

UNO SGUARDO AL FUTURO:
I MATERIALI INNOVATIVI NEL SISTEMA
DELLE COSTRUZIONI ITALIANE



*Consiglio Superiore
dei Lavori Pubblici
Servizio Tecnico Centrale*

*Ing. Gianluca Ievolella
Dirigente Tecnico*

AGENDA

Nel seguente intervento verranno esposti i materiali innovativi in corso di istruttoria presso il *Servizio tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici* alla luce delle NTC 2008 e NTC 2017. In particolare:

- MATERIALI COMPOSITI (FRP, FRCM, CRM);
- BARRE PULTRUSE IN FIBRA DI CARBONIO E FIBRA DI VETRO;
- CALCESTRUZZO FIBRORINFORZATO PER CONCI DI GALLERIE;
- CALCESTRUZZI POLIMERICI;
- ELEMENTI COMPOSITI IN CARTONE.



COSTRUZIONI DI ALTRI MATERIALI

I materiali non tradizionali o non trattati nelle presenti norme tecniche potranno essere utilizzati per la realizzazione di elementi strutturali od opere, previa autorizzazione del Servizio Tecnico Centrale su parere del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, autorizzazione che riguarderà l'utilizzo del materiale nelle specifiche tipologie strutturali proposte sulla base di procedure definite dal Servizio Tecnico Centrale.

Si intende qui riferirsi a materiali quali calcestruzzi di classe di resistenza superiore a C70/85, calcestruzzi fibrorinforzati, acciai da costruzione non previsti in nel Cap.4.2, leghe di alluminio, leghe di rame, travi tralicciate in acciaio conglobate nel getto di calcestruzzo collaborante, materiali polimerici fibrorinforzati, pannelli con poliuretano o polistirolo collaborante, materiali murari non tradizionali, vetro strutturale, materiali diversi dall'acciaio con funzione di armatura da c.a.

ALTRI SISTEMI COSTRUTTIVI

Qualora vengano usati sistemi costruttivi diversi da quelli disciplinati dalle presenti norme tecniche, la loro idoneità deve essere comprovata da una dichiarazione rilasciata, ai sensi dell'articolo 52, comma 2, del D.P.R. 380/01, dal Presidente del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici su conforme parere dello stesso Consiglio e previa istruttoria del Servizio Tecnico Centrale.

Si intendono per *“sistemi costruttivi diversi da quelli disciplinati dalle presenti norme tecniche”* quelli per cui le regole di progettazione ed esecuzione non siano previste nelle presenti norme tecniche o nei riferimenti tecnici e nei documenti di comprovata validità di cui al Cap.12, nel rispetto dei livelli di sicurezza previsti dalle presenti norme tecniche.

In ogni caso, i materiali o prodotti strutturali utilizzati nel sistema costruttivo devono essere conformi ai requisiti di cui al Cap.11.

Per singoli casi specifici le amministrazioni territorialmente competenti alla verifica dell'applicazione delle norme tecniche per le costruzioni ai sensi del DPR 380/2001 o le amministrazioni committenti possono avvalersi dell'attività consultiva, ai sensi dell'articolo 2, comma 1, lettera b), del D.P.R. 204/2006, del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, che si esprime previa istruttoria del Servizio Tecnico Centrale.



MATERIALI E PRODOTTI PER USO STRUTTURALE

- A. materiali e prodotti per uso strutturale per i quali sia disponibile 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 in possesso della Marcatura CE, prevista dalla Direttiva 89/106/CEE “Prodotti da costruzione” (CPD), recepita in Italia dal DPR 21/04/1993, n.246, così come modificato dal DPR 10/12/1997, n. 499;
- B. materiali e prodotti per uso strutturale per i quali non sia disponibile una norma 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 produttore abbia volontariamente optato per la Marcatura CE;
- C. materiali e prodotti per uso strutturale innovativi o comunque non citati nel presente capitolo e non ricadenti in una delle tipologie A) o B). In tali casi il produttore potrà pervenire alla Marcatura CE in conformità a Benestare Tecnici Europei (ETA), ovvero, in alternativa, dovrà essere in possesso di un Certificato di Idoneità Tecnica all’Impiego rilasciato dal Servizio Tecnico Centrale sulla base di Linee Guida approvate dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

MATERIALI E PRODOTTI PER USO STRUTTURALE

- 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”.



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
(Decreto del Presidente del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici n. 220 del 09 luglio 2015)

- Sistemi preformati (precured systems), costituiti principalmente da elementi a forma di lastre sottili (lamine o nastri) preparati in stabilimento mediante pultrusione,
- Sistemi impregnati in situ (ad esempio wet lay-up systems), costituiti da fogli o tessuti di fibre uni o multi-direzionali, impregnati direttamente in cantiere con resina polimerica, che può fungere anche da adesivo al substrato interessato dall'intervento di rinforzo.



