



Rinforzo di strutture in cemento armato

La teoria agli stati limite, la tecnica ed il calcolo delle applicazioni di FRP secondo le istruzioni CNR DT200/2004.

Completo di esempi di calcolo.

Aggiornato secondo le O.P.C.M. n. 3274/2003 e n. 3431/2005

Contiene il software FRPtravi&pilastr

Caterina Rubino, Davide Pini, Paolo Iannelli

Una guida pratica e soprattutto innovativa per tutti coloro che devono rinforzare le strutture di cemento armato esistenti. Un'operazione che l'arrivo dei nuovi materiali compositi con la presenza di fibre di varia natura e il perfezionamento delle tecniche, hanno reso sicuramente più agevole rispetto al passato. Il volume rappresenta perciò uno strumento fondamentale per i professionisti che devono operare in questo settore e che devono fare fronte sia al degrado dei materiali, sia all'adeguamento delle strutture alle attuali normative o alle misure anti-sismiche. Attività che diventano ancora più semplici grazie al software allegato al volume FRP travi&pilastr, che costituisce un agevole e rigoroso strumento operativo per il calcolo dei rinforzi dei principali elementi strutturali. Il software rispetta le disposizioni regolamentari (Eurocodice 2, normativa italiana, istruzioni del CNR) e consente di effettuare verifiche allo stato limite ultimo e allo stato limite di esercizio delle sezioni rinforzate e non, sollecitate a compressione, flessione, pressoflessione e taglio. Per i pilastr, inoltre, viene eseguito anche il calcolo della duttilità, indispensabile quando si interviene su strutture localizzate in zone sismiche. Il software, infine, consente anche la stampa (o l'esportazione in un file come documento di testo) della relazione di calcolo.

INDICE GENERALE

Premessa	7
----------------	---

CAPITOLO 1

I MATERIALI COMPOSITI	9
------------------------------------	----------

1.1 Materiali costituenti delle fibre	11
1.1.1 Fibre aramidiche	11
1.1.2 Fibre di carbonio	13
1.1.3 Fibre di vetro	15
1.1.4 Fibre di PVA	17
1.2 Materiali costituenti le matrici polimeriche	17
1.2.1 Poliestere non saturo	18
1.2.2 Resine epossidiche	20
1.2.3 Riempitivi e additivi	21
1.3 Processi di fabbricazione	22
1.3.1 Lavorazioni a stampo aperto	22
1.3.1.1 Lavorazione manuale	22
1.3.1.2 Lavorazione a spruzzo	22
1.3.1.3 Processi di compattazione sotto vuoto	23
1.3.1.4 Avvolgimento	23
1.3.1.5 Intreccio	24
1.3.2 Lavorazioni a stampo chiuso	24
1.3.2.1 Pultrusione	24
1.3.2.2 Stampaggio con controstampo rigido	24
1.4 La tecnica applicativa	25

CAPITOLO 2

LO STATO INIZIALE DI DEFORMAZIONE	29
--	-----------



CAPITOLO 3

IL METODO SEMIPROBABILISTICO

AGLI STATI LIMITE	35
3.1 Gli stati limite	36
3.2 Legami costitutivi dei materiali	38
3.2.1 Calcestruzzo non confinato	38
3.2.2 Calcestruzzo confinato	40
3.2.3 Acciaio	42
3.2.4 Rinforzo	43

CAPITOLO 4

LE VERIFICHE

ALLO STATO LIMITE ULTIMO	45
4.1 La rottura per delaminazione	45
4.1.1 Verifica allo stato limite ultimo	46
4.2 Lo sforzo normale centrato	49
4.3 La flessione semplice	50
4.3.1 Definizione dei campi di rottura	50
4.3.2 Calcolo del momento resistente della sezione	52
4.4 La flessione composta	60
4.4.1 Definizione dei campi di rottura	61
4.4.2 Calcolo del dominio di rottura	61
4.5 Il taglio	63
4.5.1 Determinazione del massimo taglio-compressione	63
4.5.2 Determinazione del massimo taglio-trazione	64
4.5.2.1 Contributo del rinforzo $V_{Rd,f}$	65
4.6 La torsione	70
4.6.1 Momento torcente limite a compressione	72
4.6.2 Momento torcente limite a trazione	72
4.6.2.1 Momento torcente resistente del rinforzo T_{rr}	73

