

Materials and Structures Testing and Research
www.associazionemaster.org

CONTROLLI DI ACCETTAZIONE DEI MATERIALI DA COSTRUZIONE SECONDO LE NTC 2018

**Cenni sulla tecnologia dei compositi fibrorinforzati.
Normativa in merito al controllo di accettazione
dei compositi fibrorinforzati.**

Ing. Antonio LUCCHESI



L.M.O. Ingegneri Associati

15-16 Dicembre 2022

Principio generale introdotto nel 2008 e confermato dalle NTC 2018:

Di ogni materiale o prodotto per uso strutturale, frutto di un processo produttivo:

- Deve essere noto il Fabbricante;
- Deve essere noto il processo produttivo;
- Devono essere noti i requisiti fondamentali;

Il Fabbricante deve garantire la costanza del processo produttivo e quindi dei requisiti (per questo il Fabbricante deve operare in sistema di qualità). Tutto questo garantisce in generale il processo produttivo, ma non può garantire che ogni lotto di materiale o di prodotti che esca dal processo produttivo possieda effettivamente la qualità attesa, quindi:

Devono essere sempre effettuate opportune prove di accettazione.

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

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

B) materiali e prodotti per uso strutturale per i quali non sia disponibile una norma europea armonizzata oppure 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".

Possono essere quindi impiegati materiali innovativi, non specificatamente compresi nelle Categorie A) o B) purchè in possesso:

- o di **Marcatura CE** rilasciata mediante **ETA (European Technical Assessment)** sulla base di un **EAD (European Assessment Document)** emanato da un **TAB (Technical Assessment Body)** riconosciuto.
 - oppure dovrà ottenere un **CVT “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.
-

E' soprattutto nel campo del recupero delle costruzioni esistenti che, negli ultimi anni, sono state studiate e sviluppate tecnologie, e quindi materiali, assolutamente innovativi.

Solo per citare quelli più utilizzati, fra gli altri:

- **MATERIALI COMPOSITI:**

- **F.R.P. (Fiber Reinforced Polymer)**
- **F.R.C.M. (Fiber Reinforced Cementitious Mortars)**
- **C.R.M. (Composite Reinforced Mortar)**

- **CALCESTRUZZO FIBRORINFORZATO**

- **F.R.C. (Fiber Reinforced Concrete)**

- **BARRE PULTRUSE IN FIBRA DI CARBONIO E FIBRA DI VETRO**

F.R.P. (Fiber Reinforced Polymer)

I sistemi FRP comunemente impiegati sono di due tipi: *Realizzati in situ* e *Preformati*.

I sistemi *Realizzati in situ* sono costituiti, generalmente, da:

- una rete (o tessuto), con fibra di specifico materiale;
- una resina polimerica termoindurente (organica) che ha la funzione sia di impregnante della rete sia di incollaggio al supporto sul quale si interviene;
- quando necessario, una resina rasante di preparazione del supporto (primer).



Resina termoindurente



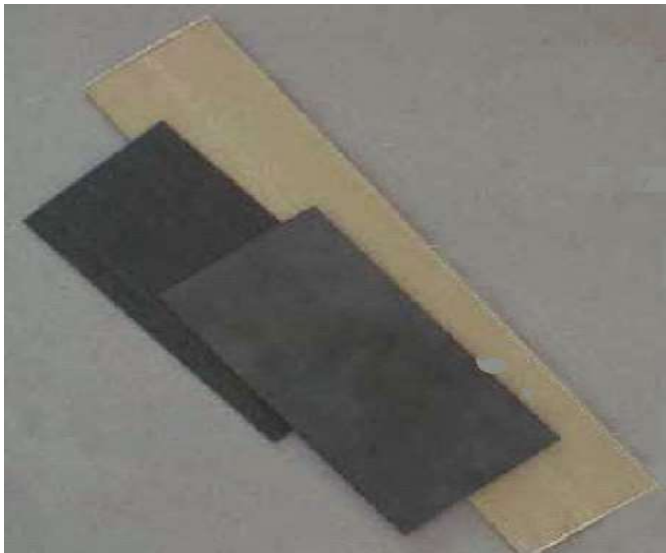
Reti (o Tessuti)



F.R.P. (Fiber Reinforced Polymer)

I sistemi *Preformati* sono costituiti, generalmente, da:

- una lamina preformata per pultrusione;
- una resina polimerica termoidurente (organica) che ha la funzione di incollaggio della lamina al supporto sul quale si interviene;
- quando necessario, una resina rasante di preparazione del supporto (primer).



OBIETTIVI PRESTAZIONALI NELLE APPLICAZIONI SU STRUTTURE ESISTENTI

INCREMENTO DI RESISTENZA A FLESSIONE

INCREMENTO DI RESISTENZA A TAGLIO

CONFINAMENTO DI ELEMENTI COMPRESSI

ELIMINAZIONE DI MECCANISMI DI COLLASSO

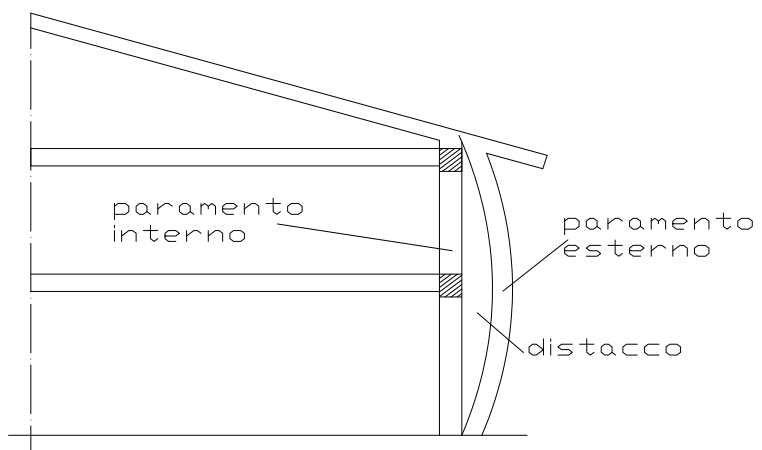
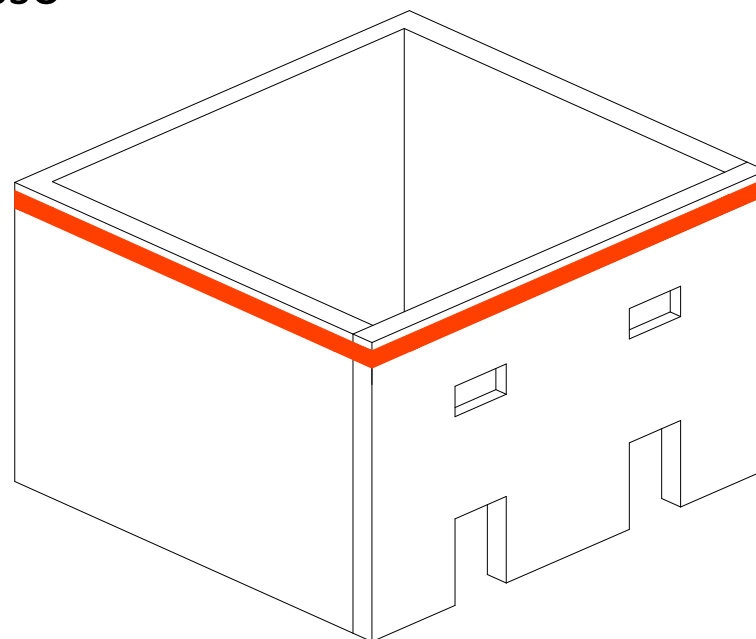
IRRIGIDIMENTO DI SOLAI

PER INTERVENTI LOCALI O PER INTERVENTI GLOBALI

Cerchiatura di elementi verticali



Eliminazione meccanismi locali di collasso



Qualificazione mediante Certificato di Valutazione Tecnica (CVT)



Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici

Servizio Tecnico Centrale

**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**

Maggio 2019

(Aggiorna e sostituisce la precedente Linea Guida pubblicata con DP n. 220 del 9 luglio 2015)

FRP Realizzati in situ - Classi

Classe	Natura della fibra	Modulo elastico a trazione nella direzione delle fibre [GPa]	Resistenza a trazione nella direzione delle fibre [MPa]
60G/60B	Vetro/Basalto	60	1300
210C	Carbonio	210	2700
350/1750C	Carbonio	350	1750
350/2800C	Carbonio	350	2800
500C	Carbonio	500	2000
100A	Arammide	100	2200
180S	Acciaio ad alta resistenza	180	2200 (1)
190S	Acciaio ad alta resistenza	190	2200 (1)

Requisiti

Prove di qualificazione

Ai fini dell'avvio della procedura per il rilascio del CVT, dove il richiedente è nel seguito denominato Fabbricante, sono richieste prove iniziali di tipo.

Le prove devono essere effettuate presso un laboratorio di cui all'art. 59 del DPR 380/2001, con comprovata esperienza e dotato di strumentazione adeguata per l'esecuzione di prove su FRP.

Prove di qualificazione di tipo meccanico

Determinazione del modulo elastico e della tensione di rottura

Prove per l'accertamento della durabilità ambientale

- Prove cicliche di gelo-disgelo
- Prove di invecchiamento artificiale
 - Resistenza all'umidità
 - Resistenza agli ambienti salini
 - Resistenza agli ambienti alcalini

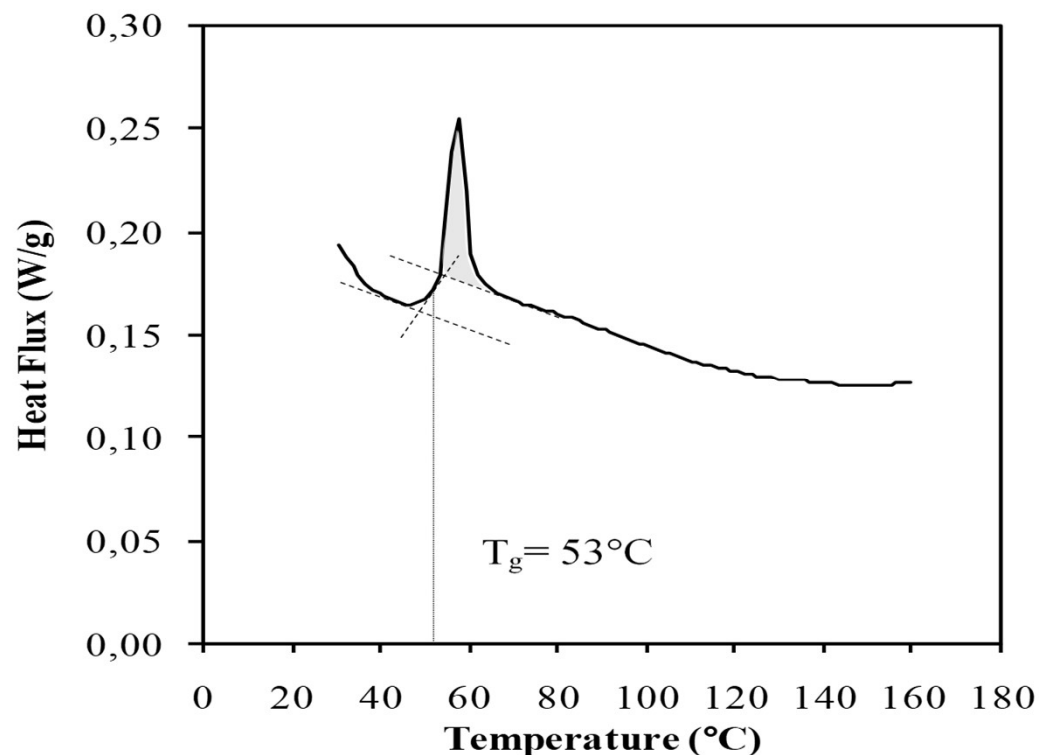
Prove di trazione in presenza di sovrapposizione dei tessuti

Ulteriori prove su tessuto piegato (fibre di acciaio)

La **Temperatura di transizione vetrosa (T_g)**

Il polimero manifesta un degrado delle proprietà meccaniche rispetto a quelle a temperatura ambiente, per temperature maggiori di quella di transizione vetrosa (ogni resina bicomponente, termoindurente presenta una propria T_g).

