

INTERVENTO

FONDO COMPLEMENTARE AL PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA
PROGRAMMA "SICURO, VERDE E SOCIALE: RIQUALIFICAZIONE DELL'EDILIZIA RESIDENZIALE PUBBLICA"

**PROGETTO DI MANUTENZIONE STRAORDINARIA PER ADEGUAMENTO SISMICO E
MIGLIORAMENTO ENERGETICO DELL'EDIFICIO POSTO IN VIA GALILEI 3-5-7
COMUNE DI IMOLA**

LOTTO **3050/PN**

PROGETTO ESECUTIVO

TAV. RS_STR_09_G3-5-7		OGGETTO Indagini Murature			DATA Giugno 2022		
SCALA					N. DISEGNO		
VERSIONE	DESCRIZIONE		DATA	REDATTO	VERIFICATO		APPROVATO
00	PRIMA EMISSIONE		Giugno 2022		N. LEONE		N. LEONE
01							
02							
03							

<p>Il Progettista Architettonico</p> <p>Ing. Nicola Leone SIDEL Ingegneria Srl Via Isonzo, 13 40055 Villanova di Castenaso (BO)</p>	<p>Il Progettista Strutturale</p> <p>Ing. Nicola Leone SIDEL Ingegneria Srl Via Isonzo, 13 40055 Villanova di Castenaso (BO)</p>	<p>Il Progettista Impianti Elettrici</p> <p>Ing. Nicola Leone SIDEL Ingegneria Srl Via Isonzo, 13 40055 Villanova di Castenaso (BO)</p>	<p>Il Progettista Impianti Meccanici</p> <p>Ing. Nicola Leone SIDEL Ingegneria Srl Via Isonzo, 13 40055 Villanova di Castenaso (BO)</p>
<p>Il Coordinatore della Sicurezza in Fase Progettuale</p> <p>Ing. Nicola Leone SIDEL Ingegneria Srl Via Isonzo, 13 40055 Villanova di Castenaso (BO)</p>	<p>Il Coordinatore per la progettazione</p> <p>Ing. Nicola Leone SIDEL Ingegneria Srl Via Isonzo, 13 40055 Villanova di Castenaso (BO)</p>		
<p>Responsabile del Procedimento</p> <p>Ing. Antonio Frighi ACER Bologna Piazza della Resistenza, 4 40122 Bologna</p>	<p>Il Dirigente Responsabile del Servizio Tecnico</p> <p>Ing. Antonio Frighi ACER Bologna Piazza della Resistenza, 4 40122 Bologna</p>	<p>Il Direttore Generale</p> <p>Avv. Francesco Nitti ACER Bologna Piazza della Resistenza, 4 40122 Bologna</p>	<p>Il Presidente</p> <p>Marco Bertuzzi ACER Bologna Piazza della Resistenza, 4 40122 Bologna</p>



4 EMME Service S.p.A.

Prove in Sito - Laboratorio Prove Materiali

Sede legale: Via L. Zuegg, 20 - 39100 Bolzano - ITALY

Tel. 0471/543111 - Fax 543110

4emme@legalmail.it

www.4emme.it

Sistema Qualità ISO 9001:2008 certificato RINA nr. 6441/01/S

INDAGINI SU MURATURA

CIVILE ABITAZIONE

VIA G. GALILEI, 3-5-7 - IMOLA (BO)

