



**POLITECNICO**  
MILANO 1863

## **Report di prova**

Risultati delle prove sperimentali previste dal contratto di ricerca denominato "*Studio delle proprietà meccaniche di sistemi costituiti da reti in fibra di vetro per il consolidamento di solai latero-cementizi soggetti a problemi di sfondellamento*".

Responsabili tecnico scientifici dell'esecuzione delle prove e del rapporto di prova: Ing. Angelo Savio Calabrese, Prof. Tommaso D'Antino, Prof. Carlo Poggi

Dipartimento di Architettura, Ingegneria delle Costruzioni e Ambiente Costruito (ABC), Politecnico di Milano.

Milano, 2024

## Sommario

1	INTRODUZIONE: prove di caratterizzazione meccanica.....	1
2	Prove di trazione sulla rete .....	2
3	Prove di strappo sul singolo nodo della rete .....	6
4	Prove di estrazione dei dispositivi di connessione da travetti in calcestruzzo .....	9
5	Prove di carico su campioni di solaio rinforzati all'intradosso con il sistema anti-sfondellamento .....	12
5.1	Prova del sistema ancorato con soli dispositivi di connessione .....	12
5.2	Prova del sistema applicato con dispositivi di connessione e malta. ....	14
5.3	Risultati .....	14
6	Conclusioni .....	16

## 1 INTRODUZIONE: prove di caratterizzazione meccanica

In questo documento vengono presentati i risultati delle prove sperimentali eseguite su “Sistema SafeNet” di RUREGOLD per la messa in sicurezza dei solai dal fenomeno dello sfondellamento delle pignatte in laterizio.

Il sistema da sottoporre a prova è composto da:

- Rete bidirezionale “SafeNet” in GFRP, costituita da fibra di vetro AR apprettata di grammatura 245 g/m<sup>2</sup> e maglia di dimensione 25x25 mm;
- Dispositivi di connessione strutturale al solaio esistente, da realizzare in maniera alternativa secondo tre tipologie:
  - o Tipo A - Tassello a espansione da calcestruzzo, denominato “KIT tassello CLS”.
  - o Tipo B - Vite da calcestruzzo, denominato “KIT vite CLS”.
  - o Tipo C - Tassello a espansione con barra filettata, denominato “KIT tassello CLS passante”.
- Eventuale malta da intonaco denominata “SafePlaster”.

I risultati delle prove sono riportati nei seguenti capitoli dove per ognuno vengono anche descritte le attrezzature di prova, la geometria dei campioni, la procedura di prova e i risultati delle prove sperimentali con tabelle, foto e grafici.

Le prove effettuate sono le seguenti:

- Prove di trazione su campioni di rete;
- Prove di strappo del singolo nodo della rete;
- Prove di estrazione dei dispositivi di connessione da una matrice cementizia;
- Prove di carico su campioni di solaio rinforzati all'intradosso con il sistema anti-sfondellamento.

### NOMENCLATURA

Nomenclatura campioni inserita in questo documento:

es. T\_\*\_01

- o “T” = definizione del tipo di prova:
  - T = trazione
  - NS = strappo sul nodo (Node Shear)
  - PO = prova di estrazione dal substrato (Pull Out)
  - S = sfondellamento su campione di solaio
- o Per le prove di trazione e strappo sul nodo, “\*” indica la direzione della rete:
  - X = trama - filo piatto
  - Y = ordito – filo ritorto
- o Per prove di estrazione, “\*” indica il tipo di connettore:
  - A = Tassello a espansione da calcestruzzo
  - B = Vite da calcestruzzo
  - C = Tassello a espansione con barra filettata
- o Per prove di carico su campioni di solaio, “\*” indica il tipo di ancoraggio:
  - T = su travetto
  - C = su caldana
  - TM = su travetto + malta
- o “01” = numero provino

## 2 Prove di trazione sulla rete

Al fine di determinare le proprietà meccaniche della rete in GFRP, sono state eseguite prove di trazione in direzione della trama e dell'ordito, ricavando dal rotolo di rete dei provini di lunghezza pari a 500 mm, includenti un singolo filo (Figura 1). Le prove sono state eseguite secondo le indicazioni della *Linea Guida per la identificazione, la qualificazione ed il controllo di accettazione dei sistemi a rete preformata in materiali compositi fibrorinforzati a matrice polimerica da utilizzarsi per il consolidamento strutturale di costruzioni esistenti con la tecnica dell'intonaco armato CRM (Composite Reinforced Mortar)*, emanata dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici - Servizio Tecnico Centrale nel Maggio 2019 (di seguito denominata Linea Guida).

### **Oggetto**

Esecuzione delle prove di trazione su campioni di rete, come indicato nella Linea Guida, per la determinazione del modulo di elasticità e della resistenza a trazione della rete nelle due direzioni.

Sono state effettuate 10 prove per ciascuna direzione.

Le prove sono state eseguite in un ambiente caratterizzato da una temperatura di  $23 \pm 2^\circ\text{C}$ , e da una umidità relativa UR di  $50 \pm 5\%$ .

Di ciascun campione è stato determinato il valore delle grandezze meccaniche di seguito richiamate:

- Tensione ultima  $\sigma_{u,f}$  della rete per rottura a trazione
- Modulo di elasticità  $E_f$  della rete
- Deformazione ultima a trazione  $\varepsilon_{u,f}$  della rete

### **Macchina di prova e strumenti di misura**

Le prove sono state eseguite con una macchina di prova elettromeccanica (Instron) con cella di carico da 50 kN. I campioni sono stati strumentati con un estensometro (Instron) con base di misura 100 mm.

La macchina di prova e gli strumenti di misura sono stati tarati in accordo alle norme UNI EN ISO 7500-1/2005 e UNI EN ISO 9513/2013. I certificati di taratura sono conservati presso il Laboratorio Prove Materiali del Politecnico di Milano.

### **Geometria dei campioni**

Il campione di prova consiste in un singolo filo di lunghezza  $L=500$  mm, estratto dalla rete in GFRP tagliando i fili trasversali a metà della maglia, così come illustrato dalla Linea Guida.

Per assicurarsi che il campione non scorra negli afferraggi della macchina di prova, i campioni sono stati provvisti di talloni in vetroresina di spessore 2 mm, incollati con resina epossidica alle due estremità, ovvero nelle zone di afferraggio. I talloni, due per ogni estremità, hanno dimensioni pari a 20 mm (larghezza) x 50 mm (lunghezza).

Prima di sottoporre i campioni alla prova sono stati rispettati il tempo e le condizioni ambientali per la completa polimerizzazione della resina bicomponente utilizzata.

### **Procedura di prova**

Le prove sono state effettuate con una macchina di trazione in controllo di carico. I campioni sono stati posizionati nella macchina di prova ponendo particolare attenzione al loro allineamento con l'asse della macchina (Figura 1).

