

INTERAZIONE TRA PROCESSI DI FATICA E DI CREEP NELLA FRATTURA DI COMPOSITI A FIBRA CORTA IN CONDIZIONI DI CARICO CICLICO

Alessandro Pegoretti e Theonis Riccò

Dipartimento di Ingegneria dei Materiali, Università degli Studi di Trento,
Via Mesiano 77, 38050 Trento
e-mail Alessandro.Pegoretti@ing.unitn.it, Theonis.Riccò@ing.unitn.it

Sommario

Nel presente lavoro si è studiato il ruolo dei processi di fatica e di creep nella propagazione della frattura in compositi costituiti da una matrice polimerica di polipropilene rinforzata con fibre di vetro corte, in condizioni di carico ciclico. In particolare, risultati di prove di propagazione della frattura a carico costante (creep) condotte a diverse temperature si sono dimostrate estremamente utili per interpretare dati di propagazione della frattura in condizioni di carico ciclico a diverse frequenze. L'analisi dei risultati ha messo in evidenza che nei materiali studiati, sottoposti a carico ciclico per valori non nulli del carico medio, la crescita della cricca a basse frequenze (0.1 e 1 Hz) è praticamente dovuta solo ad un processo di frattura per creep, caratterizzato da un aumento della temperatura localizzato all'apice della cricca. In tali condizioni il processo può essere considerato equivalente ad una frattura per creep in condizioni non isoterme, in cui la temperatura sia però uniformemente distribuita all'interno del campione. A frequenze più elevate (10 Hz) il carattere non isotermo della propagazione della frattura risulta essere più pronunciato e la velocità di crescita della cricca risulta determinata, in misura confrontabile, sia da un contributo di pura fatica che da un contributo di creep.

Abstract

In the present work the role of fatigue and non-isothermal viscoelastic creep in the crack propagation within polypropylene/short glass fibre composites under cyclic loading at non-zero mean load was investigated. Experiments of isothermal creep crack propagation at different temperatures were carried out. The results obtained confirm that in polypropylene/short glass fibre composites, under dynamic loading, crack growth at low frequencies (0.1 and 1 Hz) is practically due only to a creep process characterised by temperature increasing, localized at the crack tip. This process can be considered equivalent to a non-isothermal creep crack growth with a uniform temperature distribution within the sample and allows to evaluate the evolution of temperature in such equivalent process. At higher frequency (10 Hz), the non-isothermal character of crack growth and the contribution of fatigue appear more pronounced.

