

Rinforzo di solai a struttura portante in legno o acciaio mediante soletta collaborante a basso spessore in microcalcestruzzo fibrorinforzato ad elevate prestazioni **COMPOSITE M130**.

INTRODUZIONE

Nell'ambito degli interventi su edifici esistenti in muratura ci si trova spesso a dover ristrutturare e/o rinforzare i solai esistenti realizzati con struttura portante in legno o in acciaio. Questi sono generalmente costituiti da elementi strutturali principali (travi in legno o profilati in acciaio) completati da strutture secondarie quali il tavolato ligneo – nel caso del solaio in legno – oppure voltine in mattoni o tavelloni in laterizio – nel caso di solai con struttura in acciaio. Queste tipologie di solaio, rispetto alle più antiche strutture voltate, hanno il vantaggio di non esercitare spinte sulle strutture murarie, tuttavia possono presentare diversi aspetti negativi:

- Presenza di degrado dei materiali;
- Scarsa connessione con le murature;
- Elevata deformabilità, sia nel piano (diaframmi non rigidi) che fuori dal piano;
- Frequenze di vibrazione molto basse;
- Limitata capacità portante;

La tecnica di intervento presentata in questo articolo consente di migliorare le prestazioni di questi solai e, in generale, del comportamento globale dell'intero edificio nel quale sono inseriti. Si tratta di un intervento che migliora la "classica" tecnica della soletta collaborante (Figura 1) grazie all'impiego del moderno microcalcestruzzo fibrorinforzato ad elevate prestazioni **COMPOSITE M130**, facente parte della famiglia dei cosiddetti HPFRC (High Performance Fiber Reinforced Concrete). Grazie alle elevate prestazioni di quest'ultimo ed alla presenza di un rilevante volume di fibre metalliche, potrà essere ottimizzato lo spessore della soletta (fino a 2 cm nel caso di solo miglioramento statico) ed eliminata la rete elettrosaldata al suo interno.

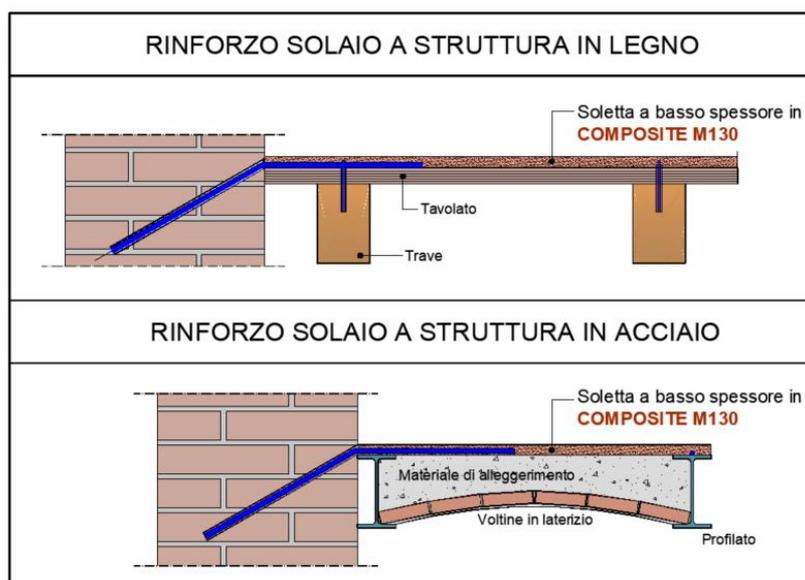


Figura 1 – Solai a struttura in legno o acciaio rinforzati con soletta a basso spessore di **COMPOSITE M130**. L'intervento permette di migliorare significativamente le prestazioni del solaio e di collegarlo efficacemente alle murature.

IL MATERIALE

Il COMPOSITE M130 è un microcalcestruzzo fibrorinforzato con fibre metalliche e caratterizzato da elevate prestazioni fisiche, meccaniche e di durabilità. Dotato di **C.V.T. (Certificato di Valutazione Tecnica)** rilasciato dal Servizio Tecnico Centrale (Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici) in accordo a quanto previsto dall'attuale D.M. 17 gennaio 2018 (par. 11.2.12) ed in conformità alla Linea Guida per l'identificazione, qualificazione e certificazione dei calcestruzzi fibrorinforzati FRC, può essere impiegato nell'ambito degli interventi a carattere strutturale su tutte le tipologie costruttive.

