

COMPOSITE
HPFRC High Performance
Fiber Reinforced Concrete





MICROCALCESTRUZZI FIBRORINFORZATI HPFRC NEL RINFORZO STRUTTURALE

I calcestruzzi fibrorinforzati (comunemente identificati con la sigla FRC: *Fiber Reinforced Concrete*) sono materiali compositi a base cementizia, che contengono al loro interno fibre corte di diversa natura (acciaio, materiale polimerico, materiali naturali o materiale inorganico quale carbonio o vetro).

Queste, grazie ad un efficace effetto di “cucitura” delle fessurazioni, migliorano il comportamento a trazione e post fessurativo del calcestruzzo (indicato convenzionalmente con il termine “tenacità”) e risultano essere un’aggiunta particolarmente efficace per incrementare la duttilità dei calcestruzzi ad alte prestazioni.

I microcalcestruzzi fibrorinforzati ad alte prestazioni (**HPFRC**: *High Performance Fiber Reinforced Concrete*) della Linea COMPOSITE sono Prodotti Premiscelati a base cementizia, di ridotta granulometria e rinforzati con fibre in acciaio, caratterizzati da peculiari prestazioni meccaniche, grazie alle quali essi risultano particolarmente apprezzati negli interventi di consolidamento e rinforzo strutturale attraverso **incamicature in basso spessore**, con i quali incrementare la capacità di resistenza degli elementi (**pressoflessione e taglio**) e la loro duttilità.

- Elevata **resistenza a compressione**, utile ad apportare, con limitati spessori applicativi, significativi incrementi di resistenza e duttilità ad elementi strutturali quali pilastri, travi.
- Elevata **adesione ai supporti** in calcestruzzo, per il conseguimento della monoliticità dell’elemento rinforzato.
- Significativa **resistenza a trazione residua** in fase post-fessurativa per contribuire all’assorbimento di sforzi di trazione.

Il COMPOSITE M130, in particolare, fornisce una concreta possibilità di ottimizzare le armature di rinforzo, sia principali che secondarie (staffe), potendo portare in conto, nell’ambito dell’analisi strutturale, la sua resistenza a trazione residua, certificata con specifico Certificato di Valutazione Tecnica (C.V.T.) rilasciato dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

Figura 1

Intervento di rinforzo strutturale



COMPOSITE M130

COMPOSITE M130 (Figura 2) è un prodotto premiscelato a base cementizia classificato come HPFRC (High Performance Fiber Reinforced Concrete), altamente prestazionale ed innovativo.



Figura 2
COMPOSITE M130

IL MATERIALE

COMPOSITE M130 è una malta cementizia tricomponente ad elevate prestazioni, fibrorinforzata con fibre in acciaio. Il materiale si presenta molto fluido (auto-compattante), omogeneo e coesivo (Figura 3). Inoltre, essendo a ritiro compensato, presenta una elevata stabilità dimensionale.

COMPOSITE M130 è lavorabile per circa 1 ora a 20 °C e può essere facilmente pompato anche a grandi distanze e altezze. Lo sviluppo delle sue resistenze meccaniche è molto rapido, ed a lungo termine, oltre a fornire elevatissime resistenze a compressione (classe di resistenza massima **C90/105**), è in grado di offrire ottime risposte alle sollecitazioni di trazione (Classe di resistenza residua **8b**) ed una eccellente durabilità in tutte le classi di esposizione previste dalla normativa. Per le sue peculiari caratteristiche, COMPOSITE M130 è ideale per **interventi in basso spessore** per il ripristino, rinforzo, miglioramento e adeguamento sismico di strutture ed infrastrutture in calcestruzzo armato, ordinario e precompresso, e muratura.

Tra le principali applicazioni (Figura 4) vi sono le incamiciature di pilastri, travi, nodi ed i rinforzi/irrigidimenti di solai in laterocemento e compositi legno-calcestruzzo o acciaio-calcestruzzo.

Figura 3

La reologia autocompattante del COMPOSITE M130 semplifica le operazioni di posa in opera, soprattutto per applicazioni in basso spessore. La facilità di pompaggio del materiale ne consente l'applicazione anche ad elevate altezze da terra





LE CERTIFICAZIONI



CONSUP.R.0000152.
14-07-2021

Certificato di Valutazione Tecnica (C.V.T.) rilasciato dal C.S.LL.PP. (STC), che permette al COMPOSITE M130 di essere impiegato, nell'ambito di ripristini e rinforzi strutturali, potendo considerare, se necessario, fino ad una classe di resistenza a compressione C90/105 e la classe di resistenza residua a trazione 8b.



EN 1504-3



EN 1504-6

Conformità alla norma UNI EN 1504 "Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo" per le parti **UNI EN 1504-3 "Riparazione strutturale e non strutturale"** e **UNI EN 1504-6 "Ancoraggio dell'armatura di acciaio"**.



Certificazione **ReMade in Italy®** sulla verifica del contenuto di riciclato. La certificazione è riconosciuta dalle disposizioni comunitarie in materia di "Economia Circolare", nel rispetto dei **Criteria Ambientali Minimi (CAM)**.

Figura 4
Esempi applicativi

COMPOSITE TIXO

COMPOSITE TIXO (Figura 5) è un Prodotto a base cementizia classificabile anch'esso come HPFRC (High Performance Fiber Reinforced Concrete), ma avente reologia tixotropica.



Figura 5
COMPOSITE TIXO

IL MATERIALE

COMPOSITE TIXO è una malta cementizia bicomponente tixotropica ad elevate prestazioni, tixotropica, a ritiro compensato e fibrorinforzata con fibre in acciaio e poliacrilonitrile.

Grazie ad una reologia stabile ed omogenea, mantenuta per circa 1 ora (a 20 °C) dall'impasto, può essere applicata manualmente con tecnica a rinzaffo oppure pompata anche a grandi distanze ed altezze ed applicata a spruzzo mediante intonacatrice (a vite o a pistone) a ciclo separato.

Il Prodotto risulta particolarmente indicato per casi applicativi nei quali il posizionamento dei casseri risulti complesso o non praticabile, o per interventi che richiedano una rapida esecuzione in assenza di casseforme.

COMPOSITE TIXO è ideale per il completamento degli interventi realizzati con COMPOSITE M130 nelle zone della struttura in cui non è stato possibile posizionare i casseri per colare il prodotto.

Oltre a fornire elevatissime resistenze a compressione, COMPOSITE TIXO è un materiale duttile, tenace ed estremamente durevole.

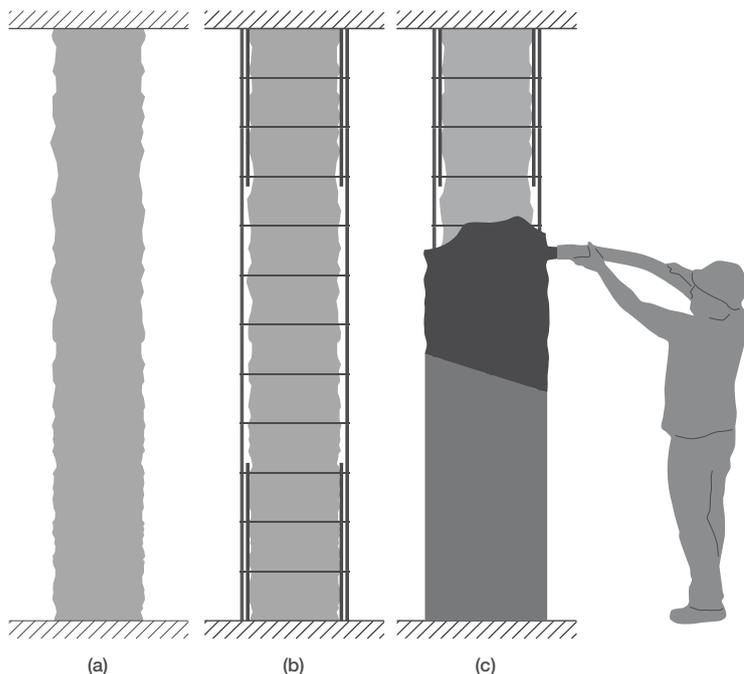
LA CERTIFICAZIONE



Il prodotto è conforme alla norma UNI EN 1504 "Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo" per la parte **UNI EN 1504-3 "Riparazione strutturale e non strutturale"**.

Figura 6

Grazie alla sua eccellente tixotropia, COMPOSITE TIXO semplifica la realizzazione di incamiciature in basso spessore. Dopo la preparazione del supporto esistente (a), si procederà con la installazione delle armature integrative (b) eventualmente previste in progetto e con la diretta applicazione del Prodotto mediante spruzzatura. Le superfici saranno opportunamente staggiate/frattazzate fino a completa regolarizzazione (c).



PRESTAZIONI

I Prodotti della Linea COMPOSITE si distinguono dai tradizionali premiscelati a base cementizia per le loro elevate prestazioni reologiche, meccaniche, fisiche e di durabilità.

REOLOGIA

Dopo il suo confezionamento, il **COMPOSITE M130** si presenta **estremamente fluido** e lavorabile per circa 60 minuti dal confezionamento. L'elevata lavorabilità è accompagnata da una notevole robustezza e coesione, con totale assenza di bleeding (Figura 7).



Figura 7

Prova di spandimento (UNI EN 12390-8) eseguita su COMPOSITE M130.

Queste caratteristiche reologiche fanno sì che il prodotto scorra agevolmente all'interno dei casseri raggiungendo facilmente il massimo grado di compattazione con una minima azione compattante (manuale). Nelle applicazioni su superfici orizzontali (veda-si ad esempio la realizzazione di solette strutturali) COMPOSITE M130 è facilmente stendibile mediante colatura e finitura a staggia (Figura 4d).

Nelle applicazioni entro cassero, la fluidità e coesione del materiale consentono di riempire facilmente spazi limitati, come ad esempio incamiciature a basso spessore (a partire da 3 cm) di pilastri e travi.

Il **COMPOSITE TIXO** è invece caratterizzato da una **reologia tixotropica**, che gli consente di poter essere applicato direttamente su superfici orizzontali, verticali e sopratesta senza l'ausilio di cassetture.

Il Prodotto si presenta lavorabile per circa 60 minuti dal confezionamento e la sua coesione e robustezza consentono applicazioni manuali ed a spruzzo (Figura 8).



Figura 8

Posa in opera del COMPOSITE TIXO mediante spruzzatura. Il Prodotto risulta facilmente pompabile, anche a grandi altezze/distanze, con conseguente riduzione dei tempi di applicazione.

RESISTENZA A COMPRESSIONE

Appena dopo 1 giorno dalla posa in opera, **COMPOSITE M130** fornisce una resistenza a compressione superiore a 25 MPa ($T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, U.R. = 95%). Risulta quindi semplice eseguire lavorazioni che comportano la rapida entrata in esercizio delle strutture. Dopo 28 giorni di stagionatura (Figura 9) si raggiungono facilmente resistenze medie dell'ordine dei **130 MPa**, valutate secondo UNI EN 12190.

In accordo con le Norme Tecniche per le Costruzioni (2018) e sulla base del C.V.T. rilasciato dal Servizio Tecnico Centrale del C.S.LL.PP. è possibile, in fase di progettazione, fare riferimento a classi di resistenza superiori alla C70/85, potendo arrivare, laddove fosse necessario, fino alla C90/105 (massima contemplata nella vigente normativa NTC 2018).

Il Prodotto **COMPOSITE TIXO** fornisce, appena dopo 1 giorno dalla posa in opera, resistenze a compressione superiori ai 20 MPa ($T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, U.R. = 95%) e, dopo 28 giorni di stagionatura, valori medi superiori ai **100 MPa** (Figura 9) valutati anch'essi secondo UNI EN 12190.

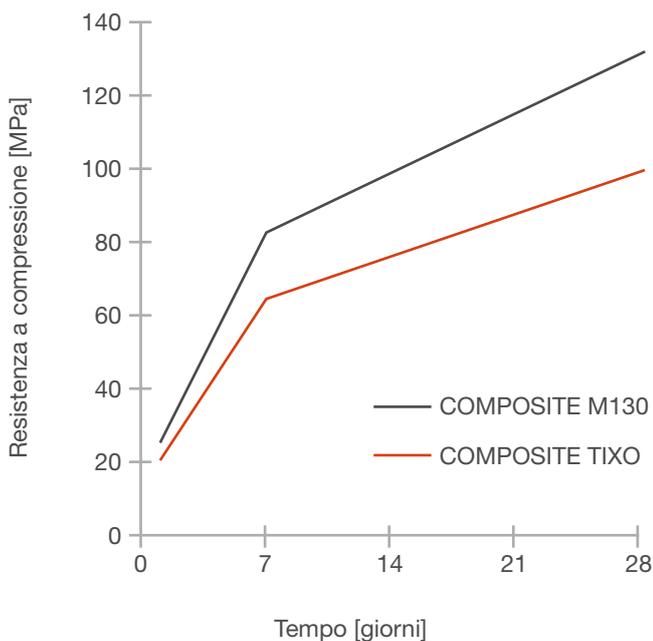


Figura 9

Prove di compressione condotte su provini 40x40x160 mm secondo UNI EN 12190.

RESISTENZA A TRAZIONE E TENACITÀ

Grazie alla dispersione uniforme di fibre metalliche nell'impasto, tutti i prodotti della Linea COMPOSITE sono in grado di resistere ad elevati sforzi di trazione, sia in fase non fessurata che post-fessurata.

Per questo possono contribuire in maniera significativa alla duttilità sia del singolo elemento strutturale che dell'intera struttura nella quale vengono impiegati.

Grazie alla sua particolare microstruttura ed alla presenza di speciali fibre in acciaio, COMPOSITE M130 manifesta un comportamento estremamente tenace. Dopo la prima fessurazione, il materiale è infatti in grado di manifestare elevate deformazioni prima di arrivare a rottura (**comportamento duttile**).

Questa peculiarità ne fa un materiale particolarmente adatto nell'ambito dei ripristini, miglioramenti o adeguamenti sismici, fornendo al progettista la possibilità di intervenire sull'esistente e modificare i cinematismi e i meccanismi di collasso tramite una serie di interventi mirati (sia localizzati che generalizzati).

Grazie alla certificazione C.V.T., è possibile per il progettista portare in conto nelle verifiche strutturali la resistenza residua a trazione di COMPOSITE M130.

Risultati di test a flessione condotti su provini 40x40x160 mm (in accordo con UNI EN 196-1) mostrano, dopo 28 giorni, valori di resistenza superiori ai 20 MPa sia per COMPOSITE M130 che per COMPOSITE TIXO).

Test di flessione condotti sul **COMPOSITE M130** secondo UNI EN 14651 (Figura 10) certificano, ai sensi della Linee Guida FRC, il conseguimento di una **Classe di resistenza residua 8b**.

In Figura 11 una immagine relativa alla esecuzione della prova di flessione secondo UNI EN 14651, utile a caratterizzare il comportamento post-fessurativo dei microcalcestruzzi della linea COMPOSITE.

Grazie al trasduttore installato a cavallo dell'intaglio di mezzera è possibile mettere in relazione la forza applicata al provino (e quindi la conseguente tensione di trazione all'apice dell'intaglio) con la variazione di apertura dell'intaglio (Figura 12).

Al termine della prova, portando a completa rottura il provino, è possibile verificare l'elevata densità delle fibre e la loro uniforme distribuzione (Figura 13).

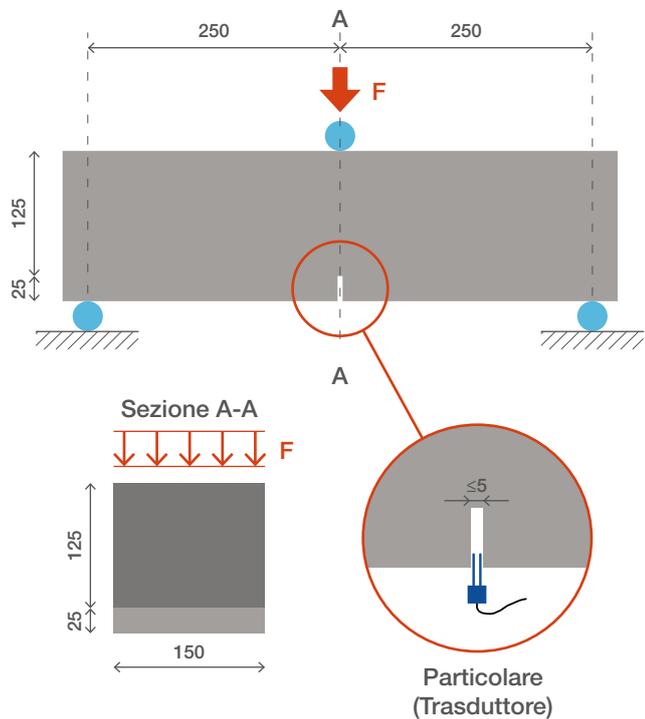


Figura 10
 Setup di prova per la determinazione della resistenza a trazione residua di un calcestruzzo fibrorinforzato UNI EN 14651.