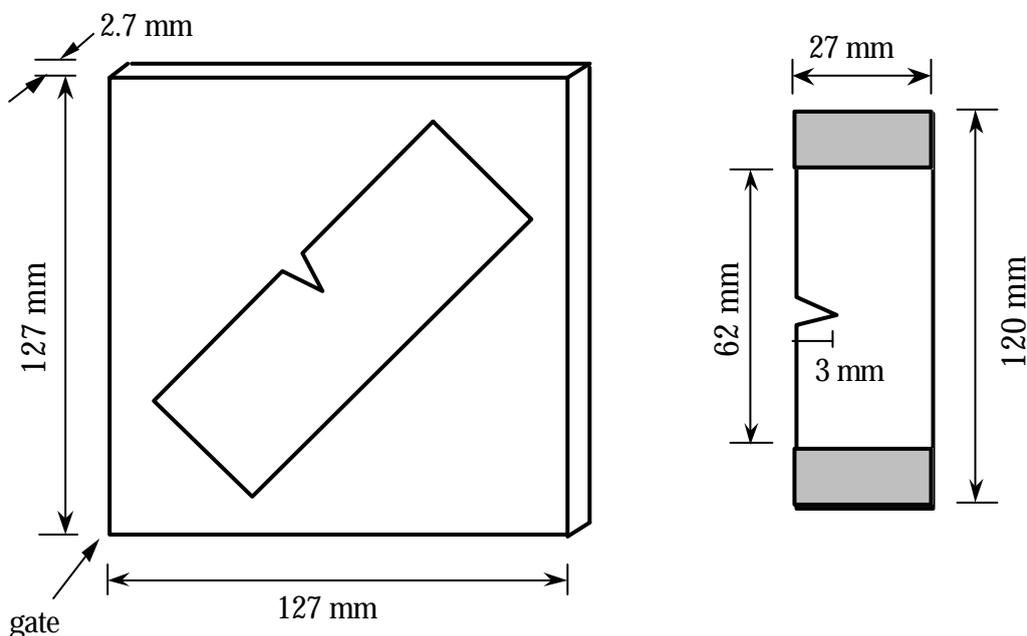
1. Introduzione

Nei polimeri per applicazioni ingegneristiche la propagazione di cricca in condizioni di fatica ciclica a carico medio non nullo presenta una componente di propagazione per creep viscoelastico che, a seconda del materiale, può essere molto rilevante anche a temperatura ambiente [1]. In un recente lavoro [2] la propagazione di cricca per fatica è stata misurata nel polipropilene rinforzato con varie percentuali di fibre di vetro corte in condizioni di carico ciclico a varie frequenze. A parità di ΔK applicato la velocità di propagazione della cricca è risultata fortemente dipendente dalla frequenza della sollecitazione applicata, con valori decrescenti all'aumentare della frequenza stessa. L'analisi dei dati ottenuti secondo l'approccio proposto da Wyzgoski *et al.* [3] ha messo in evidenza come la propagazione di cricca avvenga prevalentemente per creep viscoelastico all'apice della cricca, soprattutto alle basse frequenze di sollecitazione. Tuttavia, durante la propagazione per fatica, la dissipazione di energia legata ai carichi dinamici causa un'aumento di temperatura all'apice della cricca. Sebbene l'entità di tale aumento di temperatura sia difficilmente misurabile sperimentalmente, il carattere non-isotermo della propagazione è stato evidenziato mediante analisi termografica [2].

Nel presente lavoro si è studiato il ruolo dei processi di fatica e di creep nella propagazione della frattura in compositi costituiti da una matrice polimerica di polipropilene rinforzata con 10% in peso di fibre di vetro corte, in condizioni di carico ciclico. In particolare, risultati di prove di propagazione della frattura a carico costante (creep) condotte a diverse temperature si sono dimostrate estremamente utili per interpretare dati di propagazione della frattura in condizioni di carico ciclico a diverse frequenze.

2. Parte sperimentale

Lastrine di polipropilene rinforzato con 10 % in peso (3.9% in volume) di fibre di vetro corte ottenute per stampaggio ad iniezione sono state gentilmente fornite dalla Montell SpA (Ferrara, Italia). Da tali lastrine, le cui dimensioni sono riportate in Figura 1, sono stati ricavati dei campioni tipo Single Edge Notched Tension (SENT) avendo cura di posizionare l'asse maggiore del campione parallelamente alla direzione di iniezione del materiale. Le dimensioni dei campioni SENT utilizzati sia per le prove di fatica che per le prove di creep sono riportate nella Figura 1. La cricca iniziale, di lunghezza 3 mm, è stata ottenuta mediante lavorazione meccanica con una lama affilata.



Le prove di propagazione di cricca per fatica (FCP tests) sono state condotte a temperatura ambiente con una macchina servoidraulica MTS Mini Bionix, in controllo di carico. Le prove sono state condotte utilizzando un carico medio costante pari a 1200 N, con rapporto carico minimo su carico massimo di 0,4, alle frequenze di 0,1, 1, 10 Hz.

Le prove di propagazione di cricca per creep (CCP tests) a carico costante di 1200 N e varie temperature (da 32 a 60 °C) sono state effettuate con una macchina Instron mod. 4502 dotata di camera termostatica Instron mod. 3119.

Sia nelle prove FCP che in quelle CCP la propagazione della cricca durante l'esperimento è stata monitorata mediante una telecamera collegata ad un videoregistratore, ed un sistema di analisi d'immagine.

