

Aderenza tra HPFRC COMPOSITE M130 e supporti in calcestruzzo: efficacia di prodotti per incollaggi strutturali

Alessandro Pasqualini, Agostino Cadorin, Davide Orbolato, Matteo Antonel | **GENERAL ADMIXTURES S.p.A.**
 Felice M. Liberatore | INGEGNERE CIVILE

INTRODUZIONE

Il microcalcestruzzo fibrorinforzato ad elevate prestazioni (HPFRC, High Performance Fiber Reinforced Concrete) **COMPOSITE M130** trova sempre più spazio nell'ambito dei ripristini e consolidamenti strutturali di strutture esistenti in c.a. In virtù del **C.V.T. (Certificato di Valutazione Tecnica)** rilasciato dal C.S.LL.PP., accompagnato dalla Marcatura CE secondo UNI EN 1504-3 e UNI EN 1504-6, esso viene impiegato, in forma di camicie corticali in basso spessore, per ripristinare o ringrossare sezioni in c.a. degradate e/o inadeguate ai carichi di esercizio previsti dalla Normativa. In tale contesto, le applicazioni sempre più utilizzate sono quelle della incamiciatura di pilastri/setti, travi e nodi e della realizzazione di cappe collaboranti su solai in c.a., legno o acciaio (Figura 1).

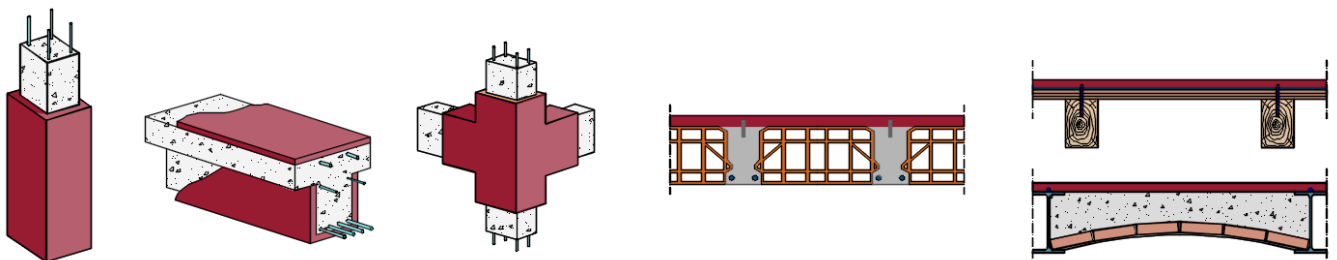


Figura 1 – Tipiche applicazioni di rinforzo di elementi strutturali esistenti con microcalcestruzzo HPFRC

In tutte le applicazioni, il nuovo strato corticale dovrà essere solidale al supporto originario, in modo che il “nuovo” elemento strutturale possa manifestare un comportamento monolitico nei confronti delle sollecitazioni applicate. Per ottenere questo è necessario che, tra il supporto esistente ed il nuovo materiale, vi sia una adesione tale da consentire la corretta trasmissione di sforzi tangenziali, attraverso la superficie di interfaccia, tra la sezione originaria e la camicia (Figura 2).

