



Dati di input dei sistemi FRC di



*per il rinforzo di strutture in c.a. negli
applicativi AMV*



AMV S.r.l. Via San Lorenzo, 106 – 34077 Ronchi dei Legionari (GO) Italy

📞 +39 0481 779903 📩 segreteria@amv.it – www.amv.it

Laterlite S.p.A. Via Vittorio Veneto, 30 - 43046 Rubbiano di Solignano (PR) Italy

📞 sede di Milano: +39 02 48011962 📩 laterlite@laterlite.it

Premessa

Quando si intende intervenire in una struttura esistente in c.a. con incamiciature in FRC è necessario conoscere i parametri meccanici che caratterizzano questa tecnologia e ne governano le verifiche di dimensionamento secondo le indicazioni del CNR-DT 204. Il professionista deve sapere anche come procedere con l'input di questi dati nel software di calcolo, in modo tale da esplicare in modo corretto il dimensionamento.

Questo documento fornisce una guida utile a tal fine, per calcolare le incamiciature con FRC attraverso gli applicativi della collana AMV finalizzati al progetto di interventi su edifici esistenti.

Sistemi FRC di Ruregold per il rinforzo di strutture in calcestruzzo armato

Il calcestruzzo fibrorinforzato **FRC** (Fiber Reinforced Concrete) è un **materiale composito caratterizzato da una matrice cementizia (calcestruzzo o malta) e da fibre discrete corte in acciaio o sintetiche**, il cui impiego ha avuto successo in numerose applicazioni di carattere strutturale grazie alle innumerevoli proprietà conferite all'impasto cementizio dall'aggiunta di fibre.

A queste potranno poi aggiungersi, a seconda dell'elemento strutturale oggetto di intervento, armature ordinarie o da precompressione.

L'aggiunta di fibre disperse in una matrice di tipo cementizio ne modifica le proprietà meccaniche e l'obiettivo delle fibre è quello di contrastare l'apertura progressiva delle fessure conferendo al calcestruzzo, dopo la fessurazione, una significativa resistenza residua a trazione (tenacità del calcestruzzo FRC).

I calcestruzzi fibrorinforzati **FRC** trovano largo impiego nel campo dell'ingegneria civile, anche nell'ambito del rinforzo di strutture esistenti, quali:

- Incamiciatura a basso spessore (20-50 mm), anche senza armatura tradizionale di rinforzo, di elementi in c.a. quali travi, pilastri, nodi e in strutture di fondazione;
- Cappe collaboranti a basso spessore (20-50 mm) per il rinforzo strutturale di solai in laterocemento, legno, putrelle, laterizi, lamiere grecate;
- Ripristino di impalcati di strutture da ponte;
- Rifacimento di calotte di galleria;
- Ripristino di pavimentazioni speciali (piste aeroportuali, etc...).

I calcestruzzi FRC sono presenti all'interno delle **Norme Tecniche per le Costruzioni** (NTC 2018 §11.2.12) e rispettiva Circolare, nelle quali si definisce



Figura 1 - Ringrosso (jacketing) di pilastro mediante **MICRO GOLD STEEL**.

FRC ad uso strutturale quel composito che presenta al suo interno un dosaggio minimo delle fibre "non inferiore allo 0,3 % in volume". In aggiunta si segnalano:

- **Linee Guida del C.S.LL.PP.** per l'identificazione, la **qualificazione**, la certificazione di valutazione tecnica ed il controllo di accettazione dei calcestruzzi fibrorinforzati FRC;
- **CNR-DT 204/2006** "Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo di Strutture di Calcestruzzo Fibrorinforzato";
- **Linee guida del C.S.LL.PP. per la progettazione**, messa in opera, controllo e collaudo di elementi strutturali in calcestruzzo fibrorinforzato con fibre di acciaio o polimeriche.

I materiali compositi **FRC**, in accordo alle Linee Guida di Qualificazione sopra indicate e a quanto richiesto dal Capitolo 11 delle NTC2018, devono seguire l'intero iter di qualificazione previsto ed essere dotati di **Certificato di Valutazione Tecnica (C.V.T.)** di cui **MICRO GOLD STEEL** di Ruregold (Laterlite S.p.A.) è in possesso (**n. 205 del 07/10/2021**).