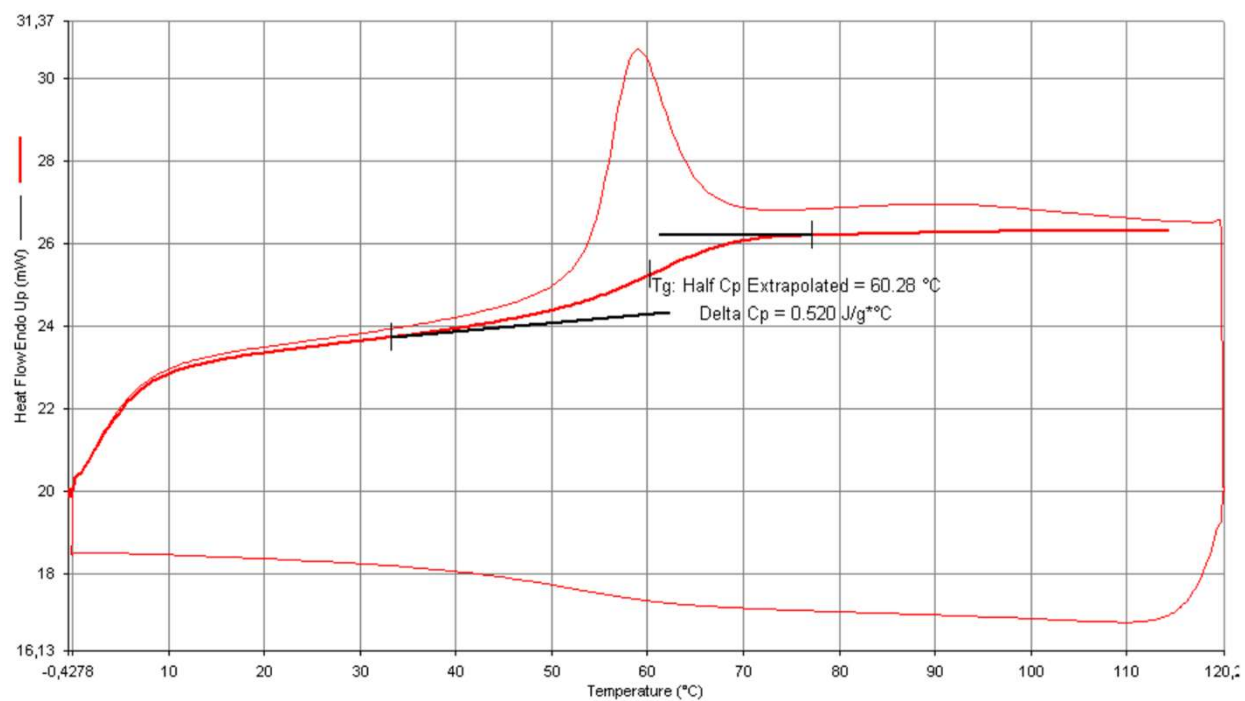
In genere si assume come T_g di esercizio, la T_g rilevata con le prove meno 15 °C.





Temperatura di transizione vetrosa (T_g)

Metodo di prova DSC
ISO 11537-2-2013



9 PROCEDURE DI ACCETTAZIONE IN CANTIERE

9.1 Controlli di accettazione in cantiere

I controlli di accettazione in cantiere:

- sono obbligatori e devono essere eseguiti a cura e sotto la responsabilità del Direttore dei Lavori;**
- devono essere effettuati realizzando campioni contestualmente alla messa in opera del sistema di rinforzo dell'elemento strutturale da consolidare e nelle stesse condizioni ambientali;**
- devono essere eseguiti su campioni del rinforzo realizzati, o ricavati, in cantiere con la procedura di installazione prescritta dal Fabbricante, impiegando gli stessi addetti del cantiere ed utilizzando i medesimi materiali.**

Il Direttore dei Lavori, in fase di accettazione, deve verificare che i prodotti costituenti ciascun lotto di spedizione siano coperti da Certificato di Valutazione Tecnica in corso di validità, di cui una copia deve essere allegata ai documenti di trasporto.

Nel caso di materiali e prodotti recanti la Marcatura CE è onere del Direttore dei Lavori, in fase di accettazione, accertarsi del possesso della marchiatura stessa e richiedere ad ogni Fabbricante, per ogni diverso prodotto, il Certificato di Conformità alla parte armonizzata della specifica norma europea, ovvero la dichiarazione di conformità D.O.P. (Declaration of Performance) in relazione alla normativa europea sui prodotti da costruzione applicabile.

In ogni caso, è inoltre onere del Direttore dei Lavori verificare che i prodotti consegnati in cantiere rientrino nelle tipologie previste nella detta documentazione.

Prove su Sistemi realizzati in situ

Ai fini dell'accettazione dei sistemi realizzati in situ, il Direttore dei Lavori deve provvedere al confezionamento di 6 campioni per ciascun tipo sistema di rinforzo da installare, realizzati in cantiere con la procedura di installazione prescritta dal Fabbrikante, impiegando gli stessi addetti del cantiere ed utilizzando i medesimi materiali. I campioni devono essere confezionati con il massimo numero di strati previsti nell'intervento da realizzare; le dimensioni sono quelle indicate per la prova di trazione.

I campioni così confezionati devono essere inviati dal Direttore dei Lavori ad un Laboratorio di cui all'art. 59 del DPR n. 380/2001. A tal fine, il Direttore dei Lavori deve assicurare, mediante sigle, etichettature indelebili, ecc., che i campioni inviati al Laboratorio incaricato siano effettivamente quelli da lui prelevati.

Attenzione: Accertarsi che il laboratorio autorizzato abbia sul decreto una esplicita estensione alle prove sui compositi.

.....

La richiesta di prove al Laboratorio deve essere sottoscritta dal Direttore dei Lavori e deve contenere indicazioni sui campioni prelevati. In caso di mancata sottoscrizione della richiesta di prove da parte del Direttore dei Lavori, le certificazioni emesse dal Laboratorio non possono assumere valenza ai fini del presente documento e di ciò deve essere fatta esplicita menzione sul certificato stesso.

Sui campioni consegnati in laboratorio devono essere eseguite le prove di trazione, con determinazione del valore della tensione di rottura.

La prova si ritiene superata se i valori medi della tensione di rottura e del modulo elastico riscontrati risultano non inferiori all'85% di quelli nominali relativi alla classe di appartenenza.

.....

Si prescrivono inoltre delle prove di determinazione della temperatura di transizione vetrosa su tutte le resine utilizzate, in ragione di 3 provini per ogni tipologia di resina, per verificarne le caratteristiche dichiarate dal Fabbrikante. Si adottano a tal fine le stesse modalità di prova utilizzate in fase di qualificazione. Il valore medio dei risultati sperimentali ottenuti dovrà essere non inferiore a quello determinato in fase di qualificazione.

Scheda tecnica

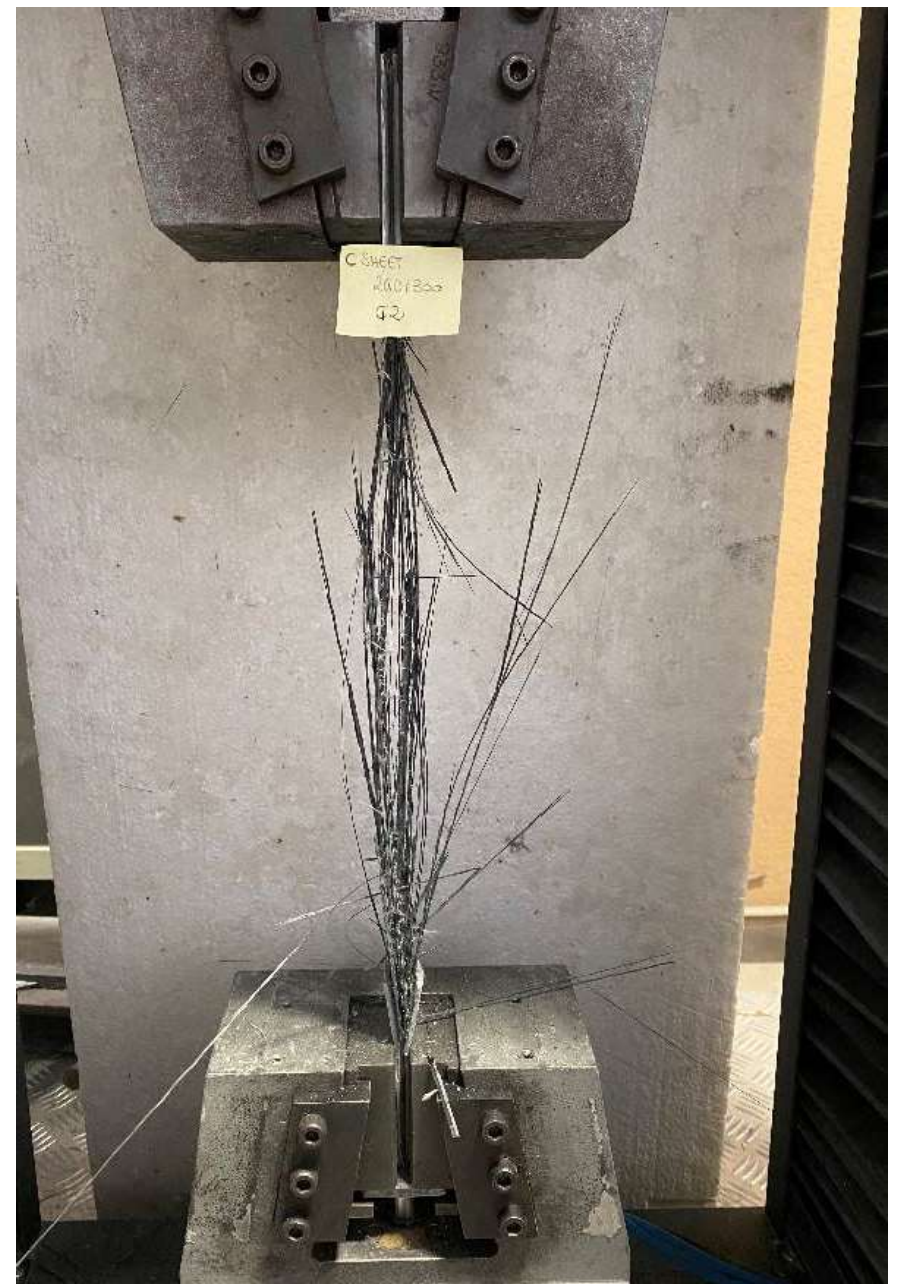
Caratteristiche geometriche e fisiche

Proprietà		Unità di misura	Metodo di prova normativa di riferimento
Spessore (lamina)		mm	
Larghezza		mm	
Lunghezza		mm	
Colore			
Densità	fibra	g/cm ³	ISO 1183-1:2004(E)
	matrice	g/cm ³	
Contenuto di fibra	in peso	%	ISO 11667:1997(E)
	in volume	%	
Temperatura di transizione vetrosa della resina (in caso di utilizzo di più resine devono essere indicati i valori di T _g di tutte le resine)		T _g [°C]	ISO 11357-2:2013 (E)
Temperature limiti, minima e massima, di utilizzo		[°C]	Vedi punto 4.2.4 della LG
Resistenza e reazione al fuoco			Vedi punto 4.2.4 della LG

Proprietà meccaniche

Proprietà	Unità di misura	Metodo di prova normativa di riferimento
Modulo elastico (valore medio)	GPa	UNI-EN 13706-1-2-3
Resistenza a trazione (valore medio e caratteristico)	MPa	
Deformazione a rottura	%	





