

# CARBO STRUCTURA

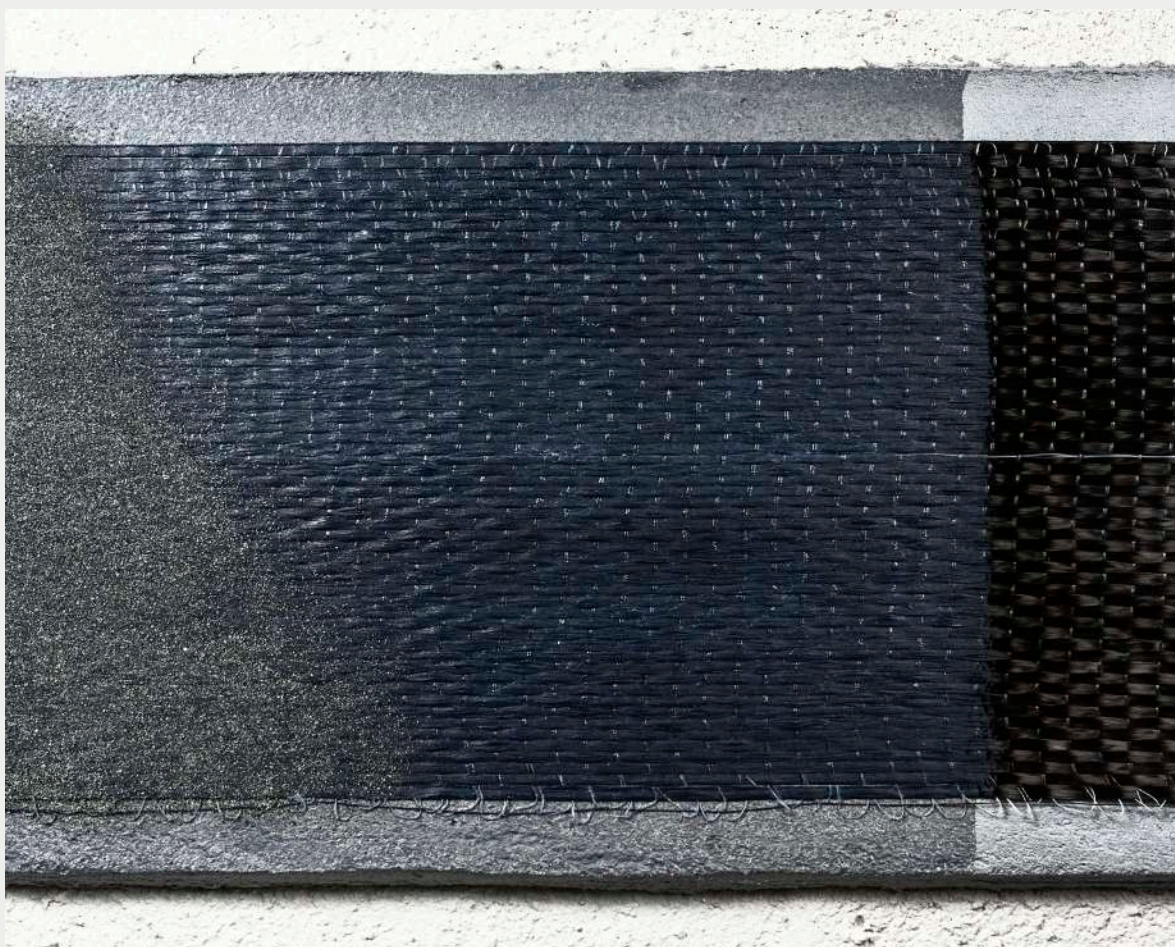
---

Sistema di consolidamento FRP classe 210C.

---

Manuale di preparazione e installazione del sistema.