La temperatura sulla superficie del campione in corrispondenza dell'apice della cricca durante le prove FCP è stata misurata mediante una termocamera a raggi infrarossi (Hughes thermal video system TVS-300 Series) gentilmente fornita dalla Montell SpA.

3. Risultati e discussione

I dati relativi alla velocità di propagazione per ciclo in funzione del ΔK applicato (diagramma di Paris) sono riportati in Figura 2 per varie frequenze di sollecitazione. È importante osservare che la tradizionale regione di accelerazione stabile della cricca sia preceduta da una fase di decelerazione, imputabile a fenomeni di arrotondamento (blunting) dell'apice della cricca inizialmente acuta [2, 4, 5].

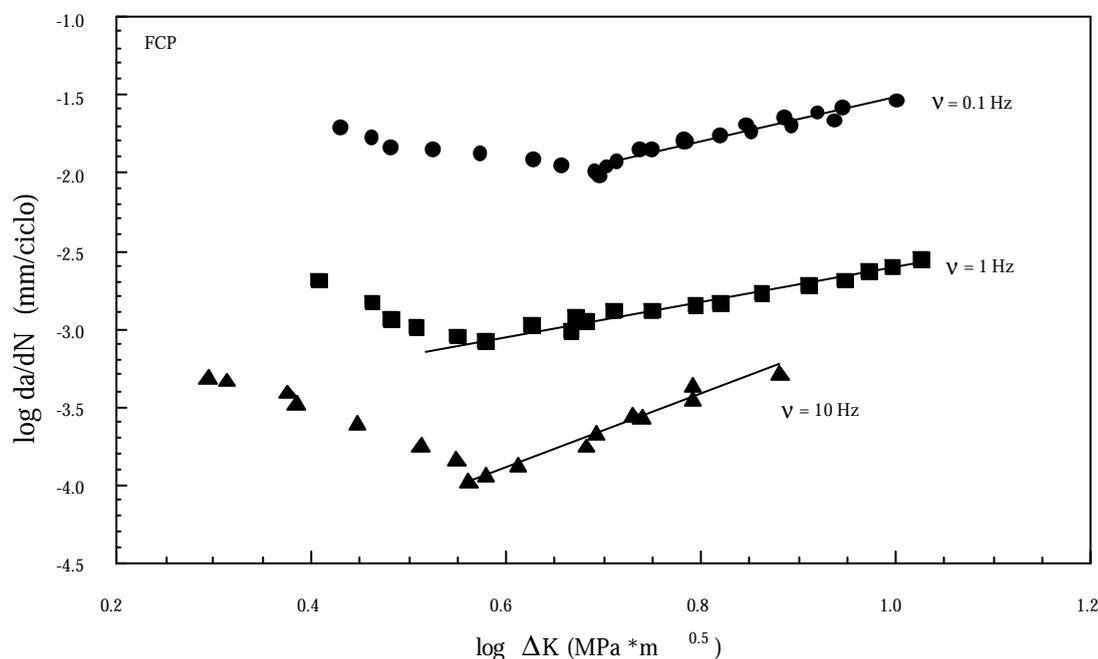


Figura 2. Velocità di propagazione di cricca per ciclo a fatica a varie frequenze in funzione del

ΔK applicato (diagramma di Paris).

Hertzberg *et al.* [1] per primi realizzarono che durante la propagazione per fatica la velocità totale per ciclo di avanzamento della cricca, $\left(\frac{da}{dN}\right)_{\text{totale}}$, può essere considerata come la

somma di una componente di pura fatica, $\left(\frac{da}{dN}\right)_{\text{fatica}}$, ed una di solo creep $\left(\frac{da}{dN}\right)_{\text{creep}}$, ossia:

$$\left(\frac{da}{dN}\right)_{\text{totale}} = \left(\frac{da}{dN}\right)_{\text{fatica}} + \left(\frac{da}{dN}\right)_{\text{creep}} \quad (1)$$

