

12. Influenza delle condizioni ambientali

12.1. Generalità

Le proprietà meccaniche ed il comportamento dei materiali compositi sono in genere fortemente influenzate dalle condizioni ambientali di esercizio quali temperatura, umidità, presenza di agenti corrosivi, vapore, acqua ecc. La presenza di tali fattori produce infatti in genere un decadimento delle proprietà di fibre e matrice e/o della mutua adesione cosicché ne risulta in genere un decadimento oltre che della resistenza anche della rigidezza del materiale che sovente è il principale motivo di fuori servizio. Si esaminano nel seguito i vari effetti.

12.2. Resistenza delle fibre

La resistenza delle fibre usualmente utilizzate nei compositi è significativamente influenzata da fattori ambientali quali temperatura, umidità ed agenti corrosivi. In particolare per le fibre di vetro si verifica in atmosfera normale una dipendenza della resistenza dal tempo di applicazione del carico. Sebbene tale materiale non presenta significativi effetti viscoelasticci, in presenza di umidità ecc si osserva la rottura del materiale sotto un carico costante dopo un certo tempo. Tale fenomeno è pressoché trascurabile in presenza di atmosfera inerte, mentre divien significativo in presenza di umidità o altri agenti corrosivi. Similmente a quanto si osserva nella resistenza a fatica dei materiali tradizionali, anche per i compositi si assiste ad una sorta di sinergismo tra fattori ambientali e stress: gli effetti dei fattori ambientali aumentano sensibilmente se essi sono presenti durante l'esercizio piuttosto che prima dello stesso. A titolo di esempio la figura seguente mostra il decadimento della resistenza a trazione di fibre di vetro al variare del tempo di applicazione del carico per diverse temperature di esercizio (a) e di fibre di boro in atmosfera inerte ed in aria a 500 °C.

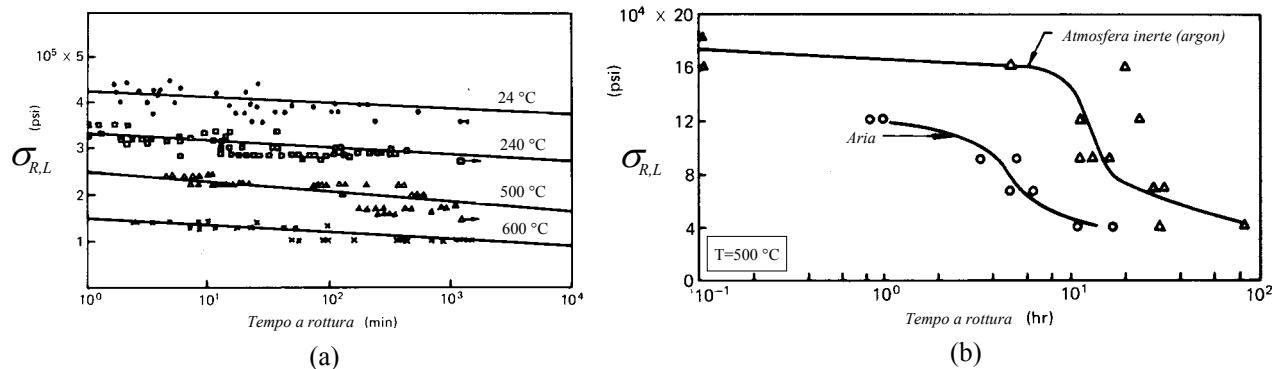


Fig.1 - Influenza del tempo di applicazione del carico sulla resistenza di fibre di vetro (a) e di boro (b).

Dalla fig.1 si osserva un decadimento continuo della resistenza delle fibre di vetro col tempo di applicazione del carico, mentre per le fibre di boro si assiste ad un rapido decadimento per durate intorno a 5-10 ore in aria ed intorno a 10-20 ore in atmosfera inerte (argon).

La risposta del composito ai fattori ambientali è comunque fortemente influenzata dal comportamento della matrice a dalle interazioni matrice-fibra.

I risultati riportati in fig.1 si riferiscono a prove eseguite su fibre isolate, mentre significativamente diverso può essere il comportamento dei compositi a causa delle limitate temperature sopportabili dalle matrici polimeriche (es. composito boro-epossidica che non può comunque sopportare temperature superiori a 150° circa) e dell'effetto di protezione operato dalla matrice.

Se i fattori ambientali influenzano solo la resistenza delle fibre si verifica in pratica un decadimento della resistenza del composito in direzione delle fibre mentre pressoché invariate rimangono le caratteristiche nelle altre direzioni.

12.3. Degrado della matrice

Come è noto, a temperatura superiore a quella ambiente le materie plastiche sono soggette ad un processo di degrado spesso associato anche a volatilizzazione (forma gassosa) di parte del materiale che porta ad una diminuzione del peso specifico ed ad un abbassamento delle caratteristiche meccaniche del materiale. In generale tali processi di degrado si verificano con evidenza a temperature superiori ai 150-200 °C e sono caratterizzati da perdite in peso con andamenti nel tempo come quello mostrato in fig.2 per un composito fibra di vetro-resina fenolica.