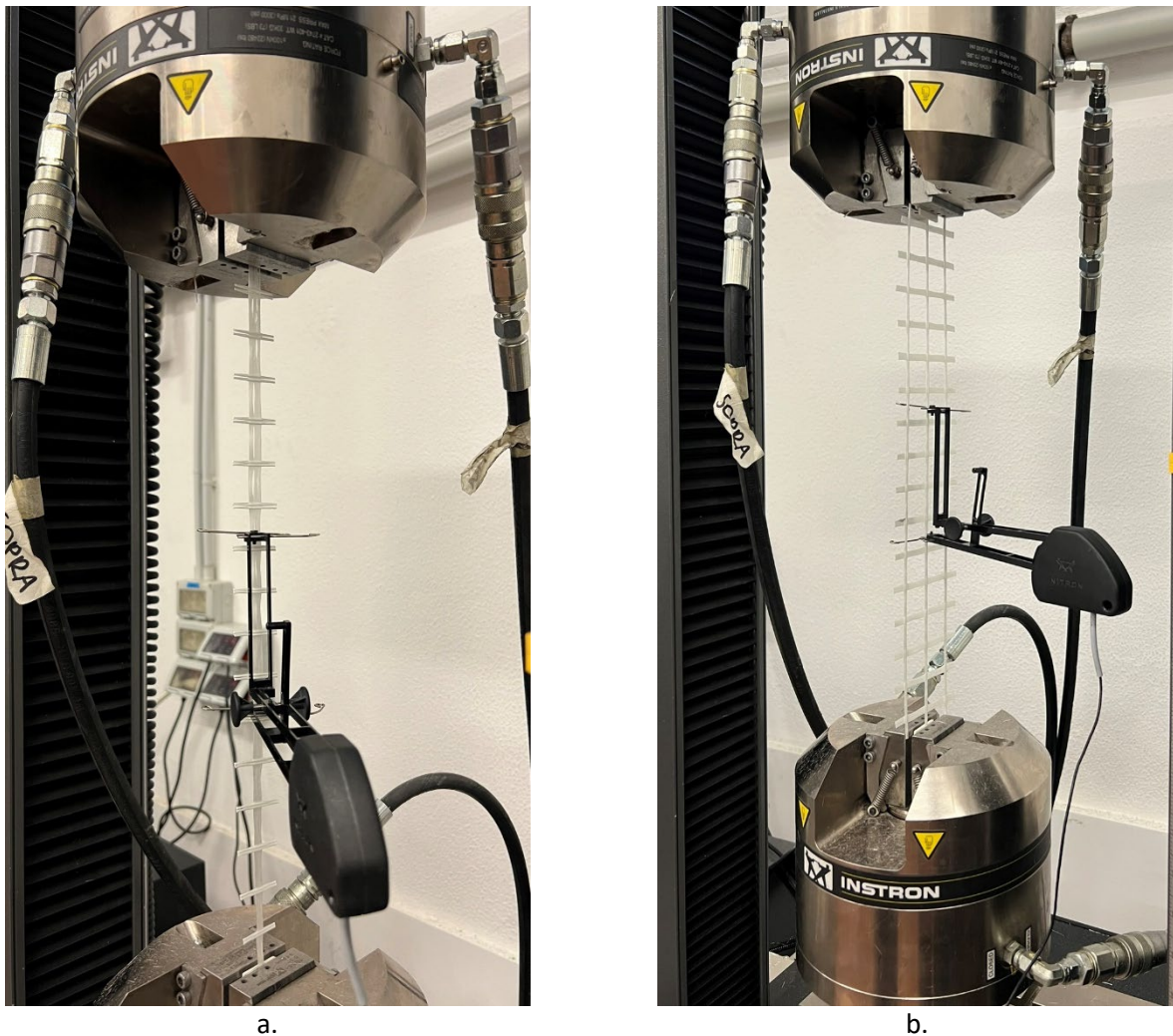


Figura 1 - Set-up di prova: a) filo piatto – direzione trama (X); b) filo ritorto – direzione ordito (Y).

Sul campione è stato applicato uno strumento appropriato per la misurazione delle deformazioni (estensometro), con una lunghezza base di 100 mm. Si noti che l'estensometro non è stato rimosso fino alla rottura del provino, pertanto la misura della deformazione fino a rottura è quella riferita alla base di misura di 100mm dell'estensometro.

Nella fase di preparazione della prova è stata applicata al provino una forza assiale, non superiore al 5% del valore ultimo previsto, allo scopo di allineare il provino.

Il carico è stato applicato in controllo di carico ad una velocità di 0.20 kN/s.

Durante la prova si sono registrati con una frequenza di 5 Hz i seguenti valori: forza (F), spostamento dell'estremità mobile della macchina ( $\delta$ ), deformazione fornita dall'estensometro ( $\epsilon$ ).

### **Risultati delle prove sperimentali**

Il valore della tensione è definito come il rapporto tra forza e area trasversale della rete ( $A_f$ ), pari a  $0,9 \text{ mm}^2$  in trama (filo piatto – direzione X) e  $0,95 \text{ mm}^2$  in ordito (filo ritorto – direzione Y), secondo quanto dichiarato dal produttore della rete.

In Tabella 1 e Tabella 2 sono riportati i risultati delle prove sperimentali, dove  $F_u$  indica la forza massima,  $\sigma_{u,f}$  la resistenza a trazione,  $\epsilon_{u,f}$  la deformazione ultima,  $E_f$  il modulo di elasticità. Avg, St.Dv e CoV indicano rispettivamente la media, la deviazione standard e il coefficiente di variazione dei risultati considerati.

La resistenza a trazione  $\sigma_{u,f}$  è stata calcolata come rapporto tra  $F_u$  ed  $A_f$ . La deformazione ultima a trazione  $\epsilon_{u,f}$  della rete è quella letta dall'estensometro in corrispondenza del valore  $\sigma_{u,f}$ . Il modulo di elasticità  $E_f$  è stato calcolato come pendenza della secante dei punti della curva  $\sigma$ - $\epsilon$  compresi tra  $0.2\sigma_{uf}$  e  $0.5\sigma_{uf}$ .

Tabella 1 - Risultati delle prove sperimentali sulla rete – direzione trama

NOME PROVA	$F_u$ [N]	Avg [N] (CoV) {St.Dv}	$\epsilon_{u,f}$ [%]	Avg (CoV)	$\sigma_{u,f}$ [MPa]	Avg [MPa] (CoV) {St.Dv}	$E_f$ [GPa]	Avg [GPa] (CoV) {St.Dv}
T_X_1	1460	1475 (10.00%) {147}	2.12	2.16 (10.75%) {0.23}	1623	1639 (10.00%) {164}	72	74 (2.03%) {1.50}
T_X_2	1539		2.21		1710		76	
T_X_3	1326		1.94		1473		74	
T_X_4	1664		2.5		1849		72	
T_X_5	1161		1.67		1290		73	
T_X_6	1487		2.24		1652		74	
T_X_7	1622		2.35		1802		76	
T_X_8	1586		2.33		1762		74	
T_X_9	1463		2.09		1626		75	
T_X_10	1445		2.14		1605		74	

Tabella 2 - Risultati delle prove sperimentali sulla rete – direzione ordito

NOME PROVA	$F_u$ [N]	Avg [N] (CoV) {St.Dv}	$\epsilon_{u,f}$ [%]	Avg (CoV)	$\sigma_{u,f}$ [MPa]	Avg [MPa] (CoV) {St.Dv}	$E_f$ [GPa]	Avg [GPa] (CoV) {St.Dv}
T_Y_1	1424	1346 (2.28%) {31}	1.68	1.59 (2.64%) {0.04}	1499	1417 (2.28%) {32}	88	88 (1.23%) {1.08}
T_Y_2	1352		1.61		1423		87	
T_Y_3	1340		1.6		1410		88	
T_Y_4	1348		1.6		1419		87	
T_Y_5	1337		1.59		1408		87	
T_Y_6	1301		1.52		1370		90	
T_Y_7	1337		1.57		1407		89	
T_Y_8	1346		1.56		1417		88	
T_Y_9	1337		1.56		1408		89	
T_Y_10	1342		1.59		1413		87	

La Figura 2 riporta la modalità di rottura dei campioni. In Figura 3 sono riportati i grafici sforzo-deformazione dei campioni testati.