SISTEMI PREFORMATI

Classe	Natura della fibra	Modulo elastico a trazione nella direzione delle fibre [GPa]	Resistenza a trazione nella direzione delle fibre [MPa]
E17	Vetro	17	170
E23	Vetro	23	240
G38/600	Vetro	38	600
G38/800	Vetro	38	800
G45	Vetro	45	1000
C120	Carbonio	120	1800
C150/1800	Carbonio	150	1800
C150/2300	Carbonio	150	2300
C190/1800	Carbonio	190	1800
C200/1800	Carbonio	200	1800
A55	Arammide	55	1200

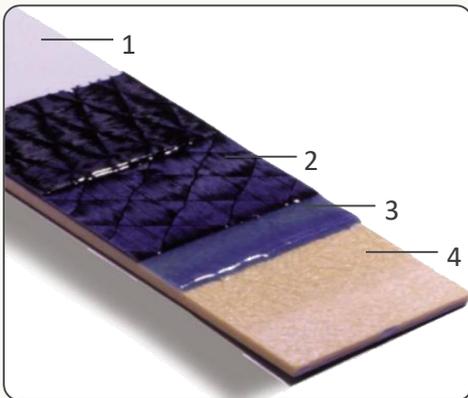
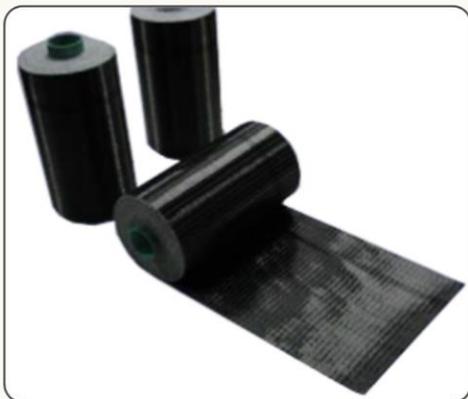


SISTEMI IMPREGNATI IN SITU

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



FIBRA DI CARBONIO_ROTOLI



1. Resina
2. Tessuto
3. Primer
4. Supporto



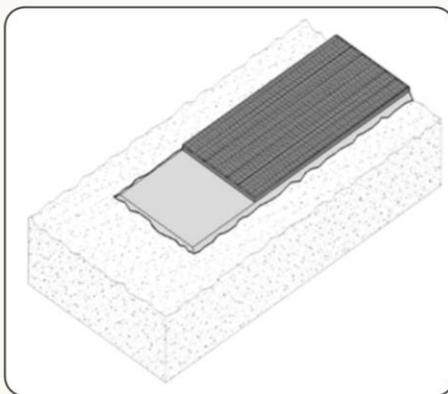
Fase 1 e 2 - Stesura del primer e del tessuto



Fase 3 - Stesura della resina di incollaggio



FIBRA DI CARBONIO_LAMINA



Fase 2 - Incollaggio della lamina



Fase 1 - Stesura della lamina



Fase 3 - Eliminazione della resina in eccesso e pulitura della lamina



CERTIFICAZIONE FRP_CLASSE C150/2300 (PREFORMATI)

Valori tabellati	Modulo elastico a trazione nella direzione delle fibre	150 GP _a
	Resistenza a trazione nella direzione delle fibre	2.300 MP _a

Proprietà		Valore	Metodo di prova Normativa di riferimento
Spessore Lamina [mm]		1,40	
Larghezza [mm]		50/60/80/100/120/150	
Lunghezza [m]		varie	
Colore		Nero	
Caratteristiche geometriche e fisiche del sistema	Densità [g/cm ³]	fibra 1,82	ISO 1183-1:2004 (E)
		matrice 1,17	
Contenuto fibra in volume [%]		68	ISO 11667:1997 (E)
Contenuto fibra in peso [%]		72	
Temperatura di transizione vetrosa della resina di incollaggio, Tg [°C]		55	UNI EN 12614
Temperature limiti, minima e massima, di utilizzo [°C]		Da -10 a +40	-
Reazione al fuoco		Euroclasse F	
Resistenza al fuoco		NPD	-
Proprietà meccaniche	Modulo elastico a trazione [GPa]	153	UNI EN 13706-1-2-3
	Resistenza a trazione [MPa]	3.042	
	Deformazione a rottura a trazione [%]	1,9	



CERTIFICAZIONE FRP_CLASSE 210C (IN SITU)

Valori tabellati	Modulo elastico a trazione nella direzione delle fibre	210 GP _a
	Resistenza a trazione nella direzione delle fibre	2.700 MP _a

Caratteristiche geometriche e fisiche del sistema	Proprietà	Valore	Metodo di prova Normativa di riferimento
		Densità delle fibre, ρ_{fib} [g/cm ³]	1,82
	Massa del tessuto per unità di area, ρ_x [g/m ²]	300	ISO 3374
	Densità della resina, ρ_m [g/cm ³]	1,04	ISO 1675
	Area equivalente, A_{rt} [mm ² /m]	165	
	Spessore equivalente, t_{eq} [mm]	0,165	
	Frazione in peso delle fibre nel composito	-	
	Frazione in volume delle fibre nel composito	-	
	Temperatura di transizione vetrosa della resina, T _g [°C]	56,4°C	UNI EN 12614
	Temperatura di transizione vetrosa della resina, T _g [°C]	57°C	UNI EN 12614
	Temperature limiti, minima e massima, di utilizzo	+5°C ≤ T ≤ +41°C	
	Resistenza al fuoco	P.N.D.	
	Reazione al fuoco	Classe F	
Proprietà meccaniche	Modulo elastico del laminato, area netta, E _f [GPa]	270	UNI EN 2561
	Resistenza del laminato, area netta, f _{fib} [MPa]	3.375	
	Deformazione a rottura, ϵ_{fib} [%]	1,2	



PRESCRIZIONI

- Installazione, monitoraggio e controllo del prodotto

Il Fornitore, unitamente al presente certificato, ed alla scheda tecnica dei sistemi, deve consegnare il Manuale di preparazione dei prodotti ed il Manuale di applicazione, dove sono fornite le istruzioni operative per la completa posa in opera dei sistemi di rinforzo, con particolare riguardo ai trattamenti da porre in essere a carico del supporto preliminarmente all'installazione del composito FRP con ricorso ad un eventuale primer laddove necessario di cui dovranno essere riportate analogamente le proprietà alle altre resine utilizzate.

