

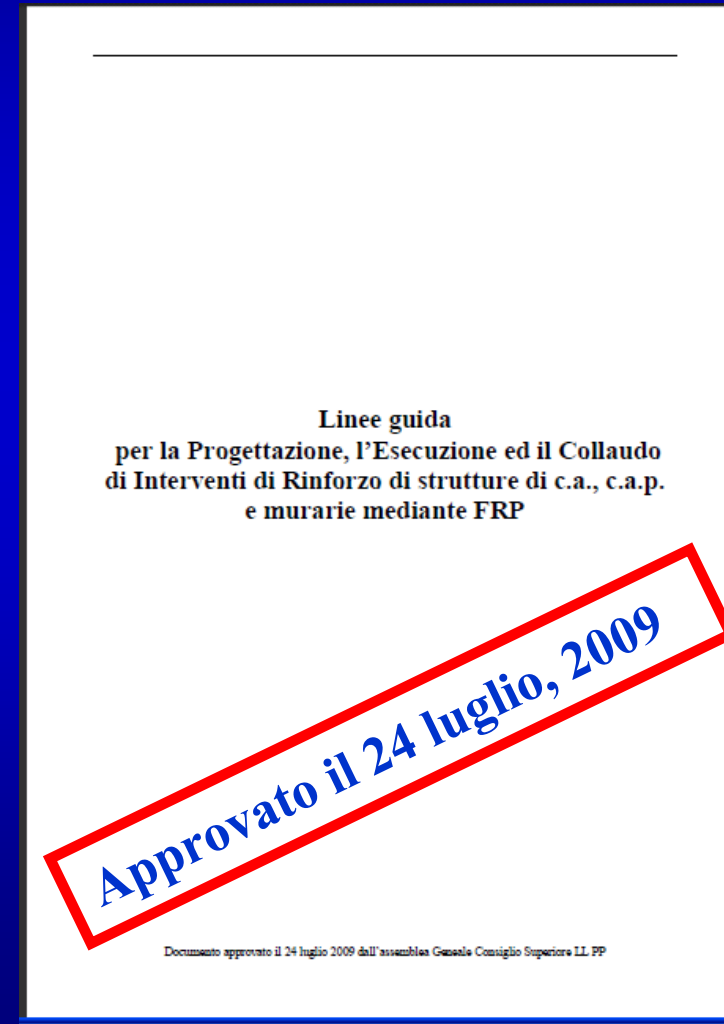
Progettazione Intervento di Rinforzo : FRP

Documenti di riferimento:

CNR DT 200/2004



Linee Guida LL.PP.





Il documento CNR-DT 200/2004

**“Istruzioni per la Progettazione, l’Esecuzione ed il Controllo
di Interventi di Consolidamento Statico mediante l’utilizzo di
Compositi Fibrorinforzati”**

Materiali (cap. 2)



Problematiche relative all'utilizzo degli FRP nel consolidamento statico: Considerazioni Iniziali

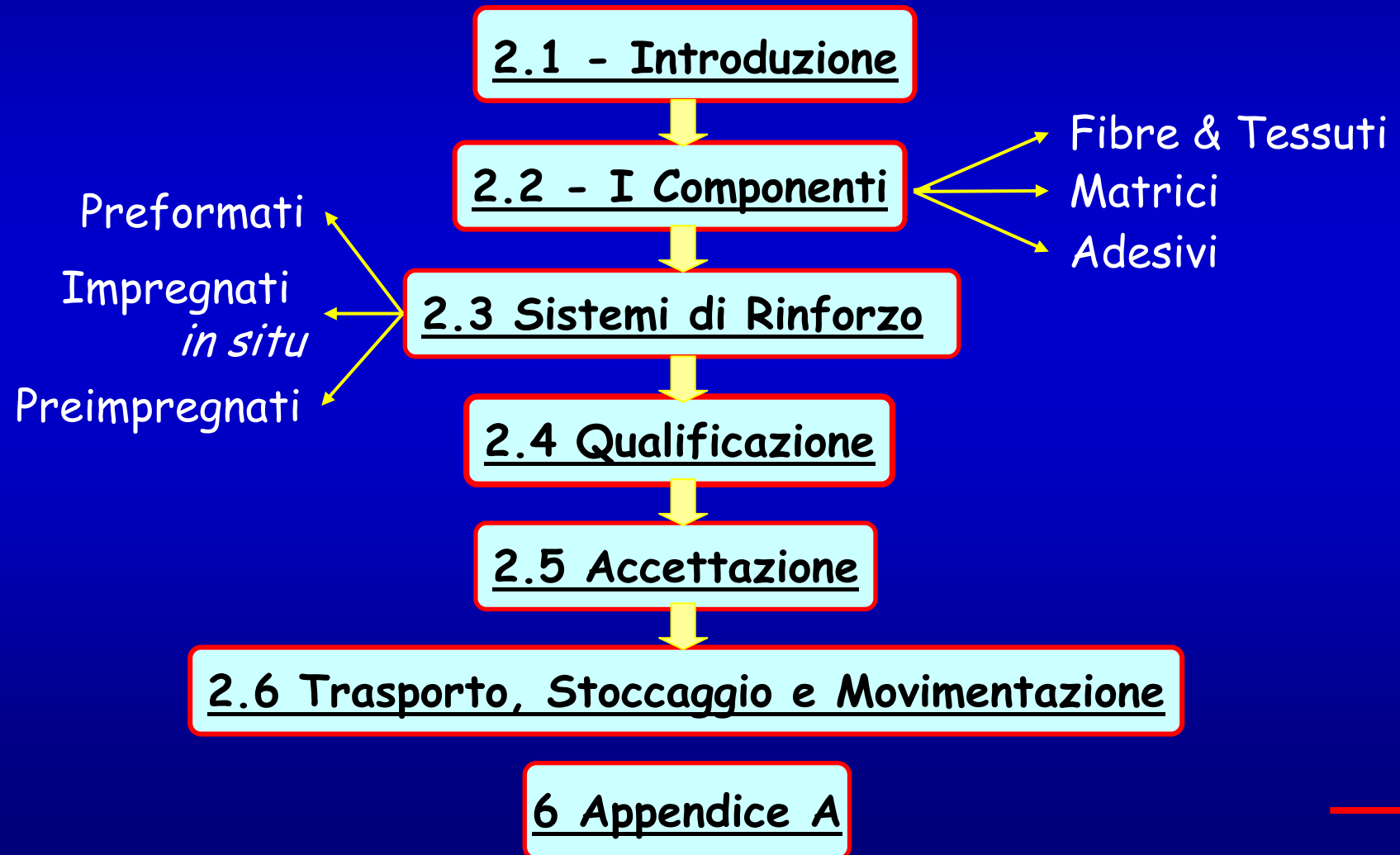
- 1. Limitate conoscenze degli FRP da parte di Progettisti / D. Lavori**
- 2. Schede Tecniche dei Prodotti**
 - ❖ Valori di resistenza / rigidezza che il progettista / direttore lavori devono conoscere
 - ❖ Valori delle caratteristiche meccaniche riportati nelle schede tecniche
- 3. Verifica della qualità dei materiali in stabilimento ed in cantiere:
QUALIFICAZIONE ed ACCETTAZIONE**
 - Prelievi dalla produzione e dalle forniture ?
 - Quali prove sperimentali ? A chi rivolgersi per la certificazione?
 - Controllo delle fasi di applicazione dell' FRP
- 4. Agevolare l'approccio dei professionisti ad una nuova forma di
progettazione multiscala.**

Il documento CNR-DT 200/2004 :

“Istruzioni per la Progettazione, l’Esecuzione ed il Controllo di Interventi di Consolidamento Statico mediante l’utilizzo di Compositi Fibrorinforzati”

Capitolo 2 : I Materiali

Struttura del capitolo 2 “Materiali”



Il documento CNR-DT 200/2004 :

“Istruzioni per la Progettazione, l’Esecuzione ed il Controllo di Interventi di Consolidamento Statico mediante l’utilizzo di Compositi Fibrorinforzati”

Capitolo 2 : I Materiali

2.1 Introduzione

metri

10^{-0}

10^{-1}

10^{-2}

10^{-3}

10^{-4}

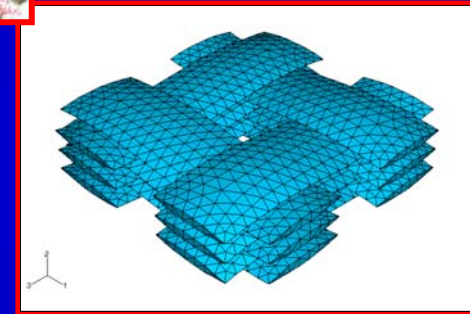
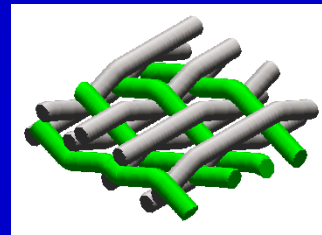
10^{-5}

Progettazione multiscala

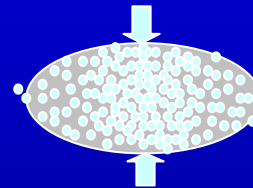
STRUTTURE



Tessuti



Yarns



Fibre



Il documento CNR-DT 200/2004 :

“Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo di Interventi di Consolidamento Statico mediante l'utilizzo di Compositi Fibrorinforzati”

Capitolo 2 : I Materiali

2.1 Introduzione

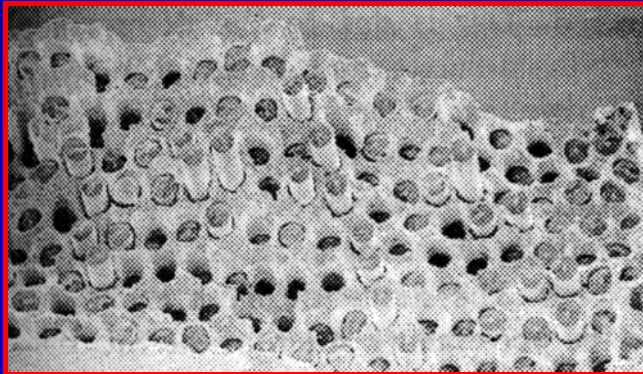


Tabella 2-2 – Scala delle dimensioni dei compositi a matrice polimerica

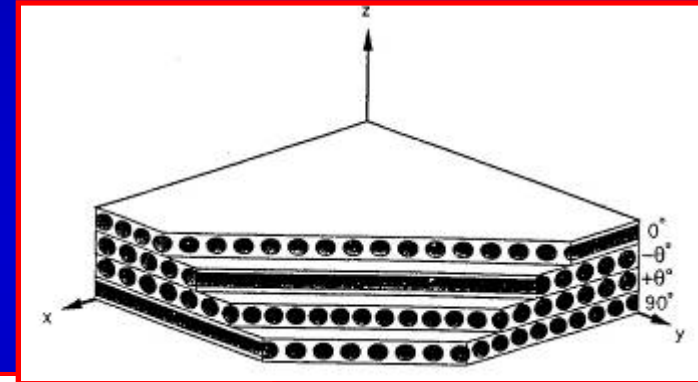


Tabella 2-2 – Scala dei compositi fibrosi a matrice polimerica.

	dimensioni rappresentative					
	pm	nm	μm	mm	m	km
Atomo	*	*				
Molecole polimeriche		*	*			
Polimeri biologici		*	*			
Cristalliti			*	*		
Sferuliti			*	*		
Diametro delle fibre			*	*		
Spessore lamina			*	*	*	
Spessore laminati				*	*	
Lunghezza laminati					*	*
Strutture					*	*

Il documento CNR-DT 200/2004 :

“Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo di Interventi di Consolidamento Statico mediante l'utilizzo di Compositi Fibrorinforzati”

Capitolo 2 : I Materiali

Tabella 2-1 – Proprietà delle fibre di rinforzo, delle matrici più comuni e dell'acciaio da costruzione (valori indicativi).