In tempi più recenti, Wyzgoski *et al.* [3] proposero di riarrangiare l'equazione (1) come segue:

$$\left(\frac{da}{dN}\right)_{\text{totale}} = \left(\frac{da}{dN}\right)_{\text{fatica}} + \left(\frac{da}{dt}\right)_{\text{creep}} \frac{dt}{dN} \quad (2)$$

dove dt/dN è il periodo, P , ossia l'inverso della frequenza ($P = 1/v$). Dai dati sperimentali riportati in Figura 2 è quindi possibile, per vari valori di ΔK nel range di accelerazione stabile, valutare $\left(\frac{da}{dN}\right)_{\text{totale}}$ in funzione di $1/v$ ottenendo il grafico di Figura 3.

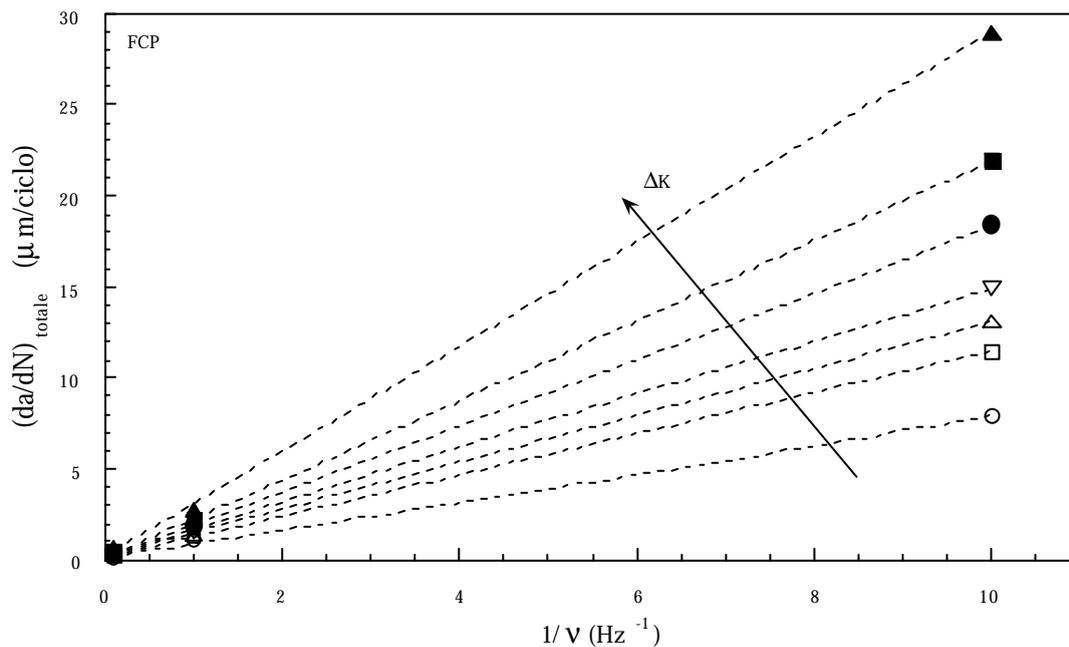


Figura 3. Velocità per ciclo di propagazione di cricca a fatica a vari livelli di

ΔK in funzione del periodo di oscillazione del carico.

La pendenza delle varie rette a ΔK costante rappresenta, secondo l'equazione (2) la componente di creep della velocità totale di propagazione per ciclo, mentre la componente di fatica è rappresentata dall'intercetta delle rette con l'asse delle ordinate. A questo punto, come riportato in Figura 4, possiamo rappresentare la componente di pura fatica in funzione del ΔK applicato ed ottenere un diagramma di Paris relativo alla sola componente di fatica della velocità di propagazione.