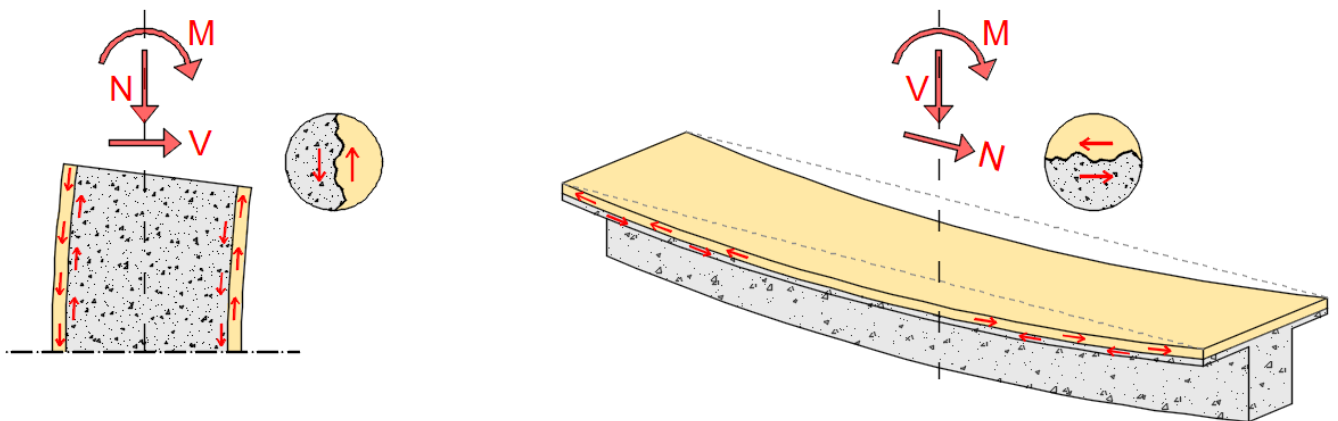


Figura 2 – Il comportamento monolitico di un elemento strutturale rinforzato con getto in sovrapposizione (overlay) presuppone il corretto trasferimento di sforzi tangenziali all'interfaccia ripristino/rinforzo.

La qualità del legame di aderenza dipende, notoriamente, da diversi fattori quali la resistenza del materiale originario e la corretta preparazione del supporto prima dell'applicazione dello strato corticale.

Con "corretta preparazione del supporto" si intende una serie di operazioni fondamentali:

- a. Rimozione di tutte quelle porzioni di calcestruzzo che non siano perfettamente adese all'elemento originario e che quindi siano facili al distacco;
- b. Realizzazione di una scarifica generalizzata del supporto che restituisca una superficie sufficientemente scabra da poter determinare una intima connessione con il nuovo materiale;
- c. Rimozione di ogni elemento estraneo (polvere, sporcizia, ecc...) che possa penalizzare l'adesione;
- d. Adeguata saturazione del supporto originario con acqua pulita (conforme a UNI EN 1008), utile ad evitare che il calcestruzzo esistente, in virtù della sua porosità, possa assorbire acqua dal microcalcestruzzo fresco penalizzandone la corretta idratazione proprio in corrispondenza della zona di interfaccia;
- e. Corretta stagionatura dei nuovi getti.

Nel presente studio l'attenzione è stata focalizzata sull'aspetto riguardante la saturazione del supporto. Più precisamente l'intenzione è stata quella di valutare, come alternativa alla sua completa saturazione, l'efficacia di un preliminare trattamento superficiale del supporto con uno specifico prodotto per incollaggi strutturali e riprese di getto.

Allo scopo è stato impiegato un adesivo bicomponente fluido a base epossidica per l'incollaggio e l'ancoraggio strutturale **ANKOR EPO** di General Admixtures, dotato di Marcatura CE secondo le norme UNI EN 1504-4 ed UNI EN 1504-6. In Tabella 1 si riportano le sue caratteristiche principali. Si rimanda alla scheda tecnica per maggiori dettagli.

Tabella 1 – Principali caratteristiche dell'adesivo bicomponente **ANKOR EPO** utilizzato nella sperimentazione