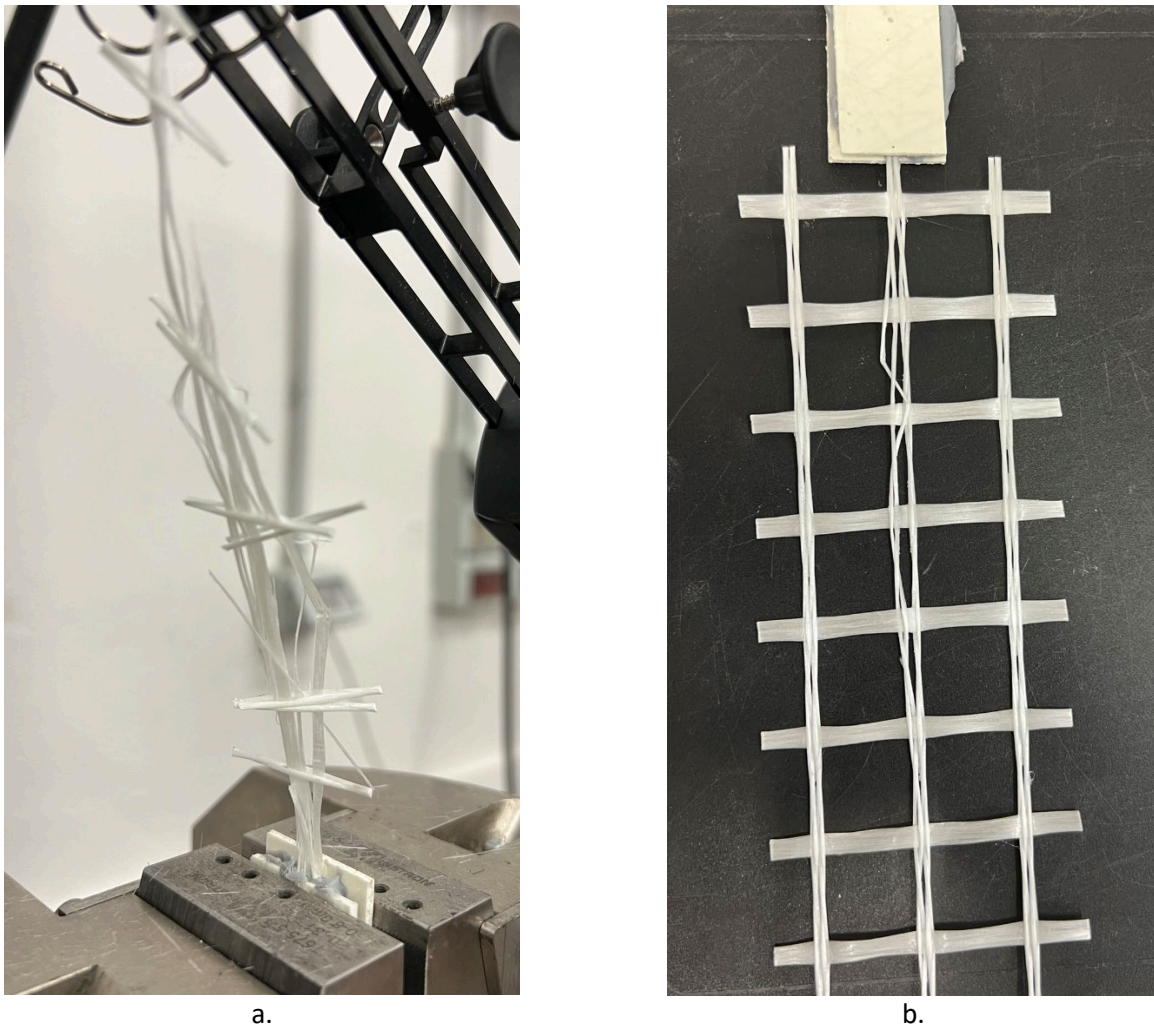


Figura 2 - Modalità di rottura dei campioni: a) filo piatto – direzione trama (X); b) filo ritorto – direzione ordito (Y).

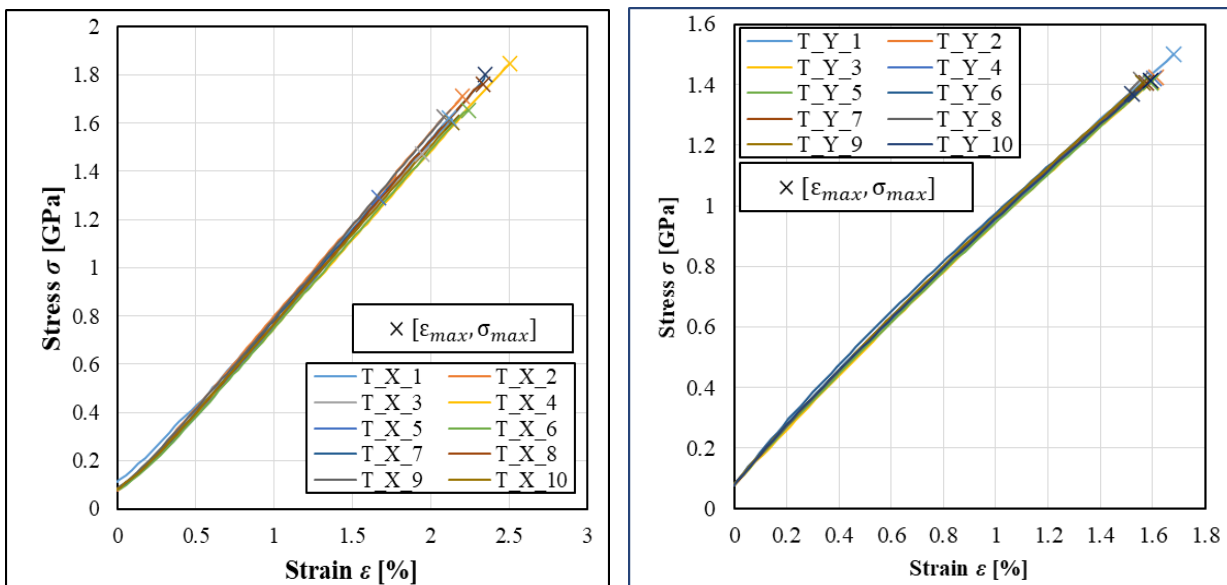


Figura 3 - Curve sforzo-deformazione

### 3 Prove di strappo sul singolo nodo della rete

Al fine di determinare la resistenza del singolo nodo della rete in GFRP, sono state eseguite prove di strappo in direzione della trama e dell'ordito, ricavando dal rotolo di rete dei provini di geometria cruciforme, aventi lunghezza pari a 250 mm, in direzione longitudinale al carico, e pari a 125 mm in direzione trasversale (Figura 4).

Le prove sono state eseguite secondo le indicazioni dell' European Assessment Document (EAD) 340392-00-0104 "*CRM (composite reinforced mortar) systems for strengthening concrete and masonry structures*" (di seguito denominato EAD).

#### **Oggetto**

Esecuzione delle prove di strappo su campioni del singolo nodo della rete in GFRP, per la determinazione della resistenza del nodo nelle due direzioni.

Sono state effettuate 10 prove per ciascuna direzione.

Le prove sono state eseguite in un ambiente caratterizzato da una temperatura di  $23 \pm 2^\circ\text{C}$ , e da una umidità relativa UR di  $50 \pm 5\%$ .

Di ciascun campione è stato determinato il valore delle grandezze meccaniche di seguito richiamate:

- Forza massima  $F_n$  resistita dal nodo

#### **Macchina di prova e strumenti di misura**

Le prove sono state eseguite con una macchina di prova elettromeccanica (Instron) con cella di carico da 2 kN. La macchina di prova e gli strumenti di misura sono stati tarati in accordo alle norme UNI EN ISO 7500-1/2005 e UNI EN ISO 9513/2013. I certificati di taratura sono conservati presso il Laboratorio Prove Materiali del Politecnico di Milano.

#### **Geometria dei campioni**

Il campione di prova, estratto dalla rete in GFRP e avente una geometria cruciforme, è caratterizzato dall'intersezione (nodo) tra due singoli fili, uno di lunghezza  $L=250$  mm, lungo la direzione longitudinale al carico, ed uno di lunghezza  $L=125$  mm, in direzione trasversale.