- Controlli di accettazione in cantiere

I materiali componenti i sistemi di cui al presente certificato, sono soggetti alla effettuazione dei controlli di accettazione in cantiere a cura del Direttore dei Lavori previsti dalla Linea Guida e la relativa certificazione, deve rispettare i requisiti previsti dalla medesima Linea Guida.

- Dichiarazione di corretta installazione

Il Direttore dei Lavori è tenuto a richiedere all'installatore una dichiarazione di conformità dell'installazione dei sistemi oggetto del presente CIT alle indicazioni riportate nel manuale di applicazione; resta inteso che la posa in opera dei sistemi FRP, deve essere eseguito da parte di personale in possesso di un attestato di qualificazione a qualsiasi titolo rilasciato.



AVVERTENZE

I tecnici (progettisti, direttori dei lavori e collaudatori) interessati all'uso dei materiali oggetto del presente certificato devono:

1. Osservare tassativamente le avvertenze contenute nel testo del certificato ed i contenuti dispositivi della linea guida per l'identificazione, la qualificazione ed il controllo di accettazione di composti fibrorinforzati a matrice polimerica da utilizzarsi per il consolidamento di costruzioni esistenti approvata con D.P. Consiglio Superiore dei LL.PP. N.220 del 09/07/2015;
2. Seguire le istruzioni per la progettazione, esecuzione e collaudo contenute nel documento DT 200 versione 2013 redatto dal CNR e la linea guida per la progettazione degli FRP predisposta dal STC.



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

I compositi FRCM costituiscono sistemi o kit ai sensi della definizione di cui al punto 2 dell'art. 2 del Regolamento UE n. 305/2011.

Essi sono costituiti da: matrice inorganica, rete di rinforzo ed eventuali additivi, fra cui microfibre polimeriche introdotte nella matrice con lo scopo, tra l'altro, di ridurre il ritiro. Il "sistema di rinforzo" in FRCM è realizzato in situ applicando alla struttura da consolidare il(i) composito(i) ed eventuali dispositivi di ancoraggio e/o speciali adesivi per impedire la delaminazione del composito dal supporto.

Le reti analizzate sono realizzate con fibre continue di:

- acciaio ad alta resistenza;
- arammide;
- basalto;
- carbonio;
- poliparafenilenbenzobisoxazolo (nel seguito PBO);
- vetro.



I sistemi di rinforzo FRCM sono qualificati sulla base delle seguenti proprietà meccaniche determinate mediante prove sperimentali di trazione monoassiale e prove di distacco dal supporto:

- A. tensione limite convenzionale, (valore caratteristico) e deformazione limite convenzionale, come di seguito definita;
- B. modulo di rigidezza a trazione del campione di FRCM nello stadio A, se rilevabile (valore medio);
- C. tensione ultima (valore caratteristico) e deformazione ultima (valore medio) del campione di FRCM a rottura per trazione;
- D. tensione ultima (valore caratteristico) della rete (tessuto) secca a rottura per trazione;
- E. modulo elastico della rete (tessuto) secca (valore medio);
- F. deformazione ultima a trazione, della rete (tessuto) secca;
- G. resistenza a compressione della matrice/malta, caratteristica o nominale (quest'ultima assunta come caratteristica).



Il Fabbricante deve riportare i valori statistici necessari per la valutazione delle resistenze e delle deformazioni caratteristiche (ad esempio media, scarto quadratico medio, popolazione, frattile, intervallo di confidenza).

- Descrizione

Nome commerciale, tipo di rinforzo interno, tipo di matrice, numero di strati, marcatura e ogni altra informazione generale ritenuta utile.

Proprietà geometriche e fisiche	Unità di misura	Metodo di prova Normativa di riferimento
Spessore nominale del sistema di rinforzo	[mm]	
Grammatura della rete in ordito	[g/m ²]	ISO 11667:1997 €
Grammatura della rete in trama	[g/m ²]	ISO 11667:1997 €
Spessore equivalente della rete di rinforzo in trama	[mm]	Questa Linea Guida (§ 2)
Spessore equivalente della rete di rinforzo in ordito	[mm]	Questa Linea Guida (§ 2)
Densità del materiale costituente la rete di rinforzo	[g/cm ³]	
Percentuale in peso delle componenti organiche	%	
Reazione al fuoco		UNI EN 13501-1
Temperatura di transizione vetrosa del rinforzo interno, se sono presenti fasi polimeriche	T _g [°C]	ISO 11537-2:2013



Il Fabbricante deve riportare i valori statistici necessari per la valutazione delle resistenze e delle deformazioni caratteristiche (ad esempio media, scarto quadratico medio, popolazione, frattile, intervallo di confidenza).

