



“CARATTERIZZAZIONE DI CALCESTRUZZI ALLEGGERITI E MATERIALI COMPOSITI PER IL RINFORZO DI SOLAI”

Prof. Luigi Coppola

committente: LATERLITE S.p.A.

riferimento nostra offerta prot. 120781 del 26/06/2024

vostro ordinativo 108434 del 22/07/2024



SOMMARIO

A. INTRODUZIONE	3
B. MATERIALI E METODI	3
B.1 Materiali.....	3
B.2 Metodi.....	4
B.2.1 Ritiro libero.....	4
B.2.2 Ritiro contrastato	5
B.2.3 Prove di resistenza alla fessurazione in fase plastica.....	5
C. RISULTATI	7
C.1 Ritiro libero.....	7
C.2 Espansione contrastata.....	8
C.3 Prove di resistenza alla fessurazione in fase plastica	8
D. CONCLUSIONI.....	10
APPENDICE A.....	11

A. INTRODUZIONE

L'obiettivo di questa sperimentazione è lo studio delle proprietà di calcestruzzi alleggeriti e di materiali compositi commerciali impiegati da Laterlite® SpA per gli interventi di retrofit strutturale di solai esistenti.

Lo studio, che ha coinvolto 4 tipologie di calcestruzzi premiscelati alleggeriti e 2 tipologie di reti, è stato suddiviso in tre parti: la prima (Parte "A") e la seconda parte (Parte "B") si sono focalizzate sulla valutazione, fino a 56 giorni di stagionatura, dell'entità del ritiro libero e dell'espansione contrastata dei conglomerati, rispettivamente in accordo alle norme UNI EN 12390-16 e UNI 8148.

La terza parte dello studio (Parte "C"), è stata finalizzata ad una valutazione comparativa della tendenza alla fessurazione di lastre confezionate con i 4 calcestruzzi alleggeriti ed in tre configurazioni:

- Senza reti di rinforzo
- Con una rete di rinforzo tradizionale (rete elettrosaldata)
- Con una rete di rinforzo in GFRP

L'efficacia dei sistemi di rinforzo è stata determinata misurando, dopo 72 ore di esposizione a condizioni ambientali che esasperano l'evaporazione dell'acqua contenuta nell'impasto e, quindi, il ritiro plastico, l'estensione superficiale e l'ampiezza media del quadro fessurativo.

B. MATERIALI E METODI

B.1 Materiali

Per la realizzazione dei conglomerati su cui sono state condotte le prove sono stati impiegati i seguenti materiali:

- LECA CLS 1400;
- LECA CLS 1600;
- LECA CLS 1800;
- Calcestruzzo CentroStorico;
- Rete elettrosaldata in acciaio al carbonio diametro 6 mm, maglia 100 mm;
- Rete in fibra di vetro G – MESH 490;
- Acqua potabile a temperatura di laboratorio.

B.2 Metodi

I calcestruzzi sono stati confezionati in accordo alle indicazioni riportate nelle schede tecniche dei prodotti. In particolare, il quantitativo d'acqua che è stato addizionato al prodotto premiscelato è pari a quello indicato nelle schede tecniche e, qualora nella scheda vi fosse un intervallo di dosaggi, è stato assunto il valore intermedio (Tabella 1). In particolare:

Tabella 1: Quantitativo d'acqua d'impasto addizionato (scheda tecnica ed effettivo)

Dosaggio acqua [litri/sacco]	Leca CLS 1400	Leca CLS 1600	Leca CLS 1800	Calcestruzzo CentroStorico
Scheda tecnica	4.00 - 4.50	4.00	3.50	3.00
Effettivo	4.25	4.00	3.50	3.00

Al termine della miscelazione, in accordo alle procedure sotto descritte, sono stati confezionati i provini necessari all'esecuzione delle prove.

B.2.1 Ritiro libero

Per la valutazione del ritiro libero sono stati confezionati, all'interno di casseri conformi alla norma EN 12390-1, n.2 provini prismatici di dimensione 100x100x500 mm (Figura 1) sui quali è stato valutato l'andamento delle contrazioni dimensionali fino a 56 giorni di stagionatura.



