



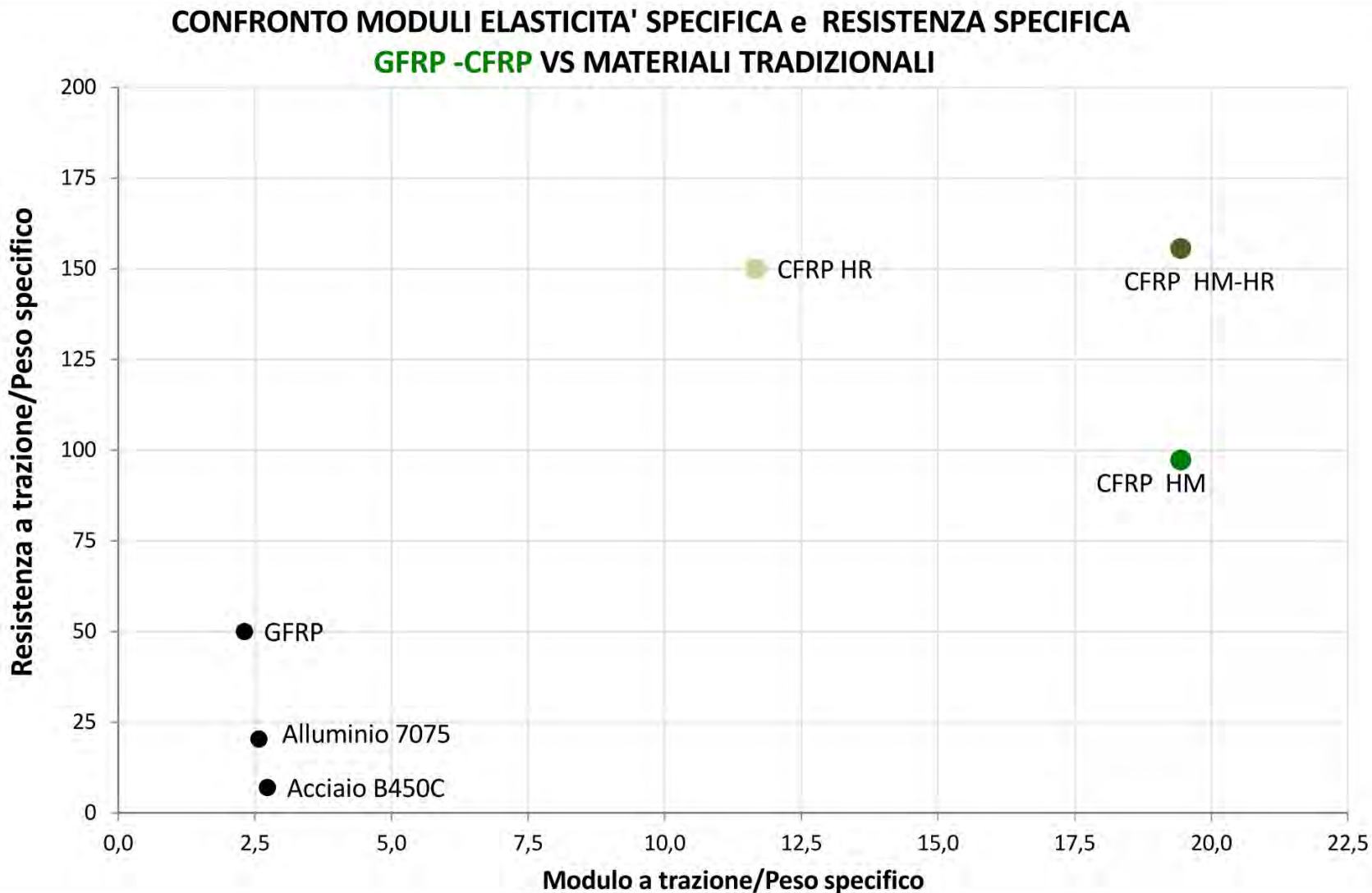
# COMPOSITI CFRP PER IL CONSOLIDAMENTO DELLE STRUTTURE



**CARATTERISTICHE – NORMATIVE**  
**PROVE QUALIFICAZIONE - PROVE ACCETTAZIONE**



## CARATTERISTICHE DEI MATERIALI COMPOSITI





FIBRE – TESSUTI- LAMINATI

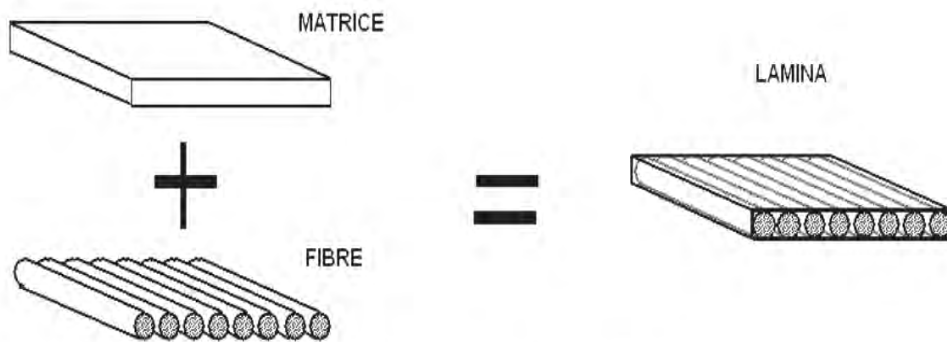
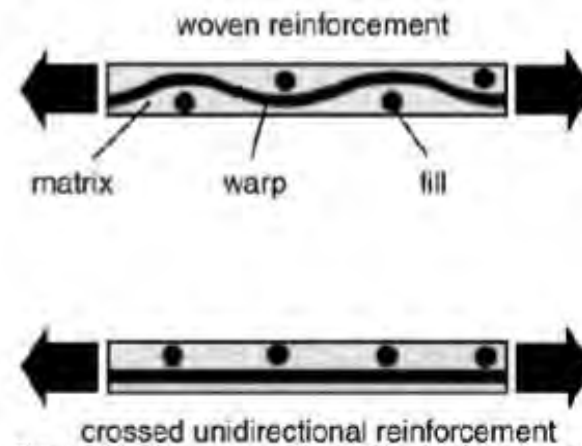
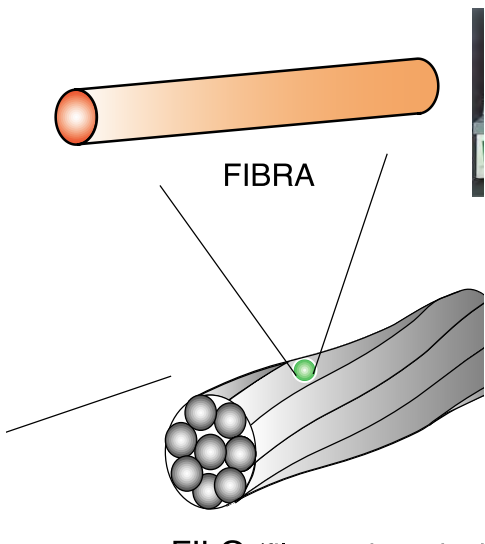


Figura 2.16 - Schema semplificato di una lamina

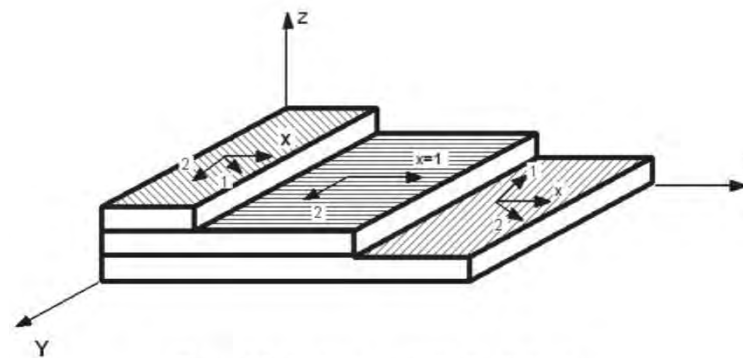
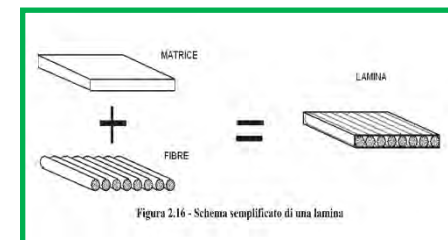
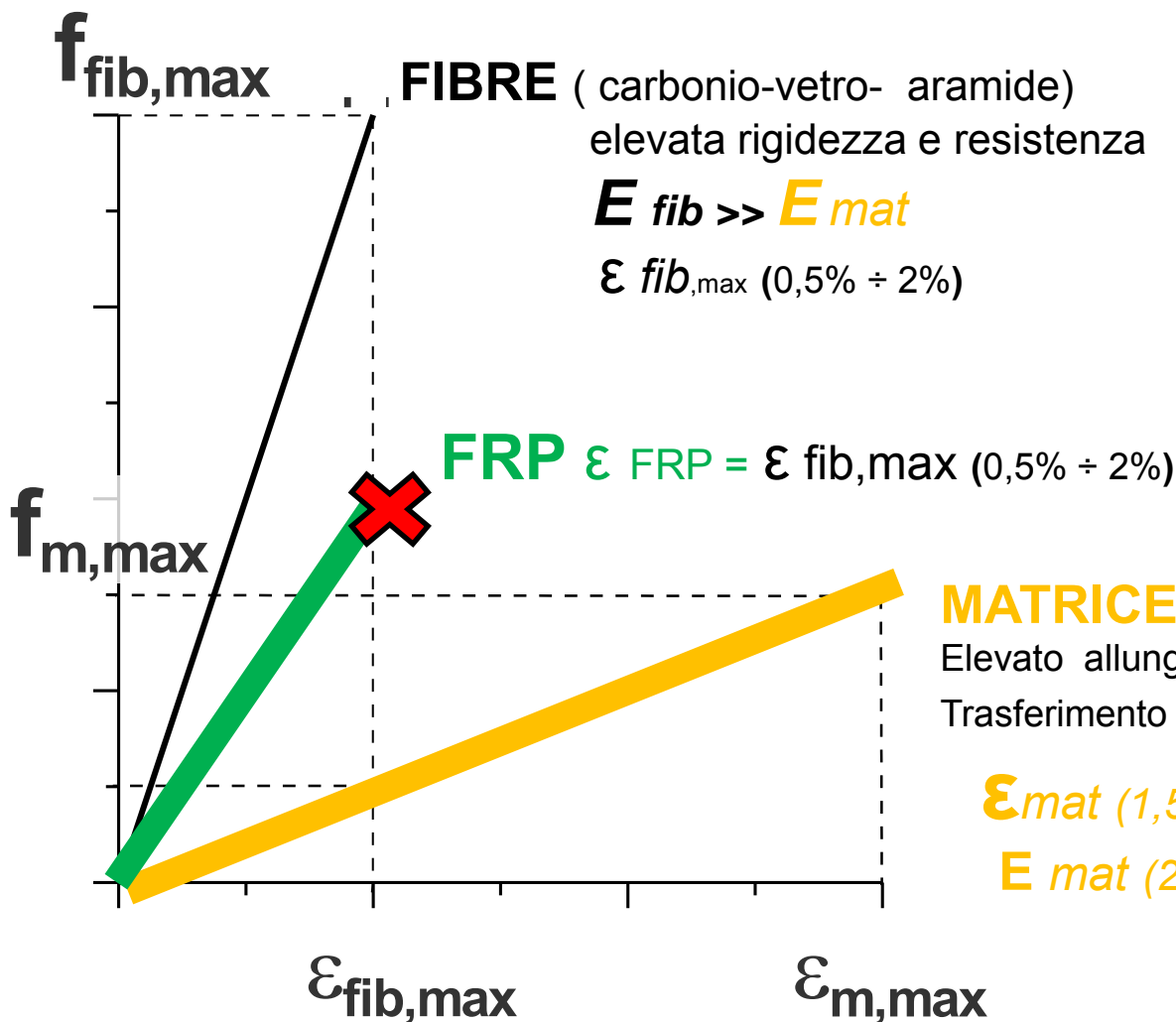


Figura 1.3 - laminato costituito da più lamine.