- Descrizione

Nome commerciale, tipo di rinforzo interno, tipo di matrice, numero di strati, marcatura e ogni altra informazione generale ritenuta utile.

Proprietà meccaniche	Unità di misura	Metodo di prova Normativa di riferimento
Tensione limite convenzionale $\sigma_{lim,conv}$	[Mpa]	Questa Linea Guida (§§ 2.1-7.2)
Deformazione limite convenzionale $\varepsilon_{lim,conv}$	%	Questa Linea Guida (§§ 2.1-7.1)
Modulo di rigidezza E_1 nello stadio A	[Mpa]	Questa Linea Guida (§§ 2.1-7.1.2)
Tensione ultima σ_u del composito FRCM	[Mpa]	Questa Linea Guida (§§ 2.1-7.1.2)
Deformazione ultima ε_u del composito FRCM	%	Questa Linea Guida (§§ 2.1-7.1.2)
Tensione ultima σ_{uf} della rete (tessuto) secca a rottura per trazione	[Mpa]	Questa Linea Guida (§§ 2.1-7.1.1)
Modulo elastico E_f della rete (tessuto) secca	[Mpa]	Questa Linea Guida (§§ 2.1-7.1.1)
Deformazione ultima a trazione ε_{uf} della rete (tessuto) secca	[Mpa]	Questa Linea Guida (§§ 2.1-7.1.1)
Resistenza a compressione della matrice/malta $f_{c,mat}$ caratteristica o nominale	[Mpa]	UNI EN 1015-11

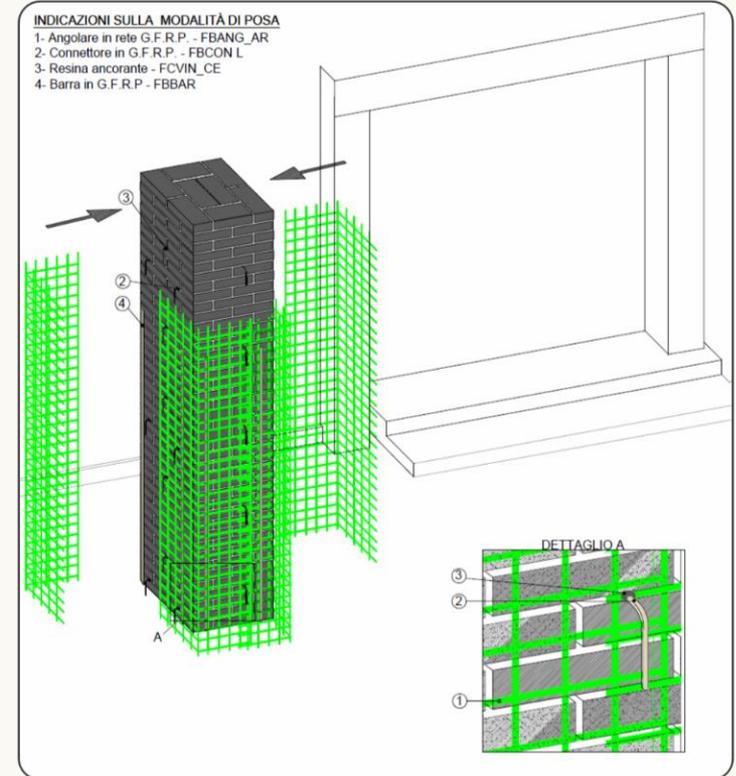




I sistemi di rinforzo CRM, Composite Reinforced Mortar (intonaco armato), si compone dei seguenti elementi:

- reti in FRP (preformate);
- angolari in FRP (preformate);
- connettori in FRP (preformati e/o semi-impregnati);
- malta strutturale d'intonaco (spessori compresi tra 10 e 50 mm).

Tutti gli elementi del kit realizzati in FRP possono essere fatti con fibre in vetro (GFRP) e/o carbonio (CFRP).



BARRE IN FIBRA DI CARBONIO E FIBRA DI VETRO

Sono state attivate le procedure per l'ottenimento degli ETA in collaborazione tecnico scientifica con ITC-CNR di San Donato Milanese che costituisce con l'STC e la Direzione Generale dei VV.FF. il nuovo ente di certificazione **ITAB**.

- Descrizione

Le barre in FRP di carbonio e vetro sono realizzate con filamenti ad alta resistenza impregnati di speciale resina termoplastica o termoindurente, da applicare come rinforzo di matrici inorganiche (cemento, malte a base di calce, Portland, cemento CSA, polvere reattiva idraulica, calcestruzzo leggero, ecc.) per la realizzazione e la riparazione di travi, colonne, lastre e altri elementi strutturali.

Le barre sono prodotte in diametri da 5 a 32 mm dritti e senza limitazioni di lunghezza. Possono essere dritti o piegati in diverse forme, come richiesto dal designer. Le barre dritte vengono tagliate dopo il processo di polimerizzazione, in base ai requisiti del progetto e/o al metodo di consegna.

- Uso/i previsto/i

Le "barre in FRP di vetro e carbonio" sono destinate ad essere utilizzate come rinforzo di opere edili in calcestruzzo armato standard e calcestruzzo precompresso (travi, colonne, pannelli, lastre e altri elementi strutturali), come tiranti precompressi e come tondo per cemento armato installato.