PROVE N° 6144A-B-C-B-E-F-6145/BO

29-30 novembre 2021

Committente: **Sidel Ingegneria SRL**

Progettista: **Ing. Nicola Leone**

Relatore: **Dott. Danilo Panetta**



Fabbricato di Via G. Galilei, 3-5-7 - Imola

Rif: BO – 219 – 21

Bologna, 9 dicembre 2021

INDICE

1. PREMESSA.....	3
1.1 Descrizione della struttura e posizione delle indagini	3
1.2 Posizione delle indagini.....	4
2. PROVA CON MARTINETTI PIATTI	5
2.1 Strumentazione di misura.....	5
2.2 Caratteristiche martinetti	5
2.3 Attrezzatura di taglio	6
2.4 Rilievo in sito delle tensioni di esercizio.....	6
2.5 Rilievo in sito delle tensioni di esercizio a compressione.....	6
2.6 Descrizione della prova (MP1 – prova n° 6144A/BO).....	7
2.7 Rapporto dei risultati – Via G. Galilei, 3.....	9
2.8 Descrizione della prova (MP2 – prova n° 6144B/BO).....	10
2.9 Rapporto dei risultati – Via G. Galilei, 5.....	13
2.10 Descrizione della prova (MP3 – prova n° 6144C/BO).....	14
2.11 Rapporto dei risultati – Via G. Galilei, 7.....	16
3. SHAVE TEST	17
3.1 Strumentazione di misura.....	17
3.2 Metodologia	17
3.3 Descrizione della prova.....	17
3.4 Rapporto dei risultati (Shave test 1 - prova n° 6144D/BO)	17
3.5 Rapporto dei risultati (Shave test 2 - prova n° 6144E/BO).....	19
3.6 Rapporto dei risultati (Shave test 3 - prova n° 6144F/BO).....	21
4. PROVE PENETROMETRICHE SU MALTA	23
4.1 Rapporto dei risultati	23

1. PREMESSA

La Società **4 EMME Service S.p.A.**, specializzata nell'esecuzione di prove di carico e prove sperimentali su strutture in sito, è stata incaricata dalle **Sidel Ingegneria SRL** di effettuare una serie di indagini su elementi strutturali in muratura del fabbricato abitativo sito in via G. Galilei, 3-5-7 nel Comune di Imola (BO).

Attraverso queste indagini s'intende verificare le proprietà meccaniche della muratura.

La scelta degli elementi strutturali da sottoporre a verifica, le modalità di rilevazione ed i punti di misura sono stati preventivamente concordati con il progettista ing. Nicola Leone

Le indagini sono state eseguite i giorni **29-30 novembre 2021**.

All'esecuzione delle prove hanno assistito:

Ing. Nicola Leone

Sidel Ingegneria SRL

e per la **4 EMME Service S.p.A.**

Ing. Thomas Vassalli
Dott. Danilo Panetta
Ing. Adrian Justyn
P.e. Michele Vaccari
Sig. Rushit Nezha

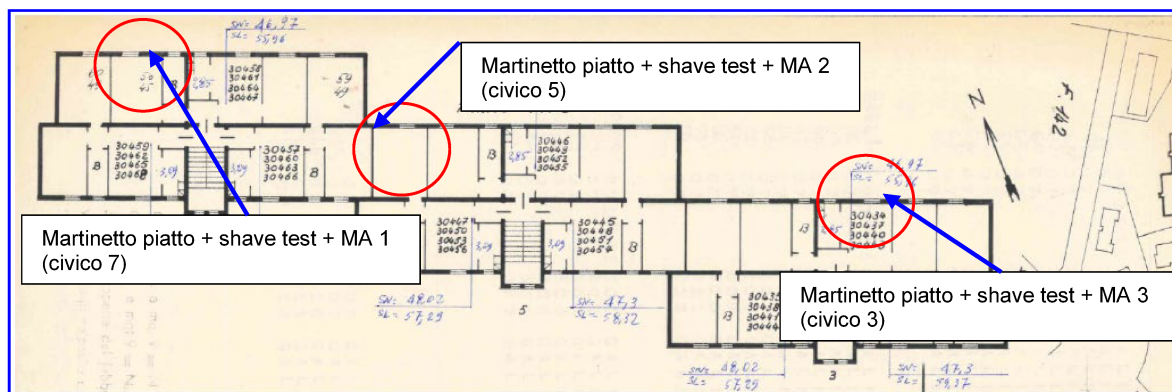
1.1 Descrizione della struttura e posizione delle indagini

L'edificio è costituito da quattro livelli fuori terra in muratura portante di laterizio.



Ubicazione della struttura nel Comune di Imola

1.2 Posizione delle indagini



Pianta - posizione delle indagini – MP; Shave test e Malta – Via G. Galilei, 3-5-7

2. PROVA CON MARTINETTI PIATTI

2.1 Strumentazione di misura

La rilevazione delle deformazioni è stata effettuata con l'attrezzatura costituita da:

- unità computerizzata di registrazione delle deformazioni *Wavebook/516E*;
- 3 trasduttori potenziometrici modello *Midori LP-50* da $5\text{ K}\Omega$;
- software di elaborazione *DasyLab ver. 11.0*.