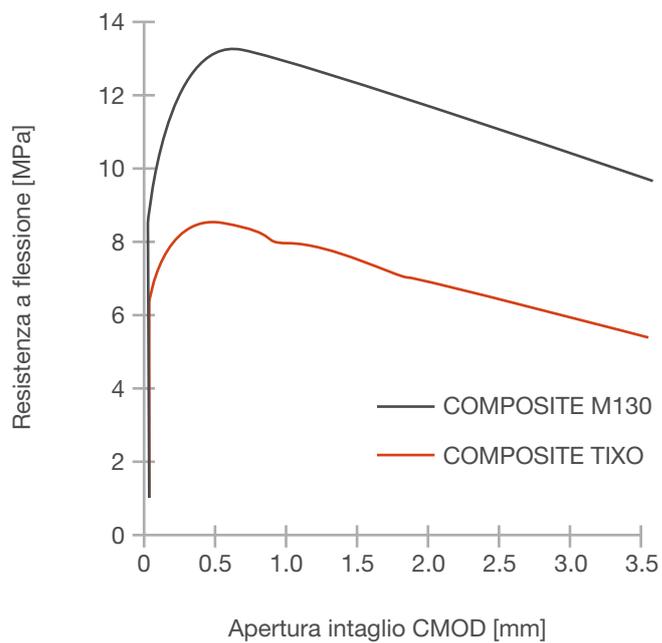


Figura 12
 Resistenze residue a trazione di COMPOSITE M130 e COMPOSITE TIXO (valori medi)

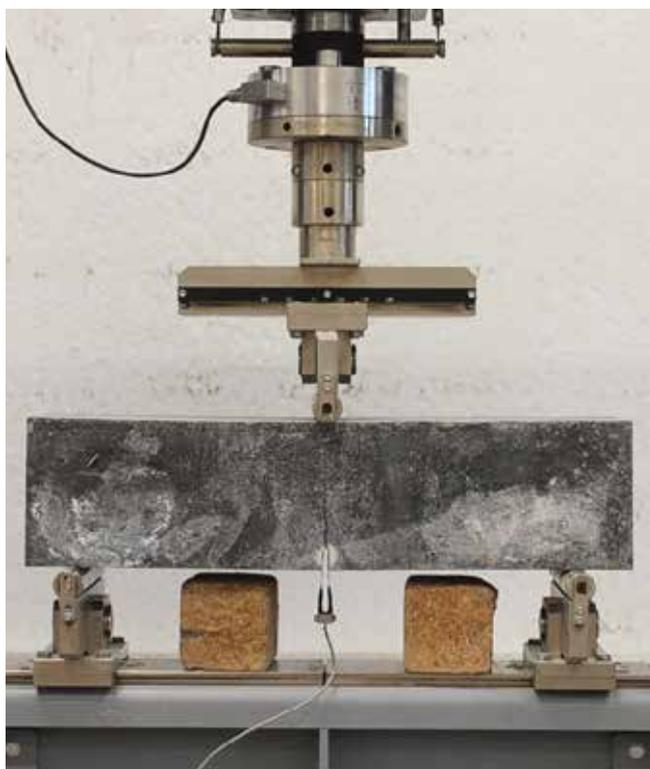


Figura 11
 Prova per la determinazione della resistenza a trazione residua di un calcestruzzo fibrorinforzato UNI EN 14651.



Figura 13
 Elevata densità ed uniformità del rinforzo fibroso metallico nel COMPOSITE M130

PRESTAZIONI

ALTISSIMA DURABILITÀ

La microstruttura del COMPOSITE M130 è caratterizzata da una porosità estremamente ridotta, e di conseguenza risulta fortemente ostacolato l'ingresso di qualsiasi agente aggressivo, con particolare riferimento all'anidride carbonica, ai cloruri ed all'acqua.

Provini di COMPOSITE M130 esposti ad elevate concentrazioni di CO₂ mostrano penetrazioni del fronte di carbonatazione di fatto irrilevanti (Figura 14).

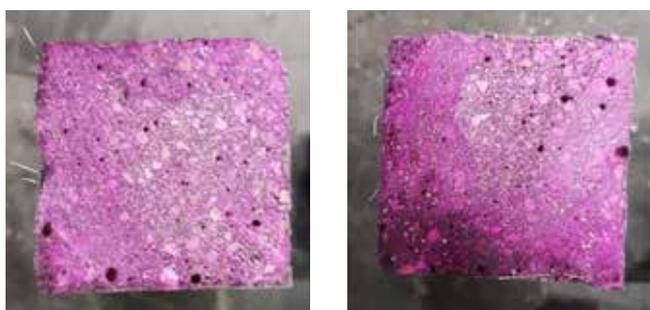


Figura 14

Test colorimetrico alla fenolftaleina che evidenzia l'impermeabilità del COMPOSITE M130 all'anidride carbonica

Anche nei riguardi della permeabilità ai cloruri, il comportamento del COMPOSITE M130 risulta molto performante. Con riferimento al metodo di prova previsto dalla ASTM C1202 (Figura 15), il Prodotto risulta possedere una permeabilità ai cloruri trascurabile (carica elettrica transigente attraverso il provino inferiore a 100 C).



Carica elettrica passante (Coulomb)	Permeabilità allo ione Cloruro
>4000	alta
2000-4000	moderata
1000-2000	bassa
100-1000	molto bassa
<100	trascurabile

Figura 15

Prova di permeabilità ai cloruri secondo ASTM C1202

La ridotta porosità del materiale si traduce in una permeabilità all'acqua di fatto trascurabile. Testimoniano tale prestazione sia prove di permeabilità all'acqua in pressione (Figura 16) che specifiche prove di resistenza al gelo-disgelo previste dalle Linee Guida FRC (Figura 17).



Figura 16

Test di profondità di penetrazione dell'acqua in pressione (UNI 12390-8).

A fronte del livello prestazionale sopra descritto è emersa la capacità di COMPOSITE M130 di poter far fronte, con la sua durabilità, a tutte le classi di esposizione previste dalla norma UNI EN 206.



Figura 17

Provini di COMPOSITE M130 sottoposti a severi cicli di gelo-disgelo

Prestazioni simili possono essere riscontrate anche nel COMPOSITE TIXO, in termini di resistenza alla carbonatazione, ai cloruri ed alla permeabilità dell'acqua (Figura 18).

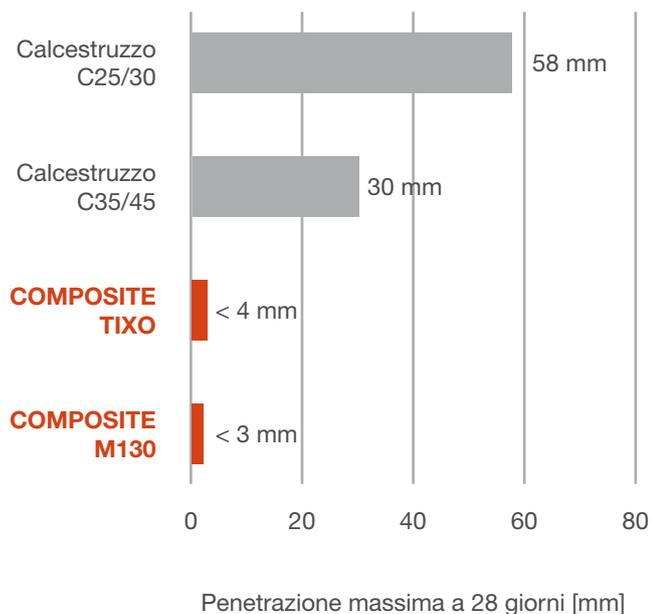


Figura 18

Risultati del test di profondità di penetrazione dell'acqua in pressione (UNI 12390-8).

In accordo con la classificazione come malta R4 (UNI EN 1504-3), il Prodotto COMPOSITE TIXO supera brillantemente i test di resistenza alla carbonatazione accelerata (EN 13295) e di assorbimento capillare, garantendo quindi una elevatissima durabilità nei confronti delle aggressioni ambientali esterne.



Figura 19

Esecuzione di prove di Assorbimento Capillare (UNI EN 13057)

ELEVATA ADESIONE AL CALCESTRUZZO

Nelle applicazioni di ripristino e rinforzo di strutture esistenti in calcestruzzo armato, e in generale in tutti quegli interventi che prevedono la realizzazione di un getto in aderenza ad un elemento preesistente, risulta essenziale ottenere:

- perfetta adesione tra il nuovo materiale ed il supporto cementizio esistente;
- perfetta adesione tra il nuovo materiale e le armature esistenti ed integrative.

In presenza di queste condizioni, conseguibili entrambe con i Prodotti della Linea COMPOSITE, è possibile ottenere una corretta trasmissione degli sforzi tra i diversi materiali strutturali e quindi, di fatto, una perfetta monoliticità dell'elemento rinforzato.

I Prodotti, classificati come malte R4 secondo UNI EN 1504-3, forniscono **valori di adesione al supporto** in calcestruzzo, misurati tramite prove per trazione diretta (UNI EN 1542, su supporti conformi a UNI EN 1766), **ben superiori al valore minimo previsto dalla Norma** (2 MPa per le malte R4).

La prova, che può essere effettuata sia in laboratorio (Figura 20) che in situ (su testimoni predisposti ad hoc), è utile per testimoniare il conseguimento della corretta adesione tra il supporto originario di calcestruzzo (opportunamente preparato) ed i prodotti COMPOSITE M130 o COMPOSITE TIXO.

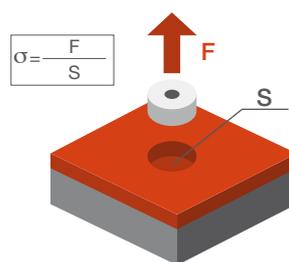


Figura 20

Esecuzione di prove di Pull-off in laboratorio secondo UNI EN 1542 (Supporto conforme a UNI EN 1766)

PRESTAZIONI

Infatti, in presenza di una applicazione rispettosa delle procedure in installazione previste (come descritto nel Manuale di Preparazione ed Installazione del Prodotto), la rottura dei campioni avviene sempre all'interno del supporto (rottura coesiva) mentre l'interfaccia di adesione risulta essere continua e priva di difetti.

Alla luce delle tipiche applicazioni del Prodotto (interventi di jacketing di strutture esistenti), sul COMPOSITE M130 sono stati condotti ulteriori test sperimentali di aderenza. In particolare, sono state effettuate prove che, a differenza della metodologia precedente (in cui l'adesione viene valutata misurando tensioni di tipo normale all'interfaccia), comportano la nascita di tensioni di tipo tangenziale all'interfaccia tra l'HPFRC ed il supporto esistente.

In Figura 21 un provino in calcestruzzo incamiciato con COMPOSITE M130, sottoposto, dopo 28 giorni di stagionatura, ad una azione di "punzonamento"

per valutare lo scorrimento relativo tra il nucleo interno (calcestruzzo) e la parte corticale (COMPOSITE M130). In corrispondenza del carico massimo raggiunto, la tensione tangenziale media prodottasi è stata valutata con l'espressione indicata in Figura 21.

La prova ha evidenziato che il collasso del provino è avvenuto per rottura della camicia esterna e non per scorrimento nucleo-camicia, ad ulteriore riprova della rilevante adesione tra i due materiali.

In Figura 22 è riportata un'altra modalità di prova di adesione, sempre volta ad innescare tensioni tangenziali all'interfaccia tra calcestruzzo e COMPOSITE M130.

Tali prove hanno sempre fornito valori di tensione tangenziale estremamente elevati, nell'ordine dei 4 MPa per la prova di Figura 21 e dei 4,70 MPa in quella di Figura 22.

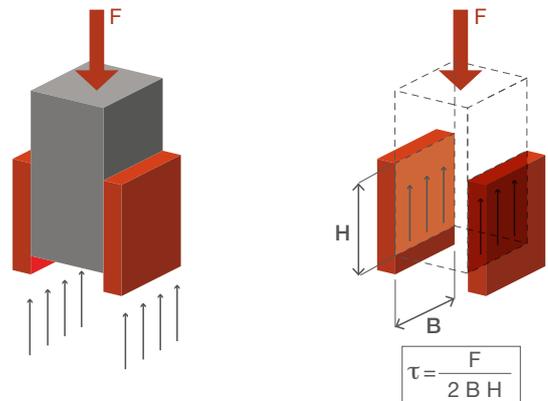
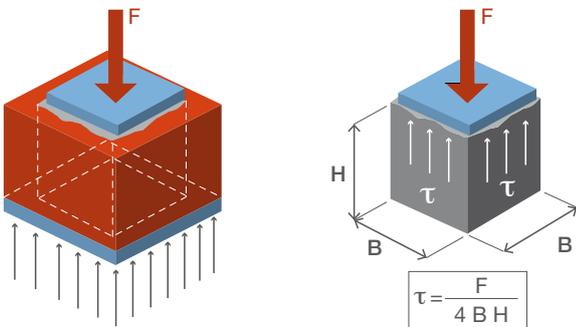


Figura 21

Prova di adesione con riferimento a tensioni tangenziali

Figura 22

*Prova di adesione con riferimento a tensioni tangenziali.
Rottura coesiva del supporto*

ELEVATA ADESIONE ALLE ARMATURE

Altrettanto importante, in un intervento di ripristino/rinforzo strutturale, l'elevata aderenza dei nuovi materiali (nella fattispecie COMPOSITE M130) alle armature, esistenti ed integrative.

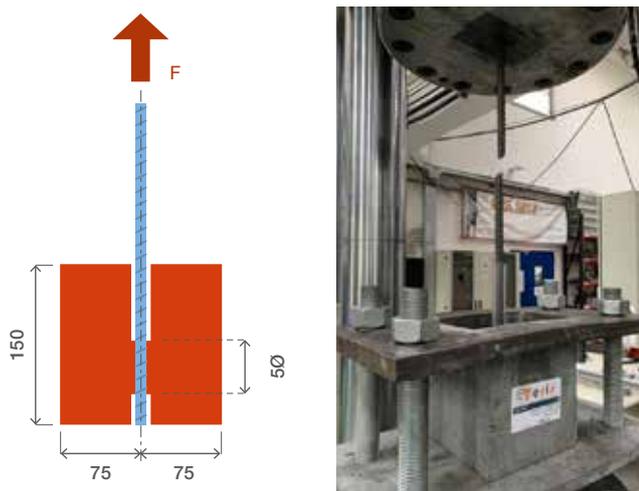


Figura 23

Prova pull-out (RILEM-CEB RC6). Rottura a trazione delle barre ancorate nel COMPOSITE M130

Da questo punto di vista, il Prodotto COMPOSITE M130 è stato testato con prove di pull-out secondo RILEM-CEB RC6 (Figura 23), "Beam-test" secondo la norma UNI EN 10080 (Figura 24) e di "Tension stiffening" (Figura 25).

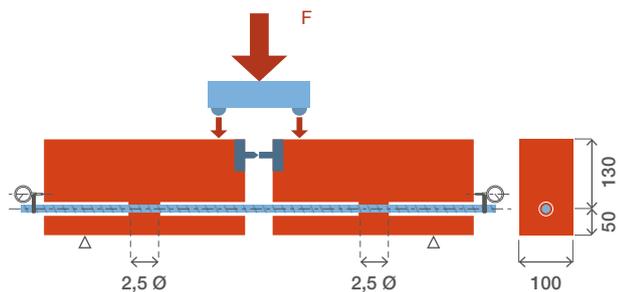


Figura 24

Prova Beam-test (UNI EN 10080)

Tutte le prove condotte hanno restituito valori di tensione di aderenza maggiori di 35 MPa per COMPOSITE M130 (con valori fino a circa 50 MPa) e di 20 MPa per COMPOSITE TIXO.