## CARATTERISTICHE DEI MATERIALI COMPOSITI



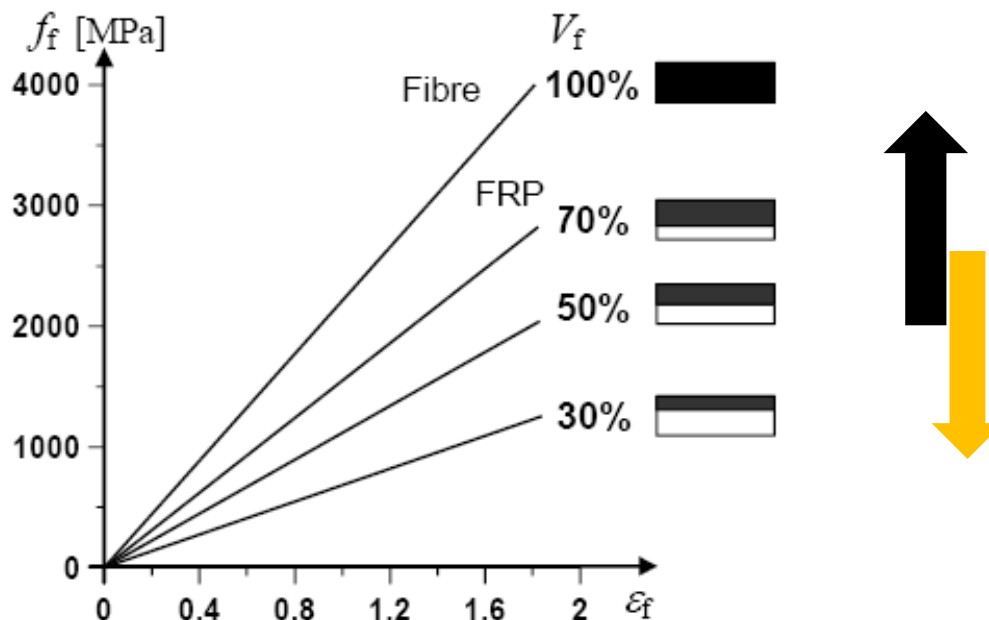
**MATRICE ( Resina Epossidica)**  
 Elevato allungamento – Basso modulo elastico  
 Trasferimento sforzi tra le fibre

$$\epsilon_{mat} (1,5\% \div 5\%) \gg \epsilon_{fib}$$

$$E_{mat} (2 \div 3Gpa) = 1/100 E_{fib}$$



**CARATTERISTICHE DEI MATERIALI COMPOSITI**



**Figura 2-2** – Dipendenza del legame costitutivo del composito dalla frazione volumetrica.

**LA REGOLA DELLE MISCELE**

**PROPRIETA' MECCANICHE DELL' FRP =  
 media pesata dei costitutivi**

$$E_f = V_{fib} \cdot E_{fib} + (1 - V_{fib}) \cdot E_{mat}$$

$$f_f \cong V_{fib} \cdot f_{fib} + (1 - V_{fib}) \cdot f_{mat}$$



## CARATTERISTICHE DEI MATERIALI COMPOSITI

### GRADO DI ANISOTROPIA – MODULI ELASTICI VS DIREZIONE FIBRE

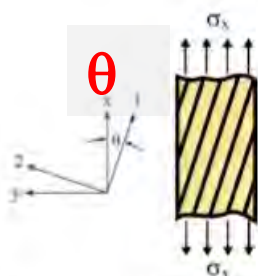


Figura 9-3 – Definizione dei sistemi di riferimento x, y e 1, 2.

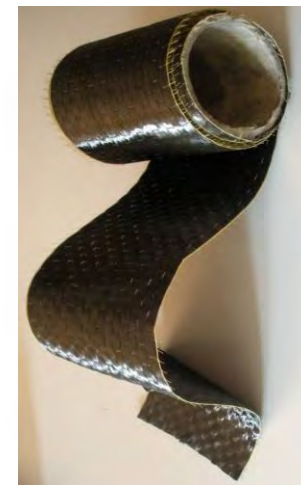
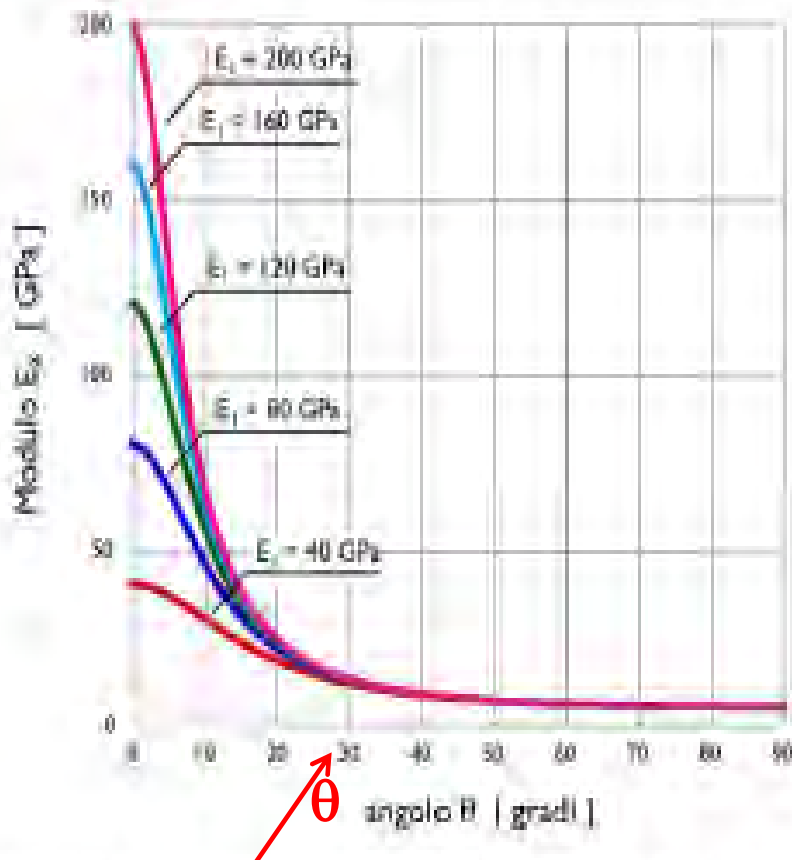
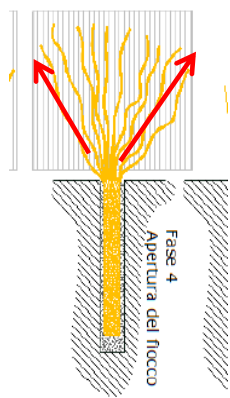


Figura 9-4 – Modulo di elasticità normale  $E_x$  al variare dell'angolo di rotazione  $\theta$  per compositi fibronforzati con diverso valore del modulo di elasticità normale  $E_1$

# Ordine degli Ingegneri della Provincia di Forlì – Cesena

## CONSOLIDAMENTI STRUTTURALI MEDIANTE FRP



CNR – Commissione incaricata di formulare pareri in materia di normativa tecnica relativa alle costruzioni

### CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE

COMMISSIONE INCARICATA DI FORMULARE PARERI IN MATERIA  
DI NORMATIVA TECNICA RELATIVA ALLE COSTRUZIONI

## Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed 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



CNR-DT 200/2004

Il presente Documento Tecnico è stato predisposto da un Gruppo di studio così composto:

AIELLO Prof. Maria Antonietta	- Università di Lecce
ASCIONE Prof. Luigi	- Università di Salerno
BARATTA Prof. Alessandro	- Università "Federico II" - Napoli
BASTIANINI Ing. Filippo	- Università di Bologna
BENEDETTI Prof. Andrea	- Università di Bologna
BERARDI Ing. Valentino Paolo	- Università di Salerno
BORRI Prof. Antonio	- Università di Perugia
BRICCOLI BATTI Prof. Silvia	- Università di Firenze
CERONI Ing. Francesca	- Università del Sannio - Benevento
CERSOSIMO Ing. Giuseppe	- Interbau S.r.l. - Milano
COSENZA Prof. Edoardo	- Università "Federico II" - Napoli
CREDALI Dott. Lino	- Ardea S.r.l. - Casalecchio (BO)
DE LORENZIS Ing. Laura	- Università di Lecce
FAELLI Prof. Ciro	- Università di Salerno
FANESI Ing. Elisabetta	- Politecnico di Milano
FEO Prof. Luciano	- Università di Salerno
FORABOSCHI Prof. Paolo	- IUAV - Venezia
FRASSINE Prof. Roberto	- Politecnico di Milano
GIACOMIN Ing. Giorgio	- Maxfor - Quarto d'Altino (VE)
GRANDI Ing. Alberto	- Sika Italia S.p.a. - Milano
IMBIMBO Prof. Maura	- Università di Cassino
LA TEGOLA Prof. Antonio	- Università di Lecce
LAGOMARSINO Prof. Sergio	- Università di Genova
LUCIANO Prof. Raimondo	- Università di Cassino
MACERI Prof. Franco	- Università "Tor Vergata" - Roma
MAGENES Prof. Guido	- Università di Pavia
MANFREDI Prof. Gaetano	- Università "Federico II" - Napoli
MANTEGAZZA Dott. Giovanni	- Ruredil S.p.a. - Milano
MARTINELLI Ing. Enzo	- Università di Salerno
MODENA Prof. Claudio	- Università di Padova
MONTI Prof. Giorgio	- Università "La Sapienza" - Roma
MORANDINI Ing. Giulio	- Mapei S.p.a. - Milano
NANNI Prof. Antonio	- Università "Federico II" - Napoli
NIGRO Prof. Emidio	- Università "Federico II" - Napoli
OLIVITO Prof. Renato Sante	- Università della Calabria - Cosenza
PASCALE Prof. Giovanni	- Università di Bologna
PECCE Prof. Maria Rosaria	- Università del Sannio - Benevento
PISANI Prof. Marco Andrea	- Politecnico di Milano
POGGI Prof. Carlo	- Politecnico di Milano
PROTA Ing. Andrea	- Università "Federico II" - Napoli
REALFONZO Prof. Roberto	- Università di Salerno
ROSATI Prof. Luciano	- Università "Federico II" - Napoli
SACCO Prof. Elia	- Università di Cassino