Figura 1: Provini per le prove di ritiro libero

In accordo alla norma EN 12390-16, i campioni sono stati conservati per 24 ore entro cassero in una camera climatica a $20 \pm 1^\circ\text{C}$ di temperatura e umidità relativa $\geq 95\%$, al termine delle quali è avvenuta la sformatura e la misura della lunghezza iniziale. I provini, che successivamente sono stati riposti all'interno di una camera climatica a $20 \pm 1^\circ\text{C}$ di temperatura e 60% di umidità relativa, sono stati sottoposti alla misura della lunghezza ogni giorno fino a 7 giorni dal confezionamento e, successivamente, dopo 14, 21, 28 e 56 giorni di stagionatura. Le misure sono state condotte mediante

micrometro digitale millesimale e appositi piolini inglobati rigidamente nel conglomerato.

B.2.2 Ritiro contrastato

Oltre ai provini necessari alla prova di cui al punto B.2.1, sono stati confezionati n.3 provini prismatici di dimensione 80x80x240 mm con barra e piastre di contrasto all'espansione (Figura 2) conformi alla norma UNI 8148, sui quali sono state condotte le prove per la stima dell'entità dell'espansione contrastata. Fino all'istante della sformatura, avvenuta, a seconda del prodotto, tra le 7 e le 8 ore dal confezionamento, i campioni sono stati conservati nel cassero in una camera climatica a $20 \pm 1^\circ\text{C}$ di temperatura e umidità relativa $\geq 95\%$. Dopo lo scassero, tramite un micrometro digitale millesimale è stata effettuata la misura della lunghezza iniziale dell'asta annegata nei provini che, successivamente, sono stati stagionati in conformità al "Metodo B" della norma UNI 8148:

- Nelle 48 ore seguenti lo scassero i campioni sono stati conservati in una camera climatica a $20 \pm 1^\circ\text{C}$ di temperatura e umidità relativa $\geq 95\%$. Durante questa fase i provini sono stati ulteriormente protetti dall'evaporazione mediante ricoprimento con due strati di pellicola di polietilene a bassa densità (LDPE);
- Successivamente, sono stati rimossi i due strati protettivi e i campioni sono stati riposti in camera climatica a $20 \pm 1^\circ\text{C}$ e $55 \pm 5\%$ UR.

Le misure dimensionali, corrispondenti al valor medio di 4 misure effettuate ruotando di 90° il provino, sono state effettuate ogni giorno fino a 7 giorni dal confezionamento e, successivamente, dopo 14, 21, 28 e 56 giorni di stagionatura.



Figura 2: Provini per le prove di espansione contrastata

B.2.3 Prove di resistenza alla fessurazione in fase plastica

Per valutare la suscettibilità alla fessurazione in fase plastica dei conglomerati in presenza o in assenza di una rete di rinforzo sono stati confezionati provini prismatici di dimensioni 500x500x50 mm (Figura 3). Per ogni tipologia di calcestruzzo sono state, quindi, prodotte lastre in 3 configurazioni diverse:

- Senza reti di rinforzo;
- Rinforzato tramite rete elettrosaldata;
- Rinforzato tramite rete G – MESH 490.

