



**ORDINE DEGLI INGEGNERI  
DELLA PROVINCIA DI PARMA**

# **COMPOSITI CFRP PER IL CONSOLIDAMENTO STRUTTURALE**

**Compositi FRP:**

le caratteristiche, i sistemi, le prove.

**Prof. Carlo Poggi**  
Dip. Ingegneria Strutturale  
Politecnico di Milano

**INTERBAU**



## Sommario presentazione

- |   |  |
|---|--|
| 0 | Compositi : dalle capanne ai jet           |
| 1 | Caratteristiche dei materiali compositi .  |
| 2 | FRP per il consolidamento delle strutture. |
| 3 | NTC ed FRP                                 |
| 4 | Il controllo dei materiali.                |
| 5 | Il controllo delle applicazioni.           |

**INTERBAU**



INTERBAU

ERE GEOLOGICHE

GLACIALE PIETRA BRONZO FERRO CLASSICA MEDIOEVO MODERNA WW II

18k AC 8k AC 4k AC 1k AC 500 AC 400 1400 1940 1950 1970 1980 1990 2000

MATTONI  
DI PAGLIA  
E FANGO

ARCHI DI CORNO/  
LEGNO/TENDINE

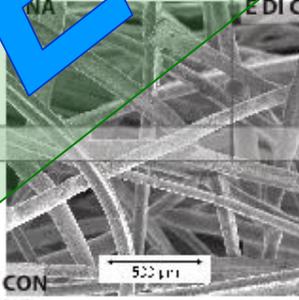
FERRO-ACCIAIO  
DI DAMASCO

SARCOFAGO  
INCOMPENSATO

ACCIAIO  
LAMINATO

CALCESTRUZZO

FENOLICA CON  
CARTA E LINO



FIBRE DI BORO  
E DI CARBONIO

SUPERFIBRE  
POLIMERICHE

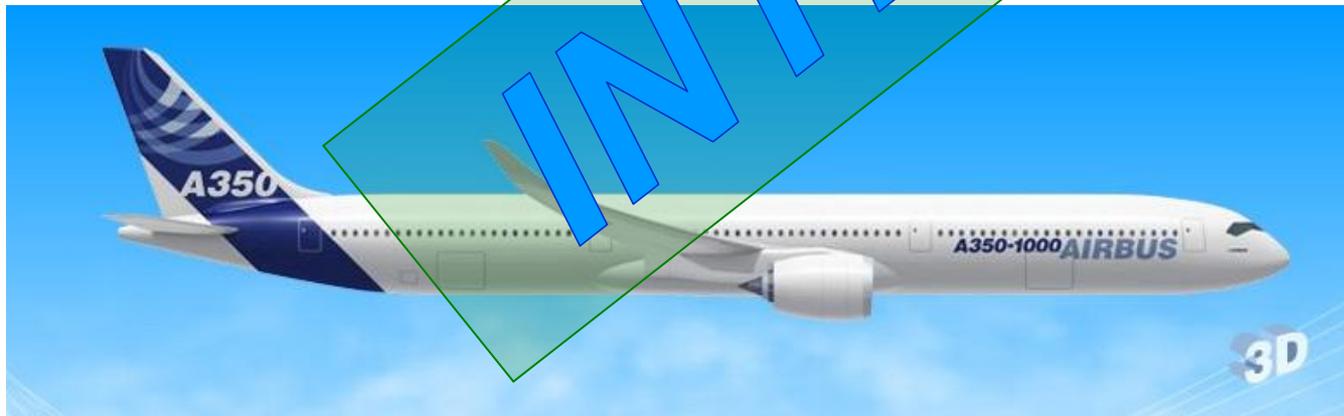
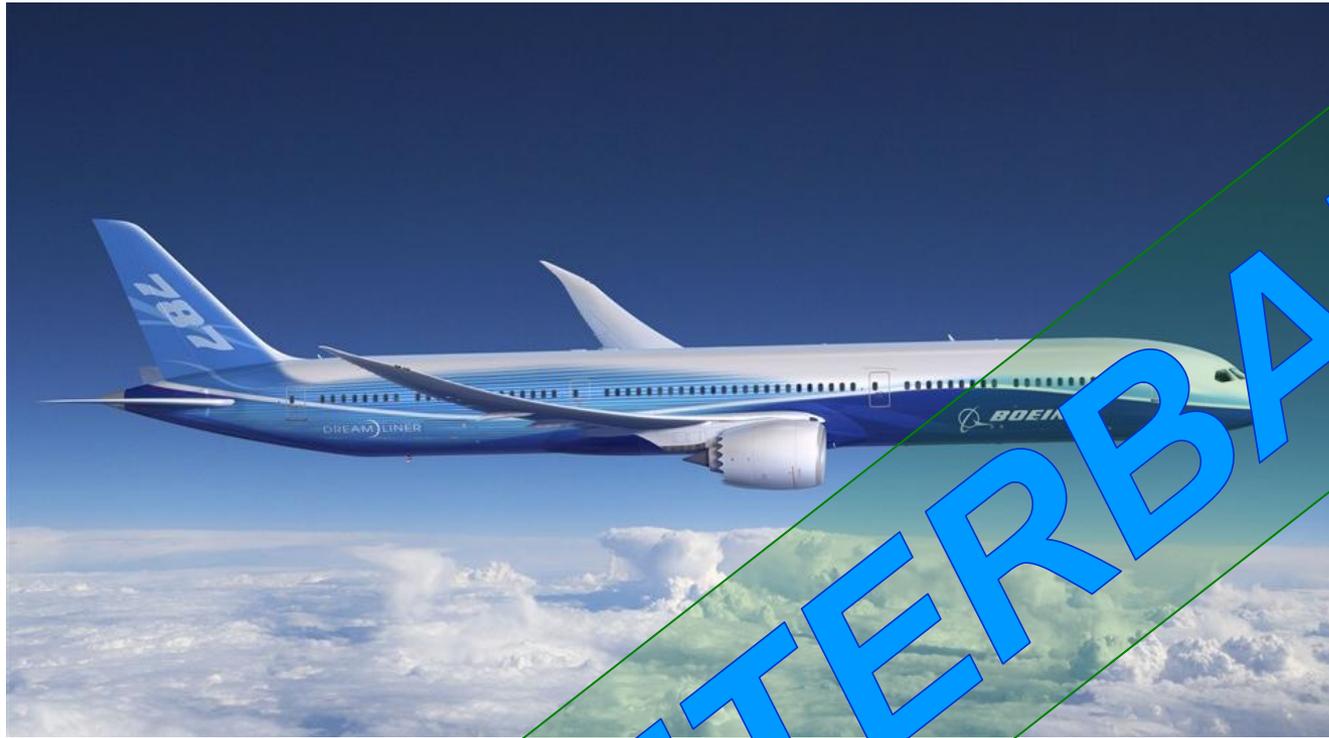