Caratteristiche	Metodo di Prova	U.M.	Valore
Tempo aperto a 20°C	UNI EN 12189	minuti	≥ 75
Aderenza all'acciaio per trazione diretta	UNI EN 1542	MPa	≥ 15
Aderenza al calcestruzzo per trazione diretta	UNI EN 1542	MPa	≥ 3
Aderenza calcestruzzo fresco su calcestruzzo indurito	EN 12636	--	Prova superata
Aderenza al legno per trazione diretta	ASTM D 4541	MPa	> 1
Resistenza allo sfilamento (F=75 kN)	UNI EN 1881	mm	< 0,5
Determinazione dello scorrimento vetroso	UNI EN 1544	mm	< 0,4
Resistenza al taglio	UNI EN 12615	MPa	≥ 10
Modulo elastico	UNI EN 13412 (Metodo 1)	MPa	≥ 7.000
Ritiro lineare	UNI EN 12617	%	0
Durabilità misurata come aderenza dopo cicli termici e di umidità	EN 13733	--	Prova superata

ESPERIENZA SPERIMENTALE

Preparazione dei provini

Sono stati confezionati dapprima una serie di supporti prismatici in calcestruzzo aventi dimensioni (100×100×200) mm. Al fine di simulare un intervento di ripristino/rinforzo su una struttura esistente in c.a. “datata”, è stato progettato un calcestruzzo con caratteristiche meccaniche medio-basse ($R_{cm,28}=24,80$ MPa). Al termine della stagionatura si è proceduto ad una scarifica dei prismi, localizzata nelle sole aree che sarebbero successivamente andate in aderenza al getto di COMPOSITE M130 (vedi immagini successive). La scabrezza superficiale è stata volutamente limitata ad asperità di circa 1,5÷2 mm (la raccomandazione è quella di conseguire sempre una scabrezza superficiale media di 3÷5 mm) in maniera da valutare la prestazione di aderenza in condizioni non eccellenti.

Dopo la scarifica i provini sono stati adeguatamente puliti mediante aria compressa per eliminare la polvere ed i detriti dalle superfici ora descritte.



Figura 3 – Provini di calcestruzzo scarificati prima di essere sottoposti ad un getto aderente di COMPOSITE M130.

In Figura 3 lo schema geometrico dei provini in calcestruzzo e la loro scarifica eseguita preliminarmente all’applicazione del COMPOSITE M130.



Figura 4 – Applicazione del prodotto per incollaggi strutturali e riprese di getto ANKOR EPO sulla porzione di superficie destinata al contatto con COMPOSITE M130.

Le superfici di interfaccia sono state preparate con due distinte modalità (l'una alternativa all'altra):

- A) Saturazione completa della parte scarificata, mediante immersione in acqua, e successiva asciugatura superficiale (supporto saturo a superficie asciutta);
- B) Trattamento superficiale (su superficie pulita ed asciutta) con prodotto epossidico, fluido, bicomponente ANKOR EPO (Figura 4) impiegato come promotore di aderenza ed applicato sulla superficie del calcestruzzo indurito immediatamente prima del getto di COMPOSITE M130 con modalità, quindi, "fresco su fresco".

I prismi così preparati sono stati inseriti in casseforme da 150×150×150 mm (tipicamente utilizzate per il confezionamento di cubetti in calcestruzzo) ed il COMPOSITE M130 gettato e lasciato scorrere negli stampi (completati con alcuni elementi in polistirolo) in modo da ottenere provini aventi forma rappresentata in Figura 5.