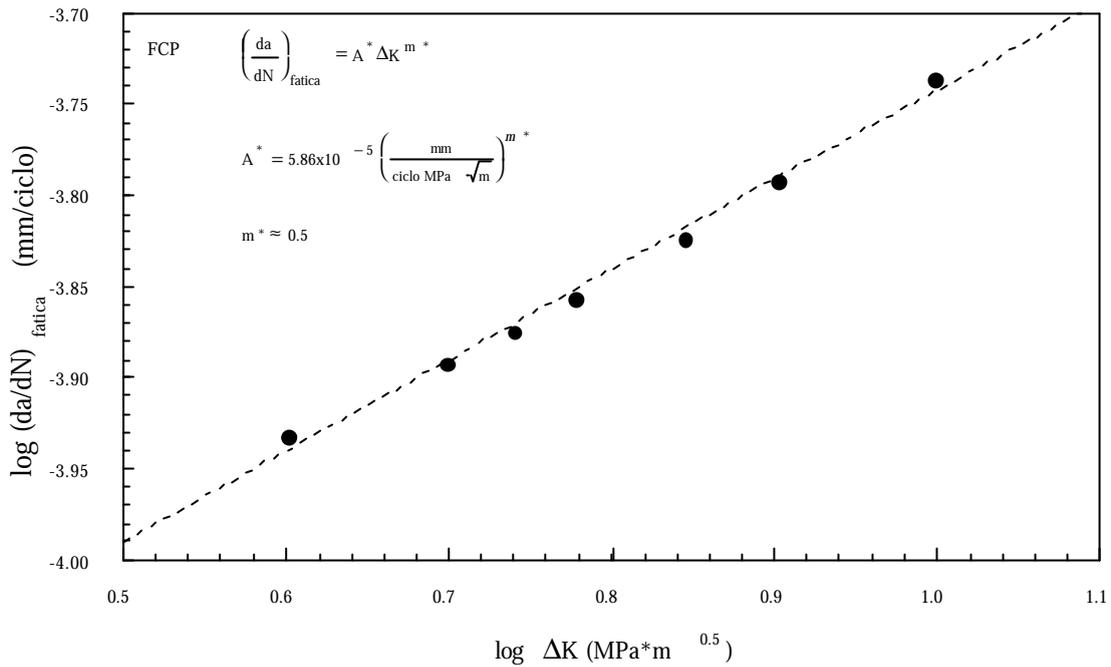


Figure 4. Diagramma di Paris della componente di pura fatica stimata secondo il metodo di Wyzgoski et al.

Confrontando i dati riportati nelle Figure 2 e 4 risulta evidente che la componente di pura fatica è quasi trascurabile alle frequenze di 0.1 ed 1 Hz, mentre diventa preponderante alla frequenza più elevata (10 Hz). A causa del riscaldamento per isteresi la propagazione della cricca per fatica avviene in condizioni non-isoterme come evidenziato in Figura 5 dove sono riportati i risultati delle misure termografiche: l'aumento di temperatura all'apice della cricca ha un'evoluzione simile alle frequenze di 0.1 e 1 Hz mentre risulta più accentuato a 10 Hz.