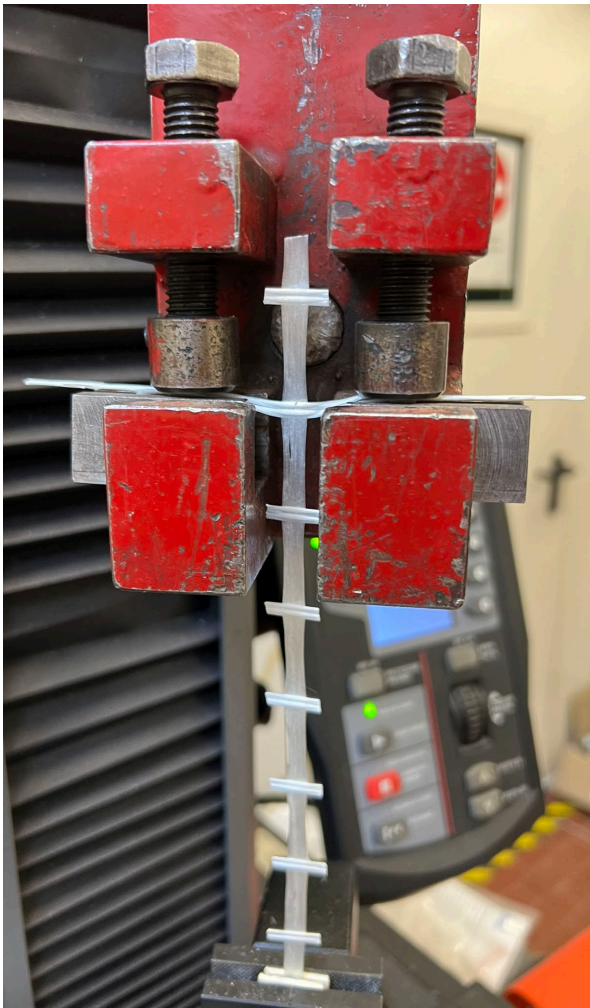
Per assicurarsi che il campione non scorra negli afferraggi della macchina di prova, i campioni sono stati provvisti di talloni in vetroresina di spessore 2 mm, incollati con resina epossidica all'estremità inferiore, ovvero nella zona di afferraggio. I talloni, due per ogni estremità, hanno dimensioni pari a 20 mm (larghezza) x 50 mm (lunghezza).

Prima di sottoporre i campioni alla prova sono stati rispettati il tempo e le condizioni ambientali per la completa polimerizzazione della resina bicomponente utilizzata.

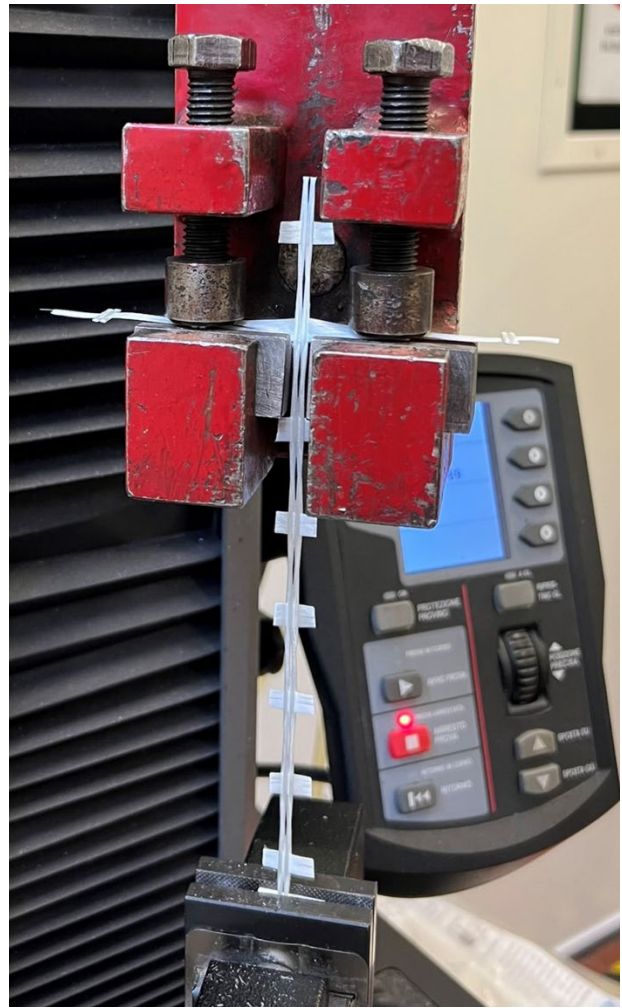
#### **Procedura di prova**

Le prove sono state effettuate con una macchina di trazione in controllo di spostamento. I campioni sono stati posizionati nella macchina di prova ponendo particolare attenzione al loro allineamento con l'asse della macchina (Figura 4).





a.



b.

Figura 4 - Set-up di prova: a) filo piatto – direzione trama (X); b) filo ritorto – direzione ordito (Y).

Il fascio trasversale del provino è stato vincolato rigidamente mediante un apposito dispositivo (si veda Figura 4), mentre l'estremità inferiore del fascio longitudinale è stata afferrata dal sistema di cunei della macchina di prova. Nella fase di preparazione della prova è stata applicata al provino una forza assiale, non superiore al 5% del valore ultimo previsto, allo scopo di allineare il provino.

Il carico è stato applicato in controllo di spostamento ad una velocità di 0.2 mm/s.

Durante la prova si sono registrati con una frequenza di 5 Hz i seguenti valori: forza (F), spostamento dell'estremità mobile della macchina ( $\delta$ ).

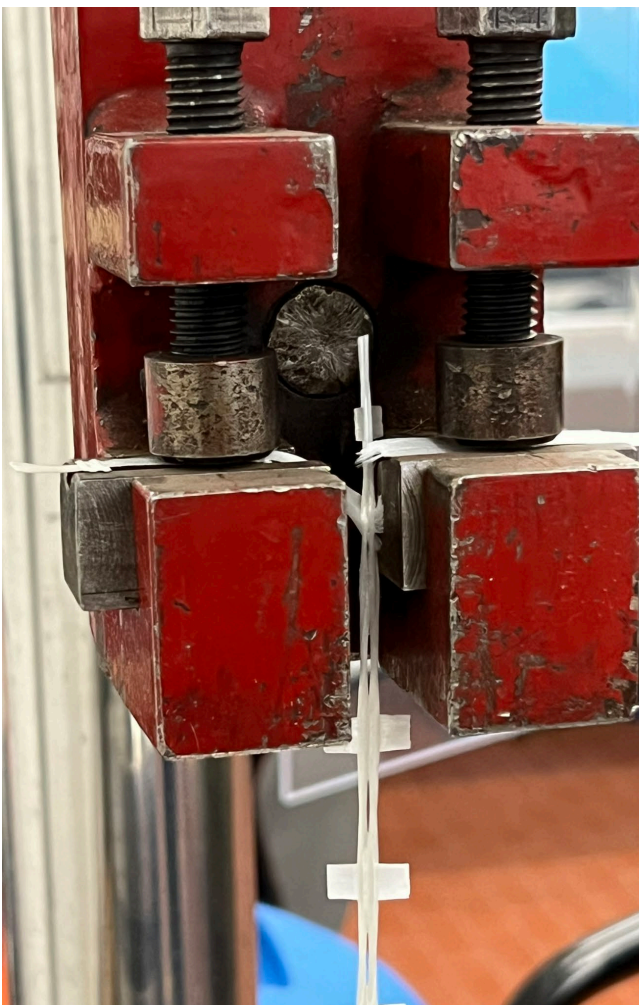
### **Risultati delle prove sperimentali**

In Tabella 3 sono riportati i risultati delle prove sperimentali, dove  $F_n$  indica la forza massima, Avg, St.Dv e CoV indicano rispettivamente la media, la deviazione standard ed il coefficiente di variazione dei risultati considerati.