---





# Indice

---

## Sistema Carbo Structura

---

Campo di applicazione .....	pag. 6
Composizione e fornitura del sistema .....	pag. 8
DPI e attrezzature .....	pag. 10
Preparazione del supporto .....	pag. 12
Preparazione dei prodotti .....	pag. 14
Installazione del sistema FRP .....	pag. 15
Controlli di accettazione in cantiere .....	pag. 16
Controlli per la corretta messa in opera .....	pag. 17
Protezione del sistema di rinforzo .....	pag. 18
Manutenzione .....	pag. 18
Temperature limite di utilizzo del composto .....	pag. 19
Proprietà meccaniche FRP .....	pag. 20
Caratteristiche geometriche e fisiche .....	pag. 21

# Sistema Carbo Structura

---

## Sistema FRP

CARBO-STRUCTURA è un sistema di consolidamento strutturale FRP realizzato mediante l'impiego di fibre lunghe e continue di carbonio, immerse in una matrice polimerica.

Il documento si riferisce solo ed esclusivamente al sistema denominato Carbo-Structura.  
Non utilizzare il presente manuale per altri sistemi di consolidamento.

Carbo-Structura viene impregnato in situ (manual wet lay up) pertanto la realizzazione del composito inteso come fibra matrice avviene direttamente in cantiere.





# Campo di Applicazione

---

Il sistema composito **CARBO-STRUCTURA** può essere impiegato per il consolidamento strutturale di costruzioni esistenti in calcestruzzo armato, c.a.p. e muratura.

Documento di riferimento:

- **DT 200/R1**

“Istruzioni per la progettazione, l'esecuzione e il controllo di interventi di consolidamento statico mediante l'utilizzo di compositi fibrorinforzati. Materiali, strutture di c.a. e di c.a.p., strutture murarie.” Sono possibili impieghi anche per strutture in legno e metalliche.

Documento di riferimento:

- **DT 201**

“Studi preliminari finalizzati alla redazione di istruzioni per interventi di consolidamento statico di strutture lignee mediante l'utilizzo di compositi fibrorinforzati.”

- **DT 202**

“Studi preliminari finalizzati alla redazione di istruzioni per interventi di consolidamento statico di strutture metalliche mediante l'utilizzo di compositi fibrorinforzati.”

## IDEALE PER

- Rinforzo a flessione, taglio, compressione, torsione e pressoflessione
- Fasciature e incrementi di duttilità
- Cerchiature e incatenamenti
- Rinforzo di elementi a singola e doppia curvatura

## NELLO SPECIFICO PER

- Variazioni di carico statico
- Variazioni di carico dinamico
- Azioni nel piano e fuori da piano
- Correggere la gerarchia delle resistenze
- Contrastare i meccanismi di collasso



---

## Composizione e fornitura del sistema

---

Viene fornito in kit, composto da:

- Tessuto TCS CARBON U300  
(in rotoli di altezza variabile come da specifiche di progetto e lunghezza 50 m)
- Sistema epossidico bicomponente Elan-Tech mc256/W254, in confezioni 4+2 kg.



### TCS CARBON U300

Tessuto: unidirezionale da 300 g/m<sup>2</sup> composto da fibre lunghe di carbonio ad alta resistenza termofissante.



### ELANTECH MC256/W256

Matrice: sistema epossidico bicomponente per l'impregnazione e l'adesione al supporto.



Il sistema è classificato 210C secondo le “Linee Guida per la identificazione, la qualificazione e il controllo di accettazione di compositi fibrorinforzati a matrice polimerica (FRP) da utilizzarsi per il consolidamento strutturale di costruzioni esistenti.”

Il sistema composito CARBO-STRUCTURA è fornito in kit composto da tessuto TCS CARBON U300 fornito in rotoli di altezza variabile come da specifiche di progetto e lunghezza 50 m.

Il sistema epossidico bicomponente Elan-Tech mc256/W254 viene fornito in confezioni 4+2 kg.

I componenti sono identificati con numero di lotto e nome del sistema.

La fornitura deve essere accompagnata dal presente documento “Manuale di preparazione e applicazione del sistema” e dal rispettivo “Certificato di valutazione tecnica n°492.”