<hr/>	
CAPITOLO 5	
LE VERIFICHE ALLO STATO LIMITE DI ESERCIZIO	75
5.1 Verifica delle tensioni normali	75
5.2 Verifica per delaminazione in esercizio.....	83
<hr/>	
CAPITOLO 6	
LA DUTTILITÀ DEGLI ELEMENTI RINFORZATI	85
6.1 Duttività dei materiali.....	86
6.2 Duttività della sezione e dell'elemento.....	88
6.3 Duttività della struttura.....	90
<hr/>	
CAPITOLO 7	
UN'APPLICAZIONE DI FRP: DALLA PROGETTAZIONE AL COLLAUDO	93
7.1 Il progetto dell'intervento	94
7.2 Il collaudo	104
<hr/>	
CAPITOLO 8	
MANUALE APPLICATIVO DEL SOFTWARE FRP <travi&pilastri<="" td=""> <td>107</td> </travi&pilastri>	107
8.1 L'installazione e la protezione del programma	107
8.2 Il modulo FRPpilastri.....	108
8.2.1 Il menu "File"	109
8.2.2 Il menu "Materiali"	110
8.2.2.1 "Calcestruzzo"	110
8.2.2.2 "Acciaio"	111
8.2.2.3 "Rinforzo"	112
8.2.2.4 "Tensioni limite"	113



8.2.3	Il menu "Sezione"	115
8.2.3.1	"Geometria"	115
8.2.3.2	"Armatura e fasciatura di confinamento"	116
8.2.4	Il menu "Sollecitazioni e verifiche"	118
8.2.4.1	"Opzioni"	118
8.2.4.2	"Sollecitazioni"	118
8.2.4.3	"Verifiche"	120
8.2.5	"Il menu della guida e delle informazioni"	123
8.3	Il modulo FRPtravi	123
8.3.1	Il menu "File"	124
8.3.2	Il menu "Materiali"	125
8.3.2.1	"Calcestruzzo"	125
8.3.2.2	"Acciaio"	126
8.3.2.3	"Rinforzo"	127
8.3.2.4	"Tensioni limite"	129
8.3.3	Il menu "Sezione"	130
8.3.3.1	"Geometria"	130
8.3.3.2	"Armatura e rinforzo a flessione"	131
8.3.3.3	"Armatura e rinforzo a taglio"	132
8.3.3.4	"Dati per la delaminazione"	134
8.3.4	Il menu "Sollecitazioni e verifiche"	135
8.3.4.1	"Sollecitazioni"	135
8.3.4.2	"S.L.U.: verifica a flessione"	136
8.3.4.3	"S.L.U.: verifica a taglio"	137
8.3.4.4	"S.L.E.: verifica tensioni normali."	138
8.3.4.5	"S.L.E.: verifica tensione di interfaccia"	139
8.3.5	"Il menu della guida e delle informazioni"	141

CAPITOLO 9

ESEMPI DI CALCOLO	143
9.1 Applicazione 1	143
9.2 Applicazione 2	153
Bibliografia	159

PREMESSA

Il rinforzo delle strutture costituisce un campo dell'ingegneria civile in continua evoluzione, che richiede sempre di più adeguati lavori di ricerca.

La necessità di rinforzare una struttura esistente deriva principalmente da tre fattori:

- degrado della struttura con conseguente diminuzione della sua capacità portante;
- variazione (aumento) dei carichi di progetto derivanti da un cambio di destinazione d'uso o da nuove esigenze di produzione nel caso di stabilimenti industriali, con conseguente insufficienza della capacità portante attuale;
- adeguamento normativo e sismico.

Il confronto economico fra il costo (diretto ed indiretto) di una completa o parziale sostituzione di un'opera e quello di un intervento più o meno localizzato di rinforzo, porta a privilegiare nettamente quest'ultimo; inoltre, in alcuni casi, per vincoli urbanistici architettonici o paesaggistici e di tutela, la prima soluzione non è in alcun modo perseguibile.

Tutto ciò ha spinto il mondo della ricerca e della tecnologia a mettere a punto delle nuove tecniche per il rinforzo delle strutture che hanno trovato la loro principale applicazione nei ponti, ma anche in molti edifici sia civili che industriali e ciò, in un'epoca in cui si tende sempre di più a recuperare il patrimonio edilizio esistente, assume una particolare importanza.

Fra le tecniche impiegate per rinforzare le strutture storicamente le più note sono:

- il placcaggio, o "beton plaque", impiegato da decenni per rinforzare strutture inflesse, consistente nell'incollaggio in zona tesa, di lamiera d'acciaio che esplicano la funzione di armature supplementari fornendo un incremento di resistenza flessionale;
- l'incamiciamento, impiegato prevalentemente per pilastri, consistente in un



rivestimento dell'elemento strutturale da rinforzare con una camicia di calcestruzzo che può contenere ulteriori armature aggiuntive.