Prova MP1- Via Bentivogli, 47

La calibrazione è stata effettuata in data 19 ottobre 2021 e documentata col Certificato di Taratura n. 1942/21.

Tutti gli strumenti sono stati tarati dal Laboratorio Tarature della 4 EMME Service S.p.A. utilizzando dei sensori campione come previsto dalla procedura 7.6 "Gestione degli Strumenti" del Manuale di Qualità.

2.2 Caratteristiche martinetti

Il martinetto piatto è una cella di carico azionata idraulicamente di forma semicircolare con le seguenti caratteristiche:

- | | |
|---------------------------------|--------------------------|
| – superficie: | 761,50 cm ² ; |
| – spessore: | 3,50 mm; |
| – diametro: | 34,70 cm; |
| – profondità di installazione: | 25,70 cm; |
| – Coefficiente di bordo K_m : | 0,89 |

Ogni martinetto è caratterizzato da un coefficiente di bordo K_m che ne definisce l'efficacia, ossia la riduzione della spinta dovuta alla rigidità dei bordi.



Martinetto piatto



Troncatrice

2.3 Attrezzatura di taglio

Consiste in una troncatrice ad utensile diamantato. Questa produce una incisione netta, di minimo disturbo per la struttura. L'incisione prodotta (di spessore 4 mm) ha una forma praticamente uguale a quella del martinetto. Si assume come area di taglio media $A_t = 865,0 \text{ cm}^2$.

L'erogazione della pressione ai martinetti viene effettuata tramite una pompa idraulica munita di regolazione fine. La pressione di carico viene misurata mediante un manometro di precisione.

2.4 Rilievo in sito delle tensioni di esercizio

La tensione di esercizio in sito si ricava dalla seguente formula:

$$\sigma_v = P \cdot \frac{A_m}{A_t} \cdot k_m$$

dove:

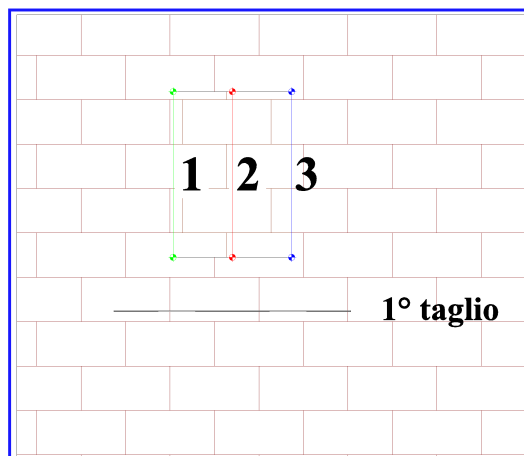
σ_v = tensione verticale di esercizio in sito (daN/cm²);

P = pressione di ripristino delle condizioni iniziali al martinetto;

A_m = area del martinetto (cm²);

A_t = area del taglio (cm²);

K_m = coefficiente di bordo del martinetto (adimensionale).



2.5 Rilievo in sito delle tensioni di esercizio a compressione

La resistenza in sito si ricava dalla seguente formula:

$$\sigma_v = P \cdot \frac{A_m}{A_t} \cdot \overline{k_m}$$

dove:

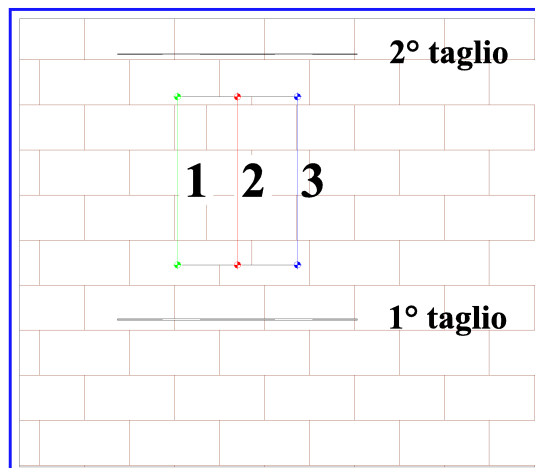
σ_v = tensione verticale di esercizio in sito (daN/cm²);

P = pressione di ripristino delle condizioni iniziali al martinetto;

A_m = area del martinetto (cm²);

A_t = valore medio delle due aree di taglio (cm²);

K_m = valore medio dei due coefficienti di bordo dei martinetti (adimensionale).