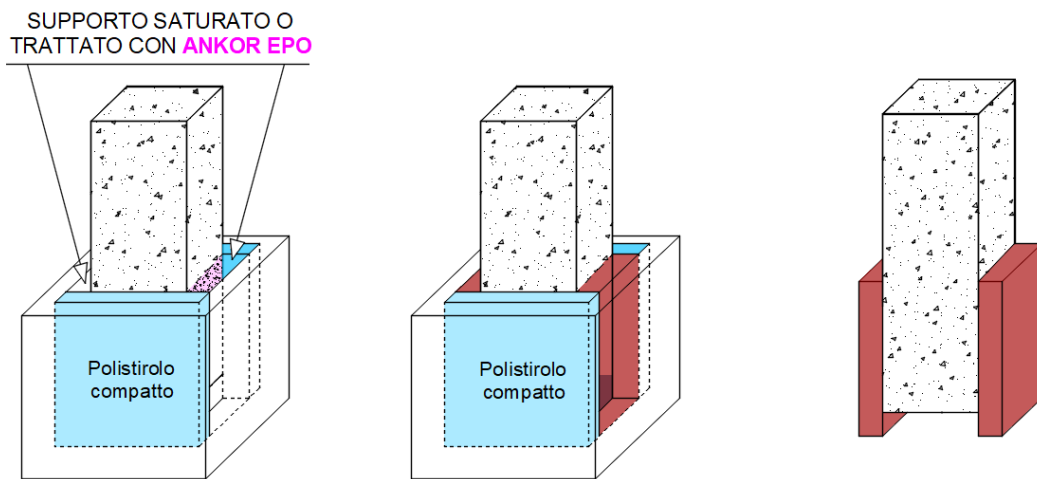


Figura 5 – Getto di COMPOSITE M130 in corrispondenza di due facce opposte dei provini in calcestruzzo

Sono stati confezionati 6 provini con la saturazione del supporto (modalità A) e 6 provini con il trattamento per incollaggio epossidico (modalità B), tutti condizionati all'aria (in laboratorio) per 2 giorni poi stagionati in ambiente controllato (20° C e 65% U.R.) per 28 giorni (Figura 6).



Figura 6 – Alcune fasi di preparazione dei campioni. Da sinistra a destra: posizionamento dei prismi di calcestruzzo nelle casseforme, esecuzione del getto di COMPOSITE M130 e preparazione al test.

Test di aderenza

Al termine della stagionatura i provini sono stati testati mediante una macchina per prove in compressione, in modo che la forza applicata sulla “testa” del provino si trasferisse, attraverso le due aree di contatto, alla base del provino stesso. Detta **A** l’area di ciascuna superficie di aderenza (pari a $100 \times 125 = 1250 \text{ mm}^2$) e **P** il carico applicato dalla pressa, la tensione media tangenziale di aderenza è stata calcolata come:

$$\tau_m = P/(2A) \quad (1)$$

Nella seguente Figura 7 alcune immagini della prova: a sinistra il provino integro appena posizionato sotto la pressa e a destra la rottura del provino per distacco di una delle due fasce laterali di COMPOSITE M130.

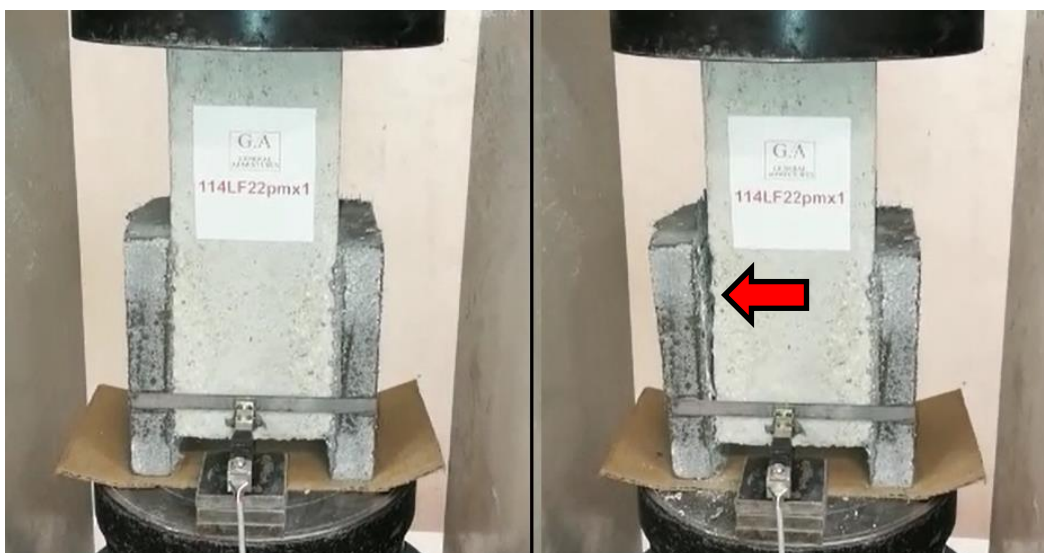


Figura 7 – Avvio del test (sinistra) e sua conclusione per collasso del provino (destra) dovuto al superamento della resistenza di aderenza in corrispondenza della superficie di interfaccia calcestruzzo/COMPOSITE M130.