STEALTH

BOEING 787  
DREAMLINER



ELVIS KENNEDY LUNA PERE FLOYD TIEN AN MEN GOOGLE  
GUERRA FREDDA CEE MURO DI BERLINO STOCK MARKET CRASH PERESTROJKA MANDELA EURO OBAMA



INTERBAU



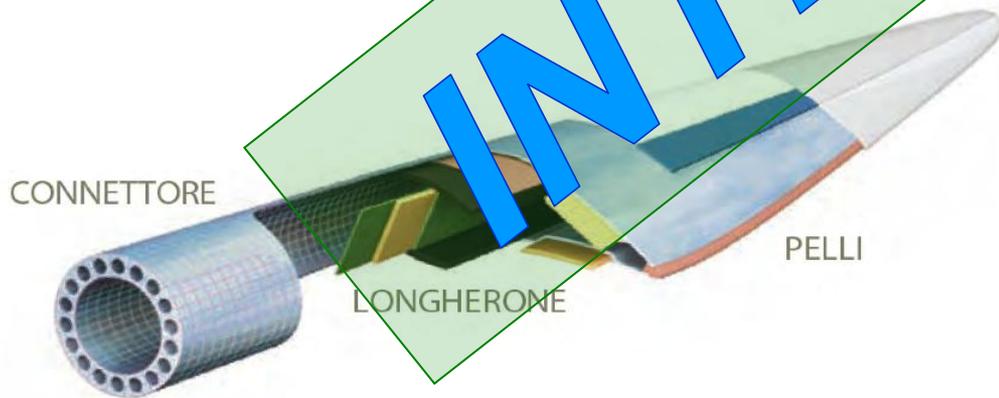
- Carbon laminate
- Carbon sandwich
- Other composites
- Aluminum
- Titanium
- Titanium/steel/aluminum



## WIND TURBINE STRUCTURE



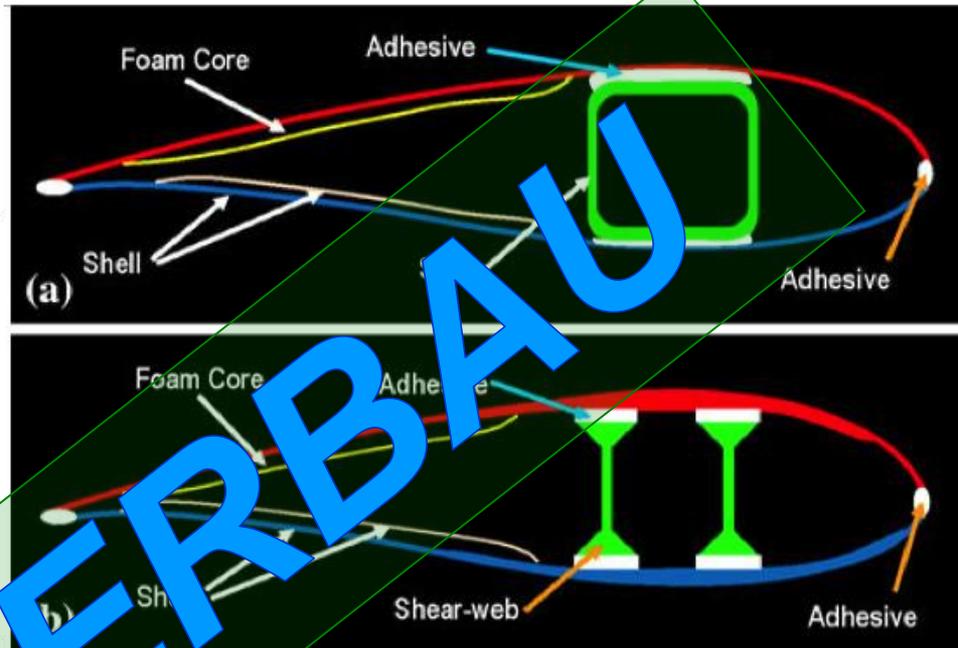
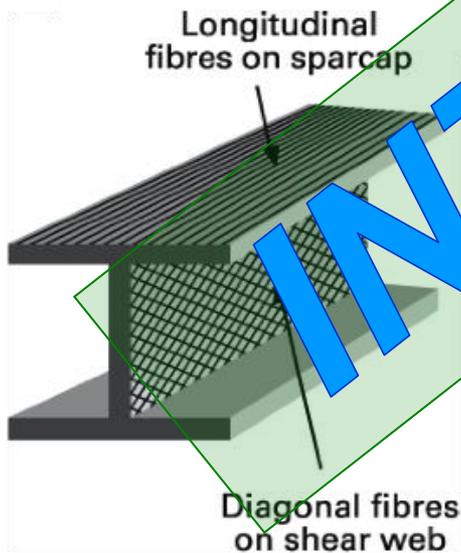
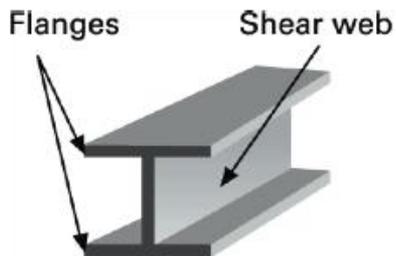
ELEMENTI DI UNA PALA EOLICA



**INTERBAU**



## BLADE STRUCTURE



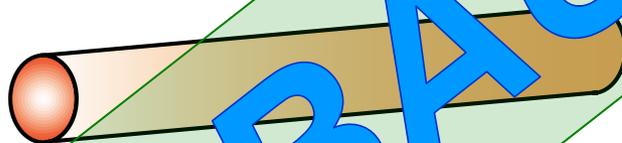
## FIBRE ORIENTATION IN THE BEAM

INTERBAU

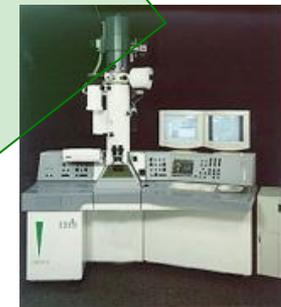
## LA MICROSTRUTTURA



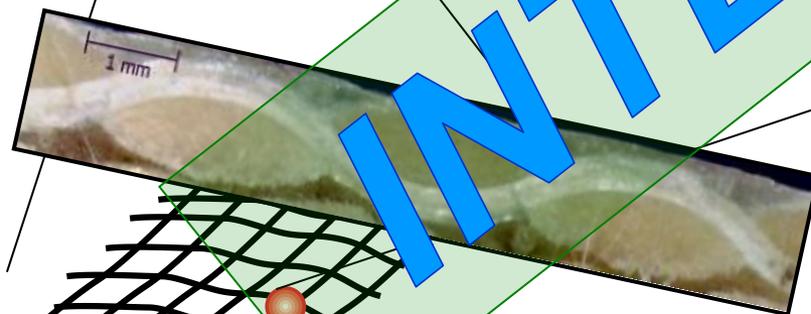
## LE FIBRE - I TESSUTI



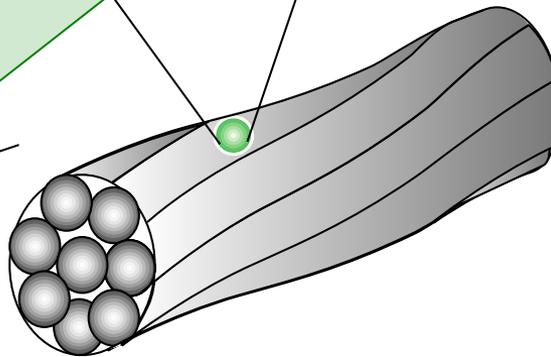
FIBRA



# INTERBAU



TESSUTO



FILO (filamenti continui)