Inoltre, sia la prova pull-out che quella beam-test hanno dimostrato che con una lunghezza di ancoraggio di soli 5 diametri si raggiunge lo snervamento e la rottura delle barre di armatura prima che avvenga qualsiasi sfilamento dal COMPOSITE M130.



Figura 25

Prove di "Tension stiffening"

Infine, prove di sfilamento delle barre di acciaio condotte secondo UNI EN 1881 hanno evidenziato, in corrispondenza di un carico di 75 kN, valori di sfilamento inferiori ai 450 µm per COMPOSITE M130 ed inferiori ai 600 µm per COMPOSITE TIXO.



Figura 26

Link alla pubblicazione sulle prove di aderenza al calcestruzzo



UTILIZZI ED APPLICAZIONI

In virtù delle loro caratteristiche e prestazioni, i prodotti della famiglia COMPOSITE risultano estremamente versatili, sia negli interventi di riparazione e rinforzo di strutture esistenti che nell'ottimizzazione delle sezioni resistenti di nuovi elementi strutturali (si pensi ad esempio alla possibilità di realizzare elementi prefabbricati altamente prestazionali, dagli spessori contenuti e dal ridotto numero di armature).

Proprio nell'ambito del rinforzo strutturale, soprattutto con riferimento alle strutture ubicate in zone sismiche, i prodotti della famiglia COMPOSITE risultano particolarmente indicati per le diverse tipologie di intervento previste dalle attuali Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC18) e dalla relativa Circolare Esplicativa, quali:

- **Riparazioni o Interventi Locali** che interessino elementi isolati (travi, pilastri, architravi, porzioni di solaio, ecc...) recanti un danno localizzato, uno stato di degrado o una carenza statica tali da renderli non più adeguati alla loro funzione strutturale.
- **Interventi di Miglioramento Sismico**, atti a incrementare la resistenza e/o la duttilità dei singoli elementi o parti strutturali di una struttura esistente.
- **Interventi di Adeguamento Sismico**, finalizzati a incrementare le prestazioni "sismiche" di una struttura esistente fino al raggiungimento dello stesso livello di sicurezza previsto dalle NTC18 per una nuova costruzione avente le stesse funzionalità.

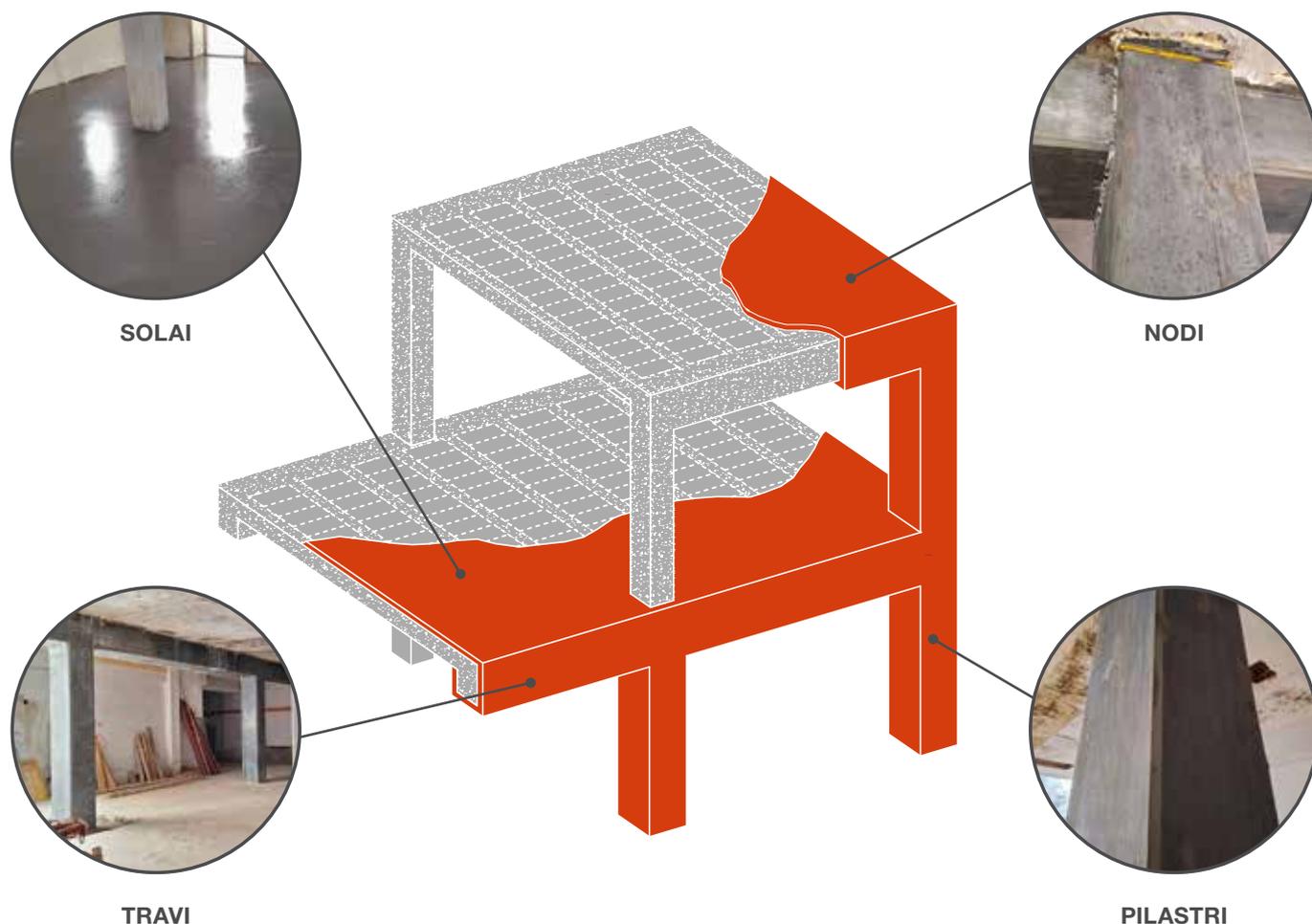


Figura 27

Principali applicazioni COMPOSITE in interventi strutturali su costruzioni in c.a.

Le elevate prestazioni dei prodotti COMPOSITE consentono di realizzare interventi caratterizzati da spessori molto contenuti.

Di conseguenza, a fronte di elevati incrementi di resistenza vi sono limitati incrementi di massa (e quindi di forze sismiche).

Nell'ambito degli interventi sopra menzionati, relativi sia a strutture edilizie di vario genere (residenziale, commerciale, industriale) che ad infrastrutture (ponti e viadotti), è possibile ottenere molteplici benefici (Figura 27 e Figura 28).

Interventi su Travi, Pilastri/Setti, Pile e Pulvini:

- Incremento della capacità portante in termini di sforzo Normale (N), Momento flettente (M) e Taglio (V).
- Aumento della duttilità di sezione del singolo elemento e della duttilità complessiva della struttura.
- Incremento della durabilità dell'opera.

Interventi su Solai e Solette:

- Aumento della capacità portante
- Riduzione delle deformazioni
- Realizzazione di orizzontamenti rigidi nel piano

Interventi sui Nodi Trave – Pilastro:

- Incremento della resistenza e del confinamento.
- Possibilità di ripristinare o garantire i principi Gerarchia delle Resistenze.

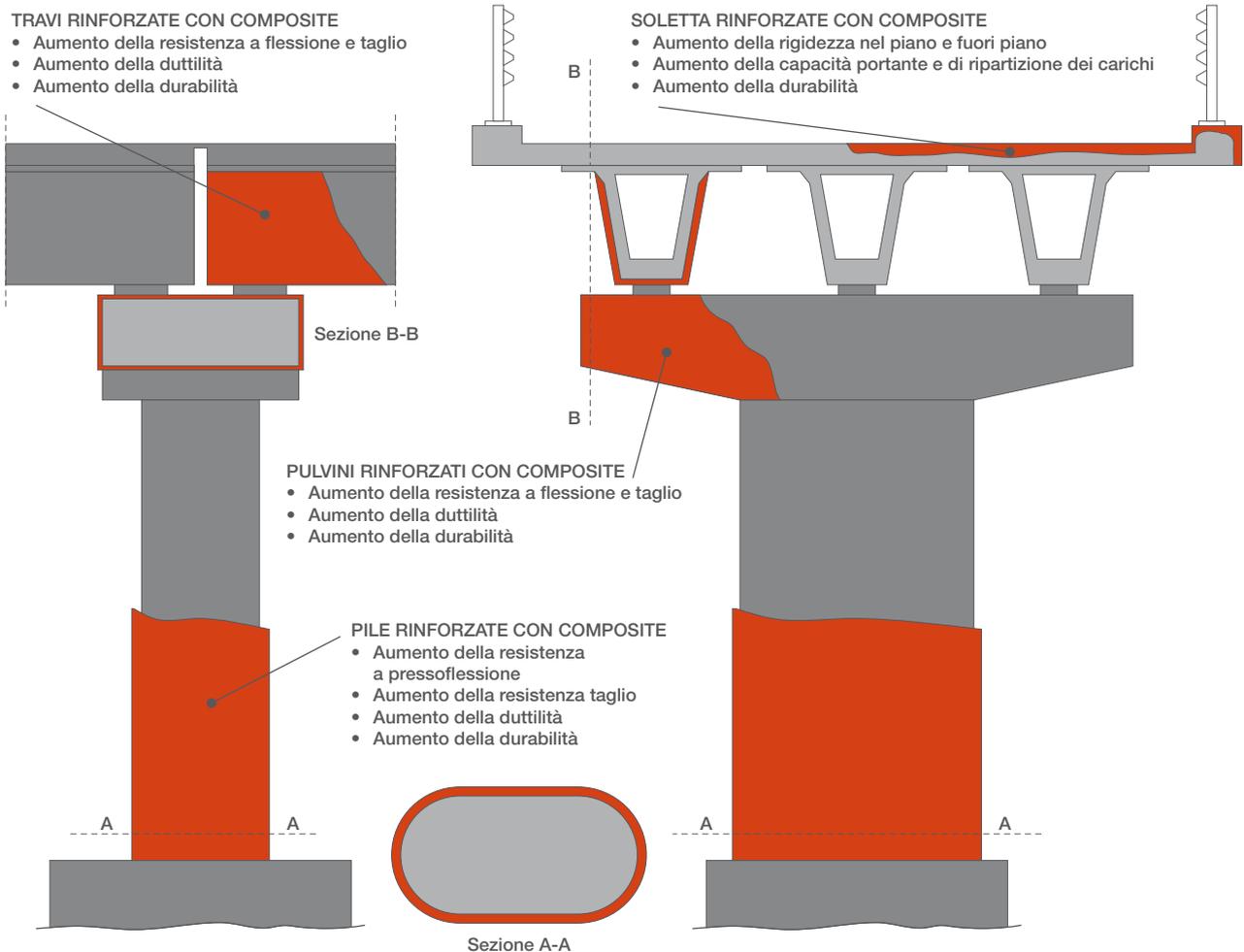


Figura 28

Applicazione di rinforzi con prodotti COMPOSITE in ambito infrastrutturale.

POSA IN OPERA

Per le procedure di posa in opera occorre sempre fare sempre riferimento alla documentazione di progetto, trovando un valido supporto nella documentazione tecnica dei singoli Prodotti. In generale, le principali fasi della posa in opera sono le seguenti.

PREPARAZIONE DEL SUPPORTO

Mettere in sicurezza la struttura o l'elemento strutturale. Rimuovere con cura ogni parte incoerente dalle superfici oggetto d'intervento, asportando l'eventuale strato di calcestruzzo degradato.

Irruvidire il supporto mediante sabbiatura, idroscarifica, o scarifica meccanica (Figura 29) in modo da conseguire una rugosità superficiale media di almeno 5 mm.

Al termine del processo, il supporto deve essere pulito, privo di polvere, parti friabili e sostanze che possono pregiudicare l'adesione del prodotto COMPOSITE.

Rimuovere accuratamente la ruggine presente sulle eventuali armature portate a vista ed applicare il prodotto passivante STRUCTURE PROTECT di General Admixtures (conforme alla norma EN 1504-7, per il quale si rimanda alla relativa Scheda Tecnica).

Lavare accuratamente le superfici di contatto in modo da rimuovere tutti i residui delle precedenti lavorazioni e portare il supporto nella condizione satura a superficie asciutta (s.s.a.).



Figura 29

Preparazione del supporto.

CASSERATURA

Solo per gli interventi con COMPOSITE M130 a colare su superfici verticali, installare, secondo le indicazioni progettuali, opportune casseforme non assorbenti, ben pulite e trattate con opportuno Prodotto disarmante della Linea DEMOULD di General Admixtures.



Figura 30

Applicazione del Prodotto disarmante DEMOULD SP, specifico per getti facciavista.

I casseri devono essere rigidi, ben fissati ed a perfetta tenuta (applicare opportuna schiuma poliuretanic per sigillare le fughe), capaci di resistere alla spinta esercitata dal prodotto in fase fluida senza mostrare deformazioni o perdite di materiale (Figura 31). Particolare attenzione andrà posta nella parte inferiore del cassero (elemento pilastro), sottoposta alle pressioni maggiori. Si suggerisce, in caso di limitata rigidità della cassaforma, di cerchiarla mediante l'impegno di specifiche cravatte metalliche, da installare con un interasse non superiore ai 40 cm circa.



Figura 31
Casserature per elementi pilastro.

Nel caso delle travi (Figura 32), assicurare ai casseri una adeguata puntellatura capace di sostenere il peso del getto nella sua fase fresca.



Figura 32
Casseratura per elementi trave.

MISCELAZIONE

Prima di utilizzare il prodotto, leggere attentamente il relativo “Manuale di preparazione ed installazione” e la Scheda Tecnica.

La miscelazione può avvenire, alternativamente, mediante:

- 1) Mescolatore ad asse verticale o planetario Paddle Pan Mixer (Figura 33);
- 2) Mescolatore a bicchiere (betoniera).

L'impiego di un mescolatore ad asse verticale è raccomandato, in quanto comporta una migliore efficienza della miscelazione, in termini di tempi di mescolamento, omogeneità dell'impasto e quantitativo di componente liquida da aggiungere.

In ogni caso, si raccomanda di utilizzare mescolatori con capacità di impasto e potenza funzionali al quantitativo di materiale da miscelare.

Per il corretto dosaggio dei componenti, si raccomanda la disponibilità di una bilancia con portata minima di 30 kg e di contenitori/secchielli graduati.



Figura 33
Miscelatore tipo “planetario”, ad asse verticale.



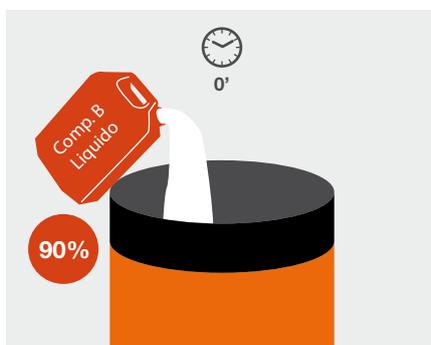
POSA IN OPERA

Miscelazione COMPOSITE M130

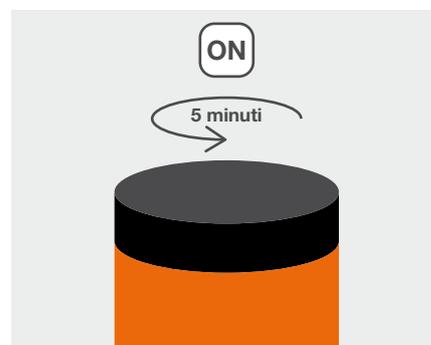
COMPONENTE		DOSAGGIO	
A	POLVERE	Circa 83 sacchi ogni m ³	
B	LIQUIDO	10,5÷11,0% in peso sul componente A	2,625÷2,75 kg ogni sacco di polvere
C	FIBRE METALLICHE	4,6% in peso sul componente A	1,15 kg ogni sacco di polvere



1) Introdurre circa il 65% di Componente A (polvere) nel miscelatore.