BARRE IN FIBRA DI CARBONIO E FIBRA DI VETRO

Essential characteristics of the product and methods and criteria for assessing the performance of the product in relation to those essential characteristics

N.	Essential characteristic	Assessment method	Type of expression of product performance (level, class, description)
<i>Basic Works Requirement 1: Mechanical resistance and stability (Same as Basic Works Requirement 4: Safety and accessibility in use)</i>			
1	Cross-sectional properties	2.2.1	Level Nominal cross sectional area, A [m ²] Nominal diameter, D [mm]
2	Tensile strength	2.2.2	Level f _u [MPa]
3	Tensile modulus of elasticity		Level E [MPa]
4	Ultimate strain		Level ε _u [mm/mm]
5	Bond strength by pull-out testing	2.2.3	Level and description t [MPa] and failure mode
6	Transverse shear strength	2.2.4	Level t _s [MPa]
7	Tensile fatigue	2.2.5	Level and description S-N curve Fatigue strength, f _f [MPa]



BARRE IN FIBRA DI CARBONIO E FIBRA DI VETRO

8	Creep failure	2.2.6	<p>Level and description</p> <p>Load ratio/creep failure time curve</p> <p>Creep failure load ratio R_{vc} [-]</p> <p>Million hour creep failure capacity, F_r [N]</p> <p>Million hour creep failure strength, f_r [MPa]</p>
9	Alkali resistance	2.2.7	<p>Level</p> <p>Rate of percentage mass loss, $R_{\Delta m}$ [%]</p> <p>Tensile capacity retention rate, R_{et} [%]</p>
10	Flexural tensile properties	2.2.8	<p>Level</p> <p>Bending strength, f_b [MPa]</p>
11	Coefficient of longitudinal thermal expansion	2.2.9	<p>Level</p> <p>$\alpha_{sp,L}$ [$^{\circ}\text{C}^{-1}$]</p>
12	Coefficient of transverse thermal expansion	2.2.10	<p>Level</p> <p>$\alpha_{sp,T}$ [$^{\circ}\text{C}^{-1}$]</p>
13	Glass transition temperature	2.2.11	<p>Level</p> <p>T_g [$^{\circ}\text{C}$]</p>
14	Long-term relaxation	2.2.12	<p>Level and description</p> <p>Relaxation rates Y_{10}, Y_{120}, Y_{1000} [%]</p> <p>Average relaxation curve</p> <p>Million hour relaxation rate $Y_{million}$ [%]</p>
15	Maximum service temperature	2.2.13	<p>Level</p> <p>T_{max} [$^{\circ}\text{C}$]</p>
<i>Basic Works Requirement 2: Safety in case of fire</i>			
16	Reaction to fire	2.2.14	Class

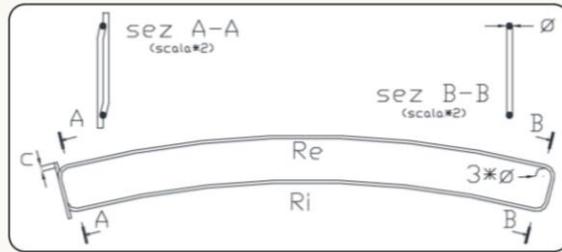


BARRE IN FIBRA DI CARBONIO E FIBRA DI VETRO _CLASSIFICAZIONE

Le barre e staffe in materiale composito fibrorinforzato sono realizzate con processi industriali continui o discontinui che consistono nel “tirare” fibre di vetro, preventivamente con una resina di tipo termoindurente e sottoporle successivamente a processi di formatura e polimerizzazione. Le armature si classificano sulla base della loro conformazione geometrica in:

- A. barre rettilinee (provenienti direttamente dal processo di pultrusione)
- B. staffe sagomate (realizzate con processi di formatura successivi che riguardano zone della barra non polimerizzate).

A loro volta si distinguono 2 tipologie di staffe sagomate che devono, in ogni caso realizzare una geometria ad anello chiuso per mezzo di un tratto in sovrapposizione “saldato”:



Tipologia b.1

riguarda anelli che geometricamente realizzano un offset della sezione del cassero di preformatura del concio (aventi funzione di rinforzo flessionale)



Tipologia b.2

riguarda staffe ad anello chiuso a tratti rettilinei



BARRE IN FIBRA DI CARBONIO E FIBRA DI VETRO _SCHEDA TECNICA

Barra ad aderenza migliorata di diam. nominale 10 mm in resina poliesteri rinforzata con fibra di vetro E



Proprietà geometriche e fisiche	Unità di misura	Metodo di prova	Valore
Area equivalente della sezione resistente A_b	mm ²	App.B CNR DT203	>78
Diametro equivalente della barra D_b	mm	App.B CNR DT203	>10
Densità della fibra	g/cm ³		2,55
Densità della resina	g/cm ³		1,1
Contenuto in volume di fibra	%	App.B CNR DT203	>60
Contenuto in peso di fibra			>80
Tg della resina (transizione vetrosa)	°C		>80

Proprietà meccaniche	Unità di misura	Metodo di prova	Valore
Modulo di elasticità normale a trazione	GPa	App.B CNR DT203	>40
Resistenza a trazione (valore medio caratteristico)	MPa	App.B CNR DT203	>1000
Deformazione a rottura	%	App.B CNR DT203	>2.0
Resistenza della zona piegata della barra	%	ACI 440.3R (Method B5)	>50
Valore medio del coefficiente di Poisson		EN ISO 527-4	>0.25
Coefficiente di dilatazione termica longitudinale	°C ⁻¹	ISO 11359-2 / ASTM E831/D696	6x10 ⁻⁶
Coefficiente di dilatazione termica trasversale	°C ⁻¹	ISO 11359-2 / ASTM E831/D696	22x10 ⁻⁶



CLS FIBRO RINFORZATO PER CONCI DI GALLERIE

Rilascio di una autorizzazione all'impiego ai sensi dell'Art. 4.6 delle NTC 2008

Materiale autorizzato

Concio "armatura mista": fibre metalliche 40,00 kg/m³ – armatura lenta 47,98 kg/m³.