## DALLE PROPRIETA' DEI COSTITUTIVI A QUELLE DELL' FRP

### Fibre

- ❖ elemento portante
- ❖ elevata rigidezza e resistenza

### Resina

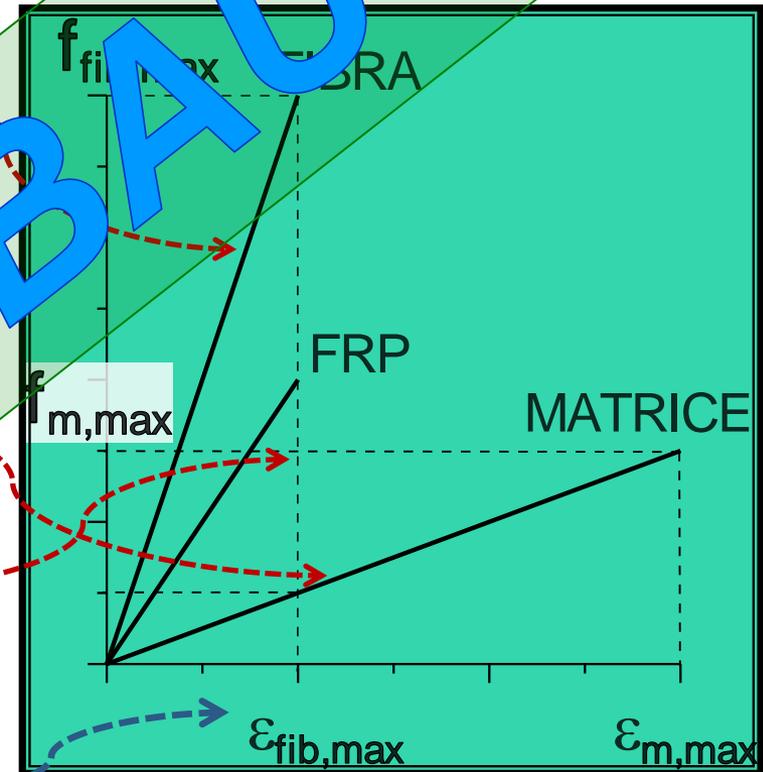
- ❖ Trasferimento sforzi
- ❖ Protezione delle fibre
- ❖ Bassa resistenza e rigidezza

### Composito

rigidità e resistenza inferiori alle fibre

rottura FRP

per deformazione pari a  $\epsilon_{fib,max}$



## Sommario presentazione

- |   |  |
|---|--|
| 1 | Caratteristiche dei materiali compositi.   |
| 2 | FRP per il consolidamento delle strutture. |
| 3 | NTC ed FRP                                 |
| 4 | Il controllo dei materiali.                |
| 5 | Il controllo delle applicazioni.           |

**INTERBAU**

## TIPOLOGIE

### Preformati

pre-cured systems

- ottenibili mediante pultrusione o laminazione
- forma e sezione variabile
- applicazione mediante adesivi.



### Impregnati in situ

wet layup systems

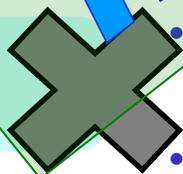
- tessuti UD o multidirezionali
- da impregnare in situ



### Preimpregnati

prepreg systems

- fogli di fibre UD o tessuti multidirezionali impregnati di resina parzialmente polimerizzata
- accorgimenti per stoccaggio e manipolazione



## Sommario presentazione

- |   |   |
|---|---|
| 1 | Caratteristiche dei materiali compositi.                |
| 2 | FRP per il consolidamento delle strutture.              |
| 3 | Le normative sui compositi: NTC 2008 + CNR DT 2000/2004 |
| 4 | Il controllo dei materiali.                             |
| 5 | Il controllo delle applicazioni.                        |

INTERBAU

## 8.6 MATERIALI

Gli interventi sulle strutture esistenti devono essere effettuati con 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 p. 1.

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.

INTERBAU

## 12 RIFERIMENTI TECNICI

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 prescrizioni indicate nelle Appendici Nazionali o, in mancanza di esse, nella forma internazionale;
- Norme UNI EN armonizzate i cui riferimenti sono pubblicati su Gazzetta Ufficiale dell'Unione Europea;
- Norme per prove, materiali e prodotti adottate UNI.

Inoltre, in mancanza di specifiche indicazioni, l'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 indicazioni 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.

INTERBAU





# RIFERIMENTI TECNICI: CNR DT200/2004+LINEE GUIDA CSLLP

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

Materie, strutture di c.a. e di c.a.p., strutture murarie



2004

CNR-DT 200/2004

ROMA - CNR Ed. luglio 2004

*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

2009

Documento approvato il 24 luglio 2009 dall'assemblea Generale Consiglio Superiore LL.PP.

INTERBAU

2.1 Introduzione

2.2 I componenti

2.3 Sistemi di rinforzo

2.4 Qualificazione

2.5 Accettazione

2.6 Trasporto e stoccaggio

## Schede tecniche

Fibre e tessuti

Malte - Resine

Adesivi

Preformati

Impregnati in situ

Preimpregnati

**INTERBAU**

## 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 forfaitariamente attraverso l'introduzione di un fattore di conversione ambientale,  $\eta_a$ , cui vanno attribuiti i valori riportati in Tabella 2-3.