RIFERIMENTI TECNICI: 1 - CNR DT 200 /2004

CNR-DT 200/2004

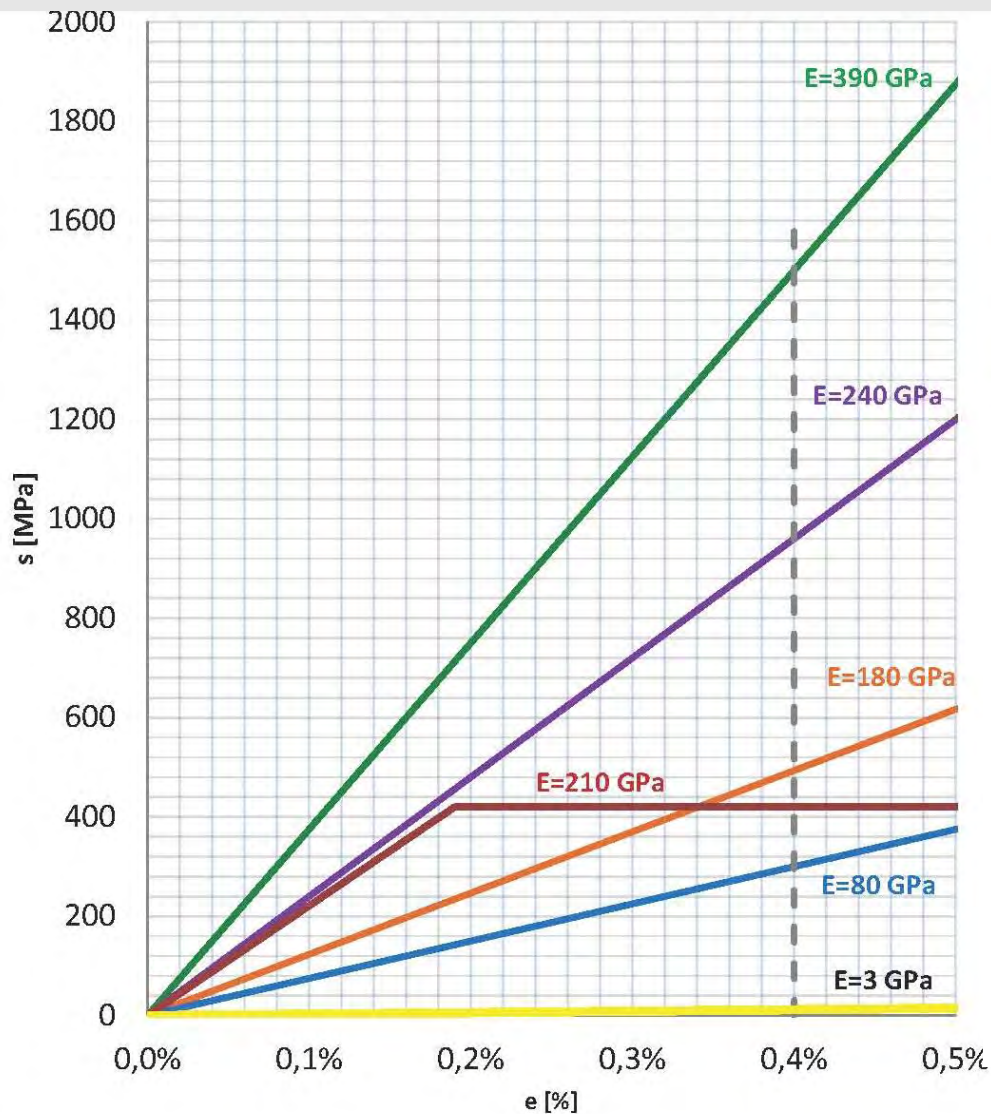
ROMA – CNR 13 luglio 2004

162

# Ordine degli Ingegneri della Provincia di Forlì – Cesena CONSOLIDAMENTI STRUTTURALI MEDIANTE FRP



CNR DT.200/2004 Proprietà fibre previste **Vs. Acciaio**



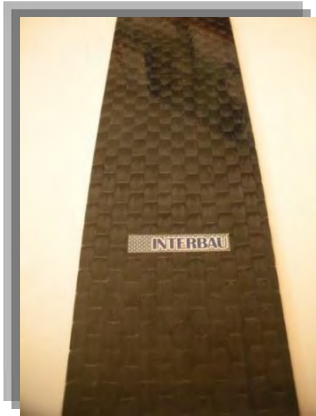
- CARBONIO HM
- CARBONIO HR
- ARAMIDE
- VETRO
- ACCIAIO
- RESINA EPOSSIDICA

	Modulo di elasticità normale $E$	Resistenza a trazione $\sigma_T$	Deformazione a rottura $\epsilon_T$
	[GPa]	[MPa]	[%]
Fibre di vetro E	70 – 80	2000 – 3500	3.5 – 4.5
Fibre di vetro S	85 – 90	3500 – 4800	4.5 – 5.5
Fibre di carbonio (alto modulo)	390 – 760	2400 – 3400	0.5 – 0.8
Fibre di carbonio (alta resistenza)	240 – 280	4100 – 5100	1.6 – 1.73
Fibre aramidiche	62 – 180	3600 – 3800	1.9 – 5.5
Matrice polimerica	2.7 – 3.6	40 – 82	1.4 – 5.2
Acciaio da costruzione	206	250 – 400 (snervamento) 350 – 600 (rottura)	20 – 30





CNR DT.200/2004 SISTEMI FRP PREVISTI



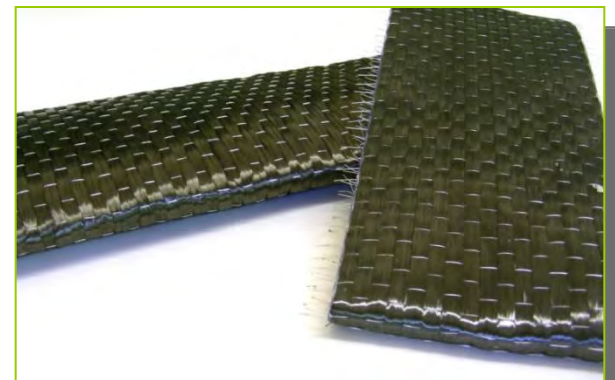
## LAMINE PREFORMATE

Sono prodotte in stabilimento mediante pultrusione o laminazione

- sono applicate mediante adesivi a norma EN

## Impregnati in situ wet layup systems

- \_tessuti UD o multidirezionali
- da impregnare in situ





**fibre/matrici previste dal CNR DT 200 /2004**

**2.5 PROBLEMI SPECIALI DI PROGETTO E FATTORI DI CONVERSIONE**

**2.5.1 Azioni ambientali e fattore di conversione ambientale  $\eta_a$**

Le proprietà meccaniche (per esempio la resistenza a trazione, la deformazione ultima ed il modulo di elasticità normale) di alcuni sistemi di FRP degradano in presenza di determinate condizioni ambientali quali: ambiente alcalino, umidità (acqua e soluzioni saline), temperature estreme, cicli termici, cicli di gelo e disgelo, radiazioni ultraviolette (UV).

Di tali effetti si può tenere conto forfetariamente attraverso l'introduzione di un fattore di conversione ambientale,  $\eta_a$ , cui vanno attribuiti i valori riportati in Tabella 2-3.

**FIBRE  
 AMMESSE**

**CARBONIO  
 VETRO  
 ARAMIDE**

**MATRICI  
 AMMESSE**

**EPOSSIDICA**

**Tabella 2-3 – Fattore di conversione ambientale  $\eta_a$  per varie condizioni di esposizione e vari sistemi di FRP.**

Condizione di esposizione	Tipo di fibra / resina	$\eta_a$
Interna	Vetro / Epossidica	0.75
	Arammidica / Epossidica	0.85
	Carbonio / Epossidica	0.95
Esterna	Vetro / Epossidica	0.65
	Arammidica / Epossidica	0.75
	Carbonio / Epossidica	0.85
Ambiente aggressivo	Vetro / Epossidica	0.50
	Arammidica / Epossidica	0.70
	Carbonio / Epossidica	0.85



CNR DT 200/2004 COEFFICIENTI RIDUTTIVI  $\alpha_{fE}$   $\alpha_{ff}$

### 2.3.3.2 Caratteristiche meccaniche

Nel caso di sistemi impregnati *in situ*, le proprietà meccaniche del composito non possono essere determinate semplicemente moltiplicando l'area resistente del tessuto secco,  $A_{rt}$ , valutata in accordo con la (2.6), per i valori del modulo di elasticità normale e della resistenza delle fibre o del tessuto. I valori riferiti alle fibre non tengono infatti conto della reale geometria del tessuto (tessitura, trama-ordito). A tal riguardo è necessario segnalare che le curvature esibite dai fasci di fibre, in corrispondenza delle intersezioni trama-ordito, influenzano in modo considerevole le proprietà meccaniche del tessuto. Allo stesso modo, i valori di rigidità e resistenza riferiti al tessuto secco, se eventualmente disponibili, non sarebbero utilizzabili direttamente per determinare le quantità relative al composito: essi infatti prescindono dalla presenza di imperfezioni geometriche (allineamento e regolarità di distribuzione delle fibre), di quella di vuoti e della irregolarità di distribuzione della resina influenzata dall'architettura del tessuto.

### 2.3.3.3 Schede tecniche per sistemi impregnati *in situ*

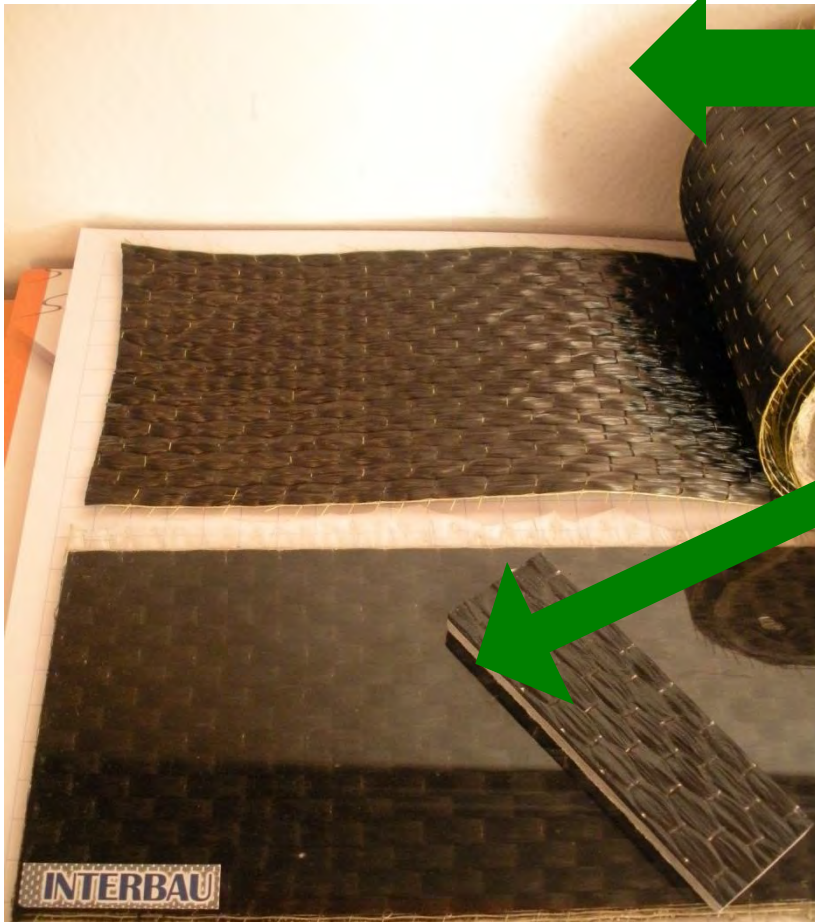
Per i sistemi impregnati *in situ* non è possibile formulare una scheda tecnica specifica ed è necessario rifarsi alle caratteristiche tecniche dei tessuti non impregnati (secchi). È comunque indispensabile che i fornitori e/o i produttori indichino i valori dei coefficienti riduttivi  $\alpha_{fE}$  ed  $\alpha_{ff}$ , fornendo puntuali informazioni sulla campagna di prove sperimentali eseguite.

$$A_f E_f = \alpha_{fE} \cdot A_{fib} \cdot E_{fib}, \quad (2.10)$$

dove la quantità  $A_{fib}$  rappresenta l'area resistente del tessuto,  $A_{rt}$ , nella direzione considerata, valutata in accordo con quanto suggerito nel § 2.3.3.1,  $E_{fib}$  è il modulo di elasticità normale delle fibre nude, mentre il prodotto  $A_f E_f$  è quello che compete al composito dopo l'impregnazione. Il coefficiente

# IL MIGLIORAMENTO SISMICO DEGLI EDIFICI INDUSTRIALI

## CFRP CARBOSTRU® MATERIALI COSTITUTIVI



Proprietà meccaniche <b>CARBOSTRU® UD HM 400</b>	
Carico di rottura a trazione delle fibre	3.100 MPa
Modulo elastico	390 GPa
Coefficiente riduttivo modulo Elastico $\alpha_{fE}$	0,9
Allungamento a rottura delle fibre	0,80%
Coefficiente riduttivo resistenza fibre $\alpha_{ff}$	0,7
Densità fibra	1,79 g/m <sup>2</sup>
Grammatura	400 g/m <sup>2</sup>
Larghezza del nastro	10 - 15 cm
Spessore di calcolo	0,22 mm
Coeff. di dilatazione termica lineare	-0.1 x 10 <sup>-6</sup>

Proprietà meccaniche <b>CARBOSTRU® RS85 a 23°C</b>	
Temperatura di transizione vetrosa Tg*	85 °C
Modulo elastico a flessione	3.000 MPa
Resistenza a trazione	70 MPa
Allungamento a rottura	6.0%

Proprietà meccaniche <b>CARBOSTRU® AD</b>	
Adesione Cls /CFRP	>4 N/mm <sup>2</sup>
Adesione Cls /PROFILI VTR-Fe_Ad	11 N/mm <sup>2</sup>
Modulo elastico	12.800 MPa
Resistenza a taglio	>15 N/mm <sup>2</sup>
Coefficiente di dilatazione termica lineare	9x10 <sup>-5</sup> °C







CNR DT200/2004

2.5 Accettazione Materiali-

**“I materiali fibrorinforzati da utilizzarsi per il consolidamento di strutture devono essere assoggettati ad una serie di controlli che assicurino un livello adeguato delle caratteristiche meccaniche e fisiche in analogia a quanto avviene per gli altri materiali da costruzione.”**

**“Le prove meccaniche e fisiche devono essere eseguite da Laboratori Qualificati che dispongano di tutte le attrezzature necessarie e che abbiano comprovata esperienza nella caratterizzazione dei materiali compositi.**

“

# Ordine degli Ingegneri della Provincia di Forlì – Cesena CONSOLIDAMENTI STRUTTURALI MEDIANTE FRP



controlli FRP in opera : prova pull - off

## Prove ADESIONE FRP - CLS



CNR-DT 200/2004



Figura 2-10 – Confronto tra le diverse tipologie di frattura.