Si riassumono di seguito le principali caratteristiche del materiale:

- Classe di resistenza: C90/105 (NTC 2018)
- Classe di consistenza: S5 (UNI EN 12350-2) ; SF2 (UNI EN 12350-8)
- Classe di esposizione: Tutte quelle previste da UNI EN 206
- Diametro massimo dell'aggregato: 2 mm
- Classe di tenacità: 8b (Linea guida FRC)



CONSUP.R.0000152.14-07-2021

Tra le diverse peculiarità di questo materiale se distinguono due particolarmente interessanti nell'ambito dell'applicazione descritta in questo articolo:

- Capacità di esplicare **ottime resistenze a trazione** anche in campo post-fessurativo;
- **Eccellente aderenza ai supporti**, con particolare riferimento (per il caso specifico) alle barre di armatura, esistenti ed integrative (connettori);

La prima proprietà deriva dall'elevato volume di fibre metalliche uniformemente disperse nella matrice cementizia.

Superata la tensione di prima fessurazione di quest'ultima (valore peraltro estremamente elevato se confrontato con un ordinario conglomerato cementizio) le microfessure che ne derivano vengono immediatamente "intercettate" dalle fibre che, grazie ad una azione di "cucitura" consentono il trasferimento di sforzi di trazione attraverso il materiale.

In fase post-fessurata detta **resistenza a trazione** viene denominata "**residua**", ed il suo valore cambia a seconda del livello di apertura delle fessure.

In Figura 2, a titolo di esempio, si riporta il risultato di una prova di flessione secondo UNI EN 14651 utile proprio a valutare il valore di tali resistenze al variare dell'ampiezza della fessura intercettata dalle fibre.

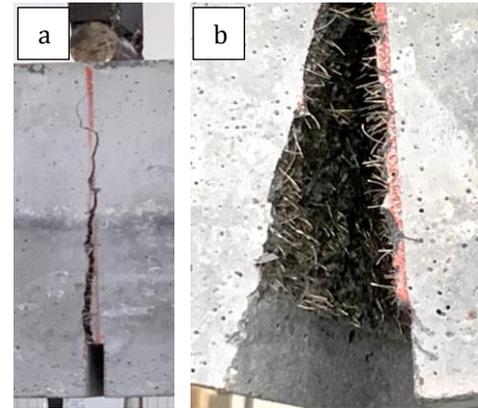
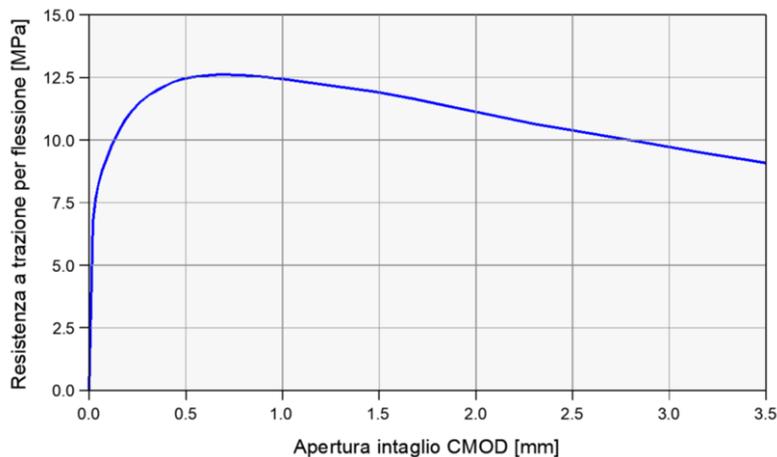


Figura 2 – Prova di flessione secondo UNI EN 14651, utile ad evidenziare le resistenze a trazione del materiale in fase post-fessurata. A destra due istanti della prova: (a) fase di apertura della fessura e misura della corrispondente resistenza a flessione offerta dal provino; (b) provino portato a completa rottura con evidenza dell’elevato volume delle fibre metalliche e la loro uniforme distribuzione.

Specifiche prove di adesione tra il microcalcestruzzo COMPOSITE M130 e barre di armatura di diverso diametro hanno evidenziato, tra essi, valori di **tensioni di adesione estremamente elevati** (valori massimi di circa 45 MPa).

In Figura 3, a titolo di esempio, si mostra una prova di sfilamento di una barra Ø10 ad adesione migliorata ancorata nel calcestruzzo per soli 50 mm. La trazione applicata sulla barra ha determinato la rottura della stessa piuttosto che il suo sfilamento dal supporto. Grazie a questa prestazione, le lunghezze di ancoraggio risultano molto contenute e lo sfilamento delle barre di armatura dall’HPFRC viene scongiurato.



