



**Rinforzi strutturali
tecnologia FRC**

**Microcalcestruzzi
fibrorinforzati**



RUREGOLD

INNOVATION & SAFETY FOR BUILDING

I CALCESTRUZZI FRC

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

Negli ultimi anni l'impiego di calcestruzzi fibrorinforzati ha riscosso notevole interesse per le caratteristiche prestazionali che questi possono manifestare in regime di **post-fessurazione**.

L'aggiunta delle fibre conferisce infatti al calcestruzzo, dopo la fessurazione, una **significativa resistenza residua a trazione** (di seguito denominata tenacità del calcestruzzo).

Lo sforzo residuo di trazione può quindi aumentare la **capacità portante complessiva della struttura e migliorare la duttilità**.

Il calcestruzzo fibrorinforzato è quindi diffusamente impiegato in tutte quelle applicazioni per le quali la presenza di un rinforzo continuo, costituito da armature tradizionali, non è essenziale per la sicurezza e l'integrità della struttura ma anche in realizzazioni nelle quali le fibre sono state utilizzate come unico elemento di rinforzo in strutture sottoposte a carichi flessionali, come nel caso del parcheggio dell'aeroporto di Heathrow a Londra, realizzato con piastre quadrate e appoggiate su quattro lati, o nelle platee di fondazione di Postdamer Platz a Berlino.



Aeroporto di Heathrow, Londra

Alcuni esempi applicativi degli FRC di particolare rilievo e interesse sono rappresentati da:

- pannelli portanti di facciata;
- piastre di pavimentazione;
- conci prefabbricati e rivestimenti finali di tunnel;
- travi;
- giunti o nodi strutturali;
- elementi di copertura;
- strutture destinate ad assorbire urti e/o per resistere alla fatica come collettori o tubazioni per elevate pressioni, traversine ferroviarie, pali ad alta resistenza, ecc.;
- travi precomprese prefabbricate.

Il notevole interesse per il rinforzo del calcestruzzo mediante fibre risulta giustificato non solo dalle reali e potenziali applicazioni sopra descritte, ma anche in considerazione della sinergia derivante dall'impiego congiunto di fibre e calcestruzzo ad alta resistenza (HPC).

Infatti l'introduzione nell'impasto cementizio di fibre corte può incrementare la tenacità dei calcestruzzi ad alte prestazioni che, normalmente, in assenza di fibre risultano particolarmente fragili.

I **calcestruzzi fibrorinforzati (FRC) trovano largo impiego nel campo dell'ingegneria civile, anche nell'ambito del rinforzo strutturale di strutture esistenti**.

Ne sono un esempio:

- il rinforzo estradossale di solette in calcestruzzo armato e di solai esistenti;
- il rinforzo a pressoflessione e a taglio di pilastri (jacketing);
- il ringrosso delle travi esistenti in calcestruzzo armato dove la nuova camicia in calcestruzzo fibrorinforzato, realizzata in basso spessore, ne permette l'aumento di resistenza e duttilità senza incrementi significativi di carico e variazioni importanti della geometria iniziale;
- nodi travi-pilasto.



Postdamer Platz, Berlino

CARATTERISTICHE DEL COMPOSITO

A LE FIBRE

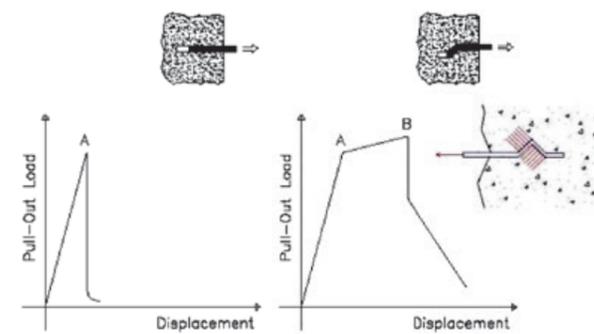
Le fibre utilizzate nella realizzazione di un calcestruzzo fibrorinforzato sono delle **fibre discontinue** caratterizzate oltre che dal tipo di materiale, da parametri geometrici quali:

- la lunghezza;
- il rapporto d'aspetto;
- la forma;
- il diametro equivalente.

La **lunghezza della fibra l_f** è la distanza tra due estremità della fibra e deve essere misurata in accordo alle norme di riferimento specifiche. Il diametro equivalente d_f è invece il diametro di un cerchio di area uguale all'area media della sezione trasversale della fibra.

Il rapporto tra la **lunghezza della fibra e il diametro equivalente definisce il rapporto d'aspetto**, altro parametro importante nella definizione delle fibre ad uso strutturale. Particolarmente importante risulta anche la forma delle fibre che possono essere **rettilinee o sagomate**.

L'uncinatura in corrispondenza delle estremità migliora la dissipazione dell'energia in fase di sfilamento della fibra.



Una **fibra uncinata** infatti, opponendo maggior resistenza allo sfilamento della stessa in fase di apertura della fessura, permette di raggiungere tipicamente dei valori di picco della **resistenza residua a trazione più elevati** rispetto ad una fibra rettilinea.

Dipendenti dal tipo di materiale di cui è costituita la fibra sono invece i valori di **resistenza a trazione della fibra e modulo di elasticità**.

La **resistenza a trazione della fibra** è la tensione corrispondente alla massima forza di trazione sopportata dalla fibra e deve essere valutata come rapporto tra la suddetta forza e l'area equivalente della sezione trasversale.

I **principali materiali utilizzati per realizzare le fibre sono:**

- Acciaio.
- Polimeriche.
- Vetro.
- Carbonio.

Tuttavia possono essere utilizzate anche fibre in materiali naturali purché dotate di relativa marcatura CE secondo la relativa norma armonizzata di prodotto.

Le **fibre in acciaio e polimeriche** dovranno essere marcate CE rispettivamente secondo EN 14889-1 ed EN 14889-2.

Le **fibre di acciaio** costituiscono un elemento resistente ad elevato modulo elastico, diffuso capillarmente ed omogeneamente nel calcestruzzo. In particolare, quelle sagomate ed uncinata garantiscono una buona aderenza alla matrice rispetto alle fibre rettilinee.

Un buon comportamento nei confronti del ritiro in fase plastica del calcestruzzo è invece garantito dalle **microfibre polimeriche** (polipropilene), in grado di diminuire l'ampiezza delle fessure da ritiro.