COLLAUDO INTERVENTI DI CONSOLIDAMENTO MEDIANTE FRP  
(Linee Guida FRP del CC.SS.I.L.PP del 24-07-09 – cfr. 5.8)

TIPOLOGIA PROVE: SEMIDISTRUTTIVE A STRAPPO NORMALE

Impresa esecutrice rinforzi in CFRP: INTERBAU S.r.l., Via Leon Battista Alberti 10 - 20149 Milano

Denominazione e Produttore Sistema di Rinforzo: CARBOSTRUB / INTERBAU S.r.l.

Cantiere: CISTEMME CASALPUSTERENGO (LO) Commessa: 637/11  
VIA FLEHING

Progettista: ing. SIMONE

Direttore dei Lavori: ing. SIMONE

Collaudatore: ing. RATTOLLI

Scheda n° 1/1/1

Allegati n° foto n°5

Strumentazione di prova: PosiTect AT-A

Identificativo Provino	Ordine di Immissione n°	Esistente (PL/TR)	Resistenza di Prova allo Strappo (MPa)		Tipologia di Frattura	
			Valore strumentale (MPa)	Tipo	Libro	
PIANO TERRA CORPO B	PL26		1,54	COESIVA	CLS	
PIANO TERRA CORPO B	PL24		1,96	COESIVA	CLS	
PIANO TERRA CORPO B	PL21		0,59	COESIVA	CLS	
PIANO TERRA CORPO B	PL18		1,02	COESIVA	CLS	
PIANO TERRA CORPO B	PL14		1,05	COESIVA	CLS	
PIANO TERRA CORPO B						



L'Impresa Esecutrice delle Prove  
**INTERBAU S.R.L.**  
Via Leon Battista Alberti 10 - Tel. 02 2491400  
20149 MILANO  
PIVA e C.F. 04220159

Il Direttore dei Lavori

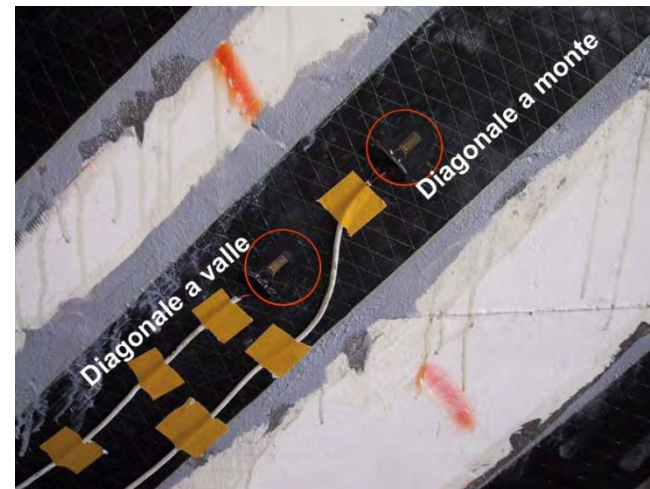
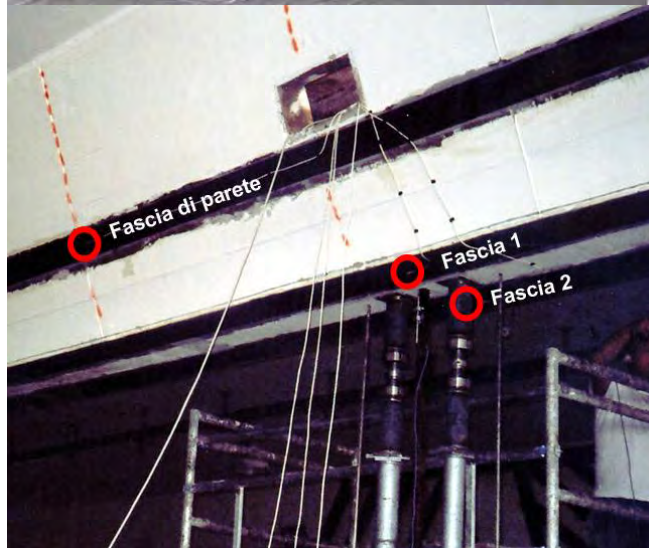
Il Collaudatore

Data: 21/9/2011

Ordine degli Ingegneri della Provincia di Forlì – Cesena  
**CONSOLIDAMENTI STRUTTURALI MEDIANTE FRP**



controlli FRP: **ACQUISIZIONE DEFORMAZIONI / TENSIONI**





Ordine degli Ingegneri della Provincia di Forlì – Cesena  
**CONSOLIDAMENTI STRUTTURALI MEDIANTE FRP**



Prof. Carlo Poggi e Ing. Giulia Fava

# Il controllo di accettazione di materiali fibrorinforzati per il rinforzo strutturale

COKIT: un sistema per la caratterizzazione di materiali compositi per le costruzioni

I Quaderni tecnici  
di Assocompositi



**2007**

*Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici*

**Linee guida  
per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Collaudo  
di Interventi di Rinforzo di strutture di c.a., c.a.p.  
e murarie mediante FRP**

**RIF. TECNICI: 2- LINEE G. PROGETTAZIONE FRP C.S.L.P. 2009**



**ASSOCOMPOSITI**  
Associazione italiana compositi & affini

**2009**





## 5.7 CONTROLLI DI ACCETTAZIONE DEI MATERIALI

I direttori dei lavori devono verificare, mediante un prelievo eseguito in cantiere, che le caratteristiche meccaniche del prodotto fornito per l'installazione soddisfino i requisiti indicati dal progettista. Tale operazione si distingue per i compositi pultrusi o laminati *in situ*:

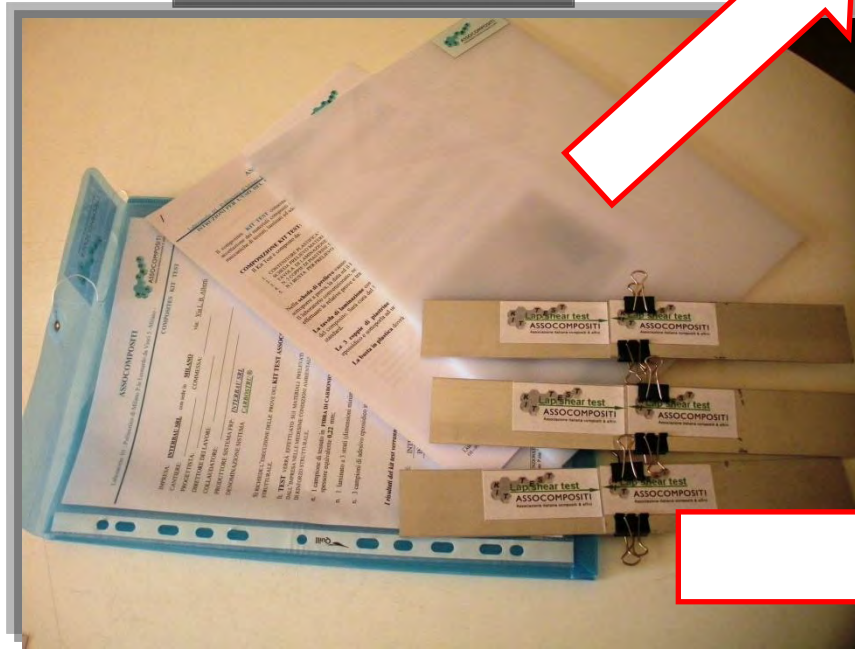
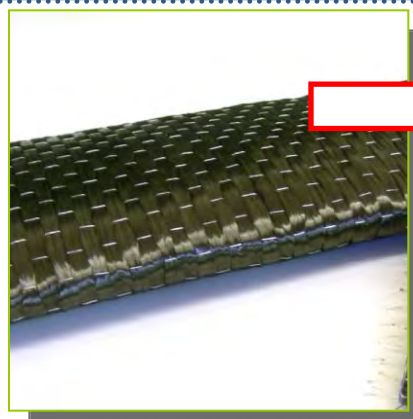
- a) *Laminati pultrusi*. Si deve prevedere un prelievo di campioni del composito e dell'adesivo da parte del Direttore dei Lavori che dovrà inviarli, sotto la propria responsabilità, ad un Laboratorio abilitato ai sensi dell'art.59 del DPR n.380/2001 per l'effettuazione di prove sperimentali e relativa certificazione.
  
- b) *Compositi laminati in situ*. E' necessario produrre in cantiere un campione di composito da sottoporre a prove di certificazione. La produzione in cantiere deve essere effettuata con tecniche simili a quelle utilizzate per le strutture da consolidare, impiegando gli stessi tecnici ed utilizzando gli stessi materiali. Il laminato sarà prodotto in un formato di dimensioni tali da poter ritagliare un numero sufficiente di provini da sottoporre a prova (almeno tre). I prelievi e la preparazione dei provini devono essere svolti sotto la supervisione del Direttore dei Lavori che, successivamente, potrà consegnare i provini ad un laboratorio abilitato ai sensi dell'art.59 del DPR n.380/2001 per l'effettuazione di prove sperimentali e relativa certificazione. In particolare dovranno essere controllate:
  - i) le caratteristiche fisiche del tessuto utilizzato :
    - massa del tessuto per unità di area (ISO 3374);
    - area e spessore equivalente;
  - ii) le caratteristiche meccaniche del composito preparato in cantiere :
    - modulo elastico, resistenza e deformazione a rottura (ISO 527-4,5);
  - iii) le proprietà meccaniche dell'adesivo strutturale impiegato per l'incollaggio del rinforzo:
    - resistenza a taglio dell'adesivo da prove di un giunto adesivo (ISO 4587).

E' possibile effettuare altri controlli delle caratteristiche fisico meccaniche come descritto al paragrafo 5.7.1.