Le fibre in acciaio, per uso strutturale applicate sono realizzate per taglio e sagomatura da filo di acciaio a basso tenore di carbonio trafilato a freddo e sono caratterizzate per le diverse dimensioni geometriche e le diverse prestazioni meccaniche del filo di base sono marcate CE ai sensi della UNI EN 14889-1.

Il calcestruzzo fibrorinforzato utilizzato per le verifiche è stato classificato secondo le indicazioni del fib - Model Code 2010. Visto che il comportamento a compressione del calcestruzzo fibrorinforzato è simile a quello della matrice di calcestruzzo senza fibre, per le proprietà a compressione del materiale si è fatto riferimento alle prescrizioni delle NTC 2008. Per quanto riguarda la resistenza a compressione si è fatto riferimento ad un calcestruzzo classe C50/60.

Per quanto riguarda il comportamento a trazione del calcestruzzo fibrorinforzato, si è fatto riferimento, come indicato nel fib - Mode Code 2010, ai risultati di una prova a trazione su tre punti eseguita secondo le indicazioni della EN 15651.



CLS FIBRO RINFORZATO PER CONCI DI GALLERIE _SCHEMA TECNICA

Il materiale utilizzato, definito secondo il fib - Model Code 2010, è un calcestruzzo fibrorinforzato di classe 4c, il che significa avere un calcestruzzo con resistenza caratteristica $f_{R1k} > 4.0$ MPa e rapporto tra f_{R1k} e f_{R3k} pari a $0.9 = f_{R3k}/f_{R1k} = 1.1$.

La resistenza caratteristica f_{R3k} è maggiore di 3.6 MPa.

Proprietà meccaniche	Valore
Classe di resistenza a compressione	C50/60
Resistenza caratteristica cubica R_{ck}	60 MPa
Resistenza caratteristica cilindrica f_{ck}	50 MPa
Coefficiente parziale di sicurezza del calcestruzzo a compressione	$\gamma_c = 1.5$
Resistenza di progetto a compressione b.t.	$f_{cd} = 33.33$ MPa
Resistenza di progetto a compressione l.t.	$f_{cd} = 28.33$ MPa
Resistenza caratteristica a flessione per CMOD = 0.5 mm	$f_{R1k} = 4.0$ MPa
Resistenza caratteristica a flessione per CMOD = 2.5 mm (C50/60)	$f_{R3k} = 3.6$ MPa
Resistenza caratteristica a flessione per CMOD = 2.5 mm (C12/15)	$f_{R3k} = 2.0$ MPa
Resistenza a trazione per il modello rigido plastico(C50/60);	$f_{Ftuk} = 1.2$ MPa
Coefficiente parziale di sicurezza del calcestruzzo a trazione	$\gamma_F = 1.5,$
Resistenza di progetto a trazione (C50/60)	$f_{Ftud} = 0.8$ MPa
Slenderness: λ =sviluppo medio del concio/spessore del concio	$\lambda = 15.0$



CLS FIBRO RINFORZATO PER CONCI DI GALLERIE _PROVA A FLESSIONE



CALCESTRUZZO GEOPOLIMERICICO

I Geopolimeri sono il risultato di un processo di dissoluzione-ricondensazione, denominato appunto Geopolimerizzazione, una reazione chimica, divisa in fasi specifiche, che avviene a temperatura ambiente e che coinvolge uno o più precursori silicoalluminosi in polvere (ceneri volanti, loppe d'altoforno, meta caolini, microsilici, ecc.) ed un silicato alcalino (sodico, potassico, mix dei 2).

A indurimento avvenuto (da pochi minuti a circa 12-24h) e dopo l'opportuna maturazione a seconda dei leganti utilizzati (per legante si intende il mix precursore in polvere più silicato alcalino) i prodotti geopolimerici sviluppano una matrice "mesoporica" di nuovi silicati e alluminati non idrati, che conferisce le caratteristiche specifiche per il tipo di legante scelto. Gli alcali restano inglobati internamente garantendo durabilità misurabile in secoli, anche dopo immersione o trattamenti termici importanti. La mesoporicità garantisce il passaggio dell'aria (micromolecola) ed impedisce quello dell'acqua (macromolecola).

Campi d'impegno

I prodotti geopolimerici trovano tutta una serie di utilizzi da strutturale (stampa 3D, pre-cast, calcestruzzi e malte da ripristino) a usi nel settore del termo-isolamento utilizzando aggregati alleggeriti anche di scarto mantenendo le più alte resistenze meccaniche e la stabilità dimensionale (bassa dilatazione termica).