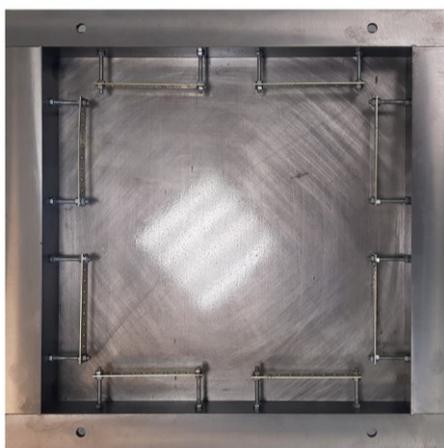


Figura 3.a: Preparazione del cassero e
posizionamento dei ritegni

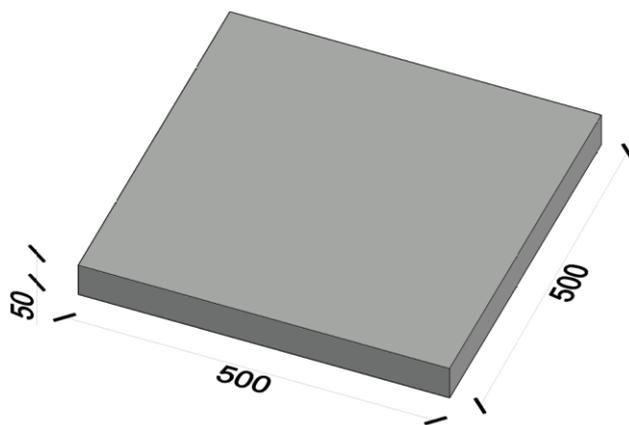


Figura 3 b: Dimensioni dei provini per le prove di
resistenza alla fessurazione in fase plastica

Per consentire una corretta valutazione del quadro fessurativo presente nei provini, sono stati impiegati casseri estremamente rigidi in acciaio equipaggiati con dei sistemi di vincolo del calcestruzzo in grado di impedire che il ritiro si manifesti all'interfaccia cassero-conglomerato, che avrebbe reso meno affidabile la valutazione della suscettibilità alla fessurazione (Figura 4). La rete di rinforzo, ove presente, è stata posizionata a circa 20 mm dalla superficie estradossale della lastra.

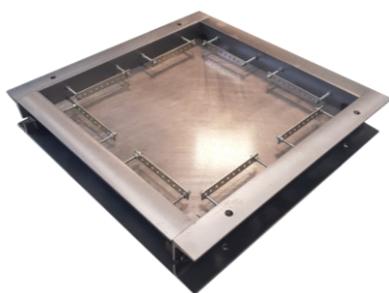


Figura 4.a: Preparazione cassero
per getto lastra senza rinforzo
(No rete)

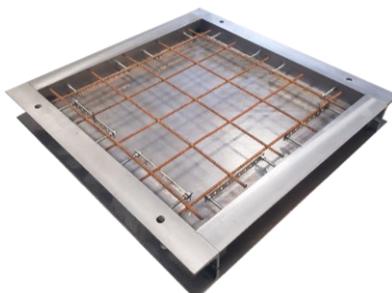


Figura 4.b: Preparazione cassero
per getto lastra rinforzata con rete
elettrosaldata

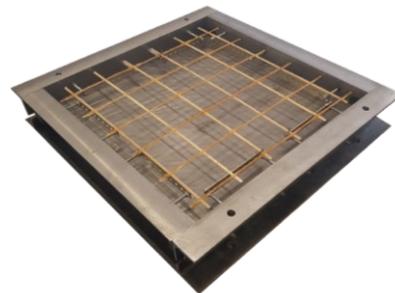


Figura 4.c: Preparazione cassero
per getto lastra rinforzata con rete
in fibra di vetro G-MESH 490

Subito dopo il confezionamento, i provini contenenti il materiale ancora fresco sono stati posti per 72 ore in una camera di maturazione a temperatura, umidità e ventilazione controllati. In particolare, per favorire la fessurazione superficiale in fase plastica, la temperatura è stata mantenuta a 36 ± 2 °C grazie a lampade ad infrarosso

collegate ad un controller dotato di una sonda di temperatura posizionata all'interno della camera climatica. L'umidità relativa è stata contenuta entro l'intervallo $30 \pm 10\%$ grazie ad un deumidificatore, mentre due ventilatori, uno posto sul piano di posa dei provini ed uno a terra, hanno garantito un flusso d'aria secca ad una velocità superiore a 5 m/s. Al termine della prova, tramite tecniche di Digital Image Correlation (DIC) è stata valutata l'estensione, l'ampiezza media e la superficie delle fessure estradossali delle singole lastre.