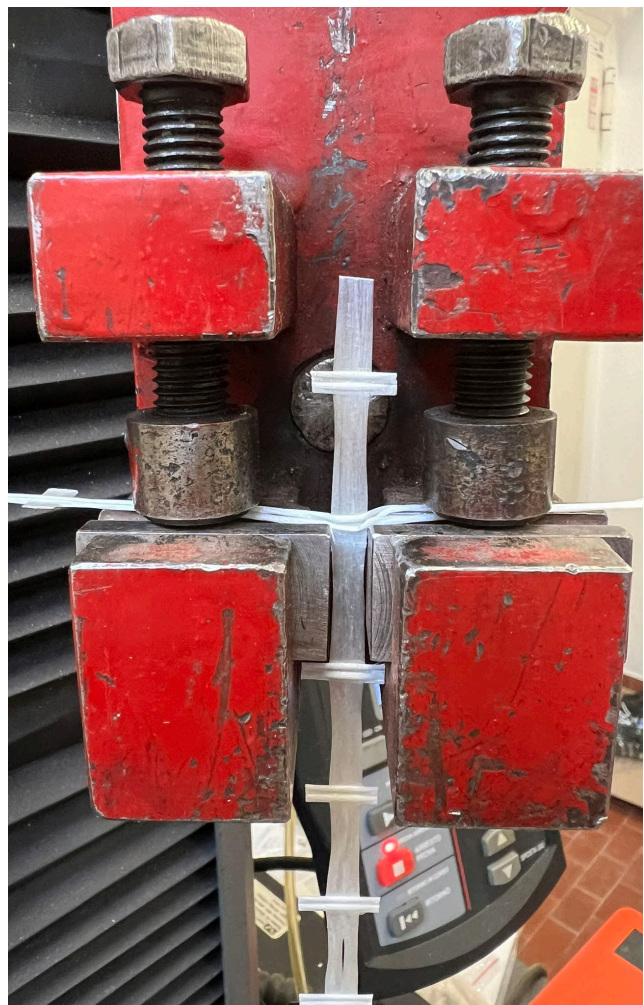
La Figura 5 riporta la modalità di rottura dei campioni.

Tabella 3 - Risultati delle prove sperimentali sul nodo

NOME PROVA	F <sub>n</sub> [N]	Avg [N] (CoV) {St.Dv}	NOME PROVA	F <sub>n</sub> [N]	Avg [N] (CoV) {St.Dv}
NS_X_1	41	70 (30.06%) {21}	NS_Y_1	99	66 (20.53%) {14}
NS_X_2	42		NS_Y_2	63	
NS_X_3	62		NS_Y_3	62	
NS_X_4	77		NS_Y_4	50	
NS_X_5	87		NS_Y_5	65	
NS_X_6	91		NS_Y_6	79	
NS_X_7	52		NS_Y_7	59	
NS_X_8	89		NS_Y_8	57	
NS_X_9	59		NS_Y_9	65	
NS_X_10	95		NS_Y_10	64	



a.



b.

Figura 5 - Modalità di rottura dei campioni: a) filo piatto – direzione trama (X); b) filo ritorto – direzione ordito (Y).

## 4 Prove di estrazione dei dispositivi di connessione da travetti in calcestruzzo

Nel seguito sono riportati i risultati delle prove di estrazione eseguite sulle tre tipologie di dispositivi di connessione:

- Tipo A - Tassello a espansione da calcestruzzo
- Tipo B - Vite da calcestruzzo
- Tipo C – Tassello a espansione con barra filettata;

### **Oggetto**

Esecuzione delle prove di estrazione dei connettori da travetti in calcestruzzo. Sono stati sottoposti alla prova di distacco 5 campioni per ciascun tipo di dispositivo di connessione.

È stata misurata la forza di estrazione di ciascun campione. Le prove sono state eseguite in un ambiente caratterizzato da una temperatura di  $23 \pm 2$  °C, e da una umidità relativa UR di  $50 \pm 10\%$ .

Di ciascun campione è stato determinato il valore delle grandezze meccaniche di seguito richiamate:

- Forza di estrazione  $F_{anc}$
- Valore medio della forza di estrazione.

### **Macchina di prova e strumenti di misura**

Le prove sono state eseguite in modalità di controllo di spostamento, utilizzando un martinetto idraulico equipaggiato con cella di carico da 50 kN.

I dispositivi di prova e gli strumenti di misura sono stati tarati in accordo alle norme UNI EN ISO 7500-1/2005 e UNI EN ISO 9513/2013. I certificati di taratura sono conservati presso il Laboratorio Prove Materiali del Politecnico di Milano.

### **Geometria dei campioni**

I campioni sono stati predisposti su un supporto in calcestruzzo (travetto) di dimensioni 80 x 230 x 1500 mm (Figura 6), garantendo l'assenza di interferenze tra i diversi punti di estrazione, anche nel caso di crisi per estrazione conica del substrato. La resistenza a compressione del supporto in calcestruzzo è stata valutata mediante quattro prove a compressione su cubetti standard, i cui risultati sono riportati in Tabella 4. La lunghezza di ancoraggio ( $L_{anc}$ ) ed il diametro del foro ( $D_0$ ) variano in funzione del tipo di connessione e sono riportate in Tabella 5.

Tabella 4 - Risultati delle prove di compressione su cubetti standard in calcestruzzo.

N°	CONTRASSEGNO PROVINO		DIMENSIONI			CARICO massimo	RESISTENZA MEDIA	
	DATA GETTO	DATA PROVA	lunghezza	larghezza	altezza		R <sub>c</sub>	f <sub>c</sub> *
			mm	mm	mm	kN	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>
1	12/08/2023	19/02/2024	150.0	152.0	150.0	908.2	39.8	-
2	12/08/2023	19/02/2024	150.0	152.0	150.0	964.4	42.3	-
3	12/08/2023	19/02/2024	150.0	152.0	150.0	925.5	40.6	-
4	12/08/2023	19/02/2024	150.0	152.0	150.0	938.1	41.1	-
						Media	41.0	-

### **Procedura di prova**

Le prove sono state eseguite in controllo di spostamento con una velocità di 0.03 mm/sec. L'estremità libera del connettore è stata predisposta a consentirne l'afferraggio tramite un sistema a cunei collegato al pistone del martinetto, ponendo particolare attenzione all'allineamento della forza di trazione applicata con l'asse del connettore (Figura 6).

Durante la prova è stata misurata la forza applicata (F). Le registrazioni sono state eseguite in continuo con una frequenza di 10 Hz.



*Figura 6 - Set-up di prova.*

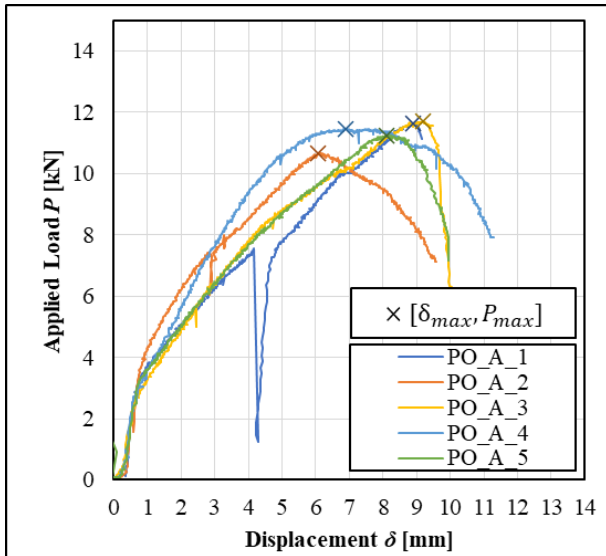
### **Risultati delle prove sperimentali**

In Tabella 5 sono riportati i risultati delle prove sperimentali, dove  $F_{anc}$  indica la forza massima, Avg, St.Dv e CoV indicano rispettivamente la media, la deviazione standard ed il coefficiente di variazione dei risultati considerati.

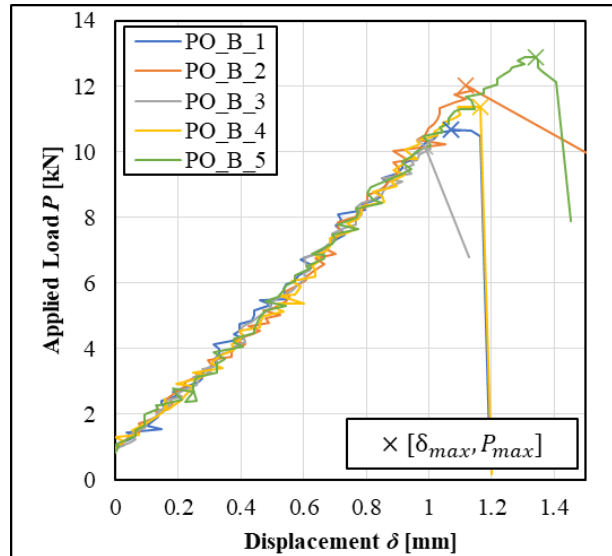
In Figura 7 sono riportati per tutti i campioni testati i grafici carico - spostamento del pistone.

