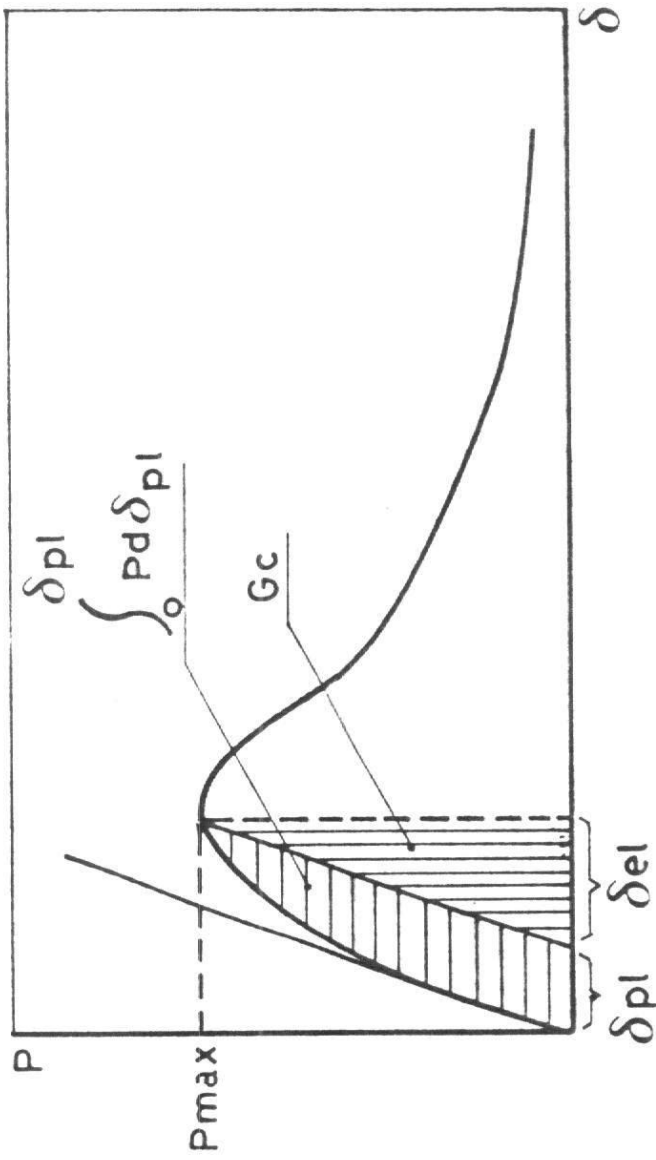


FIG. 15





- FIG. 16 -

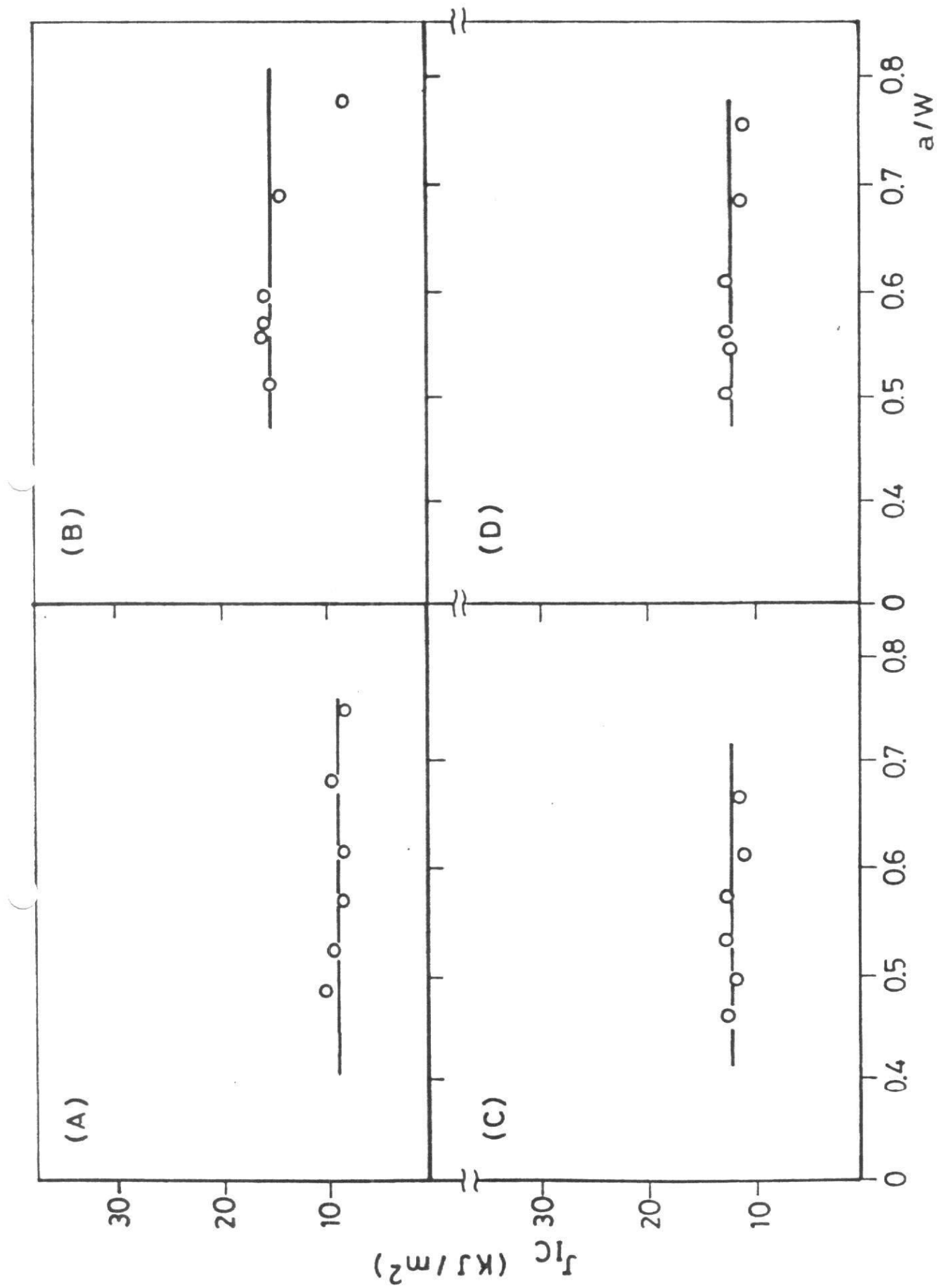