C. RISULTATI

C.1 Ritiro libero

Le prove di ritiro libero condotte sulle 4 tipologie di calcestruzzo premiscelato hanno evidenziato degli sviluppi in linea con quelli di un conglomerato cementizio alleggerito medio. Infatti, osservando i risultati rappresentati nella Figura 5, in cui vengono riportate le curve che rappresentano l'andamento medio dei ritiri liberi nel tempo, si può osservare che i calcestruzzi premiscelati testati sono soggetti ad un ritiro libero che, al termine dei 56 giorni di stagionatura, si attesta su valori compresi tra 724 e 973 $\mu\text{m}/\text{m}$.

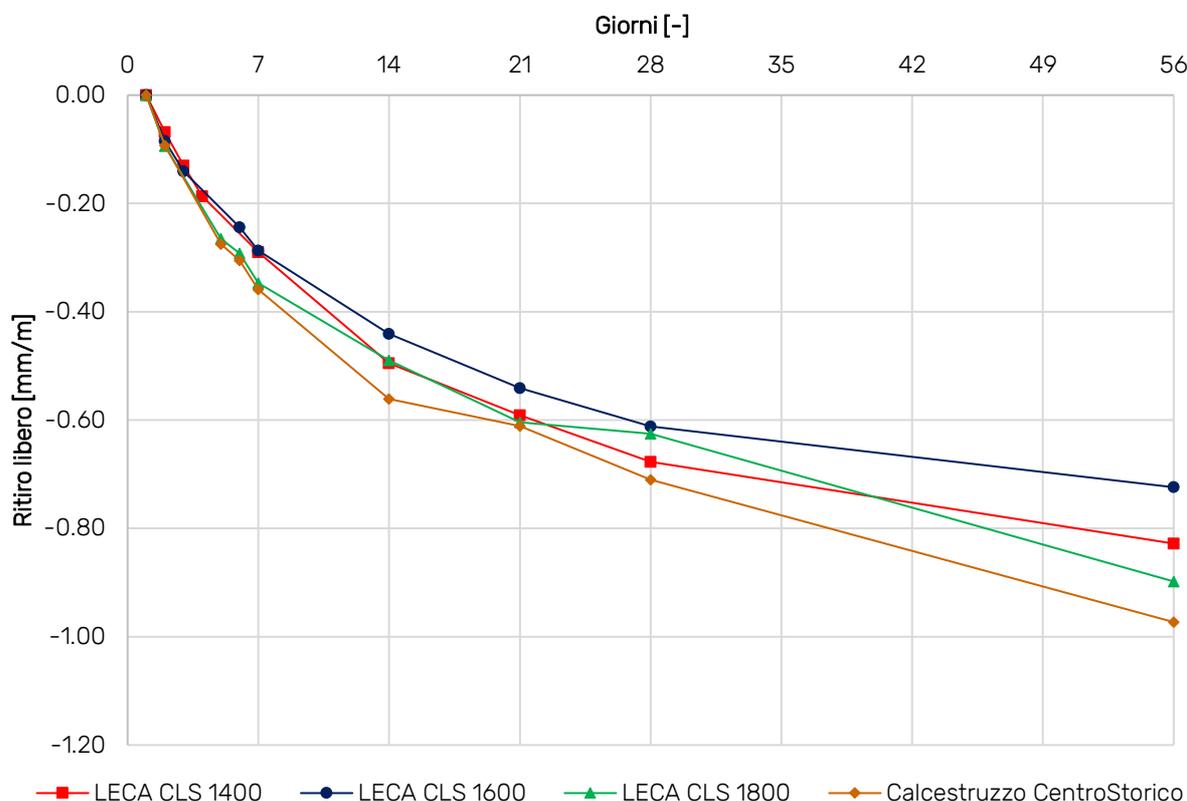


Figura 5: Sviluppo del ritiro libero dei calcestruzzi fino a 56 giorni dal getto

C.2 Espansione contrastata

Nella Figura 6 viene riportato l'andamento medio dell'espansione/ritiro contrastato nel tempo delle 4 tipologie di premiscelato testate. In particolare, si può osservare che i calcestruzzi testati sono soggetti ad un ritiro contrastato che, al termine dei 56 giorni di stagionatura, si attesta su valori compresi tra 453 e 669 $\mu\text{m}/\text{m}$.