Malte o Calcestruzzi Strutturali

A. Base materie prime seconde (fly ash, loppe, ecc):

- T.P. da 30' a > 12h, con silicato di Potassio o silicato di Sodio;
- RM 24h: Flex = 3-5MPa; Comp = 10 – 20MPa;
- RM 7 gg: Flex = 4-6MPa; Comp = 20 – 50MPa;
- RM 28 gg: Flex = 8-10MPa; Comp = 35 – 100MPa;
- RM 56 gg: Flex = 13-15MPa; Comp = 70 – 120MPa;

B. Base metacaolini (con altri minerali amorfi secondari per adeguare i costi):

- T.P. da 50' a > 8h, con silicato di Potassio o silicato di Sodio;
- RM 24h: Flex = 3-4MPa; Comp = 15 – 30MPa;
- RM 7 gg: Flex = 5-9MPa; Comp = 40 – 70MPa;
- RM 28 gg: Flex = 8-10MPa; Comp = 70 – 100MPa;
- RM 56 gg: Flex = 13-15MPa; Comp = 90 – 130MPa.





ELEMENTI COMPOSITI IN CARTONE (PASTA DI LEGNO)

Il Cartone è, usualmente, legato a numerosi impieghi che, sebbene riguardino campi diversificati, non comprendono aspetti prettamente strutturali. Nel panorama italiano, infatti, esso rappresenta una risorsa preziosa, attualmente priva di certificazione per utilizzi strutturali. Esso rappresenta uno dei materiali innovativi più utili alle esigenze, spesso di emergenza, che è, purtroppo, costretta ad affrontare l'edilizia del nostro Paese.

L'interesse per questo materiale, al di fuori dell'Italia, è ormai diffuso. Il maggiore esponente di queste soluzioni è l'architetto giapponese Shigeru Ban, il quale sin dagli inizi degli anni '90 ha compreso le proprietà del materiale e si impegna a divulgarne l'utilizzo.

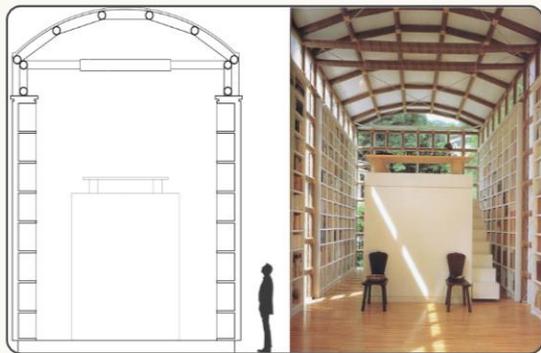
PREGI

ECOSOSTENIBILE
RICICLABILE
ECONOMICO
RAPIDO DA INSTALLARE
RAPIDO DA SMONTARE
NON NECESSITA DI MANO
D'OPERA SPECIALIZZATI

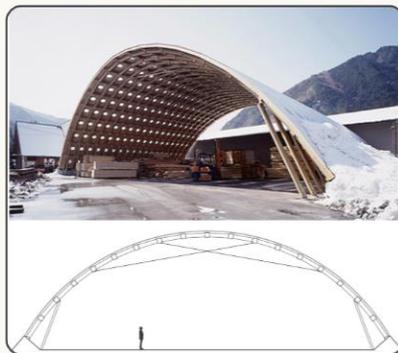
DIFETTI

TEMPORANEO
UTILIZZABILE IN
STRUTTURE SEMPLICI
EFFICIENZA MECCANICA
LIMITATA
NECESSITA DI RESINE
IMPERMEABILIZZANTI E
IGNIFUGHE

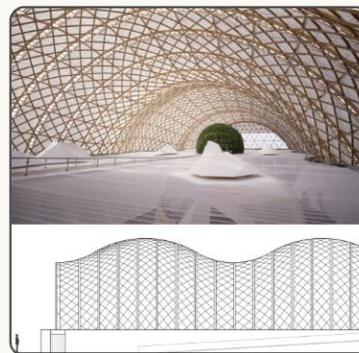
L'ESPERIENZA DI SHIGERU BAN



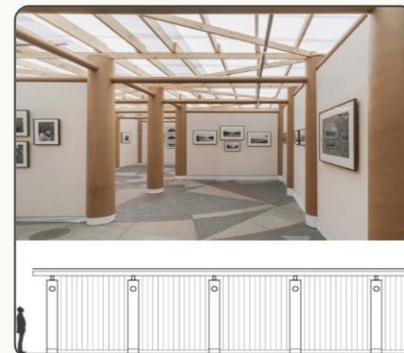
Giappone 1991



Giappone 1998



Germania 2000



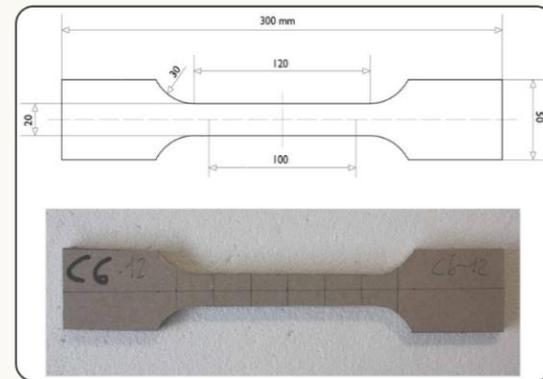
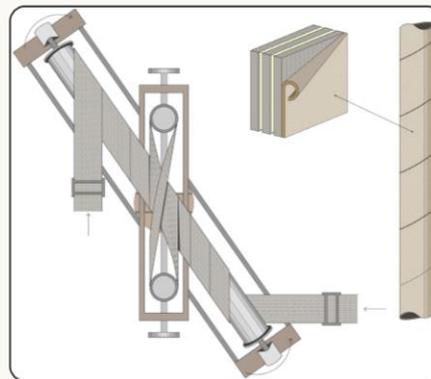
Giappone 2015



ELEMENTI COMPOSITI IN CARTONE (PASTA DI LEGNO)

Un primo studio sulle prestazioni meccaniche del cartone è stato condotto presso il Dipartimento di Ingegneria Strutturale e Geotecnica dell'Università Sapienza di Roma.