---

# DPI e attrezzature

---

Prima di procedere alla preparazione dei prodotti e successiva applicazione, bisogna dotarsi dei dispositivi di protezione di seguito elencati:

- Tuta
- Guanti
- Mascherina
- Occhiali

Per la preparazione dei prodotti saranno necessari i seguenti strumenti:

- Piano di lavoro pulito e privo di polvere
- Metro
- Forbici
- Bilancia elettronica
- Contenitori puliti
- Miscelatore a basso numero di giri

Per l'applicazione dei prodotti saranno necessari i seguenti strumenti:

- Rullino
- Pennello
- Spatola

Per la pulizia degli attrezzi:

- Acetone



---

# Preparazione del supporto

---

La preparazione del supporto è la fase più delicata e importante per garantire il corretto funzionamento del sistema FRP.

Nel presente manuale si prenderà in considerazione la preparazione dei supporti in calcestruzzo e muratura. Per l'applicazione su supporti in legno e metallo si rimanda ad analisi più accurate.

## Valutazione della qualità del supporto

In caso di supporto degradato procedere al ripristino con prodotti idonei con caratteristiche meccaniche almeno pari a quelle del supporto.

Bisogna ottenere un supporto con caratteristiche omogenee per garantire una meccanica di frattura anch'essa omogenea. Il grado di ruvidezza del supporto non deve essere inferiore a 0,3 mm. Nel caso di supporto con intonaco o pittura provvedere alla loro rimozione. Nel caso di rimozione parziali solo per la zona d'intervento assicurarsi di rimuovere un "binario" pari a 50 mm + larghezza fascia di rinforzo + 50 mm.

Se il supporto è in buono stato o nuovo, assicurarsi che non ci sia la presenza di disarmanti, polveri, grassi, idrocarburi e tensioattivi.

Per rinforzi a taglio, torsione e confinamento bisogna arrotondare gli spigoli con un raggio di curvatura minimo di 20 mm. La parte di supporto soggetta a rinforzo dovrà essere regolare e planare (correggere zone convesse).

---

### **Nota per muratura**

Particolare attenzione deve essere posta sulle murature con problemi di efflorescenza salina e umidità di risalita che possono degradare il supporto pertanto bisogna valutare bene l'effettiva efficacia nel tempo del sistema. Il degrado del supporto potrebbe portare al distacco del sistema di rinforzo.

Per tali situazioni si suggerisce l'impiego di altri sistemi di rinforzo a matrice inorganica CRM tipo FORTIUS.

# Preparazione dei prodotti

---



## 1. TESSUTO DI RINFORZO

---

Il tessuto è pronto all'uso.  
Si consiglia di tagliarlo preventivamente in fasce di lunghezza come da progetto per ottimizzare le tempistiche di applicazione.  
Effettuare i tagli su piani di lavoro puliti e privi di polvere.  
Arrotolare le fasce tagliate a misura. Conservare sempre il tessuto al coperto, in luogo asciutto e privo di polvere.



## 2. SISTEMA EPOSSIDICO

---

Il sistema epossidico per l'impregnazione e l'incollaggio strutturale è bicomponente.  
Componente A di colore bianco da 4 kg.  
Componente B di colore grigio scuro da 2 kg.  
Verificare sempre la consistenza molto densa dei due componenti.



## 3. MISCELAZIONE

---

Versare il componente B (indurente) nel contenitore del componente A (resina). Per miscele parziali dei componenti mantenere sempre un rapporto 2:1 in peso con l'utilizzo di una bilancia elettronica. Miscelazione meccanica a basso numero di giri o manuale fino a completa miscelazione dei due componenti. La colorazione in contrasto permette di valutare la corretta miscelazione fino all'ottenimento di un impasto omogeneo tissotropico di colore grigio chiaro.