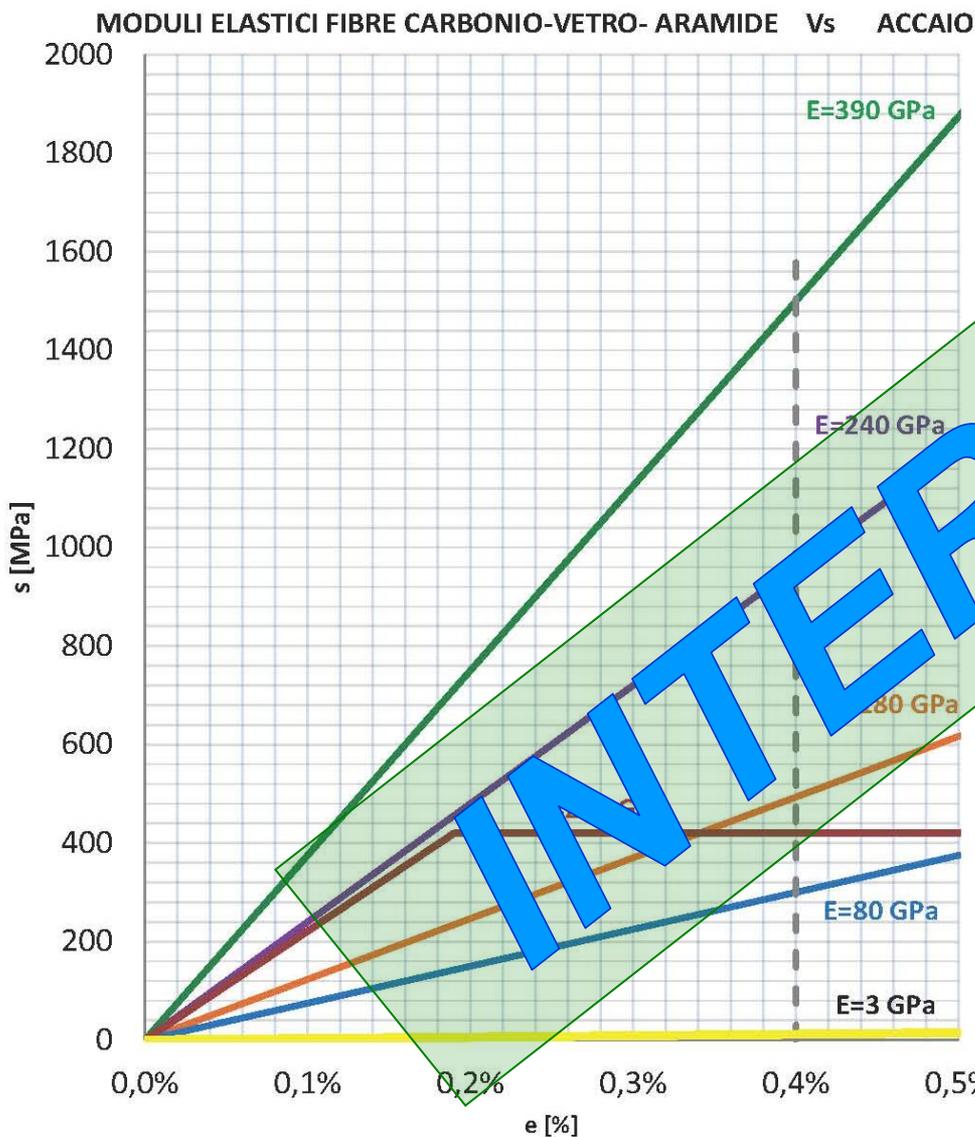
Tabella 2-3 – Fattore di conversione ambientale  $\eta_a$  per varie condizioni di esposizione di sistemi di FRP.

| Condizione di esposizione | Tipi di fibra / resina  | $\eta_a$ |
|---------------------------|-------------------------|----------|
| A                         | Vetro / Epossidica      | 0.75     |
|                           | Arammidica / Epossidica | 0.85     |
|                           | Carbonio / Epossidica   | 0.95     |
| B                         | Vetro / Epossidica      | 0.65     |
|                           | Arammidica / Epossidica | 0.75     |
|                           | Carbonio / Epossidica   | 0.85     |
| C                         | Vetro / Epossidica      | 0.50     |
|                           | Arammidica / Epossidica | 0.70     |
|                           | Carbonio / Epossidica   | 0.85     |

**FIBRE AMMESSE:**  
**CARBONIO – VETRO – ARAMIDE**

**MATRICI AMMESSE:**  
**EPOSSIDICA**

INTERBAU



|                                     | 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)<br>350 – 600 (rottura) | 20 – 30                             |

INTERBAU

## LA REGOLA DELLE MISCELE

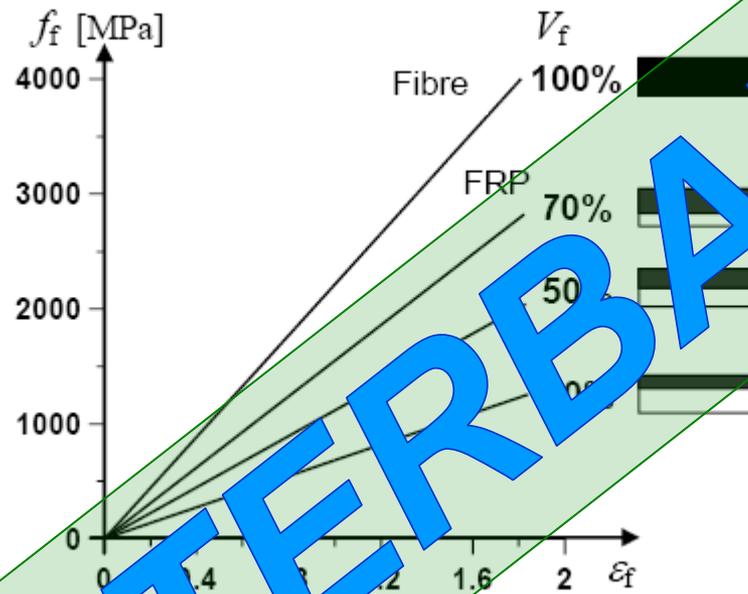


Figura 2-2 – Dipendenza del legame costitutivo del composito dalla frazione volumetrica.

INTERBAU

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

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

## GRADO DI ANISOTROPIA – MODULI ELASTICI VS DIREZIONE FIBRE

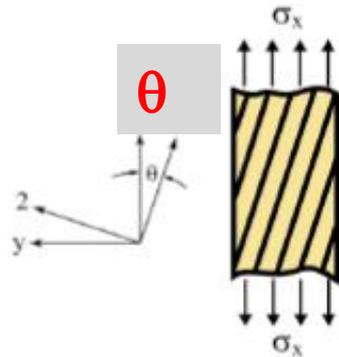


Figura 9-3 – Definizione dei sistemi di riferimento x, y e 1, 2.