Ordine degli Ingegneri della Provincia di Forlì – Cesena  
**CONSOLIDAMENTI STRUTTURALI MEDIANTE FRP**



**COKIT : Controlli Accettazione materiali Compositi**

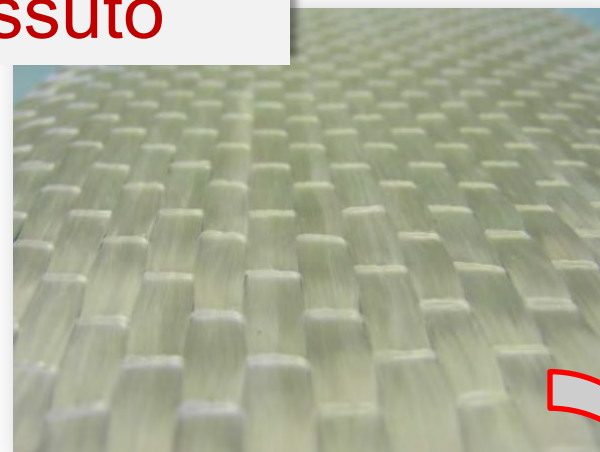
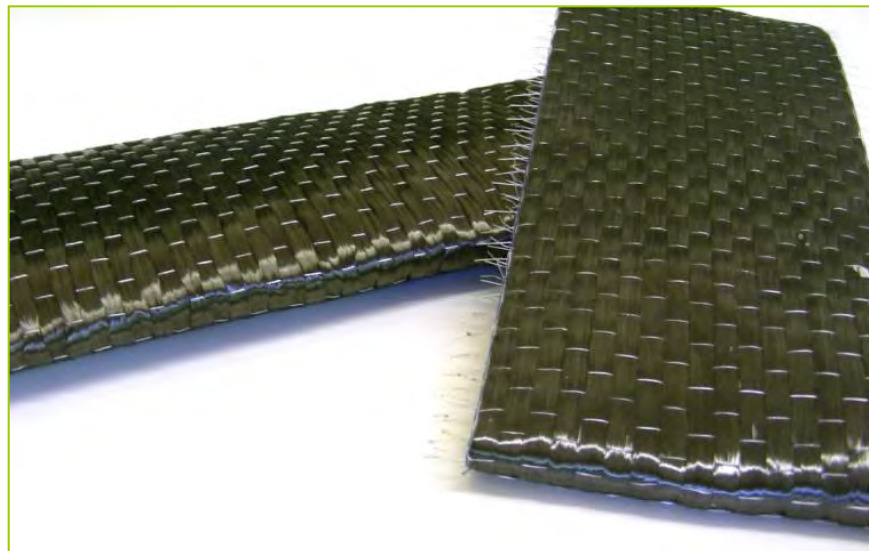


**PREPARAZIONE IN CANTIERE DEL LAMINATO + GIUNTO ADESIVO**

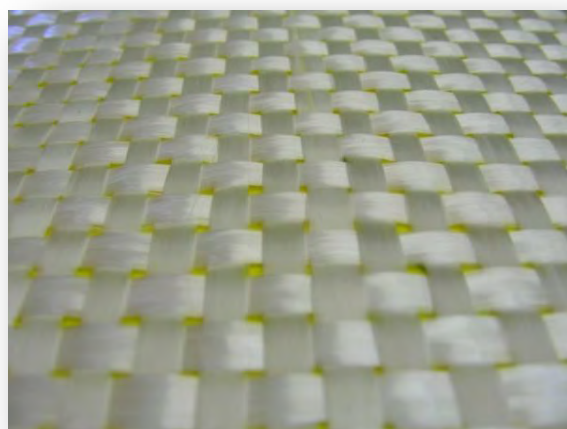




## A) Caratteristiche fisiche del tessuto



Tessuti unidirezionali



- + tipo fibra (C – V- A)
- + tessitura (UD- BD)
- + Spessore
- + grammatura
- + peso specifico

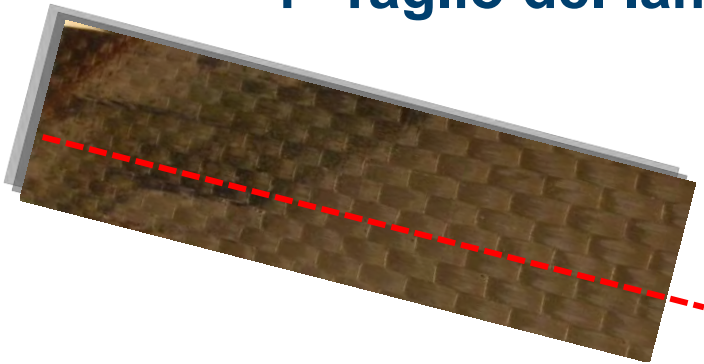
Tessuto bidirezionale



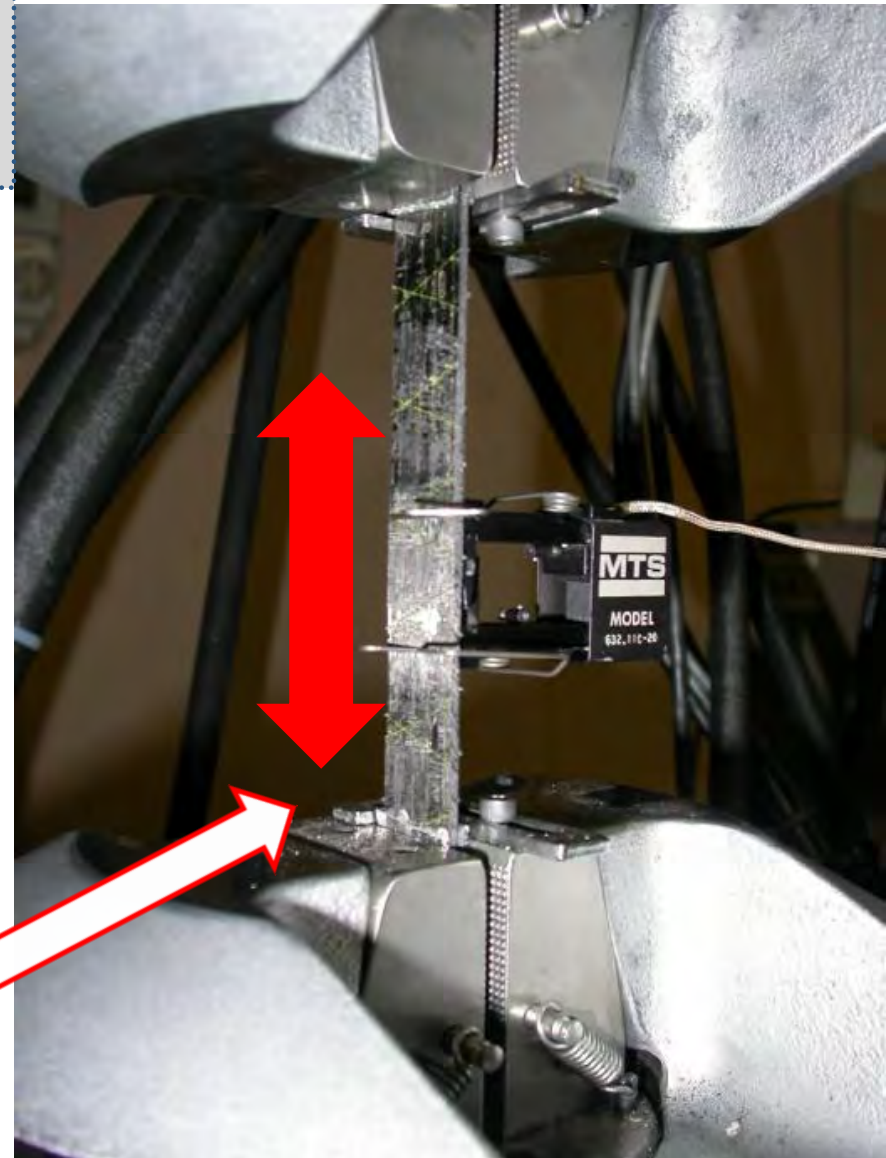
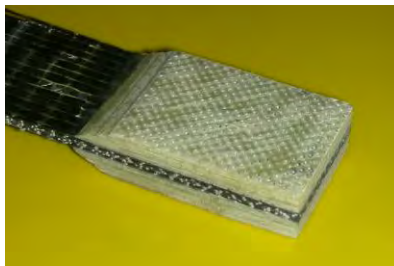


B- Prove di trazione  
LAMINATI  
PRODOTTI IN SITU

**1- Taglio del laminato**



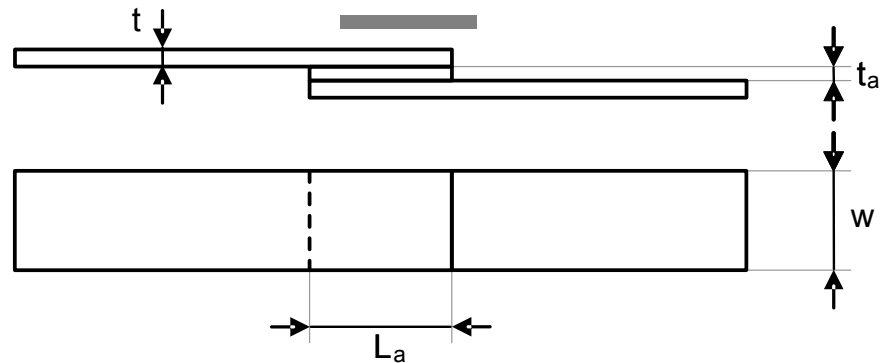
**2- incollaggio dei tabs**







## C- Resistenza a taglio del giunto adesivo



La tensione tangenziale massima corrispondente alla rottura del provino  $P_u$  deve risultare superiore alla resistenza alle tensioni tangenziali dell'adesivo.

$$\tau_{\max} > \tau_0$$



# Ordine degli Ingegneri della Provincia di Forlì – Cesena

## CONSOLIDAMENTI STRUTTURALI MEDIANTE FRP



Poitecnico di Milano - Dipartimento di Ingegneria Strutturale

Cod. Cliente INTER01 Certificato di prova n° 2007/2506/1 pag. 1 di 5



POLITECNICO DI MILANO  
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA STRUTTURALE  
LABORATORIO PROVE MATERIALI  
PIAZZA LEONARDO DA VINCI, 32 - 20133 MILANO

Sede di Milano (sede legale e amministrativa)  
Accettazione materiale - Via Celoria, 3 (8:30 - 12:00)  
Tel. 02 2399 4210 - Fax 02 2399 4211

Sede di Lecco  
Corso Promessi Sposi, 29 - 23900 Lecco  
Tel. 0341 48.8793 - Fax 0341 48.8771

Partita I.V.A. 04376620151  
Codice fiscale 80057930150

Codice cliente INTER01  
Codice certificato 2007/2506/1

Spett.le  
INTERBAU S.R.L.  
VIA L.B. ALBERTI, 10  
20149MILANO - MI (1)

Certificato di Prova N. 2007/2506 emesso in Milano il 26/07/2007

Richiedente: INTERBAU S.R.L. - MILANO

Ingresso materiale: 25/07/2007

### CERTIFICATO DI PROVA

PROVE SPERIMENTALI " COMPOSITES KIT TEST"

Sulle pagine seguenti sono riportati:

- le date di esecuzione delle prove;
- la descrizione dei campioni e le modalità di prova;
- i risultati ottenuti.

I risultati contenuti si riferiscono esclusivamente agli oggetti provati.

Questo certificato di prova consta di pag. 5 e dell'Allegato di pag. 1 che ne costituisce parte integrante e contiene le dichiarazioni sottoscritte dal Richiedente.

Tutte le pagine sono individuate dal N. 2007/2506/1.

Il presente certificato di prova può essere riprodotto solo integralmente e deve essere assoggettato a bollo in caso d'uso ai sensi del D.P.R. 642/72.

IL DIRETTORE DEL DIPARTIMENTO



**25.7.2007**

**1a Prova Accettazione  
FRP eseguita in Italia**

Poitecnico di Milano - Dipartimento di Ingegneria Strutturale

Cod. Cliente INTER01 Certificato di prova n° 2007/2506/1 pag. 3 di 5-



POLITECNICO DI MILANO  
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA STRUTTURALE  
LABORATORIO PROVE MATERIALI  
20133 MILANO - P.ZA LEONARDO DA VINCI, 32

Sede di Lecco  
C.so Promessi Sposi, 29  
23900 Lecco  
Tel.: 0341-48.8793  
Fax : 0341-48.8771

Sede di Milano  
accettazione materiale: Via Celoria, 3 Tel.: 02-2399.4210 Fax : 02-2399.4211

Cod. Fiscale 80057930150  
P. IVA 04376620151

Il richiedente: INTERBAU srl

	$t_c$ [mm]	CoV ( $t_c$ )	$b_c$ [mm]	CoV ( $b_c$ )
C1	28.73	0.0011	2.47	0.0123
C2	28.96	0.0024	2.57	0.0112
C3	28.91	0.0018	2.43	0.0111

### Macchine e modalità di prova:

I provini di materiale composito sono stati sottoposti a prove di trazione uniassiale al fine di determinare il valore del modulo elastico e del carico di rottura. Non si è fatto uso di taloni. Le prove sperimentali sono state effettuate in controllo di spostamento (0.2 mm/min) con una macchina di prova servoidraulica (MTS Systems Corporation) da 250 kN. I provini sono stati strumentati tramite un estensometro MTS 632.85F-05 con base di misura 25 mm fino ad un valore di deformazione pari a 0.3%.

