

ATP

Via Casa Pagano, 31 84012 Angri (SA)
Tel +39 081 94 77 77 – Fax +39 081 94 77 40
www.atp-pultrusion.com
email: a.giamundo@atp-pultrusion.com



IL CONSOLIDAMENTO STATICO CON COMPOSITI PRESTAZIONALI E CONVENIENTI

PREMESSA

L'utilizzo di materiali e tecnologie proprie dell'industria dei compositi registrano, negli ultimi anni, una sempre più capillare diffusione nel settore del consolidamento e ripristino strutturale.

Possiamo affermare che la diffusione di conoscenze al riguardo è ormai capillare e che un impiego diffuso degli stessi materiali trova ancora limitazione sia per motivi di carattere tecnico normativi e sia per motivi di tipo economico.

Nella presente relazione si vuole illustrare la **possibilità di una sensibile ed immediata riduzione dei costi**, relativamente ad una famiglia di prodotti già abbastanza diffusi, ed utilizzati prevalentemente per il rinforzo flessionale di travi e/o travetti in calcestruzzo.

Ci riferiamo in particolare alle **lamine in carbonio unidirezionale inglobate in matrice termoindurente**.

Si tratta, come è noto, di lamine di larghezze e spessori variabili, fornite tipicamente in rotoli, da incollare direttamente al supporto opportunamente preparato.

MATERIALI, CARATTERISTICHE E TECNOLOGIA DI PRODUZIONE

Vogliamo in questa sede esaminare materiali e variabili tecnologiche legate all'utilizzo degli stessi in modo da evidenziare quali possano essere le possibili alternative finalizzate ad una economia complessiva dell'applicazione, pur salvaguardando le richieste prestazionali dell'insieme.

I materiali di partenza con cui si realizzano le lamine sono fibre di carbonio resina.

La resina, a seguito d'impregnazione e successiva polimerizzazione, costituisce la matrice del composito.

Ai fini della valutazione del costo finale, sul totale delle materie prime l'incidenza del costo delle fibre di carbonio è nettamente preponderante, mentre la scelta della resina incide sul costo di trasformazione.



Le fibre di carbonio – Costi e Caratteristiche

Per operare una semplificazione, possiamo dire che la maggioranza delle fibre di carbonio utilizzate in questo settore sono ottenute a partire da un precursore costituito da una fibra sintetica PAN (poliacrilonitrile). La conversione del precursore in fibra di carbonio, avviene in diversi stadi attraverso forni d'ossidazione e fornaci di carbonizzazione in atmosfere controllate per temperature fino a 3000 °C.

La fibra di carbonio può essere prelevata in diverse fasi del processo ottenendone materiale di caratteristiche variabile.

In funzione di quanto sopra s'individuano le seguenti categorie:

- SM (Standard Modulus) - Avente modulo elastico < 250 GPa anche detto HT High strength/highstrain
- IM (Intermediate Modulus) - Avente modulo elastico <320 GPa
- HM (High Modulus) - Avente modulo elastico < 440 GPa
- UHM (Ultra high Modulus) - Avente modulo maggiore di 440 Gpa

All'aumentare del modulo elastico, diminuisce l'allungamento a rottura e la resistenza ultima del filato.

Completiamo con il dire che la fibra di carbonio, venduta sottoforma di rovings (costituiti da un insieme di diverse migliaia di filamenti elementari) viene individuata, oltre che dal tipo di carbonio e dal tipo di appretto, dal diametro del filamento e dal numero di filamenti che costituiscono il roving.

Il diametro dei filamenti varia mediamente tra i 5 e gli 8 µm, mentre il numero di filamenti varia da 3000 (3K) ad oltre 100k

Da un punto di vista costi si deve tener presente che passare da un carbonio di modulo standard ad uno di modulo intermedio, significa già in pratica raddoppiare il costo dei materiali, passare a moduli più elevati comporta variazioni d'ordini di grandezza.

Anche se non in termini così drastici, incrementi di costo si hanno anche al diminuire del numero di filamenti e del diametro degli stessi.

Riassumendo, in termini generali, la fibra di carbonio teoricamente più economica in assoluto è una fibra avente un diametro del filato elevato, un roving con numero di filamenti alto e di modulo standard.