In generale **le fibre sono in grado di migliorare il comportamento a trazione della matrice in fase fessurata riducendone la fragilità, senza però influenzare sensibilmente il comportamento a compressione**. Per questa ragione una prima classificazione dei calcestruzzi fibrorinforzati si **basa sulle classi di resistenza a compressione del calcestruzzo**, le medesime previste nel caso di un calcestruzzo privo di fibre.

Anche per quanto riguarda le **classi di esposizione** si considereranno le stesse previste dalla UNI EN 206 per i calcestruzzi tradizionali, anche se è ragionevole pensare di adottare valori ridotti del copriferro per la proprietà delle fibre di ridurre l'ampiezza delle fessure. Tale riduzione non è ancora stata codificata nelle norme e nei codici di calcolo in quanto oggetto di ulteriori approfondimenti ed indagini.

B LA MATRICE

La **matrice cementizia** di un FRC è caratterizzata da un calcestruzzo o da una malta.

La granulometria della matrice dovrà essere progettata prestando particolare attenzione alla **frazione fine dell'aggregato** per garantire un buon accoppiamento con le fibre e una buona lavorabilità dell'impasto.

Le caratteristiche fisiche e meccaniche della matrice dovranno rispondere alle specifiche norme di riferimento valide per il calcestruzzo senza fibre.



Per approfondimenti scansiona il QR code



CLASSIFICAZIONE DEGLI FRC

I calcestruzzi fibrorinforzati vengono raggruppati nelle stesse classi di resistenza a compressione dei calcestruzzi tradizionali. Il calcestruzzo strutturale può essere schematicamente classificato come:

- **Normali prestazioni**, sino a resistenze non superiori a C45/55.
- **Ad alte prestazioni**, con prestazioni sino a C70/85.
- **Ad alta resistenza**, con prestazioni superiori a C70/85 sino a C90/105.
- Per **classi di resistenza superiori a C90/105**, le prestazioni (UHPC) non sono ancora state prese in considerazione dal contesto normativo attuale.

CLASSE	NTC 2018
C30/40	Calcestruzzi di normali prestazioni (NR) Sono utilizzabili senza specifiche particolari.
C40/50	
C45/55	
C50/60	Calcestruzzi di alte prestazioni (AP) La sperimentazione di tutte le grandezze fisico-meccaniche deve essere fatta prima dell'inizio dei lavori. È necessario il controllo di qualità in produzione.
C55/67	
C60/75	
C70/85	
C80/95	Calcestruzzi di alta resistenza (AR) Necessario ETA O CVT.
C90/105	
C100/115	

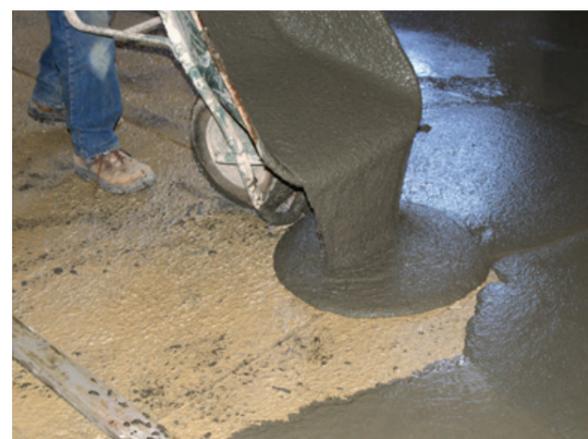
Se alle prestazioni della matrice cementizia viene associata la **fibra in quantità $\geq 0,3\%$ in volume**, il calcestruzzo può essere così classificato:

- **FRC** (Fiber Reinforced Concrete).
- **HPFRC** (High Performance Fiber Reinforced Concrete).
- **UHPFRC** (Ultra High - Performance Fiber Reinforced Concrete).

All'interno di questa classificazione si inserisce il prodotto **Micro Gold Steel di Ruregold**, classificato come **HPFRC: alta prestazione e fibrorinforzato**.

Il comportamento post-picco è strettamente legato al tipo di fibre e, soprattutto, alla percentuale contenuta.

La proprietà meccanica maggiormente influenzata dalla presenza delle fibre è la resistenza residua a trazione in fase post-fessurativa.



Posa in opera di **Micro Gold Steel** e livellamento nello spessore di progetto.

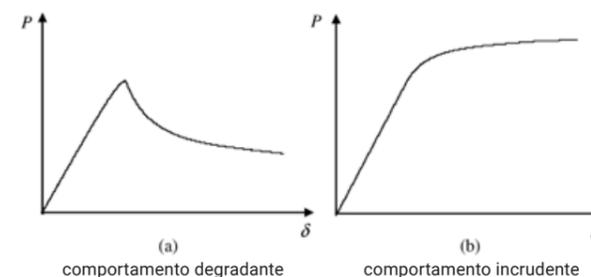
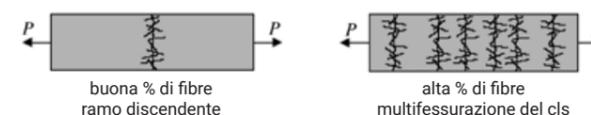
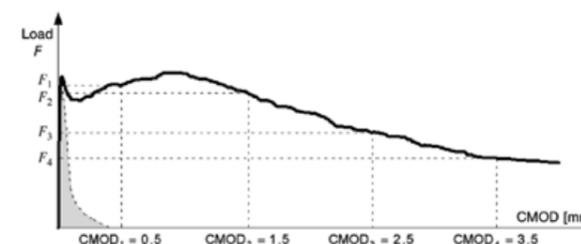


CARATTERISTICHE TECNICHE

Legame costitutivo a trazione

In funzione della **tipologia, quantità di fibre e delle proprietà della matrice** il legame carico - spostamento a trazione di un FRC, valutato mediante una prova di trazione indiretta ovvero una prova di flessione su provino pre-intagliato o mediante una prova di trazione diretta, può presentare un:

- **ramo discendente**, comunque caratterizzato da una resistenza residua e quindi da una maggiore tenacità rispetto al calcestruzzo privo di fibre;
- **ramo incrudente**, grazie alla comparsa di una multi-fessurazione.