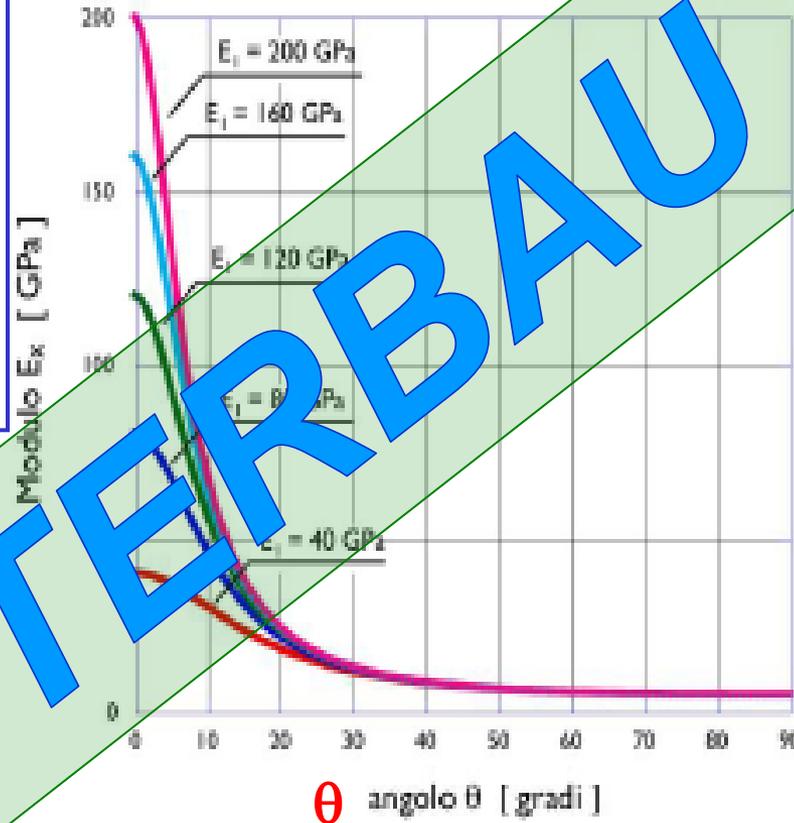


Figura 9-4 – Modulo di elasticità normale  $E_x$  al variare dell'angolo di rotazione  $\theta$  per compositi fibrorinforzati con diverso valore del modulo di elasticità normale  $E_1$

INTERBAU

## Sommario presentazione

|   |   |
|---|---|
| 1 | Caratteristiche dei materiali compositi.    |
| 2 | FRP per il consolidamento delle strutture.  |
| 3 | NTC ed FRP                                  |
| 4 | <b>Il controllo dei materiali compositi</b> |
| 5 | Il controllo delle applicazioni.            |

**INTERBAU**

## 2.5 Accettazione - CNR DT200/2004

Dal documento CNR-DT 200/2004

“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.”

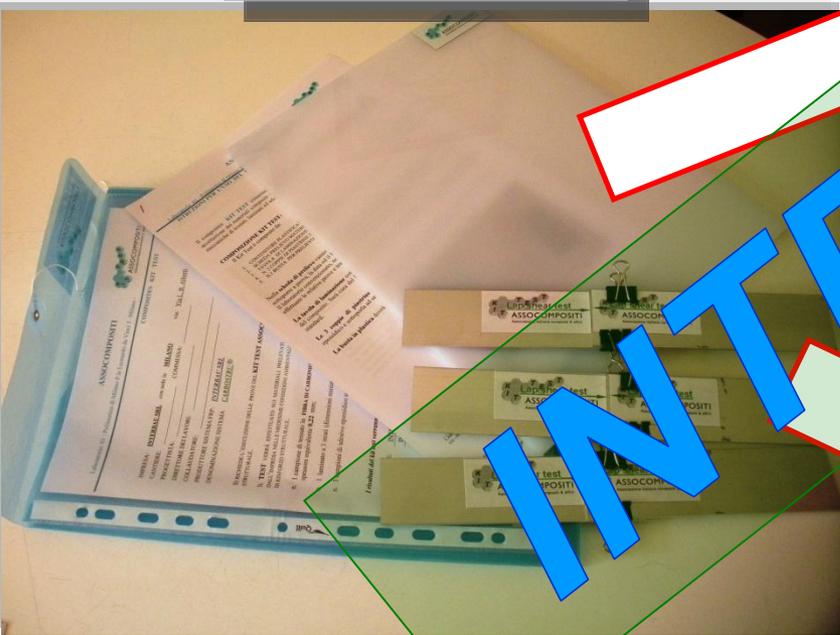
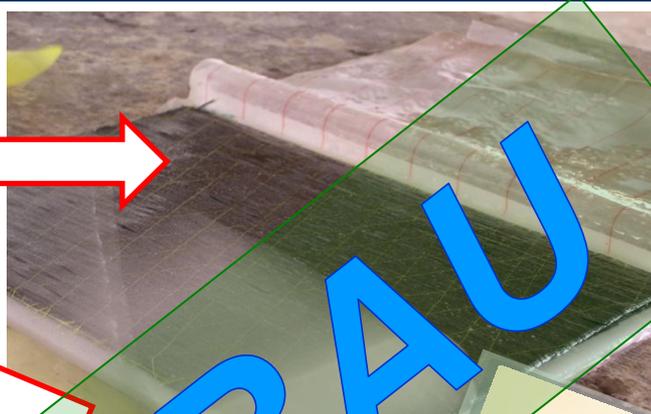
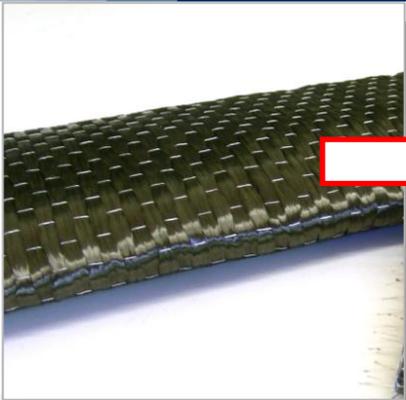
“Le prove meccaniche e fisiche devono essere eseguite da Laboratori Qualificati che dispongano di tutte le attrezzature necessarie e che abbiano comprovata esperienza nella caratterizzazione dei materiali compositi.”

Accettazione dei materiali

Accettazione delle applicazioni



# COKIT - Controllo di accettazione



**INTERBAU**



## Accettazione dei materiali FRP

Obiettivo : verificare la qualità dei compositi di rinforzo e la polimerizzazione degli adesivi

1- Peso Tessuto secco

2 Resistenza Adesiva epox

3- Prove di trazione su composito prodotto in situ



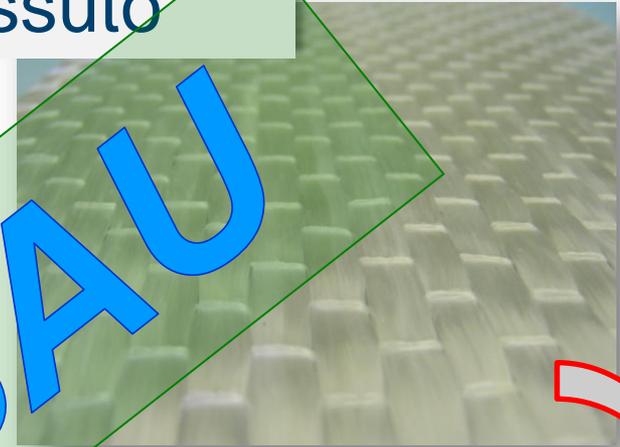
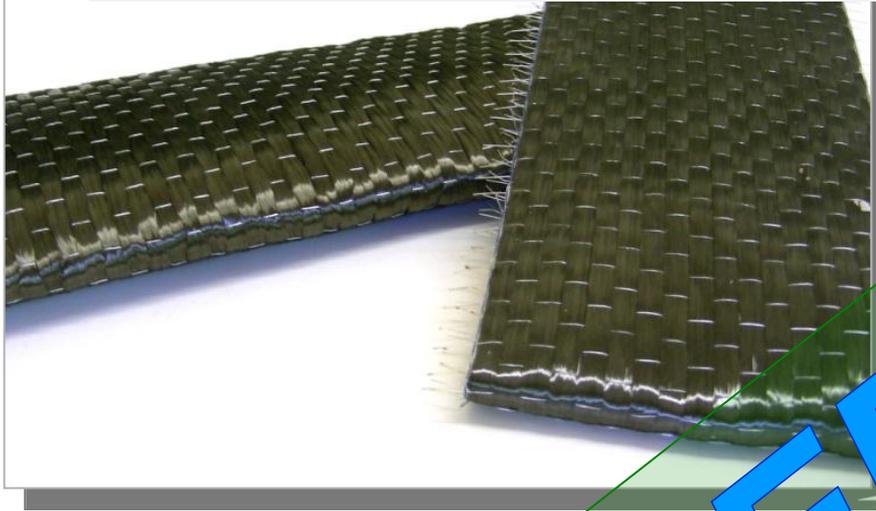
Caratteristiche meccaniche e fisiche