Risultati delle prove

In Tabella 2 i risultati delle prove eseguite, in termini di carico massimo (di rottura) e tensione tangenziale massima (di rottura) calcolata secondo l’espressione (1) di cui sopra.

Tabella 2 – Risultati delle prove

SUPPORTO “SATURATO” CON ACQUA			SUPPORTO TRATTATO CON ANKOR EPO		
Provino	Carico di rottura (kN)	Tensione media di rottura (kN)	Provino	Carico di rottura (kN)	Tensione media di rottura (kN)
1	102,5	4,10	7	137,0	5,48
2	112,6	4,50	8	130,1	5,20
3	127,4	5,10	9	129,8	5,19
4	124,3	4,97	10	115,4	4,62
5	130,1	5,20	11	121,5	4,86
6	108,3	4,33	12	123,4	4,94
Medie	117,5	4,70	Medie	126,2	5,05

Durante i test sono stati monitorati gli spostamenti relativi tra il provino in calcestruzzo e le due porzioni laterali di COMPOSITE M130. Questo ha permesso di rilevare, per ciascuna prova, un diagramma Carico/Spostamento (medio). A titolo esemplificativo, si riportano in Figura 8 i diagrammi delle sole prove 7 e 10 (risultato minimo e massimo dei provini confezionati con prodotto incollante ANKOR EPO).

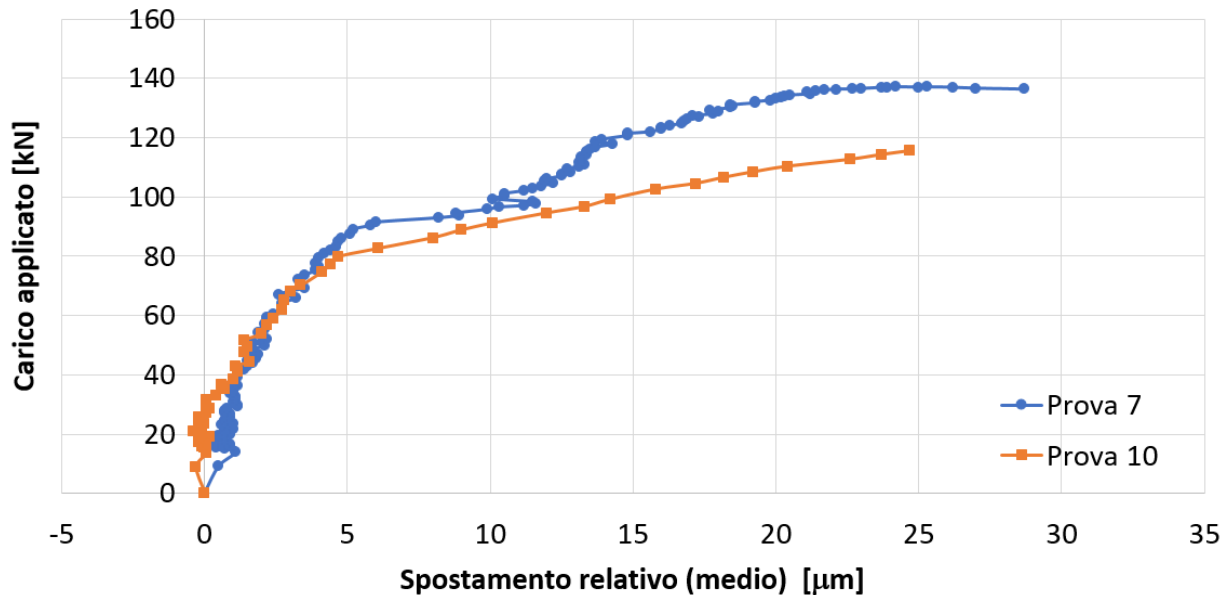


Figura 8 – Risultati delle prove 7 e 10 in termini di diagramma Carico/Spostamento relativo