Figura 3 – Prova di sfilamento di una barra Ø10 ancorata per soli 50 mm nel calcestruzzo

Si rimanda alle seguenti pubblicazioni per maggiori dettagli ed approfondimenti:

- <https://www.ingenio-web.it/24361-materiali-hpfrc-high-performance-fiber-reinforced-concrete-nel-ripristino-strutturale>
- <https://www.ingenio-web.it/31646-ripristino-e-rinforzo-strutturale-il-microcalcestruzzo-fibrorinforzato-ad-elevate-prestazioni-composite-m130>
- <https://www.ingenio-web.it/32534-microcalcestruzzi-hpfrc-aspetti-esecutivi-e-controlli-in-opera>

DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI

In una prima fase l’intervento prevede lo smantellamento della sovrastruttura (pavimenti, eventuali massetti, impianti, ecc..) e la **preparazione dell’estradosso del solaio** (Figura 4). Nel caso di travi in acciaio, verranno pulite le ali superiori dei profilati in maniera da rimuovere eventuali prodotti di corrosione e preparare le superfici alla installazione, mediante saldatura, delle barre-connettori. Nel caso di solai in legno, dopo aver pulito accuratamente l’estradosso del tavolato ligneo, si predisporrà su di esso un telo impermeabile e traspirante (geotessuto), necessario per evitare che il microcalcestruzzo venga a diretto contatto con il legno e che percoli, in fase fluida, attraverso gli eventuali interstizi presenti sul tavolato.

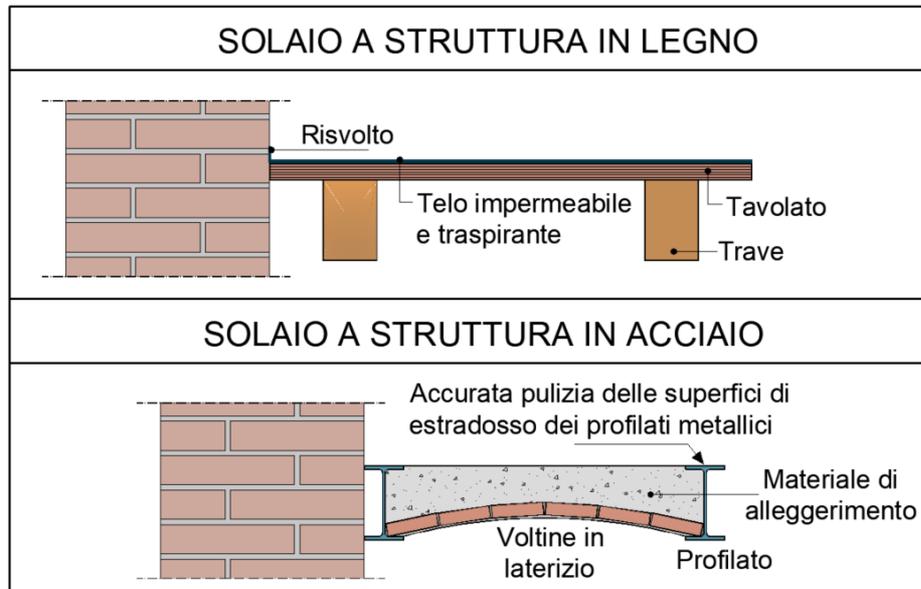


Figura 4 – Lavorazioni preliminari al rinforzo. Rimozione della sovrastruttura, pulizia delle superfici ed applicazione (per il solo solaio in legno) di telo impermeabile e traspirante.

Una seconda fase prevede l'**installazione di barre di collegamento tra il solaio e la muratura**. Il ruolo di tale collegamento è di:

- Trasferire le azioni sismiche dell'impalcato alle murature deputate parallele alla direzione del sisma (setti resistenti a taglio) – Elementi "*Spinotto*" di Figura 5b.
- Evitare l'espulsione fuori dal piano delle murature perpendicolari all'azione del sisma – Elementi "*Tirante*" di Figura 5c.
- Conferire all'intero manufatto un "effetto scatolare", fondamentale per le strutture in muratura soggette all'azione sismica.