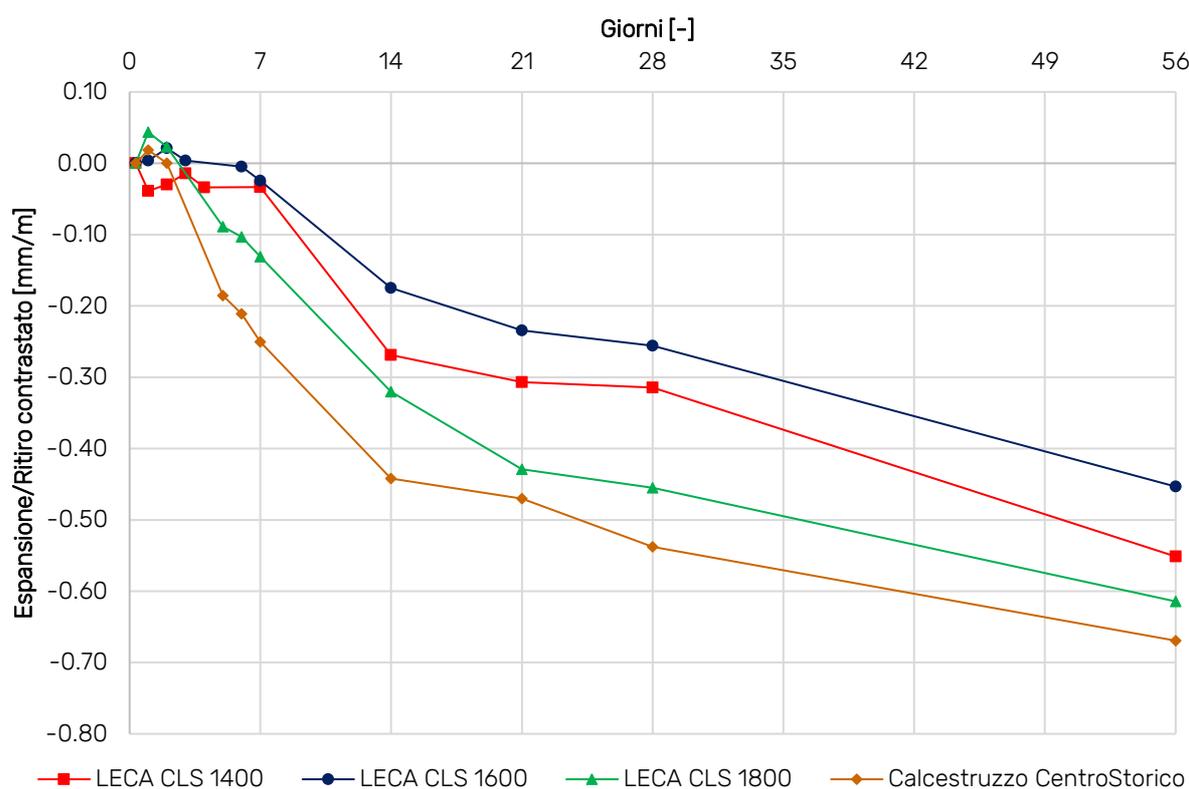


Figura 6: Sviluppo dell'espansione contrastata dei calcestruzzi fino a 56 giorni dal getto (>0: espansione; <0: ritiro)

C.3 Prove di resistenza alla fessurazione in fase plastica

Dai risultati riportati in Figura 7 e Tabella 2, si può osservare che, indipendentemente dalla tipologia di calcestruzzo premiscelato ed indipendentemente dalla tipologia di rete utilizzata, la presenza di un sistema di rinforzo induce un effetto benefico evidenziato da una riduzione significativa della superficie fessurata e dell'ampiezza media delle fessure. In particolare, la presenza della rete G-MESH 490 ha portato ad una riduzione dell'ampiezza media delle fessure e dell'area di fessura tra il 74% ed il 98% rispetto alle medesime lastre realizzate senza rete di rinforzo. La riduzione della suscettibilità alla fessurazione promossa dall'impiego della rete in fibra di vetro è risultata pressoché analoga a quella osservabile in presenza di un sistema di rinforzo tradizionale (rete elettrosaldata).