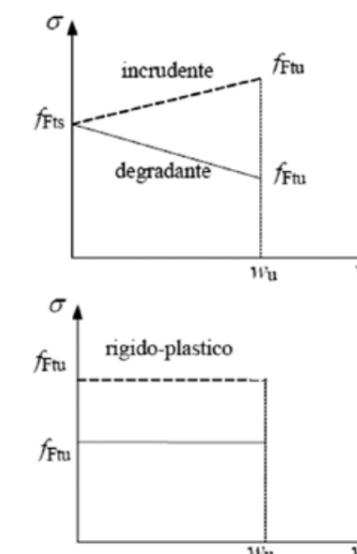
Si parlerà quindi, a seconda del caso, di calcestruzzo fibrorinforzato a **comportamento degradante** o di calcestruzzo fibrorinforzato a **comportamento incrudente**.

La curva del legame costitutivo a trazione del calcestruzzo viene determinata mediante opportune prove su campioni di calcestruzzo fibrorinforzato.

Il legame tensione nominale-apertura di fessura σ_{N-w} può essere determinato mediante prove di trazione uniaassiale o di flessione su provino preintagliato.

Per mezzo di una prova di flessione su provino pre-intagliato è possibile determinare la resistenza post-fessurazione sulla base di valori puntuali f_i , corrispondenti ad assegnati valori nominali di apertura della fessura. L'**apertura della fessura** è assunta convenzionalmente pari allo spostamento tra due punti posti all'apice dell'intaglio, **CMOD** (Crack mouth opening displacement).

Sulla base dei dati dedotti dalla prova di flessione si possono definire due legami semplificati tensione-apertura della fessura, con comportamento post-fessurativo rigido-plastico o lineare (incrudente o degradante).



Come mostrato in figura, vengono definiti due valori di tensione f_{Fts} e f_{Ftu} :

- f_{Fts} rappresenta la resistenza residua di esercizio, definita come la resistenza post-fessurazione valutata in corrispondenza di aperture di fessure compatibili con l'esercizio;
- f_{Ftu} rappresenta la resistenza ultima residua.

Per materiali con **comportamento degradante** il valore ultimo dell'apertura della fessura w_u non può superare il valore massimo di 3 mm, nel caso di elementi inflessi, e di 1.5 mm nel caso di elementi tesi.

Per materiali con **comportamento incrudente** nei quali tipicamente si manifesta una multi-fessurazione **non è necessario determinare l'apertura delle fessure** in quanto è possibile determinare direttamente il legame tensioni-deformazioni.



Caratteristiche tecniche

Il legame costitutivo in termini di tensione-deformazione-caratteristiche

I legami finora introdotti sono espressi in termini di tensione-apertura della fessura, risultando quindi necessario **definire il legame tensione-deformazione**.

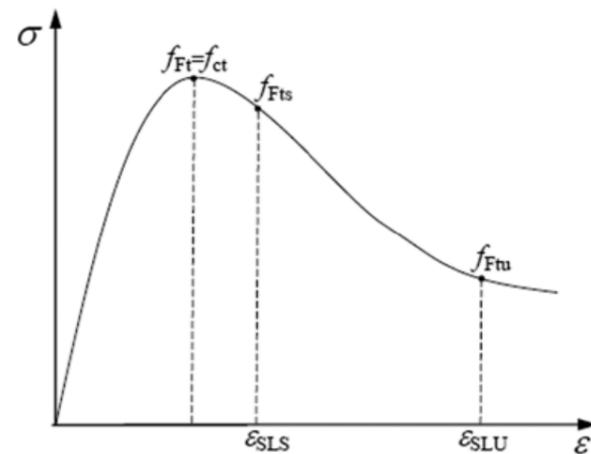
Per **materiali con comportamento degradante** la definizione del legame tensione-deformazione si basa sulla identificazione dell'**ampiezza di apertura della fessura w** con la **variazione di lunghezza di una opportuna base l_{cs}** , caratteristica dell'elemento strutturale.

$$\varepsilon = w/l_{cs}$$

L'espressione che determina la lunghezza caratteristica l_{cs} è reperibile in letteratura (CNR DT204) ed è scritta in funzione del valor medio della distanza tra le fessure e la posizione dell'asse neutro.

Nel caso di **materiale con comportamento incrudente** la fessurazione si manifesta in modo diffuso e pertanto può essere adottata una deformazione media, valutabile direttamente dalle prove sperimentali. Il valore della deformazione ultima si assume pari all'1%.

Il **comportamento a trazione** in termini di tensioni e deformazioni può essere quindi schematizzato come di seguito:



Come per i legami tensione-apertura delle fessure, è possibile far riferimento a legami semplificati anche per il **legame tensione-deformazione di tipo**:

- Elastico-lineare.
- Rigido plastico.

Tali legami riguardano solo le resistenze residue post-fessurative. In particolare, il legame rigido-plastico è basato sulla valutazione della resistenza residua ultima f_{Ftu} , mentre il legame lineare è basato sulla determinazione sia della resistenza residua di esercizio f_{Fts} che di quella ultima f_{Ftu} .

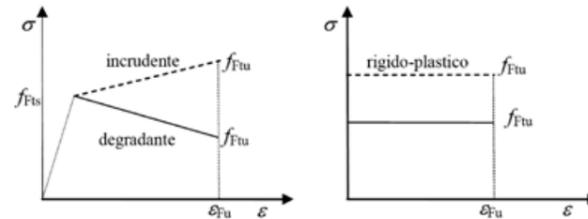


Figura 2-6 DT204.

Il modello elastico lineare individua quindi due valori di riferimento, f_{Fts} e f_{Ftu} sulla base del comportamento agli SLE ed allo SLU.

Adottando un legame lineare, i valori di f_{Ftu} e f_{Fts} possono essere definiti sulla base dei valori delle resistenze a flessione residue tramite le seguenti relazioni:

$$f_{Fts} = 0,45f_{R1}$$

$$f_{Ftu} = f_{Fts} - \frac{w_u}{CMOD_3} (f_{Fts} - 0,5f_{R3} + 0,2f_{R1}) \geq 0$$

dove w_u è la massima apertura di fessura che può essere accettata, dipendente dalla richiesta di duttilità della struttura. Tali relazioni sono ricavabili da semplici considerazioni di equilibrio applicate alla sezione rettangolare inflessa, che corrisponde alla sezione critica del provino sperimentato. L'equazione per f_{Ftu} e $w_u \neq CMOD_3$ è ottenuta considerando una legge costitutiva lineare tra due punti di ascissa $CMOD_1$ e $CMOD_3$ fino al punto di ascissa w_u .