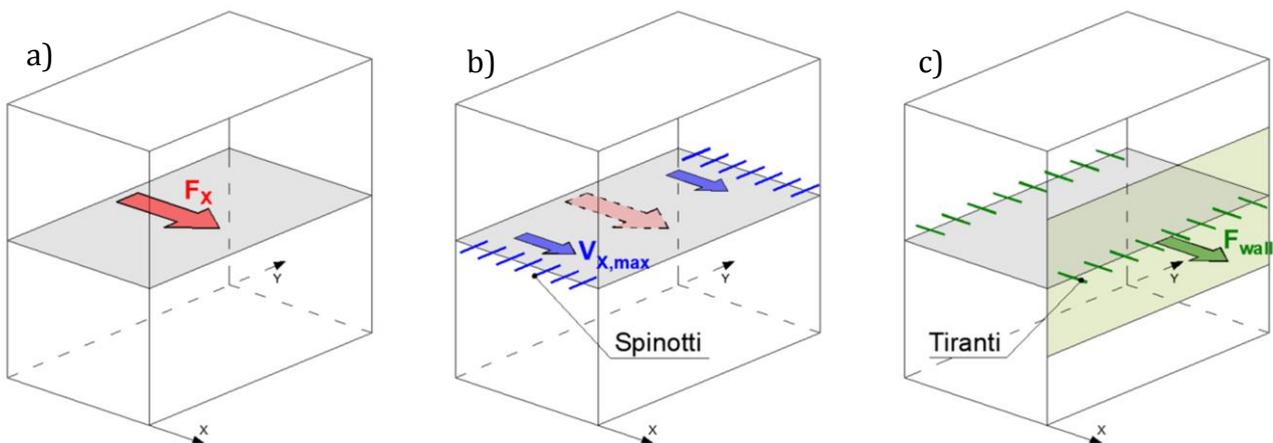


Figura 5 – Ruolo dei collegamenti tra il solaio e le murature perimetrali. Con riferimento alla sola azione sismica diretta secondo X (Figura 5a), la forza di inerzia associata alla massa del solaio ed alle murature ad esso afferenti si trasmette agli elementi sismo-resistenti (murature parallele al sisma) attraverso azioni di taglio ($V_{x,max}$). Affinché la trasmissione possa avvenire correttamente, gli "spinotti" (Figura 5b) dovranno essere dimensionati, in numero e diametro, in modo da sostenere l'intera azione tagliante. Contemporaneamente, la forza di inerzia associata alla massa della parete perpendicolare al sisma (limitatamente all'area afferente al solaio) deve essere equilibrata da opportuni "tiranti" che ne evitano quindi la espulsione verso l'esterno. Dette forze di inerzia o "sismiche" saranno date dal prodotto delle masse coinvolte (W/g) per l'accelerazione sismica prevista (a_g).

Tali connessioni potranno essere realizzate con barre ad aderenza migliorata tipo B450C opportunamente sagomate ed ancorate all'interno della muratura stessa o, se presente, all'interno del cordolo di piano, mediante specifica resina epossidica dotata di Marcatura CE secondo UNI EN 1504-6. Il posizionamento di quest'ultima sarà tale che la parte di barra esterna alla muratura risulti risvoltata sull'estradosso del solaio, in modo da rimanere interamente contenuta nello spessore del futuro getto di HPFRC (Figura 6). Evidentemente, lo spessore della soletta influenzerà la scelta del diametro delle barre e quindi anche il loro interasse. All'aumentare dello spessore della soletta potranno essere utilizzate barre di armatura di diametro maggiore e quindi, a parità di forza trasmessa dal solaio alla muratura, interassi maggiori.