Si fa infine notare come, indipendentemente dalla tipologia di rinforzo adottato, i quattro prodotti oggetto di studio siano caratterizzati da una differente tendenza alla fessurazione; Calcestruzzo CentroStorico ha evidenziato una modestissima tendenza alla fessurazione in fase plastica, mentre gli altri tre premiscelati (in particolare LECA CLS 1400 e LECA CLS 1800) hanno mostrato, in ambienti in cui l'evaporazione di acqua è esasperata, la comparsa di quadri fessurativi decisamente più estesi sia come superficie che come ampiezza media.

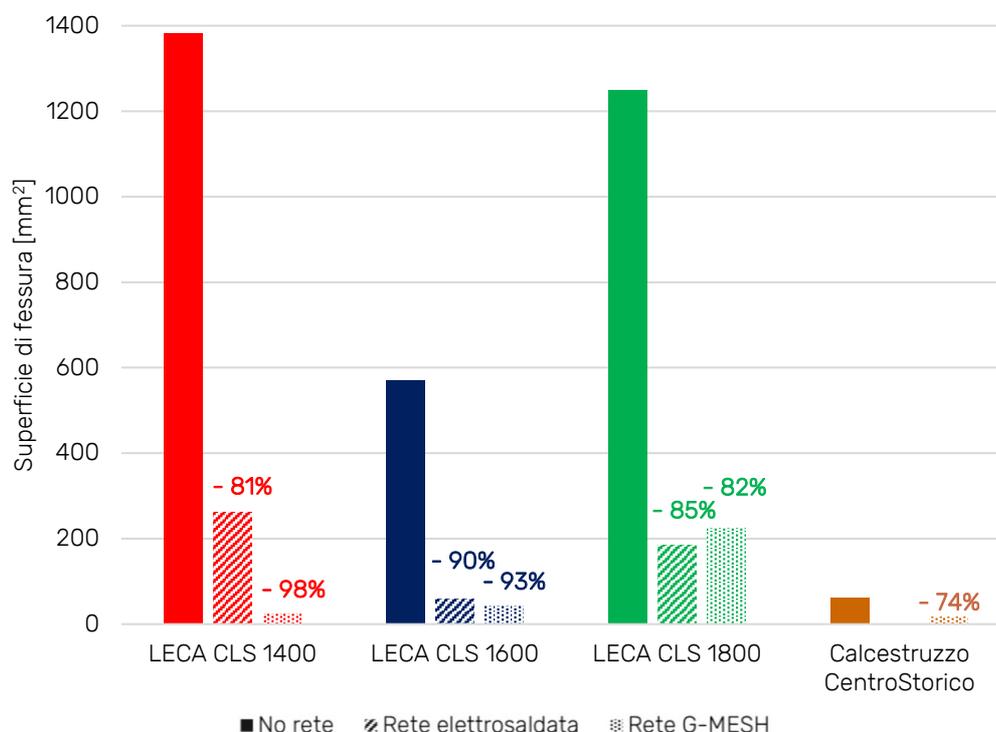


Figura 7: Area di fessura misurata sulla superficie delle lastre con e senza sistema di rinforzo.
No rete: colore pieno – Rete elettrosaldata: retino zigrinato – Rete G-MESH 490: retino puntinato

Tabella 2: Estensione e ampiezza media delle fessure rilevate sui provini sottoposti alle prove di resistenza alla fessurazione

		No rete	Rete elettrosaldata	Rete G - MESH 490
LECA CLS 1400	Estensione fessure [mm]	1355	1047	294
	Ampiezza media fessure [mm]	1.02	0.25	0.08
LECA CLS 1600	Estensione fessure [mm]	1019	96	72
	Ampiezza media fessure [mm]	0.56	0.62	0.59
LECA CLS 1800	Estensione fessure [mm]	1237	594	1179
	Ampiezza media fessure [mm]	1.01	0.31	0.19
Calcestruzzo CentroStorico	Estensione fessure [mm]	417	0	163
	Ampiezza media fessure [mm]	0.15	0.00	0.10