N°	ID Provino	Spessore	Larghezza	A _m	N _{max}	f _{fib}	E ₁	ε _{fib}
		mm	mm	mm ²	kN	MPa	GPa	%
1	G&P_C240-300_C1	0.165	25.10	4.14	15.11	3648.44	241.11	1.51%
2	G&P_C240-300_C2	0.165	24.98	4.12	14.20	3445.18	247.66	1.39%
3	G&P_C240-300_C3	0.165	25.03	4.13	15.31	3707.07	253.74	1.46%
4	G&P_C240-300_C4	0.165	24.96	4.12	14.49	3518.36	248.08	1.42%
5	G&P_C240-300_C5	0.165	25.01	4.13	15.55	3768.19	250.07	1.51%
6	G&P_C240-300_C6	0.165	25.00	4.13	14.68	3558.79	259.36	1.37%
	MEDIA		25.01		14.89	3607.67	250.00	1.44%
	DEV. ST.		0.05		0.52	121.72		0.06%
	Valore caratteristico		24.92		13.85	3364.23		1.32%

VALORI DI RIFERIMENTO DA C.V.T. CLASSE DI APPARTENENZA 210C (210 Gpa-2700 Mpa)

- 1. $\sigma_{classe} = 2.700 \text{ MPa}$ Valore di confronto $0,85 \times 2.700 = 2.295,00 \text{ MPa}$**
Valore medio delle prove = $3.607,67 \text{ MPa}$ > Valore di confronto = $2.295,00 \text{ MPa}$
- 2. $E = 210,00 \text{ GPa}$ Valore di confronto $0,85 \times 210 = 178,50 \text{ GPa}$**
Valore medio delle prove = $250,00 \text{ GPa}$ > Valore di confronto = $178,50 \text{ MPa}$





F.R.C.M. (Fiber Reinforced Cementitious Mortar)

Fibre:

Vetro AR

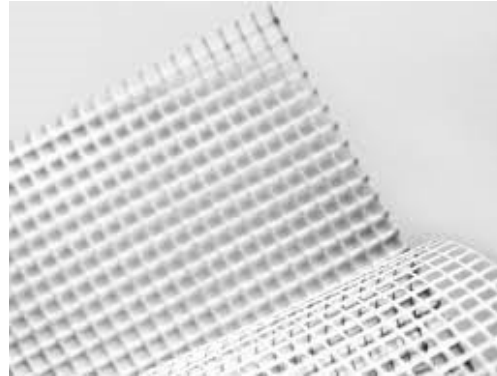
Carbonio

Aramidica

PBO

Basalto

Acciaio



Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici

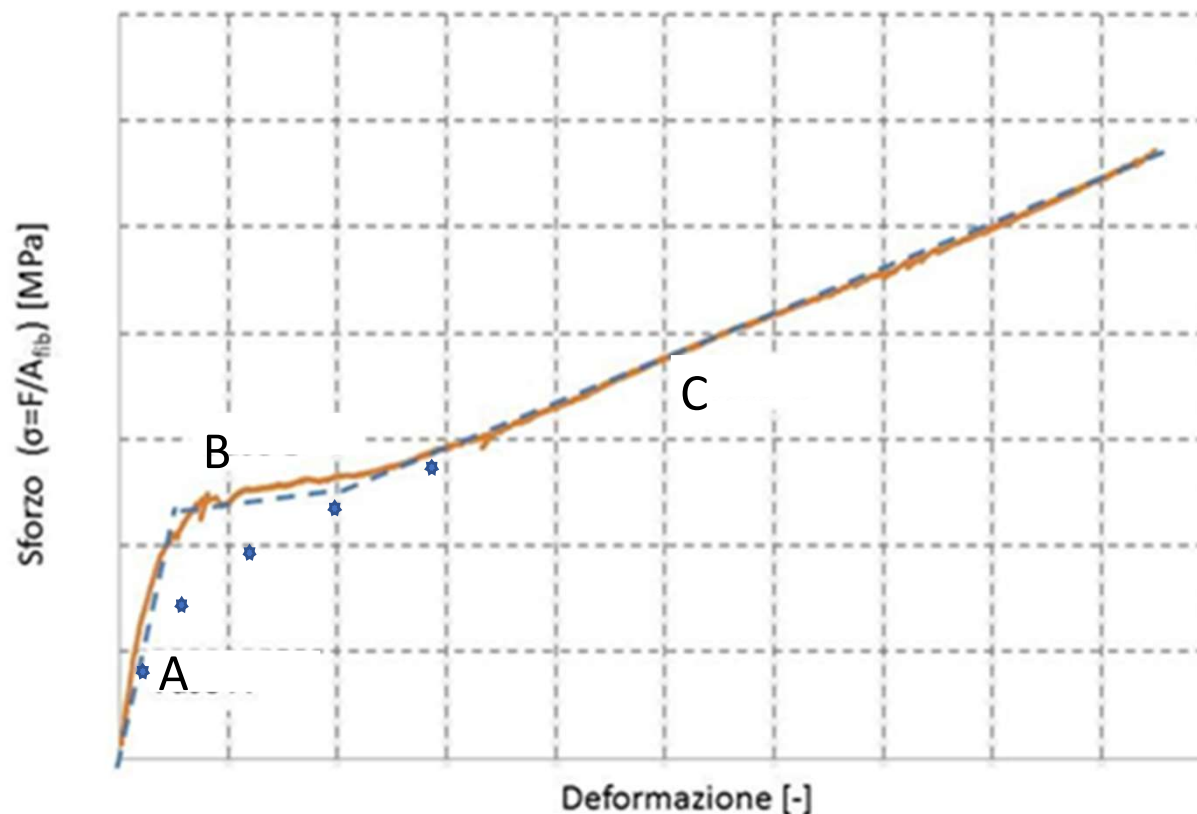
Servizio Tecnico Centrale

***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***

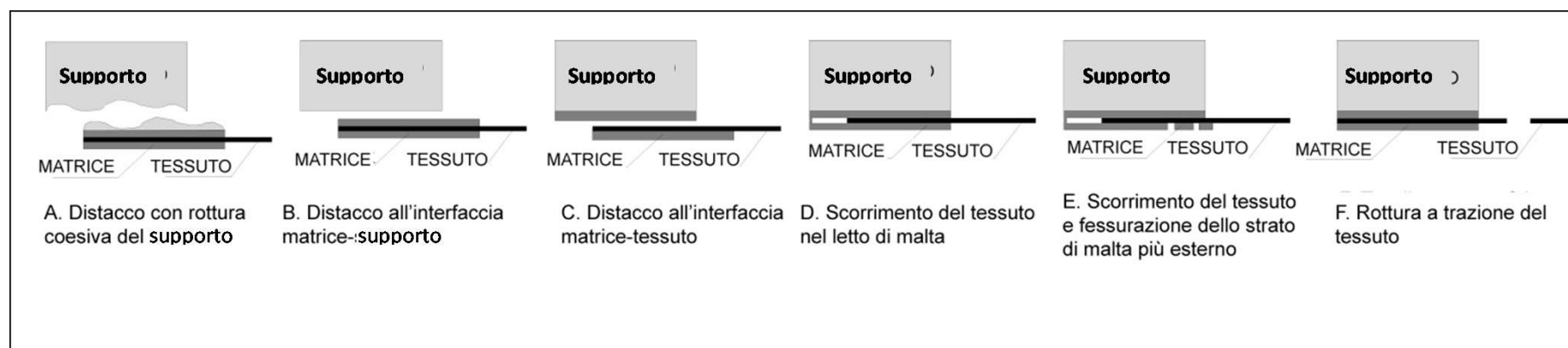
Dicembre 2018

Il tipico legame costitutivo tensione - deformazione di un sistema di rinforzo FRCM in una prova di trazione monoassiale (Allegato 1) è assimilabile ad una polilinea costituita da tre rami consecutivi, corrispondenti, nell'ordine, allo stadio di campione non fessurato (Stadio A), a quello in fase di fessurazione (Stadio B) e a quello fessurato (Stadio C), dove la tensione (o sforzo), espressa in MPa, è definita come:

$$\sigma = F/A_f \quad (\text{con } A_f \text{ area del tessuto senza matrice inorganica})$$



Tale legame non è sufficiente a caratterizzare il comportamento meccanico di un sistema *FRCM*, in quanto l'impiego di quest'ultimo come rinforzo di un elemento strutturale porta a dover considerare i molteplici meccanismi di crisi che possono verificarsi in seguito all'interazione substrato-sistema di rinforzo *FRCM*. Essi sono descritti nella Linea Guida.



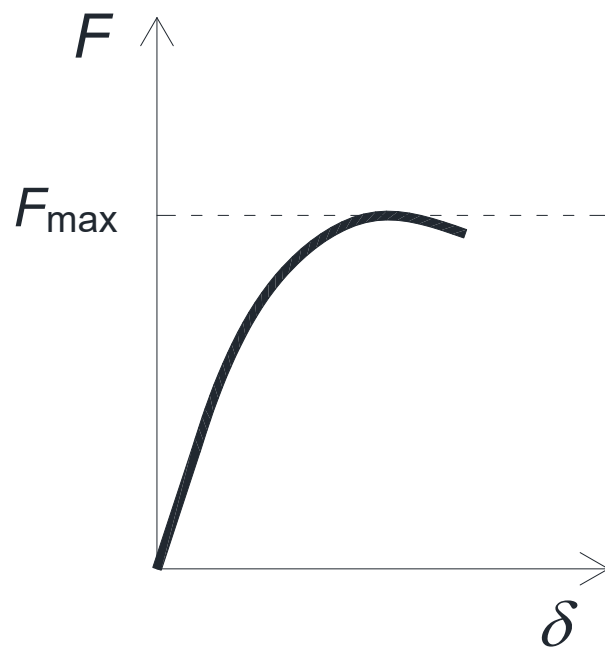
Per questi motivi, è necessario (*ai fini della qualificazione*) che la caratterizzazione meccanica includa, oltre alla prova di trazione del sistema *FRCM* e del tessuto secco, anche la prova di distacco dal supporto, ed eventuali altre prove appropriate, in relazione alle caratteristiche specifiche del sistema *FRCM*. A tale riguardo, il Fabbrikante deve indicare nell'istanza, il tipo/i tipi di supporto per cui intende conseguire la qualificazione. Le prove devono essere effettuate per ogni tipo di supporto indicato

I sistemi di rinforzo FRCM sono qualificati sulla base di diverse proprietà meccaniche determinate mediante prove di trazione monoassiale e prove di distacco dal supporto.

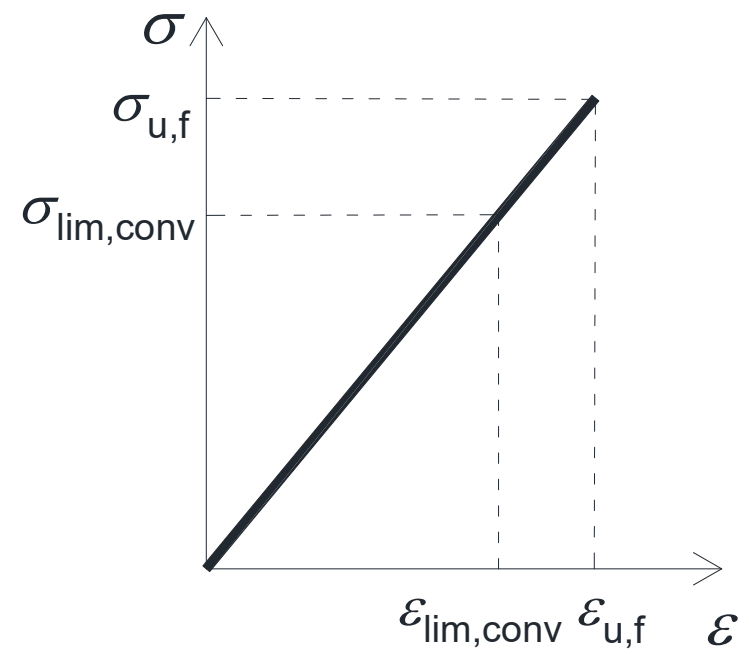
Fra queste, soprattutto ai fini delle prove di accettazione, sono importanti:

- a) La tensione limite convenzionale $\sigma_{lim, conv}$ (valore caratteristico) e deformazione limite convenzionale $\epsilon_{lim, conv}$, definiti dalla stessa Linea Guida;
- b) La tensione ultima σ_u (valore caratteristico) e deformazione ultima ϵ_u (valore medio) del campione di FRCM a rottura per trazione.