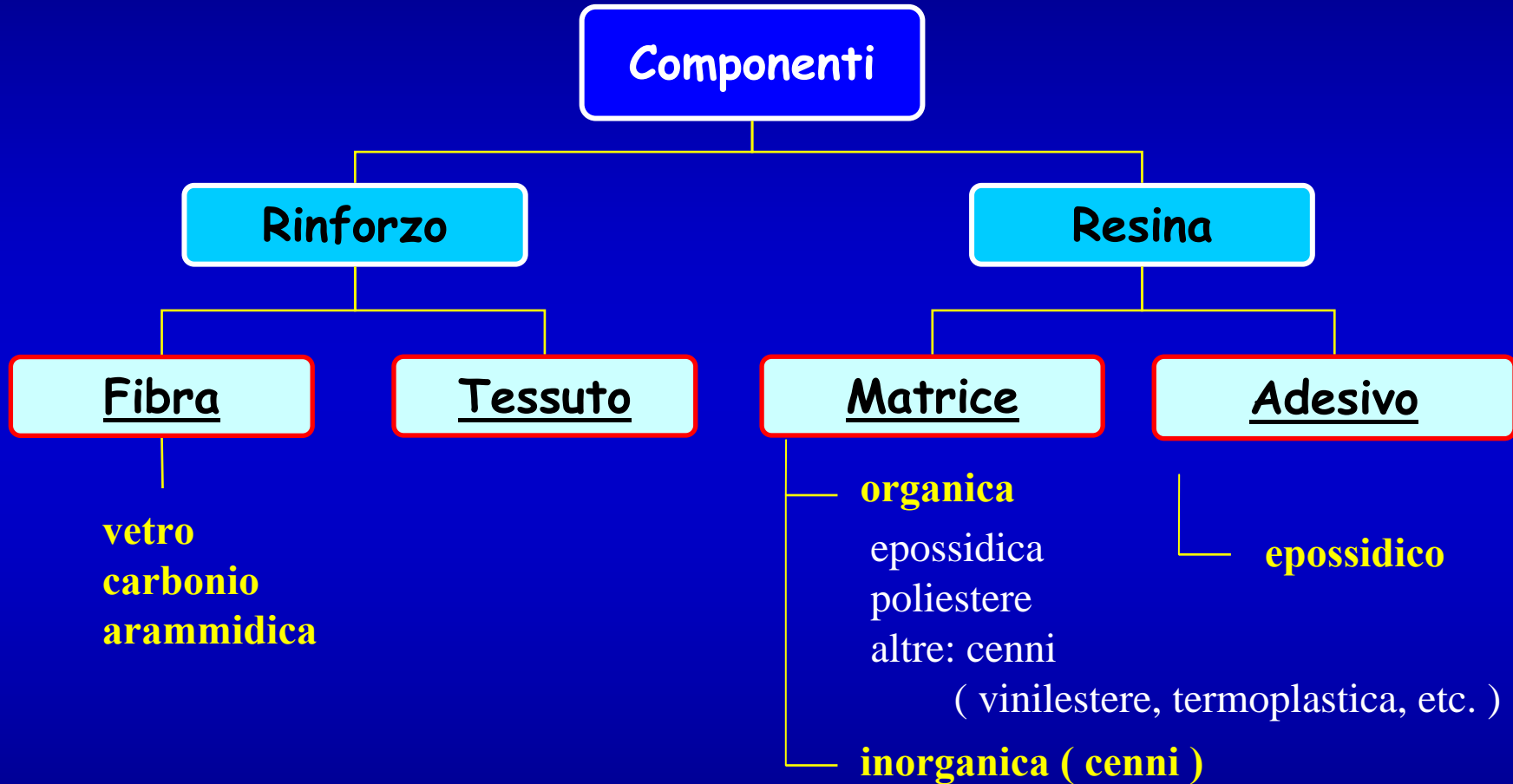
	Modulo elastico <i>E</i>	Resistenza	Deformazione e a rottura	Coefficiente di dilatazione termica	Densità
	[GPa]	[MPa]	[%]	[10 ⁻⁶ °C ⁻¹]	[g/cm ³]
fibre di vetro E	72 – 80	3400	4.8	5 – 5.4	2.5 – 2.6
fibre di vetro S	85	4500	5.4	1.6 – 2.9	2.46 – 2.49
fibre di carbonio (alto modulo)	390 – 760	2400 – 3400	0.5 – 0.8	-1.45	1.85 – 1.9
fibre di carbonio (alta resistenza)	240 – 280	4100 – 5100	1.6 – 1.73	-0.6 – -0.9	1.75
fibre aramidiche	60 – 180	3600 – 3800	1.9 – 5.5	-2	1.45 – 1.48
matrice polimerica	2.7 – 3.6	40 – 82	1.4 – 5.2	30 – 54	1.10 – 1.25
acciaio da costruzione	210	250 – 400 (snervamento) 350 – 600 (rottura)	20 – 30	10.4	7.8

Il documento CNR-DT 200/2004 :

“Istruzioni per la Progettazione, l’Esecuzione ed il Controllo di Interventi di Consolidamento Statico mediante l’utilizzo di Compositi Fibrorinforzati”

Capitolo 2 : I Materiali

2.2 Caratteristiche dei compositi e dei loro componenti



SCHEDE TECNICHE:

filato, tessuto non impregnato, resina (matrice e adesivo)

Il documento CNR-DT 200/2004 :

“Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo di Interventi di Consolidamento Statico mediante l'utilizzo di Compositi Fibrorinforzati”

Capitolo 2 : I Materiali

2.2.1.1 Tipologie di filati

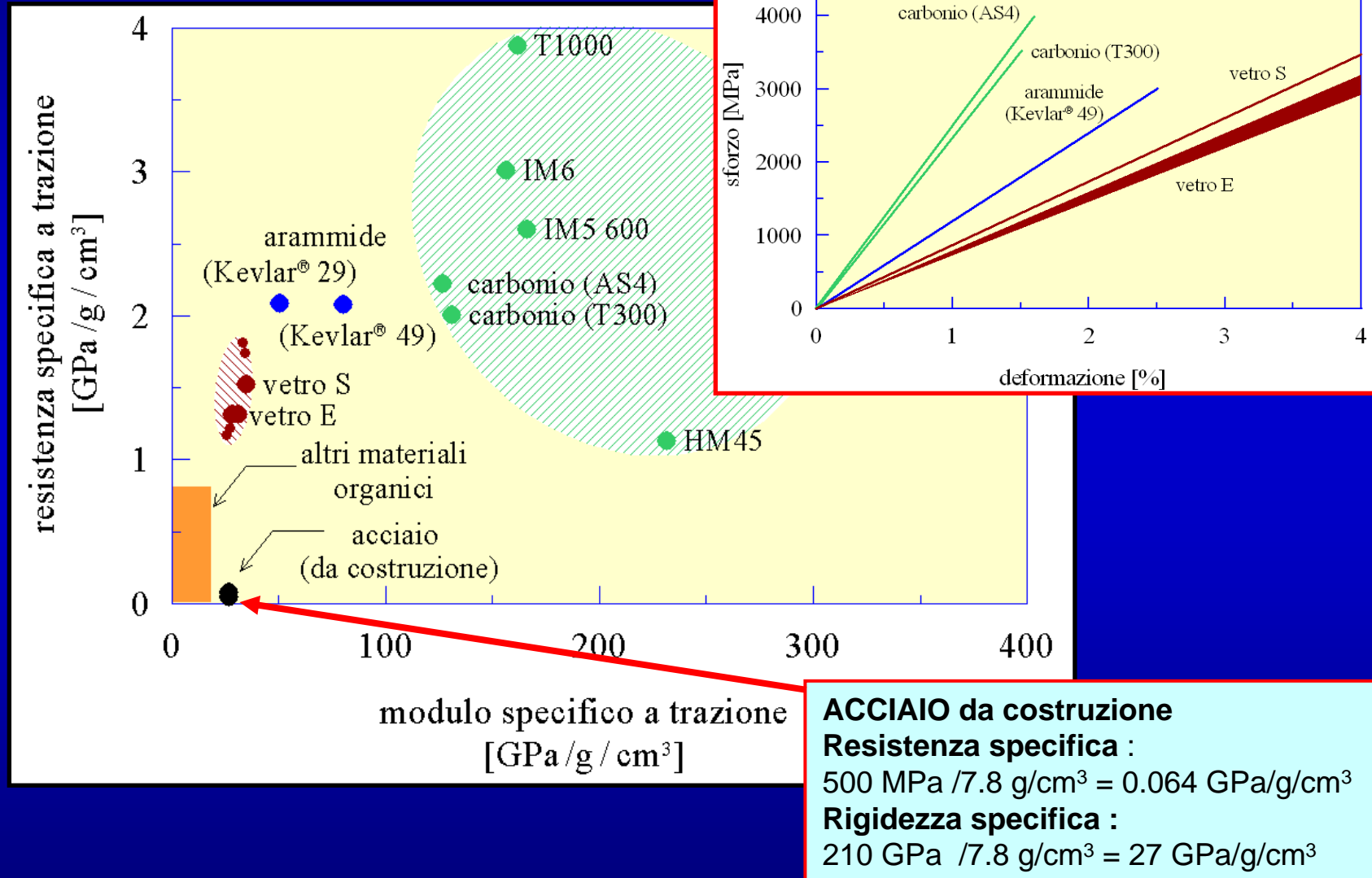


Figura 2-7 – Confronto caratteristiche meccaniche delle fibre

Il documento CNR-DT 200/2004 :

“Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo di Interventi di Consolidamento Statico mediante l'utilizzo di Compositi Fibrorinforzati”

Capitolo 2 : I Materiali

2.2.1.6 Scheda tecnica del filato

SCHEDA TECNICA: filato

IL PRODUTTORE DEVE RIPORTARE I VALORI STATISTICI NECESSARI PER LA VALUTAZIONE DELLE RESISTENZE CARATTERISTICHE (AD ESEMPIO MEDIA, SCARTO QUADRATICO MEDIO, POPOLAZIONE, FRATTILE, INTERVALLO DI CONFIDENZA).