2) Versare circa il 90% di Componente B (liquido).



3) Avviare il miscelatore e mescolare per almeno 5 minuti fino al raggiungimento di un impasto omogeneo, coeso e privo di grumi.



4) Introdurre i rimanenti Componente A (polvere) e Componente B (liquido) mescolando per almeno 2 ulteriori minuti.



5) Inserire gradualmente il Componente C (fibre), continuando la miscelazione per almeno 2-3 minuti fino ad ottenere una dispersione omogenea delle fibre.



6) Scaricare il prodotto miscelato e trasportarlo ai punti di getto. Stendere lentamente in modo da favorire la fuoriuscita dell'aria inglobata.

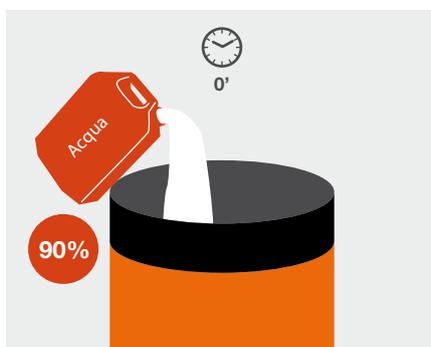
POSA IN OPERA

Miscelazione COMPOSITE TIXO

COMPONENTE		DOSAGGIO	
A	POLVERE	Circa 72 sacchi ogni m ³	
B	FIBRE METALLICHE	5,0% in peso sul componente A	1,25 kg ogni sacco di polvere
	ACQUA	15÷17% in peso sul componente A	3,75÷4,25 kg ogni sacco di polvere



1) Introdurre tutto il Componente A (polvere) nel miscelatore.



2) Versare circa il 90% dell'acqua prevista.



3) Avviare il miscelatore.



4) Introdurre progressivamente la rimanente acqua (10%), mescolando per almeno 5 minuti fino al raggiungimento di un impasto omogeneo, coesivo e privo di grumi.



5) Inserire gradualmente il Componente B (fibre), continuando la miscelazione per almeno 2-3 minuti fino ad ottenere una dispersione omogenea delle fibre.



6) Scaricare il prodotto miscelato e trasportarlo ai punti di applicazione (a mano). Per applicazioni a spruzzo trasferire nella relativa macchina.

APPLICAZIONE

L'applicazione di COMPOSITE M130 potrà essere eseguita per colaggio diretto sia direttamente sulla superficie di intervento (es. soletta di un solaio) che all'interno di cassature (Figura 34).

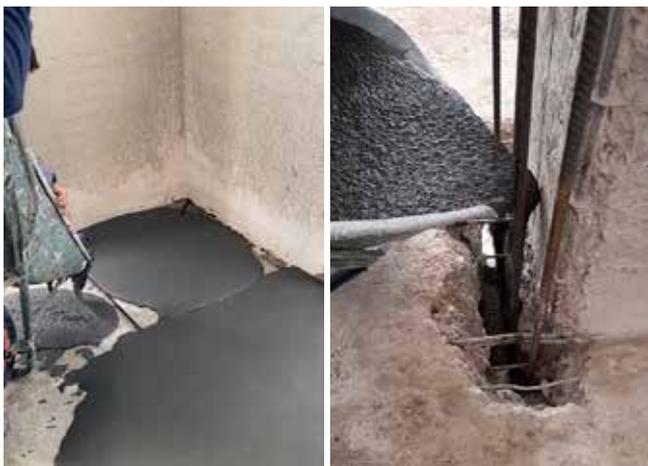


Figura 34

Getto del COMPOSITE M130 per colaggio.

Grazie alla sua reologia, il materiale può inoltre essere pompato anche a grande altezza/distanza, semplificando la logistica di cantiere (Figura 35).



Figura 35

Pompaggio del COMPOSITE M130 fino al piano di intervento, con rilevante semplificazione della logistica di cantiere.

Per getti di spessore ridotto o in sezioni ristrette, una lieve costipazione manuale (in forma di battitura dei casseri con martello) facilita il raggiungimento della massima compattezza in opera.

Sia il “*Manuale di Preparazione ed Installazione del Prodotto*” che la *Scheda Tecnica di Prodotto* contengono utili raccomandazioni da seguire durante la posa del materiale.

Per la posa in opera di COMPOSITE TIXO, è possibile procedere con applicazione manuale mediante cazzuola (utilizzando il metodo del rinzaffo), o meccanicamente, a spruzzo, con l'ausilio di una miscelatrice/spruzzatrice a pistone o coclea (Figura 36).



Figura 36

COMPOSITE TIXO è facilmente spruzzabile direttamente sulle superfici da rinforzate, senza l'ausilio di casseri.

L'applicazione può avvenire su supporti orizzontali, verticali e anche all'intradosso di strutture orizzontali. Terminata l'applicazione, il materiale potrà essere staggiato e frattazzato come una normale malta tixotropica strutturale (Figura 37).



Figura 37

COMPOSITE TIXO è frattazzabile, per ottenere una superficie liscia e uniforme.

STAGIONATURA

Come per tutti i materiali a base cementizia, dopo la posa in opera dei Prodotti COMPOSITE è necessario prevedere una adeguata stagionatura umida delle superfici. In questo modo si eviteranno eccessive perdite di acqua dal prodotto per evaporazione e si fornirà una ottimale condizione igrometrica per il corretto sviluppo delle prestazioni meccaniche e di durabilità.

Basterà mantenere le superfici bagnate per i primi giorni dopo il getto, nebulizzando periodicamente acqua sui getti o impiegando opportuni teli di protezione in polietilene o cellophane. Valide alternative sono l'avvolgimento degli elementi con un semplice cellophane (Figura 38) o la nebulizzazione (mano unica) di specifici prodotti anti-evaporanti della linea CURING.



Figura 38

Avvolgimento con cellophane.

In ogni caso è fondamentale la protezione delle applicazioni dal gelo, dall'esposizione diretta all'irraggiamento solare e dal vento (con particolare accortezza durante i climi caldi).

STOCCAGGIO IN CANTIERE E PRODOTTI DI SUPPORTO

Lo stoccaggio in cantiere dei Prodotti COMPOSITE non presenta particolari criticità, essendo sufficiente mantenere i singoli componenti nelle confezioni originali chiuse e perfettamente sigillate, in luogo protetto non esposto ai raggi solari o all'umidità, al riparo dal gelo o fonti di calore. Particolare attenzione dovrà chiaramente essere riservata ai sacchi contenenti la componente premiscelata, per i quali si dovranno evitare ambienti umidi.



Figura 39

Eseguire lo stoccaggio rispettando le indicazioni riportate in scheda tecnica.

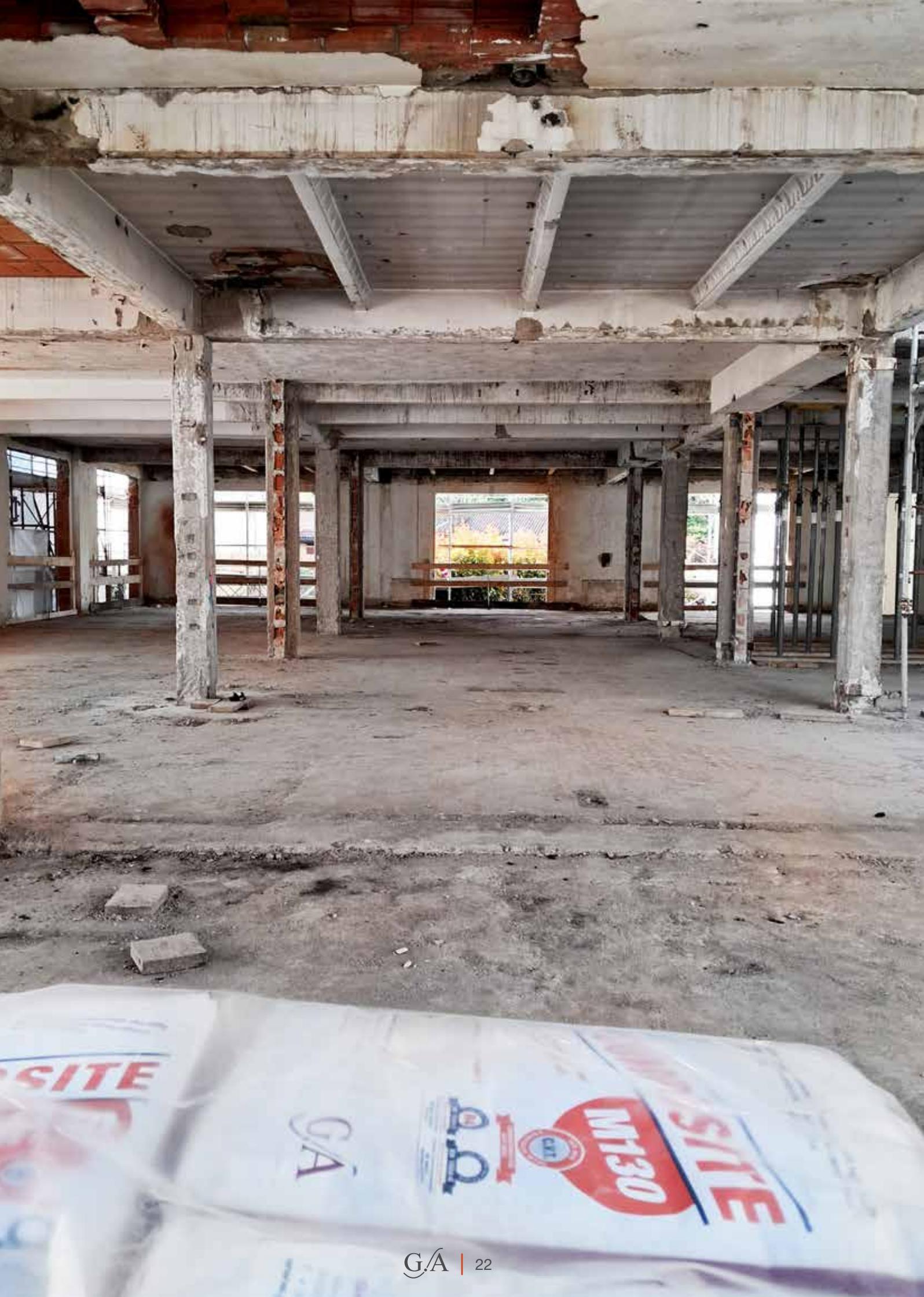
ASSISTENZA TECNOLOGICA

General Admixtures supporta Tecnici ed Imprese con un costante Servizio di Assistenza al Cantiere. Il nostro Personale di Laboratorio potrà fornire assistenza diretta alle Imprese al fine di trasmettere la necessaria esperienza per un corretto utilizzo dei Prodotti. Inoltre, grazie ai propri Laboratori Mobili, General Admixtures fornisce consulenza e supporto operativo durante i necessari Controlli di Qualità.



Figura 40

Confezionamento provini



SITE

GA



SITE

HPFRC COMPOSITE NEL CALCOLO STRUTTURALE

LEGAMI COSTITUTIVI

COMPOSITE M130 può essere prescritto con Classe di Resistenza superiore alla C70/85, potendo arrivare, in caso di necessità, fino alla massima classe attualmente ammessa dalle NTC2018, ossia la C90/105. Inoltre, in accordo con le Linee Guida FRC, per i calcestruzzi FRC come **COMPOSITE M130** che possiedono un valore di f_{R1k} superiore a 5 MPa, è possibile considerare, nel legame costitutivo in compressione definito nelle NTC2018 l'effetto benefico del confinamento passivo esercitato dalle fibre, consentendo l'adozione dei seguenti valori limite per i valori limite per le deformazioni ϵ_{c2} e ϵ_{cu} :

$$\epsilon_{c2} = 0.7(f_{cm})^{1/3} \cdot (1 + 0.03f_{R1k})$$

$$\epsilon_{cu} = \epsilon_{c2} + \frac{7 \cdot \epsilon_{c2}}{\sqrt{82 - 2.2 \cdot f_{R1k}}}$$

	C70/85	C80/95	C90/105
ϵ_{c2} [%]	3.71	3.86	4.00
ϵ_{cu} [%]	6.94	7.23	7.49

Questa peculiarità permette al **COMPOSITE M130** di risolvere una importante criticità tipica dei tradizionali calcestruzzi ad alte prestazioni: la "fragilità".

In compressione (Figura 41), il **COMPOSITE M130** presenta valori di deformazione ultima molto maggiori rispetto a quelli propri dei "tradizionali" calcestruzzi ad elevate prestazioni (HPC, High Performance Concrete). Per il calcolo della resistenza a compressione di progetto, nulla cambia nella procedura prevista dalle NTC2018 per i calcestruzzi ordinari:

$$f_{cd} = \frac{0.85 \cdot f_{ck}}{\gamma_C}$$

	C70/85	C80/95	C90/105
f_{cd} [MPa]	39.67	45.33	51.00

Al prodotto **COMPOSITE TIXO**, può essere attribuita una classe di resistenza massima a compressione pari a C55/67. Le deformazioni limite ϵ_{c2} e ϵ_{cu} possono es-

sere valutate mediante le espressioni di cui al punto 4.1.2.1.2 delle NTC2018, mentre la resistenza a compressione di progetto viene valutata con la formula vista in precedenza.

Risulta quindi:

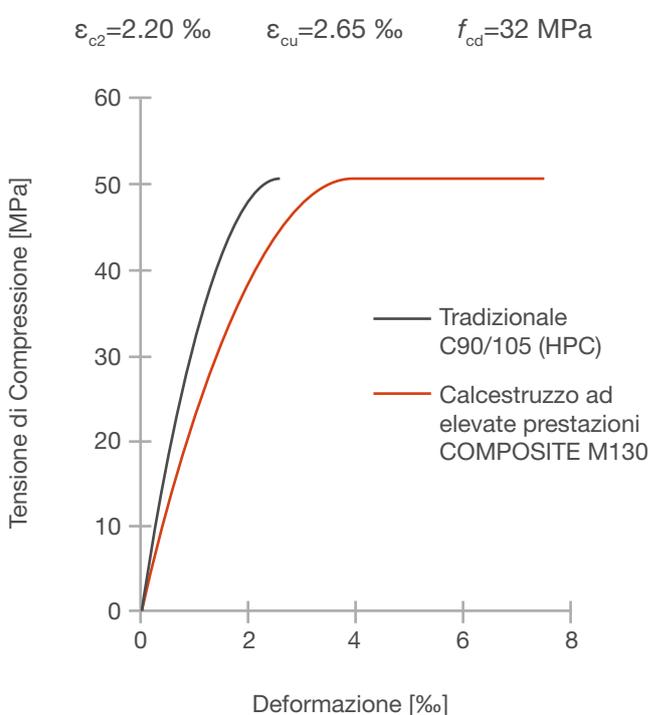


Figura 41

*Legame costitutivo di progetto in compressione del **COMPOSITE M130** per una classe C90/105.*

Al paragrafo 11.2.12 delle NTC2018 si stabilisce che la caratterizzazione della capacità di resistenza a trazione dei calcestruzzi fibrorinforzati debba avvenire attraverso due specifici valori della resistenza a trazione residua determinati mediante prove di flessione secondo UNI EN 14651: $f_{R1,k}$ ed $f_{R3,k}$.

In fase progettuale, tali valori possono essere desunti direttamente dalla classe di duttilità dichiarata attraverso le modalità previste dalle Linee Guida FRC.

Per **COMPOSITE M130** (classe di duttilità "8b"), tali valori risultano:

$$f_{R1k} = 8.0 \text{ MPa} \quad f_{R3k} = 5.6 \text{ MPa}$$

Per le verifiche allo Stato Limite Ultimo, la resistenza post-fessurativa a trazione dell'HPFRC (assente nel calcestruzzo ordinario) può essere considerata attraverso un modello rigido-plastico (Figura 42).