La tensione corrispondente al punto di ascissa $CMOD_1$, f_{Fts} è determinata dall'equilibrio sezionele, sotto l'ipotesi di distribuzione lineare delle tensioni di compressione e di comportamento elasto-plastico a trazione fino ad uno spostamento di apertura di fessura corrispondente allo stato limite di esercizio ($CMOD_1$):

$$M(CMOD_1) = \frac{f_{R1}bh_{sp}^2}{6}$$

Il modello rigido-plastico individua invece un unico valore di riferimento f_{Ftu} sulla base del comportamento ultimo.

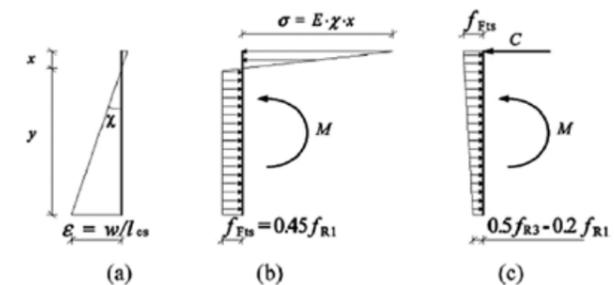
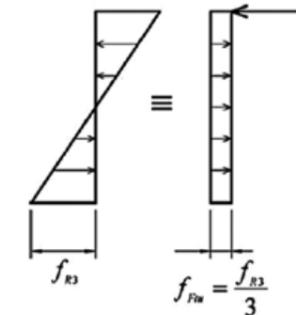
$$f_{Ftu} = \frac{f_{R3}}{3}$$

L'equazione sopra scritta si ricava sempre con riferimento allo SLU imponendo l'equilibrio alla rotazione, come nel caso precedente, assumendo che la risultante delle compressioni C sia applicata alla fibra all'estradosso e tenendo conto di un diagramma di sforzi di trazione costante lungo la sezione (stress-block).

Nel caso di verifiche di elementi allo SLU, adottando un legame di tipo rigido-plastico, il valore di resistenza ultima da adottare sarà pari al valore di tensione corrispondente ad un'apertura di fessura di 2,5 mm (f_{R3}), diviso tre.

Il valore di tensione f_{Ftu} , relativo all'apertura di fessura $w_u = CMOD_3$, è ricavato sulla base dell'equilibrio alla rotazione sezionele assumendo che la risultante delle compressioni C sia applicata alla fibra di estradosso e che il comportamento a trazione sia di tipo rigido-elastico lungo la sezione.

$$M_u = \frac{f_{R3}bh_{sp}^2}{6} = \frac{f_{Ftu}bh_{sp}^2}{2}$$



I compositi fibrorinforzati ad alte prestazioni sono determinanti nell'ambito del rinforzo di strutture esistenti.

Ad esempio nel caso del rinforzo di telai in cemento armato, dove le sollecitazioni in gioco sono tipicamente di notevole entità anche e soprattutto a causa dell'azione sismica, si ricorre sovente all'utilizzo di calcestruzzi fibrorinforzati per l'incamiciatura di travi e pilastri o per il rinforzo estradosso di solai in laterocemento a basso spessore.



Rinforzo di solaio a basso spessore con **Micro Gold Steel**.



Preparazione del substrato: asportazione dell'eventuale strato ammalorato per incamiciatura del pilastro con **Micro Gold Steel**.

Caratteristiche tecniche

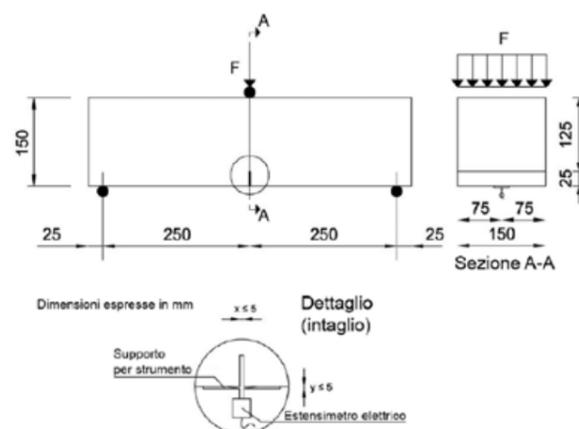
Determinazione della resistenza residua a trazione

Le **prestazioni richieste per un calcestruzzo FRC** sono le seguenti:

- Resistenza a compressione.
- Consistenza.
- Esposizione.
- Limite di proporzionalità.
- Tenacità.

In particolare la resistenza a compressione, consistenza ed esposizione sono parametri dipendenti dalle caratteristiche della matrice come anche la reologia per essa impiegata, il modulo elastico e il modulo di Poisson sono gli stessi determinati per la matrice senza fibre.

Il limite di proporzionalità e la classe di tenacità vengono invece determinati sulla base di test a flessione su un provino di dimensioni (b x h) 150 x 150 mm in sezione, lunghezza 500 – 700 mm, intagliato centralmente e semplicemente appoggiato alle estremità con un carico centrale - secondo la EN 14651.



La prova prevede la misura sperimentale del carico applicato e dell'apertura di fessura alla bocca dell'intaglio (CMOD – crack mouth opening displacement).

Con riferimento alla singola prova vengono determinati:

- **Limite di proporzionalità**, definito convenzionalmente:

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

con F_L applicato in corrispondenza del limite elastico.

- **Classe di tenacità**, rapporto tra la resistenza residua a trazione per flessione quando si ha un'apertura della fessura CMOD a 2,5 mm (f_{R3k}) e 0,5 mm (f_{R1k}).

Il calcestruzzo fibrorinforzato può essere impiegato per usi in elementi strutturali se vengono rispettati i seguenti rapporti:

$$f_{R,1k} / f_{ct,Lk}^f > 0,4$$

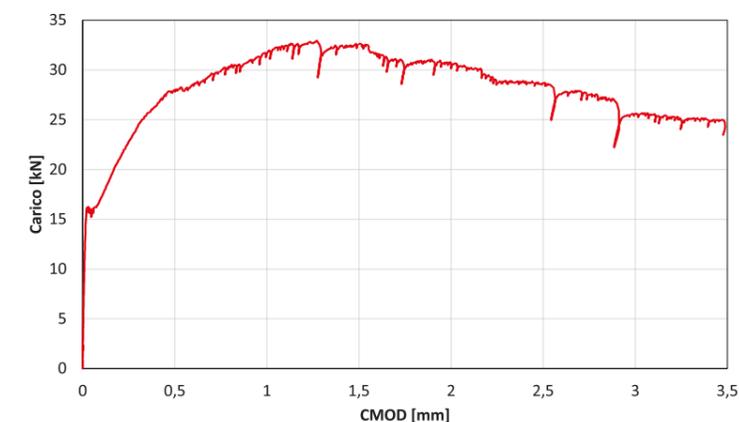
$$f_{R,3k} / f_{R,1k} > 0,5$$



Ripristino estradossale della soletta in c.a. con microcalcestruzzo fibrorinforzato **Micro Gold Steel**.