I tubi in cartone vengono prodotti con l'utilizzo di un mandrino metallico, intorno a cui vengono avvolti, a spirale e strato dopo strato, i fogli di carta. Sono state testate tre differenti qualità di carta, al variare della grammatura e della direzione delle fibre di cellulosa, sia in condizioni di umidità ambientale che dopo essere state completamente essiccate. Una tipologia di carta viene testata nelle due direzioni di orditura delle fibre.



Tipo A

Grammatura 300gr/m² - Fibre spezzate
Provini testati 48, di cui 24 secchi e 24 umidi



Tipo B

Grammatura 400gr/m² - Fibre unidirezionali
Provini testati 72, di cui 57 secchi e 15 umidi



Tipo C

Grammatura 700gr/m² - Fibre ortogonali
Provini testati 48, tutti secchi



ELEMENTI COMPOSITI IN CARTONE (PASTA DI LEGNO)

	Proprietà Meccaniche (provini secchi)	Unità di misura	Metodo di prova	Valori
Tipo A	Modulo di elasticità normale a trazione	MPa	UNI EN ISO 1924-2/2009	3132 - 3961
	Resistenza a trazione	MPa	UNI EN ISO 1924-2/2009	27 - 33
Tipo B	Modulo di elasticità normale a trazione	MPa	UNI EN ISO 1924-2/2009	3139 - 4342
	Resistenza a trazione	MPa	UNI EN ISO 1924-2/2009	26 - 31
Tipo C	Modulo di elasticità normale a trazione	MPa	UNI EN ISO 1924-2/2009	3370 - 4436
	Resistenza a trazione	MPa	UNI EN ISO 1924-2/2009	28 - 35

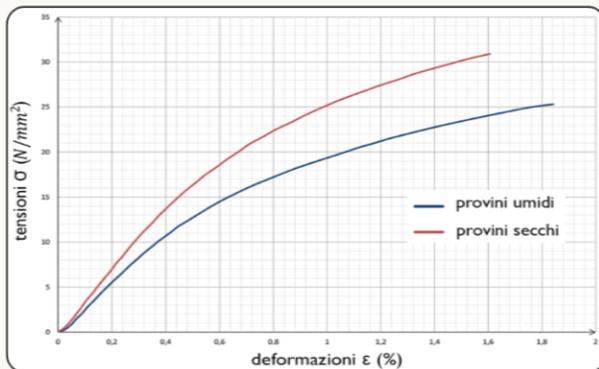


Grafico che mostra l'incidenza dell'umidità sulle prestazioni del materiale. La resistenza a trazione su provini di tipo A e B diminuisce di circa il 25%.

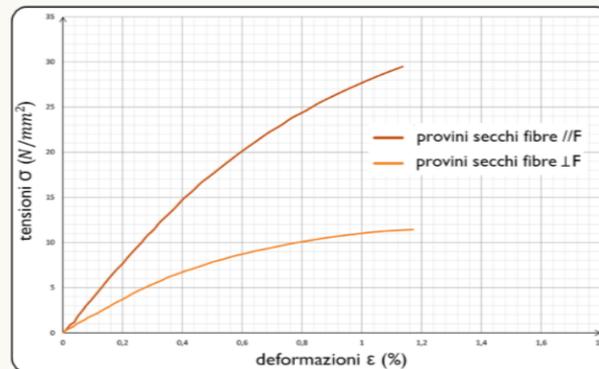


Grafico che mostra l'incidenza dell'orditura delle fibre di cellulosa sulle prestazioni del materiale. La resistenza a trazione su provini di tipo B decade fino di circa il 60%.

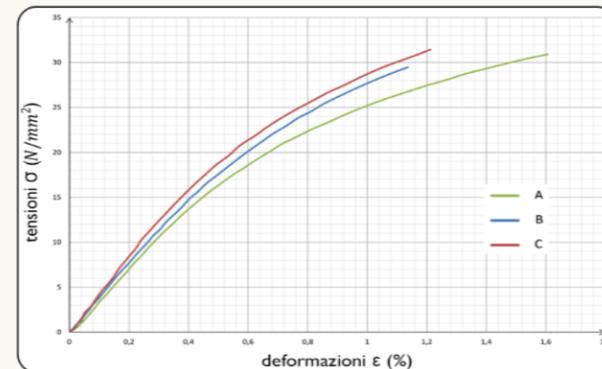


Grafico che rapporta i tre tipi di carta in termini di tensione/deformazione. La carta tipo C risulta la più performante, sia per la deformazione massima raggiunta che per l'ampiezza del campo elastico.