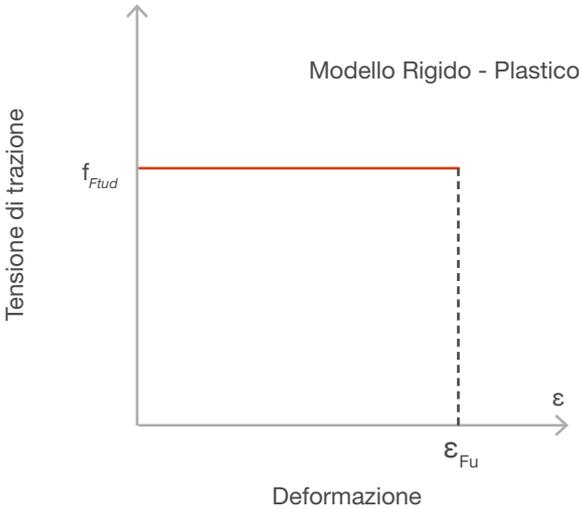


Figura 42
Legame costitutivo rigido-plastico a trazione.

Detto modello risulta univocamente determinato attraverso la conoscenza di due soli parametri, ovvero la resistenza a trazione residua di progetto f_{Ftud} e la deformazione ultima ϵ_{Fu} .

Il valore di resistenza a trazione f_{Ftud} si può calcolare come:

$$f_{Ftud} = \frac{f_{Ftuk,ef}}{\gamma_F} = \frac{1}{\gamma_F} \cdot \left(K_0 \cdot K_G \cdot \frac{f_{R3k}}{3} \right)$$

dove $f_{Ftuk,ef}$ rappresenta il valore efficace di resistenza a trazione per verifiche SLU e γ_F è il fattore parziale di sicurezza per la resistenza a trazione di elementi fibrorinforzati.

Il coefficiente di orientamento K_0 considera appunto l'orientamento delle fibre rispetto alla direzione in cui si stanno verificando le tensioni.

Tale coefficiente si può assumere $K_0=1.00$ in tutte le direzioni per la verifica di elementi lineari (Linee Guida FRC) e in ogni caso, $K_0=1.00$ se il materiale ha una consistenza fluida (UNI EN 1992-1 - 1:2024).

Il coefficiente di iperstaticità $K_G \geq 1$ considera la riduzione della variabilità nella distribuzione delle fibre all'aumentare del volume di frattura. Per gli interventi di rinforzo in cui gli spessori di applicazione sono limitati, a favore di sicurezza si suggerisce $K_G=1.00$.

In definitiva quindi, assumendo un coefficiente parziale di sicurezza $\gamma_F=1.50$, si arriva ad ottenere una resistenza residua a trazione di $f_{Ftud}=1.25$ MPa.

Infine, in merito alla deformazione ultima ϵ_{Fu} , per il COMPOSITE M130 si potrà assumere il valore $\epsilon_{Fu}=2\%$.

In aggiunta ai molti vantaggi tecnici ed applicativi descritti nelle pagine precedenti, va ricordato che **COMPOSITE M130 può sostituire (totalmente o solo in parte) l'armatura tradizionale** in quanto è rispettata la condizione prevista nelle Linee Guida FRC:

$$f_{R1k} = 8 \text{ MPa} > 0.1(f_{ck})^{2/3} = 2.00 \text{ MPa}$$

Ne consegue la possibilità di realizzare camicie e/o lastre di spessore molto contenuto, ottimizzando e riducendo l'armatura tradizionale, con un notevole risparmio in termini di tempi e costi.

INCAMICIATURE IN BASSO SPESSORE: ANALISI SEZIONALE E IPOTESI DI CALCOLO

In accordo con quanto riportato al punto C8.7.4.2. della Circolare Applicativa delle NTC2018, si assume che l'elemento incamiciato si comporti monoliticamente, con perfetta aderenza tra il calcestruzzo esistente e la camicia di rinforzo.

Per i meccanismi duttili, le resistenze di progetto del calcestruzzo e dell'acciaio esistente sono ottenute a partire dai valori medi risultanti dalle prove eseguite in sito, divisi per il fattore di confidenza FC corrispondente al livello di conoscenza raggiunto.

$$f_{cd,ex} = \frac{f_{cm,ex}}{FC} \quad f_{yd,ex} = \frac{f_{ym,ex}}{FC}$$

Le verifiche nei confronti dei meccanismi fragili vanno invece condotte considerando i seguenti valori di progetto per le resistenze dei materiali esistenti

$$f_{cd,ex} = \frac{f_{cm,ex}}{FC \cdot \gamma_C} \quad f_{yd,ex} = \frac{f_{ym,ex}}{FC \cdot \gamma_S}$$

Valgono ovviamente le classiche ipotesi alla base dell'analisi sezionale del calcestruzzo armato (conservazione delle sezioni piane, perfetta aderenza tra i materiali e legami costitutivi secondo DM 14/01/2018).

A quanto elencato sopra, si aggiungono le ipotesi di calcolo aggiuntive riportate nelle Linee Guida FRC, specifiche dei calcestruzzi fibrorinforzati: si assume che la rottura della sezione per tensioni normali avvenga, oltre che per le condizioni usuali, anche nel caso di raggiungimento della massima deformazione di compressione (ϵ_{cu}) o di trazione (ϵ_{Fu}) nel HPFRC.

Al punto C8.7.4.2.1 la circolare propone, per le “tradizionali” incamiciature in c.a. un metodo di calcolo semplificato che consiste nell’estendere le proprietà meccaniche del calcestruzzo della camicia all’intera sezione in modo da avere una sezione costituita da un unico materiale. In questo modo il calcolo delle sollecitazioni resistenti M_{Rd} e V_{Rd} potrà eseguirsi agevolmente. Per tener conto dell’ipotesi semplificativa adottata, detti valori andranno poi ridotti di un 10% (ossia moltiplicando i risultati ottenuti per un coefficiente 0,9). Purtroppo questa metodologia semplificata può essere applicata solo quando le differenze fra le proprietà meccaniche dei due materiali (camicia e calcestruzzo originario) non sono eccessive. Questo non risulta verosimile per il caso in esame, particolarmente nel caso delle camicie di COMPOSITE M130.

RESISTENZA A PRESSOFLESSIONE

Non potendo utilizzare il metodo di calcolo semplificato appena descritto, è necessario eseguire un calcolo più accurato della sezione, che tenga in debita considerazione la differenza prestazionale dei diversi materiali. Una possibile soluzione per il calcolo delle resistenze alla pressoflessione è l’applicazione di un modello “a fibre”, nel quale, a seconda della posizione nella sezione, ciascuna “fibra” sarà caratterizzata da un determinato legame costitutivo e quindi da una determinata risposta ad una deformazione (piana) della sezione stessa. Analogamente, tale metodo permette di considerare eventuali differenze di prestazioni tra l’acciaio esistente e quello integrativo. In Figura 43 si riporta quindi una possibile distribuzione delle tensioni normali in una sezione pressoinflessa rinforzata con COMPOSITE M130.

Ovviamente questo metodo presenta un onere computazionale tale che obbliga il ricorso a software di calcolo dedicati. A tale riguardo la Divisione Ingegneria di General Admixtures S.p.A. ha sviluppato lo specifico software **STRUCTURE.4R gratuitamente scaricabile** dal sito web www.gageneral.com.

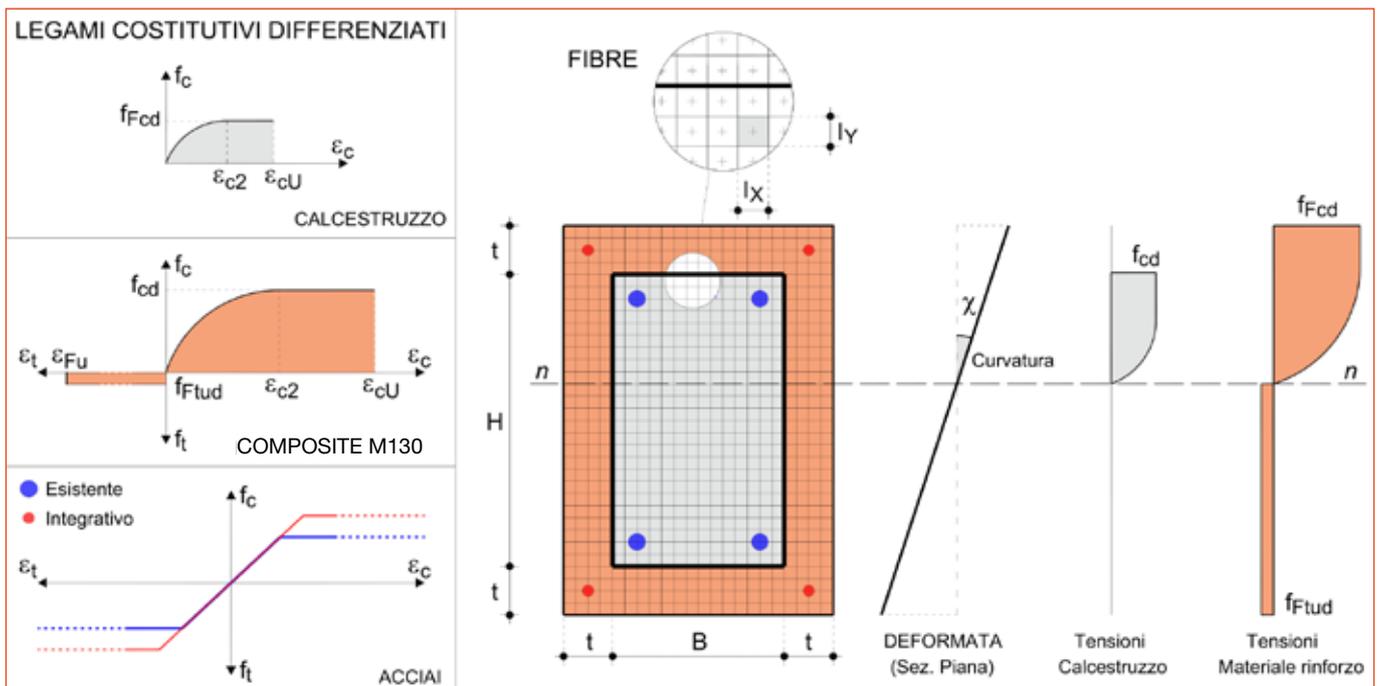


Figura 43
 Analisi a fibre di una sezione in c.a. rinforzata con COMPOSITE M130. Andamento delle deformazioni e delle tensioni in una sezione pressoinflessa

RESISTENZA A TAGLIO: MODELLI DI RESISTENZA

Consolidate indicazioni della letteratura scientifica suggeriscono di schematizzare la camicia esterna in materiale fibrorinforzato (HPFRC) come una “staffatura equivalente”:

- Beschi, C., Metelli, G., & Riva, P. (2011). Retrofitting of beam-column exterior joint with HPFRC jacketing. In: *Proceedings of the 2nd edition of ACI Italy Chapter Workshop: The new boundaries of structural concrete*.
- Del Zoppo, M., Di Ludovico, M., & Prota, A. (2019). Shear capacity models for RC columns with FRCC jacketing. In *Proceedings of COMPDYN2019 (analogia con l'approccio di calcolo di cui al Documento CNR-DT 215)*

Tale approccio consiste nel sommare il contributo offerto dalla camicia di COMPOSITE M130 a quello offerto dalle staffe esistenti o integrative, andando ad incrementare la capacità delle bielle tese nel classico modello di resistenza a taglio (traliccio ad inclinazione variabile) adottato dalle attuali NTC18.

Una conferma di tale approccio si ha anche da quanto riportato nell'Eurocodice 2 (2024), dove benché le verifiche a taglio per elementi in calcestruzzo siano riferite a elementi interamente in FRC, viene utilizzato un approccio additivo tra contributo delle fibre e contributo delle staffe, a meno di alcuni fattori di combinazione η_{sw} e η_F .

In accordo con il documento di background dell'Eurocodice 2, questi fattori di combinazione in via cautelativa sono assunti inferiori all'unità ($\eta_{sw}=0,75$ e $\eta_F=1,00$), nonostante, come menzionato nello stesso documento, vi siano in letteratura alcune evidenze che entrambi possano essere assunti pari ad 1,00.

Ne consegue che la resistenza a taglio V_{Rd} di una sezione rinforzata con HPFRC può essere assunta come la minore tra la resistenza a taglio offerta dal calcestruzzo V_{Rcd} (calcolata secondo le NTC2018) e la resistenza a taglio offerta dalle staffe e dalla camicia di COMPOSITE M130, indicata come $V_{Rsd,INT}$ e ottenuta

$$V_{Rsd,INT} = \eta_{sw} (V_{Rsd,ex} + V_{Rsd,new}) + \eta_F V_{RFd} \\ \geq V_{Rsd,ex} + V_{Rsd,new}$$

come:

dove $V_{Rsd,ex}$ è il contributo di resistenza a taglio delle staffe esistenti e $V_{Rsd,new}$ quello delle staffe integrative se presenti, entrambi calcolati secondo NTC2018.

Il contributo di resistenza a taglio dato dalla camicia può essere assunto come:

$$V_{RFd} = 0.9 \cdot d \cdot t \cdot f_{Ftud} \cdot \cot \theta$$

dove t è lo spessore del rinforzo di COMPOSITE M130 capace di contrastare l'azione di taglio (tipicamente il doppio dello spessore della camicia) e f_{Ftud} è il valore di progetto della resistenza residua a trazione per verifiche SLU. L'angolo θ rappresenta l'angolo di inclinazione del puntone di calcestruzzo (da determinarsi in accordo con le attuali NTC18), mentre d è l'altezza utile della sezione.

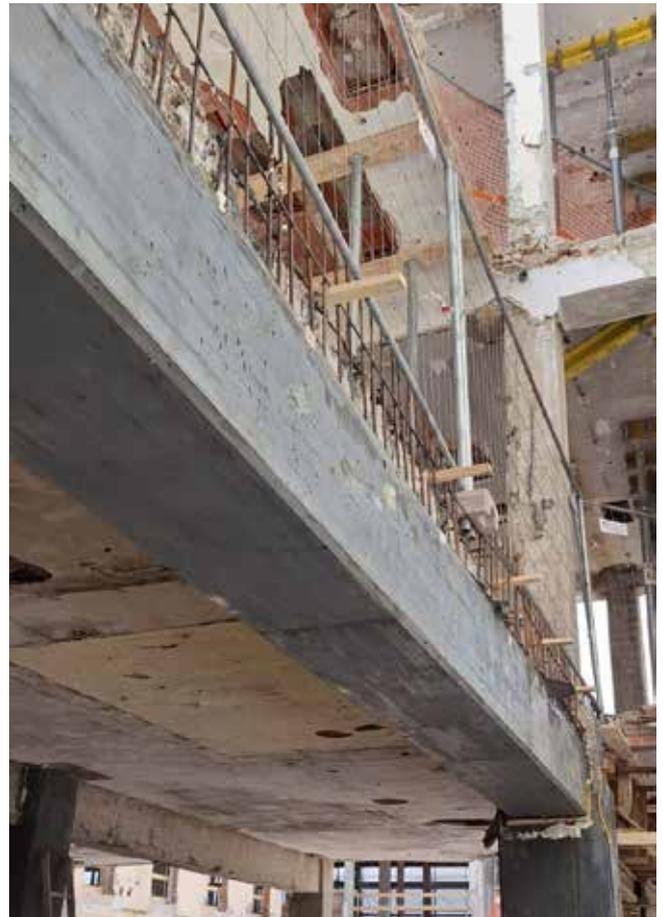


Figura 44

Rinforzo a flessione e taglio di una trave in c.a. mediante incamiciatura con COMPOSITE M130.

SOFTWARE DI CALCOLO STRUCTURE.4R

Per agevolare le verifiche strutturali ed il lavoro del progettista, General Admixtures mette a disposizione gratuitamente il software per l'analisi sezionale **STRUCTURE.4R**.