Tabella 5 - Risultati delle prove sperimentali sui dispositivi di connessione

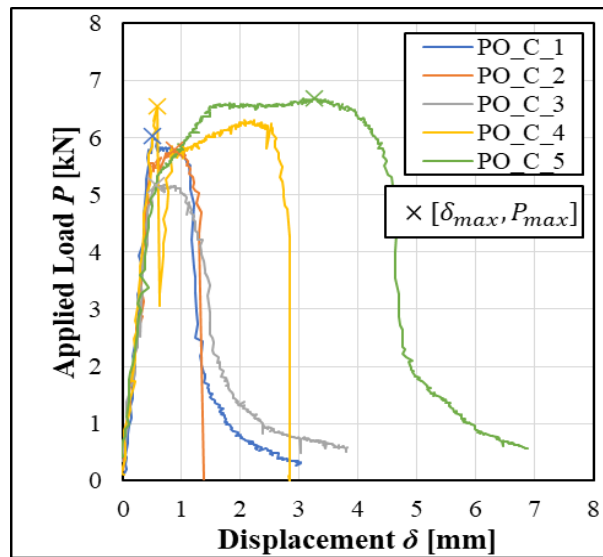
NOME PROVA	F <sub>anc</sub> [N]	Avg [N] (CoV) {St.Dv}	L <sub>anc</sub> [mm]	D <sub>0</sub> [mm]	NOME PROVA	F <sub>anc</sub> [N]	Avg [N] (CoV) {St.Dv}	L <sub>anc</sub> [mm]	D <sub>0</sub> [mm]	NOME PROVA	F <sub>anc</sub> [N]	Avg [N] (CoV) {St.Dv}	L <sub>anc</sub> [mm]	D <sub>0</sub> [mm]
PO_A_1	11623				PO_B_1	10676				PO_C_1	6037			
PO_A_2	10681	11353			PO_B_2	12029	11429			PO_C_2	5790	6050		
PO_A_3	11727	(3.65%)	70	8	PO_B_3	10173	(9.44%)	100	6	PO_C_3	5178	(10.11%)	25	8
PO_A_4	11475	{415}			PO_B_4	11373	{1078}			PO_C_4	6552	{612}		
PO_A_5	11259				PO_B_5	12894				PO_C_5	6695			



a.



b.



c.

Figura 7 - Curve carico-spostamento.

## 5 Prove di carico su campioni di solaio rinforzati all'intradosso con il sistema anti-sfondellamento

Il presente capitolo descrive la prova sperimentale mirata a studiare la capacità portante del sistema di rinforzo costituito da una rete in GFRP applicata con tasselli all'intradosso di un solaio e, in un caso, anche con l'aggiunta di uno strato di malta applicato successivamente sopra la rete. Nello specifico, è stata studiata la risposta del sistema di rinforzo rispetto allo sfondellamento di un solaio in latero-cemento. La prova è stata svolta applicando uno spostamento monotono nella direzione ortogonale al piano della rete, atto a simulare l'azione impressa sul rinforzo derivante dalle pignatte sfondellate.

### 5.1 Prova del sistema ancorato con soli dispositivi di connessione

Sono state eseguite 6 prove su provini costituiti da 4 travetti in calcestruzzo armato fissati ad un telaio in acciaio. Sui travetti sono state appoggiate tre file di pignatte in laterizio di dimensione 380 x 160 x 250 mm. La pignatta al centro del provino è stata rimossa ed il carico è stato applicato attraverso il foro da essa lasciato. L'estradosso del solaio è completato da una caldana in calcestruzzo dello spessore di 50 mm, risultando in uno spessore totale pari a 210 mm. La Figura 8 mostra lo spazio lasciato dalla pignatta centrale in uno dei campioni, mentre la Figura 9 mostra il dettaglio della sezione del solaio.

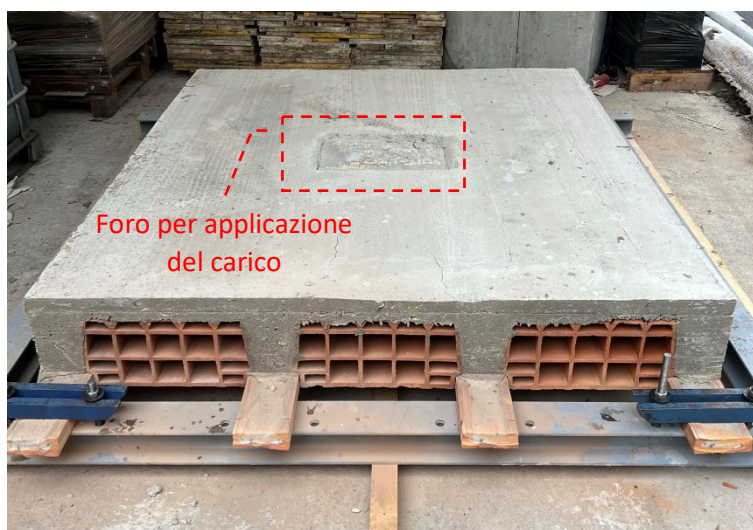


Figura 8. Campione di solaio per prove di sfondellamento.



Figura 9. Dettaglio della sezione del solaio.

Figura 10 mostra la geometria dei campioni a cui è stata applicata la rete con maglia 25x25 mm con l'indicazione del foro attraverso cui è stato applicato il carico. La rete è stata fissata al solaio tramite tasselli (Figura 11a) per calcestruzzo in cui è stata applicata una rondella in acciaio di diametro 50 mm accoppiata ad un fazzoletto in gomma dello spessore di 1.5 mm. L'impronta di carico è stata realizzata con una singola forma quadrata, con dimensioni 20x20 cm.

Sono state svolte tre prove con rete ancorata ai travetti in calcestruzzo a mezzo di vite da calcestruzzo (Tipo B §4 - per la posizione si veda Figura 10a) e tre prove con rete ancorata alla caldana del solaio a mezzo di tasselli ad espansione con barra filettata, passanti attraverso la pignatta (Tipo C §4 - per la posizione si veda Figura 10b).