Con lo sviluppo dei nuovi materiali compositi rinforzati con fibre di varia natura (carbonio, aramide, vetro ecc.), e la messa a punto di tecniche sempre più perfezionate, negli ultimi anni si sta assistendo ad un loro impiego sempre più diffuso per il rinforzo strutturale. Ciò a ben ragione, viste le notevoli caratteristiche meccaniche e, in alcuni casi, la loro flessibilità d'uso e la facilità di trasporto.

Questo testo vuole offrire una panoramica sulle principali caratteristiche di questi nuovi materiali, la loro tipologia e le tecniche applicative. Vi vengono inoltre esposte le basi di calcolo secondo il metodo semiprobabilistico agli stati limite, nonché l'esempio completo di un loro impiego nella realizzazione di un rinforzo strutturale.

Il software allegato, *FRP, costituisce un agevole e rigoroso strumento per il calcolo dei rinforzi dei principali elementi strutturali. I calcoli vengono eseguiti secondo le disposizioni contenute nelle istruzioni CNR DT200/2004, attualmente l'unico riferimento progettuale in Italia, recepito dalla recente O.P.C.M n. 3431/2005, che integra ed aggiorna la precedente n. 3274/2003. Il programma effettua le verifiche allo stato limite ultimo ed allo stato limite di esercizio di sezioni sia rinforzate che non rinforzate, sollecitate a compressione centrata, flessione, pressoflessione e taglio. Per i pilastri viene eseguito anche il calcolo della duttilità, indispensabile quando si interviene su strutture ricadenti in zona sismica. Il programma, operando in ambiente Windows, presenta la facilità d'uso e l'interattività tipica di tale sistema; inoltre è corredato di un dettagliato manuale, contenuto nel testo, che con l'ausilio delle immagini delle videate, guida l'utente, fornendo precise informazioni su tutte le scelte consentite. Il programma predispone la relazione di calcolo che può essere stampata direttamente o esportata in un file come documento di testo.*

Due applicazioni numeriche sviluppate con l'ausilio del software allegato completano il testo. Un sentito ringraziamento va alla ditta INTERBAU s.r.l. di Milano per la documentazione fotografica ed i dati relativi all'applicazione presentata.

I MATERIALI COMPOSITI

La sigla FRP (Fiber Reinforced Polymer) indica un materiale composito costituito da fibre continue immerse in una matrice polimerica. Le fibre costituiscono l'elemento resistente alle sollecitazioni mentre la matrice ha il compito di trasferire gli sforzi alle fibre e tra le fibre e di proteggerle dall'ambiente circostante. Nell'ambito dei prodotti in composito normalmente commercializzati, la matrice polimerica è il principale componente, anche se nella sfera delle applicazioni strutturali, essa è presente con una percentuale del 25÷50% in peso (il limite inferiore si addice maggiormente per le applicazioni civili).

Questi materiali presentano elevata resistenza a trazione, eccellente resistenza a corrosione e basso peso specifico.

Di largo uso nelle applicazioni aeronautiche e meccaniche, da qualche anno vengono impiegati anche in campo civile con produzioni specifiche nel settore del rinforzo strutturale di calcestruzzi armati e precompressi, murature, legno, acciaio.

Le principali normative di riferimento sono:

- ACI - Stati Uniti
- JSCE - Giappone
- CAN - Canada
- istruzioni CNR - Italia
- raccomandazioni CEB-FIP - Europa.

I compositi si suddividono in due principali categorie, a seconda della lunghezza della fibra impiegata. Si hanno compositi:

- a fibra *corta* non orientata nella matrice, come per es. quelli impiegati nei prodotti cementizi non strutturali (malte) e in alcuni elementi in pultruso;



- a fibra *lunga* orientata nella matrice, come per es. quelli utilizzati nella realizzazione di elementi sollecitati secondo una o più direzioni preferenziali e per gran parte della gamma dei pultrusi.