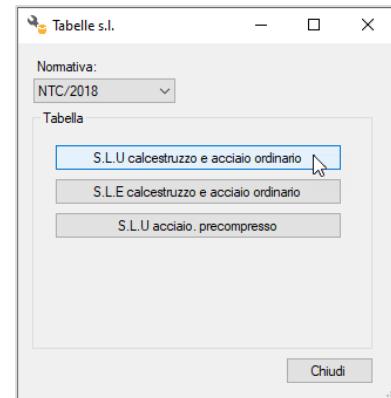
La seguente tabella riporta le caratteristiche di **MICRO GOLD STEEL**:

CARATTERISTICHE PRESTAZIONALI	METODO DI PROVA E NORMATIVA DI RIFERIMENTO	PRESTAZIONE PRODOTTO
Contenuto delle fibre	-	$\geq 1\%$ in volume $\geq 3,5\%$ in peso
Classe di consistenza	EN 12350-1,2,3,5	SF3
Classe di resistenza a compressione	EN 12390-1,2,3	C 80/95
Modulo elastico	NTC 2018 § 11.2.10.3	42,42 GPa
Coefficiente di Poisson	NTC 2018 § 11.2.10.4	0–0,2
Coefficiente di dilatazione termica lineare	NTC 2018 § 11.2.10.5	$10 \cdot 10^{-6}$ °C ⁻¹
Classe di tenacità	EN 14651	7d
Resistenza al limite di proporzionalità (valore medio) $f_{ct,Lm}$	EN 14651	5,58 MPa
Resistenza al limite di proporzionalità (valore caratteristico) $f_{ct,Lk}$	EN 14651	3,87 MPa
$f_{R1k} / f_{ct,Lk}$	EN 14651	1,836
f_{R3k} / f_{R1k}	EN 14651	1,102
Resistenza a trazione (valore medio) f_{ctm}	NTC 2018 § 11.2.10.2	4,84 MPa
Resistenza a trazione (valore caratteristico) f_{ctk}	NTC 2018 § 11.2.10.2	3,39 MPa
Classe di esposizione	EN 206	X0 XC1, XC2, XC3, XC4 XD1, XD2, XD3 XS1, XS2, XS3 XF1, XF2, XF3, XF4
Resistenza a gelo e disgelo	EN 12390-9	20 cicli
Profondità di penetrazione dell'acqua in pressione	UNI EN 12390-8	0 mm
Resistenza residua a flessione (valori caratteristici)	EN 14651	$f_{R1k} = 7,11$ MPa (CMOD1) $f_{R2k} = 9,15$ MPa (CMOD2) $f_{R3k} = 7,83$ MPa (CMOD3) $f_{R4k} = 6,48$ MPa (CMOD4)

Il calcestruzzo fibro-rinforzato (FRC) in MasterSap e Verifiche Rinforzi

In MasterSap il sistema FRC è definito nella **Tabella Parametri S.L.**, dove vengono date in input sia le resistenze di calcolo dei calcestruzzi e del ferro per la verifica delle sezioni in c.a., sia i parametri che caratterizzano i sistemi FRC (a trazione).

Per definire un sistema FRC negli applicativi AMV, quindi, è necessario specializzare l'apposita scheda FRC nelle *Tabelle Parametri s.l. c.a.* Per ciascuna classe dei materiali qui definita, è possibile associare anche i parametri di resistenza a trazione che caratterizzano il sistema FRC curandone l'input. Illustriamo la procedura step by step.



Eseguendo il comando **Parametri s.l. c.a.** si apre la finestra in Figura 2: a questo punto si dovrà cliccare sulla prima voce "S.L.U. calcestruzzo e acciaio ordinario".

Qualora si volesse specializzare una particolare VERSIONE per inserire i materiali di un'azienda particolare – come in questo caso il MICRO GOLD STEEL di RUREGOLD – si definirà innanzitutto una **Nuova Versione**: questa fase richiede di inserire il nome della Versione, la Descrizione e la "chiave" di ricerca che, trattandosi in questo caso di materiale Nuovo, sarà del tipo Rck-fyk o fck-fyk (Figura 3).