La tensione limite convenzionale $\sigma_{lim, conv}$ per uno specifico sistema FRCM, rappresenta la resistenza del sistema di rinforzo ricavata mediante prove di distacco da supporti convenzionali e come tale è dipendente dal tipo di supporto; essa si ottiene dividendo il valore caratteristico dei picchi della forza traente F , registrati durante le prove di distacco dal supporto, per l'area A_f (§ 7.2).



$$\sigma_{\text{lim,conv}} = F_{\max} / A_f$$



PROCEDURE DI ACCETTAZIONE IN CANTIERE

I controlli di accettazione in cantiere:

- sono obbligatori e devono essere eseguiti a cura e sotto la responsabilità del Direttore dei lavori;
- devono essere effettuati realizzando campioni contestualmente alla messa in opera del sistema di rinforzo dell'elemento strutturale da consolidare e nelle stesse condizioni ambientali;
- devono essere eseguiti su campioni del rinforzo realizzati, o ricavati, in cantiere con la procedura di installazione prescritta dal Fabbrikante, impiegando gli stessi addetti del cantiere ed utilizzando i medesimi materiali.

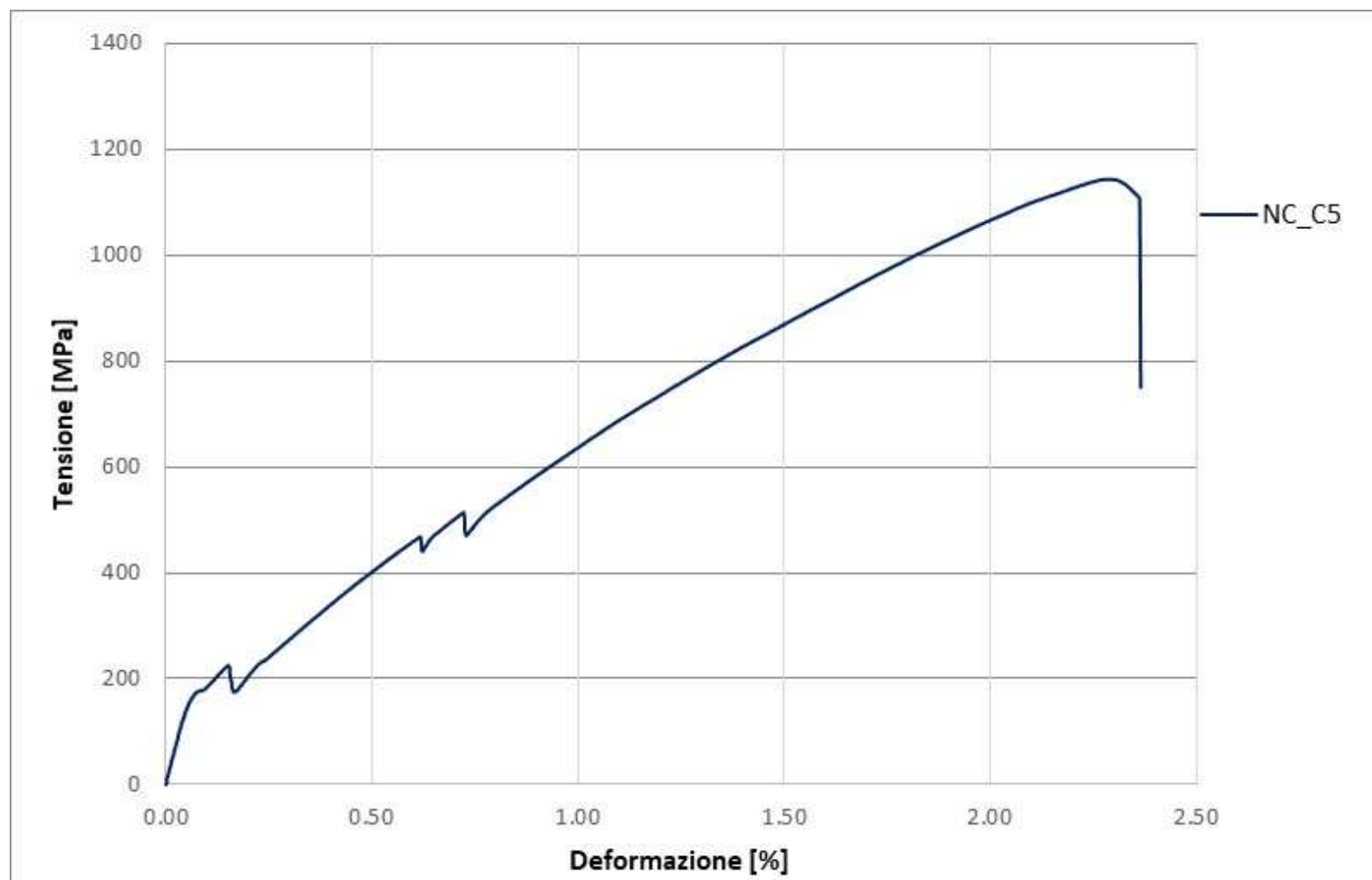
I campioni devono essere in numero di 6 per ognuno dei tipi di sistemi di rinforzo da installare, tenendo anche conto dell'eventuale diversa natura delle fasi (in particolare della grammatura del rinforzo e del numero di strati di quest'ultimo). Le dimensioni sono quelle indicate per la prova di trazione (Allegato 1).

Sui campioni consegnati in laboratorio devono essere eseguite le prove di trazione, con determinazione del valore medio della tensione ultima .

Attese le condizioni non ottimali di realizzazione dei provini realizzati in cantiere, la prova si ritiene superata se:

1. il valore medio della tensione ultima σ_u risulta non inferiore all'85% della tensione caratteristica ultima σ_u , come determinata nella fase di qualificazione del sistema FRCM di cui si effettua il controllo di accettazione, riportata sulla Scheda tecnica che accompagna il prodotto;
2. il valore medio della tensione ultima σ_u risulta superiore almeno del 15% rispetto alla tensione limite convenzionale $\sigma_{lim, conv}$ su supporto analogo, come determinata nella fase di qualificazione, del sistema FRCM di cui si effettua il controllo di accettazione, riportata sulla Scheda tecnica che accompagna il prodotto.





VALORI DI RIFERIMENTO DA QUALIFICAZIONE:

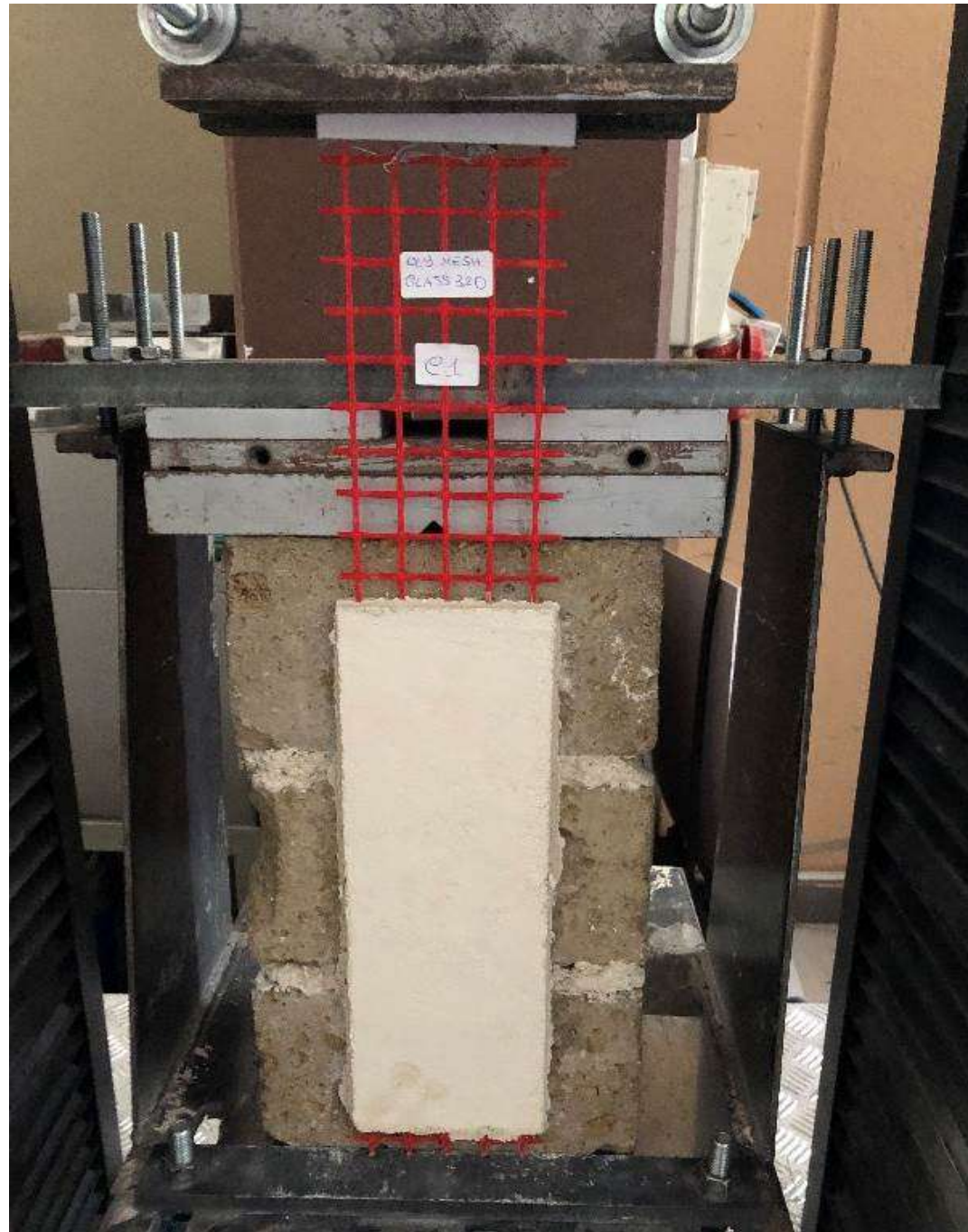
1. $\sigma_u = 1.200 \text{ MPa}$ Valore di confronto $0,85 \times 1.200 = 1.000,20 \text{ MPa}$

Valore medio delle prove $= 1.141,24 \text{ MPa} > \text{Valore di confronto} = 1.000,20 \text{ MPa}$

2. $\sigma_{lim,conv} = 990,00 \text{ MPa}$ (da scheda tecnica su supporto di tufo) Valore di confronto $1.15 \times 990 = 1.138,50 \text{ MPa}$

Valore medio delle prove $= 1.141.24 \text{ MPa} > \text{Valore di confronto} = 1.138,50 \text{ MPa}$

N°	ID Provino	Af	Fmax	σ_u	E1	ϵ_u
		mm2	kN	MPa	GPa	%
1	G320_FRCM_NC_C1	4.99	5.72	1146.87	208.33	2.38%
2	G320_FRCM_NC_C2	4.99	5.51	1103.76	231.00	2.16%
3	G320_FRCM_NC_C3	4.99	5.80	1161.44	264.68	2.13%
4	G320_FRCM_NC_C4	4.99	5.49	1100.45	104.74	2.21%
5	G320_FRCM_NC_C5	4.99	5.71	1143.66	223.89	2.29%
6	G320_FRCM_NC_C6	4.99	5.94	1191.25	198.78	2.31%
	MEDIA		5.70	1141.24	205.24	2.25%
	DEV. ST.		0.16	31.66		0.09%
	Valore caratteristico		5.38	1077.92		2.07%







55

COMMITTEE:

OWNER, LOCATION, DATE:

TRONDIAGNE ED IDENTIFICAZIONE, LUBRIFICAZIONE

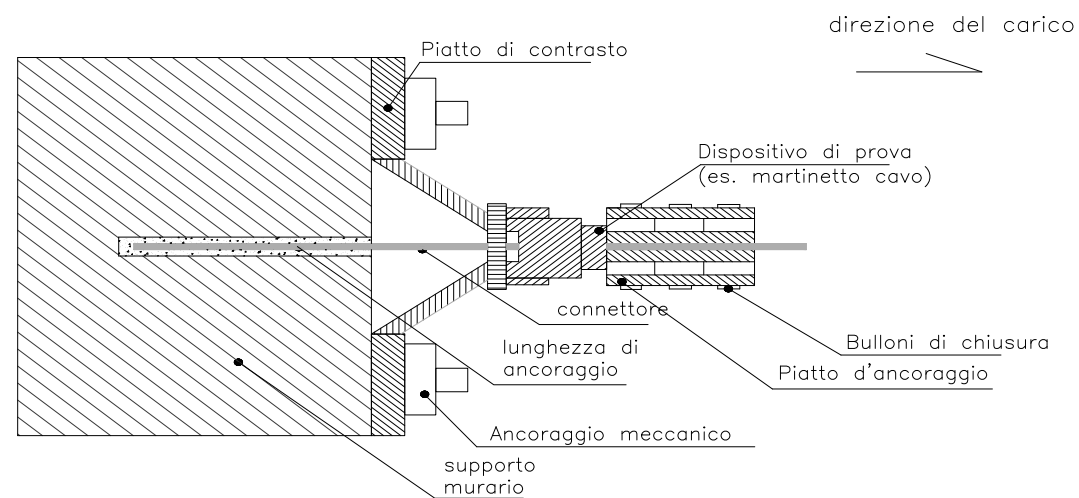
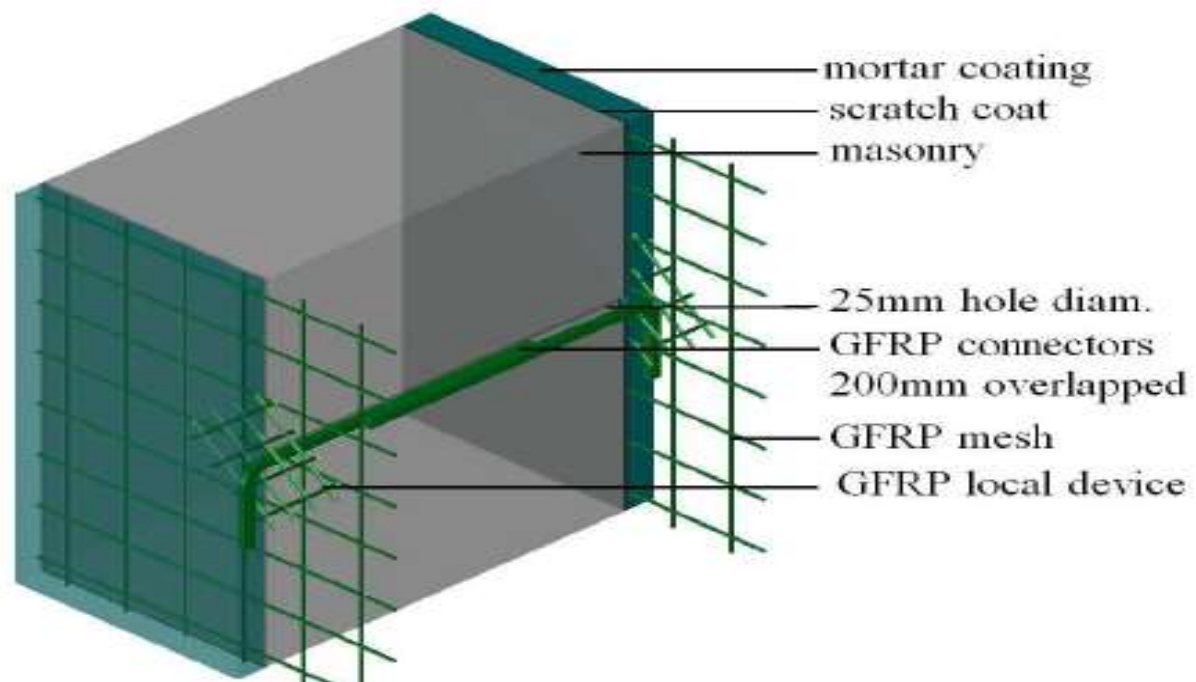
DATA CO. DA SUPPORTO

C.R.M. (Composite Reinforced Mortar)

I sistemi CRM sono costituiti da reti in composito fibrorinforzate a matrice polimerica (FRP- Fiber Reinforced Polymer), da applicare sulle superfici degli elementi strutturali per il consolidamento degli stessi con malte cementizie e/o di calce, ovvero mediante la tecnica dell'intonaco armato di tipo *CRM* (Composite Reinforced Mortar).

L'intonaco armato, denominato nel seguito CRM, è realizzato mediante una rete preformata in composito (FRP) inserita in una malta ad uso strutturale e applicata sulla superficie dell'elemento strutturale in muratura da rinforzare. In detto sistema la rete in FRP è in grado di assorbire gli sforzi di trazione, mentre la malta strutturale contribuisce ad assorbire gli sforzi di compressione. Il trasferimento degli sforzi fra il supporto e la rete di rinforzo è garantito anche dalla presenza dei connettori, che assicurano la collaborazione strutturale fra l'elemento murario e l'intonaco armato.

Lo spessore dei sistemi di rinforzo CRM di cui alla presente Linea Guida è compreso, di norma, tra 30 mm e 50 mm, al netto del livellamento del supporto.





Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici

Linea Guida per la identificazione, la qualificazione ed il controllo di accettazione dei sistemi a rete preformata in materiali compositi fibrorinforzati a matrice polimerica da utilizzarsi per il consolidamento strutturale di costruzioni esistenti con la tecnica dell'intonaco armato CRM (Composite Reinforced Mortar)

Maggio 2019

PROCEDURE DI ACCETTAZIONE IN CANTIERE

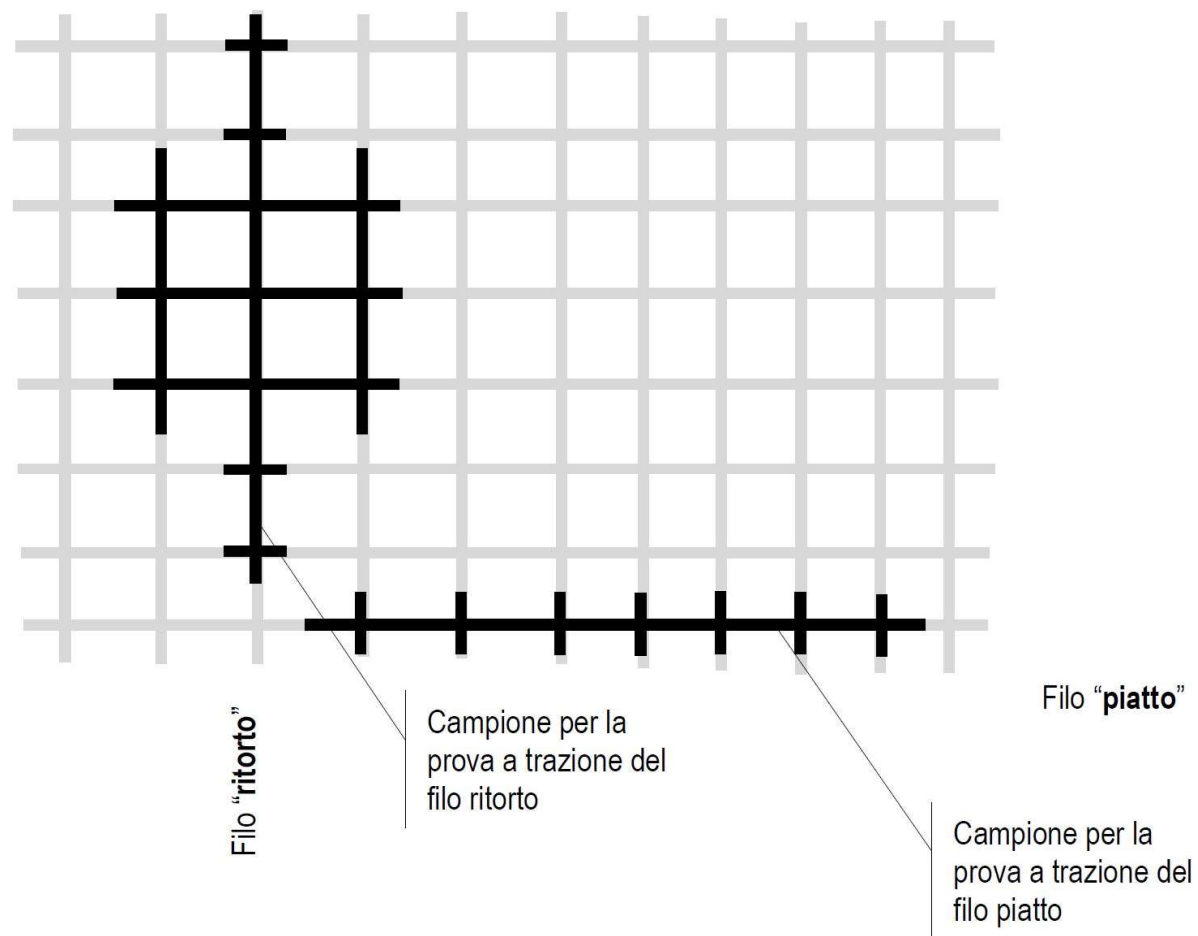
Controlli di accettazione in cantiere:

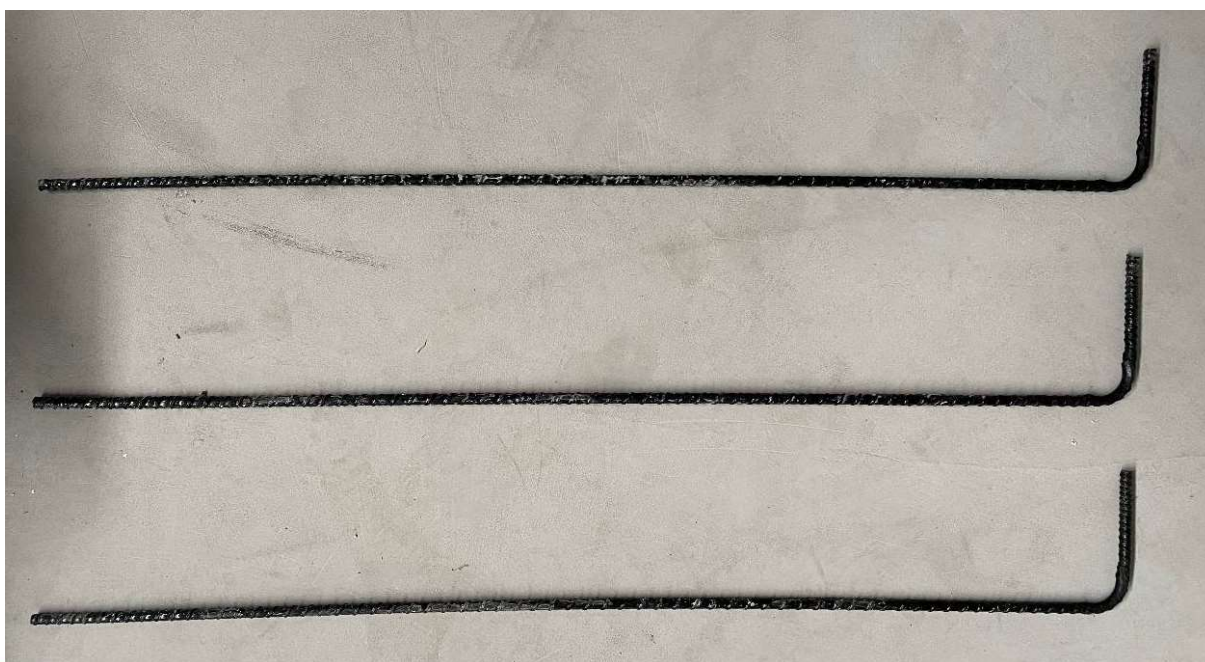
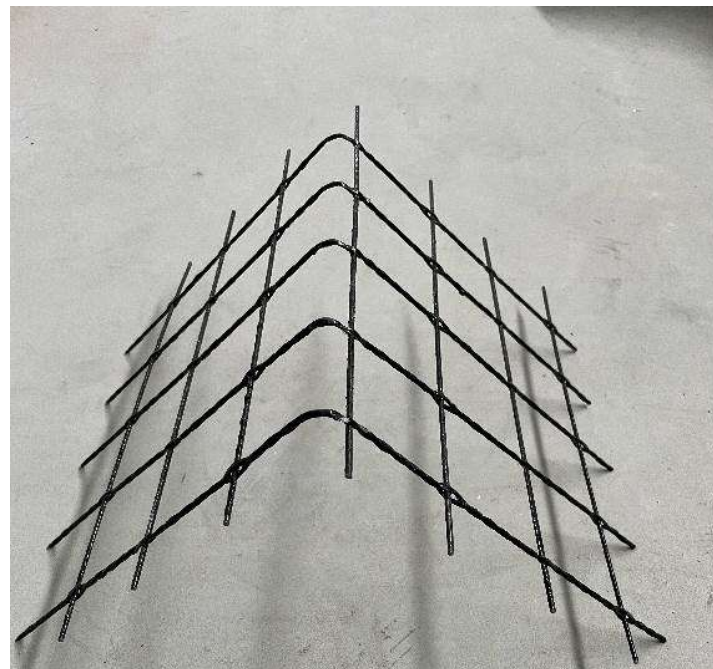
- sono obbligatori e devono essere eseguiti a cura e sotto la responsabilità del Direttore dei Lavori;
- devono essere campionati nell'ambito di ciascun lotto di spedizione in riferimento al lotto di produzione e devono riguardare tutti i componenti del Sistema *CRM* oggetto di fornitura.