Le proprietà dei compositi a fibra corta dipendono, oltre che dalle proprietà intrinseche dei singoli componenti, anche dalla quantità, lunghezza media, distribuzione ed orientazione delle fibre stesse. A volte l'ottimizzazione di un parametro porta al peggioramento di altri. Ad esempio, la lunghezza delle fibre è un elemento fondamentale per la corretta trasmissione degli sforzi nel composito, perché correlato all'ancoraggio alla matrice, e quindi è necessario non scendere al di sotto di certe lunghezze minime. D'altra parte per rendere più omogenee le caratteristiche meccaniche del composito finale, occorre avere una buona distribuzione delle fibre corte nella matrice, tramite un buon mescolamento, spesso molto energetico e tale da rompere le fibre stesse riducendone la loro lunghezza media e quindi.

Per quanto attiene i compositi a fibra lunga, di cui parleremo in seguito, la tecnologia di produzione, consentendo di combinare la matrice con fibre disposte secondo direzioni determinate da considerazioni ed esigenze progettuali, permette di ottenere un materiale ortotopo con proprietà specifiche per il particolare stato di sollecitazione. Si può pertanto definire una importante caratteristica dei materiali compositi: la loro *progettabilità*.

A seconda del numero di orientazioni assunte dalla fibra, i compositi si definiscono:

- **unidirezionali** se le fibre sono orientate secondo una unica direzione;
- **bidirezionali** se le fibre sono orientate secondo due direzioni;
- **tridirezionali** se le fibre sono orientate secondo tre direzioni (nel piano).

Le caratteristiche meccaniche del composito dipendono da diversi fattori. Anzitutto dalle proprietà meccaniche delle singole fibre, ovvero dalla loro natura e dalla tecnica o lavorazione utilizzata per ottenerle. Generalmente il tipo di fibra utilizzato è uno solo, quindi sussiste omogeneità di caratteristiche mec-



caniche; qualora ci siano combinazioni di fibre, es. carbonio e vetro, le caratteristiche meccaniche della "fibra costituente" risulteranno media ponderata delle singole caratteristiche meccaniche. La tropia delle caratteristiche meccaniche del composito è espressa dall'orientamento dato alle fibre all'interno della matrice resinosa. Ai fini del trasferimento degli sforzi dalla matrice alle fibre, risulta di fondamentale importanza la natura della matrice e l'aderenza che questa è in grado di esercitare sulle singole fibre, oltre che la lunghezza delle fibre stesse.

1.1 Materiali costituenti delle fibre

Le fibre principalmente utilizzate nelle applicazioni dell'ingegneria civile sono: aramide (AFRP), vetro (GFRP), carbonio (CFRP) e polivinilalcol (PVA).

1.1.1 *Fibre aramidiche*

Queste fibre appartengono alla classe dei polimeri cristallini liquidi. La loro struttura consente una buona stabilità per temperature comprese tra -100 ed $+100$ °C, mentre fenomeni di ossidazione del polimero sconsigliano utilizzi con esposizione prolungata a temperature superiori ai 120 °C.

Tab.1.1 - Caratteristiche meccaniche delle fibre aramidiche

PROPRIETÀ LONGITUDINALI	
Modulo elastico	62-142 Gpa
Resistenza a trazione	2410-3150 MPa
Deformazione ultima	1.5 - 4.4 %

La più nota fibra aramidica è la PPD-T (poli-parafenilene tereftalamide).

Le fibre para-aramidica:

- presentano buona resistenza a rottura anche per fenomeni di fatica e scorrimento;

- a compressione, esibiscono un comportamento duttile di tipo non lineare con snervamento intorno allo 0.3-0.5%;
- hanno ottime caratteristiche come isolante elettrico, in quanto hanno una costante elettrica di 4.0, misurata a 106 Hz;
- hanno buona resistenza ai solventi e prodotti chimici ad esclusione degli acidi e delle basi forti.

Tab. 1.2 - Proprietà delle fibre aramidiche commerciali

FIBRE	DIAMETRO	PESO SPECIFICO	MODULO ELASTICO (GPA)	RESISTENZA A TRAZIONE (GPA)	DILATAZIONE DI ROTTURA (%)	COEFF. DI DILATAZIONE TERMICA (10^{-6})	COEFF. DI POISSON
Kevlar™49	11.9	1.45	131	3.62	2.8	-2.0 (long) +59 (radial)	0.35
TwaronTMI055	12.0	1.45	127	3.6	2.5	-2.0 (long) +59 (radial)	0.35
Technora	12.0	1.39	74	3.5	4.6	-2.0 (long) +59 (radial)	0.35

Particolare cautela deve essere adottata riguardo al comportamento a compressione innanzi descritto, che si traduce in schiacciamento locale e fibrillazione delle singole fibre con conseguente ridotta resistenza sotto condizioni di compressione e momento flettente. Per questa ragione le fibre aramidiche non sono idonee, senza essere combinate con fibre di vetro o carbonio, per l'impiego in strutture a guscio in FRP soggette ad elevate sollecitazioni di compressione e di momento flettente. Strutture con fibre ibride conducono ad un fattore di schiacciamento vibrazionale elevato che potrebbe offrire vantaggi in strutture sollecitate dinamicamente.