Descrizione filato

Nome commerciale, tipo di filato, ritorcitura, finissaggi, ed ogni altra informazione generale ritenuta utile.

Caratteristiche del filato

Proprietà	Unità di misura	Metodo di prova normativa di riferimento
diametro fibra	μm	
densità fibra	g/cm^3	
n° filamenti		
titolo	Tex	ISO1889:1997(E)
tipo di finissaggio (<i>size</i>)		
contenuto di finissaggio	%	ISO1887:1995(E) ISO10548:2002(E)
modulo di elasticità normale	GPa	ISO10618:1999(E)
resistenza a trazione (valore medio e caratteristico)	MPa	ISO10618:1999(E)
deformazione a rottura	%	ISO10618:1999(E)
contenuto di umidità	%	ISO3344:1997(E)

Condizioni di Stoccaggio

Descrizione

Precauzioni d'uso e sicurezza

Descrizione

Caratteristiche del filato

Unità di misura del mondo tessile

Tex = peso in grammi di un filo di 1000 m
dTex = peso in grammi di un filo di 10000m
(denari = peso in grammi di un filo di 9000m) $[\text{den}]/[\text{dTex}] = 0.9$

(es: 8 den = 8.88 dTex)

2.2.2.1 Scheda tecnica del tessuto

SCHEDA TECNICA: tessuto non impregnato

IL PRODUTTORE DEVE RIPORTARE I VALORI STATISTICI NECESSARI PER LA VALUTAZIONE DELLE RESISTENZE CARATTERISTICHE (AD ESEMPIO MEDIA, SCARTO QUADRATICO MEDIO, POPOLAZIONE, FRATTILE, INTERVALLO DI CONFIDENZA).

Descrizione tessuto

Tipo di armatura (tela, batavia, raso, spina, ecc.), tipo di filato (trama e ordito), altri componenti oltre alla trama ed all'ordito (finissaggi, velo, filo legatura, ecc.), ed ogni altra informazione generale ritenuta utile.

Caratteristiche del tessuto

Proprietà	Direzione del filato	Unità di misura	Metodo di prova normativa di riferimento
titolo filato	ordito	Tex	ISO 1889:1997(E)
	trama	Tex	
densità filato		g/cm ³	
n° fili/cm	ordito	n°/cm	ISO 4602:1997(E)
	trama	n°/cm	
massa (peso)	totale	g/m ²	ISO 3374:2000(E)
	ordito	g/m ²	
modulo di elasticità normale a trazione	ordito	MPa	
	trama	MPa	
resistenza a trazione (valore medio e caratteristico)	ordito	[N]	ISO 4606:1995(E) (textile glass)
	trama	[N]	ISO 13934-1:1999(E)
deformazione a rottura	ordito	%	ISO 4606:1995(E) (textile glass)
	trama	%	ISO 13934-1:1999(E)

Caratteristiche del filato

Vedere scheda tecnica filato

Condizioni di Stoccaggio

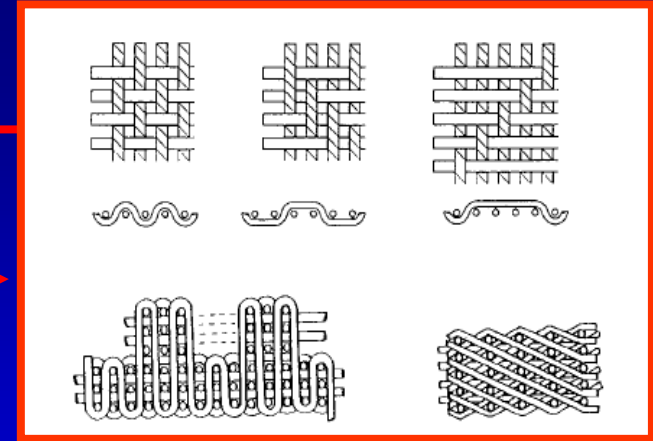
Descrizione

Precauzioni d'uso e sicurezza

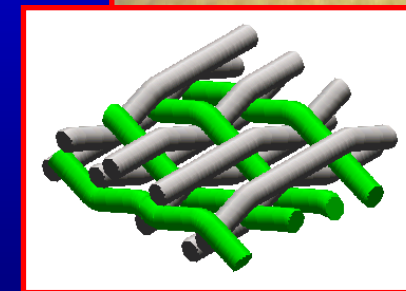
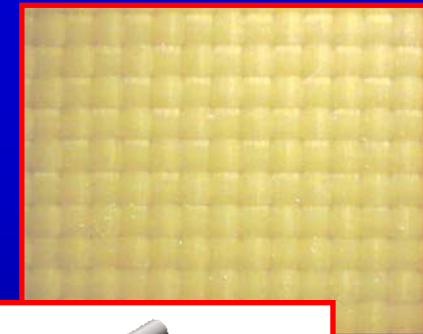
Descrizione

Indicazioni sull'utilizzo del prodotto in un sistema di rinforzo

Il produttore può fornire indicazioni relative ad altri prodotti da abbinare al tessuto per la realizzazione del sistema di rinforzo quali, ad esempio, le resine da impregnazione, eventuali rivestimenti protettivi, *primer*, *putty*, ecc. Tali informazioni devono essere corredate da risultati di prove di compatibilità eseguite sul sistema completo (vedere § 2.5).



Caratteristiche del tessuto



Il documento CNR-DT 200/2004 :

“Istruzioni per la Progettazione, l’Esecuzione ed il Controllo di Interventi di Consolidamento Statico mediante l’utilizzo di Compositi Fibrorinforzati”

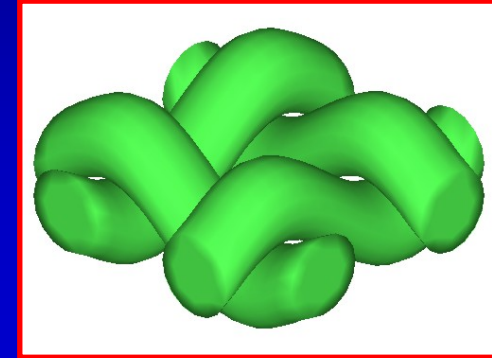
Capitolo 2 : I Materiali

2.2.2.1 - Scheda tecnica del tessuto

**Tessuti non impregnati
possibile richiesta di verifica :**

Peso del tessuto [g/m²] :

$$p_x = \frac{T_x * N_f}{10}$$



dove : T_x : titolo del filato in direzione x [Tex];

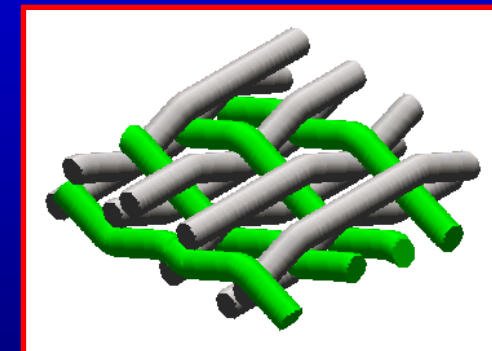
N_f : numero di filati per unità di larghezza in dir. x [n°/cm]

ESEMPIO : tessuto unidirezionale

N_f [fili/cm]	T_x [Tex]
3.8	800



$$p_x = 304 \text{ g/m}^2$$



2.2.3.4 - Scheda tecnica della resina

SCHEDA TECNICA: resina

Descrizione resina

Nome commerciale, mono o bicomponente, pasta o liquida, tipologia di utilizzo ed ogni altra informazione generale ritenuta utile.

Caratteristiche della resina non miscelata

Proprietà		Unità di misura	Comp. A	Comp. B	Miscela	Metodo di prova normativa di riferimento	Note
colore							
viscosità a 25 °C		Pa·s				ISO 2555:1989(E) ISO 3219:1993(E)	(1)
indice di tissotropia						ASTM D2196-99	(1)
densità		g/cm ³				ISO 1675:1985(E)	
rapporto di miscelazione	in volume	%					
	in peso	%					
condizioni di stoccaggio (contenitore sigillato)	tempo	mesi					
	temperatura	°C					

(1) Per resine non tissotropiche si può usare il viscosimetro Garner (solo misura di viscosità); per resine tissotropiche è necessario usare il viscosimetro Brookfield.

Caratteristiche della resina miscelata

Condizioni di miscelazione:

Descrizione

Condizioni di applicazione:

Descrizione

Proprietà		Unità di misura	Metodo di prova normativa di riferimento	Note
tempo di lavorabilità (a 35 °C)			ISO 10364:1993(E)	(2)
tempo di gelo	a 5 °C	min	ISO 9396:1997(E)	(3)
	a 20 °C		ISO 2535:2001(E)	
	a 35 °C		ISO 15040:1999(E)	
temperatura minima di applicazione		°C		
picco esotermico	tempo	min	ISO 12114:1997(E)	
	temperatura	°C		
tempo di completa reticolazione (<i>full cure</i>)	a 5 °C	min	ISO 12114:1997(E)	
	a 20 °C			
	a 35 °C			

(2) Tempo di lavorabilità (*pot life* o *working life*) = tempo massimo di lavorabilità dopo la miscelazione dei reagenti.

(3) Tempo di gelo (*gel time*) = tempo necessario affinché, dopo la miscelazione dei reagenti, il prodotto passi dallo stato liquido a quello di gel in condizioni di temperatura prestabilite.