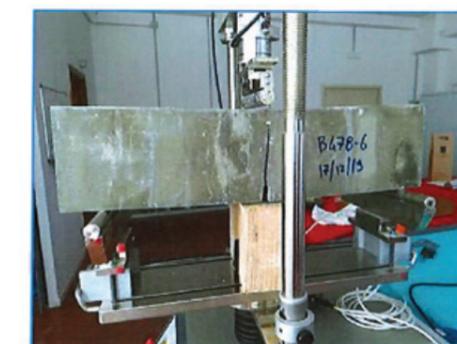
Il comportamento post-fessurativo di un FRC e la classe di tenacità vengono definiti in base alla resistenza nominale per f_{R1k} e al rapporto f_{R3k}/f_{R1k}

Per classificare il comportamento post – fessurativo di un FRC è necessario definire la resistenza a trazione residua con 0,5 mm di apertura della fessura (f_{R1}) nella prova secondo EN 14651 e il rapporto tra la resistenza a trazione residua a 2,5 mm e 0,5 mm rispettivamente (f_{R3}/f_{R1}): a seguire si individuano le varie classi di tenacità del calcestruzzo fibrorinforzato. Di seguito un esempio di **curva di resistenza a trazione residua** ottenuta per il Micro Gold Steel durante l'iter di qualificazione ministeriale.



CMOD	MICRO GOLD STEEL - f_{Rj}^*
0,5 mm	9,39 MPa
1,5 mm	10,83 MPa
2,5 mm	9,68 MPa
3,5 mm	8,41 MPa

* sono stati riportati i valori medi delle resistenze a trazione residue dalle prove secondo EN 14651



RIFERIMENTI NORMATIVI

I riferimenti dei calcestruzzi FRC sono presenti all'interno delle Norme Tecniche delle Costruzioni (NTC 2018 - §11.2.12) e rispettiva circolare delle NTC 2018 emanate nel 2019 §C11.2.12, nelle quali si definisce FRC ad uso strutturale quel composito che presenta al suo interno un dosaggio minimo delle fibre "non inferiore allo 0.3 % in volume". Inoltre, gli altri testi di riferimento sono i seguenti:

- Le Linee Guida per l'identificazione, la qualificazione, la certificazione di valutazione tecnica ed il controllo di accettazione dei calcestruzzi fibrorinforzati FRC (Fiber Reinforced Concrete).
- CNR – DT 204/2006: Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo di Strutture di Calcestruzzo Fibrorinforzato. Sulla base di questo documento tecnico, sono in fase di approvazione le Linee Guida di Progettazione, esecuzione, collaudo e manutenzione di interventi di consolidamento statico mediante l'utilizzo di fibrorinforzati FRC da parte del Consiglio Superiore dei Pubblici.

Gli altri documenti normativi di cui si avvalgono le Linee Guida di Progettazione sono i seguenti:

- Il nuovo codice modello FIB Model Code 2010, pubblicato nel 2012.
- La norma DIN per il calcestruzzo con fibre di acciaio.
- L'annesso all'Eurocodice 2 dedicata al calcestruzzo fibrorinforzato.

Questi materiali compositi, secondo le Linee Guida di Qualificazione sopra indicate, devono seguire l'intero iter di qualificazione previsto ed essere dotati di Certificato di Valutazione Tecnica (C.V.T.).



Caratteristiche tecniche

Le fibre

Le **fibre** svolgono un ruolo molto importante perché creano un ponte di collegamento che tende a **ricucire i lembi delle fessure (crack-bridging)**, con conseguente **miglioramento della durabilità del materiale** stesso riducendo il rischio di corrosione da parte degli agenti atmosferici e l'attacco da parte di agenti chimici.

Questo effetto di cucitura assicura al calcestruzzo un'elevata **resistenza residua a trazione** ad avvenuta microfessurazione della matrice cementizia. **La fibra è dunque in grado di conferire al calcestruzzo una resistenza a trazione residua anche nella fase post-fessurata permettendo quindi il trasferimento dello sforzo di trazione da un lembo all'altro della fessura (tension-softening).**

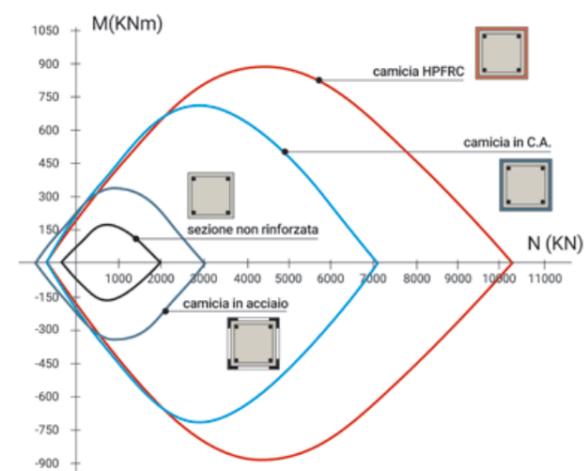
L'aggiunta di fibre all'interno della matrice **riduce la lavorabilità del calcestruzzo**, riduzione che può essere contrastata attraverso l'aggiunta di additivi all'interno dell'impasto stesso che possono aiutare proprio a migliorare la lavorabilità del calcestruzzo.

Di seguito i **principali vantaggi** legati a questa tipologia di intervento rispetto a soluzioni tradizionali:

- Comportamento del materiale inerte a trazione.
- Possibilità di realizzare camicie senza l'aggiunta di barre di armatura con conseguente risparmio delle lavorazioni da effettuare e di tempo di realizzazione della camicia.
- Riduzione degli spessori fino a 3-4 cm.
- Riduzione della variazione della geometria degli elementi.
- Riduzione dell'aumento di pesi sulla struttura esistente;
- Incremento della rigidità dell'elemento.
- Incremento della durabilità del materiale.