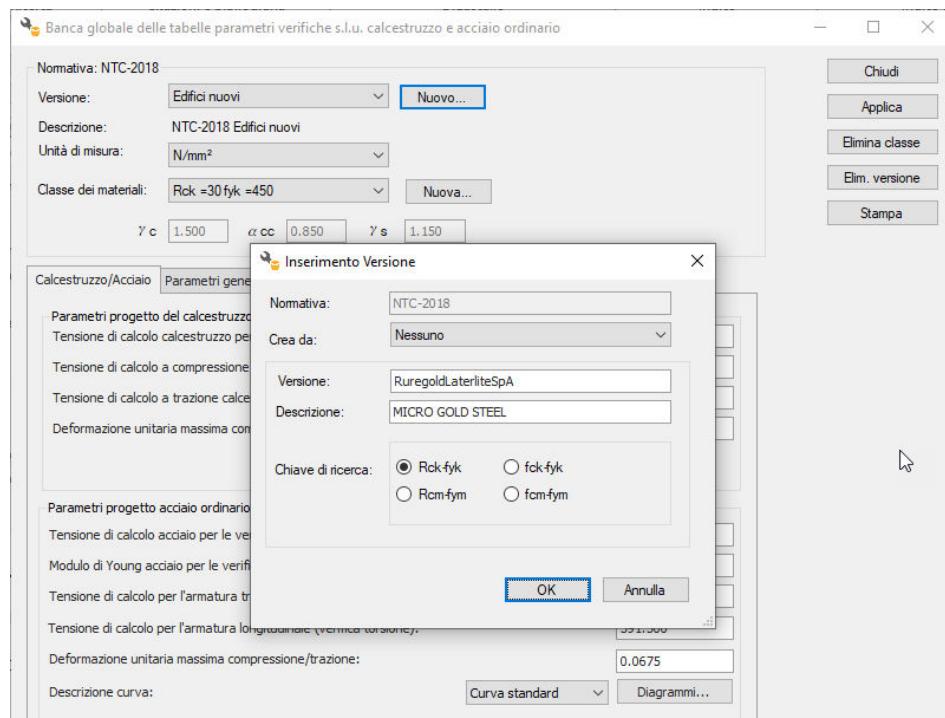


Figura 3 - Nuova versione "RuregoldLaterliteSpA" – Descrizione "MICRO GOLD STEEL"

Successivamente si andranno ad inserire le classi di materiali se più d'una, o più semplicemente la classe del materiale (se unico), per caratterizzare i sistemi FRC dell'azienda specifica.

Si procederà creando una **Nuova Classe dei materiali** (Figura 4): questa fase richiede di inserire i valori di resistenza a compressione del calcestruzzo e i valori di resistenza dell'acciaio (di un'eventuale armatura tradizionale), insieme ai relativi coefficienti di sicurezza dei materiali (Figura 5).

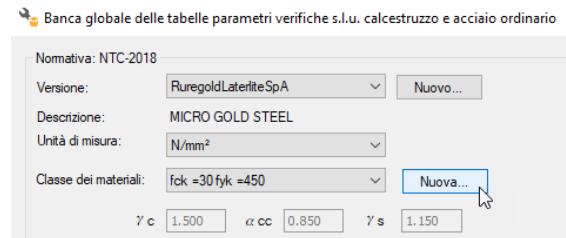


Figura 4 - Inserimento nuova Classe materiale

In questo caso il sistema a partire dalla definizione di

- calcestruzzo C80/95: $f_{ck}=80 \text{ N/mm}^2$; $\gamma_c=1,50$; $\alpha_{cc}=0,85$
- acciaio B450C: $f_{yk}=450 \text{ N/mm}^2$; $\gamma_s=1,15$.

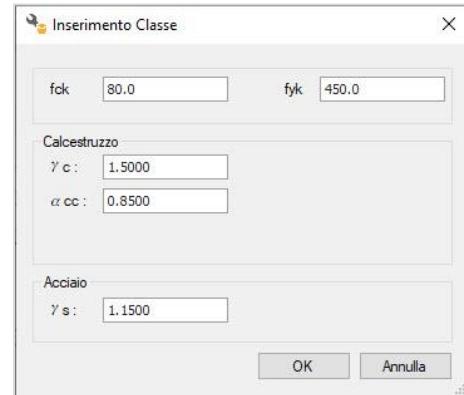


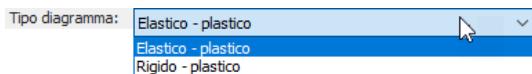
Figura 5 - Inserimento nuova Classe materiale calcestruzzo C80/95

Questi dati definiscono la resistenza lato compressione del sistema FRC. Da essi derivano i valori nella scheda "Calcestruzzo/Acciaio" qui in Figura 6.