Caratteristiche
resina
NON MISCELATA

Caratteristiche
resina
MISCELATA

Il documento CNR-DT 200/2004 :

“Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo di Interventi di Consolidamento Statico mediante l'utilizzo di Compositi Fibrorinforzati”

Capitolo 2 : I Materiali

2.2.3.4 - Scheda tecnica della resina

Proprietà della resina reticolata

Proprietà	Unità di misura	Temperatura di prova	Valore		Metodo di prova normativa di riferimento
			stagionato 5 gg. a 22 °C	stagionato 1 ora a 70 °C	
ritiro volumetrico		---			ISO 12114:1997(E)
coefficiente di dilatazione termica	$10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$	---			ISO 11359-2:1999(E)
temperatura di transizione vetrosa, T_g	$^\circ\text{C}$	---			ISO 11357-2:1999(E) (DSC) ISO 11359-2:1999(E) (TMA) ASTM E1640 (DMA)
modulo di elasticità normale a trazione	GPa				ISO 527:1993(E)
resistenza a trazione	MPa				ISO 527:1993(E)
deformazione a rottura	%				ISO 527:1993(E)

Condizioni di Stoccaggio

Descrizione

Precauzioni d'uso e sicurezza

Descrizione

Proprietà
resina
RETICOLATA

2.2.4.1 - Scheda tecnica dell' adesivo

SCHEDA TECNICA: adesivo

IL PRODUTTORE DEVE RIPORTARE I VALORI STATISTICI NECESSARI PER LA VALUTAZIONE DELLE RESISTENZE CARATTERISTICHE (AD ESEMPIO MEDIA, SCARTO QUADRATICO MEDIO, POPOLAZIONE, FRATILE, INTERVALLO DI CONFIDENZA).

Descrizione dell'adesivo

Nome commerciale, mono o bicomponente, pasta o liquida, tipologia di utilizzo, ed ogni altra informazione generale ritenuta utile.

Proprietà adesive della resina

Proprietà	Unità di misura	Temperatura di prova	Valore		Metodo di prova normativa di riferimento
			stagionato 5 gg. a 22 °C	stagionato 1 ora a 70 °C	
resistenza a taglio (valore medio e caratteristico)	MPa				<i>single lap shear</i> ISO 4587:2003(E)
resistenza a <i>peeling</i> (valore medio e caratteristico)	kN/m				<i>floating-roller method</i> ISO 4578:1997(E)

N.B. per il rinforzo esterno con lamine/nastri di FRP è in preparazione una norma ISO (TC71/SC6N): "Non-conventional reinforcement of concrete - Test methods-Part 2: Fiber reinforced polymer (FRP) sheets" in cui vengono proposte due prove per valutare l'adesione sul calcestruzzo: "Test Method for direct pull-off strength of FRP sheets with concrete" e "Test Method for bond properties of FRP sheets to concrete". Un'analoga prova di *pull-off*, "Test method for direct tension pull-off test", è proposta anche dal documento ACI 440.3R-04 "Guide Test Methods for Fiber-Reinforced Polymers for Reinforcing or Strengthening Concrete Structures" dell'American Concrete Institute.

Per l'adesione sull'acciaio tali norme non propongono prove specifiche. Esiste però un'analoga normativa Giapponese (JSCE-E544-2000 in "Test methods for continuous fiber sheets") che propone anche un test di *lap shear strength* tra FRP e acciaio. I documenti citati prevedono inoltre una prova di resistenza a taglio dell'adesivo basata su *lap shear test*.

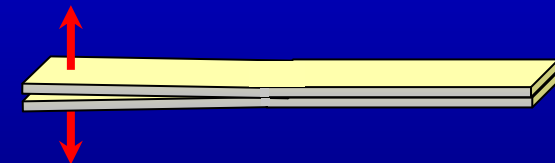
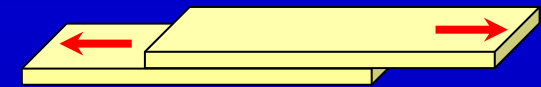
Condizioni di Stoccaggio

Descrizione

Precauzioni d'uso e sicurezza

Descrizione

Proprietà
ADESIVE
della resina



Il documento CNR-DT 200/2004 :

“Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo di Interventi di Consolidamento Statico mediante l'utilizzo di Compositi Fibrorinforzati”

Capitolo 2 : I Materiali

Sistemi di Rinforzo



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 nell'applicazione



Preimpregnati *prepreg systems*

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

Il documento CNR-DT 200/2004 :

“Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo di Interventi di Consolidamento Statico mediante l'utilizzo di Compositi Fibrorinforzati”

Capitolo 2 : I Materiali

2.3.1 – Proprietà mecc. sistemi di rinforzo

Fibre

- ❖ elemento portante
- ❖ elevata rigidezza e resistenza

Composito

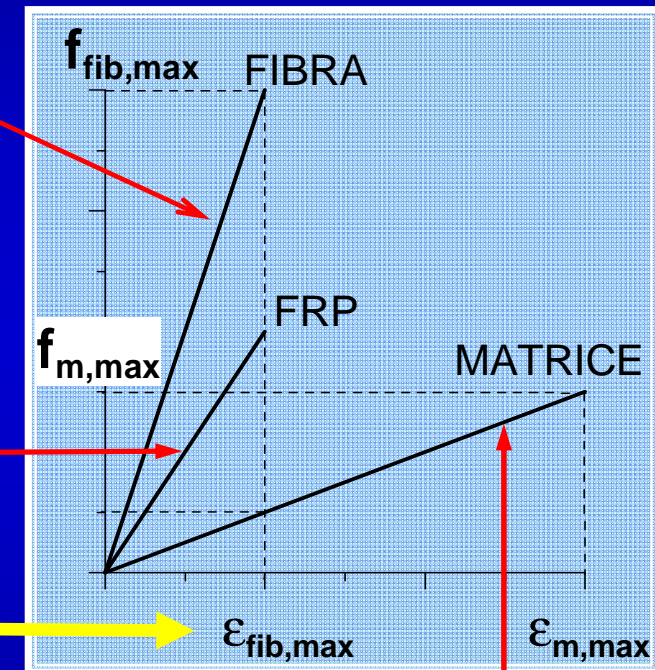
rigidezza e resistenza inferiori alle fibre

rottura FRP

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

Resina

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



Il documento CNR-DT 200/2004 :

“Istruzioni per la Progettazione, l’Esecuzione ed il Controllo di Interventi di Consolidamento Statico mediante l’utilizzo di Compositi Fibrorinforzati”

Capitolo 2 : I Materiali

Proprietà meccaniche di un prodotto preformato e delle corrispondenti fibre

Sistemi preformati	Modulo di elasticità [GPa]		Tensione di rottura [MPa]		Deformazione rottura [%]	
	FRP E_f	Fibre E_{fib}	FRP f_f	Fibre f_{fib}	FRP ϵ_{fu}	Fibre $\epsilon_{fib,u}$
Basso modulo	160	210-230	2800	3500-4800	1.6	1.4-2.0
Alto modulo	300	350-500	1500	2500-3100	0.5	0.4-0.9

Valori FRP inferiori fibre

Valori comparabili

2.3.1 – Proprietà mecc. sistemi di rinforzo

Il documento CNR-DT 200/2004 :

“Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo di Interventi di Consolidamento Statico mediante l'utilizzo di Compositi Fibrorinforzati”

Capitolo 2 : I Materiali

2.3.1 – Proprietà mecc. sistemi di rinforzo

Stima delle proprietà degli FRP mediante modelli micromeccanici

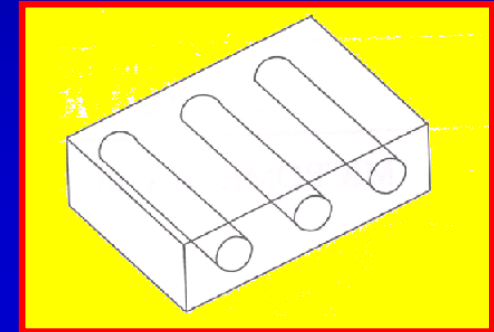
$$E_f = V_{fib} \cdot E_{fib} + (1 - V_{fib}) \cdot E_m$$

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

V_{fib} frazione volumetrica
= Volume fibre / Volume composito

Stima sufficientemente accurata per

- FRP unidirezionali
- Modulo elastico



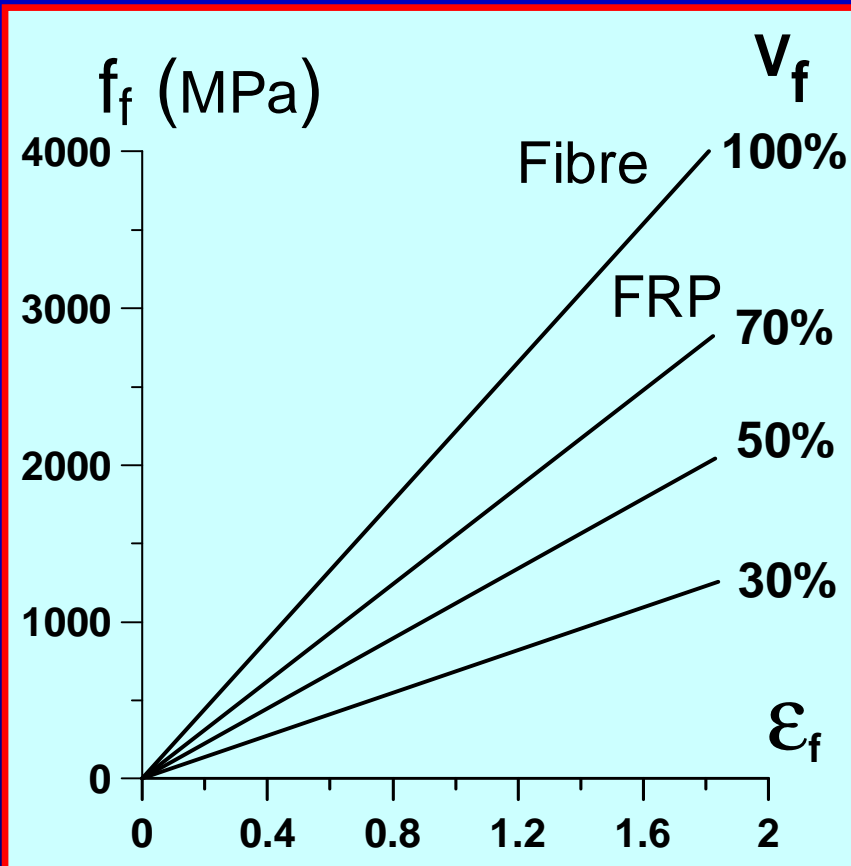
Il documento CNR-DT 200/2004 :

“Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo di Interventi di Consolidamento Statico mediante l'utilizzo di Compositi Fibrorinforzati”

Capitolo 2 : I Materiali

2.3.1 – Proprietà mecc. sistemi di rinforzo

FRP impregnato in situ con V_f variabile



Quantità di resina non nota a priori

Proprietà dei componenti

Fibre

$$E_{fib} = 220 \text{ GPa}$$

$$f_{fib} = 4000 \text{ MPa}$$

Matrice

$$E_m = 3 \text{ GPa}$$

$$f_m = 80 \text{ MPa}$$

Il documento CNR-DT 200/2004 :

“Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo di Interventi di Consolidamento Statico mediante l'utilizzo di Compositi Fibrorinforzati”

Capitolo 2 : I Materiali

2.3.1 – Proprietà mecc. sistemi di rinforzo

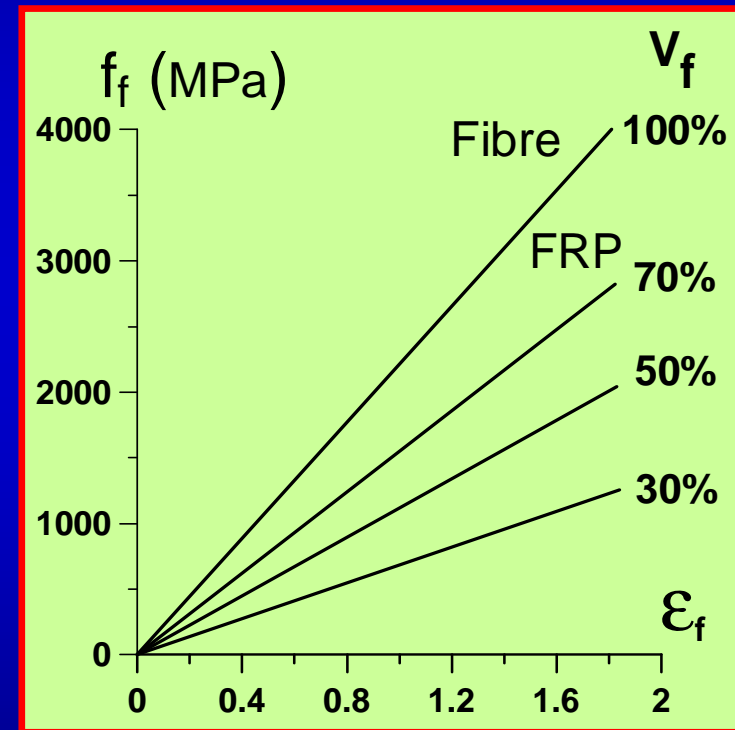
FRP impregnato in situ con V_f variabile

Proprietà del composito

E_f , f_f variano se riferite alla sezione completa

$$\left. \begin{array}{l} F_{uf} = f_f A_f \\ E_f A_f \end{array} \right\}$$

subiscono piccole variazioni



Il documento CNR-DT 200/2004 :

“Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo di Interventi di Consolidamento Statico mediante l'utilizzo di Compositi Fibrorinforzati”

Capitolo 2 : I Materiali

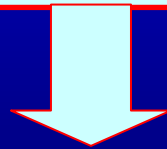
Preformati
precured systems

$V_f = 50-70 \%$

Stima proprietà : regola miscele applicabile

Si ignorano :

- ❖ **aderenza fibra matrice**
- ❖ **presenza difetti interni (vuoti etc.)**
- ❖ **distribuzione fibre non omogenea**
- ❖ **imperfezioni orientamento fibre**



Prove sperimentali eseguite dal produttore

2.3.2 – Sistemi preformati

Il documento CNR-DT 200/2004 :

“Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo di Interventi di Consolidamento Statico mediante l'utilizzo di Compositi Fibrorinforzati”

Capitolo 2 : I Materiali

2.3.1 Scheda tecnica compositi preformati

SCHEMA TECNICA: compositi preformati

(lamine, barre per armatura ordinaria, cavi di precompressione)

IL PRODUTTORE DEVE RIPORTARE I VALORI STATISTICI NECESSARI PER LA VALUTAZIONE DELLE RESISTENZE CARATTERISTICHE (AD ESEMPIO MEDIA, SCARTO QUADRATICO MEDIO, POPOLAZIONE, FRATTILE, INTERVALLO DI CONFIDENZA).

Descrizione

Nome commerciale, tipo di fibra, tipo di resina, tecnologia di produzione (pultrusione, laminazione, ecc.), marchiatura ed ogni altra informazione generale ritenuta utile.

Caratteristiche geometriche e fisiche

Proprietà	Unità di misura	Metodo di prova normativa di riferimento	Note	
spessore (lamina)	mm			
larghezza	mm			
lunghezza	mm			
geometria della sezione (barre, cavi)				
area nominale (barre, cavi)	mm ²			
perimetro nominale (barre, cavi)	mm		(1)	
Colore				
densità	fibra	g/cm ³	ISO 1183-1:2004(E)	(2)
	matrice	g/cm ³		
contenuto di fibra	in peso	%	ISO 11667:1997(E)	
	in volume	%		
temperatura di transizione vetrosa della resina (T _g)	°C	ISO 11357-2:1999(E) (DSC) ISO 11359-2:1999(E) (TMA) ASTM E1640 (DMA)		
temperatura limite massima di utilizzo	°C			
conduttività elettrica	S/m			

(1) Valore utile nel caso di barre e cavi di sezione non circolare per il calcolo della lunghezza di ancoraggio.

(2) Valore utile per calcolare la frazione in peso di fibra quando è nota quella in volume o viceversa.

natura statistica dei valori forniti:
CARATTERISTICI
o **MEDI** ?

DESCRIZIONE
DETTAGLIATA
del prodotto

caratteristiche
GEOMETRICHE
e **FISICHE**
con riferimenti
a norme ISO
(o ASTM)

NOTE e
COMMENTI

Il documento CNR-DT 200/2004 :

“Istruzioni per la Progettazione, l’Esecuzione ed il Controllo di Interventi di Consolidamento Statico mediante l’utilizzo di Compositi Fibrorinforzati”

Capitolo 2 : I Materiali

Proprietà

Proprietà	Unità di misura	Metodo di prova normativa di riferimento	Note
modulo di elasticità normale a trazione	GPa	ISO 527-4,5:1997(E)	
resistenza a trazione (valore medio e caratteristico)	MPa	ISO 527-4,5:1997(E)	
deformazione a rottura a trazione	%	ISO 527-4,5:1997(E)	
modulo di elasticità normale a compressione (barre)	GPa	ISO 14126:1999(E)	
resistenza a compressione (barre) (valore medio e caratteristico)	MPa	ISO 14126:1999(E)	
deformazione a rottura per compressione (barre)	%	ISO 14126:1999(E)	
resistenza a creep		ISO 899-1:2003(E)	(3)
rilassamento (barre, cavi)			(4)
aderenza: tensione tangenziale (barre, cavi)		prova di pull-out	(4)

(3) La ISO 899-1:2003(E) è la normativa di riferimento generale per la determinazione del comportamento a creep di materiali polimerici rinforzati (compositi) o non, mentre per le barre per armatura ed i cavi di precompressione è in preparazione una norma ISO (TC71/SC6N): "Non-conventional reinforcement of concrete - Test methods-Part 1: Fiber reinforced polymer (FRP) bars and grids" in cui è proposta una prova specifica per le barre di FRP ("Test Method for creep failure"). In alternativa esiste una prova proposta nel documento ACI 440.3R-04 "Guide Test Methods for Fiber-Reinforced Polymers for Reinforcing or Strengthening Concrete Structures" dal titolo: "Test Method for creep rupture of FRP bars"

(4) Nella norma ISO (TC71/SC6N) riguardante barre e cavi di FRP sono proposte le due seguenti prove: "Test method for bond strength by pull-out testing" per l'aderenza e "Test Method for long-term relaxation" per il rilassamento. Prove analoghe sono previste dal documento ACI 440.3R-04

Condizioni di Stoccaggio

Descrizione

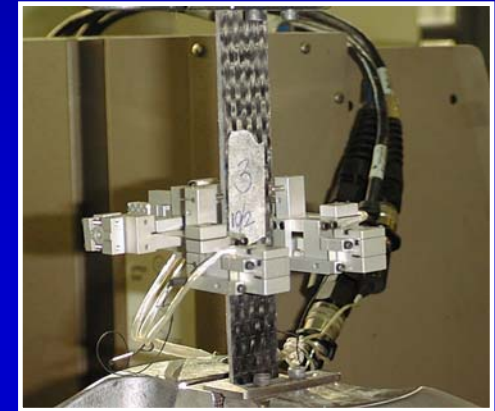
Precauzioni d'uso e sicurezza

Descrizione

Indicazioni sull'utilizzo del prodotto in un sistema di rinforzo

Il produttore può fornire indicazioni relative ad altri prodotti da abbinare al composito preformato per la realizzazione del sistema di rinforzo quali, ad esempio, gli adesivi, eventuali rivestimenti protettivi, *primer*, *putty*, ecc. Tali informazioni devono essere corredate da risultati di prove di compatibilità eseguite sul sistema completo.

PROPRIETA' MECCANICHE



STOCCAGGIO

PRECAUZIONI D'USO e SICUREZZA

NOTE e COMMENTI

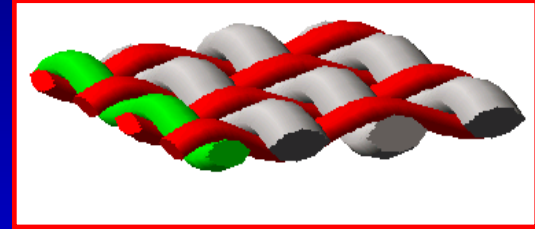
Il documento CNR-DT 200/2004 :

“Istruzioni per la Progettazione, l’Esecuzione ed il Controllo di Interventi di Consolidamento Statico mediante l’utilizzo di Compositi Fibrorinforzati”

Capitolo 2 : I Materiali

2.3.3 Sistemi impregnati *in situ*

Sistemi Impregnati in situ
Wet lay-up



Non è possibile stimare lo spessore finale del laminato

Riferimento all'area resistente del tessuto (schede tecniche)

Effetto delle imperfezioni (allineamento, vuoti, intreccio fibre etc.)