Si riporta nel seguito un **esempio di incremento della resistenza nei confronti delle azioni normali** (pilastro presso-inflesso) tra le seguenti tecnologie:

- Sezione di partenza non rinforzata.
- Incamiciatura mediante dei piatti in acciaio.
- Incamiciatura mediante **MICRO GOLD STEEL** di Ruregold.
- Incamiciatura mediante un calcestruzzo tradizionale (ad esempio con il calcestruzzo predosato **Compat** di **Gras Calce**).



Preparazione del supporto: rimozione della ruggine dai ferri d'armatura mediante spazzolatura. Applicazione di **Passivante** Ruregold sui ferri d'armatura esistenti.



Applicazione su pilastri: cassero a tenuta con raddoppio di cravatte e sigillatura al piede. Inizio del getto di **Micro Gold Steel** di Ruregold partendo da un lato con flusso continuo.



CAMPI DI APPLICAZIONE

Pilastri in calcestruzzo armato

Come noto i **pilastri in c.a. esistenti** possono essere **soggetti a carenze di carattere strutturale** nei confronti delle seguenti sollecitazioni:

- Insufficiente capacità a pressoflessione.
- Insufficiente capacità a taglio.

I **requisiti che dovranno soddisfare i pilastri in c.a. esistenti** sono pertanto i seguenti:

- Opportuna rigidità dell'elemento.
- Sufficiente resistenza della sezione.
- Necessaria duttilità dell'elemento resistente.

Le **tecniche tradizionali di rinforzo dei pilastri prevedono la realizzazione di un'incamiciatura in acciaio o in cemento armato.**

La tecnica di **rinforzo mediante incamiciatura in acciaio** nasce come evoluzione della tradizionale tecnica del béton plaqué, che prevede l'uso di piatti in acciaio incollati alle superfici esterne degli elementi da rinforzare.

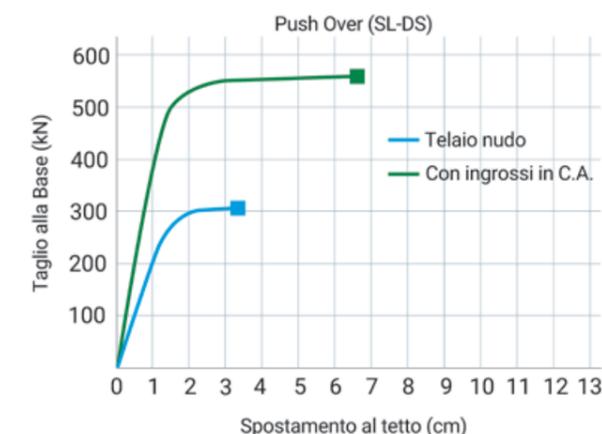
Negli elementi strutturali in c.a. la tecnica dell'**incamiciatura in cemento armato tradizionale** consente di incrementarne la rigidità, la capacità portante e la duttilità dell'elemento attraverso un incremento della sezione resistente dello stesso e l'aggiunta di armatura all'interno della camicia. Attraverso l'**incamiciatura** si va a migliorare non solo il comportamento nei confronti dello stato limite ultimo ma anche il comportamento in esercizio dell'elemento strutturale. La scelta di utilizzare questa tipologia di intervento può essere dettata da diverse ragioni:

- **carezza di natura progettuale da parte dell'elemento strutturale**, che necessita di un aumento della sezione resistente dello stesso;
- **aumento della duttilità dell'elemento strutturale**, con incremento della duttilità-rigidità flessionale e conseguente maggiore resistenza alle azioni orizzontali.

Dopo l'intervento di incamiciatura è possibile determinare l'incremento di resistenza attraverso le indicazioni della Circolare 7/2019 del CSLL.PP alle NTC 2018, par. C 8.7.4.2.1, nella quale si ipotizza la perfetta aderenza tra il calcestruzzo vecchio e il nuovo.

Tuttavia è necessario sottolineare che **tale intervento modifica la massa e la rigidità dell'elemento**, conseguentemente della struttura, alterando quindi la risposta sismica del fabbricato.

Si riporta, a titolo di esempio, la **curva di PUSH – OVER** di una struttura a telaio rinforzata con questa tecnica nella quale si nota un incremento evidente di resistenza e duttilità ma anche di rigidità della struttura rinforzata.



L'efficacia dell'**incamiciatura** sul comportamento dell'elemento strutturale e dell'intera struttura **dipende essenzialmente dall'incremento della sezione resistente** e dall'azione di confinamento sul nucleo interno del pilastro. **L'impiego di calcestruzzi ad alta prestazione e fibrorinforzati consentono la riduzione degli spessori della camicia** con la quale viene ringrossato il pilastro di partenza e di **ottenere un'efficace riduzione delle armature aggiuntive, con prestazioni dell'elemento rinforzato significativamente più elevate.**

L'aggiunta di fibre va a **modificare le proprietà meccaniche del calcestruzzo**, in quanto viene notevolmente migliorato il **comportamento a trazione del calcestruzzo e soprattutto viene contrastata l'apertura delle fessure.**



Particolare di pilastro rinforzato con **Micro Gold Steel**.

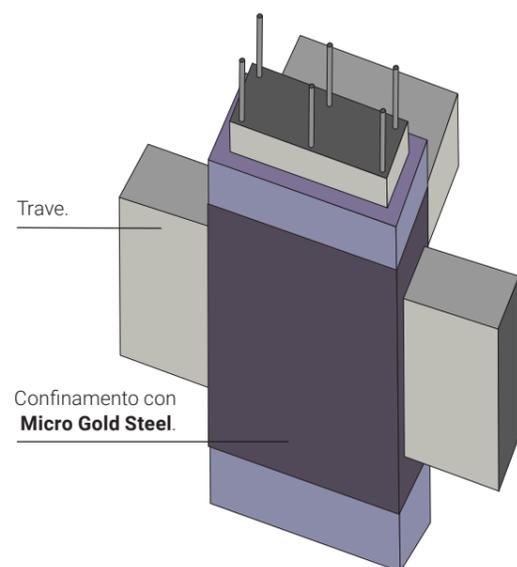
Campi di applicazione

Pannello di nodo trave-pilastro

Il rinforzo dei pannelli di **nodo trave-pilastro** rappresenta un'applicazione interessante per l'**incremento della capacità delle zone dissipative di telai in c.a.**

Questa tipologia di intervento potrebbe risultare particolarmente utile in corrispondenza del **tratto di pannello di nodo non confinato**, eseguendo un getto con un microcalcestruzzo FRC.