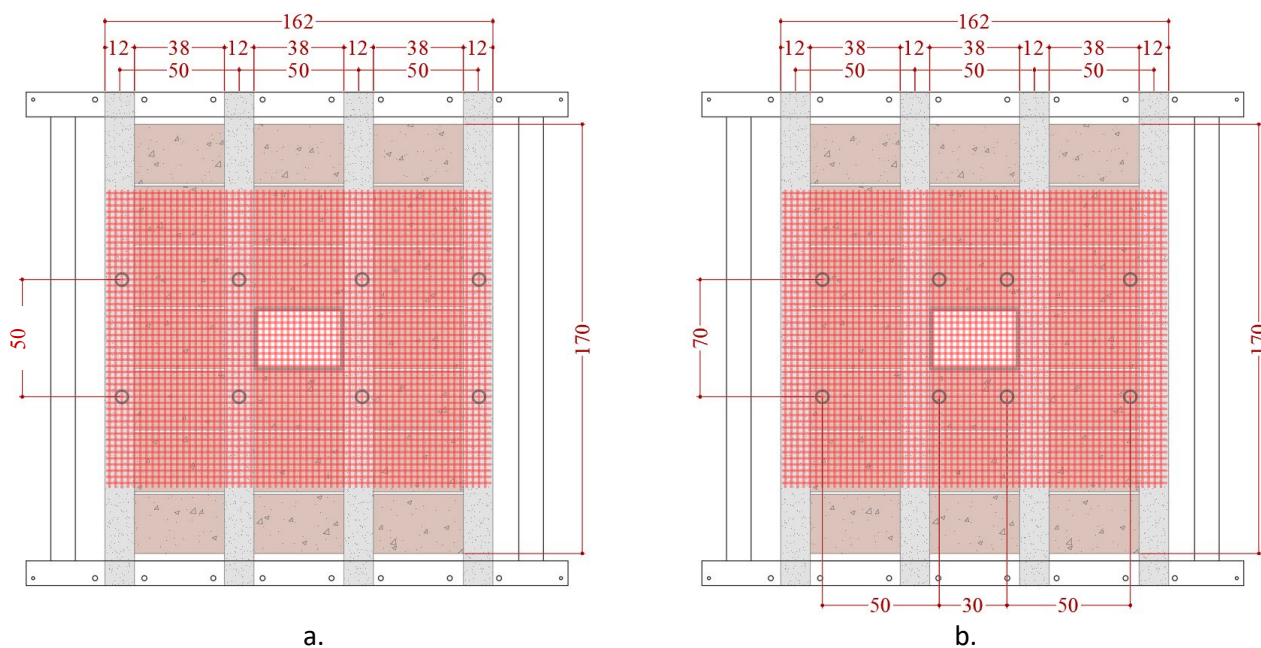
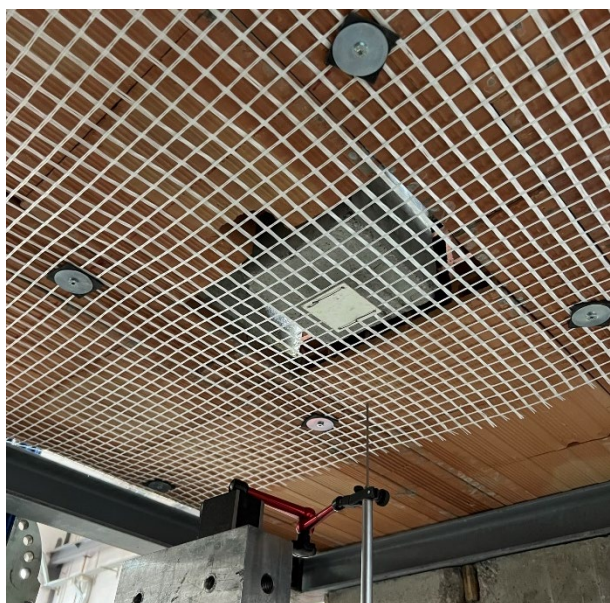


Figura 10. Geometria dei campioni: a) ancoraggio su travetto; b) ancoraggio su caldana. Misure in cm.



a.



b.

Figura 11. Applicazione del sistema di rinforzo tramite dispositivi di connessione. a) Fase precedente all'applicazione del carico; b) fase di prova.

Nella prima prova svolta, lo spostamento verticale della rete è stato misurato tramite un trasduttore di spostamento (Linear Variable Displacement Transducer – LVDT) posto al centro dell'impronta di carico (Figura 11a e b). Dal momento che le letture dell'LVDT sono risultate molto simili allo spostamento misurato dal

martinetto, nelle successive prove si è considerato lo spostamento del martinetto coincidente con lo spostamento dell'impronta di carico.

## 5.2 Prova del sistema applicato con dispositivi di connessione e malta.

È stata eseguita una prova su una porzione di solaio latero-cementizio su cui la rete è stata ancorata ai travetti in calcestruzzo a mezzo di vite da calcestruzzo (Tipo B§4 - per la posizione si veda Figura 10a) e finita con uno strato continuo di malta a base cementizia dello spessore di 10+10 mm (Figura 12).



Figura 12. Applicazione del sistema di rinforzo tramite malta cementizia: a) FASE 1: ancoraggio con dispositivi di connessione; b) FASE 2: finitura con malta.

Durante la prova, la misurazione dello spostamento del rinforzo, in corrispondenza dell'impronta di carico, è stata effettuata per mezzo di un trasduttore LVDT disposto come indicato in Figura 12b.

## 5.3 Risultati

La Tabella 6 riporta i risultati ottenuti da ciascuna prova in termini di:

- carico massimo ottenuto  $P_{max}$ ;
- dimensione dell'impronta di carico;
- spostamento verticale dell'impronta di carico corrispondente al carico massimo  $\delta_{max}$ .

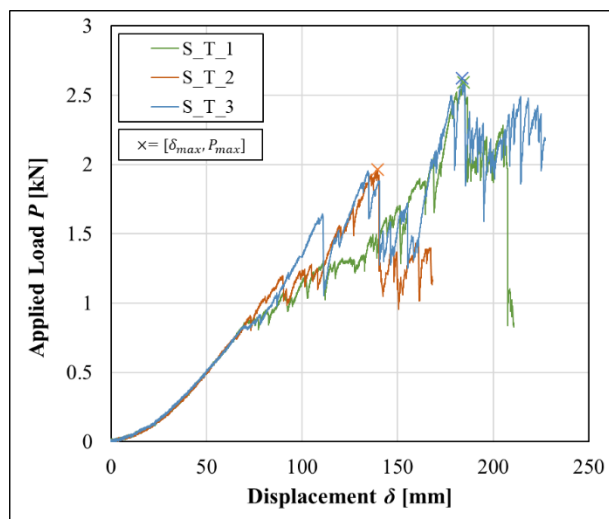
Tabella 6. Risultati delle prove.

NOME PROVA	$P_{max}$ [kN]	Avg [kN] (CoV) {St.Dv}	Impronta di carico [m x m]	$\delta_{max}$ [mm]	Avg [mm] (CoV) {St.Dv}
S_T_1	2.59	2.39	0.04	184	169
S_T_2	1.97	(15.33%)		139	(15.37%)
S_T_3	2.62	{0.37}		184	{26}
S_C_1	2.32	2.83	0.04	169	199
S_C_2	3.01	(15.72%)		214	(13.06%)
S_C_3	3.15	{0.44}		214	{26}
S_TM_1	5.42	-	0.04	94	-

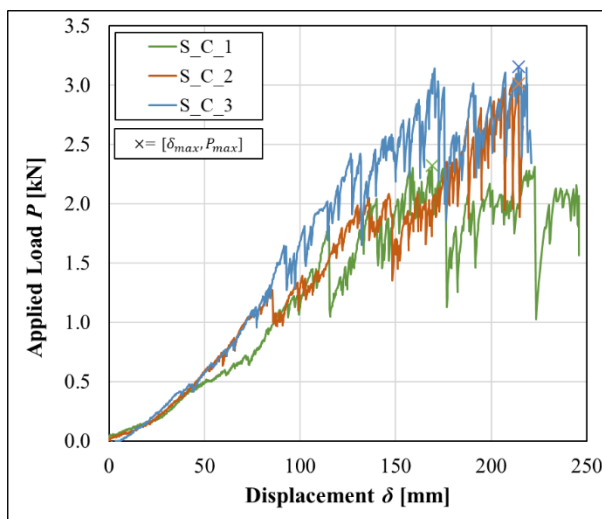


Figura 13a e Figura 13b mostrano le curve carico-spostamento dei provini con sistema ancorato tramite tasselli. Tutti i provini hanno mostrato un comportamento inizialmente lineare, che è stato interrotto da un calo del carico causato da scorrimenti locali della rete o dalla rottura per taglio di un fascio della rete in prossimità di uno dei tasselli di ancoraggio (Figura 14a). A seguito della rottura di un primo fascio della rete, all'aumentare dello spostamento imposto dal martinetto alcuni provini hanno mostrato un aumento del carico applicato mentre in altri il carico è rimasto approssimativamente costante.

Tutti i provini sono giunti a rottura, a seguito del cedimento per taglio dei fasci della rete, in prossimità degli ancoraggi (Figura 14b).