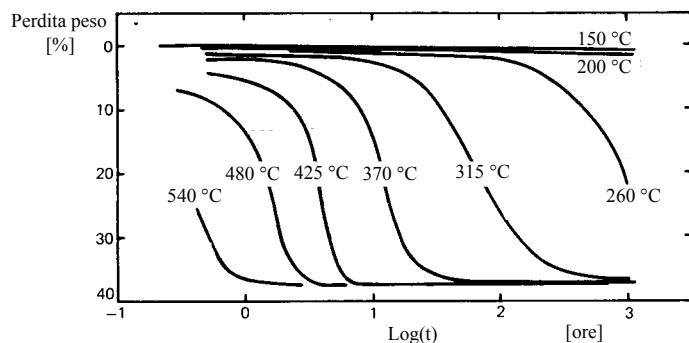


Fig.2 - Decomposizione della matrice fenolica in composito in fibra di vetro.

Si osserva che le curve di decomposizione alle varie temperature sono in pratica sovrapponibili con una traslazione, pari a $\log a_D$, lungo l'asse delle ascisse (tempi). Si dimostra in particolare che la costante a_D è legata alla energia di attivazione ΔH del processo ed alla costante R dei gas dalla relazione:

$$\log a_D = -\frac{\Delta H}{2.3R} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_o} \right) \quad (1)$$

Nei casi in cui l'energia di attivazione del processo ΔH può essere stimata analiticamente o valutata attraverso esperimenti indipendenti, la (1) permette di valutare la curva del degrado del materiale alla generica temperatura T di esercizio a partire dalla conoscenza di una singola curva degrado determinata sperimentalmente alla temperatura di prova T_o .

Al degrado termico (volatilizzazione) del materiale è associata una riduzione della resistenza e dello stesso modulo di Young, come mostrato per esempio nella seguente fig.3 per lo stesso composito fibra di vetro-resina fenolica di cui alla figura precedente

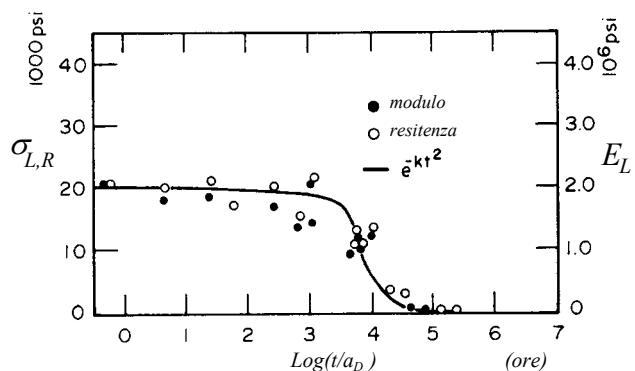


Fig.3 - Decadimento della resistenza a trazione longitudinale e della rigidezza di composito *glass-phenolic*.

Dalla fig.3 si osserva come per qualunque temperatura di esercizio il decadimento di resistenza e rigidezza è bene approssimato da una legge esponenziale (decadimento esponenziale) del tipo:

$$y = \exp(-kt^2) \quad (2)$$

essendo k una costante che segue con buona approssimazione dalla legge di Arrhenius:

$$k = A \exp\left(-\frac{\Delta H}{RT}\right) \quad (3)$$

L'andamento del decadimento di resistenza e rigidezza nel tempo è comunque del tutto simile a quello osservato in fig.1 per la perdita di peso. In particolare la costante di shift $\log a_D$ relativa al deterioramento (perdita di peso) risulta praticamente la stessa di quella che interviene nelle curve che forniscono la perdita di resistenza e di rigidezza. La (1) quindi può essere vantaggiosamente utilizzata anche per ottenere le curve di decadimento di resistenza e rigidezza del materiale alla generica temperatura T note che siano quelle alla temperatura di prova T_o .

Ovviamente il degrado dei compositi a matrice polimerica varia con la direzione, variando con questa il contributo alla resistenza dato da fibre e matrice. Per questo, almeno a temperature non molto superiori alla temperatura ambiente, il decadimento della resistenza dei compositi in direzione delle fibre risulta relativamente modesto (vedi fig.4a) mentre relativamente più elevato (con notevole sparpagliamento dei risultati) è il decadimento in direzione trasversale.