Nel caso l'intervento di incamiciatura venga effettuato su un'intera pilastriata, è opportuno predisporre un'ideale foratura delle superfici interessate per il passaggio dei ferri di armatura garantendo in questo modo una certa continuità all'intervento strutturale. Il momento flettente delle travi e dei pilastri agisce alle estremità (i nodi) dove, affinché sia trasmesso, è necessario che l'armatura aggiuntiva (quella presente nella camicia) sia passante e venga giuntata attraverso dei collegamenti che ne garantiscano la continuità.



Per tutti gli elementi strutturali in c.a. la realizzazione della camicia in HPFRC avviene applicando direttamente il materiale di rinforzo sul calcestruzzo originario e deve essere preceduta da un'adeguata preparazione del supporto degli elementi da rinforzare.

La prima operazione riguarda il trattamento della superficie con l'obiettivo di **ottenere un buon grado di rugosità** (2-3 mm) allo scopo di incrementare l'aderenza tra i due materiali. Differenti tecniche possono essere utilizzate a questo scopo: bocciardatura, scalpellatura, scarifica, sabbatura a cui deve fare seguito una fase di aspirazione e idropulizia al fine di rimuovere qualsiasi residuo.

Nel caso di rinforzo con HPFRC colabile si predispongono casseri a perfetta tenuta e si effettua il getto mediante semplice colata.

Gli elementi nodo trave-pilastro rappresentano le parti più sensibili alle azioni sismiche, perchè per lo più realizzati con normative datate che non ponevano particolare attenzione alle sollecitazioni derivanti dal sisma. I più recenti documenti di progettazione, quali le **NTC18 e relativa Circolare esplicativa**, sono molto precisi e rigorosi riguardo il calcolo di questi elementi strutturali, fornendone inoltre le procedure di verifica. In dettaglio, le formulazioni riportate al **capitolo 8 della Circolare esplicativa** (§ C8.7.2.3.5) sono le seguenti:

$$\sigma_{nt} = \left| \frac{N}{2A_g} - \sqrt{\left(\frac{N}{2A_g}\right)^2 + \left(\frac{V_n}{A_g}\right)^2} \right| \leq 0,3\sqrt{f_c}$$

$$\sigma_{nc} = \frac{N}{2A_g} + \sqrt{\left(\frac{N}{2A_g}\right)^2 + \left(\frac{V_n}{A_g}\right)^2} \leq 0,5f_c$$

A seguito dell'intervento di ringrosso del pannello di nodo mediante calcestruzzo HPFRC è possibile riscrivere la prima equazione tenendo conto del contributo offerto alla resistenza a trazione (Beschi et al. 2011):

$$\sigma_{nt} = \left| \frac{N}{2A_T} - \sqrt{\left(\frac{N}{2A_T}\right)^2 + \left(\frac{V_n}{A_T}\right)^2} \right| \leq \frac{0,3\sqrt{f_c}A_g + f_{Ftu}A'_g}{A_T}$$



Particolare di pannello di nodo trave-pilastro rinforzato con **Micro Gold Steel**.



Preparazione del substrato: asportazione dell'eventuale strato ammalorato, rimozione della ruggine dai ferri d'armatura e applicazione del **Passivante Ruregold** sui ferri di armatura esistenti.

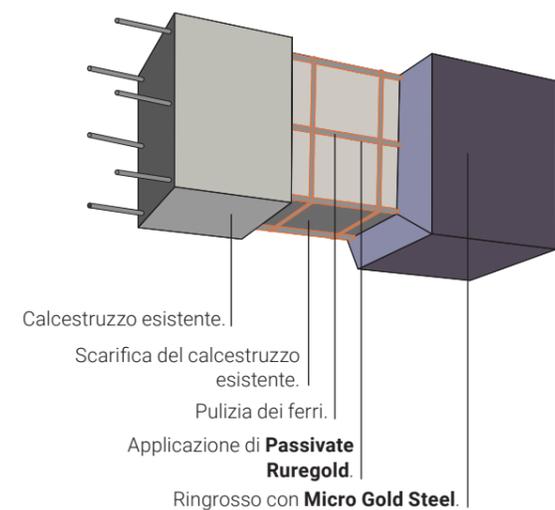


Pannello di nodo trave-pilastro rinforzato con **Micro Gold Steel** di Ruregold

Campi di applicazione

Rinforzo a flessione e taglio di travi

Analogamente a quanto accade per i pilastri, anche le travi esistenti in c.a. possono presentare delle gravi carenze strutturali per le quali risulta **necessario intervenire con un rinforzo a flessione e taglio**. Caso analogo è quando l'edificio in questione subisce un cambio di destinazione d'uso o è oggetto di un intervento di miglioramento sismico. In tutti questi casi l'impiego di rinforzi strutturali quali FRCM e FRP possono non essere sufficienti per raggiungere le prestazioni richieste dalle nuove esigenze strutturali. In questi casi sarà pertanto necessario intervenire **mediante un incremento della sezione di partenza**. L'impiego di calcestruzzi fibrorinforzati ad alta prestazione HPRFC di Ruregold potranno sostituire e/o integrare le ordinarie armature a flessione e taglio di cui è carente la sezione originale.



Predisposizione di un cassero a perfetta tenuta per effettuare il getto di **Micro Gold Steel** mediante colatura.



Realizzazione tasca-foro su trave.



Applicazione su travi: inserimento dell'eventuale armatura longitudinale laddove il dimensionamento lo preveda. Getto di **Micro Gold Steel** partendo da un lato con flusso continuo.



Colatura di **Micro Gold Steel** attraverso la tasca-foro su trave.



Incamiciatura telaio travi e pilastri in c.a. con **Micro Gold Steel**.



Miscelazione nella tradizionale betoniera a bicchiere di **Micro Gold Steel**.



Predisposizione del cassero per il getto di **Micro Gold Steel**.