## 4. LAVORABILITÀ

---

Il prodotto reagisce più rapidamente in massa, pertanto si consiglia, dopo la miscelazione nelle confezioni di vendita, di travasare il prodotto in un contenitore più grande e basso per aumentarne il tempo di utilizzo.  
Tempo di lavorabilità del sistema epossidico calcolato su 6 kg in contenitore con spessore 4 cm +10°C 85-95 minuti, +20°C 35-40 minuti, +30°C 20-25 minuti.

# Installazione del sistema FRP

---



## 1. APPLICAZIONE 1° STRATO RESINA

---

Prima dell'applicazione verificare che il supporto sia completamente asciutto. La temperatura di applicazione è compresa tra +10°C e +30°C. Per temperature diverse di applicazione bisognerà provvedere ad un condizionamento della zona d'intervento. Applicazione a rullo, pennello o spatola del primo strato di sistema epossidico (circa 300 g/m<sup>2</sup>). Il prodotto non necessita di primer.



## 2. APPLICAZIONE TESSUTO

---

Stesura del tessuto sul primo strato di resina. Tamponare il tessuto semplicemente con le dita per farlo aderire. Rullatura semplice mediante rullino da pittore a pelo corto per eliminare eventuali pieghe del tessuto e verificare la corretta impregnazione dello stesso. Evitare l'utilizzo di rulli frangi bolle metallici che potrebbero danneggiare le fibre.



## 3. APPLICAZIONE 2° STRATO RESINA

---

Applicazione del secondo strato di resina epossidica (circa 300 g/m<sup>2</sup>). Rullatura continua nella direzione delle fibre per impregnare completamente le fibre ed eliminare le eventuali bolle d'aria verificando la corretta impregnazione dello stesso.



## 4. EVENTUALE SPOLVERO SILICEO

---

Per eventuali strati di rinforzo successivi al primo ripetere le fasi precedenti fresco su fresco. Qualora si dovesse realizzare un intonaco di protezione/finitura, a laminazione terminata procedere con uno spolvero di sabbia silicea dal diametro minimo di 1 mm fresco su fresco.

# Controlli di accettazione in cantiere

---

I controlli di accettazione in cantiere sono effettuati mediante prove di struttive su provini. Per il numero ed il tipo di prove si rinvia alla Linea Guida per la Qualificazione ed il Controllo di accettazione di compositi fibrorinforzati a matrice polimerica FRP da utilizzarsi per il consolidamento strutturale di costruzioni esistenti.

I controlli di accettazione in cantiere:

- Sono obbligatori e di competenza del Direttore dei lavori
- Sono esclusivamente di tipo meccanico

Devono essere eseguiti su campioni ricavati da laminati realizzati in cantiere con i materiali base oggetto di fornitura e con la procedura di installazione prescritta dal fornitore, impiegando gli stessi addetti del cantiere.

Le prove meccaniche devono essere effettuate da un laboratorio autorizzato ai sensi dell'art. 59 del DPR 380/2001, in tempo ritenuto utile dal Direttore dei Lavori ai fini dell'accertamento della qualità e della conformità alle specifiche di progetto dei rinforzi oggetto di fornitura e comunque non oltre 30 gg.

Le condizioni ambientali devono essere le medesime di quelle di installazione.

I laminati devono essere tanti quante sono le classi dei sistemi di rinforzo da installare, tenendo anche conto dell'eventuale molteplicità di fornitori. Devono essere costituiti da 3 strati.

Da ciascun laminato devono essere ricavati 3 campioni, in riferimento ad ogni lotto di spedizione e comunque ogni 500m<sup>2</sup> o frazione di sistema di rinforzo, sempre che il marchio e la documentazione di accompagnamento dimostrino la provenienza del sistema di rinforzo da uno stesso fornitore.





# Controlli per la corretta messa in opera

---

Le prove semi-distruttive (prove di strappo normale o a taglio) sono soprattutto indicative per la caratterizzazione meccanica del sistema di rinforzo messo in opera.