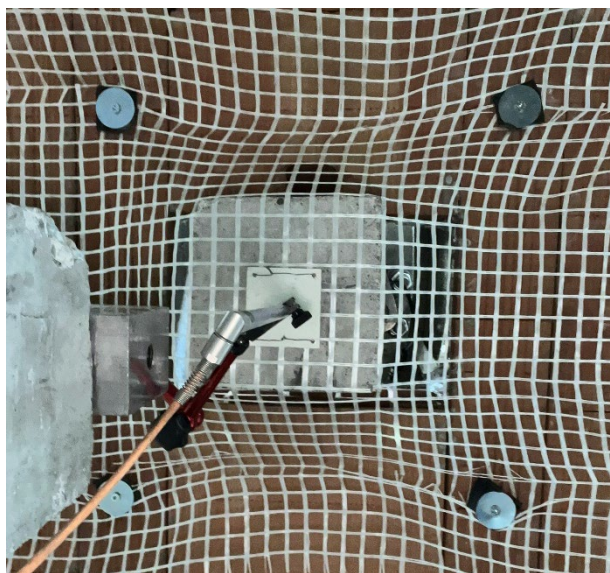


a.



b.

Figura 13. Curve carico-spostamento delle prove con rete ancorata tramite dispositivi di connessione su a) travetti e b) caldana.



a.



b.

Figura 14. Rottura di fasci della rete in prossimità dei punti di ancoraggio.

La Figura 15 mostra la curva carico-spostamento dell'impronta di carico corrispondente al provino con sistema ancorato tramite tasselli e malta cementizia (S\_TM\_1).

Durante la fase iniziale della prova è stata osservata la fessurazione della malta in corrispondenza dell'impronta di carico, tale fessurazione è responsabile delle cadute di carico osservate nel ramo ascendente della curva carico-spostamento (Figura 15). La crisi del provino è avvenuta a causa della diffusa fessurazione della malta, la quale si è staccata dal supporto (Figura 16), e del successivo cedimento per taglio dei fasci della rete in prossimità degli ancoraggi.

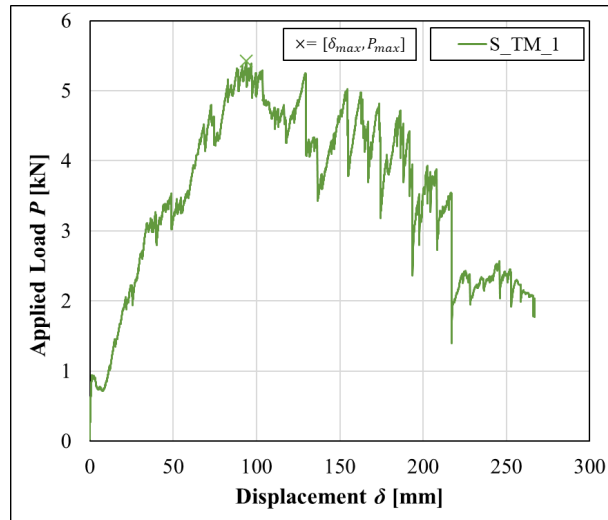


Figura 15. Curva carico-spostamento corrispondente al provino con sistema ancorato tramite dispositivi di connessione e malta cementizia.



Figura 16. Provino S\_TM\_1.

## 6 Conclusioni

La presente campagna sperimentale è stata sviluppata per lo studio delle proprietà meccaniche di sistemi costituiti da reti in fibra di vetro per il presidio di solai latero-cementizi soggetti a problemi di sfondellamento. La prima fase della ricerca ha avuto come oggetto lo studio del comportamento a trazione della rete secca impiegata nel sistema di rinforzo, oltre che la valutazione della resistenza dei suoi nodi trama-ordito. I valori medi ottenuti per ciascun set di campioni sono sintetizzati in Tabella 7, insieme al corrispettivo coefficiente di variazione ed al valore della deviazione standard.

Tabella 7. Sintesi dei risultati delle prove sperimentali sulla rete: valori medi per set di campioni.

Caratterizzazione meccanica rete secca:	Numero di campioni testati	Valore medio	Coefficiente di variazione	Deviazione standard
Resistenza a trazione rete secca in direzione trama	10	1639 [MPa]	10.00 [%]	164 [MPa]
Resistenza a trazione rete secca in direzione ordito	10	1417 [MPa]	2.28 [%]	32 [MPa]
Resistenza del nodo in direzione trama	10	70 [N]	30.06 [%]	21 [N]
Resistenza del nodo in direzione trama	10	66 [N]	20.53 [%]	14 [N]

La seconda fase ha avuto come obiettivo l'indagine della resistenza all'estrazione di connettori impiegati per il fissaggio della rete al solaio. Nello specifico, sono state valutate tre diverse soluzioni, denominate:

- Tipo A - Tassello a espansione da calcestruzzo
- Tipo B - Vite da calcestruzzo
- Tipo C – Tassello a espansione con barra filettata;

I campioni sono stati predisposti su un supporto in calcestruzzo (travetto) di dimensioni 80 x 230 x 1500 mm. I valori medi di resistenza all'estrazione ottenuti da ciascun set di campioni sono sintetizzati in Tabella 8, insieme al corrispettivo coefficiente di variazione ed al valore della deviazione standard.

Tabella 8. Sintesi dei risultati delle prove di estrazione dei connettori dal supporto in calcestruzzo: valori medi per set di campioni.

Prova di estrazione dal supporto in calcestruzzo:	Numero di campioni testati	Valore medio	Coefficiente di variazione	Deviazione standard
Tipo A - Tassello a espansione da calcestruzzo	5	11353 [N]	3.65 [%]	415[N]
Tipo B - Vite da calcestruzzo	5	11429 [N]	9.44 [%]	1078 [N]
Tipo C – Tassello a espansione con barra filettata	5	6050 [N]	10.11 [%]	612 [N]

Infine, sono state eseguite prove di carico su porzioni di solaio latero-cementizio mirate a studiare la capacità portante del sistema di rinforzo costituito da una rete in GFRP applicata all'intradosso del solaio. In particolare, sono state analizzate tre diverse soluzioni per l'ancoraggio della rete:

- Rete ancorata ai travetti in calcestruzzo a mezzo di vite da calcestruzzo (Tipo B);
- Rete ancorata alla caldana del solaio a mezzo di tasselli ad espansione con barra filettata, passanti attraverso la pignatta (Tipo C)
- Rete ancorata ai travetti in calcestruzzo a mezzo di vite da calcestruzzo (Tipo B) e finita con uno strato continuo di malta a base cementizia dello spessore di 10+10 mm.

La prova è stata svolta applicando uno spostamento monotono nella direzione ortogonale al piano della rete, atto a simulare l'azione impressa sul rinforzo derivante dalle pignatte sfondellate. I valori medi del carico massimo ottenuti da ciascun set di campioni sono sintetizzati in Tabella 9.

Tabella 9. Sintesi dei risultati delle prove di carico su solai: valori medi per set di campioni.

Prova di sfondellamento su solaio:	Numero di campioni testati	Valore medio	Coefficiente di variazione	Deviazione standard
Rete ancorata ai travetti a mezzo di vite	3	2.39 [kN]	15.33 [%]	0.37[kN]
Rete ancorata alla caldana a mezzo di tasselli passanti attraverso la pignatta	3	2.83 [kN]	15.72 [%]	0.44 [kN]
Rete ancorata ai travetti a mezzo di vite e intonaco	1	5.42 [kN]*	-	-

\* valore nominale.

I valori medi del carico massimo da sfondellamento ottenuti dal Sistema SafeNet nelle tre configurazioni di ancoraggio, espressi in termini di incremento al sovraccarico ottenuto dal sistema mediante l'impiego di dispositivi di ancoraggio in numero di quattro per metro quadro ( $4/m^2$ ), sono riportati nella seguente Tabella 10.

Tabella 10. Sintesi dei risultati delle prove di carico su solai: valori medi di incremento al sovraccarico ottenuto dal sistema.

Prova di sfondellamento su solaio:	Sovraccarico [kN/m <sup>2</sup> ]	Sovraccarico [kg/m <sup>2</sup> ]
Rete ancorata ai travetti a mezzo di vite	2.39	244
Rete ancorata alla caldana a mezzo di tasselli passanti attraverso la pignatta	2.83	289
Rete ancorata ai travetti a mezzo di vite e intonaco	5.42*	553*

\* valore nominale.