Si tenga comunque presente che un limite inferiore delle corrispondenti caratteristiche meccaniche per i materiali di cui stiamo parlando può essere individuato nei seguenti valori:

Modulo Elastico ≥ 22000 MPa

Sollecitazione a rottura ≥ 3500 MPa

Riteniamo di dover sottolineare che, nel caso delle lamine applicate nel settore Restauro e Recupero Edilizia, essendo praticamente nulla l'esigenza di alleggerire il manufatto ed in considerazione del fatto che in ogni caso l'inerzia della sezione rimane trascurabile, **tarando la giusta quantità di fibra di questo tipo si possono raggiungere i valori di rigidezza e resistenza complessiva della lamina richiesti nel modo più economico.**

ATP

Via Casa Pagano, 31 84012 Angri (SA)
Tel +39 081 94 77 77 – Fax +39 081 94 77 40
www.atp-pultrusion.com
email: a.giamundo@atp-pultrusion.com



Le Resine

La categoria di resina di interesse nel settore dell'ingegneria civile è quella delle termoindurenti. Le più adoperate sono le Resine *Poliesteri* e le Resine *Epossidiche*.

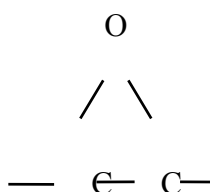
Alla famiglia delle poliesteri appartengono le resine Ortoftaliche; le Isoftaliche e le Vinilestere (citate in ordine crescente di costo).

Nella tabella che segue sono riportate le caratteristiche tipiche di una resina poliesteri

Modulo elastico	MPa	4500
Resistenza a flessione	MPa	100
Allungamento a rottura	%	2 - 5
Assorbimento acqua	%	0.2
Peso specifico	g/cc	1.2

Le proprietà delle resine possono essere sensibilmente variate mediante additivazione con cariche, polimeri etc.

Le resine epossidiche sono dei polimeri contenenti il gruppo epossidico.



Con il termine epossidica si intendono sia la resina termoindurente che l'analoga termoplastica.

I due tipi principali di resina epossidica sono le resine epossidiche convenzionali, ottenute da epichloridina e bisfenolo A, e le resine epossidiche novalac, ottenute da epichloridina e resine novalac, cioè resine fenoliche. In realtà i tipi di resina epossidica in produzione sono tantissimi e viene offerta ai trasformatori una vastissima gamma di scelta in funzione del processo di produzione e delle caratteristiche finali ricercate per il composito.

La viscosità di una resina epossidica può variare da valori di viscosità medi fino a valori elevatissimi. Spesso si ricorre ad appropriati solventi per aggiustare i valori di viscosità alle esigenze tecnologiche d'impregnazione.

Il processo di termoindurimento di una resina epossidica nella forma fluida e nella forma termoplastica può essere effettuato facendo reagire la resina con una vasta varietà d'indurenti, che possono

ATP

Via Casa Pagano,31 84012 Angri (SA)
Tel +39 081 94 77 77 – Fax +39 081 94 77 40
www.atp-pultrusion.com
email: a.giamundo@atp-pultrusion.com



essere organici ed inorganici, acidi o basici, e la resina può termoindurire sia a temperatura ambiente sia ad alta temperatura.

L'azione di indurimento, che avviene normalmente senza l'evoluzione di sostanze volatili, è basata sulla polimerizzazione dei vari gruppi non saturi presenti, che può avvenire o direttamente fra i gruppi epossidici o tramite legami incrociati con l'indurente.

Nella tabella seguente sono riportate alcune proprietà tipiche di resine epossidiche per applicazioni in compositi.

Modulo Elastico	MPa	4500
Resistenza a flessione	MPa	100
Allungamento a rottura	%	2 - 5
Assorbimento acqua	%	0.05 - 0.3
Peso specifico	g/cc	1.3 - 2.5

Anche per le resine epossidiche è possibile intervenire mediante additivazione di cariche sulle caratteristiche del materiale.

Il costo medio di una resina epossidica è superiore a quello più elevato del gruppo delle poliestere (vinilestere), ma l'incidenza maggiore deriva dalla difficoltà tecnologiche di lavorazione come sarà in seguito spiegato.