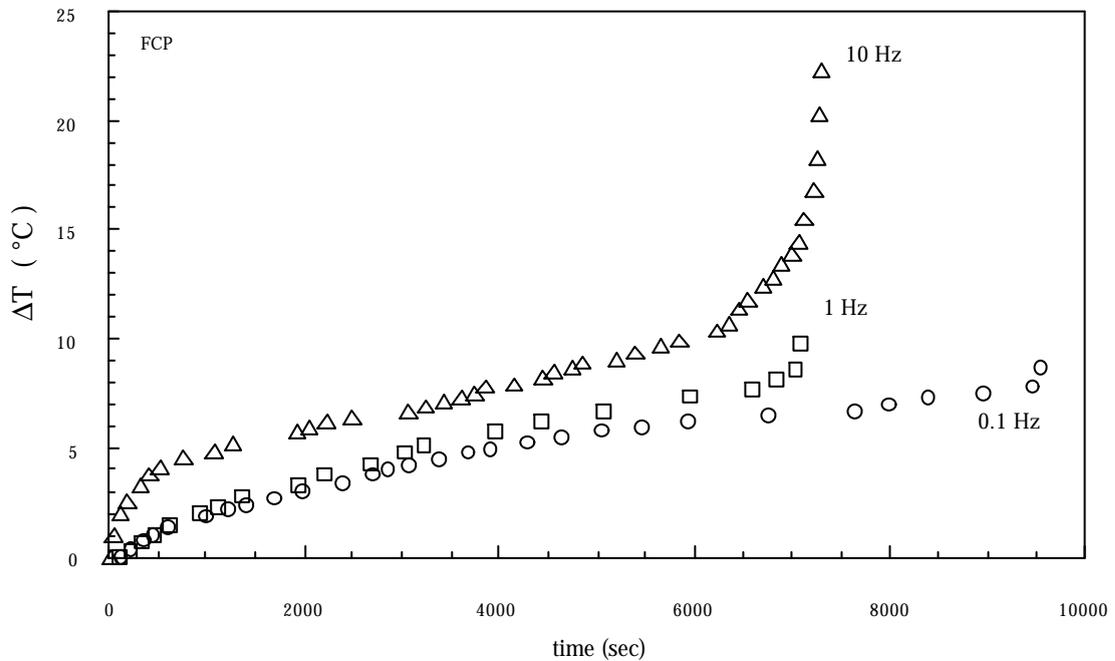


Figure 5. Aumento di temperatura all'apice della cricca durante la propagazione per fatica a varie frequenze.

I dati sperimentali delle prove di propagazione di cricca per creep sono riportati in Figura 6.

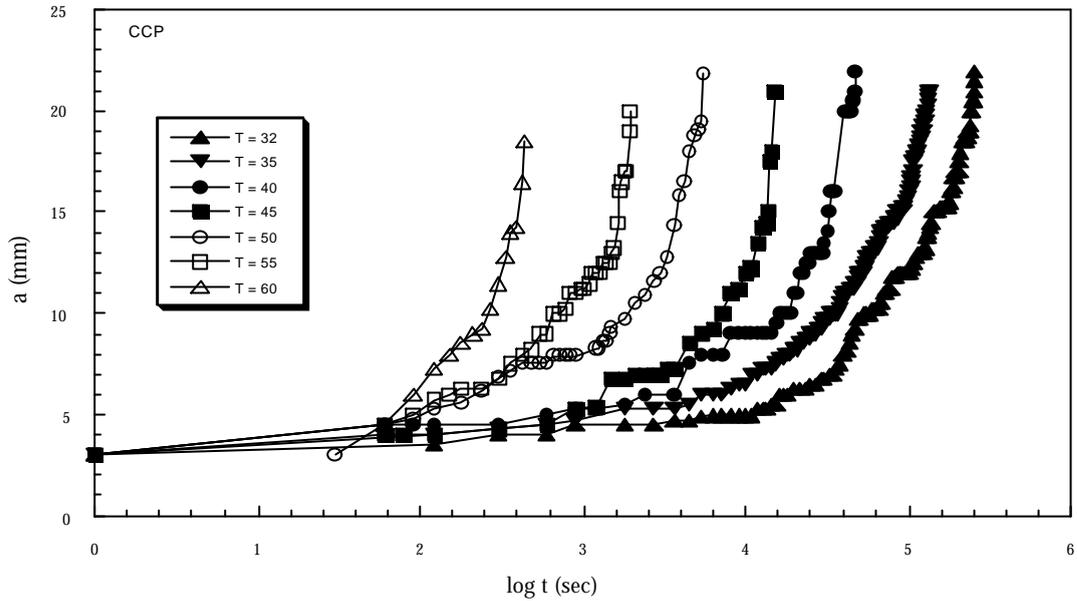


Figure 6. Lunghezza di cricca in funzione del tempo durante prove di creep a varie temperature.

Conoscendo l'evoluzione della cricca nel tempo è possibile valutare la velocità di propagazione della stessa nel tempo che, per le varie temperature di prova ha l'andamento riportato in Figura 7.