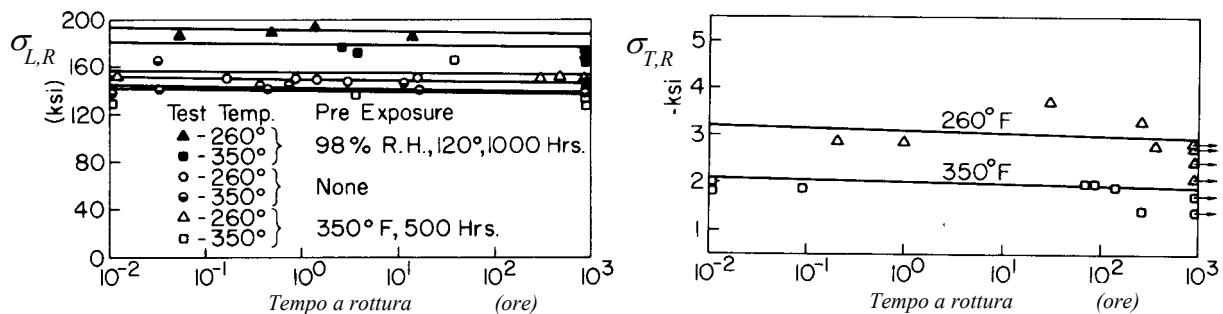


Fig.4 - Decadimento di resistenza a trazione longitudinale (a) e trasversale (b) in composito graphite-epoxy.

Il degrado del materiale alle elevate temperature ovviamente limita la massima temperatura alla quale un materiale composito a matrice polimerica può essere utilizzato almeno per tempi non brevi. Il campo di temperature superiori ai 400° F (>200 °C) è infatti quello praticamente riservato ai compositi a matrice metallica.

A differenza di quanto accade per i compositi in fibra di vetro il decadimento dei compositi in fibra di boro risulta invece, a temperatura ambiente, limitato a pochi punti percentuali indipendentemente dalla direzione di applicazione del carico (vedi per esempio fig.5a,b)

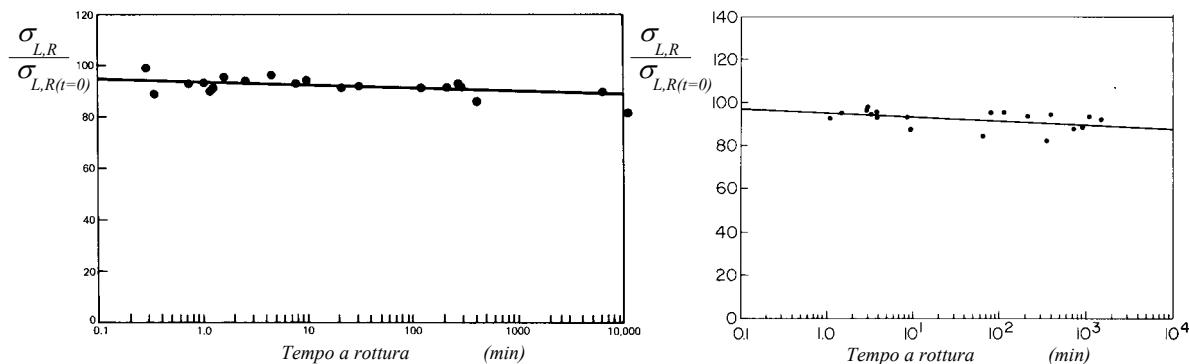


Fig.5 - Decadimento della resistenza in direzione trasversale (a) ed a ±45° (b) in composito boron-epoxy.

12.4. Effetti dell'acqua

L'assorbimento di acqua da parte di un materiale plastico produce un decadimento delle proprie caratteristiche, in modo del tutto simile a quello che si verifica al crescere della temperatura. In altre parole l'acqua produce un aumento della duttilità della matrice ed un concomitante aumento della viscoelasticità.

Oltre a tali effetti, l'assorbimento di acqua da parte dei polimeri usati come matrice, produce un fenomeno di degrado legato al particolare processo di diffusione dell'acqua nel materiale. L'osservazione sperimentale mostra che l'acqua si diffonde in un materiale polimerico con un fronte di avanzamento netto cosicché il materiale che ha già assorbito l'acqua e subito il corrispondente rigonfiamento forma un guscio attorno al core ancora intatto che risulta pertanto soggetto a sforzi tridimensionali di trazione. Tali sforzi possono in alcuni casi divenire talmente elevati da produrre fenomeni di debonding e addirittura di rottura delle fibre con danneggiamento irreversibile del composito. L'uso pertanto dei compositi in presenza di acqua è soggetto a limitazioni che possono essere superati solo con specifici accorgimenti (protezione, trattamento superficiale ecc.).

Un discorso a parte va fatto infine per quanto concerne il degrado della efficacia delle sostanze utilizzate nel trattamento superficiale delle fibre finalizzato al miglioramento della adesione fibra-matrice: in presenza di tali sostanze gli effetti della umidità sono notevolmente ridotti ed in pratica l'esposizione ad acqua per periodi non molto prolungati non da luogo a significativi abbassamenti della resistenza.