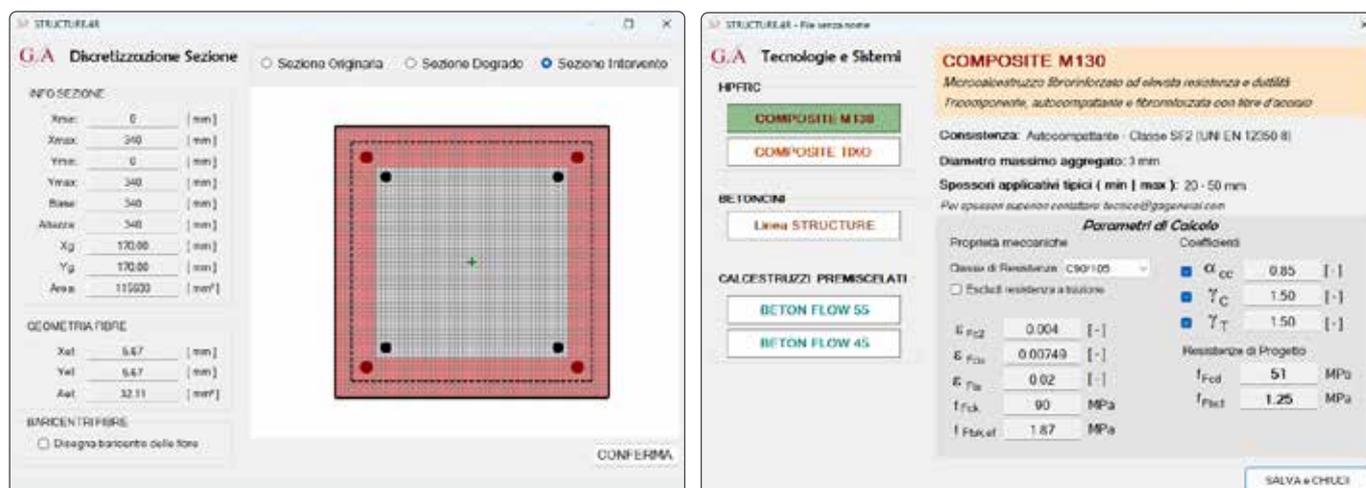


Figura 45

Software STRUCTURE.4R, specifico per l'analisi delle sezioni rinforzate corticalmente con Prodotti a base cementizia, tra cui gli HPFRC della linea COMPOSITE.

Il software, attraverso una discretizzazione a fibre della sezione e l'implementazione dei legami costitutivi conformi alla vigente normativa permette l'analisi accurata di sezioni esistenti in c.a. rinforzate con incamicature corticali.

Di seguito le principali potenzialità del software:

- Analisi di sezioni di diverse forme;
- Possibilità di inserire le prestazioni meccaniche di calcestruzzi ed acciai esistenti derivanti da prove in situ;
- Diverse tipologie di materiali per rinforzo;
- Inserimento puntuale delle armature esistenti ed integrative, con possibilità di rappresentare anche sezioni con armature non simmetriche;
- Inserimento di staffe esistenti ed integrative;
- Possibilità di inserire situazioni di degrado del calcestruzzo e dell'acciaio esistente;
- Verifiche a flessione;
- Verifiche a pressoflessione retta e deviata;

- Verifiche a flessione e pressoflessione retta in campo sostanzialmente elastico (strutture non dissipative);
- Verifiche a taglio, semplice e combinato in due direzioni;
- Costruzione dei diagrammi momento-curvatura e calcolo del fattore di duttilità in curvatura;
- Esportazione di relazione modificabile;
- Esportazione di voci di capitolato

Di seguito il link per il download gratuito del software:



Figura 46

Link per il download gratuito del software STRUCTURE.4R

INTERVENTI DI RINFORZO STRUTTURALE CON COMPOSITE

Per dare evidenza delle potenzialità, della versatilità e dell'efficacia dei rinforzi eseguiti con COMPOSITE M130, si ipotizzano una serie di interventi di incamicatura in basso spessore per il semplice edificio in calcestruzzo armato ordinario rappresentato in Figura 47.

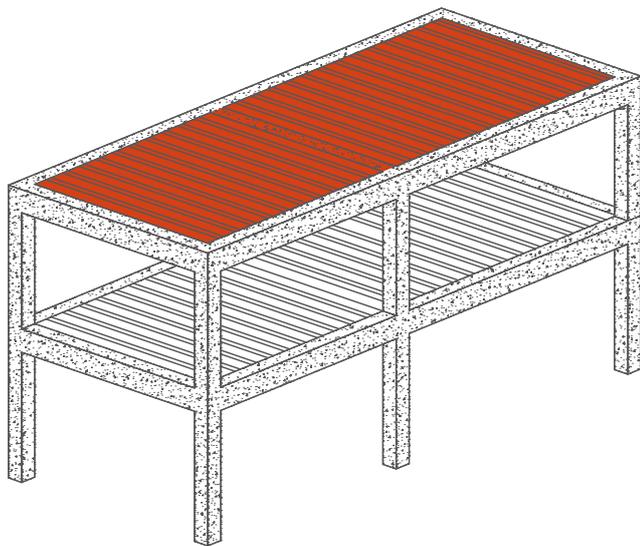


Figura 47
Caso studio.

In accordo con le NTC2018 e la relativa Circolare Applicativa, si ipotizza la realizzazione di una campagna di prove sui materiali e sulla struttura (rilievo) utile a conseguire un livello di conoscenza LC2 (FC = 1.20). Si suppone che dai risultati dei campionamenti sui materiali, si siano ottenute le seguenti resistenze medie:

- Compressione delle carote di calcestruzzo
 $f_{cm} = 18 \text{ MPa}$
- Trazione delle barre di armatura (longitudinali e staffe) $f_{sym} = 420 \text{ MPa}$

Le indagini di rilievo dei dettagli costruttivi e della posizione delle armature hanno permesso di ricostruire le geometrie delle sezioni come indicato in Figura 48.

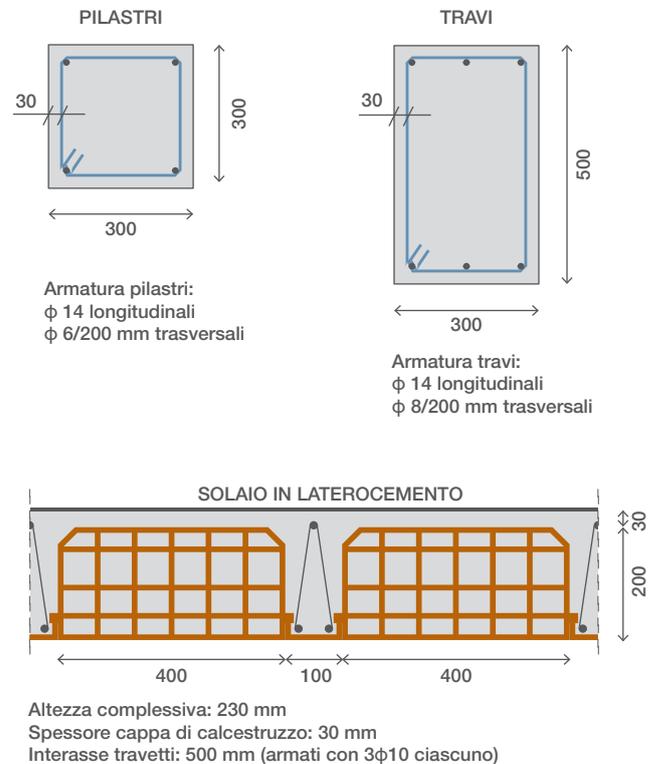


Figura 48
Caso studio.

Si prevede la realizzazione di un intervento di **incamicatura con COMPOSITE M130 in basso spessore dei pilastri e delle travi, nonché la realizzazione di una cappa collaborante** (sempre in basso spessore) di rinforzo estradossale dei solai.

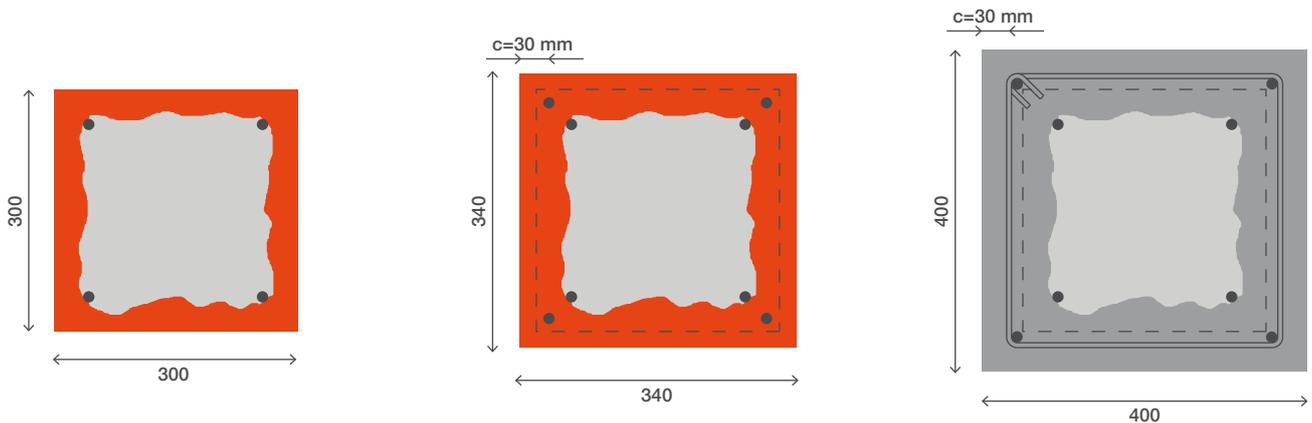
Scopo degli interventi su travi e pilastri è quello di incrementarne:

- Resistenza a pressoflessione
- Resistenza a taglio
- Duttilità

Il rinforzo del solaio ha invece lo scopo di aumentarne la capacità portante e la rigidità, sia nel piano (diaframma rigido) che fuori dal piano (limitazione delle deformazioni).

RINFORZO A PRESSOFLESSIONE DEI PILASTRI

Il primo intervento ipotizzato consiste in un rinforzo a pressoflessione dei pilastri. Si analizzano due diverse soluzioni tecniche con COMPOSITE M130 (soluzione A e B) e una soluzione di riferimento più tradizionale, realizzata con calcestruzzi ordinari (soluzione C). Per tutti i casi in esame si assume che il copriferro (30 mm) sia deteriorato, e che quindi venga rimosso durante le operazioni di scarifica della superficie del pilastro.



SOLUZIONE A

Ripristino del copriferro esistente ammalorato ($c=30$ mm) con COMPOSITE M130, mantenendo invariate le dimensioni del pilastro

SOLUZIONE B

Camicia a basso spessore ($s=50$ mm) di COMPOSITE M130, con incrementi di dimensioni contenuti (solo 4 cm per lato) e armatura di collegamento ($4\phi 16$)

SOLUZIONE C

Camicia ($s=80$ mm) in calcestruzzo tradizionale C35/45 e armatura longitudinale integrativa ($4\phi 16$). Notevole incremento di dimensione del pilastro (10 cm per lato)



Figura 49

Incamicature in basso spessore di pilastri in c.a. con COMPOSITE M130

RISULTATI

I risultati delle analisi ottenuti dal software STRUTTURE.4R sono riportati in Figura 50. Data la simmetria della sezione, i risultati si riferiscono sia alla direzione X che alla direzione Y.

Si può facilmente notare come già semplicemente “ripristinando” il copriferro dei pilastri con COMPOSITE M130 si abbiano notevoli incrementi di capacità, con l’area sottesa dalla curva N-M che diventa 2.8 volte maggiore di quella del pilastro esistente (nessuna ar-

matura integrativa). Si può infine notare come la soluzione B (camicia di COMPOSITE M130 in basso spessore) produca risultati migliori di quelli ottenibili con una soluzione tradizionale (Soluzione C), con il vantaggio di avere incrementi di sezioni molto più ridotti.

Si ricorda inoltre come il software STRUTTURE.4R sia in grado di condurre verifiche a pressoflessione deviata utilizzando l’espressione riportata al punto 4.1.2.3.4.2 del D.M. 17 gennaio 2018 (formula di Bresler).

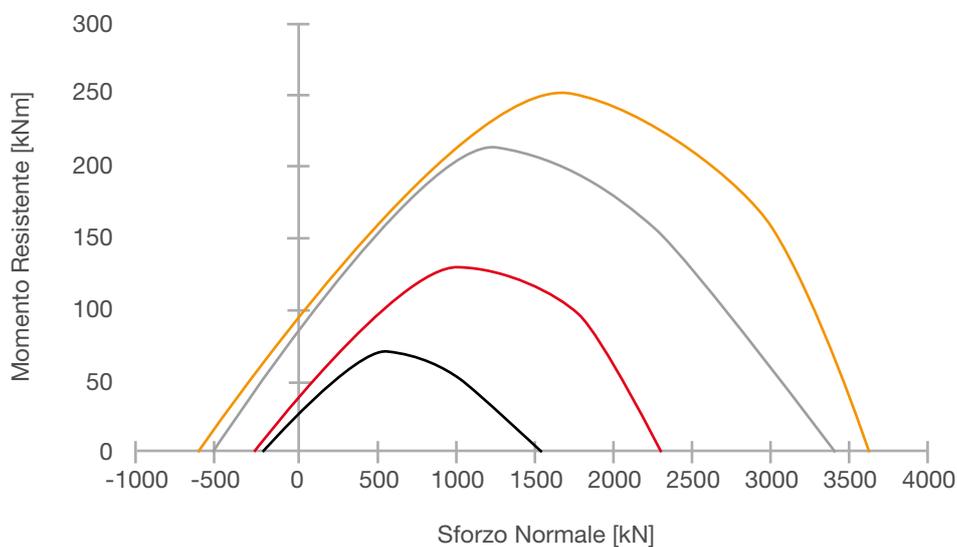


Figura 50

Domini M-N per le sezioni dei pilastri soggetti a pressoflessione retta.

Un secondo vantaggio nell’utilizzo di COMPOSITE M130 per l’incamiciatura di pilastri è l’incremento di duttilità che si può raggiungere nel comportamento sezionale degli elementi. Una struttura duttile è fondamentale, soprattutto in zona sismica, perché le rotture “fragili” (opposte alle rotture duttili) avvengono improvvisamente senza segni premonitori che consentano di intervenire. Inoltre la duttilità “di sezione” consente la formazione delle cerniere plastiche nella struttura, che può quindi dissipare energia sismica, prevenendo rovinosi collassi. La duttilità di una struttura dipende da quella delle sezioni dei singoli elementi strutturali e

quest’ultima è strettamente legata al cosiddetto “Diagramma Momento-Curvatura” (Figura 51). Tale diagramma evidenzia da un lato la “massima” resistenza a flessione che la sezione è in grado di sostenere per una certa condizione di carico (Sforzo Normale agente), dall’altro la sua capacità di deformarsi prima di arrivare a rottura.

In Figura 51 sono quindi rappresentati i diagrammi Momento-Curvatura relativi ad un carico assiale di 800 kN, per le Soluzioni Tecniche di intervento nel caso studio in esame.

INTERVENTI DI RINFORZO STRUTTURALE CON COMPOSITE

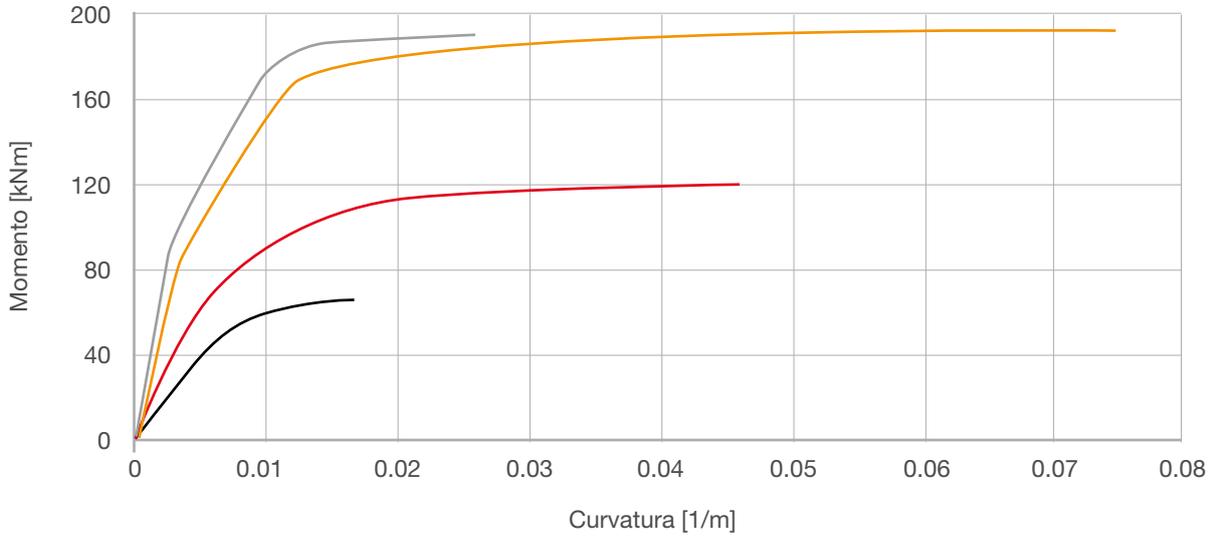


Figura 51
Diagrammi Momento-Curvatura

Si può osservare che, per il valore dello sforzo normale stabilito, gli interventi effettuati con COMPOSITE M130 determinano curvature ultime significativamente maggiori dell'intervento tradizionale, e, in ogni caso, gli incrementi di capacità e duttilità rispetto alla sezio-

ne esistente offerti dagli interventi con il micro-calcestruzzo fibrorinforzato sono significativi. Tali incrementi possono essere misurati calcolando il fattore di duttilità con il software STRUCTURE.4R.