Come si noterà, le caratteristiche finali di una poliestere non sono dissimili da quelle di una epossidica, ma allora cosa fa generalmente e giustamente ritenere quest'ultima la migliore scelta possibile per la realizzazione di compositi?

Possiamo elencare 2 categorie di motivazioni

- **Tecnologiche**: le resine epossidiche in sostanza non presentano ritiro postpolimerizzazione e questa circostanza, per realizzazione di stratificazioni di rinforzo su supporto esistente, le rende sostanzialmente insostituibili.
- **Prestazionali**: la caratteristica principale è quella di creare, nella ipotesi di ottimale trasformazione, la migliore interfaccia con le fibre consentendo di massimizzare le caratteristiche meccaniche non dominate dalle fibre. In particolare ci si riferisce al taglio interlaminare, alla torsione ed alla flessione.

E' d'obbligo a questo punto ricordare che le caratteristiche a trazione dei compositi sono in sostanze indipendenti dalle caratteristiche della resina.

ATP

Via Casa Pagano, 31 84012 Angri (SA)
Tel +39 081 94 77 77 – Fax +39 081 94 77 40
www.atp-pultrusion.com
email: a.giamundo@atp-pultrusion.com



Nel caso delle lamine deve essere quindi possibile utilizzare anche resine diverse dalle epossidiche a patto di garantire:

- **Sufficienti sollecitazioni di taglio di interfaccia con i collanti utilizzati per l'applicazione al supporto.**
- **Durabilità.**
- **Inattaccabilità da parte degli agenti atmosferici e chimici.**

Le resine vinilestere offrono ampie garanzie a tal riguardo.

Rispetto alle epossidiche, le vinilestere consentono:

- Velocità di produzione più elevate.
- Ampia possibilità di modulare le % di fibra richiesta.
- Maggiori garanzie di completa polimerizzazione attraverso i normali processi di produzione.

Riassumendo, per quanto già detto in merito alle fibre, ne consegue che, in linea di principio **l'ottimizzazione economica per le lamine può essere ottenuta mediante utilizzo di carbonio di modulo standard a titolo elevato e di resina vinilestere.**

La Tecnologia

Le lamine di cui discorriamo sono realizzate mediante una tecnologia (più o meno adattata) denominata di Pultrusione.

La tecnica (Pull- extrusion) consiste nel tirare le fibre di rinforzo mediante blocchi di tiro dal bagno verso la filiera, attraverso dispositivi di formatura che n'assicurano l'allineamento ed asportano l'eccesso di resina. L'energia termica fornita in filiera attiva la reazione di polimerizzazione della resina che indurisce imprigionando le fibre.

L'utilizzo di rovings di carbonio a titolo elevato (elevato numero di filamenti), comporta, al fine di garantire comunque una perfetta impregnazione delle fibre ed una corretta distribuzione delle stesse all'interno della sezione, una limitazione della percentuale complessiva volumetrica di rinforzo al 60 % del totale ed uno spessore minimo della lamina di circa 1.5 mm.

ATP

Via Casa Pagano, 31 84012 Angri (SA)
Tel +39 081 94 77 77 – Fax +39 081 94 77 40
www.atp-pultrusion.com
email: a.giamundo@atp-pultrusion.com



PRODUCT LIST

CARBOSAP matrice poliestere 35 % carbonio

CARBOSAP F matrice poliestere 40 % carbonio

CARBODECK matrice epossidica 50 % carbonio

CARBODECK F matrice epossidica 65 % carbonio

tutte le quattro famiglie di lamine possono essere prodotte nelle seguenti dimensioni con le relative sigle dimensionali:

5015 larghezza 50 mm spessore 1,5 mm

6515 larghezza 65 mm spessore 1,5 mm

10015 larghezza 100 mm spessore 1,5 mm

12020 larghezza 120 mm spessore 2 mm

TONDOSAP matrice poliestere 35 % carbonio

TONDOSAP F matrice poliestere 40 % carbonio

TONDODECK matrice epossidica 50 % carbonio

TONDODECK F matrice epossidica 65 % carbonio

tutte le quattro famiglie di tondi possono essere prodotti nelle seguenti dimensioni con le relative sigle dimensionali:

8 diametro \varnothing 8 mm.

10 diametro \varnothing 10 mm.

12 diametro \varnothing 12 mm.