I campioni devono essere in numero di 3 per ognuno dei componenti dei sistemi di rinforzo da installare, tenendo anche conto dell'eventuale diversa natura delle fasi (in particolare della grammatura del rinforzo) e delle eventuali diverse caratteristiche delle reti nelle due direzioni. Le dimensioni sono quelle indicate per la prova di trazione (Allegato 1).

Le prove da eseguire sono unicamente quelle di trazione sui componenti in FRP del sistema, descritte all'Allegato 1.

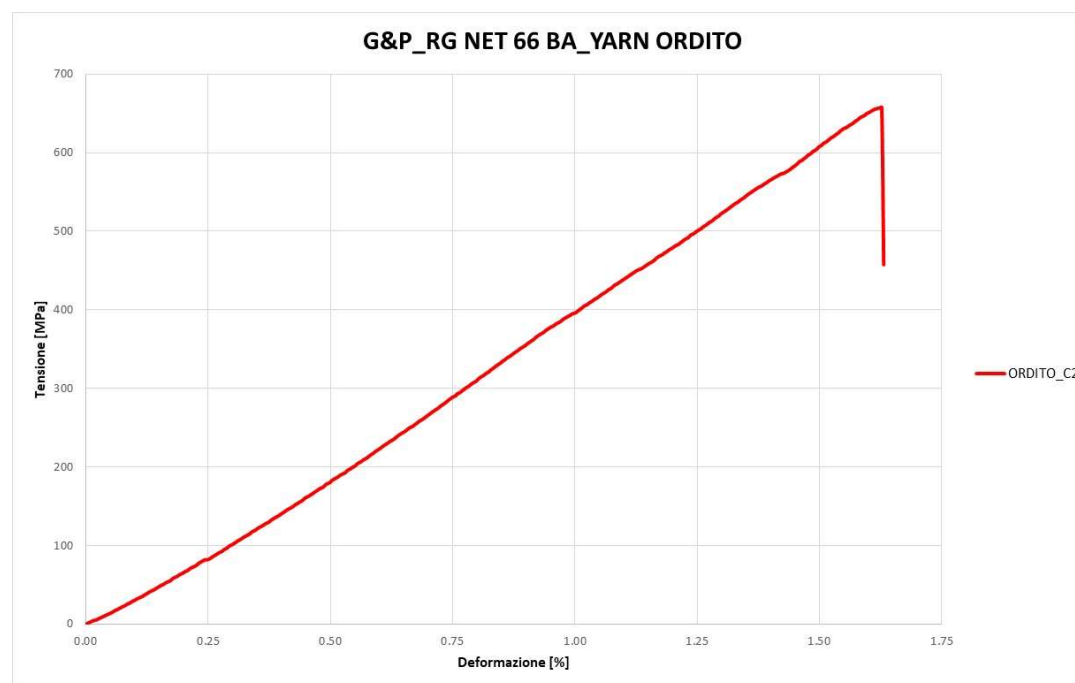
Si prescrivono inoltre prove sulle malte da utilizzare in ragione di due provini per ogni lotto di spedizione per verificarne le caratteristiche dichiarate dal Fabbrikante e richiamate nel *Manuale di installazione*.



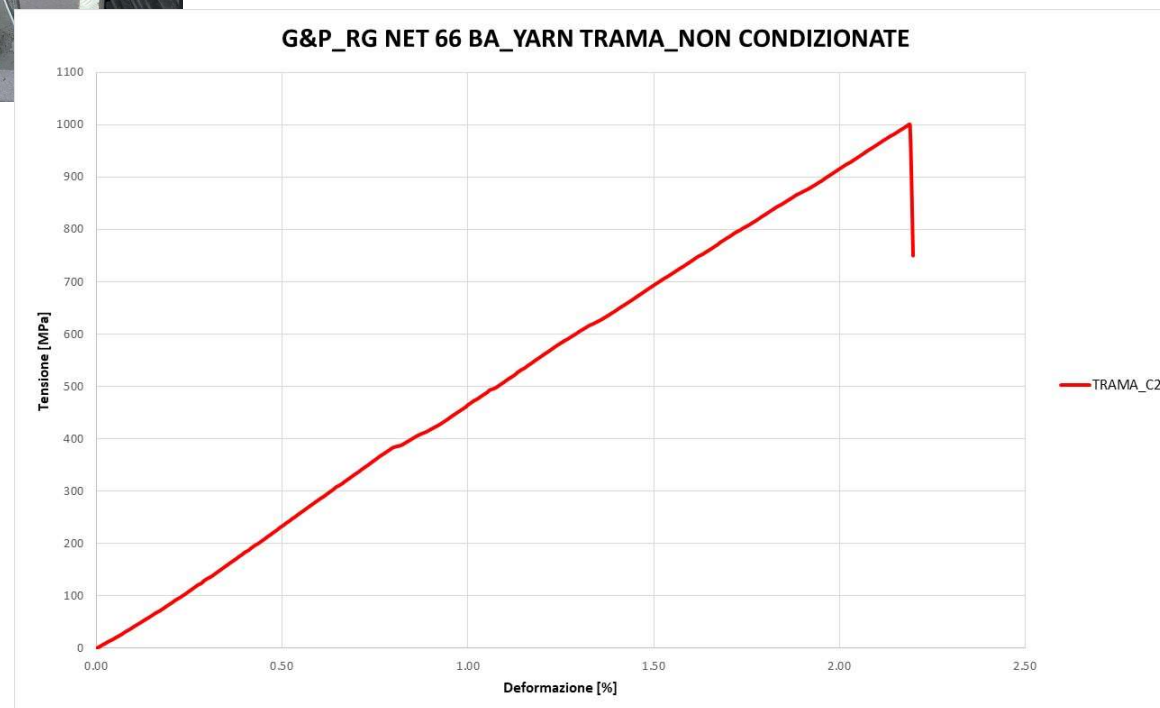


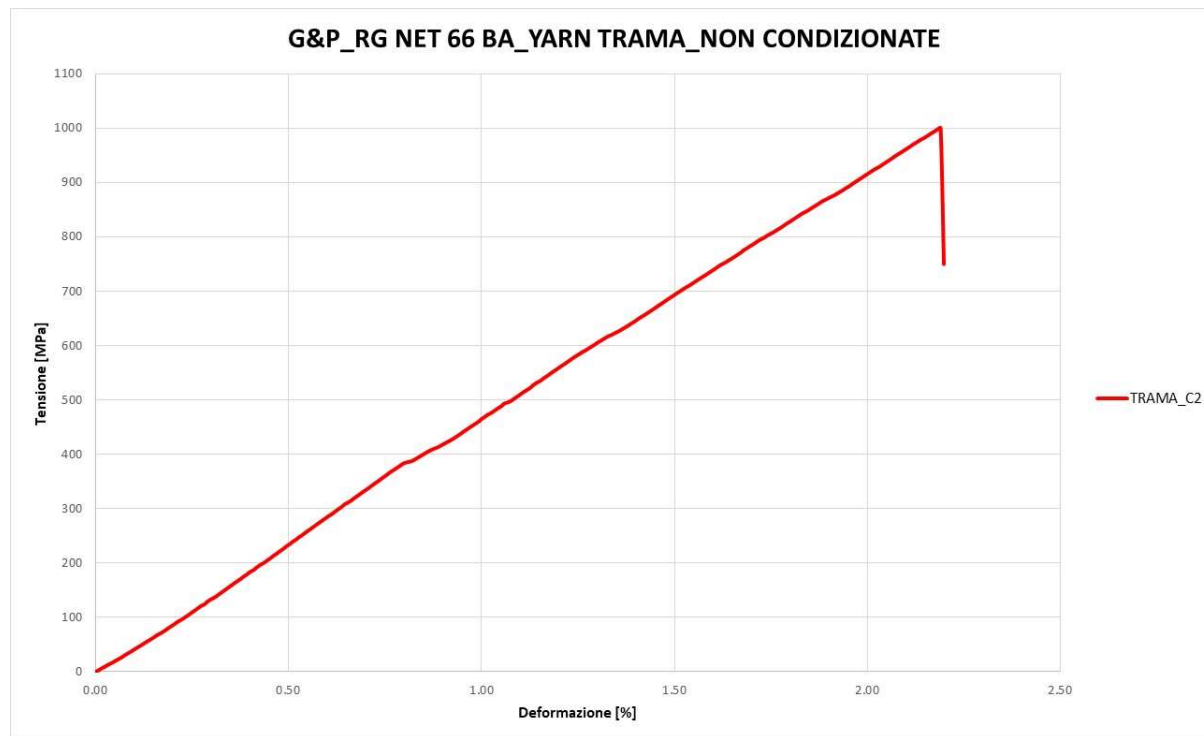
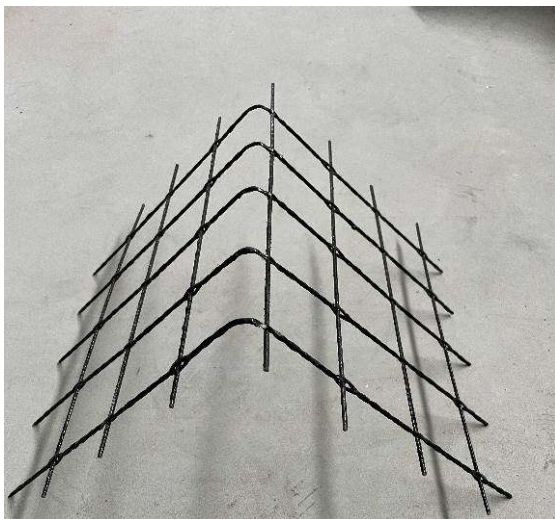