Figura 6 - Caratteristiche di resistenza del cls C80/95

Per caratterizzare la resistenza a trazione del sistema FRC è necessario specificare i dati della scheda "FRC". Il primo aspetto da definire è la tipologia del legame costitutivo in **Tipo diagramma**.

- Elastico - plastico: i dati da inserire saranno: ε_{F5} , ε_{Fu} , f_{F5} , f_{Fu} .
- Rígido - plastico: i dati da inserire saranno: ε_{Fu} , f_{Fu} .



Il diagramma che definisce il legame costitutivo del sistema FRC MICRO GOLD STEEL di Ruregold (Laterlite S.p.A.) è Rígido - plastico ed è caratterizzato da questi dati:

$$\varepsilon_{Fu} = 0,02$$

$$f_{Fu} = f_{R3k}/3 = 2.6 \text{ N/mm}^2$$

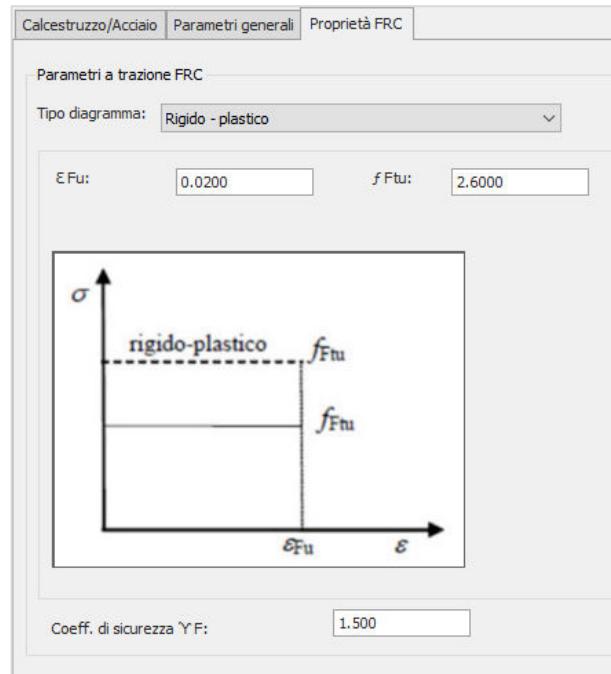


Figura 7 - Scheda Parametri a trazione FRC: **Tipo diagramma Rígido - plastico**

Il coefficiente di sicurezza assume il valore $\gamma_F=1,5$, secondo le indicazioni del CNR-DT 204 (Tabella 3-1) e parimenti delle LG C.S.LL.PP. (Tabella 3) sotto riportate.

Tabella 3-1 – Coefficienti parziali.

Materiale	Applicazioni di tipo A ⁽¹⁾	Applicazioni di tipo B ⁽²⁾
Calcestruzzo fibrorinforzato in compressione	come prescritto dalla Normativa vigente (in assenza di fibre)	come prescritto dalla Normativa vigente (in assenza di fibre)
Calcestruzzo fibrorinforzato in trazione non fessurato	come prescritto dalla Normativa vigente (in assenza di fibre)	come prescritto dalla Normativa vigente (in assenza di fibre)
Calcestruzzo fibrorinforzato in trazione fessurato (resistenze residue)	$\gamma_F = 1.5$	$\gamma_F = 1.3$
Acciaio	come prescritto dalla Normativa vigente	come prescritto dalla Normativa vigente

(1) Controllo di qualità ordinario sul materiale; resistenze ottenute con prove standard nominali (Appendice B).

(2) Elevato controllo di qualità sul materiale e su elementi strutturali; resistenze ottenute con prove strutturali specifiche (Appendice B).

Figura 8 - Tabella dal CNR-DT 204

I coefficienti parziali di sicurezza sono riportati in Tabella 3.