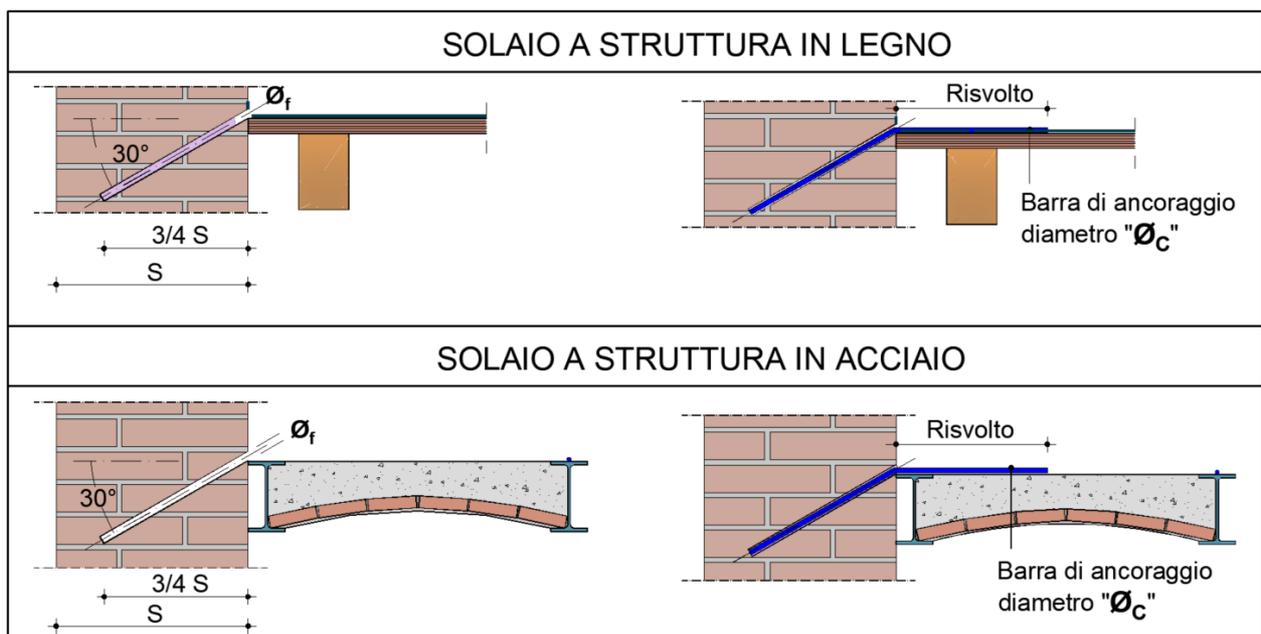


Figura 6 – Installazione di barre di armatura per il collegamento tra la soletta HPFRC e le murature.

La terza fase dell'intervento è quella della **installazione dei connettori metallici** all'estradosso delle travi, deputati al collegamento strutturale tra la singola trave e la futura soletta in HPFRC. Questi connettori consentiranno infatti di pervenire, dopo la realizzazione della soletta, ad una sezione resistente di tipo "composto" acciaio-calcestruzzo o legno-calcestruzzo. A seconda del tipo di solaio si prevedono due diverse modalità di installazione di tali elementi, costituiti in ogni caso da barre di armatura ad aderenza migliorata tipo B450C. L'utilizzo di classiche barre di armatura come connettori metallici presenta due importanti vantaggi:

1. Facile reperibilità del "connettore" e costo estremamente contenuto.
2. Eccellente aderenza tra il COMPOSITE M130 e le barre di armatura, come brevemente descritto all'inizio dell'articolo, e quindi notevole efficienza della connessione.

Nel caso di solai in legno, saranno impiegati connettori costituiti da spezzoni di barra di armatura opportunamente sagomati e disposti ad interasse variabile tra la zona di appoggio e quella di mezzera (Figura 7). L'installazione risulta particolarmente agevole, dovendo semplicemente realizzare i fori di installazione attraverso il tavolato e fino ad una certa profondità nel travetto principale, colarvi all'interno la resina epossidica per ancoraggi e inserire il connettore.

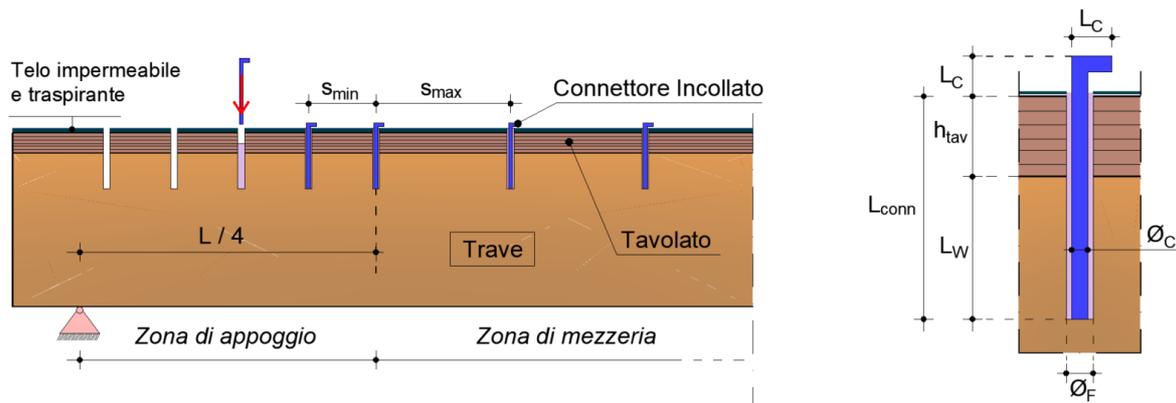


Figura 7 – Installazione dei connettori metallici trave-soletta nel caso di solai con struttura portante in legno.

Tutte le grandezze geometriche che caratterizzano la connessione, come ad esempio gli interassi (s_{min} , s_{max}), la lunghezza di penetrazione all'interno del singolo travetto (L_w), la lunghezza del risvolto all'interno della soletta (L_c) dipenderanno ovviamente dal diametro della barra utilizzata (\varnothing_c) e quest'ultima dipenderà dallo spessore della soletta di COMPOSITE M130 che si vuole realizzare, in quanto il connettore dovrà risultare, dopo il getto della soletta, totalmente immerso in quest'ultima, con opportuni margini di distanza dal tavolato (circa 5 mm, per consentire il completo ricoprimento della barra) e di copriferro (circa 10 mm).

In Tabella 1 alcuni valori indicativi del diametro del connettore in funzione dello spessore della soletta HPFRC.