INTERBAU

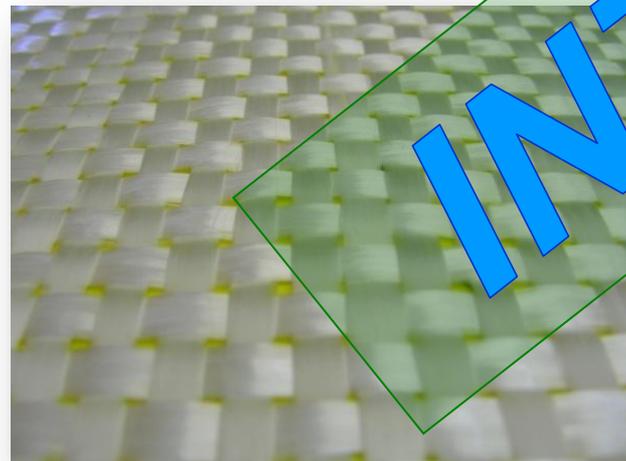
Prova su tessuto secco



## a) Caratteristiche fisiche del tessuto



Tessuti unidirezionali



Tessuto bidirezionale

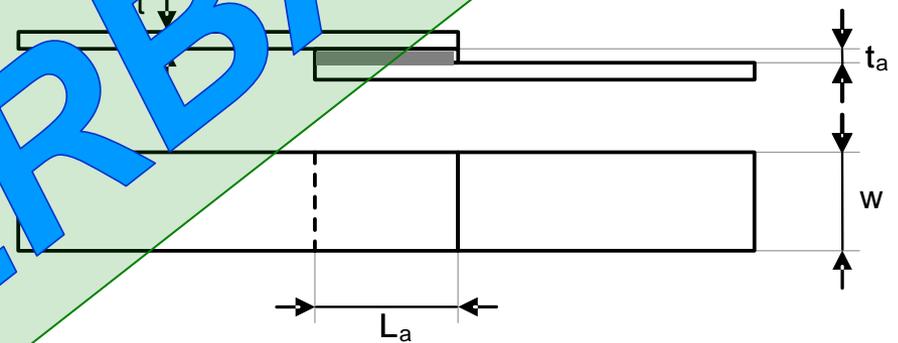
grammatura



INTERBAU

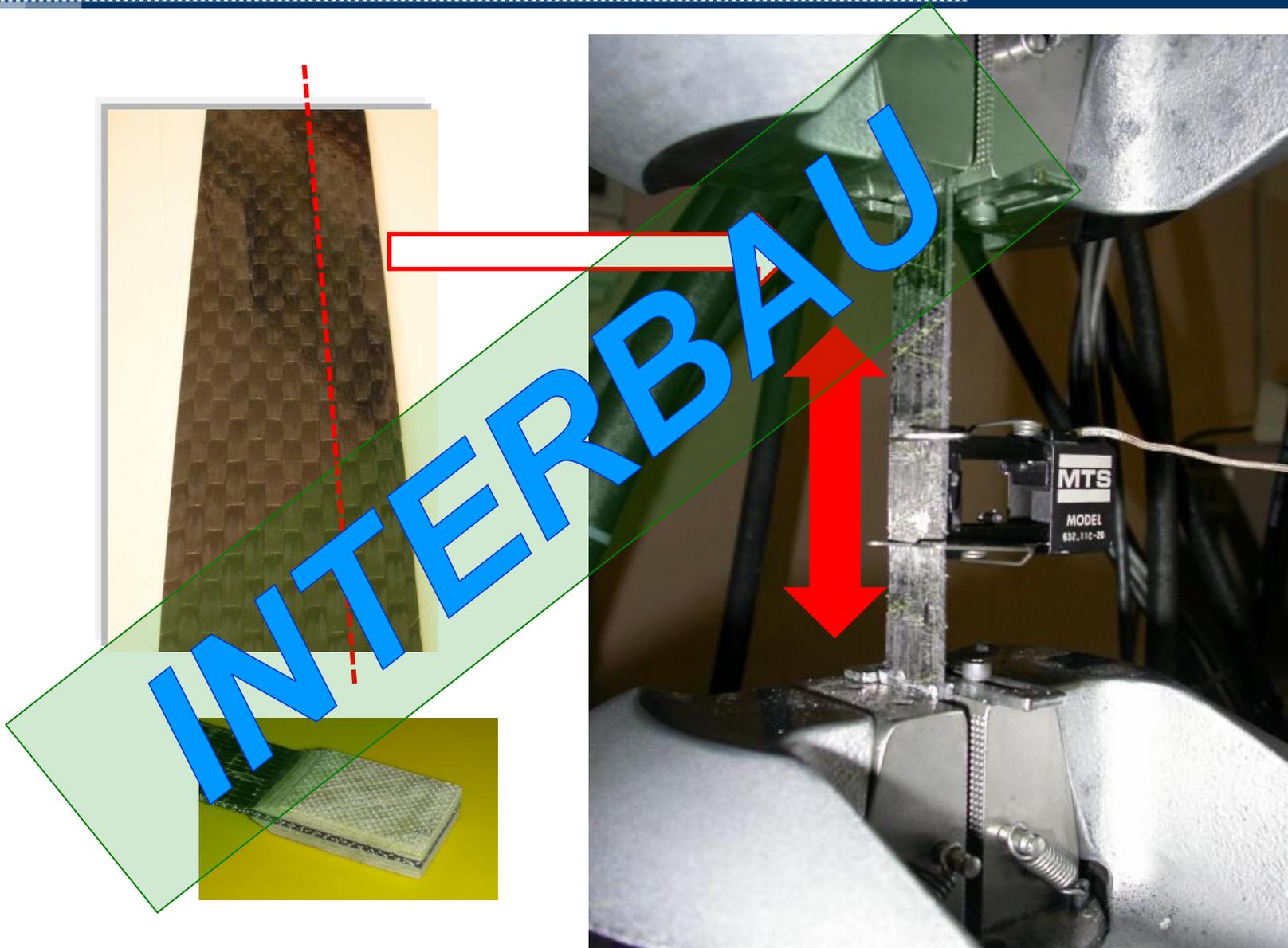


INTERBAU



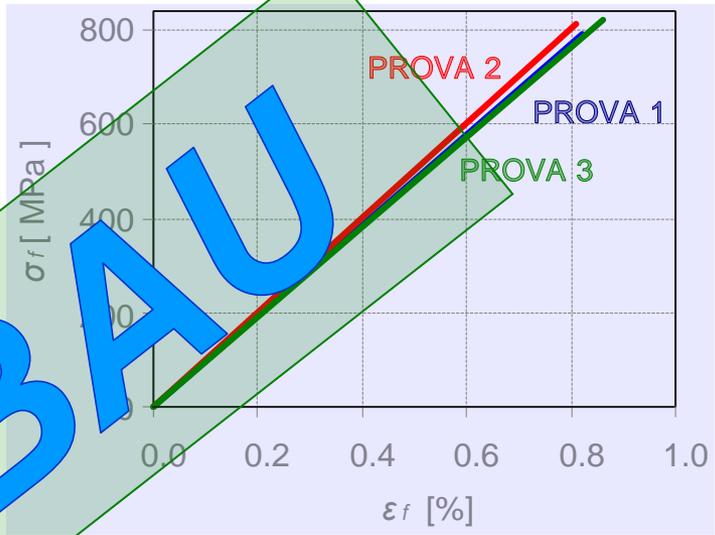
La tensione tangenziale massima corrispondente alla rottura del provino  $P_u$  deve risultare superiore alla resistenza alle tensioni tangenziali dell'adesivo.

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



# Risultati delle prove di trazione

| Provino | Largh [mm] | Spess. [mm] | $A_f$ [mm <sup>2</sup> ] | $A_{fib}$ [mm <sup>2</sup> ] |
|---------|------------|-------------|--------------------------|------------------------------|
| 1G      | 19.17      | 2.59        | 49.65                    | 12.65                        |
| 2G      | 19.32      | 2.75        | 53.13                    | 12.75                        |
| 3G      | 19.27      | 2.75        | 52.99                    | 12.72                        |
| Media   | 19.25      | 2.69        | 51.92                    | 12.72                        |



| Provino | $F_{max}$ [kN] | $\epsilon_{fu}$ [%] | $E_f$ [GPa] | $f_f$ [MPa] | $E_{fib}$ [GPa] | $f_{fib}$ [MPa] |
|---------|----------------|---------------------|-------------|-------------|-----------------|-----------------|
| 1G      | 39.62          | 0.82                | 97.7        | 798         | 381             | 3132            |
| 2G      | 40.60          | 0.81                | 94.13       | 764         | 392             | 3183            |
| 3G      | 41.15          | 0.86                | 89.85       | 776         | 374             | 3232            |
| Media   | 40.46          | 0.83                | 93.71       | 779         | 382             | 3182            |

INTERBAU

# Certificati Prove su FRP ed Adesivo



POLITECNICO DI MILANO - Dipartimento di Ingegneria Strutturale Cod. Classe INTER01 Certificato di prova n° 20113423/1 pag. 4 di 6

**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.: 0341-48.8700  
Fax: 0341-48.8771

**Sede di Milano**  
accettazione materiali: Via Colonna, 3 Tel.: 02-2399.4210 Fax: 02-2399.4211  
Cod. Fiscale: 80037600150  
P. IVA 04376620151

Richiedente: INTERBAU SRL  
Identificazione campioni: APUANIA - MARINA DI CARRARA

**Risultati delle prove di trazione**  
In Tabella 3 per i singoli campioni sono riportati i seguenti valori:  
1) carico di rottura  $P_u$ ;  
2) modulo elastico del composito riferito alla sezione del provino,  $E_T$ ;  
3) modulo elastico del composito riferito all'area delle fibre,  $E_{fb}$ ;  