Tabella 3: Coefficienti di sicurezza parziali per la verifica di elementi in FRC agli Stati Limite.

Materiale	Coefficienti parziali di sicurezza
<i>FRC</i> in compressione	$\gamma_{cf} = 1,5$
<i>FRC</i> in trazione	$\gamma_{cf} = 1,5$
<i>FRC</i> per situazioni di esercizio ed eccezionali (trazione e compressione; vedi § 2.5.3 delle NCT 2018)	$\gamma_{cf} = 1,0$

Figura 9 - Tabella dalle Linee Guida C.S.LL.PP.

Verifiche Rinforzi

SOFTWARE PER LA VERIFICA DEI RINFORZI DI STRUTTURE ESISTENTI

Verifiche Rinforzi e *Muratura Armata* è l'applicazione software di AMV con cui si dimensionano vari sistemi di rinforzo su edifici esistenti in c.a. e in muratura.

Può essere utilizzato sia in modalità autonoma, sia in modalità interattiva in MasterSap.

Nella modalità interattiva si opera direttamente sugli elementi strutturali entro il modello di calcolo in MasterSap dagli ambienti di verifica dedicati (MasterEsist per gli edifici esistenti in c.a., MasterMuri nel caso di edifici esistenti in muratura).

In questo caso, quindi, essendo il sistema FRC idoneo al rinforzo di elementi strutturali in c.a., saremo in MasterEsist e attiveremo l'ambiente rinforzi che permette l'accesso alla procedura interattiva di Verifiche Rinforzi.