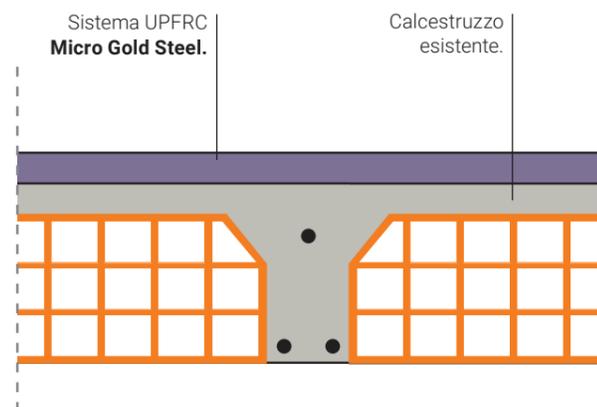
Campi di applicazione

Rinforzo all'estradosso di solai esistenti

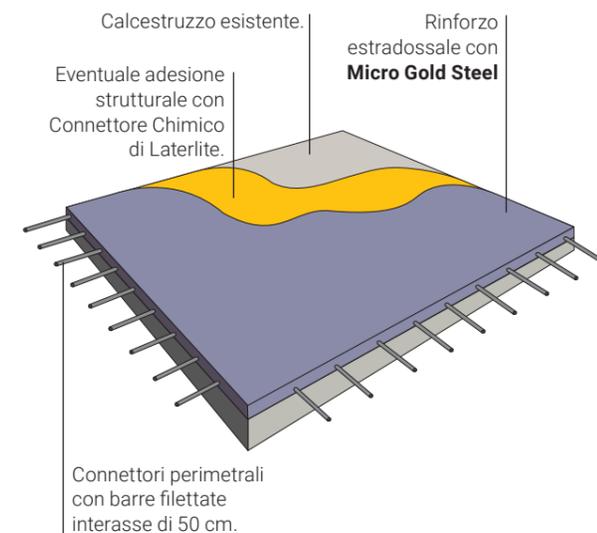
Un'ulteriore e frequente applicazione dei **calcestruzzi fibrorinforzati HPFRC** riguarda il **consolidamento a basso spessore di solette in calcestruzzo armato e di solai esistenti**. L'impiego di microcalcestruzzo HPFRC ad alte prestazioni e ad elevata resistenza residua a trazione, all'estradosso di cappe collaboranti, è utile nel caso di impalcati di piano con luci impegnative e in continuità su più appoggi: in questi casi l'impiego di un microcalcestruzzo a **basso spessore (da soli 2 cm)** e caratterizzato da **resistenze residue a trazione in zona tesa all'estradosso diventa importante**. Altro vantaggio risiede nella **possibilità di assorbire elevati carichi concentrati in bassi spessori**.



Il sottofondo deve essere solido, fortemente ruvido con scabrezza pari a 5 mm oppure prevedere l'utilizzo di adesivo epossidico **Connettore Centrostorico Chimico**.



Formazione del sistema di connessione perimetrale mediante barre ad aderenza migliorata o **Connettore Elicoidale** di Ruregold. Posa di **Micro Gold Steel** sulla superficie e successiva staggiatura a livello.



Regolarizzare lo spandimento con una racla.



Staggiatura di **Micro Gold Steel** su solaio.



Consolidamento statico in basso spessore di solaio con **Micro Gold Steel**.

MICRO GOLD STEEL

Microcalcestruzzo fibrorinforzato con fibre metalliche per il rinforzo strutturale e il miglioramento sismico.



PROPRIETÀ

Micro Gold Steel è un premiscelato fibrorinforzato con fibre metalliche studiato per il miglioramento sismico e il rinforzo delle strutture in calcestruzzo armato anche senza l'impiego di elementi metallici aggiuntivi. Dopo l'aggiunta di acqua si ottiene una malta colabile, fortemente adesiva a qualsiasi tipo di supporto, di altissima duttilità e durabilità.

Ha un comportamento dopo fessurazione di tipo incrudente, cioè aumenta la resistenza a trazione residua, a differenza delle tradizionali malte strutturali fibrorinforzate. Questo comportamento meccanico, caratterizzato da un altissimo grado di energia assorbita, consente di utilizzare Micro Gold Steel nel miglioramento sismico delle diverse strutture in calcestruzzo armato in **spessori variabili tra 10 e 45 mm.**

- La presenza di fibre metalliche nella matrice cementizia migliora le caratteristiche meccaniche.
 - Estremamente duttile e di tenacità superiore a quella delle tradizionali malte fibrorinforzate.
 - Nella fase post-fessurativa il contributo tridimensionale delle fibre incrementa la capacità di assorbire energia.
 - Elevate resistenze meccaniche a compressione e flessione.
 - Capacità di sostenere carichi anche dopo rottura di prima fessurazione.
 - Facilità e rapidità di messa in opera e finitura.
 - Resistenza ai cicli di gelo e disgelo.
- Prestazioni meccaniche certificate dalle prove di qualificazione posa in opera (Meister S5, Imer Step 120 o similari) e impastabile in betoniera.

VANTAGGI

- Riduzione o eliminazione delle armature di rinforzo con conseguente risparmio delle lavorazioni da effettuare e di tempo di realizzazione.
- Riduzione degli spessori fino a 3-4 cm con un minimo di 2 cm.
- Riduzione della variazione della geometria degli elementi.
- Riduzione dell'aumento di pesi sulla struttura esistente
- Incremento della resistenza al fuoco
- Incremento della durabilità del materiale e rigidità dell'elemento



Per approfondimenti scansiona il QR code

CARATTERISTICHE TECNICHE

Resistenza a compressione 28 gg	C 80/95
Modulo elastico a 28 gg	≥ 42 Gpa
Classe di tenacità (L.G. FRC)	7d
Consumo	ca. 19,5 kg/m ² /cm di spessore
Confezione	Unità da 103,5 Kg: Parte A n° 4 sacchi di premix secco da 25 kg/cad + Parte B n° 1 scatola di fibre da 3,5 kg
Marchatura CE	UNI EN 1504-3/6



Incamicatura di travi e pilastri con **Micro Gold Steel.**



Consolidamento statico in basso spessore di solaio con **Micro Gold Steel.**

Tutto il materiale contenuto nel catalogo, testi, fotografie, disegni e illustrazioni sono di proprietà Laterlite S.p.A.
È vietato qualunque suo utilizzo, per qualunque fine, in contrasto con le normative di legge, senza la previa autorizzazione di Laterlite S.p.A.



 Ruregold
 Ruregold
 Ruregold
 info@ruregold.it

Assistenza Tecnica
Via Correggio, 3
20149 Milano
+39 02.48011962
Ruregold.it