Tabella 1 – Diametro del connettore in funzione dello spessore della soletta HPFRC (solaio in legno)

Spessore soletta (mm)	Diametro connettore \varnothing_c (mm)
20	6
25	8
30	10

Nel caso di solai con struttura portante in acciaio, la connessione tra il singolo profilato e la soletta in COMPOSITE M130 è stata studiata in modo da utilizzare una classica barra di armatura saldata longitudinalmente sull'estradosso della trave in acciaio (Figura 8). La barra, pur essendo continua lungo tutta la putrella, viene collegata ad essa mediante saldature discontinue, in modo da evitare un eccessivo stress termico e quindi distorsioni della barra stessa.

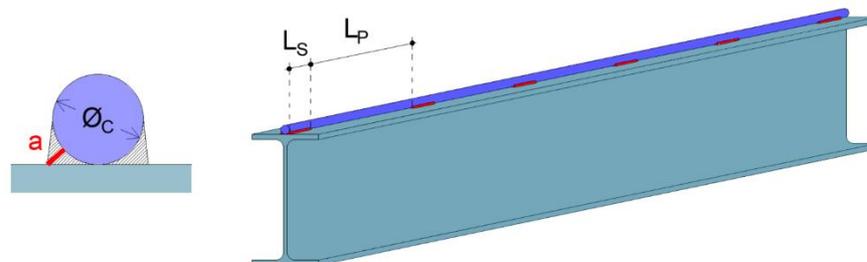


Figura 8 – Barra di armatura utilizzata come connettore tra soletta in HPFRC e trave in ferro.

Le saldature discrete vengono eseguite su ambo i lati della barra (doppio cordone), per una lunghezza L_s e con sezione di gola "a". La distanza netta tra due saldature adiacenti è pari a L_p .

Tali grandezze dovranno essere dimensionate in maniera da garantire che la resistenza complessiva della saldatura sia maggiore di quella di adesione tra l'HPFRC e la barra di armatura.

L'ultima fase operativa è ovviamente quella del **getto della soletta collaborante in HPFRC**. Grazie alla sua elevata lavorabilità, il COMPOSITE M130 può essere steso in maniera semplice e rapida, e la ridotta dimensione degli aggregati consente al materiale di raggiungere un eccellente grado di compattazione ed avvolgere completamente tutti i connettori precedentemente installati.

La presenza di un **rilevante quantitativo di fibra metallica** permette di eliminare la classica armatura (rete elettrosaldata), con conseguente ottimizzazione dei costi e dei tempi di esecuzione. Nel caso di solai a struttura portante in acciaio è sempre opportuno bagnare preliminarmente l'estradosso del solaio prima di eseguire il getto, in maniera da evitare che un supporto eccessivamente asciutto possa assorbire parte dell'acqua di impasto dal microcalcestruzzo. Quest'ultimo, preparato direttamente in cantiere seguendo le indicazioni fornite dal Fornitore, può essere facilmente distribuito e livellato, nello spessore previsto in progetto, con una semplice staggia in alluminio.

È sempre raccomandata l'operazione di stagionatura umida del getto appena eseguito, necessaria per evitare una asciugatura troppo rapida del materiale fresco e quindi il rischio di formazione di microcavillature. Tale operazione potrà essere eseguita mediante l'applicazione di teli di TNT bagnati e coperti da fogli in polietilene (mantenuti da 3 a 7 giorni, a seconda delle condizioni climatiche). Una valida e pratica alternativa è quella dell'impiego, mediante nebulizzazione, di **prodotti stagionanti** capaci di limitare fortemente l'evaporazione dell'acqua e quindi di preservare il getto nei confronti della fessurazione. Questa soluzione, oltre ad essere particolarmente efficace, consente di ottimizzare l'impiego di manodopera e quindi i costi di intervento.

SOFTWARE DI CALCOLO DEDICATI

La tecnica di intervento ora descritta prevede ovviamente una imprescindibile fase di progetto che, a partire dalle caratteristiche meccaniche e geometriche del solaio esistente e dai carichi di progetto previsti nel caso specifico, definisca tutte le **caratteristiche geometriche della soluzione di rinforzo**, tra i quali:

- Spessore della soletta strutturale in COMPOSITE M130;
- Diametro, interasse e lunghezza dei connettori, nel caso di solai in legno;
- Diametro e geometria delle saldature dei connettori, nel caso di solai in acciaio;

Per agevolare tali valutazioni ed eseguire le **verifiche di resistenza/deformabilità**, sono disponibili gratuitamente due **strumenti di calcolo appositamente sviluppati** (Figura 9). Tali strumenti sono disponibili sul sito **www.gageneral.com**, nella sezione Download → Software, assieme a tavole grafiche in formato dwg contenenti diversi particolari esecutivi che, opportunamente adattati e personalizzati dal Progettista, possono costituire un utile supporto per realizzare una adeguata e completa progettazione degli interventi.