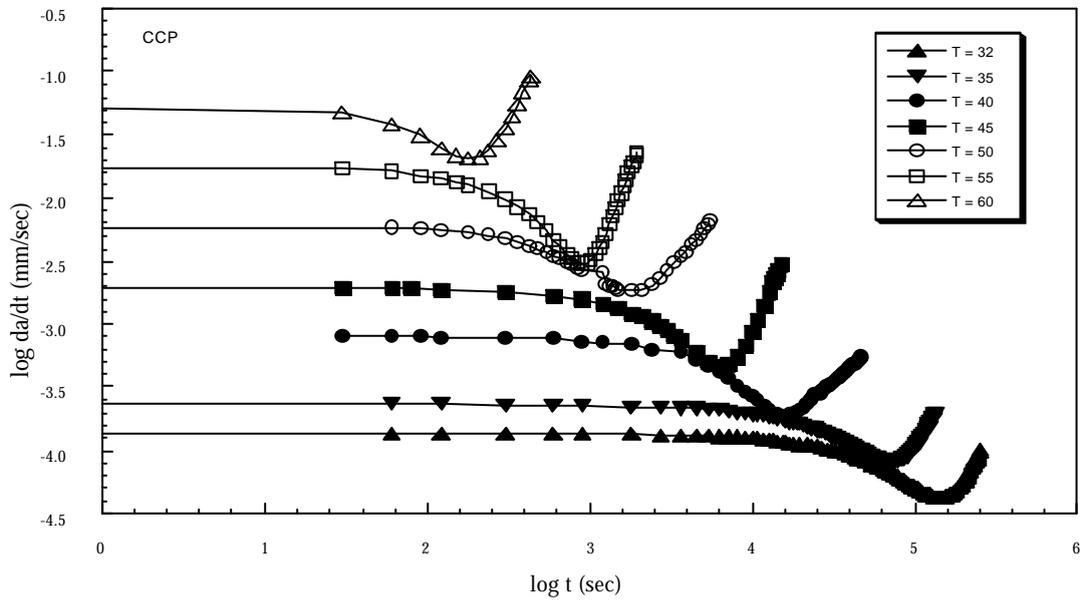


Figure 7. Velocità di propagazione della cricca in funzione del tempo durante prove di creep a varie temperature.

Come si può notare durante l'esperimento di creep la cricca ha un'evoluzione, in termini di velocità di propagazione, molto simile a quanto osservato durante le prove a fatica (Figura 2) con una fase di decelerazione seguita da una regione di accelerazione stabile. Considerando la sola regione di accelerazione stabile i dati di propagazione per fatica (FCP) e per creep possono essere confrontati come riportato in Figura 8.