FIG. 17 - J_{IC} VALUTATO CON IL METODO DI ERNST

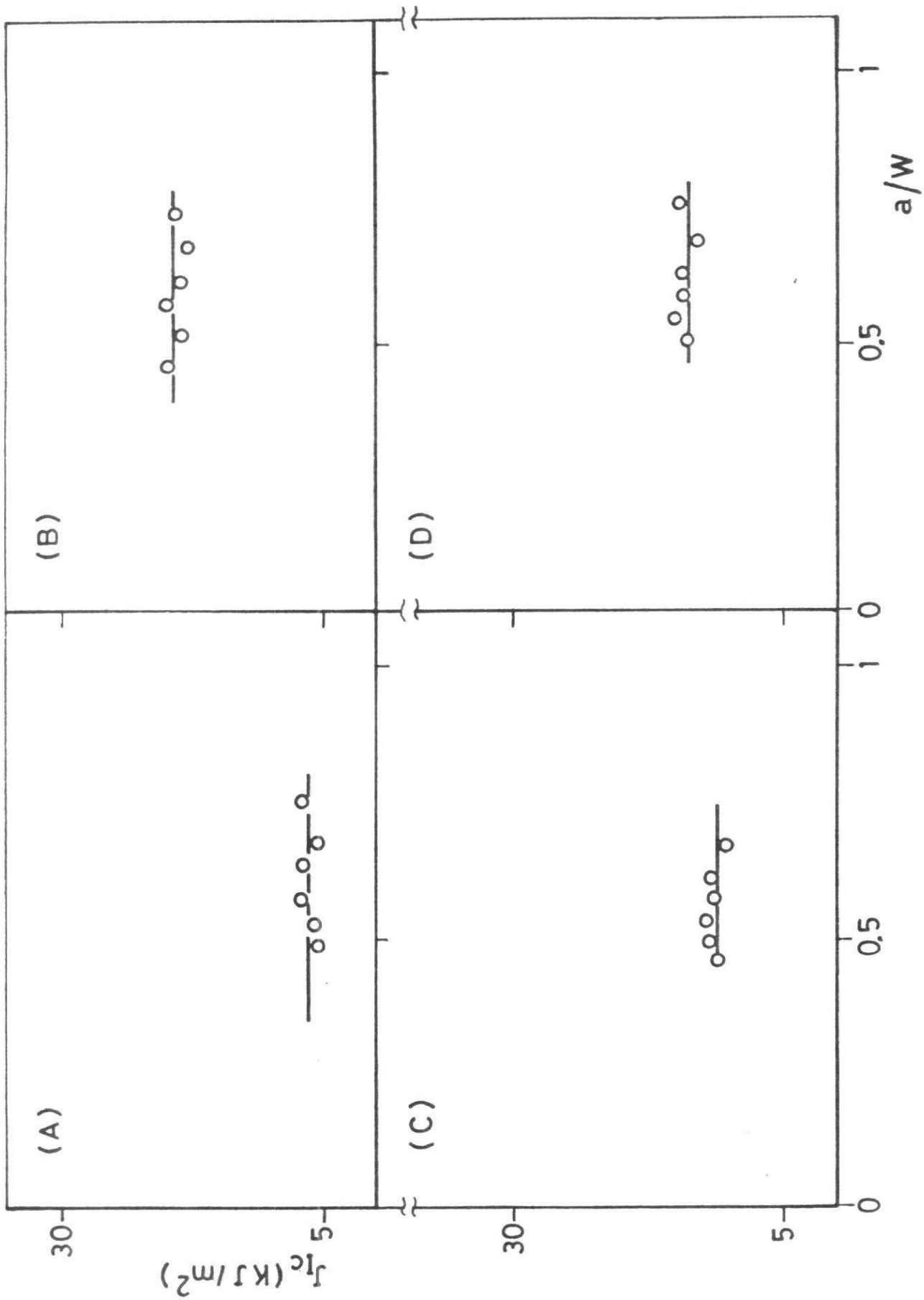