FOGLIO DI CALCOLO
RINFORZO SOLAI LEGNO – HPFRC

DOWNLOAD



FOGLIO DI CALCOLO
RINFORZO SOLAI ACCIAIO – HPFRC

DOWNLOAD



GENERAL ADMIXTURES

pag. 10/18

CONSOLIDAMENTO DI SOLAI IN LEGNO
(Connettori tipo Barre)

CON MICROCALCESTRUZZO FIBROINFORZATO AD ELEVATE PRESTAZIONI COMPOSITE M130

Versione Programma 1.01 - 2021

D.M. 17 gennaio 2018

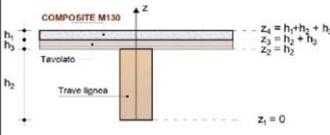
Certificato di Valutazione
Tecnica

CONSUP.R.0000152.14-07-2021

C.V.T. 2018

CNR DT 206-R1/2018

DIAGRAMMA TENSIONI NORMALI

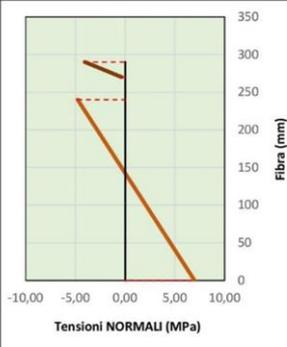


Fibra	z (mm)	TENSIONI NORMALI	
		t = 0	t → ∞
z ₁	0	6,97	7,11
z ₂	240	-4,77	-4,99
z ₃	270	-0,34	-1,11
z ₄	290	-4,06	-3,15

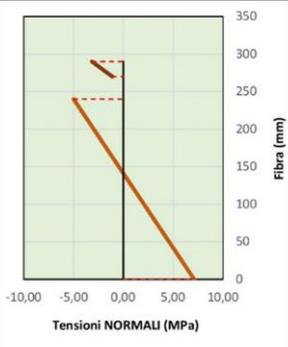
Note:
σ di compressione: Negativa
σ di trazione: Positiva

DIAGRAMMI TENSIONI NORMALI (Combinazione 1 di pag. 8/18)

(t = 0)



(t → ∞)



Condizioni di Utilizzo del Foglio di Calcolo

Il presente Foglio di Calcolo è concesso in uso a titolo gratuito allo scopo di consentire a Professionisti, Imprese e Committenti di valutare le Tecnologie offerte da General Admixtures S.p.A. La valutazione dei risultati fornito dal Foglio di Calcolo è esclusiva competenza dell'Utilizzatore che solleva totalmente la General Admixtures S.p.A. da qualsiasi Responsabilità in merito alla correttezza delle elaborazioni. L'Utilizzatore ha l'obbligo di verificare, tra l'altro, i riferimenti normativi, il procedimento di calcolo, la correttezza dei dati di input e di output. General Admixtures S.p.A. non è in alcun modo responsabile di qualsiasi danno, diretto o indiretto, che l'Utilizzatore ritiene di aver subito a seguito dell'utilizzo del presente Foglio Elettronico. L'Utilizzatore accetta il Foglio di Calcolo nelle condizioni in cui si trova e si assume tutte le responsabilità sui risultati ottenuti. È vietata ogni modifica del foglio di calcolo senza preventiva autorizzazione scritta di General Admixtures S.p.A.



GENERAL ADMIXTURES

pag. 4/6

CONSOLIDAMENTO DI SOLAI IN ACCIAIO
CON MICROCALCESTRUZZO FIBROINFORZATO AD ELEVATE PRESTAZIONI COMPOSITE M130

Versione Programma 1.01 - 2021

D.M. 17 gennaio 2018

Certificato di Valutazione
Tecnica

CONSUP.R.0000152.14-07-2021

C.V.T. 2018

UNI EN 1994

COMBINAZIONI DI CARICO E SOLLECITAZIONI DI CALCOLO

Verifiche S.L.U. (Resistenza)

$$q_{Ed} = [\gamma_{G(-1.50)} \cdot (G_{1,k} + G_{2,k}) + \gamma_{Q(-1.35)} \cdot Q_k] \Rightarrow$$

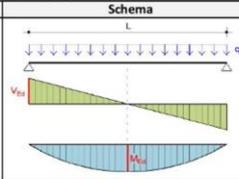
$$M_{Ed} = \frac{q_{Ed} \cdot L^2}{8}$$

$$V_{Ed} = \frac{q_{Ed} \cdot L}{2}$$

$q_{Ed} = 3,92$ kN/m
 $M_{Ed} = 12,24$ kNm
 $V_{Ed} = 9,79$ kN

Analisi non fessurata (uncracked) con redistribuzione dei momenti

Schema

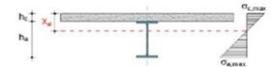


VERIFICA ELASTICA S.L.U.