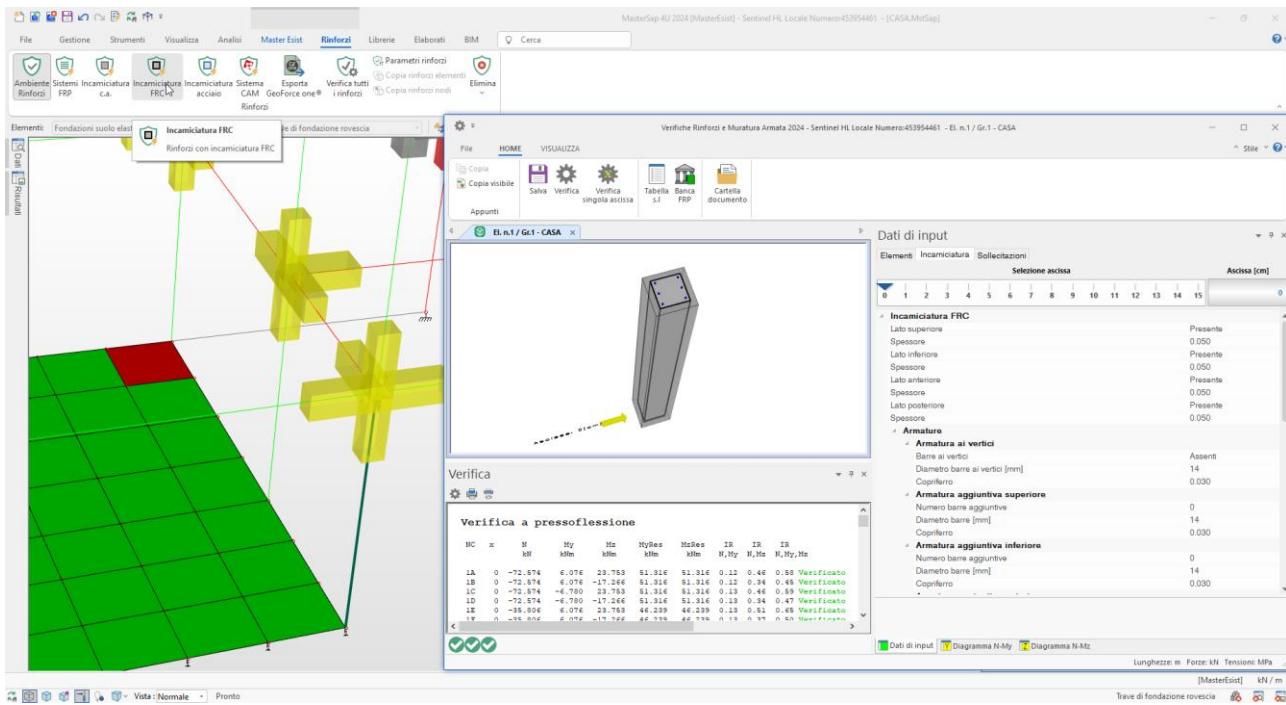


VERIFICHE RINFORZI IN MASTERESIST: AMBIENTE RINFORZI

La modalità interattiva permette al progettista di dimensionare il rinforzo beneficiando dell'oneroso e delicato **passaggio dei dati degli elementi esistenti** (travi, pilastri e nodi non confinati) su cui si interviene: **dati geometrici, parametri meccanici e di resistenza dei materiali, delle sollecitazioni di verifica su ogni sezione e per ciascuna combinazione di carico da doversi analizzare**.

Questa modalità operativa di Verifiche Rinforzi entro il modello strutturale garantisce anche il passaggio dati "all'indietro": **Verifiche Rinforzi fornisce a MasterSap informazioni degli esiti delle verifiche degli elementi rinforzati** (gli elementi verificati grazie al rinforzo saranno graficamente visibili) e i "nuovi" dati geometrici e di rigidezza delle sezioni in cui è stato **introdotto un ringrosso della sezione**, ad esempio con sistema FRC.

Avremo quindi sia una visione globale del beneficio ottenuto, sia la possibilità di eseguire un'analisi FEM che considera le "nuove" sezioni e rigidezze introdotte con l'incamiciatura degli elementi.



In Verifiche Rinforzi, per il dimensionamento delle incamiciature con sistemi FRC, si adottano le indicazioni e i principi di verifica del **CNR-DT 204** in cui vengono definiti e illustrati anche i parametri meccanici e geometrici finalizzati alla descrizione del sistema FRC come rinforzo di un elemento strutturale in c.a.

VERSIONE GRATUITA DELLA SUITE AMV

AMV offre una Suite di software per l'ingegneria che consente di modellare, calcolare, dimensionare, disegnare strutture nuove o esistenti.

Il software è disponibile nella versione gratuita. Utile per esplorare le potenzialità del programma in autonomia dalla modellazione alle verifiche e disegno, nonostante presenti alcune restrizioni, ciò non impedisce un'approfondita disamina anche grazie ad alcuni esempi forniti già calcolati.

Per **SCARICARE GRATIS** la versione **MasterSap 4U Freeware** accedere al seguente link relativo alla pagina web dedicata <https://amv.it/demo-freeware/richiesta-demo-freeware/>

MasterSap Freeware è allineato con la versione in distribuzione, di cui segue gli aggiornamenti periodici con novità di prodotto e miglioramenti. Quindi sempre aggiornata in particolare alle Norme Tecniche vigenti e relativa Circolare.

La **versione freeware di MasterSap 4U include** anche la procedura **Verifiche Rinforzi** integrata in MasterSap negli ambienti di verifica degli edifici esistenti in Muratura o in C.A., questo permette il dimensionamento degli interventi di rinforzo sugli elementi strutturali come i maschi murari, le travi, i pilastri e i nodi in c.a.



The screenshot shows a dark-themed website section. In the top left corner is the AMV logo with the text "AMV SOFTWARE COMPANY". The main text area contains the following text:
Per strutture nuove ed esistenti
MasterSap 4U Freeware è gratis
Below this is a blue button with the text "Scarica >". To the right of the text area is a large image of a blue and white software box for "MASTERSAP 4U SOFTWARE PER I RINFORZI FRC". The box features the "4U" logo and a list of features: "ESI CENTER", "INTELLIGE", "INTELLIGE", "INTELLIGE", "INTELLIGE", and "INTELLIGE". The AMV logo is also present at the bottom of the box.

AMV fornisce **supporto gratuito**, per approfondire aspetti di carattere sia tecnico che commerciale, ai professionisti che stanno valutando MasterSap 4U attraverso la versione Freeware.

Telefono +39 0481 779903

E-mail freeware@amv.it



Laterlite

Laterlite S.p.A. si configura come semplice partner di AMV per la fornitura dei soli parametri di calcolo dei propri sistemi FRC.



MARZO 2024