D. CONCLUSIONI

I risultati sperimentali delle prove di ritiro libero e di espansione contrastata condotte sui 4 calcestruzzi premiscelati forniti da Laterlite® Spa (LECA CLS 1400, LECA CLS 1600, LECA CLS 1800, Calcestruzzo CentroStorico) hanno evidenziato un comportamento che risulta essere congruente con quello di conglomerati alleggeriti medi.

Inoltre, le prove di resistenza alla fessurazione in fase plastica hanno mostrato che il rinforzo in GFRP (rete G-MESH 490) è molto efficace nel contrastare la formazione di fessure nella fase plastica dei calcestruzzi alleggeriti, garantendo, in presenza di condizioni ambientali particolarmente avverse (Temperatura: 36 ± 2 °C, Umidità relativa: $30 \pm 10\%$, Velocità dell'aria: > 5 m/s), una efficacia nella riduzione della superficie fessurata paragonabile (e in alcuni casi migliore) a quella di un sistema tradizionale costituito da una rete elettrosaldata.

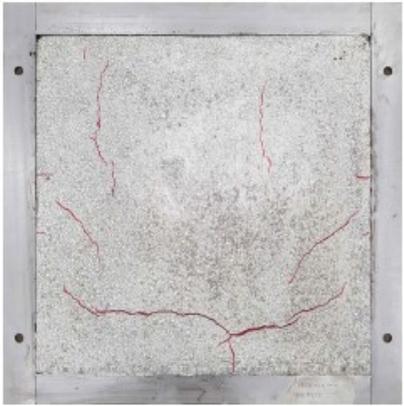
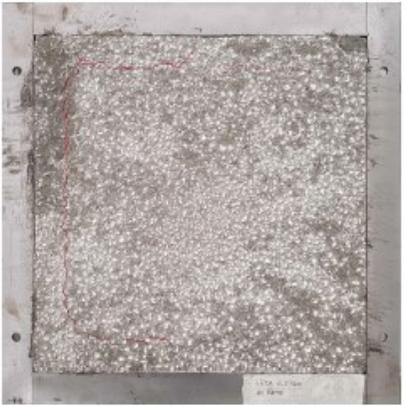
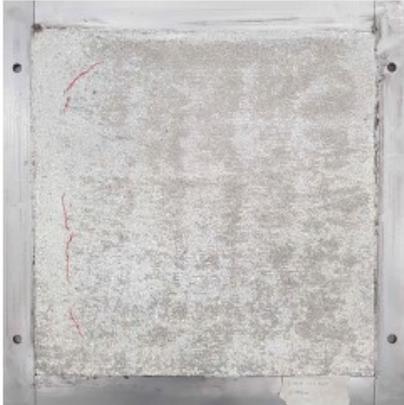
Dalmine, 22/11/2024