Prove di Trazione su campioni in ordito estratti dalla rete

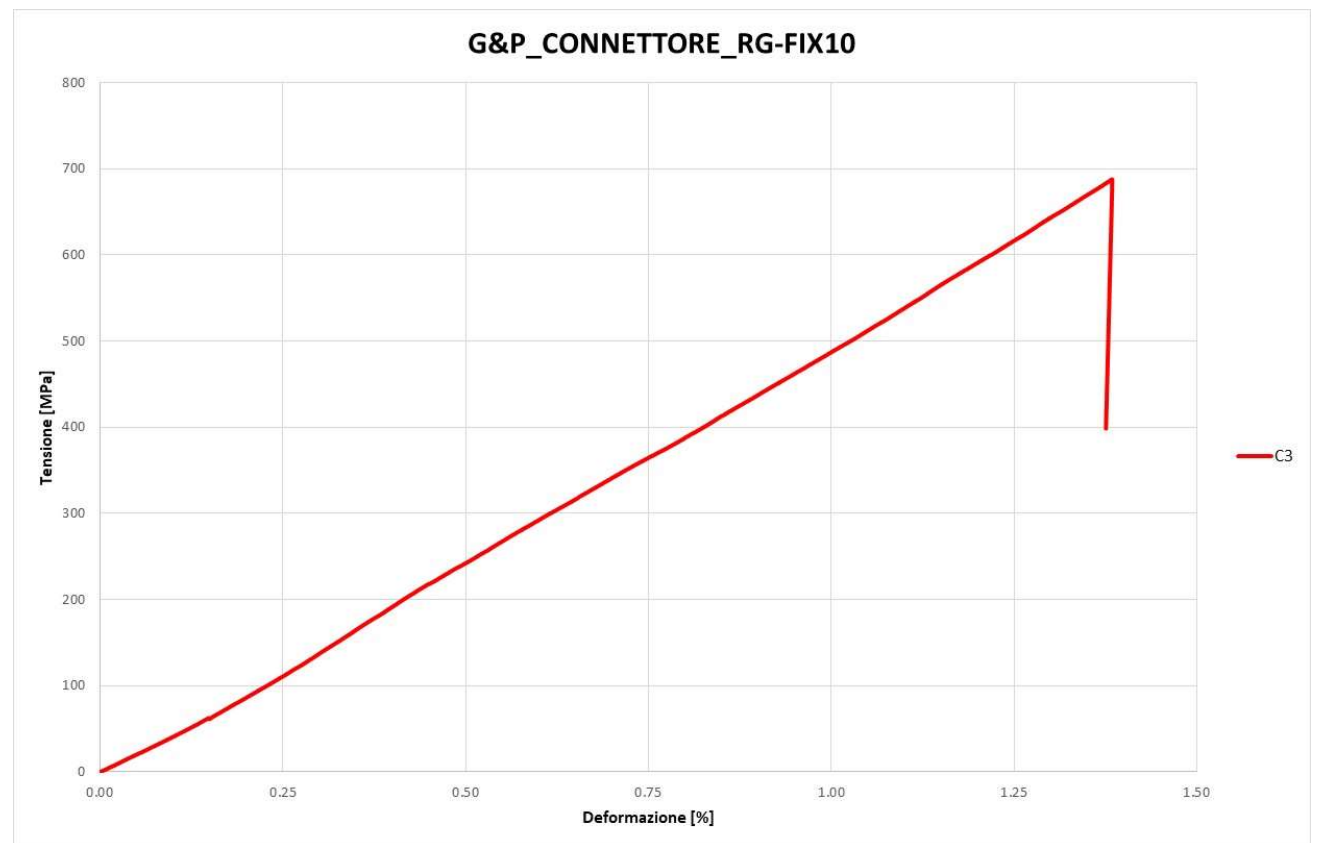


Prove di Trazione su campioni in trama estratti dalla rete





Prove di Trazione su campioni di connettori





Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici

Servizio Tecnico Centrale

*Linea guida per l'identificazione, la qualificazione, la certificazione di
valutazione tecnica ed il controllo di accettazione dei calcestruzzi
fibrorinforzati FRC (Fiber Reinforced Concrete)*

Gennaio 2019

Classi prestazionali del FRC

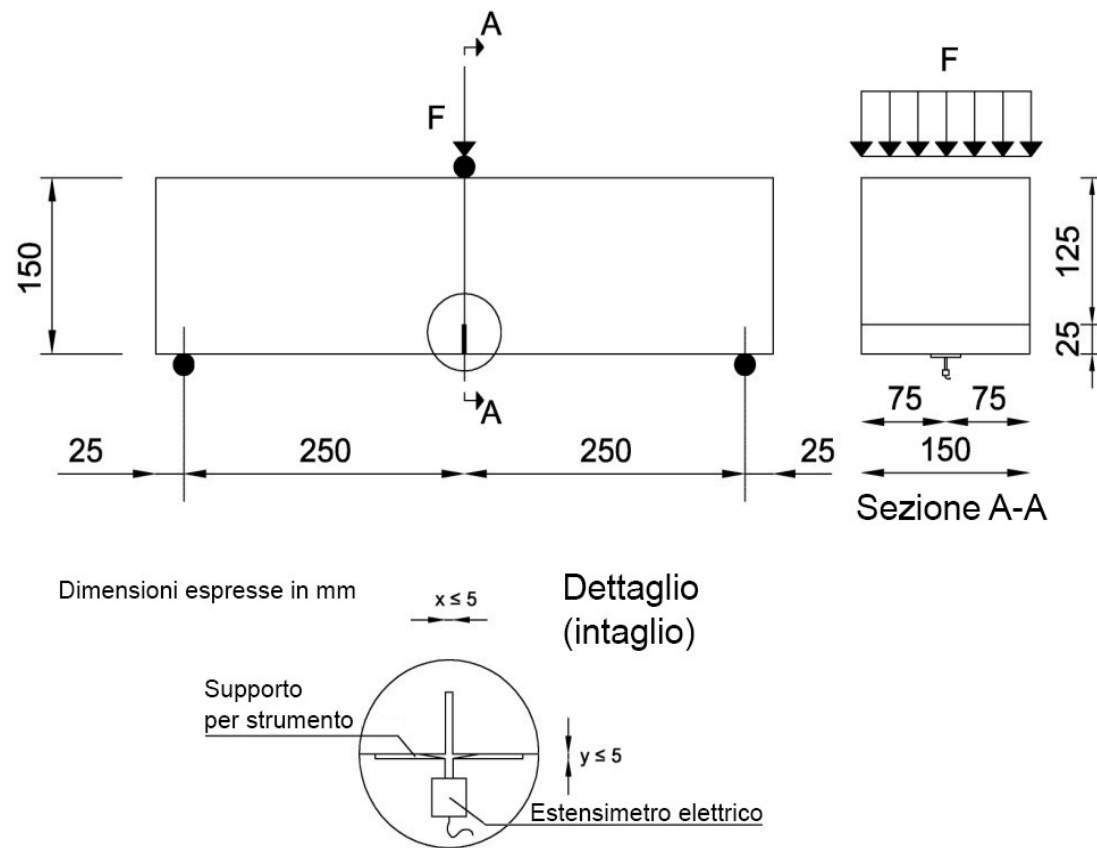
Le prestazioni richieste a un FRC sono le seguenti:

- *classe di resistenza a compressione;*
- *classe di consistenza;*
- *classe di esposizione;*
- *limite di proporzionalità (tensione corrispondente);*
- *classe di tenacità, ovvero resistenza opposta dal materiale all'avanzamento del processo di frattura.*

E' inoltre necessario definire le seguenti proprietà:

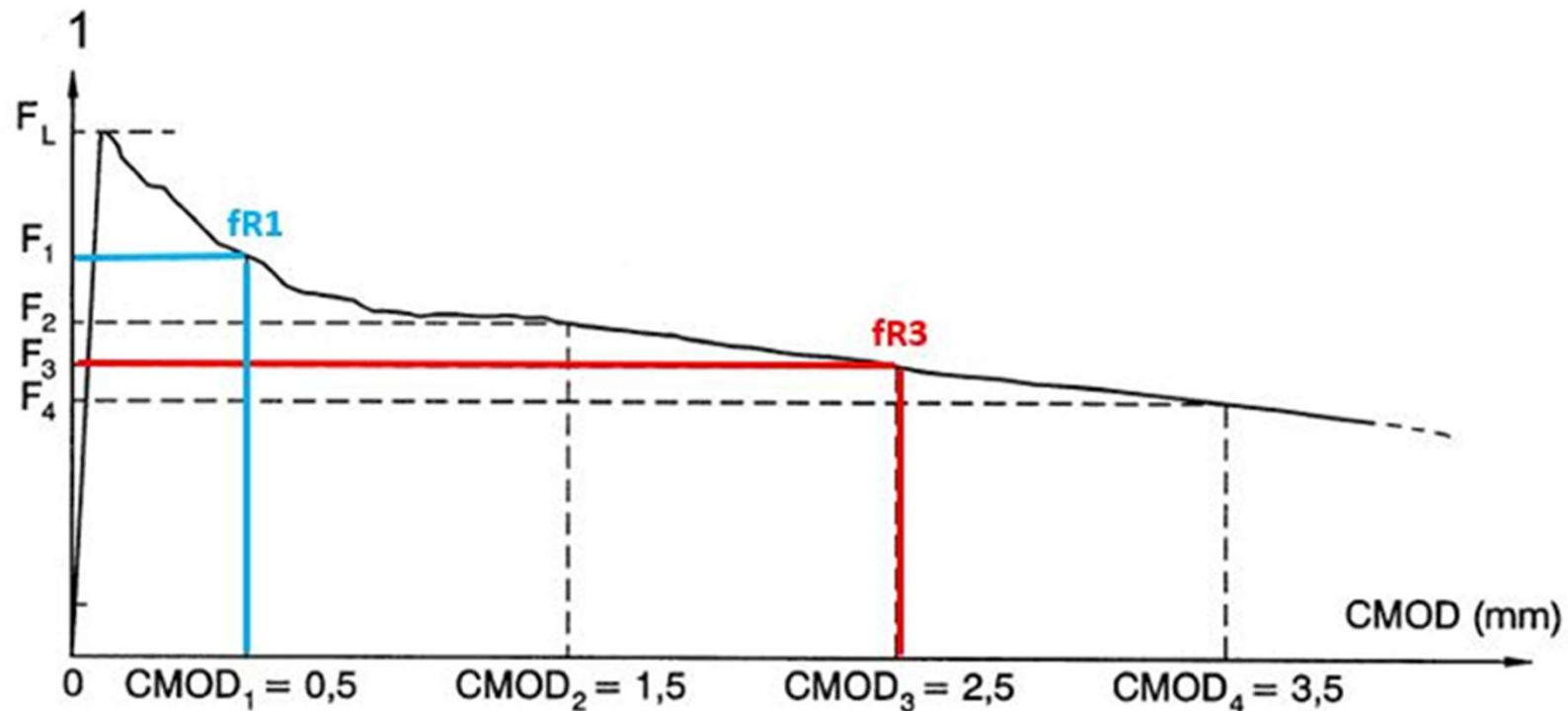
- *dimensione massima dell'aggregato;*
- *caratteristiche geometriche della fibra;*
- *materiale utilizzato per la fibra.*

Il limite di proporzionalità e la classe di tenacità sono determinabili sulla base di un test a flessione su un provino di dimensioni (b x h) 150x150 mm in sezione, lunghezza 550÷700 mm, intagliato centralmente, semplicemente appoggiato alle estremità e caricato con un carico centrale (EN 14651) come indicato in Figura.



La prova prevede la misura sperimentale del carico applicato (F) e dell'apertura di fessura alla bocca dell'intaglio (CMOD, come definito dalle UNI EN 14651); il valore CMOD viene utilizzato come parametro di controllo della prova.

Una tipica curva sperimentale, ottenuta dalla prova, è riportata in Figura.



Con riferimento alla singola prova, devono essere determinati: il limite di proporzionalità ($f_{ct,L}^f$) e la resistenza residua per valori di CMOD pari a 0.5 mm ($f_{R,1}$) e a 2.5 mm ($f_{R,3}$).

In particolare, la tensione corrispondente al limite di proporzionalità ($f_{ct,L}^f$) è convenzionalmente definita, vedi EN 14651, come:

$$f_{ct,L}^f = \frac{3F_L L}{2bh_{sp}^2}$$

dove:

F_L = massima forza applicata (Figura 4)

L = distanza fra gli appoggi (Figura 3)

Le resistenze residue f_{R1} e f_{R3} si determinano convenzionalmente come:

$$f_{R,j} = \frac{3F_j L}{2bh_{sp}^2}$$

dove:

$j = 1 \text{ o } 3$

Il *FRC* può essere impiegato per la realizzazione di elementi strutturali se la classe di resistenza a compressione è conforme a quanto previsto dalle NTC per un calcestruzzo privo di fibre e se sono rispettate le condizioni riportate nel seguito:

$$f_{R,1k} / f_{ct,Lk}^f > 0.4$$

$$f_{R,3k} / f_{R,1k} > 0.5$$

avendo indicato con $f_{ct,Lk}^f$, $f_{R,1k}$ e $f_{R,3k}$ i valori caratteristici dei parametri $f_{ct,L}^f$, $f_{R,1}$ e $f_{R,3}$ rispettivamente (vedi Allegato1).