Le soluzioni di PPD-T vengono estruse e fatte passare attraverso un getto d'aria consentendo ai domini liquidi cristallini di allinearsi nella direzione del flusso d'aria. La struttura delle fibre che si ottiene è anisotropa e presenta resistenza e modulo elastico più elevati nella direzione longitudinale di estrusione.

Le fibre aramidiche sono disponibili in cavi, fili, matasse e tessuti ad ordito che possono essere successivamente trattati ad uno stadio intermedio di pre-impregnamento (pre-preg).

1.1.2 **Fibre di carbonio**

Le fibre di carbonio possono essere ottenute a partire dal bitume, un derivato della distillazione del petrolio, PAN (poliacrilonitrile) e rayon.

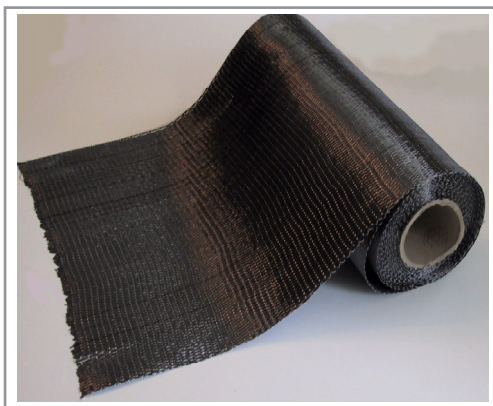
Le elevate caratteristiche meccaniche delle fibre di carbonio derivano dall'alto grado di assenza di imperfezioni della loro struttura molecolare e dalla temperatura di processo utilizzata per la loro formazione che in genere è al di sopra dei 1000 °C.

A seconda della microstruttura delle fibre si hanno fibre di carbonio con elevato modulo elastico e fibre ad elevata resistenza. Le fibre ad elevato modulo elastico hanno minore resistenza, mentre le fibre ad alta resistenza hanno un più basso modulo elastico. Queste proprietà derivano dalla disposizione degli strati esagonali di grafene: se gli strati sono presenti con un assetto tridimensionale, il materiale è definito come grafite; se il legame tra gli strati è debole ed essi assumono una configurazione bidimensionale, il materiale risultante è definito come carbonio. Le fibre di carbonio con modulo elastico di circa 200 GPa richiedono che gli strati rigidi di grafene siano allineati approssimativamente con andamento parallelo all'asse delle fibre. Infatti l'orientamento preferenziale degli strati di grafene determina il modulo elastico della fibra ed influisce sull'assorbimento della superficie della fibra nonché sulla resistenza all'interfaccia con la matrice.

Tab. 1.3 - Caratteristiche meccaniche delle fibre di carbonio

PROPRIETÀ LONGITUDINALI	
Modulo elastico	290-400 Gpa
Resistenza a trazione	2400-5700 MPa
Deformazione ultima	0.3-1.8%





Precursori di rayon e bitume sono usati per produrre fibre di carbonio con basso modulo elastico (circa 50 GPa) che aumenta in seguito a trattamento termico con temperature comprese tra i 1000°C ed i 3000 °C in funzione del precursore utilizzato. La massima resistenza

meccanica si raggiunge invece per temperature più basse rispetto a quelle necessarie per massimizzare i moduli elastici; per esempio le fibre PAN raggiungono la loro massima resistenza con trattamento termico a 1500°C.

Le fibre di carbonio sono facilmente impregnabili con resine solo dopo aver subito trattamenti superficiali atti ad aumentare il numero di gruppi chimici attivi per la resina d'impregnazione.

Le fibre di carbonio sono disponibili come cavi o fasci a fibre parallele, il numero di singoli filamenti nel cavo si aggira attorno a 1000-2000 o come pre-preg sotto forma di fogli unidirezionali.