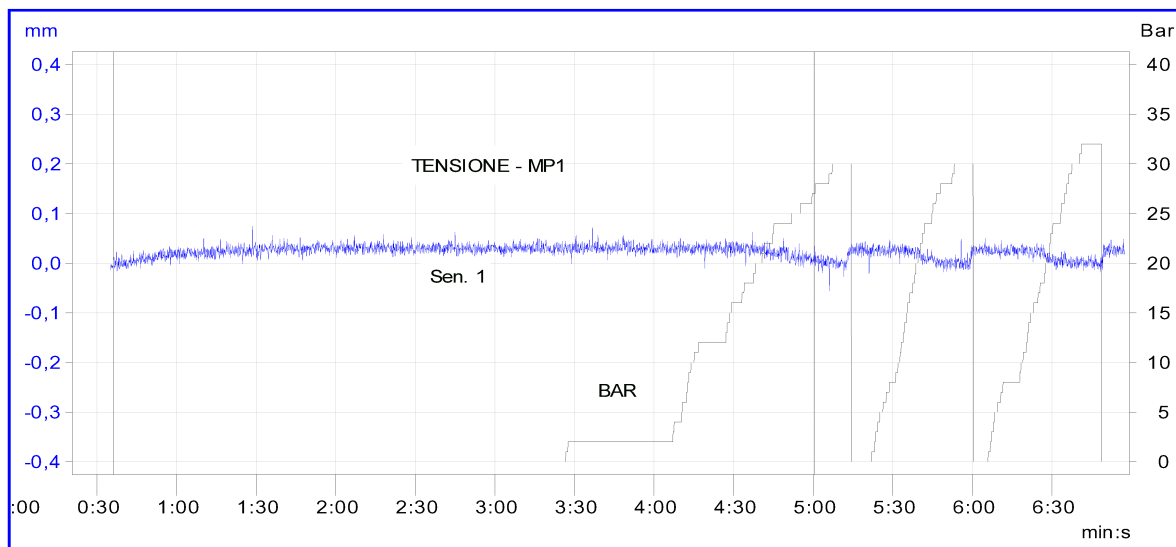


La metodologia di prova con i martinetti piatti prevede che le deformazioni si stabilizzino prima di applicare il successivo incremento di carico, mettendo così in evidenza eventuali fenomeni di tipo non lineare o viscoso.

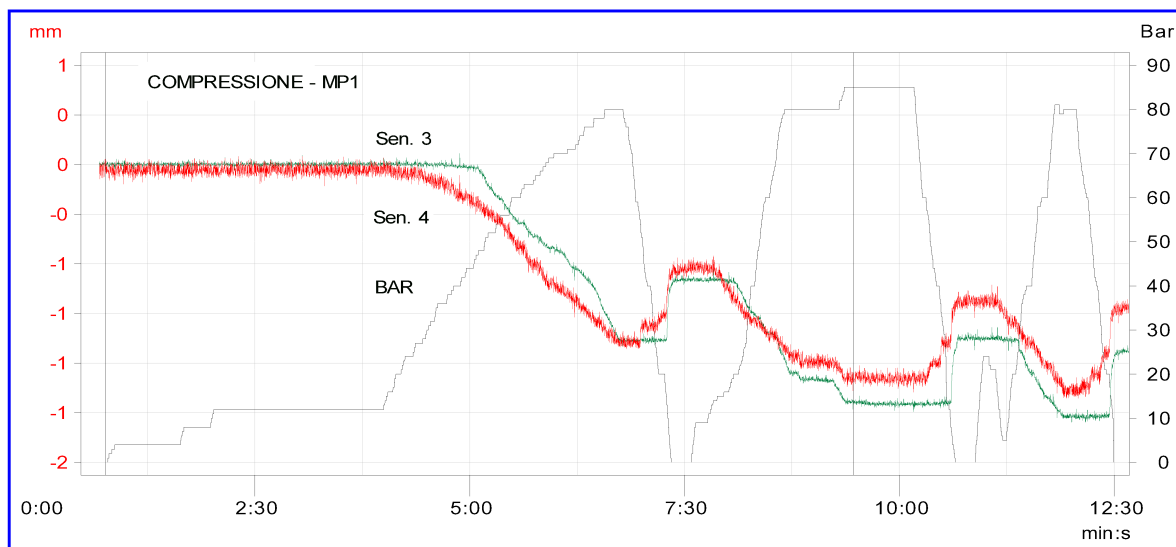
Si sottolinea che i risultati che si possono ottenere sono fortemente influenzati dall'eterogeneità della muratura indagata e che pertanto devono essere sempre interpretati alla luce delle particolari condizioni del sito.