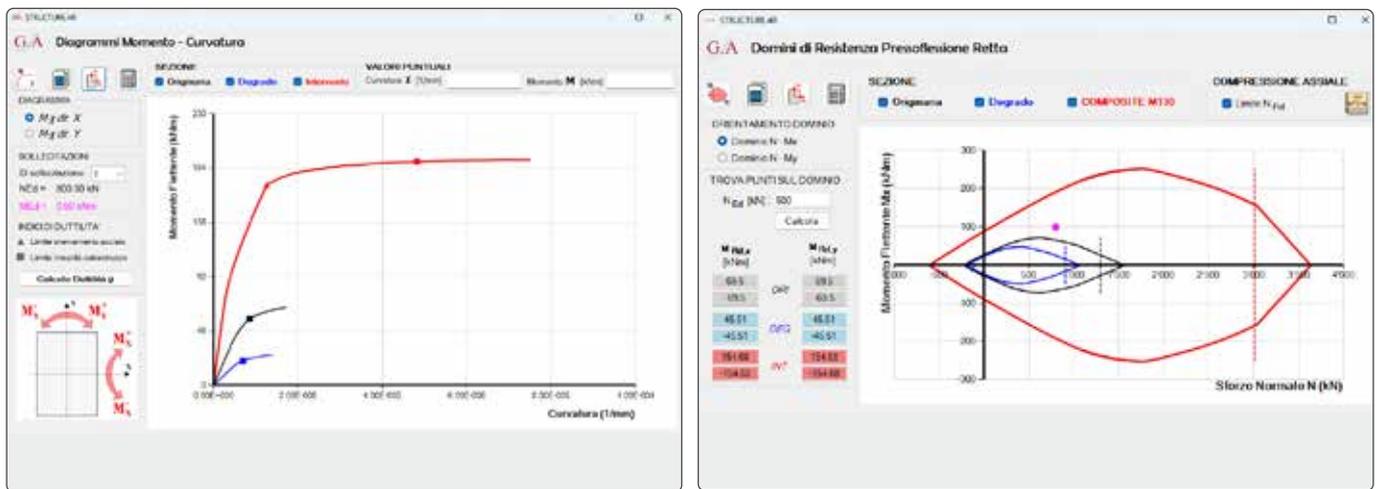


Figura 52
Finestra del software STRUCTURE.4R.

RINFORZO A TAGLIO DI TRAVI E PILASTRI

Si vuole evidenziare l'incremento di resistenza a taglio ottenibile con la realizzazione di un'incamiciatura con i prodotti COMPOSITE, nelle travi e nei pilastri del caso studio in oggetto. Con riferimento al rinforzo dei pilastri si analizzano di seguito le soluzioni A e B proposte nelle pagine precedenti.

Con riferimento al rinforzo delle travi, si propongono invece due diverse Soluzioni Tecniche, illustrate in Figura 53 e Figura 54.

La prima soluzione prevede la realizzazione di una camicia in COMPOSITE M130, realizzata tramite colatura all'interno di casseri, utilizzando alcuni fori realizzati all'estradosso del solaio. Opportune staffe di collegamento vengono poi collocate per garantire la continuità della trasmissione degli sforzi di trazione (Figura 53).

A seconda che sia previsto o meno anche il rinforzo del solaio in laterocemento, gli spezzoni di collegamento potranno essere ripiegati sopra la cappa di calcestruzzo esistente (Ipotesi 1 di Figura 53) o inghisati nel solaio con prodotto ancorante STRUCTURE BOND VB (Ipotesi 2 di Figura 53).

La seconda soluzione prevede invece la realizzazione di una camicia analoga in COMPOSITE TIXO. In questo caso vengono collocate sia delle armature longitudinali che staffe, ancorate all'estradosso del solaio (qualora sia in programma anche il rifacimento della cappa in c.a.) o inghisate all'intradosso con idoneo prodotto ancorante STRUCTURE BOND VB. (Figura 54). A differenza della prima soluzione, in questo caso non è necessario casserare la trave, potendo applicare COMPOSITE TIXO direttamente a spruzzo (con notevoli risparmi in termini di tempo e costi).

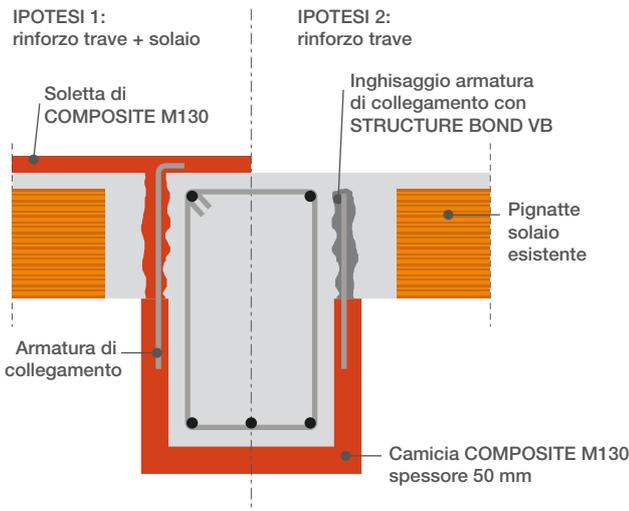


Figura 53
Soluzione Tecnica di rinforzo con camicia di COMPOSITE M130

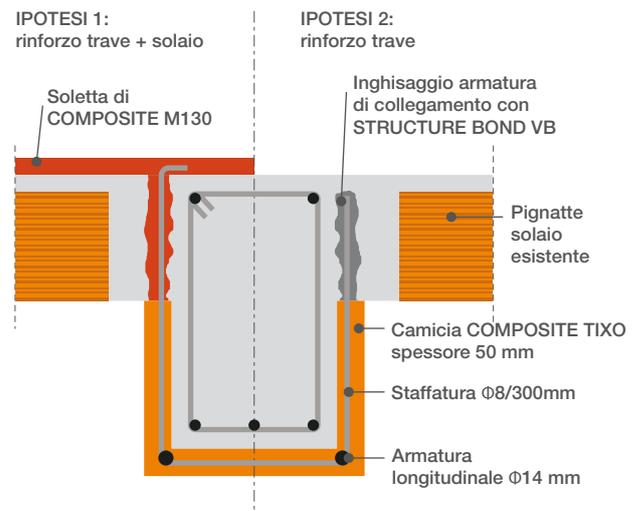


Figura 54
Soluzione Tecnica di rinforzo con camicia di COMPOSITE TIXO



Figura 55
Incamiciatura di rinforzo su una trave in c.a.

INTERVENTI DI RINFORZO STRUTTURALE CON COMPOSITE



- a) preparazione del supporto in calcestruzzo, con rimozione degli strati incoerenti e scarifica della superficie delle travi



- b) posizionamento staffe integrative, forando la cappa di calcestruzzo esistente ed installazione delle casseforme, previa bagnatura del supporto.



- c) getto di COMPOSITE M130 all'interno del cassero attraverso alcuni fori appositamente creati sulla soletta esistente, fino al completo riempimento della cassaforma.



- d) rimozione dei casseri, e accurata stagionatura del prodotto.



- e) chiusura delle staffe, con adeguata sovrapposizione dei ferri o saldatura delle due estremità, per la successiva realizzazione della cappa collaborante.

Figura 56

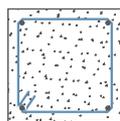
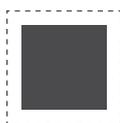
Intervento di rinforzo di una trave con COMPOSITE M130

RISULTATI

Per semplificare la procedura di calcolo, è possibile utilizzare STRUCTURE.4R per calcolare i valori di resistenza a taglio seguendo l'approccio prima proposto (e adottando i coefficienti di combinazione così come indicati nell'Eurocodice 2:2024): dai risultati si può facilmente osservare che in tutte le soluzioni proposte si ottiene un notevole incremento di resistenza.

ELEMENTO PILASTRO (PAG. 29)

Resistenza sezione esistente



$$V_{Rd,ex} = 49.8 \text{ kN}$$

Incremento Resistenza INCAMICIATURA COMPOSITE M130



Soluzione A
(Ripristino copriferro)
 $\Delta V_{Rd} = 30.7 \text{ kN}$

Soluzione B
(Ringrosso copriferro)
 $\Delta V_{Rd} = 74.2 \text{ kN}$

Resistenza totale POST INTERVENTO COMPOSITE M130

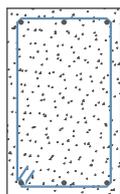
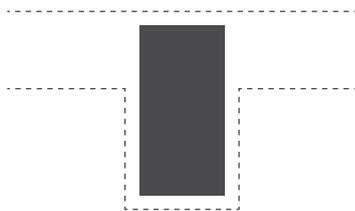


Soluzione A
(Ripristino copriferro)
 $V_{Rd,INT} = 80.5 \text{ kN (+62\%)}$

Soluzione B
(Ringrosso copriferro)
 $V_{Rd,INT} = 124 \text{ kN (+149\%)}$

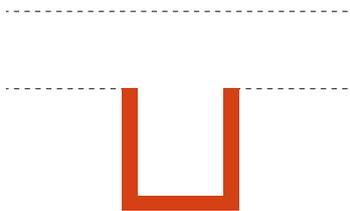
ELEMENTO TRAVE (PAG. 32)

Resistenza sezione esistente



$$V_{Rd,ex} = 157.3 \text{ kN}$$

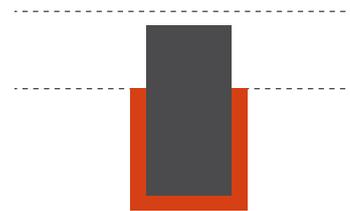
Incremento Resistenza INCAMICIATURA COMPOSITE



Soluzione A
(COMPOSITE M130)
 $\Delta V_{Rd} = 89.9 \text{ kN}$

Soluzione B
(COMPOSITE TIXO)
 $\Delta V_{Rd} = 142.9 \text{ kN}$

Resistenza totale POST INTERVENTO COMPOSITE



Soluzione A
(COMPOSITE M130)
 $V_{Rd,INT} = 246.5 \text{ kN (+57\%)}$

Soluzione B
(COMPOSITE TIXO)
 $V_{Rd,INT} = 300.3 \text{ kN (+91\%)}$

RINFORZO DEI SOLAI IN LATEROCEMENTO: Aumento di rigidità e incremento di capacità portante.

Come ulteriore esempio di rinforzo realizzabile nel caso studio in oggetto, si analizza di seguito un intervento di irrigidimento nel piano dei solai, mediante la realizzazione di una cappa collaborante in **COMPOSITE M130** (Figura 57).

Questa tipologia di intervento ha il triplice scopo:

- 1) Aumentare la capacità portante del solaio;
- 2) Ridurre le deformazioni del solaio e, conseguentemente, le sue vibrazioni.
- 3) Realizzare un diaframma rigido nel proprio piano in grado di ripartire l'azione sismica sugli elementi verticali in proporzione alla loro rigidità.



Figura 57

Rinforzo e irrigidimento del solaio in laterocemento con COMPOSITE M130

Il calcolo della capacità del solaio può essere effettuato sempre attraverso il Software STRUCTURE.4R, discretizzando una fascia di solaio pari all'interasse tra i travetti come una sezione a T, e modellando la cappa in COMPOSITE M130 all'estradosso di quella esistente in calcestruzzo.

Ipotizzando una coppia di barre Ø10 posizionate all'intradosso (altezza utile originaria di 21 cm) e una barra Ø10 posizionata all'estradosso (altezza utile originaria, considerata dall'estradosso, di 3 cm), tale intervento porta ad un aumento di capacità portante del solaio.

In mezzeria, si passa da un **momento resistente positivo** (fibre tese al lembo inferiore) di 11,5 kNm ad uno di 14,5 kNm, con un aumento del **+26%**.

In corrispondenza degli appoggi, il **momento resistente negativo** (fibre superiori tese), passa da 5 kNm a 10,5 kNm, con un aumento del **+110%**.



Figura 58

Esempio di intervento di rinforzo di solaio.

Si sottolinea inoltre, come, grazie all'elevata aderenza dei prodotti della famiglia COMPOSITE, è possibile mettere in opera i prodotti **senza l'ausilio di primer o connettori**, garantendo rapidità ed efficienza.

A riprova dell'efficacia dell'intervento di irrigidimento proposto in Figura 57, si mostrano i risultati di una campagna sperimentale di caratterizzazione dinamica su un solaio analogo a quello del presente caso studio. I risultati sono stati pubblicati nell'articolo consultabile al seguente link:



Figura 59

Link alla pubblicazione

Mediante un geofono (Figura 61) posizionato di un geofono in mezz'aria al solaio, si sono acquisite le velocità dello stesso in seguito ad una eccitazione impulsiva applicata pre e post intervento.

La trasformazione dal dominio del tempo al dominio delle frequenze dei velocigrammi acquisiti è stata realizzata con una FFT ("Fast Fourier Transform", trasformata veloce di Fourier), ed ha permesso di apprezzare l'efficacia dell'intervento di irrigidimento del solaio (Figura 60).

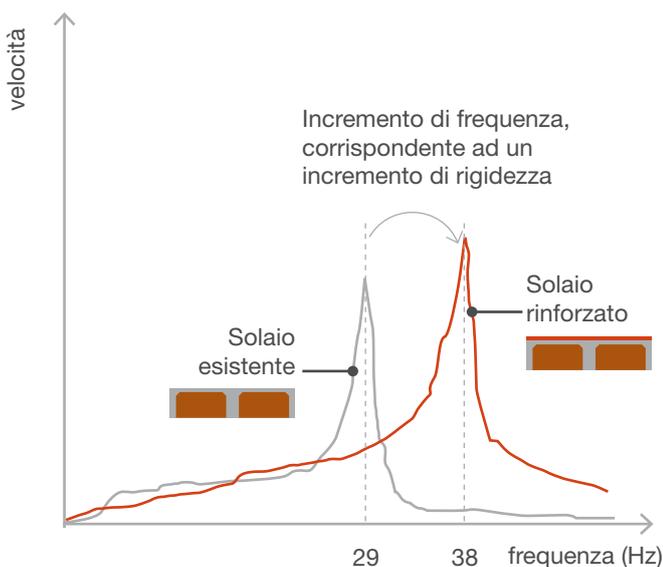


Figura 60

Velocità registrate, rappresentate nel dominio delle frequenze

Si può infatti notare come la frequenza propria del solaio sia aumentata significativamente a seguito dell'intervento. Detta frequenza, come noto, è strettamente correlata alla rigidità del solaio che, quindi, risulta aumentata notevolmente

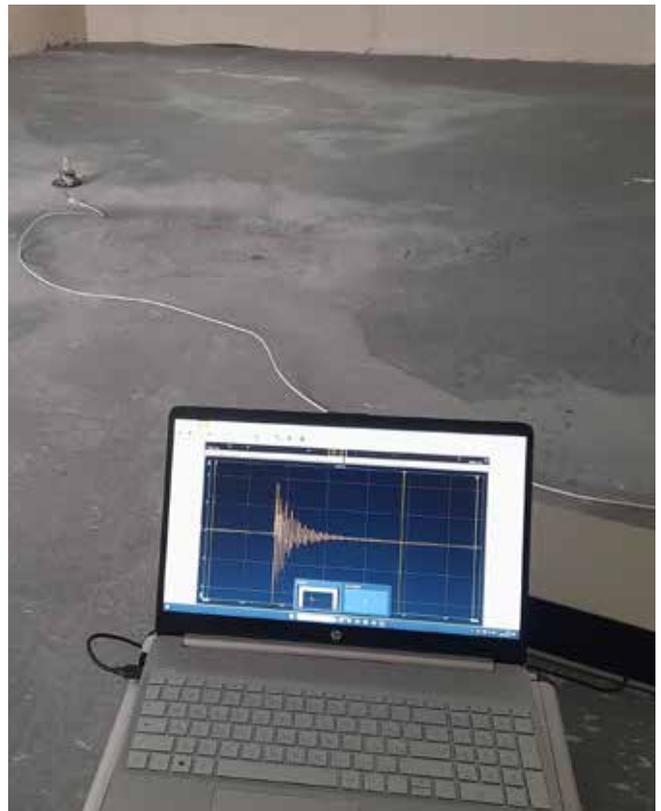


Figura 61

Prova dinamica su solaio rinforzato con COMPOSITE M130

Gli interventi sui solai sono spesso delicati, in quanto non sempre è possibile preparare adeguatamente il supporto attraverso una bagnatura a rifiuto della cappa in calcestruzzo. In questi casi, è possibile applicare sulla superficie del supporto (pulito ed asciutto) la resina epossidica fluida bicomponente per incollaggi strutturali e riprese di getto ANKOR EPO di General Admixtures S.p.A., impiegandola come promotore di aderenza ed applicandola "fresco su fresco" ossia immediatamente prima del getto di COMPOSITE M130. A tal proposito è stata condotta una sperimentazione (consultabile al link in Figura 26), che ha evidenziato come sia stato possibile ottenere tensioni di aderenza a rottura maggiori del caso di riferimento (supporto saturo a superficie asciutta), validando l'efficacia della soluzione tecnica.