L'eventuale presenza di difetti nella realizzazione può invece essere rilevata mediante prove non distruttive (acustiche, ultrasoniche, termografiche e dinamiche).

Per il numero ed il tipo di prove si rinvia al documento CNR-DT 200 R1/2013.



# Protezione del sistema di rinforzo

Protezione del sistema di rinforzo CARBO-STRUCTURA nel rispetto delle prescrizioni del documento CNR DT 200 R1/2013 paragrafi 4.8.2.3 e 5.8.2.3 di seguito riportati:

1. Nel caso di applicazioni in ambiente esterno è opportuno proteggere il sistema di rinforzo dall'azione diretta dell'irraggiamento solare, che può produrre alterazioni chimico-fisiche nella matrice epossidica.

Ciò può essere ottenuto mediante l'impiego di vernici acriliche protettive, sia in dispersione acquosa sia in solvente, previa pulitura della superficie del composito mediante l'uso di una spugna satura d'acqua saponata.

2. In alternativa, una protezione più elevata può essere garantita dall'applicazione sul composito di intonaci o malte.

Tali intonaci, i cui spessori sono generalmente consigliati dai produttori e/o fornitori, vanno posati sul sistema di rinforzo previa preparazione della superficie mediante applicazione di resina epossidica con successivo spolvero "fresco su fresco" di sabbia silicea.

3. Ai fini della protezione al fuoco possono essere adottate due tecniche differenti: l'uso di pannelli intumescenti o l'applicazione di intonaci protettivi.

In entrambi i casi i produttori e/o i fornitori devono indicare il grado di protezione in relazione allo spessore del rivestimento.

## Manutenzione

Il sistema di rinforzo deve essere monitorato durante la vita utile della struttura per valutare lo stato di conservazione. Le modalità di controllo e la frequenza deve essere stabilita di volta in volta in base al tipo di struttura rinforzata.

Particolare attenzione va posta:

- A seguito di eventi sismici
- Stati eccezionali di sollecitazione della struttura
- Impatti o danneggiamento della struttura
- Lavori nelle zone limitrofe al sistema di rinforzo.

In prima analisi si consiglia un'ispezione visiva con battitura delle zone d'intervento per valutare eventuali distacchi. Successivamente si potrà valutare un ciclo diagnostico non distruttivo come segue:

- Termografia
- Ultrasuoni
- Prove dinamiche

Qualora si dovesse riscontrare un distacco e/o danneggiamento del sistema di rinforzo bisognerà provvedere al ripristino tempestivo.