2.6 Descrizione della prova (MP1 – prova n° 6144A/BO)

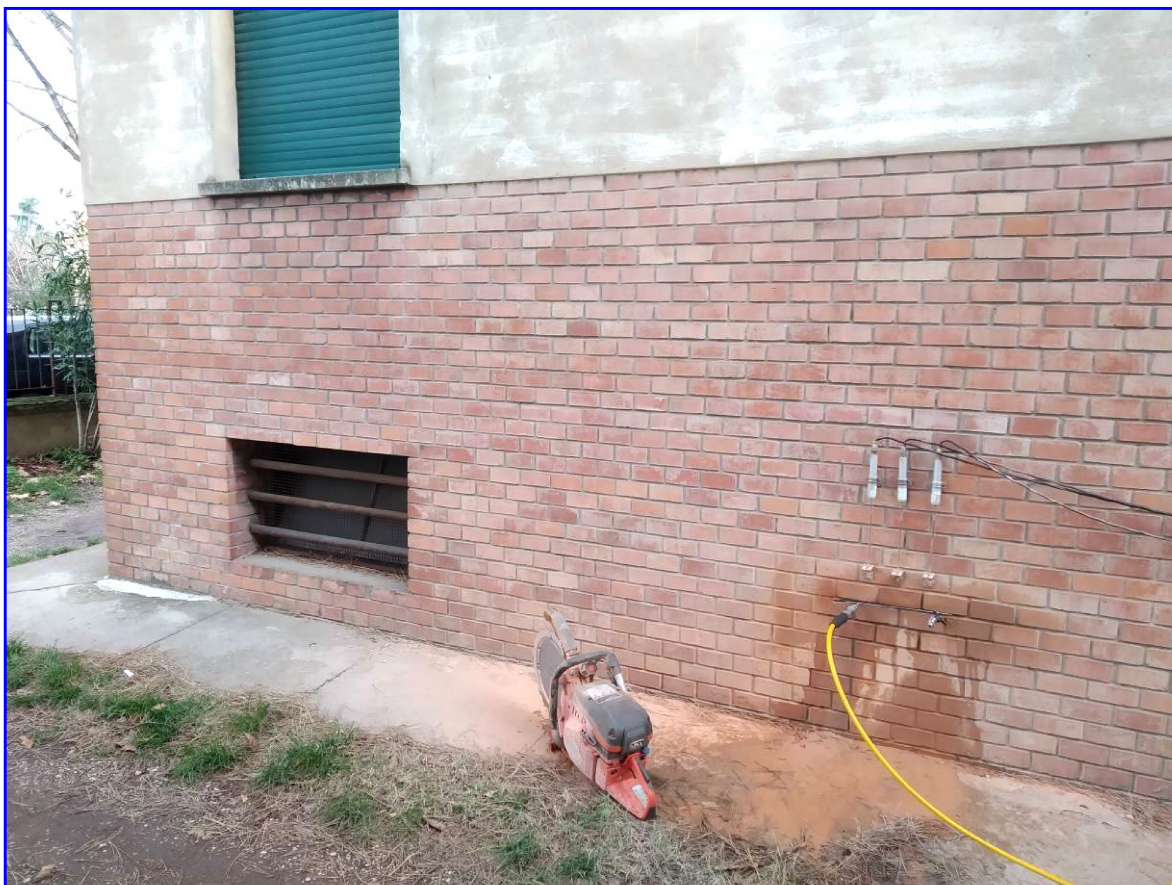
La prova **6144A/BO**, denominata **MP1**, è stata effettuata sulla parete perimetrale al piano terra della struttura; sono stati installati 3 trasduttori potenziometrici per le misurazioni in tempo reale.