RINFORZO DI SOLAI CON STRUTTURA IN ACCIAIO E LEGNO

COMPOSITE M130 può essere utilizzato anche per irrigidire e rinforzare solai con struttura portante in legno o acciaio.

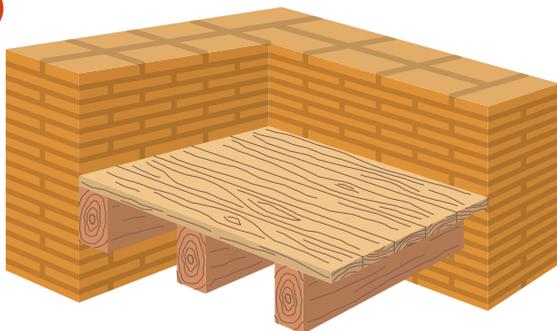
Attraverso la realizzazione di una soletta collaborante a basso spessore, opportunamente ancorata alle travi longitudinali ed alle strutture portanti laterali mediante l'utilizzo di connettori, è possibile ottenere sezioni con struttura mista acciaio-calcestruzzo e legno-calcestruzzo, capaci di migliorare significativamente le prestazioni degli orizzontamenti (intervento locale) e degli edifici (comportamento scatolare).

VANTAGGI E BENEFICI

- Cappe di rinforzo in basso spessore, con incremento delle altezze utili di piano o migliore gestione in di interpiani limitati;
- Possibilità di intervento nei Centri Storici, per il recupero di edifici in muratura;
- Incremento di portanza (es. cambio di destinazione d'uso) e riduzione di deformazioni e vibrazioni;
- Incremento della rigidezza nel piano;
- Miglioramento del comportamento scatolare dell'edificio;
- Interventi rapidi;
- Impiego di barre di armatura per la realizzazione dei connettori (riduzione dei costi).

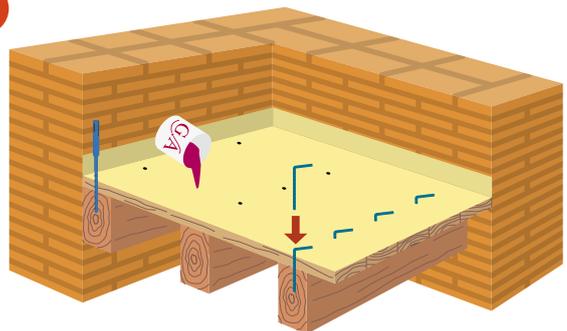
SOLAI IN LEGNO

A



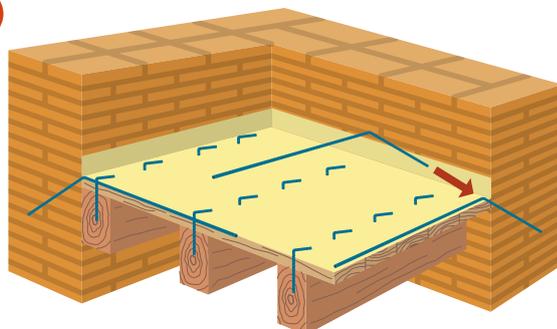
Rimozione di tutte le sovrastrutture, quali tramezzi, pavimenti, massetti ed impianti, al fine di liberare e pulire il tavolato ligneo.

B



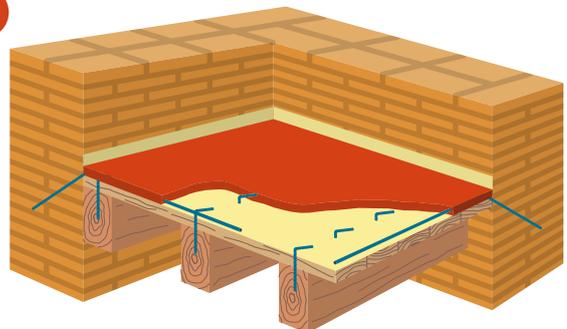
Stesura di telo impermeabile e traspirante, risvoltato in corrispondenza delle murature. Esecuzione fori su travi ed inghissaggio connettori con resina epossidica **ANKOR EPO**.

C



Esecuzione di fori in corrispondenza della muratura, secondo passo prestabilito. Inserimento di opportuni monconi tagliati e sagomati da barre di armatura ad aderenza migliorata. Inghissaggio con resina **ANKOR EPO**.

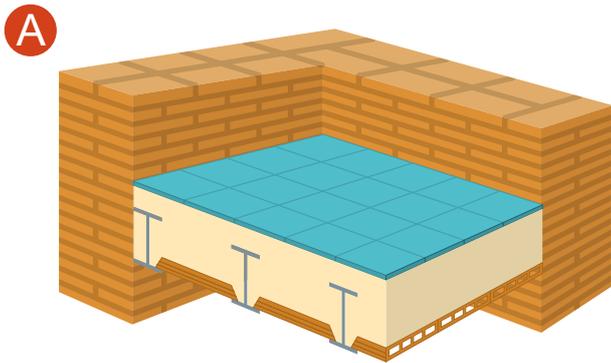
D



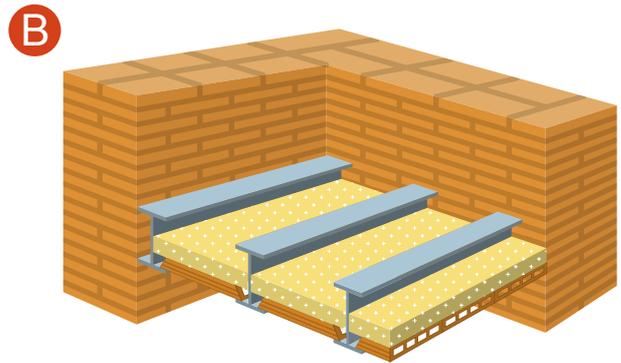
Esecuzione del getto e livellamento del microcalcestruzzo fibrorinforzato ad elevate prestazioni **COMPOSITE M130**, nel rispetto dello spessore previsto in progetto.

SOLAI CON STRUTTURA IN ACCIAIO

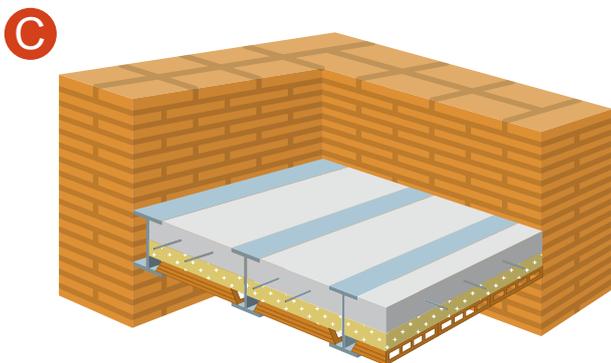
A differenza di quelli in legno, questi solai possono presentare schemi costruttivi piuttosto vari (solai con volte, tavelloni, ecc.), tuttavia la soluzione di intervento non cambia concettualmente rispetto allo schema grafico riportato di seguito.



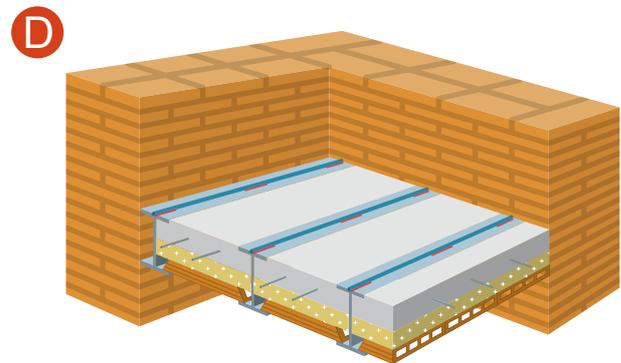
Esistono diverse tipologie di solai con travi principali in acciaio. A seconda della specifica situazione, alcune fasi lavorative potranno subire modifiche, ma la tecnica di rinforzo conserva lo stesso principio.



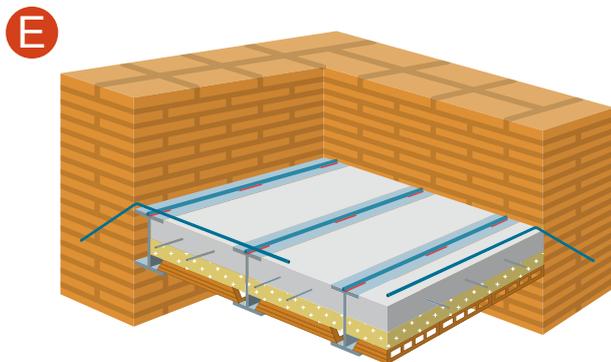
Rimozione di tutte le sovrastrutture (tramezzi, pavimenti, massetti ed impianti) e del riempimento di alleggerimento presente sul solaio. Applicazione di uno strato isolante e coibente costituito da polistirene ad alta densità.



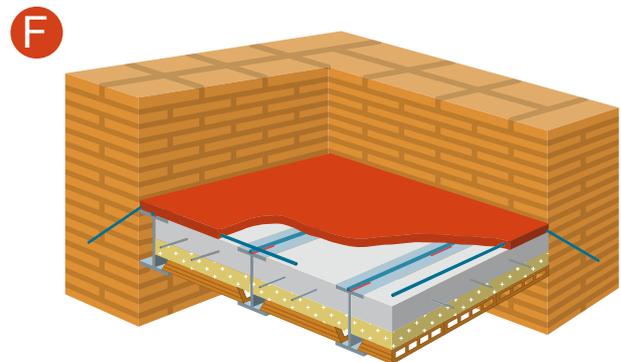
Livellamento degli spessori con getto di calcestruzzo alleggerito, eventualmente armato con rete elettrosaldata fuori calcolo.



Installazione di connettore "a taglio" continuo, costituito da barra di armatura ad aderenza migliorata. Il collegamento avverrà mediante saldatura eseguita su piccoli tratti a passo costante.



Esecuzione di fori in corrispondenza della muratura, secondo passo prestabilito. Inserimento di opportuni monconi tagliati e sagomati da barre di armatura ad aderenza migliorata. Inghisaggio con resina **ANKOR EPO**.



Esecuzione del getto e livellamento del microcalcestruzzo fibrorinforzato ad elevate prestazioni **COMPOSITE M30**, nel rispetto dello spessore previsto in progetto.

INTERVENTI DI RINFORZO STRUTTURALE CON COMPOSITE

Si riportano, di seguito, alcune immagini relative alle principali fasi applicative schematizzate nelle Figure precedenti.

SOLAI IN LEGNO



SOLAIO CON PUTRELLE IN ACCIAIO



Rimozione della sovrastruttura e pulizia del supporto, con asportazione delle parti incoerenti e della polvere. Nel caso di solai con putrelle si procederà con la rimozione dell'eventuale ruggine superficiale.



Installazione dei connettori perimetrali, per ancorare la cappa di COMPOSITE M130 alle murature, e dei connettori a taglio (ricavati da tradizionali barre di armatura) per la trasmissione delle sollecitazioni tra la nuova soletta di COMPOSITE M130 e le travi longitudinali. Nel caso di solai in legno, questi ultimi si potranno inghisare, con resina ANKOR EPO, direttamente all'interno delle travi, previa realizzazione di opportuni prefori. Nel caso di solai con travi in acciaio, potranno invece essere saldati (in forma di barra continua) all'estradosso della putrella esistente.



Esecuzione del getto del prodotto per lo spessore desiderato, avendo cura di ricoprire accuratamente i connettori.

Figura 62

Rinforzo di solai con cappa collaborante di COMPOSITE M130.

MEDIA E DOWNLOAD

INQUADRA I QR E CONSULTA LE SCHEDE TECNICHE A CUI SEI INTERESSATO

Per agevolare le valutazioni numeriche relative a queste tipologie di intervento, General Admixtures mette a disposizione di Tecnici Progettisti specifici applicativi di calcolo gratuiti, sviluppati dalla sua Divisione Ingegneria e liberamente scaricabili dal sito web www.gageneral.com

L'Ufficio Tecnico di General Admixtures è inoltre a disposizione per ogni tipo di supporto tecnico, tecnologico o documentale (elaborazioni di supporto, particolari costruttivi, voci di capitolato, analisi prezzi).

SCHEDE TECNICHE



COMPOSITE M130



COMPOSITE TIXO

MANUALE DI PREPARAZIONE ED INSTALLAZIONE DEL PRODOTTO



COMPOSITE M130

CERTIFICATO DI VALUTAZIONE TECNICA (C.V.T.)



COMPOSITE M130

SOFTWARE APPLICATIVI



DOWNLOAD



STRUCTURE.4R



WOOD FLOOR
COMPUTING (xls)



STEEL FLOOR
COMPUTING (xls)

LA NOSTRA MISSIONE

FORNIRE TECNOLOGIA E VALORE ALL'INDUSTRIA
DELLE COSTRUZIONI, ATTRAVERSO L'INNOVAZIONE
ED UN APPROCCIO DI SISTEMA.

INNOVAZIONE

Puntare sulla qualità e innovazione dei propri prodotti, tecnologie e servizi per distinguersi e consolidare la propria immagine.

Garantire attraverso comportamenti consapevoli la sostenibilità ambientale dei propri prodotti.

SISTEMA

Comprendere e soddisfare le esigenze del cliente attraverso l'ottimizzazione dei propri processi elevando così il livello di competitività ed espandendo le opportunità.

Adottare la cultura della prevenzione riducendo qualunque forma di rischio riferita alla qualità del prodotto o dell'inquinamento dell'ambiente.



Created by: Marketing - General Admixtures S.p.A. | Graphic design: Paolo Celotto | Photo: Archivio General Admixtures S.p.A.

REV.00 01.10.2025



Azienda certificata per la Gestione dei Sistemi Qualità e Ambiente conformi alle norme UNI EN ISO 9001 e 14001

Certified company for Quality and Environmental System Management according to standards UNI EN ISO 9001 and 14001



General Admixtures S.p.A.

Via delle Industrie n. 14/16
31050 Ponzano Veneto (TV) | ITALY
T. + 39 0422 966911 | info@gageneral.com

Unità produttiva: Via dell'Industria n. 33
26016 Spino d'Adda (CR) | ITALY
T. + 39 0373 980391 | antebiago@gageneral.com

www.gageneral.com | www.antebiago.it