FIG. 18 - J_{1c} VALUTATO CON IL METODO DI RICE

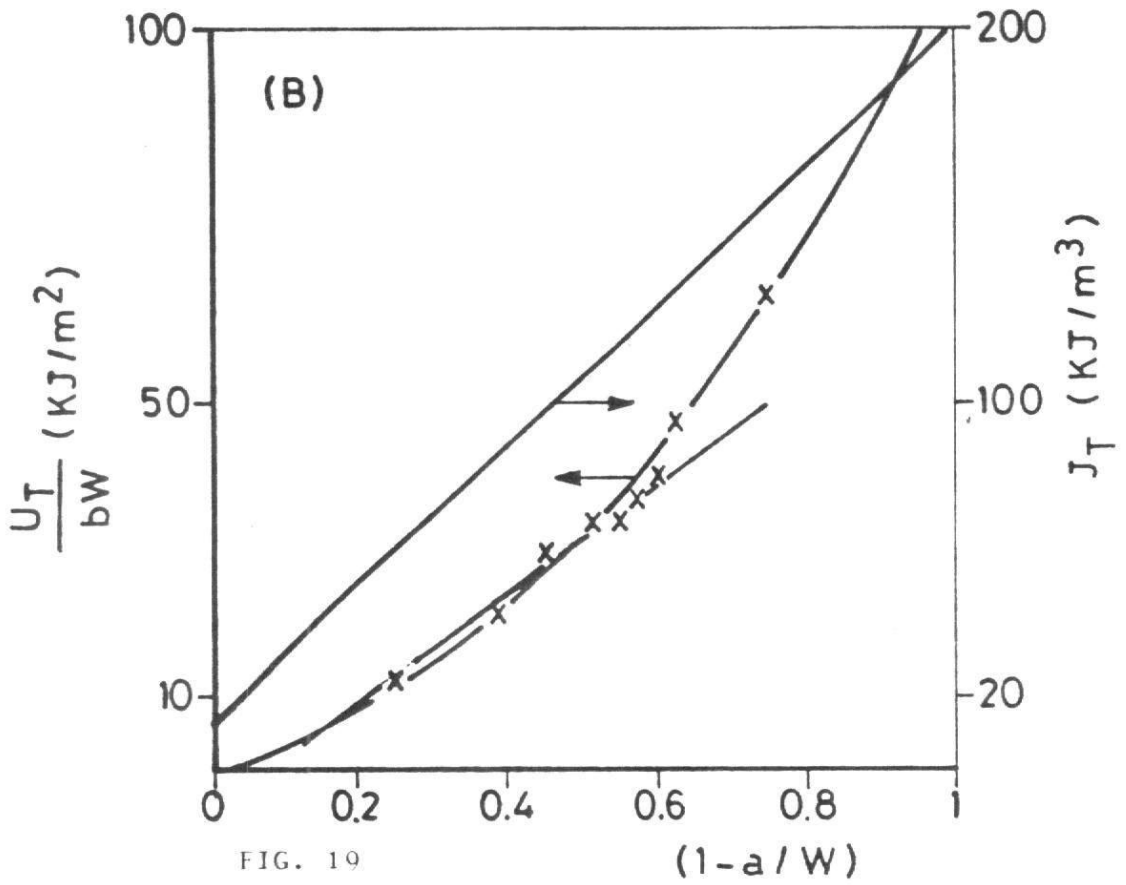