### Risultati:

Di seguito vengono illustrati i risultati ottenuti dalla prova di trazione:

- 1) carico di rottura  $P_u$ ;
- 2) deformazione di rottura  $\epsilon_{fu}$  (ricavata per estrapolazione dei dati dell'estensometro);
- 3) tensione di rottura del composito ( $f_f = P_u / A_f$ );
- 4) tensione di rottura delle fibre ( $f_{fb} = P_u / A_{fb}$ );
- 5) modulo elastico del composito,  $E_f$ ;
- 6) modulo elastico della fibra,  $E_{fb}$ .

	$P_u$ [N]	$\epsilon_{fu}$ [%]	$f_f$ [MPa]	$f_{fb}$ [MPa]	$E_f$ [MPa]	$E_{fb}$ [MPa]
C1	50392	0.703	710.12	2657.55	100943	377771
C2	53226	0.752	715.14	2784.72	95145	370490
C3	47675	0.749	678.64	2498.61	90581	333502
media	50431	0.735	701.30	2646.96	95556	360588

I valori di  $\sigma_{fb}$  e  $E_{fb}$  sono stati ricavati sulla base dello spessore equivalente delle fibre di carbonio, come riportato nel documento CNR-DT 200/004 (Equazioni 2.4 e 2.5).



alcune imperfezioni quali presenza di bolle d'aria che si estendevano lungo la spessore della lamina di materiale composito non sempre perfettamente costante. I assimità dell'afferraggio in direzione trasversale alle fibre nei provini C1 e C2. Nel rottura di tipo interlaminare in direzione longitudinale.

mentatore  
Fava



Il Responsabile Tecnico  
Prof. Ing. Carlo Poggi

# Ordine degli Ingegneri della Provincia di Forlì – Cesena CONSOLIDAMENTI STRUTTURALI MEDIANTE FRP



Politecnico di Milano - Dipartimento di Ingegneria Strutturale Cod. Cliente INTER01 Certificato di prova n° 2007/2506/1 pag. 4 di 5-



POLITECNICO DI MILANO  
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA STRUTTURALE  
LABORATORIO PROVE MATERIALI  
20133 MILANO - P.ZA LEONARDO DA VINCI, 32

Sede di Lecco  
C.so Promessi Sposi, 29  
23900 Lecco  
Tel.: 0341-48.8793  
Fax: 0341-48.8771

Sede di Milano  
accettazione materiale: Via Celoria, 3 Tel.: 02-2399.4210 Fax : 02-2399.4211

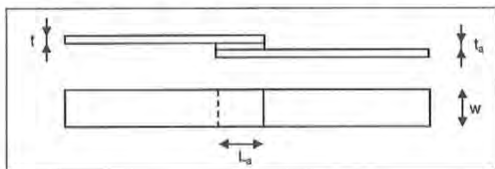
Cod. Fiscale 90057930150  
P. IVA 04376620151

Il richiedente: INTERBAU srl

### c) Caratteristiche meccaniche dell'adesivo epossidico

#### Geometria dei provini:

I provini "single lap-shear" sono costituiti da due lamine di alluminio di larghezza  $w$  e spessore  $t$  incollati tra di loro per un tratto di lunghezza  $L_a$  utilizzando uno strato di adesivo di spessore  $t_a$ . Di seguito vengono riportate la geometria del provino ed i valori degli spessori medi (misurati) dell'adesivo.



	w [mm]	$L_a$ [mm]	t [mm]	$t_a$ [mm]
SL1	35	35	2.05	0.55
SL2	35	35	2.05	0.38
SL3	35	35	2.05	0.46

#### Macchine e modalità di prova:

I provini "single lap-shear" sono stati sottoposti a prove di trazione uniassiale al fine di determinare il valore del carico di rottura. Le prove sperimentali sono state effettuate in controllo di spostamento (0.1 mm/min) con una macchina di prova servoidraulica (MTS Systems Corporation) da 25 kN.

#### Risultati:

La modalità di rottura ha interessato l'interfaccia metallo-adesivo. Definito il valore del carico di rottura  $P_u$  è possibile ricavare:

- 1) sforzo di taglio medio  $\tau_{med}$  (dove  $\tau_{med} = P / w / L_a$ );
- 2) sforzo massimo di taglio  $\tau_{max}$  nell'adesivo all'estremità del rinforzo;
- 3) sforzo massimo di distacco (peeling)  $\sigma_{max}$  nell'adesivo all'estremità del rinforzo;
- 4) rapporto tra sforzo di taglio massimo e sforzo di taglio medio ( $r = \tau_{max} / \tau_{med}$ )
- 5) valore di tensione critica  $\sigma_{crit}$ , dove  $\bar{\sigma} = \frac{\sigma_{max}}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_{max}}{2}\right)^2 + \tau_{max}^2}$

Lo Sperimentatore  
Ing. Giulia Fava



Il Responsabile Tecnico  
Prof. Ing. Carlo Poggi

Politecnico di Milano - Dipartimento di Ingegneria Strutturale Cod. Cliente INTER01 Certificato di prova n° 2007/2506/1 pag. 5 di 5-



POLITECNICO DI MILANO  
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA STRUTTURALE  
LABORATORIO PROVE MATERIALI  
20133 MILANO - P.ZA LEONARDO DA VINCI, 32

Sede di Lecco  
C.so Promessi Sposi, 29  
23900 Lecco  
Tel.: 0341-48.8793  
Fax: 0341-48.8771

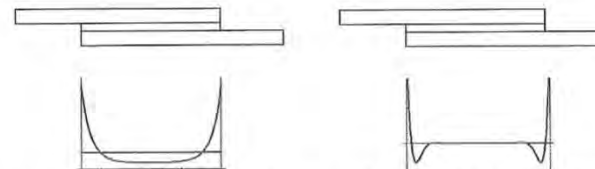
Sede di Milano  
accettazione materiale: Via Celoria, 3 Tel.: 02-2399.4210 Fax : 02-2399.4211

Cod. Fiscale 90057930150  
P. IVA 04376620151

Il richiedente: INTERBAU srl

	$P_u$ [N]	$\tau_{med}$ [MPa]	$\tau_{max}$ [MPa]	$\sigma_{max}$ [MPa]	r	$\sigma_{crit}$ [MPa]
SL1	3132	2.56	21.81	25.97	8.53	38.37
SL2	3254	2.66	27.01	32.17	10.17	47.52
SL3	3184	2.60	24.14	28.75	9.29	42.47
media	3190	2.60	24.32	28.96	9.33	42.78

I valori degli sforzi massimi di taglio e di distacco nell'adesivo,  $\tau_{max}$  e  $\sigma_{max}$ , sono ottenuti sulla base di modelli analitici internazionalmente riconosciuti. Di seguito vengono mostrati gli andamenti qualitativi degli sforzi di taglio  $\tau$  e di distacco  $\sigma$  nell'adesivo.



$\tau$  : diagramma qualitativo degli sforzi taglianti nell'adesivo e tensione tangenziale media

$\sigma$  : diagramma qualitativo degli sforzi di distacco nell'adesivo

Lo Sperimentatore  
Ing. Giulia Fava



Il Responsabile Tecnico  
Prof. Ing. Carlo Poggi



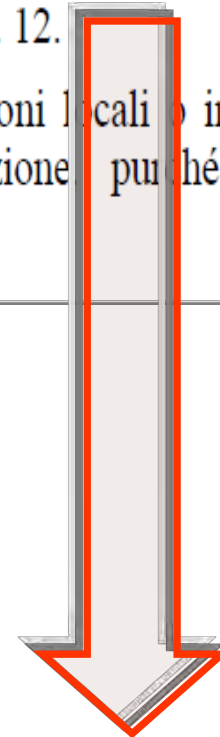


N.T.C. 2008

## 8.6 MATERIALI

Gli interventi sulle strutture esistenti devono essere effettuati con i materiali previsti dalle presenti norme; possono altresì essere utilizzati materiali non tradizionali, purché nel rispetto di normative e documenti di comprovata validità, ovvero quelli elencati al cap. 12.

Nel caso di edifici in muratura è possibile effettuare riparazioni locali o integrazioni con materiale analogo a quello impiegato originariamente nella costruzione purché durevole e di idonee caratteristiche meccaniche.







## 12 RIFERIMENTI TECNICI

N.T.C. 2008

Per quanto non diversamente specificato nella presente norma, si intendono coerenti con i principi alla base della stessa, le indicazioni riportate nei seguenti documenti:

- Eurocodici strutturali pubblicati dal CEN, con le precisazioni riportate nelle Appendici Nazionali o, in mancanza di esse, nella forma internazionale EN;
- Norme UNI EN armonizzate i cui riferimenti siano pubblicati su Gazzetta Ufficiale dell'Unione Europea;
- Norme per prove, materiali e prodotti pubblicate da UNI.

Inoltre, in mancanza di specifiche indicazioni, a integrazione delle presenti norme e per quanto con esse non in contrasto, possono essere utilizzati i documenti di seguito indicati che costituiscono riferimenti di comprovata validità:

- Istruzioni del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici;
- Linee Guida del Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici;
- Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale e successive modificazioni del Ministero per i Beni e le Attività Culturali, come licenziate dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici e ss. mm. ii.;
- Istruzioni e documenti tecnici del Consiglio Nazionale delle Ricerche (C.N.R.).

Possono essere utilizzati anche altri codici internazionali, purché sia dimostrato che garantiscano livelli di sicurezza non inferiori a quelli delle presenti Norme tecniche.



## MATERIALI STRUTTURALI - N.T.C. 2008 (= 2018)

284

CAPITOLO 11

### 11.1. GENERALITÀ

Si definiscono materiali e prodotti per uso strutturale, utilizzati nelle opere soggette alle presenti norme, quelli che consentono ad un'opera ove questi sono incorporati permanentemente di soddisfare in maniera prioritaria il requisito base delle opere n.1 "Resistenza meccanica e stabilità" di cui all'Allegato I del Regolamento UE 305/2011 .

I materiali ed i prodotti per uso strutturale devono rispondere ai requisiti indicati nel seguito.

I materiali e prodotti per uso strutturale devono essere:

- *identificati* univocamente a cura del fabbricante, secondo le procedure di seguito richiamate;
- *qualificati* sotto la responsabilità del fabbricante, secondo le procedure di seguito richiamate;
- *accettati* dal Direttore dei lavori mediante acquisizione e verifica della documentazione di identificazione e qualificazione, nonché mediante eventuali prove di accettazione.

-1 Identificazione  
-2 Qualificazione  
- 3 Accettazione.

In particolare, per quanto attiene l'identificazione e la qualificazione, possono configurarsi i seguenti casi:

A) materiali e prodotti per i quali sia disponibile, per l'uso strutturale previsto, una norma europea armonizzata il cui riferimento sia pubblicato su GUUE. Al termine del periodo di coesistenza il loro impiego nelle opere è possibile soltanto se corredati della "Dichiarazione di Prestazione" e della Marcatura CE, prevista al Capo II del Regolamento UE 305/2011;

B) materiali e prodotti per uso strutturale per i quali non sia disponibile una norma europea armonizzata ovvero la stessa ricada nel periodo di coesistenza, per i quali sia invece prevista la qualificazione con le modalità e le procedure indicate nelle presenti norme. E' fatto salvo il caso in cui, nel periodo di coesistenza della specifica norma armonizzata, il fabbricante abbia volontariamente optato per la Marcatura CE;

C) materiali e prodotti per uso strutturale non ricadenti in una delle tipologie A) o B. In tali casi il fabbricante dovrà pervenire alla Marcatura CE sulla base della pertinente "Valutazione Tecnica Europea" (ETA), oppure dovrà ottenere un "Certificato di Valutazione Tecnica" rilasciato dal Presidente del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, previa istruttoria del Servizio Tecnico Centrale, anche sulla base di Linee Guida approvate dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, ove disponibili; con decreto del Presidente del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, su conforme parere della competente Sezione, sono approvate Linee Guida relative alle specifiche procedure per il rilascio del "Certificato di Valutazione Tecnica".