4) lo sforzo di rottura del composito riferito alla sezione del provino,  $f_T$ ;  
5) lo sforzo di rottura del composito riferito all'area delle fibre,  $f_{fb}$ ;  
6) la deformazione ultima  $\epsilon_{fb}$ .

**Tabella 3 - Risultati delle prove di trazione su laminato FRP**

|       | $P_u$ [N] | $E_T$ [MPa] | $E_{fb}$ [MPa] | $f_T$ [MPa] | $f_{fb}$ [MPa] | $\epsilon_{fb}$ [%] | tipo rott. |
|-------|-----------|-------------|----------------|-------------|----------------|---------------------|------------|
| C1    | 35044     | 94223       | 384319         | 680         | 2770           | 0.72                | DL         |
| C2    | 34391     | 92098       | 384019         | 659         | 2789           | 0.73                | RT         |
| C3    | 33526     | 91862       | 390832         | 629         | 2674           | 0.68                | RT         |
| media | 34320     | 92727       | 386390         | 659         | 2746           | 0.71                |            |

Tipo di rottura: (DL = delaminazione; RT = rottura trasversale fibre)

I valori di  $E_{fb}$  ed  $f_{fb}$  sono stati ricavati a base dello spessore equivalente delle fibre. I valori sono riportati nel documento CNR-DT, 200/200

Il Responsabile Tecnico  
Ing. Giulia Fava

POLITECNICO DI MILANO - Dipartimento di Ingegneria Strutturale Cod. Classe INTER01 Certificato di prova n° 20113423/1 pag. 5 di 6

**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.: 0341-48.8700  
Fax: 0341-48.8771

**Sede di Milano**  
accettazione materiali: Via Colonna, 3 Tel.: 02-2399.4210 Fax: 02-2399.4211  
Cod. Fiscale: 80037600150  
P. IVA 04376620151

Richiedente: INTERBAU SRL  
Identificazione campioni: EDIFICIO MONTECASSINO

c) Prova di resistenza metallo-adesivo

dei provini in laminato FRP sono costituiti da due lamine di alluminio di lunghezza  $w$  e spessore  $t$  incollati tra di loro per un tratto di lunghezza  $L_a$  utilizzando uno strato di adesivo di spessore  $t_a$  (si veda Figura 1). Dimetri e unità adesivo e valori degli spessori medi dell'adesivo sono riportati in Tabella 4.

Figura 1 - Geometria del provino "single lap-shear"

**Tabella 4 - Geometria dei provini in laminato FRP**

|     | $w$ [mm] | $L_a$ [mm] | $t$ [mm] | $t_a$ [mm] |
|-----|----------|------------|----------|------------|
| SL1 | 40       | 40         | 2.00     | 0.46       |
| SL2 | 40       | 40         | 2.00     | 0.54       |
| SL3 | 40       | 40         | 2.00     | 0.56       |

**Risultati:**  
La modalità di rottura ha interessato in tutti i provini l'interfaccia metallo-adesivo. Dal valore del carico di rottura  $P_u$  è possibile ricavare lo sforzo di taglio medio  $\tau_{res}$ . Tali valori sono riportati in Tabella 5.