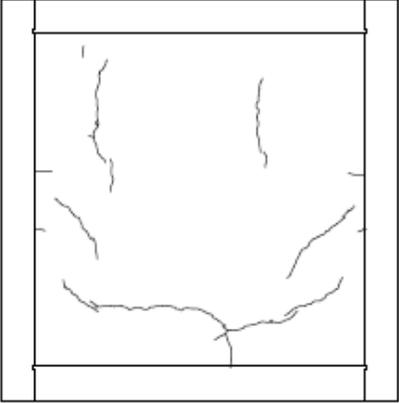
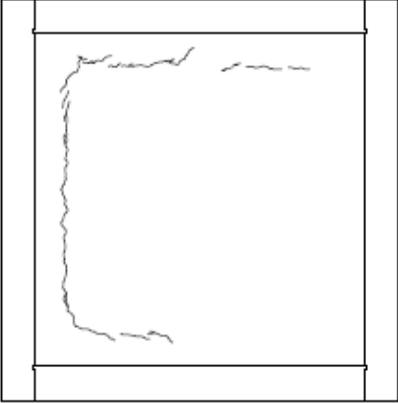
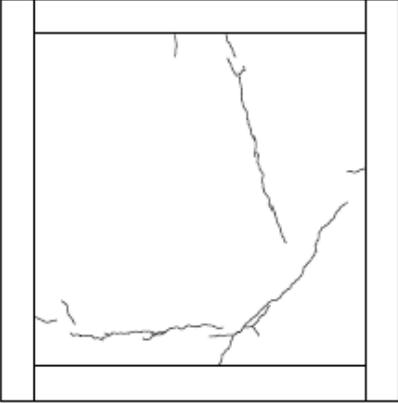
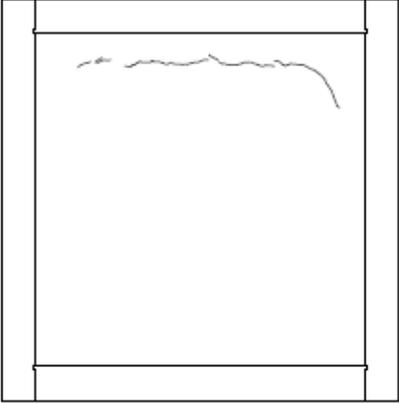
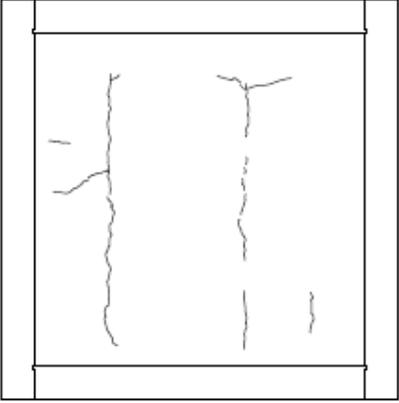
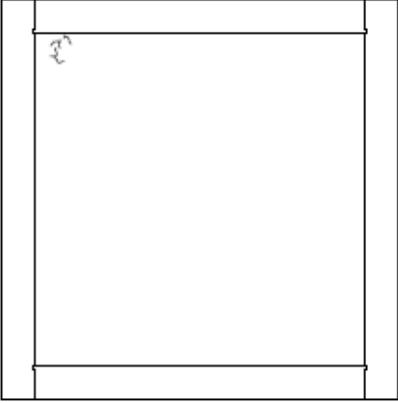
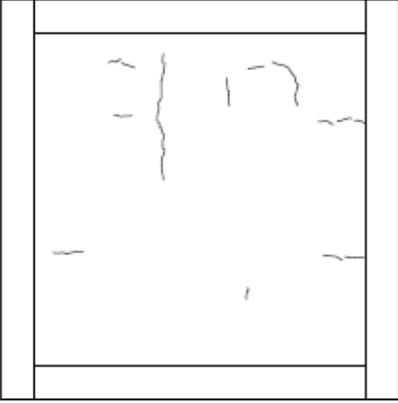
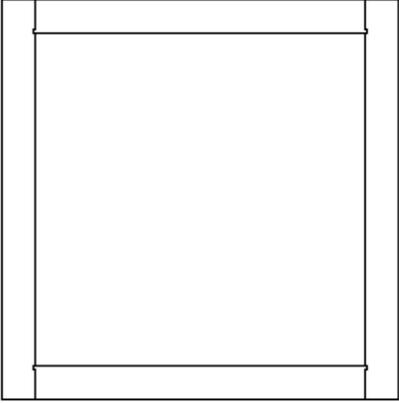
Prof. Luigi Coppola

*Documento sottoscritto con firma digitale ai
sensi del D.lgs. n. 82/2005 e s.m.i.*



APPENDICE A

	LECA CLS 1400	LECA CLS 1600	LECA CLS 1800	CLS Centrostorico
NO RETE				
ELETTROSALDATA				
G - MESH 490				

	LECA CLS 1400	LECA CLS 1600	LECA CLS 1800	CLS Centrostorico
NO RETE				
ELETTROSALDATA				
G - MESH 490	