CE

ETA

CIT

Ordine degli Ingegneri della Provincia di Forlì – Cesena  
**CONSOLIDAMENTI STRUTTURALI MEDIANTE FRP**



CNR – Commissione di Studio per la Predisposizione e l'Analisi di Norme Tecniche relative alle costruzioni

CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE

COMMISSIONE DI STUDIO PER LA PREDISPOSIZIONE E L'ANALISI  
DI NORME TECNICHE RELATIVE ALLE COSTRUZIONI

**Istruzioni  
per la Progettazione, l'Esecuzione ed 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



**RIF. TEC.: 3 CNR DT 200/ 2013**

CNR-DT 200 R1/2013

ROMA – CNR 10 ottobre 2013 – versione del 15 Maggio 2014



*Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici*

*Servizio Tecnico Centrale*

**RIF. TEC.: 4- C.S.L.P. 2015  
L.G. Identif. –Qualificaz.- Accett**

*Linea Guida per la identificazione, la qualificazione ed il controllo di  
accettazione di compositi fibrorinforzati a matrice polimerica (FRP) da  
utilizzarsi per il consolidamento strutturale di costruzioni esistenti*

# Ordine degli Ingegneri della Provincia di Forlì – Cesena CONSOLIDAMENTI STRUTTURALI MEDIANTE FRP



L.G. Qualificazione C.S.L.P. 2015 → Classi previste FRP Wet Lay-up

**E** originaria  
della fibra

$E_{fib} = 240 \text{ Gpa}$

$E_{fib} = 390 \text{ Gpa}$

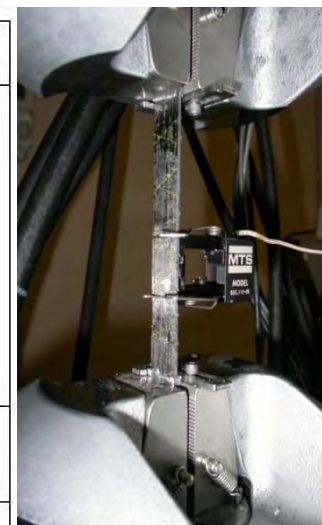
**Tabella 3.** Classi dei rinforzi FRP realizzati in situ.

Classe	Natura della fibra	Modulo elastico a trazione nella direzione delle fibre [GPa]	Resistenza a trazione nella direzione delle fibre [MPa]	Nr. Prod.
60G	Vetro	60	1300	-
210C	Carbonio	210	2700	10
350/1750C	Carbonio	350	1750	1
350/2800C	Carbonio	350	2800	4
500C	Carbonio	500	2000	-
100A	Arammide	100	2200	1

**Tabella 4.** Sintesi delle prove richieste per la qualificazione dei compositi prodotti in situ.

Laminato	Tipo di prova		Numero campioni	N. campioni per laminato
gruppo (A)	Resistenza meccanica	Determinazione modulo elastico e tensione di rottura	9	41
	Resistenza a cicli di gelo/disgelo	Verifica alterazioni superficiali e determinazione di modulo elastico e tensione di rottura	4 (sottoposti a ciclo) + 4 (controllo)	
	Resistenza all'umidità		4 (sottoposti a ciclo) + 4 (controllo)	
	Resistenza agli ambienti salini		4 (sottoposti a ciclo) + 4 (controllo)	
	Resistenza agli ambienti alcalini		4 (sottoposti a ciclo) + 4 (controllo)	
gruppo (B)	Resistenza meccanica	Determinazione modulo elastico e tensione di rottura	9	9
<b>Numero totale di prove</b>				<b>50</b>

Prove  
durabilità





# Ordine degli Ingegneri della Provincia di Forlì – Cesena CONSOLIDAMENTI STRUTTURALI MEDIANTE FRP



## SCHEDA TECNICA COMPOSITI CL. 350/2800 CFRP CARBOSTRU® UD HM\_HR400

Proprietà meccaniche del composito riferite all'area netta delle fibre (metodo di prova UNI EN 2561):

Resistenza a trazione	$f_{fb}$	2.800 MPa
Modulo Elastico	$E_{fb}$	350 GPa
Allungamento a rottura	$\epsilon_{fb}$	0,8 %
Sezione eq. per ogni strato UD HM_HR 400/10	$A_{fb}$	22 mm <sup>2</sup>
Sezione eq. per ogni strato UD HM_HR 400/15	$A_{fb}$	33 mm <sup>2</sup>
Frazione in peso delle fibre nel composito	$F_v$	40 %
Temperature limite di servizio min.- max. <sup>1</sup>	$T_{lim}$	-20°C +45°C // +65 °C <sup>2</sup>
Temperatura limite di esposizione min.- max. <sup>3</sup>	$T_{esp}$	-20°C +65°C // +85 °C <sup>2</sup>
Temperatura di produzione in situ min.- max.		+15°C --- 35 °C
Classe Reazione al Fuoco	CL	E
Classe Resistenza al Fuoco		NPD

## MATERIALI COSTITUTIVI COMPOSITI CFRP CARBOSTRU® UD HM\_HR400

### 1- CARBOSTRU® UD HM\_HR 400/10-15

Tessuti in fibra di carbonio unidirezionali ad alto modulo/alta resistenza grammatura di 400gr/m<sup>2</sup> -

Carico di rottura a trazione delle fibre	4.600 MPa
Modulo elastico	395 GPa
Allungamento a rottura delle fibre	1,17 %
Densità fibra	1,80 g/cm <sup>3</sup>
Massa del tessuto per unità di area	400 g/m <sup>2</sup>
Spessore equivalente tessuto unidirezionale	0,22 mm
Larghezza dei tessuti unidirezionale	10 - 15 cm
Sezione equivalente tessuti unidirezionale 10 cm - 15cm	22 - 33 mm <sup>2</sup>

### 2- CARBOSTRU® RSSO

Resina epossidica bicomponente costituente la matrice dei compositi.

Modulo elastico a flessione	2.750 MPa
Resistenza a trazione	68 MPa
Allungamento a rottura	6 %
Densità della resina	1,12 g/cm <sup>3</sup>
Temp. trans. vetrosa $T_g$ (curing 48 h 23°)	+38°C

## CARBOSTRU® AD Adesivo epossidico a norma EN1504-4 per placcaggio compositi CFRP CARBOSTRU®

Adesione al calcestruzzo // all'acciaio sabbiato	4 // 6 N/mm <sup>2</sup>
Modulo elastico (curing 7 gg. 23 °C)	11.200 MPa
Resistenza a taglio (curing 7 gg. 23 °C)	18 N/mm <sup>2</sup>
Resistenza a flessione (curing 7 gg. 15 °C)	24 N/mm <sup>2</sup>
Temperatura transizione vetrosa $T_g$ (curing 7 gg. 45 °C)	+62 °C
Temperature di servizio (curing 7 gg. 23 °C)	-40°C + 45°C
Classe Reazione al Fuoco	E

<sup>1</sup> temperatura entro cui i compositi in stato di tensione offrono un contributo di resistenza determinato ai sensi del DT200/R1 2013.

<sup>2</sup> temperature ammissibili solo per compositi in Complete Wrapping (es. confinamenti).

<sup>3</sup> temperature entro cui i compositi possono essere esposti in assenza di sollecitazione senza subire danneggiamenti.



**M\_INF.CSLP.REG.ATTI.INT.CONSUP.R.0000398.06-11-2017**

Documento sottoscritto con firma digitale ai sensi del D.Lgs. 82/2005 art. 21

## CERTIFICATO DI IDONEITA' TECNICA ALL'IMPIEGO ai sensi del Cap.11, punto 11.1 lett. c) del D.M. 14.1.2008

Denominazione commerciale del Prodotto	CFRP CARBOSTRU®
Oggetto della valutazione e campo di impiego	Materiali compositi fibro-rinforzati a matrice polimerica (FRP) da utilizzarsi per il consolidamento strutturale di costruzioni esistenti. <i>Sistemi di rinforzo realizzati in situ</i>
Richiedente	INTERBAU srl
Stabilimento di produzione	Via L.B. Alberti, 10 20149 - MILANO Tel.: 023451468 - Fax: 0233607026 e-mail: <a href="mailto:infocarbo@interbau-srl.it">infocarbo@interbau-srl.it</a> <a href="http://www.interbau-srl.it">http://www.interbau-srl.it</a>
Validità del Certificato	Anni 5 dalla data del protocollo soprariportata

Il presente Certificato di idoneità è composto di n.8 pagine.

Il presente Certificato è emesso in formato digitale ed è riproducibile solo nella sua interezza.



VIA Nomentana 2 - 00161 ROMA  
TEL. 06.4412.1.  
[www.cslp.it](http://www.cslp.it)





## CARBOSTRU®

Ulteriori Prove Sperimentali non previste dalle  
L.G. Qualificazione FRP 2015

### 1- **SERVICE TEMPERATURE TEST**

2017 – POLITECNICO DI MILANO



Determinazione Temperature di :  
**T<sub>s</sub>** Servizio - **T<sub>e</sub>** Esposizione

### 2- **CYCLIC TEST**

2017 – POLITECNICO DI MILANO



Verifica effetti delle sollecitazioni cicliche  
a trazione a diverse frequenze



**CARBOSTRU® SERVICE TEMPERATURE TEST**  
2017 – POLITECNICO DI MILANO



Figura 2. Svolgimento della prova PO\_TC23\_TS45\_TT45\_1

Tutte le prove di pull-off eseguite hanno riportato rottura all'interno del substrato in calcestruzzo. A titolo di esempio Figura 3 mostra i tasselli estratti dal cubetto dopo l'esecuzione delle prove PO\_TC23\_TS45\_TT45.





**POLITECNICO**  
 MILANO 1863

## 2.2 Analisi dei risultati

Figura 4 mostra l'andamento della tensione media  $\sigma_{avg}$  per differenti gruppi di provini. Le curve di Figura 4 mostrano una diminuzione di  $\sigma_{avg}$  all'aumentare della temperatura di servizio  $T_s$  per quanto riguarda i gruppi di provini 2, 3 e 4. Inoltre le curve mostrano un generale aumento di  $\sigma_{avg}$  all'aumentare della temperatura di stagionatura  $T_c$ . Nel caso di provini stagionati a temperatura  $T_c=23 \pm 2$  °C e provati a temperatura  $T_f=23 \pm 2$  °C (gruppo 1) la variazione di  $\sigma_{avg}$  appare limitata. Lo stesso vale per i provini PO\_TC23\_TS-20\_TT-20 i cui risultati sono molto simili a quelli ottenuti nel caso dei provini PO\_TC23\_TS23\_TT23.

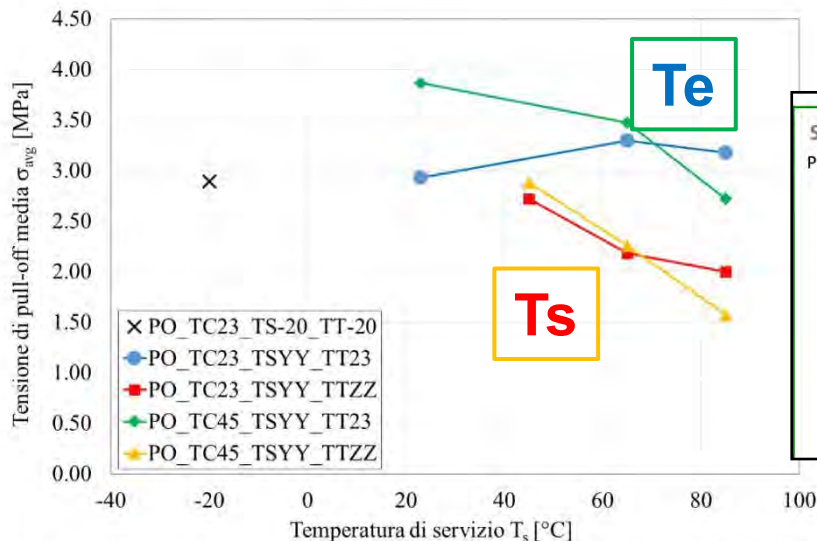


Figura 4. Andamento  $\sigma_{avg}$ - $T_s$  per diversi gruppi di prove di pull-off.