# Temperature limite di utilizzo del composto

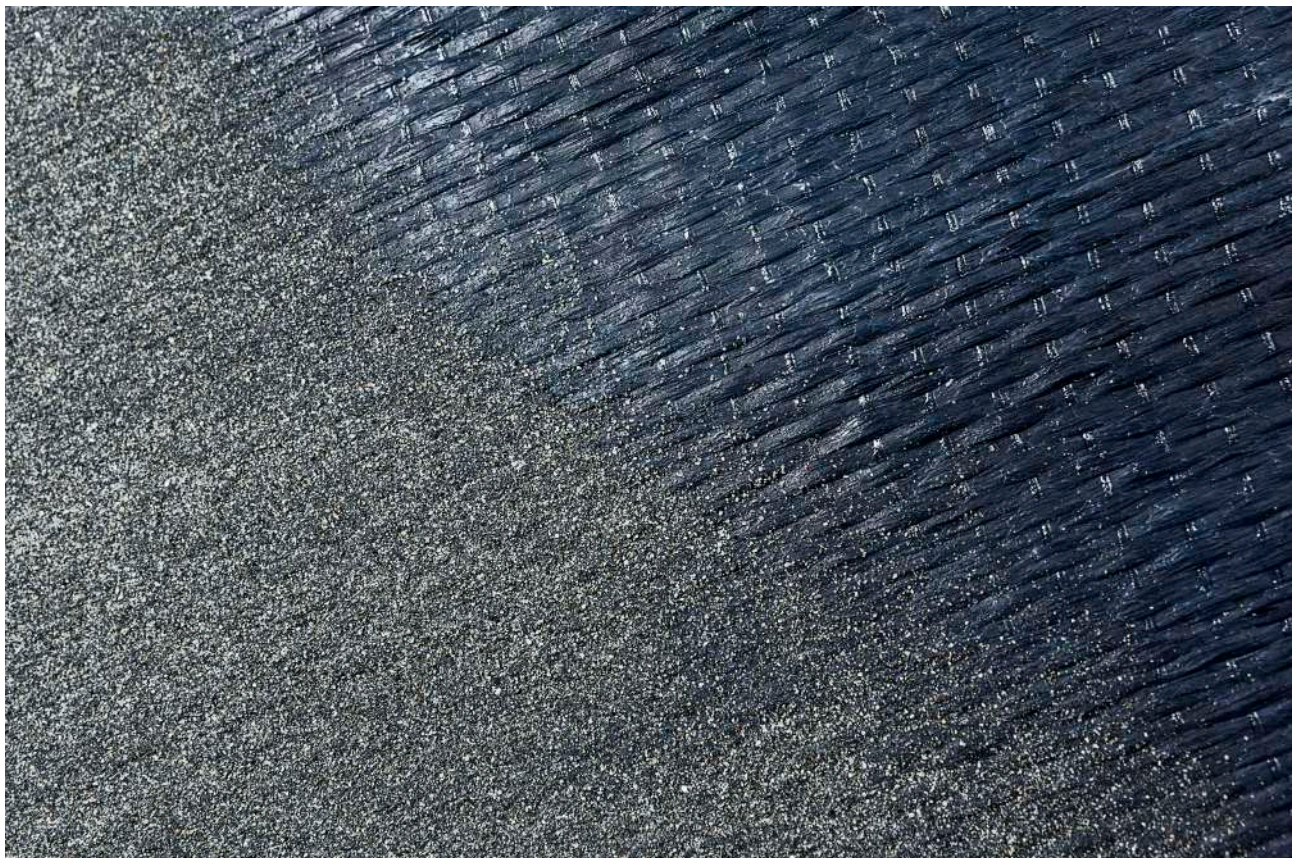
Il sistema CARBO-STRUCTURA è stato sottoposto a prove di durabilità. Tra le varie prove sono state effettuate anche prove di gelo e disgelo sottoponendo i provini a cicli da  $-18^{\circ}\text{C}$  a  $+38^{\circ}\text{C}$ .

Al termine delle prove di condizionamento i provini si presentavano in ottime condizioni senza alcun segno di danneggiamento/degrado.

Le prove meccaniche condotte su tali provini hanno evidenziato valori di sforzo a rottura e modulo elastico in linea con i valori dei provini non condizionati.

Pertanto vengono riportati i valori limite di utilizzo:

- Temperatura limite inferiore  $-18^{\circ}\text{C}$
- Temperatura limite superiore  $+43^{\circ}\text{C}$  (Tg 2° ciclo di riscaldamento  $-15^{\circ}\text{C}$ )



Nelle tabelle seguenti vengono riportati i principali valori ottenuti a seguito delle prove effettuate per la qualificazione dei materiali compositi FRP in accordo alle "Linee Guida per la identificazione, la qualificazione e il controllo di accettazione di composti fibrorinforzati a matrice polimerica (FRP) da utilizzarsi per il consolidamento strutturale di costruzioni esistenti" del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici approvata a maggio 2019.

Aggiorna e sostituisce la precedente Linea Guida pubblicata con DP n. 220 del 9 Luglio 2015. Il documento è scaricabile dal sito del Consiglio superiore dei lavori pubblici.