Tab. 1.4 - Proprietà delle fibre di carbonio commerciali

FIBRE	DIAMETRO	PESO SPECIFICO	MODULO ELASTICO (GPA)	RESISTENZA A TRAZIONE (GPA)	DILATAZIONE DI ROTTURA(%)	COEFF. DI DILATAZIONE TERMICA (10 ⁻⁶)	COEFF. DI POISSON
PAN-Carbon T300	7	1.76	231	3.65	1.4	da -0.1 a -0.5 (long) da 7 a 12 (radial)	-0.20
PAN-Carbon As ^b	7	1.77	220	3.10	1.2	da -0.5 a -1.2 (long) da 7 a 12 (radial)	---
PAN-Carbon T40	6	1.81	276	5.65	2.0	---	---
PAN-Carbon HSB	7	1.85	344	2.34	0.58	---	---

(segue) **Tab. 1.4** - Proprietà delle fibre di carbonio commerciali

FIBRE	DIAMETRO	PESO SPECIFICO	MODULO ELASTICO (GPA)	RESISTENZA A TRAZIONE (GPA)	DILATAZIONE DI ROTTURA(%)	COEFF. DI DILATAZIONE TERMICA (10^{-6})	COEFF. DI POISSON
PAN-Carbon Fortafil 3	7	1.80	227	3.80	1.7	-0.1	0.35
PITCH_Carbon P555	10	2.00	380	1.90	0.5	-0.9 (long)	---
PITCH_Carbon P100	10	2.16	758	2.41	0.32	-1.6 (long)	---

1.1.3 Fibre di vetro

Tab. 1.5 - Caratteristiche meccaniche delle fibre di vetro

PROPRIETÀ LONGITUDINALI	
Modulo elastico	72 - 87 Gpa
Resistenza a trazione	3.3 – 4.5 GPa
Deformazione ultima	4.8 - 5.0%

Grazie al costo contenuto in relazione alle discrete prestazioni meccaniche, le fibre di vetro sono tra le più usate nel campo dell'ingegneria civile. Commercialmente sono disponibili:

Vetro tipo E: costituito da silicati di calcio ed impiegato prevalentemente per processi di stampaggio ed in campo elettrico, il vetro E copre l'80-90% della produzione di fibre di vetro in commercio. Le fibre ECR-glass non contenendo boro hanno maggiori resistenze agli attacchi acidi.

Vetro tipo S: composto da silicato di magnesio, possiedono elevate resistenze anche ad alte temperature ma risentono molto degli attacchi alcalini. Vetri tipo S ed S-2 si differenziano per il trattamento superficiale subito.

Vetro tipo C: composto da carbonato di sodio-calce-borosilicato, è impiegato per la sua stabilità chimica in ambienti corrosivi.



Vetro tipo AR: oltre ad essere leggero è un composto molto resistente in ambiente alcalino.

Tab 1.6 - Proprietà delle fibre di vetro commerciali

FIBRE	DIAMETRO (μM)	PESO SPECIFICO	MODULO ELASTICO (GPA)	RESISTENZA A TRAZIONE (GPA)	DILATAZIONE DI ROTTURA (%)	COEFF. DI DILATAZIONE TERMICA (10 ⁻⁶)	COEFF. DI POISSON
E-Glass	10	2.54	72.4	3.45	4.8	5.0	0.20
S-Glass	10	2.54	86.9	4.30	5.0	2.9	0.22

Le fibre di vetro, a differenza di quelle di carbonio, sono attive sulla loro superficie ed idrofile quindi necessitano solamente di un film protettivo per evitare il danneggiamento durante il loro impiego e per proteggerle dall'umidità. E' stato riscontrato che la superficie delle fibre di vetro contiene microscopici vuoti che fungono da punti di concentrazione degli sforzi. L'aria umida contenendo biossidi di acidi di carbonato esercita un'azione corrosiva tale da incrementare i vuoti e gli sforzi tensionali portando a rottura il filamento. Inoltre, l'esposizione ad ambienti con elevato pH può promuovere l'invecchiamento e la rottura nel tempo.

Nella soluzione impiegata per il film protettivo viene aggiunto un promotore di adesione (solitamente selenio organico) per incrementare l'accoppiamento fibra-matrice. I produttori di fibre selezionano i loro promotori di adesione ed il tipo di protezione superficiale a seconda della matrice resinosa e del processo di produzione del composito.

Le fibre di vetro hanno comportamento elastico lineare fino a rottura ed esibiscono scorrimenti trascurabili in condizioni controllate. Generalmente si è concordi nel considerare il modulo elastico di un singolo filamento di fibra di vetro E pari a 73 GPa. L'allungamento a rottura è dell'ordine del 2.5+3.5%.