IPOTESI 1: Asse neutro interno alla soletta



IPOTESI 2: Asse neutro esterno alla soletta



Ipotesi ricorrente nel caso specifico:	Ipotesi 2
Posizione dell'asse neutro : X _{na}	55,49 mm
Momento inerzia sezione : I _{net}	1,26E+07 mm ⁴
Tensione massima soletta : σ _{c,max}	11,2 MPa
Tensione massima trave : σ _{s,max}	101,5 MPa

Verifica soddisfatta

Verifica soddisfatta

VERIFICA PLASTICA S.L.U.

Verifica a flessione - Momento positivo

M _{Ed} ⁽¹⁾	12,24 kNm
N _{c,Ed}	612,00 kN
N _{s,Ed}	430,31 kN
Asse neutro x _{na} ⁽¹⁾	14,06 mm
M _{pl,Rd}	35,70 kNm

Verifica soddisfatta

Verifica a taglio

V _{Ed}	9,79 kN
A _v	764,63 mm ²
γ _{av}	1,05
V _{pl,Rd}	115,62 kN
V _{Ed} /Z	57,81 kN

no interazione taglio-momento

ρ = 0,00

Verifica soddisfatta

Condizioni di Utilizzo del Foglio di Calcolo

Il presente Foglio di Calcolo è concesso in uso a titolo gratuito allo scopo di consentire a Professionisti, Imprese e Committenti di valutare le Tecnologie offerte da General Admixtures S.p.A. La valutazione dei risultati fornito dal Foglio di Calcolo è esclusiva competenza dell'Utilizzatore che solleva totalmente la General Admixtures S.p.A. da qualsiasi Responsabilità in merito alla correttezza delle elaborazioni. L'Utilizzatore ha l'obbligo di verificare, tra l'altro, i riferimenti normativi, il procedimento di calcolo, la correttezza dei dati di input e di output. General Admixtures S.p.A. non è in alcun modo responsabile di qualsiasi danno, diretto o indiretto, che l'Utilizzatore ritiene di aver subito a seguito dell'utilizzo del presente Foglio Elettronico. L'Utilizzatore accetta il Foglio di Calcolo nelle condizioni in cui si trova e si assume tutte le responsabilità sui risultati ottenuti. È vietata ogni modifica del foglio di calcolo senza preventiva autorizzazione scritta di General Admixtures S.p.A.

Figura 9 – General Admixtures mette a disposizione gratuitamente due strumenti di calcolo specificamente studiati per il calcolo dei rinforzi di solai in legno ed in acciaio mediante soletta collaborante in COMPOSITE M130 (HPFRC).

CONCLUSIONI

Il rinforzo di solai con struttura portante in legno o acciaio può essere perseguito adottando la tecnica della soletta collaborante realizzata con i recenti microcalcestruzzi fibrorinforzati ad elevate prestazioni HPFRC tipo COMPOSITE M130. Grazie all'impiego di tale materiale, dotato di elevate resistenze a compressione (classe di resistenza C90/105) e a trazione (classe di tenacità 8b), i solai esistenti potranno essere rinforzati adottando uno spessore della soletta piuttosto contenuto (rispetto alla classica soluzione con soletta in conglomerato ordinario o alleggerito) e priva di rete metallica.

I principali benefici dell'intervento sono:

- Rinforzo di solai con solette collaboranti di ridotto spessore (fino a 2 cm nel caso di consolidamento statico), con limitazione del sovraccarico permanente (riduzione delle masse sismiche) e maggiore possibilità di sfruttare le altezze interne.
- Aumento della portanza dei solai;
- Incremento della rigidezza del solaio nel proprio piano;
- Incremento della rigidezza fuori dal piano e quindi riduzione delle deformazioni;
- Possibilità di connettere il solaio con le murature per incrementare l'effetto scatolare dell'intera struttura;
- Eliminazione della rete elettrosaldata grazie alla presenza di fibre in acciaio;
- Semplicità nella posa in opera, grazie alla elevata lavorabilità del materiale allo stato fluido (autolivellante);
- Elevata efficienza del sistema, grazie alla eccellente aderenza tra il COMPOSITE M130 ed i connettori realizzati con barre ad aderenza migliorata.

Pasqualini Alessandro
Liberatore Felice Marco
Bressan Marco

Divisione Ingegneria | General Admixtures Spa