FIG. 19

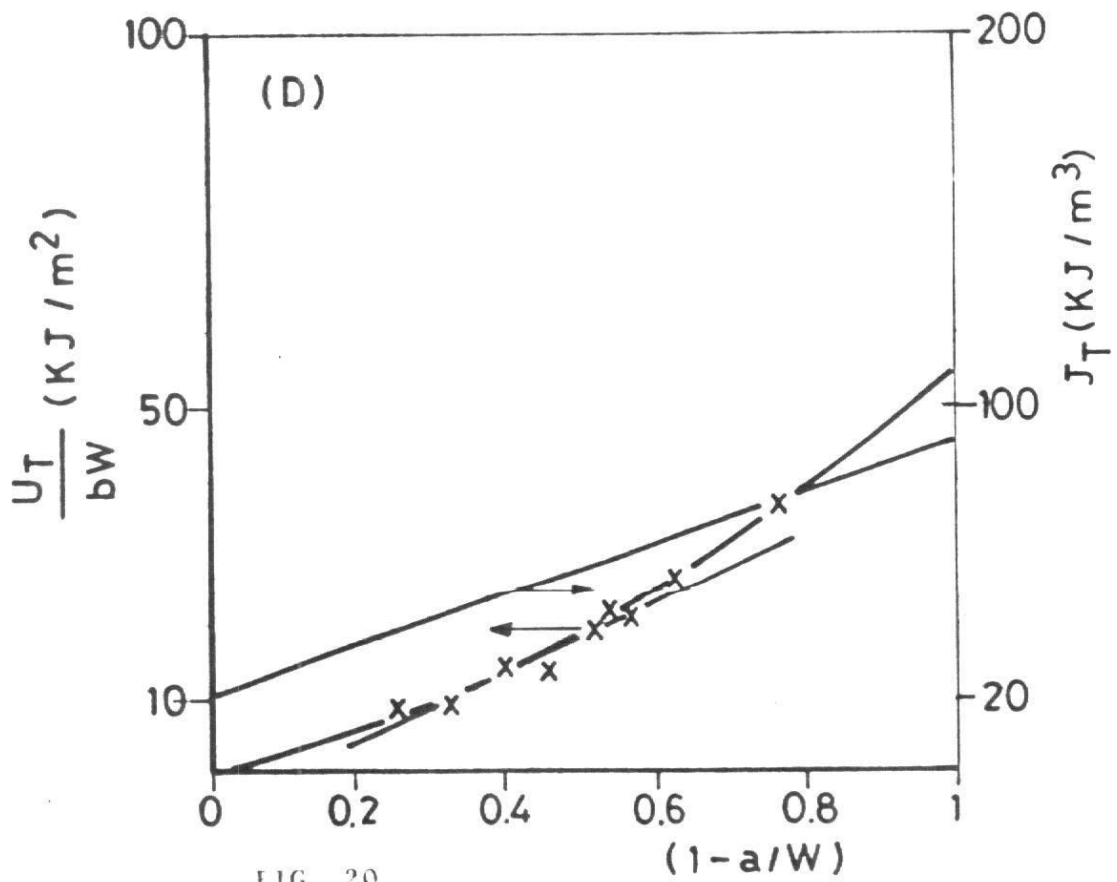


FIG. 20

ENERGIA TOTALE IN FUNZIONE DEL LEGAME