Coefficienti sperimentali

α_{fE} α_{ff}

Il documento CNR-DT 200/2004 :

“Istruzioni per la Progettazione, l’Esecuzione ed il Controllo di Interventi di Consolidamento Statico mediante l’utilizzo di Compositi Fibrorinforzati”

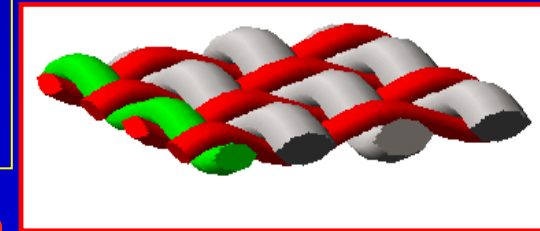
Capitolo 2 : I Materiali

Impregnati in situ
Wet lay-up

Area resistente delle fibre [mm²/m]
e Spessore Lastra Equivalente [mm] :

$$A_{rt} = \frac{T_x * N_f}{10\rho} = \frac{p_t}{n\rho}$$

$$t_{eq} = \frac{A_{rt}}{1000}$$



se tessuto bilanciato

dove : T_x : titolo del filato [Tex]
 N_f : numero di filati per unità di larghezza [n° /cm]

p_t : peso del tessuto [g/m²]
 ρ : densità della fibra [g/cm³]
 $n = 1$: tessuto UD;
 $n = 2$: tessuto bidirezionale

ESEMPIO : tessuto non bilanciato

p_t [g/m ²]	ρ [g/cm ³]	n° fili / cm		titolo [Tex]	
		trama	ordito	trama	ordito
187	1.76	4	8	67	200

$$\begin{aligned} A_{rt}^{trama} &= 15.2 \frac{\text{mm}^2}{\text{m}} \\ A_{rt}^{ordito} &= 90.9 \frac{\text{mm}^2}{\text{m}} \\ t_{eq}^{trama} &\neq t_{eq}^{ordito} \end{aligned}$$

2.3.2 - Sistemi impregnati in situ

Il documento CNR-DT 200/2004 :

“Istruzioni per la Progettazione, l’Esecuzione ed il Controllo di Interventi di Consolidamento Statico mediante l’utilizzo di Compositi Fibrorinforzati”

Capitolo 2 : I Materiali

2.3.3 Sistemi impregnati *in situ*

Sistemi Impregnati in situ
Wet lay-up

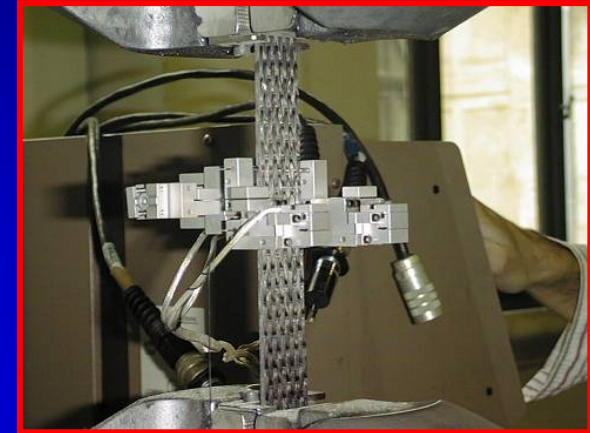
Per valutare proprietà reali dell’FRP

Modalità 1) determinazione dei coeff. sperimentali

Su campioni del composito
eseguiti in laboratorio

$$A_f E_f = \alpha_{fE} A_{fib} E_{fib}$$

$$A_f f_f = \alpha_{ff} A_{fib} f_{fib}$$



Include
imperfezioni del
composito

Non considera
la natura del
supporto

Il documento CNR-DT 200/2004 :

“Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo di Interventi di Consolidamento Statico mediante l'utilizzo di Compositi Fibrorinforzati”

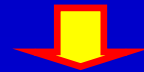
Capitolo 2 : I Materiali

2.3.3 Sistemi impregnati *in situ*

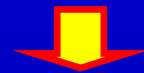
Sistemi Impregnati in situ
Wet lay-up



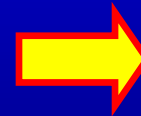
Per valutare proprietà reali dell'FRP



Modalità 2) prove su sistemi completi di supporto



E' possibile fornire le
proprietà del sistema
posato in opera



Include imperfezioni
composito e natura
supporto



Costo delle prove

Il documento CNR-DT 200/2004 :

“Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo di Interventi di Consolidamento Statico mediante l'utilizzo di Compositi Fibrorinforzati”

Capitolo 2 : I Materiali

2.4 - Qualificazione dei Materiali

Qualificazione

oggetto

Caratteristiche
meccaniche e fisiche dei
materiali

obiettivi

1. ASSICURARE la QUALITA' del prodotto ed il rispetto di valori minimi richiesti;
2. FORNIRE VALORI delle proprietà STATISTICAMENTE SIGNIFICATIVI;
3. FORNIRE VALORI delle proprietà A LUNGO TERMINE mediante prove accelerate.

operatori

laboratori di prova qualificati per
la caratterizzazione dei materiali
compositi e dei loro componenti



Il documento CNR-DT 200/2004 :

“Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo di Interventi di Consolidamento Statico mediante l'utilizzo di Compositi Fibrorinforzati”

Capitolo 2 : I Materiali

2.4 - Qualificazione dei Materiali

Livello 1



PROPRIETA' FISICO-MECCANICHE

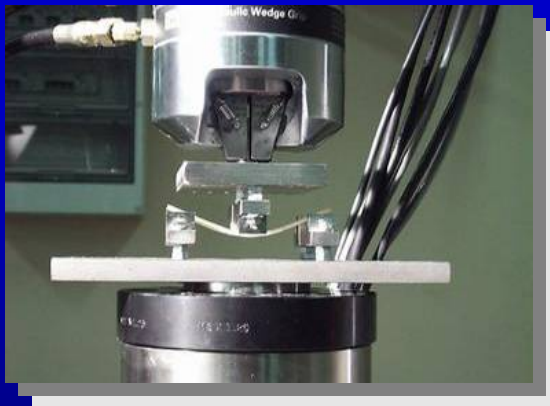
definire le caratteristiche fisiche e meccaniche del composito attraverso un'analisi statistica di una serie sufficientemente ampia di prove

Livello 2



PROPRIETA' a LUNGO TERMINE

definire le caratteristiche fisiche e meccaniche del composito a lungo termine



Si distinguono tre tipi di comportamenti nel tempo:

1. fenomeni di **DEGRADO CHIMICO**
2. effetti di **FATTORI AMBIENTALI**
(es. cicli gelo-disgelo, ...)
3. effetto di carichi costanti o variabili (*creep* e fatica)

3.3.3 Proprietà dei materiali

- Il **valore di calcolo** delle proprietà di un materiale o di un prodotto usati nel **rinforzo** è dato da:

$$X_d = \eta \frac{X_k}{\gamma_m}$$

X_k è il valore caratteristico della proprietà

η è un fattore di conversione che tiene conto di problemi speciali di progetto

γ_m è il coefficiente parziale, che tiene conto delle condizioni di applicazione.

3.3 Principi generali del progetto di rinforzo

3.3.3 Proprietà dei materiali

- Il **valore di calcolo** della proprietà di un materiale **preesistente** nella struttura da rinforzare è dato da:

$$X_d = \eta \frac{X_{k(n)}}{\gamma_m}, \quad \text{dove: } X_{k(n)} = m_X (1 - k_n V_X)$$

- m_X è il valore **medio** della proprietà X risultante dal numero n di prove eseguite
- k_n è fornito in Tabella 3-1 in funzione di n
- V_X (coefficiente di variazione) è pari a:
 - 0.10 per l'acciaio
 - 0.20 per il calcestruzzo
 - 0.30 per la muratura e per il legno.

Il documento CNR-DT 200/2004 :

“Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo di Interventi di Consolidamento Statico mediante l'utilizzo di Compositi Fibrorinforzati”

Capitolo 2 : I Materiali

Accettazione

NECESSITA' di prevedere una serie di **CONTROLLI** per **GARANTIRE** la **QUALITA'** dei materiali fibrorinforzati impiegati, come già accade per i materiali da costruzione tradizionali.

Il Documento CNR-DT 200/2004 individua le competenze e le responsabilità di tutte le parti coinvolte (progettista, produttori, applicatori, direttori dei lavori, collaudatori, laboratori di prova)

Il documento CNR-DT 200/2004 :

“Istruzioni per la Progettazione, l’Esecuzione ed il Controllo di Interventi di Consolidamento Statico mediante l’utilizzo di Compositi Fibrorinforzati”

Capitolo 2 : I Materiali

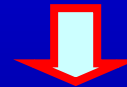
2.5.1 - Compiti e Responsabilità

PRODUTTORI e/o FORNITORI :

- mantenere un costante programma di controllo di qualità della produzione,
- fornire certificati di prova per ogni lotto di produzione
- adottare un sistema di rintracciabilità (marchiatura, etichette cartellini)
- qualificare se possibile l’intero sistema di rinforzo con diversi substrati (insieme di fibre, resine o preformati e relativi adesivi)

Sistemi di rinforzo di tipo A : di cui sia possibile fornire le caratteristiche meccaniche del sistema completo supportate da prove di laboratorio certificate

Sistemi di rinforzo di tipo B : altri sistemi.



Coefficienti parziali per i materiali ed i prodotti in FRP.

Tipo di collasso	Coeff.	Appl. Tipo A	Appl. Tipo B
Rottura	γ_f	1.10	1.25
Delaminazione	$\gamma_{f,d}$	1.20	1.50

Il documento CNR-DT 200/2004 :

“Istruzioni per la Progettazione, l’Esecuzione ed il Controllo di Interventi di Consolidamento Statico mediante l’utilizzo di Compositi Fibrorinforzati”

Capitolo 2 : I Materiali

2.5.1 - Compiti e Responsabilità

PROGETTISTA :

- deve indicare qualità, caratteristiche geometriche, meccaniche e fisiche dei costituenti il sistema di rinforzo, criteri di accettazione e requisiti minimi
- deve specificare criteri di accettazione dei materiali per il direttore dei lavori definendo le prove in base all’importanza e all’entità dell’intervento
- indicare prove di verifica della qualità dell’installazione

IMPRESE e APPLICATORI :

- fornire prodotti conformi alle prescrizioni del progettista,
- controllare adeguatezza delle schede tecniche in accompagnamento
- controllare i certificati di collaudo dei lotti di produzione.

LABORATORI di PROVA :

- possedere provata esperienza nel campo dei compositi,
- possedere attrezzature idonee alla caratterizzazione di fibrorinforzati,
- rilasciare rapporti di prova dettagliati,
- fare riferimento a norme specifiche per i materiali fibrorinforzati.

Il documento CNR-DT 200/2004 :

“Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo di Interventi di Consolidamento Statico mediante l'utilizzo di Compositi Fibrorinforzati”

Capitolo 2 : I Materiali

2.5.1 - Compiti e Responsabilità

DIRETTORE dei LAVORI :

- stabilire quali e quanti prelievi e prove effettuare,
- controllare corrispondenza tra materiale fornito e prescrizioni del progettista,

- **se viene fornito il sistema completo:**

può richiedere l'esecuzione di prove sperimentali per valutare la qualità dei materiali forniti e verificare la corrispondenza dei risultati con i valori dichiarati dal produttore (facoltativo)

- **se i singoli componenti del sistema di rinforzo sono forniti da produttori diversi e non sono state verificate le caratteristiche del sistema completo:**

ha l'obbligo di richiedere una serie di prove di caratterizzazione del materiale composito ottenuto per controllare la compatibilità dei componenti impiegati e di predisporre prove di accettazione del sistema globale installato.