**Tabella 5 - Risultati delle prove su giunto adesivo**

|       | $P_u$ [N] | $\tau_{res}$ [MPa] |
|-------|-----------|--------------------|
| SL1   | 7018      | 4.39               |
| SL2   | 6144      | 3.84               |
| SL3   | 5604      | 3.50               |
| media | 6255      | 3.91               |

La tensione tangenziale media è solo indicativa dello stato di sforzo presente nella giunzione. Per un'analisi dettagliata delle distribuzioni degli sforzi normali e tangenziali nell'adesivo e dei loro valori massimi è possibile fare riferimento a modelli analitici internazionalmente riconosciuti per i quali si rimanda al testo del quaderno tecnico CCKIT.

INTERBAU

## Sommario presentazione

- 1 Caratteristiche dei materiali compositi.
- 2 FRP per il consolidamento delle strutture.
- 3 NTC ed FRP
- 4 Il controllo dei materiali.
- 5 Il controllo delle applicazioni.

**INTERBAU**

## 2.5 Accettazione – applicazioni

### Accettazione delle applicazioni

Obiettivo : verificare la qualità del sistema di rinforzo

#### Tecniche di controllo

Controlli non distruttivi

Controlli limitatamente distruttivi

Controlli periodici e monitoraggio

#### Tipi di verifica

Omogeneità dell'applicazione

Caratteristiche meccaniche materiali ed adesivi

Controllo delle varie fasi dell'applicazione

**INTERBAU**

# Controlli dell'applicazione FRP

Prove non distruttive

- Prove soniche
- Ultrasuoni
- Termografia
- Emissione acustica

Prove semi-distruttive

- Strappo normale (pull off)

**OBBLIGATORIO**

- Strappo a taglio
- Strappo inclinato
- Strappo con relazione

Monitoraggio

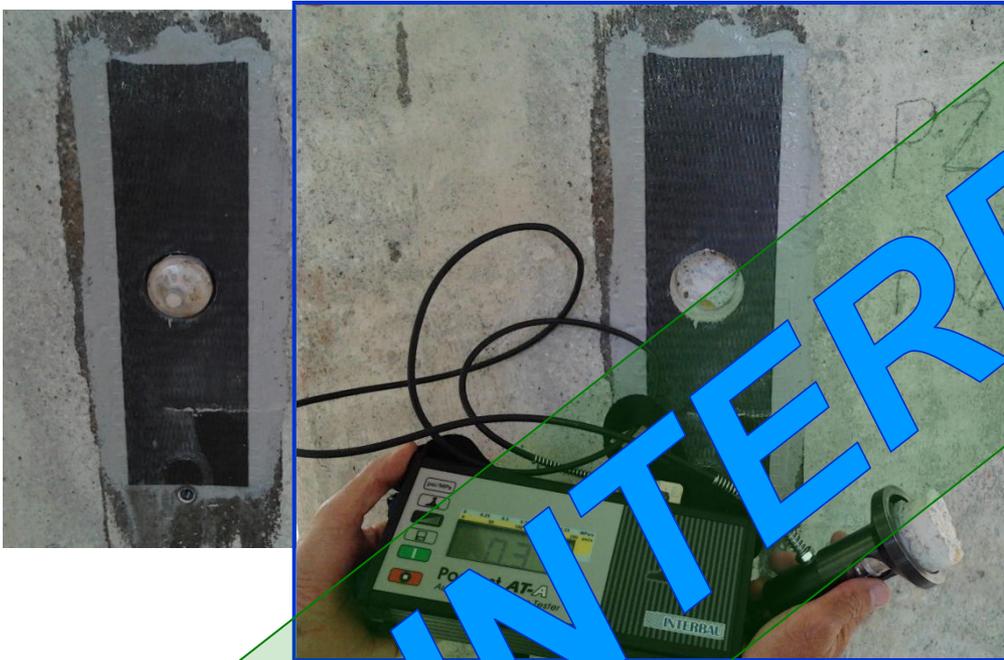
Sensori integrati

**INTERBAU**

Tecniche utilizzate nel campo aeronautico

## Prove ADESIONE FRP - CLS

Prove semi-distruttive



CNR-DT 200/2



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

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

**TIPOLOGIA PROVE: SEMIDISTRUTTIVE A STRAPPO NORMALE**

Impresa esecutrice interventi in CFRP: INTERBAU Srl, Via Leon Battista Alberti 10 – 20149 Milano  
Denominazione e Prodotto: Sistema di rinforzo: CARBOSTRUB INTERBAU Srl  
Cantiere: DALE COPUSTE (GO) (LO) Commessa: 637/11  
Progettista: SILVANO  
Direttore di cantiere: SILVANO  
Collaudatore: ing. RATTOLLI  
Schema: 1/1  
Allegato: 1/1

Strumentazione di prova: PosiTest AT-A

| Identificativo Prova   |                     | Resistenza di Picco<br>allo Strappo (Mpa) | Tipologie di Frattura |     |
|------------------------|---------------------|---|-----------------------|-----|
| Ordine n° Impalcato n° | Bornello<br>(PL/TR) | Valore strumentale<br>( $f_{cm}$ )        | Tipo                  | Lab |
| PIANO TERRA<br>CORPO B | PL26                | 1,54                                      | COESIVA               | CLS |
| PIANO TERRA<br>CORPO B | PL24                | 1,96                                      | COESIVA               | CLS |
| PIANO TERRA<br>CORPO B | PL21                | 0,37                                      | COESIVA               | CLS |
| PIANO TERRA<br>CORPO B | PL18                | 1,02                                      | COESIVA               | CLS |
| PIANO TERRA<br>CORPO B | PL14                | 1,05                                      | COESIVA               | CLS |

L'impresa Esecutrice delle Prove  
**INTERBAU S.R.L.**  
Via L. Alberti 10 - Tel. 02 2451466  
20149/MILANO  
P.IVA e C.F. 024220159

Il Direttore dei Lavori

Il Collaudatore  
Autanni Romulo

Data: 21/9/2011

# La normativa per FRP 2012 : QUALIFICAZIONE

Linee guida del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici

Linee Guida per la Qualificazione e Certificazione dei materiali fibrorinforzati per il consolidamento strutturale

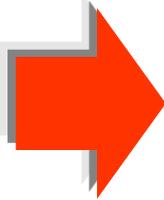
Preparate da un gruppo di lavoro istituito presso il C.S.L.P.:

Coordinatore Ing. Pietro Baratono del Ministero Infrastrutture

Prof. Luigi Ascione (Università di Salerno);

Prof. Carlo Poggi (Politecnico di Milano);

Numerosi rappresentanti delle industrie, applicatori ed associazioni.



In approvazione del Consiglio Sup. LL PP

**INTERBAU**