## Proprietà meccaniche FRP

TIPOLOGIA DI LAMINATO CLASSE 210C	CARICO DI ROTTURA (kN)	SFORZO A ROTTURA (MPa)	MODULO ELASTICO (GPa)
<b>PROVE MECCANICHE (UNI EN 2561)</b>			
3 STRATI da 300 g/m <sup>2</sup> (media)	42,47	4032,56	250,55
CoV [%]	7,43	6,01	2,70
Valore caratteristico	36,16	3547,51	237,03
DEFORMAZIONE ULTIMA [%] $\epsilon_{fib}$	1,42 (ipotesi di comportamento elastico lineare, $\epsilon_{fib} = f_{fib} / E_f$ )		
<b>PROVE MECCANICHE (UNI EN 2561)</b>			
5 STRATI da 300 g/m <sup>2</sup> (media)	63,09	3527,67	241,44
CoV [%]	6,44	5,90	2,20
Valore caratteristico	54,94	3111,24	230,79
DEFORMAZIONE ULTIMA [%] $\epsilon_{fib}$	1,29 (ipotesi di comportamento elastico lineare, $\epsilon_{fib} = f_{fib} / E_f$ )		
<b>RESISTENZA ALL'UMIDITÀ</b>			
3 STRATI da 300 g/m <sup>2</sup> (media)	37,29	3560,15	245,43
<b>RESISTENZA AD AMBIENTI ALCALINI</b>			
3 STRATI da 300 g/m <sup>2</sup> (media)	43,59	4332,8	259,96
<b>RESISTENZA AD AMBIENTI SALINI</b>			
3 STRATI da 300 g/m <sup>2</sup> (media)	42,51	4237,6	258,96
<b>RESISTENZA AI CICLI DI GELO/DISGELO -18°C / +38°C</b>			
3 STRATI da 300 g/m <sup>2</sup> (media)	41,51	4121,1	258,48



● Restauro ● Edilizia ● Consolidamento ● Finiture

## Caratteristiche Geometriche e Fisiche

PROPRIETÀ	VALORE
Densità delle fibre [g/cm <sup>3</sup> ]	1,822
Massa del tessuto per unità di area [g/m <sup>2</sup> ]	319,17 (300 nominale)
Area equivalente [mm <sup>2</sup> /m]	165
Spessore equivalente [mm]	0,165
Densità della resina [g/cm <sup>3</sup> ]	1,31
Rapporto di miscelazione (in peso)	2:1
Frazione in peso delle fibre del composito [%]	31,22
Frazione in volume delle fibre del composito [%]	24,17
Temperatura di transizione vetrosa tre campioni UNI EN ISO 11357 [°C] - Primo ciclo di riscaldamento	42,10
Temperatura di transizione vetrosa tre campioni UNI EN ISO 11357 [°C] - Secondo ciclo di riscaldamento	58,50
Temperature ambientali di messa in opera [°C]	+10 / +30
Temperature ambientali di esercizio [°C]	-18 / +44
Resistenza al fuoco	-
Reazione al fuoco	Classe F

Per ulteriori informazioni, assistenza e/o dimostrazioni pratiche relative al sistema consultare il nostro servizio tecnico.



Le immagini e i relativi colori, le rese e le indicazioni presenti nel catalogo hanno valore puramente indicativo e non costituiscono riferimento assoluto di corrispondenza, e vengono fornite al fine di meglio comprendere l'applicazione dei prodotti o dei Sistemi. Per i dati tecnici contenenti nelle schede tecniche fare sempre riferimento al nostro sito internet. Per ulteriori informazioni e dimostrazioni pratiche relative ai prodotti consultare il ns. servizio tecnico. Per la merce fornita da TCS è sempre disponibile una scheda tecnica, una scheda di sicurezza nonché le relative certificazioni. La società si riserva di apportare in qualsiasi momento e senza preavviso le modifiche che riterrà necessarie. Pertanto verificare che i documenti in vostro possesso siano sempre aggiornati.



# CARBO STRUCTURA

---

Sistema di consolidamento FRP classe 210C.

---

Manuale di preparazione e installazione del sistema.

---