COLLAUDATORE :

- verificare la qualità dei materiali impiegati,
- analizzare i risultati delle eventuali prove di accettazione.

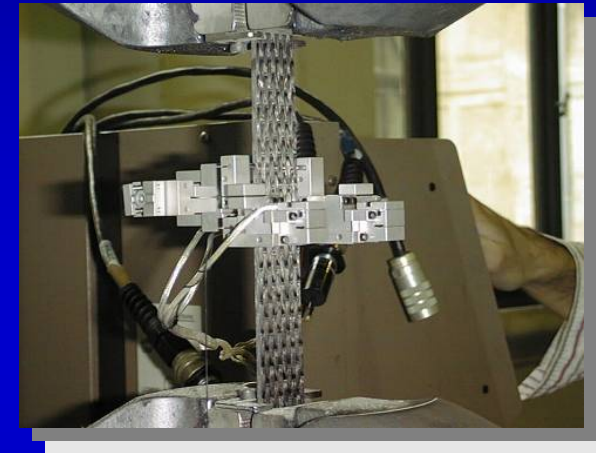
Il documento CNR-DT 200/2004 :

“Istruzioni per la Progettazione, l’Esecuzione ed il Controllo di Interventi di Consolidamento Statico mediante l’utilizzo di Compositi Fibrorinforzati”

Capitolo 2 : I Materiali

La caratterizzazione meccanica degli FRP

più complessa
rispetto ad altri materiali da
costruzione



SCELTA dei CAMPIONI

- se compositi prodotti **in stabilimento** : campioni estratti dalla produzione secondo criteri definiti
- se compositi prodotti *in situ* : campioni prodotti con gli stessi componenti ed in condizioni ambientali definite

Preparazione dei provini in laboratorio o in cantiere a seconda delle necessità (prove di qualificazione o di accettazione, importanza dell’applicazione, ...)

Il documento CNR-DT 200/2004 :

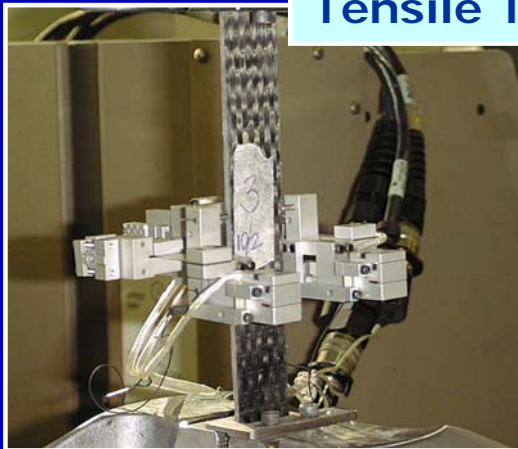
“Istruzioni per la Progettazione, l’Esecuzione ed il Controllo di Interventi di Consolidamento Statico mediante l’utilizzo di Compositi Fibrorinforzati”

Capitolo 2 : I Materiali

La caratterizzazione meccanica degli FRP

6.3 - Prove meccaniche di caratterizzazione

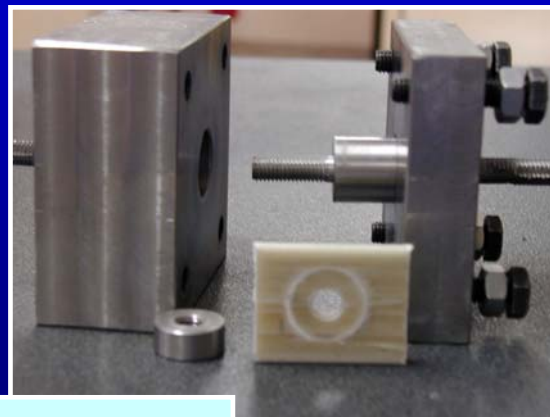
Tensile Test



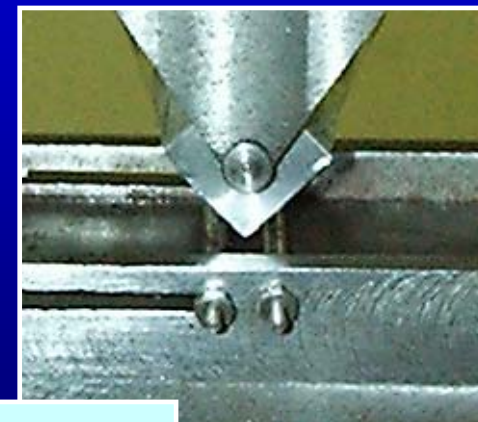
Bending Test



Shear Test



ILSS Test



Installazione, monitoraggio e controllo

Controllo di qualità dell'esecuzione

CONTROLLO DI QUALITÀ DELL'ESECUZIONE

Prove semi-distruttive

- ✓ di strappo normale
- ✓ di strappo a taglio

Prove non distruttive

- ✓ di tipo acustico stimolato
 - ✓ ultrasoniche ad alta frequenza
 - ✓ termografiche
 - ✓ in emissione acustica
-

Installazione, monitoraggio e controllo

CONTROLLO DI QUALITÀ DELL'ESECUZIONE

Prove semi-distruttive

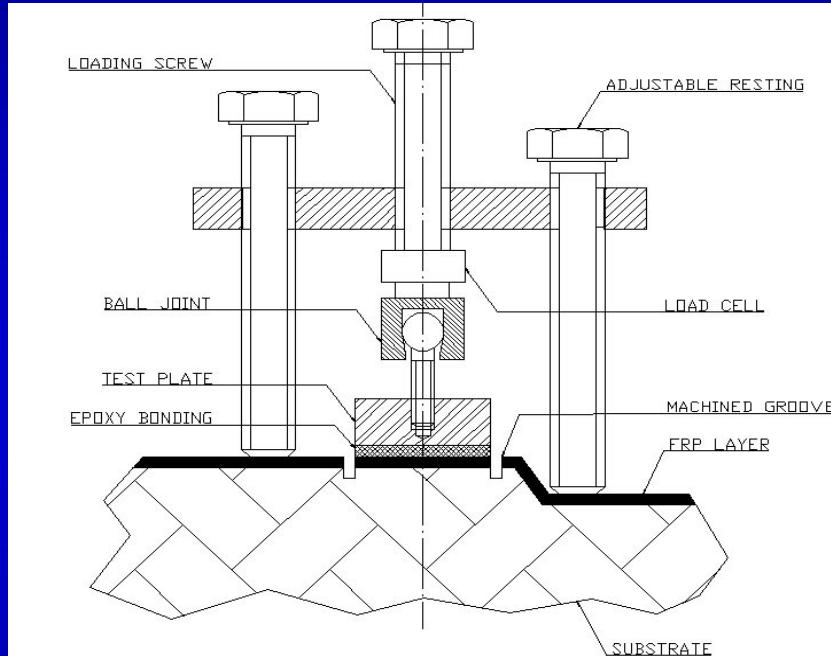
- Strappo normale* → *Resistenza a trazione del substrato e dell'incollaggio*
- Strappo a taglio* → *Resistenza a taglio dell'interfaccia substrato-FRP*

In vista di prove di controllo semi-distruttive, è buona norma, all'atto dell'installazione, prevedere zone aggiuntive (“**testimoni**”) di rinforzo in parti della struttura opportunamente selezionate.

Installazione, monitoraggio e controllo

Prova di strappo normale

CONTROLLO DI QUALITA' DELL'ESECUZIONE



1. Incollaggio piastre

- diametro: 4-5 cm
- materiale: acciaio
- spessore: 2 cm

2. Intaglio

- con fresa
- substrato (1-2 mm)

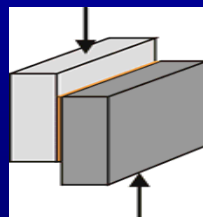
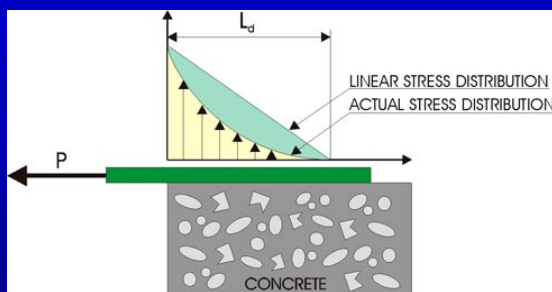
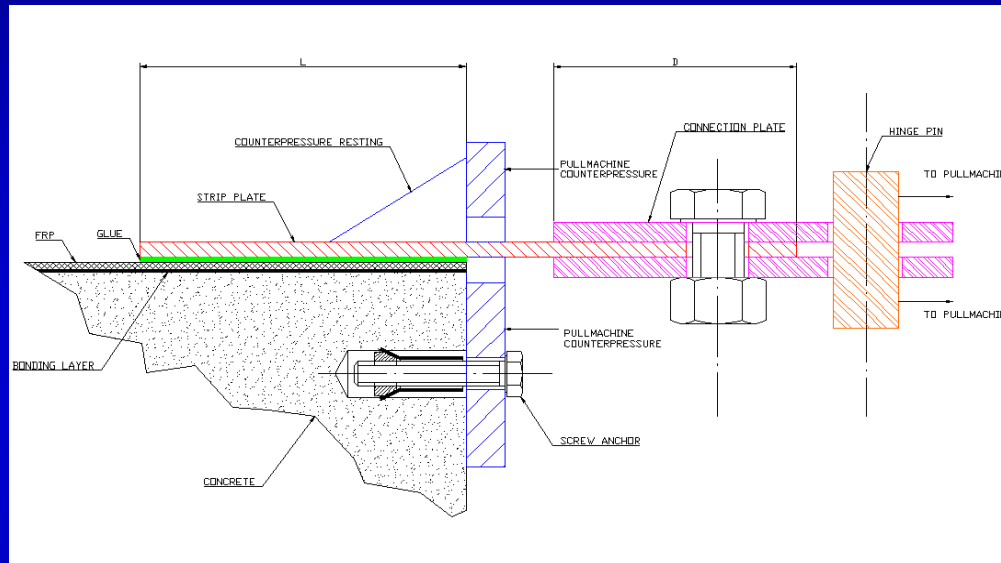
3. Prova

- almeno 80% prove con:
Picco 0.9-1.2 MPa (c.a.)
Picco > 10% f_c (mur.)
- crisi al di sotto dell' interfaccia

Installazione, monitoraggio e controllo

Prova di strappo a taglio

CONTROLLO DI QUALITA' DELL'ESECUZIONE



1. Incollaggio piastre

- lunghezza: 10-15 cm
- materiale: acciaio
- spessore: 0.5-1 cm

2. Prova

- almeno 80% prove con:
Picco > 24 kN (c.a.)
Picco > 5% f_c (mur.)