Nella seguente Figura 9 è visibile la modalità di rottura tipicamente riscontrata dopo le prove, avvenuta essenzialmente nel supporto e non per distacco lungo la superficie di interfaccia tra i due materiali.



Figura 9 – Modalità di rottura tipicamente riscontrata dopo le prove: rottura interna al supporto

CONCLUSIONI

L'esperienza sperimentale presentata ha voluto mettere in evidenza l'efficacia di un adesivo a base epossidica per incollaggi strutturali e riprese di getto, quale l'ANKOR EPO (dotato di Marcatura CE secondo UNI EN 1504-4 ed UNI EN 1504-6) di General Admixtures, utilizzato come promotore di adesione tra il microcalcestruzzo fibrorinforzato HPFRC COMPOSITE M130 di General Admixtures (dotato di **C.V.T.** rilasciato dal C.S.LL.PP. e Marcatura CE secondo UNI EN 1504-3 e UNI EN 1504-6) ed i supporti esistenti in calcestruzzo.

Con riferimento ad un calcestruzzo di medie caratteristiche meccaniche ($R_{cm,28}=24,80$ MPa) scarificato con asperità di circa $1,5\div 2$ mm (pur raccomandando sempre il conseguimento di asperità di circa $3\div 5$ mm) ed adeguatamente pulito e trattato, le prestazioni in termini di aderenza sono risultate molto soddisfacenti.

Due le modalità di trattamento preliminare del supporto messe a confronto:

1. Tipica saturazione eseguita con acqua pulita (supporto saturo a superficie asciutta);
2. Applicazione di uno strato di prodotto epossidico ANKOR EPO su supporto pulito ed asciutto (applicazione del COMPOSITE M130 in modalità "fresco su fresco").

Sui provini preparati con saturazione dei supporti è stata misurata una tensione tangenziale media di aderenza pari a $4,70$ N/mm² (valore minimo $4,10$ N/mm²). Sui provini trattati con adesivo per incollaggi strutturali è stata misurata una tensione tangenziale media di aderenza pari a $5,05$ N/mm² (valore minimo $4,62$ N/mm²).

Questi valori, entrambi molto soddisfacenti, hanno evidenziato due aspetti:

- a) una adeguata saturazione del supporto è essenziale ed efficace per conseguire la corretta adesione del COMPOSITE M130 a supporti in calcestruzzo ben scarificati;
- b) l'impiego dell'adesivo epossidico fluido ANKOR EPO utilizzato come promotore di adesione in assenza di saturazione del supporto è risultato efficace.

Indipendentemente dalla modalità di trattamento preliminare del supporto (saturazione o applicazione dell'adesivo), i provini hanno evidenziato in generale, oltre ad ottimi valori di aderenza, soddisfacenti modalità di rottura. Essa è infatti avvenuta in corrispondenza del supporto e non in forma di distacco lungo la superficie di interfaccia tra i due materiali. In ultimo, dall'analisi delle curve di Carico/Spostamento relativo (medio) di tutte le prove eseguite si evidenziano, in corrispondenza di tensioni medie di aderenza di circa $3,20 \div 4,00$ MPa primi fenomeni di iniziale danneggiamento del legame di interfaccia tra i due materiali, nonostante, in ogni caso, il valore ultimo della tensione di rottura sia stata superiore.