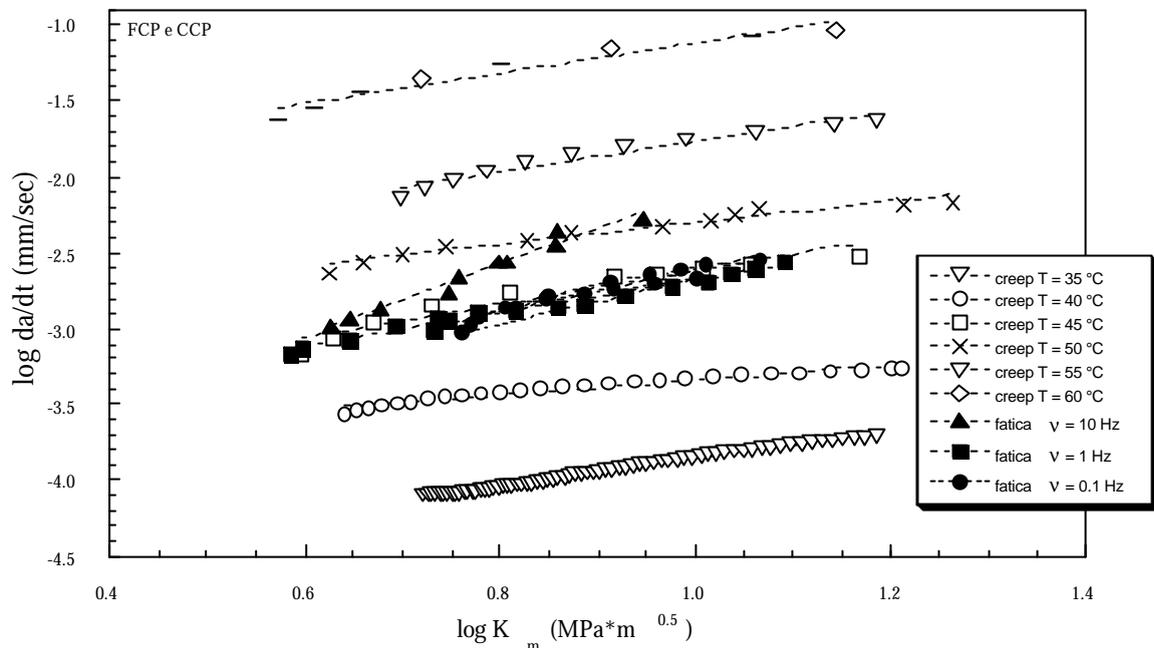


Figure 8. Velocità di propagazione di cricca per fatica e per creep in funzione del valore medio di K applicato.

E' interessante osservare come la propagazione per fatica della cricca in condizioni non-isoterme alle frequenze 0.1 ed 1 Hz sia equivalente ad un processo di propagazione per creep viscoelastico quasi-isotermo alla temperatura di circa 45 °C. Alla frequenza di sollecitazione più elevata la propagazione per fatica risulta equivalente ad un processo di propagazione per creep non isotermo a temperatura variabile fra 45 e circa 50 °C.

4. Conclusioni

Nel presente lavoro è stata studiata la propagazione di cricca sotto carico ciclico (fatica) a varie frequenze di sollecitazione, e costante (creep) in compositi a base di polipropilene rinforzato con fibre di vetro corte. Dall'analisi dei dati delle prove di fatica è emerso che in condizioni di carico ciclico per valori non nulli del carico medio, la crescita della cricca a basse frequenze (0.1 e 1 Hz) è praticamente dovuta solo ad un processo di frattura per creep, caratterizzato da un aumento della temperatura localizzato all'apice della cricca. In tali condizioni il processo può essere considerato equivalente ad una frattura per creep in condizioni quasi-isoterme, in cui la temperatura sia però uniformemente distribuita all'interno del campione. A frequenze più elevate (10 Hz) il carattere non isotermo della propagazione della frattura risulta essere più pronunciato e la velocità di crescita della cricca risulta determinata, in misura confrontabile, sia da un contributo di pura fatica che da un contributo di creep.

Bibliografia

- [1] Hertzberg RW., Manson JA., Skibo M.D., “*Frequency sensitivity of fatigue processes in polymeric solids*”, Polymer Engineering and Science, **15**, 252-260, **1975**
- [2] Pegoretti A., Riccò T., “*Fatigue crack propagation in polypropylene reinforced with short glass fibre*”, Composites Science & Technology, **59**, 1055-1062, **1999**
- [3] Wyzgoski MG., Novak GE., and Simon DL., “*Fatigue fracture of nylon polymers. Part 1 Effect of frequency,*” Journal of Material Science, **25**, 4501-4510, **1990**
- [4] Karger-Kocsis J., “*Microstructural aspects of fracture in polypropylene and its filled, chopped fiber and fiber mat reinforced composites*”, In Polypropylene Structure, blends and composites. Volume 3 Composites, ed. J.Karger-Kocsis, Chapman & Hall, London, 142-201, **1995**
- [5] Karger-Kocsis J., Friedrich K., Bailey RS., “*Fatigue and failure behaviour of short and long glass fiber reinforced injection-molded polypropylene*”, Science and Engineering of Composite Materials, **2**, 49-67, **1990**