Per classificare il comportamento post-fessurativo di un FRC sono presi in esame due parametri: la resistenza nominale per f_{R1k} ed il rapporto f_{R3k}/f_{R1k} , che consentono di identificare la classe di tenacità.

La resistenza nominale per f_{R1k} è definita dal numero appartenente alla seguente successione, immediatamente inferiore al valore di f_{R1k} determinato sperimentalmente:

1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 4.0, 5.0, 6.0, 8.0, 10.0, 12.0, 14.0 [MPa]

Il rapporto f_{R3k}/f_{RIk} viene invece indicato con una delle lettere a, b, c, d, e , ciascuna delle quali indica un intervallo di valori, come specificato nel seguito:

$$a \text{ per } 0.5 \leq f_{R3k}/f_{RIk} < 0.7$$

$$b \text{ per } 0.7 \leq f_{R3k}/f_{RIk} < 0.9$$

$$c \text{ per } 0.9 \leq f_{R3k}/f_{RIk} < 1.1$$

$$d \text{ per } 1.1 \leq f_{R3k}/f_{RIk} < 1.3$$

$$e \text{ per } 1.3 \leq f_{R3k}/f_{RIk}$$

Pertanto, la classe di tenacità di un FRC viene definita da un numero (resistenza nominale per f_{RIk}) e da una lettera (intervallo di valori in cui ricade f_{R3k}/f_{RIk}). A titolo esemplificativo un FRC di classe 2.5b ha una resistenza nominale per f_{RIk} pari a 2.5 MPa (essendo: $2.5 \leq f_{RIk} < 3.0$) e un valore del rapporto f_{R3k}/f_{RIk} compreso nell'intervallo indicato dalla lettera b : $0.7 \leq f_{R3k}/f_{RIk} < 0.9$.

Per impieghi strutturali, le prestazioni di un FRC devono essere prescritte dal progettista, fornite dal Fabbrikante e verificate dalla Direzione Lavori.







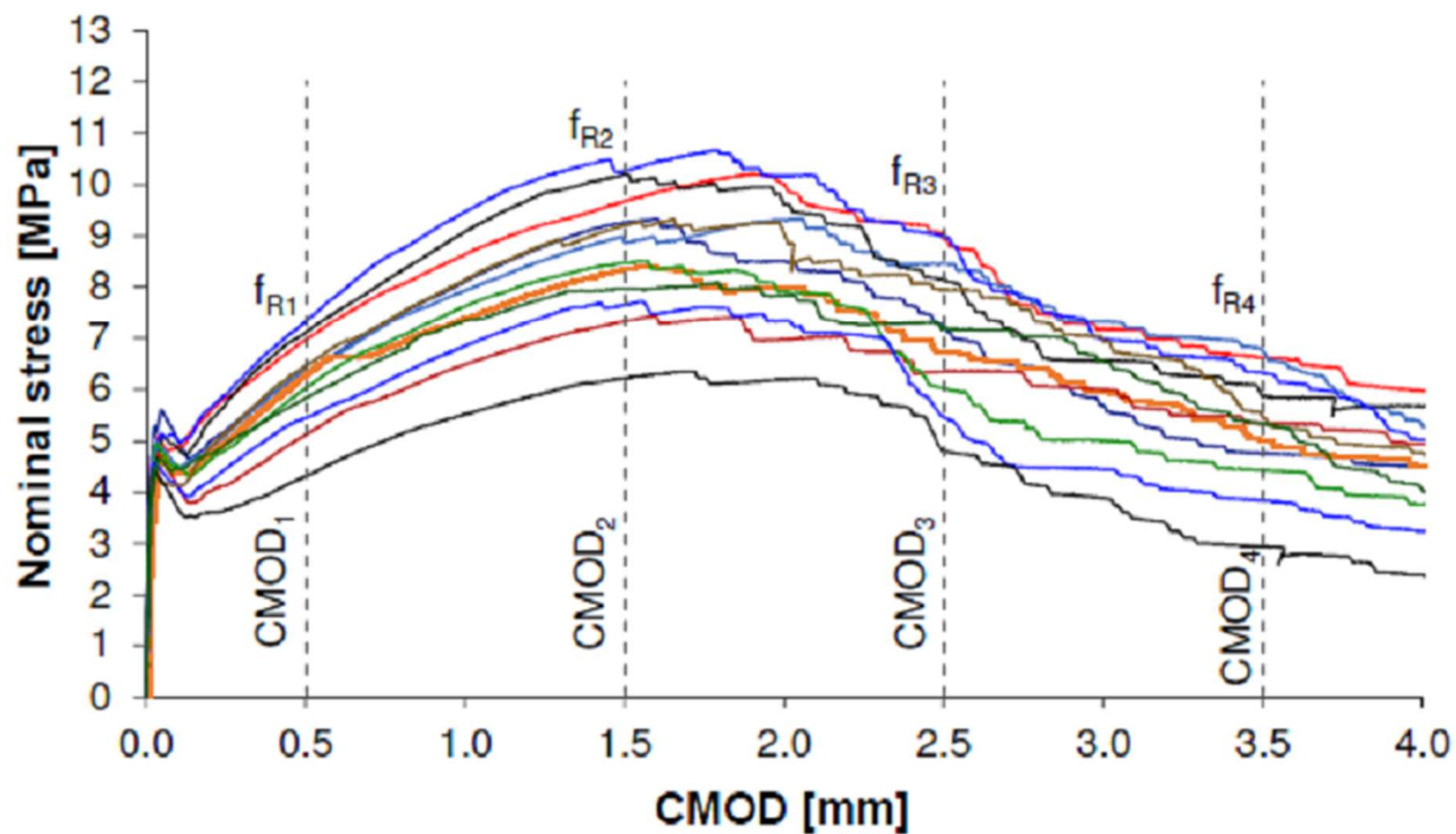


Figura 2 Grafico Tensione- CMOD - Risultati della prova a flessione su travette standardizzate FRC



Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici

Servizio Tecnico Centrale

LINEA GUIDA PER
L'IDENTIFICAZIONE, LA QUALIFICAZIONE E L'ACCETTAZIONE
DI BARRE E STAFFE IN COMPOSITO FIBRORINFORZATO PER USO
STRUTTURALE

Dicembre 2021

Le barre di cui alla presente Linea Guida sono costituite da fibre continue di vetro, basalto o carbonio. Per applicazioni che utilizzino altri tipi di fibre possono essere richieste procedure di qualificazione aggiuntive rispetto a quelle della presente Linea Guida.

Il processo produttivo delle barre rettilinee è tipicamente la pultrusione, anche se non sono esclusi differenti processi produttivi.

Nella definizione del processo produttivo è incluso il tipo di finitura superficiale della barra, previsto dal Fabbrikante per migliorarne l'aderenza. Le sezioni trasversali delle barre e delle staffe possono essere pressoché circolari o di forma rettangolare. Il diametro nominale delle sezioni circolari, appresso definito, deve variare nell'intervallo tra 5 mm e 32 mm, comprendendo gli estremi dell'intervallo. La larghezza, b , delle sezioni rettangolari, coincidente con la massima dimensione della sezione, non deve essere superiore a 40 mm.

Le proprietà meccaniche delle barre di FRP dipendono principalmente dalla forma e dalle dimensioni della sezione trasversale, dal tipo di matrice e di eventuali additivi in essa presenti in definite quantità, dalla natura delle fibre e dalla frazione volumetrica di queste ultime.

Le barre e le staffe di FRP, oggetto della presente Linea Guida (LG), sono qualificate sulla base delle caratteristiche di cui alle Tabelle 1, 2 e 3. Le caratteristiche sono distinte in caratteristiche fisico-morfologiche (Tabella 1), caratteristiche meccaniche la cui valutazione è obbligatoria (Tabella 2), caratteristiche meccaniche la cui valutazione è lasciata alla facoltà del singolo Fabbrikante (Tabella 3).

3.2.1 Temperatura di transizione vetrosa, Tg

Il Fabbricante deve eseguire, presso il Laboratorio incaricato, almeno tre prove per ciascun tipo di barra prodotto, differente per tipo di resina, finalizzate alla determinazione della Temperatura di transizione vetrosa (nel seguito Tg) della matrice impiegata nella fabbricazione delle barre.

Il metodo di prova da utilizzarsi è quello denominato DSC (Differential Scanning Calorimetry) di cui alla ISO 11357-2. Il metodo è illustrato schematicamente nell'Allegato 2

3.2.2 Massima temperatura di servizio

Le caratteristiche prestazionali delle barre di FRP, in particolare quelle meccaniche, possono essere fortemente condizionate dalle sollecitazioni termiche. Tale circostanza, che deve essere tenuta in debito conto dal progettista, deve essere chiaramente evidenziata dal Fabbricante nella documentazione illustrativa dei prodotti, come ad esempio nella scheda tecnica ed in quella di accompagnamento alla fornitura degli stessi

3.2.4 Resistenza al pull-out

3.2.5 Resistenza al pull-out ad alte temperature

3.2.6 Durabilità ambientale: cicli di gelo-disgelo

3.2.7 Durabilità ambientale: esposizione ad ambienti alcalini, salini ed umidi

3.2.8 Comportamento al fuoco

3.2.9 Resistenza a Fatica

3.2.10 Fatica statica

La resistenza alla fatica statica (fenomeni di viscosità) delle barre deve essere determinata secondo il metodo indicato nella norma ISO 10406-1, c12 integrato dalle indicazioni fornite in questa Linea Guida per le barre a sezione rettangolare.

5. PROCEDURE DI ACCETTAZIONE IN CANTIERE

I controlli di accettazione in cantiere sulle barre: - sono obbligatori e di competenza del Direttore dei lavori; - devono essere effettuati nell'ambito di ciascun lotto di spedizione e devono riguardare tutti i tipi di prodotti oggetto di fornitura; - devono essere eseguiti su provini prelevati in cantiere.

Tutte le prove devono essere effettuate da un Laboratorio di cui all'art. 59 del DPR 380/2001, con comprovata esperienza e dotato di strumentazione adeguata all'esecuzione delle prove su materiali compositi, in tempo ritenuto utile dal Direttore dei Lavori ai fini dell'accertamento della qualità e della conformità alle specifiche di progetto dei prodotti oggetto di fornitura e comunque non oltre 30 giorni dalla consegna del lotto di spedizione di cui fanno parte i suddetti prodotti.

La richiesta di prove al Laboratorio deve essere sottoscritta dal Direttore dei Lavori e deve contenere almeno:

- Indicazione univoca del nome commerciale del prodotto;
- indicazione del cantiere e luogo di installazione del prodotto;
- lotto del materiale fornito e la data della posa in opera;
- indicazione del CVT di riferimento.

Bibliografia

- *Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 17 gennaio 2018);*
- *Circolare del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici n. 7 del 21 Gennaio 2019 contenente le "Istruzioni per l'applicazione dell'aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 17 gennaio 2018".*
- *Linee 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*
- *Linee Guida per l'identificazione, la qualificazione ed il controllo di compositi fibrorinforzati a matrice inorganica, denominati FRCM (Fiber Reinforced Cementitious Matrix)*
- *Linea Guida per la identificazione, la qualificazione e il controllo di accettazione dei sistemi a rete preformata in materiali compositi fibrorinforzati a matrice polimerica da utilizzarsi per il consolidamento strutturale di costruzioni esistenti con la tecnica dell'intonaco armato CRM (Composite Reinforced Mortar)*
- *Linea Guida per la identificazione, la qualificazione, la certificazione di valutazione tecnica ed il controllo di accettazione dei calcestruzzi fibrorinforzati FRC (Fiber Reinforced Concrete)*
- *Linee guida per l'identificazione, la qualificazione e l'accettazione di barre e staffe in composito fibrorinforzato per uso strutturale*

GRAZIE PER LA
VOSTRA ATTENZIONE!