Installazione, monitoraggio e controllo

CONTROLLO DI QUALITA' DELL'ESECUZIONE

Prove non distruttive

di tipo acustico stimolato

- fondate sul diverso comportamento oscillatorio del composito con o senza coerenza col substrato.
- battitura manuale o con sistema automatizzato

Installazione, monitoraggio e controllo

Prove non distruttive

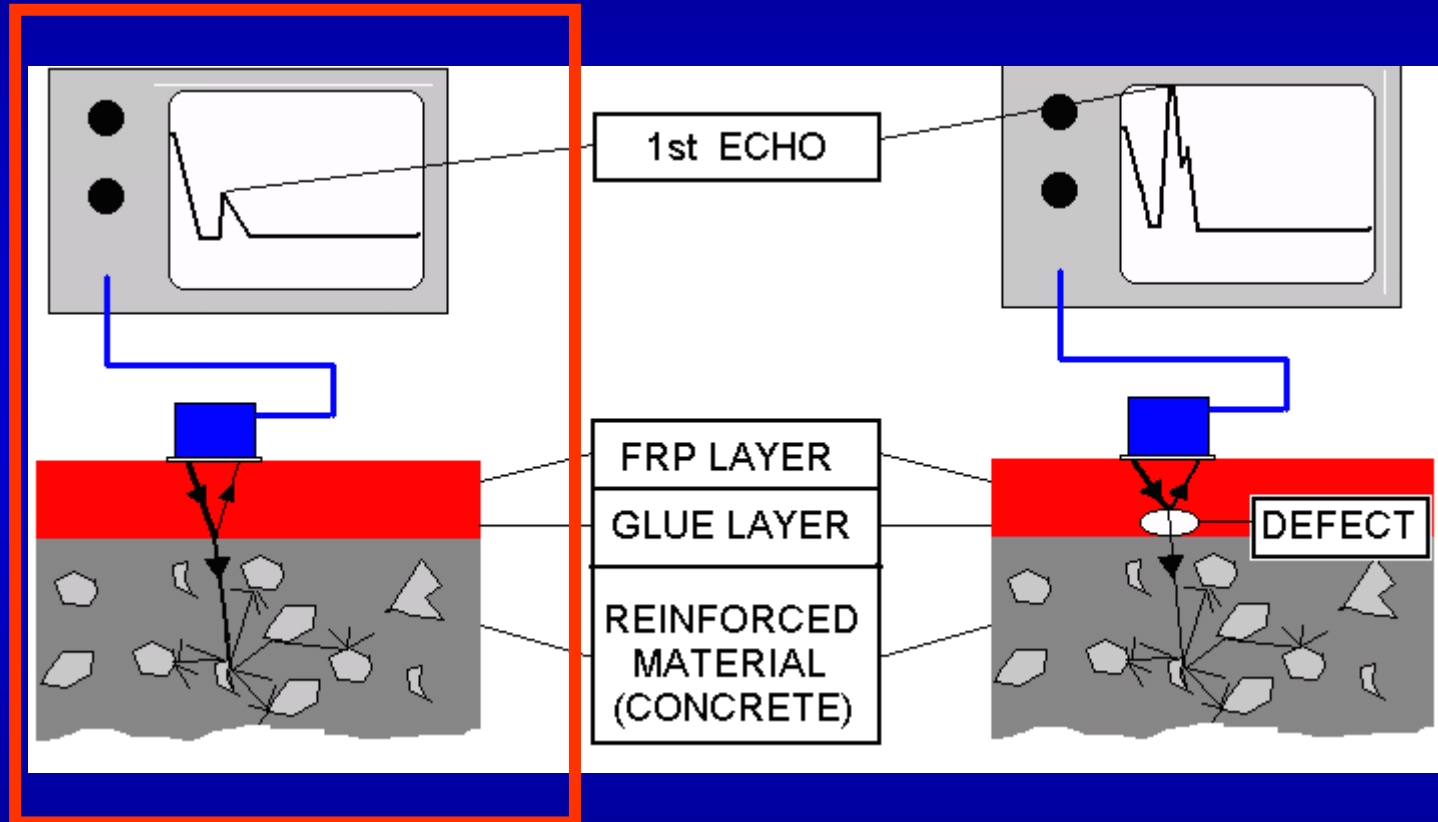
Ultrasoniche ad alta frequenza

- individuazione di difetti mediante riflessione (all'interfaccia tra due materiali che presentano una diversa impedenza acustica) con frequenze > 1.5 MHz e sonde con $D < 25$ mm
- gli spessori in gioco sono piccoli (dell'ordine dei decimi di mm), quindi si lavora ad alte frequenze

Installazione, monitoraggio e controllo

Ultrasoniche ad alta frequenza

CONTROLLO DI QUALITA' DELL'ESECUZIONE

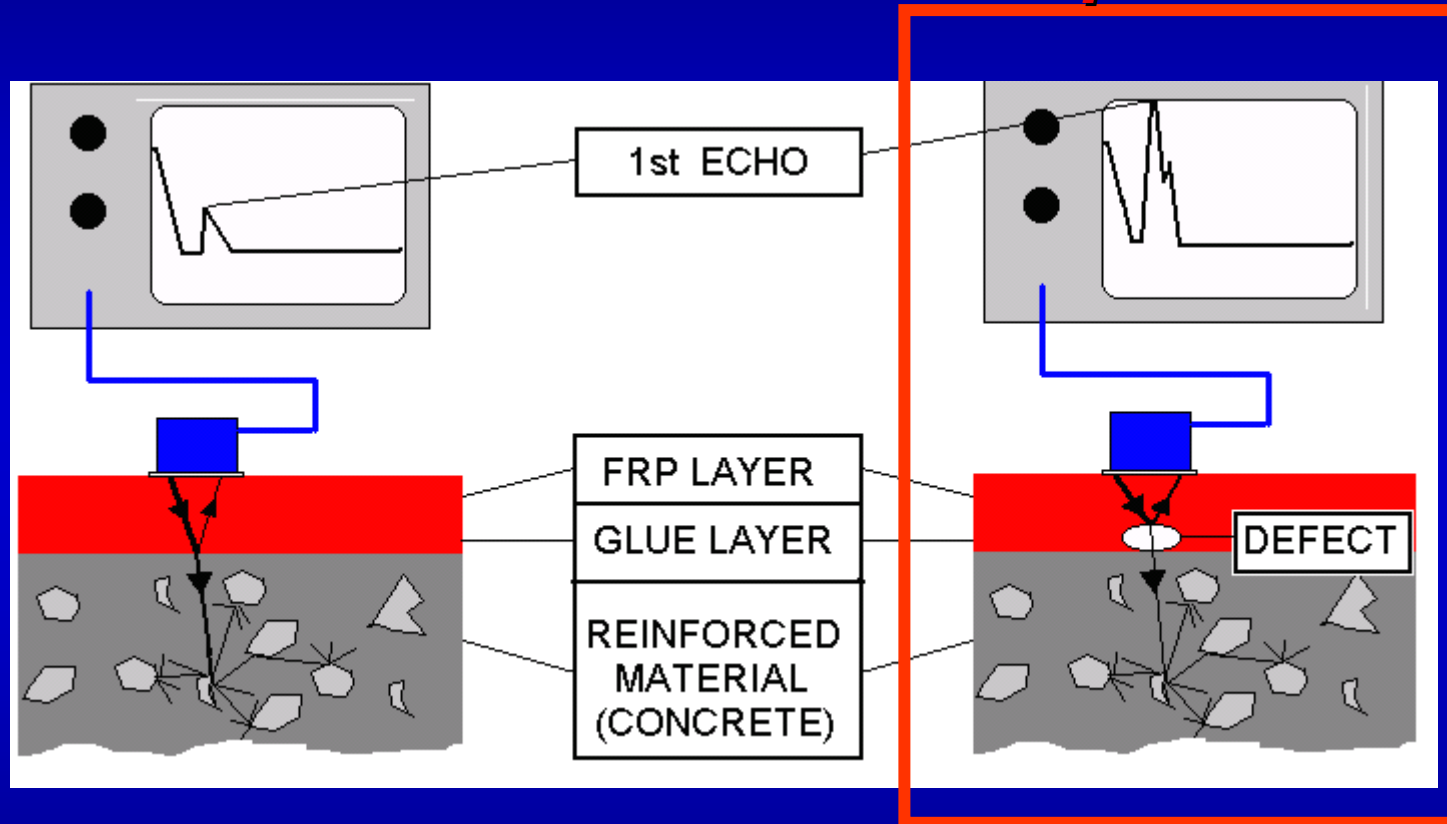


SENZA DIFETTO: il 1° picco si riferisce al segnale emesso; il 2° picco è quello riflesso all'interfaccia. Il resto del segnale si disperde nel calcestruzzo

Installazione, monitoraggio e controllo

Ultrasoniche ad alta frequenza

CONTROLLO DI QUALITA' DELL'ESECUZIONE



CON DIFETTO: il picco è più alto, a causa della maggiore quota di energia riflessa, rispetto al caso precedente; si rileva un secondo picco che rappresenta la riflessione tra difetto e calcestruzzo

Installazione, monitoraggio e controllo

Prove non distruttive

termografiche

- efficaci solo per materiali a bassa conducibilità termica (poco adatte a carbonio e acciaio)
- attenzione a livello di temperatura che non deve essere troppo vicino a T_g (danneggiamento rinforzo)
- vantaggi: velocità di esecuzione, tecnica di campo, assenza di contatto diretto

Installazione, monitoraggio e controllo

Prove non distruttive

emissione acustica

- metodo di controllo passivo che registra i “rumori” generati dalla formazione di fessure o distacchi che si propagano nel mezzo come onde elastiche
- può essere usata per rilevare difetti di applicazione o inizi di distacco del rinforzo

Installazione, monitoraggio e controllo

Monitoraggio dell'intervento di rinforzo

MONITORAGGIO DELL'INTERVENTO

Parametri da mantenere sotto controllo

- ✓ *temperatura*
- ✓ *umidità dell'ambiente*
- ✓ *andamento spostamenti e deformazioni*
- ✓ *danneggiamento delle fibre*
- ✓ *estensione dei difetti e distacchi*