### SCHEDA TECNICA COMPOSITI CL. 350/2800 CFRP CARBOSTRU® UD HM\_HR400

Proprietà meccaniche del composito riferite all'area netta delle fibre (metodo di prova UNI EN 2561):

Resistenza a trazione	$f_{fib}$	2.800 MPa
Modulo Elastico	$E_{fib}$	350 GPa
Allungamento a rottura	$\epsilon_{fib}$	0,8 %
Sezione eq. per ogni strato UD HM_HR 400/10	$A_{fib}$	22 mm <sup>2</sup>
Sezione eq. per ogni strato UD HM_HR 400/15	$A_{fib}$	33 mm <sup>2</sup>
Frazione in peso delle fibre nel composito	$F_v$	40 %
Temperature limite di servizio min.- max. <sup>1</sup>	$T_{lim}$	-20°C +45°C // +65 °C <sup>2</sup>
Temperatura limite di esposizione min.- max. <sup>3</sup>	$T_{esp}$	-20°C +65°C // +85 °C <sup>2</sup>
Temperatura di produzione in situ min.- max.		+15°C ---- 35 °C
Classe Reazione al Fuoco	CL	E
Classe Resistenza al Fuoco		NPD





**CARBOSTRU® SERVICE TEMPERATURE TEST**  
2017 – POLITECNICO DI MILANO



**POLITECNICO**  
MILANO 1863

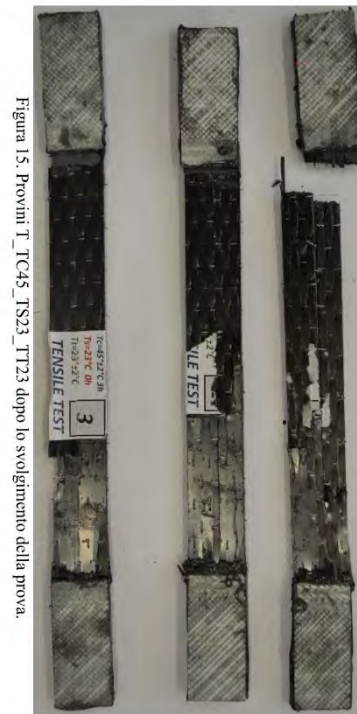
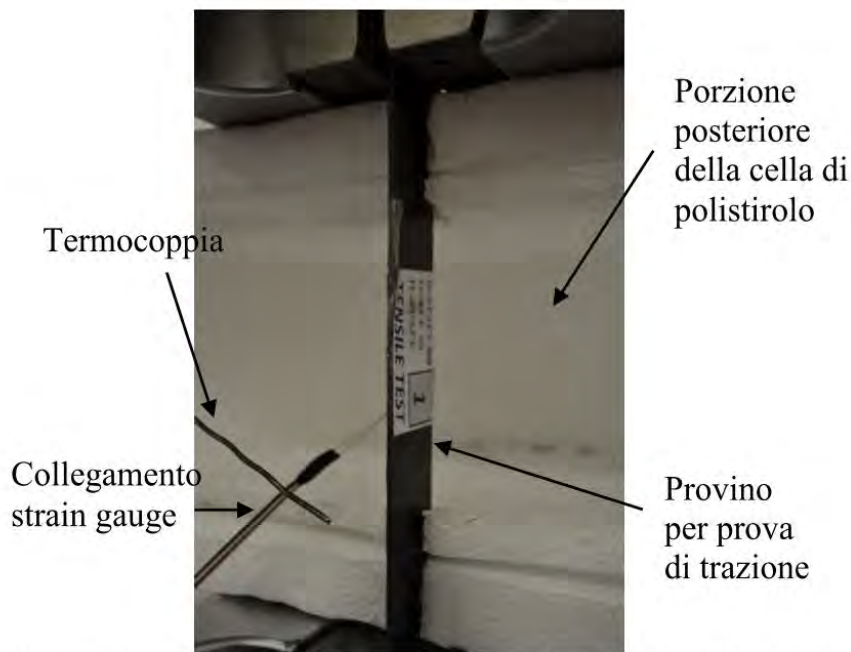


Figura 13. Sistema di controllo della temperatura  $T_t$  e provino per prova di trazione all'interno della cella di polistirolo.

# Ordine degli Ingegneri della Provincia di Forlì – Cesena CONSOLIDAMENTI STRUTTURALI MEDIANTE FRP



## CARBOSTRU® SERVICE TEMPERATURE TEST

Figura 17 mostra l'andamento del modulo elastico medio  $E_{avg}$  per differenti gruppi di provini. Le curve di Figura 17 confermano l'andamento della resistenza media a trazione  $\sigma_{avg}$  osservato in Figura 16. I gruppi di provini 1 e 2 mostrano un aumento di  $E_{avg}$  all'aumentare di  $T_s$  fino a 65 °C, mentre i gruppi 3 e 4 mostrano una diminuzione di  $E_{avg}$  all'aumentare di  $T_s$ . In generale tutti i provini sottoposti a temperatura di servizio  $T_s = 85$  °C per 2 ore mostrano una diminuzione del modulo elastico, il quale si attesta attorno ad un valore di circa 370 GPa per i provini del gruppo 1 e 2 e di circa 330 per i provini del gruppo 3 e 4. Nel caso del modulo elastico la temperatura di prova  $T_t$  ha maggiore influenza sul risultato ottenuto che nel caso della resistenza a trazione. La temperatura a cui viene testato il provino, dopo essere stato esposto a  $T_s$  per 2 ore, determina un irrigidimento del provino stesso per bassi valori di  $T_t$  e, al contrario, un ammorbidimento per alti valori di  $T_t$ .

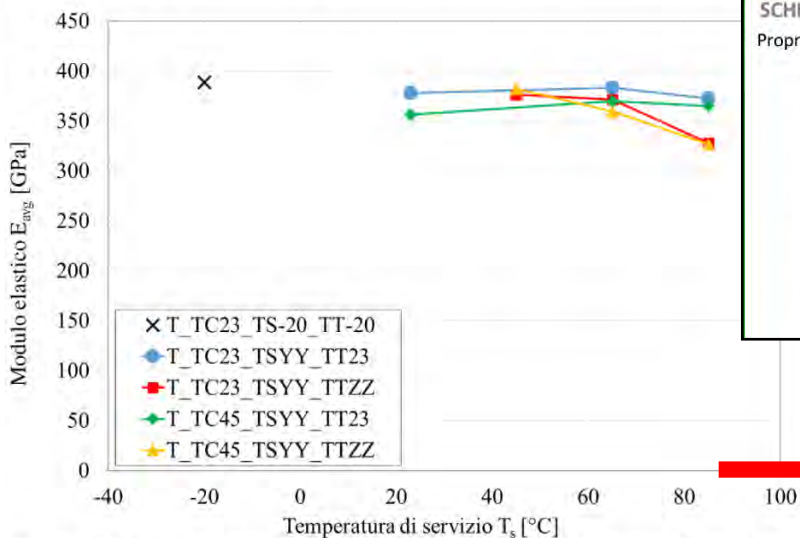


Figura 17. Andamento  $E_{avg}$ - $T_s$  per diversi gruppi di prove di trazione.

### SCHEDA TECNICA COMPOSITI CL. 350/2800 CFRP CARBOSTRU® UD HM\_HR400

Proprietà meccaniche del composito riferite all'area netta delle fibre (metodo di prova UNI EN 2561):

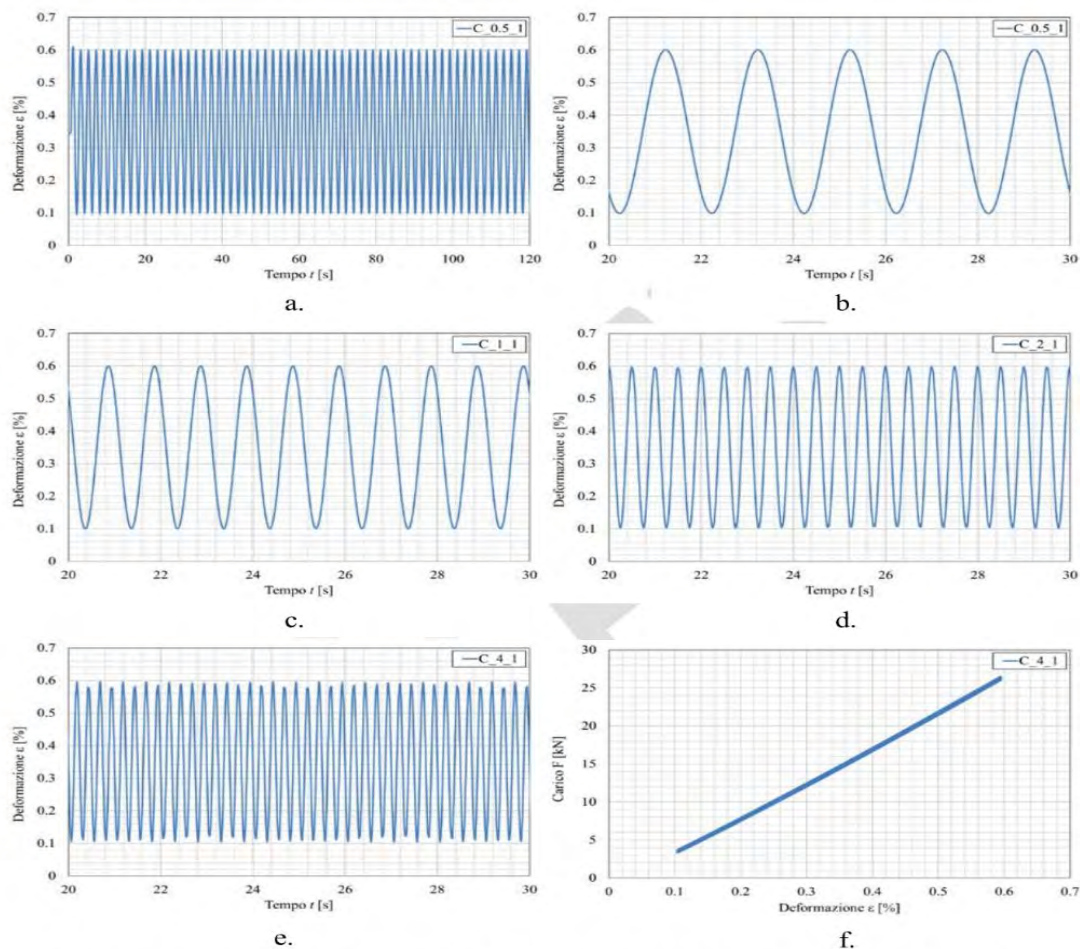
Resistenza a trazione	$f_{fb}$	2.800 MPa
Modulo Elastico	$E_{fb}$	350 GPa
Allungamento a rottura	$\epsilon_{fb}$	0,8 %
Sezione eq. per ogni strato UD HM_HR 400/10	$A_{fb}$	22 mm <sup>2</sup>
Sezione eq. per ogni strato UD HM_HR 400/15	$A_{fb}$	33 mm <sup>2</sup>
Frazione in peso delle fibre nel composito	$F_v$	40 %
Temperature limite di servizio min.- max. <sup>1</sup>	$T_{lim}$	-20°C +45°C // +65 °C <sup>2</sup>
Temperatura limite di esposizione min.- max. <sup>3</sup>	$T_{esp}$	-20°C +65°C // +85 °C <sup>2</sup>
Temperatura di produzione in situ min.- max.		+15°C ---- 35 °C
Classe Reazione al Fuoco	CL	E
Classe Resistenza al Fuoco		NPD



**POLITECNICO**  
MILANO 1863

## 2017 CARBOSTRU® CICLYC TEST

secondi sono riportati in Figura 2c-e. Il grafico completo delle prove non viene riportato perché leggibile a causa dell'elevato numero di cicli.



**Nessuna diminuzione delle  
caratteristiche meccaniche  
dei provini FRP sottoposti  
ad azioni cicliche a diverse  
frequenze  
con  $\epsilon = 0,6\%$**

Figura 2. Risultati delle prove cicliche sui provini a) e b) C\_0.5\_1, c) C\_1\_1, d) C\_2\_1, e) e C\_4\_1.



Ordine degli Ingegneri della Provincia di Forlì – Cesena  
**CONSOLIDAMENTI STRUTTURALI MEDIANTE FRP**



2017 CFRP CARBOSTRU® CICLYC TEST