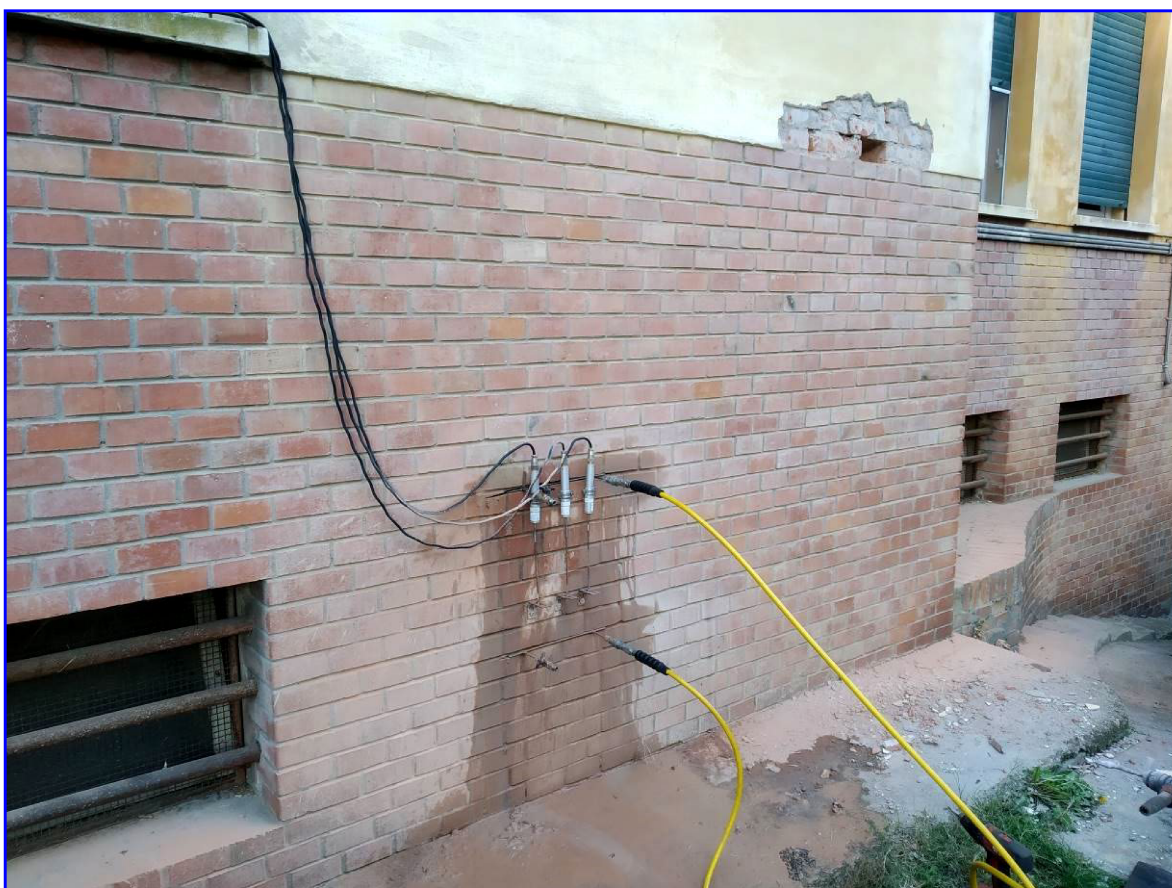
Grafici originali rilevati durante la prova (tensione)



Grafici originali rilevati durante la prova (compressione)



Zona della prova



prova di compressione

2.7 Rapporto dei risultati – Via G. Galilei, 3

<i>N° prova</i>	Pressione di Ripristino [bar]	Tensione di esercizio [daN/cm ²]	Pressione di Compressione [bar]	Tensione di compressione [daN/cm ²]
MP1	28,00	22,96	85,00	69,70

Modulo elastico

Dal rapporto tra la tensione di compressione applicata e la deformazione massima misurata si ricava il valore del modulo di elasticità **E**:

$$E = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon}$$

dove: $\Delta\sigma$ = intervallo di carico considerato pari a **69,70 daN/cm²**

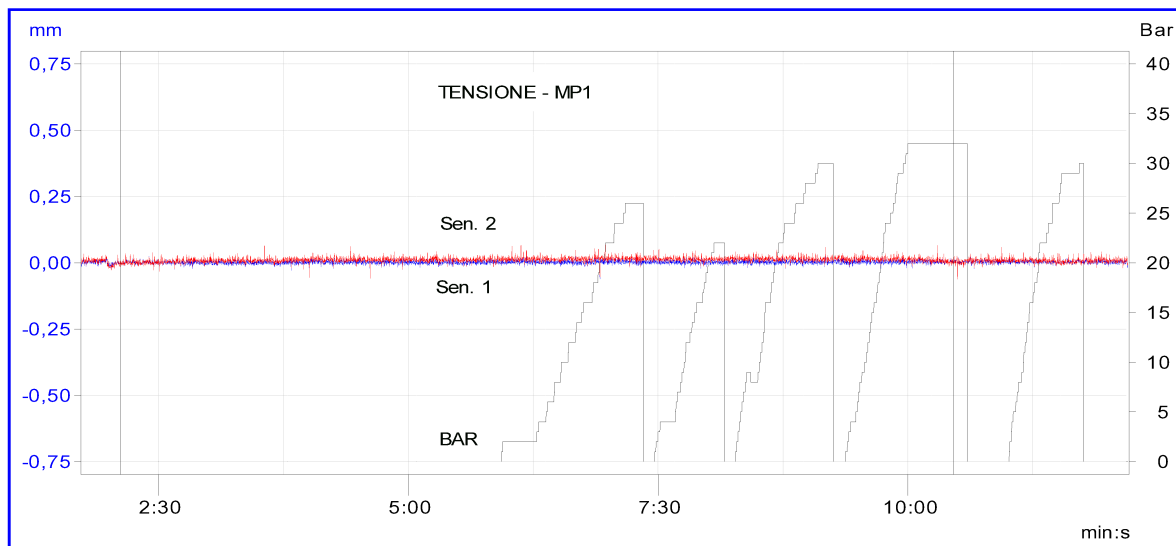
$$\Delta\varepsilon = \text{deformazione assiale corrispondente } \Delta\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$$

Essendo $\Delta l = 1,18$ mm (deformazione media rilevata sui cicli con incremento da 4,0 a 90,0 bar) e $l = 360$ mm (distanza fra i capisaldi):

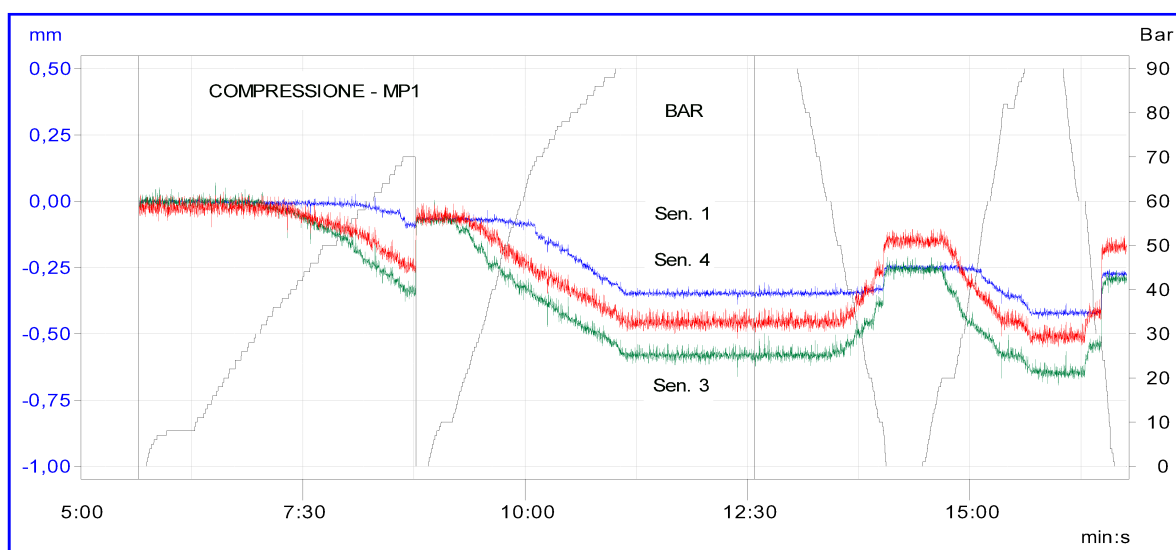
$$E = 69,70/0,00328 = \mathbf{21.264 \text{ daN/cm}^2}$$

2.8 Descrizione della prova (MP2 – prova n° 6144B/BO)

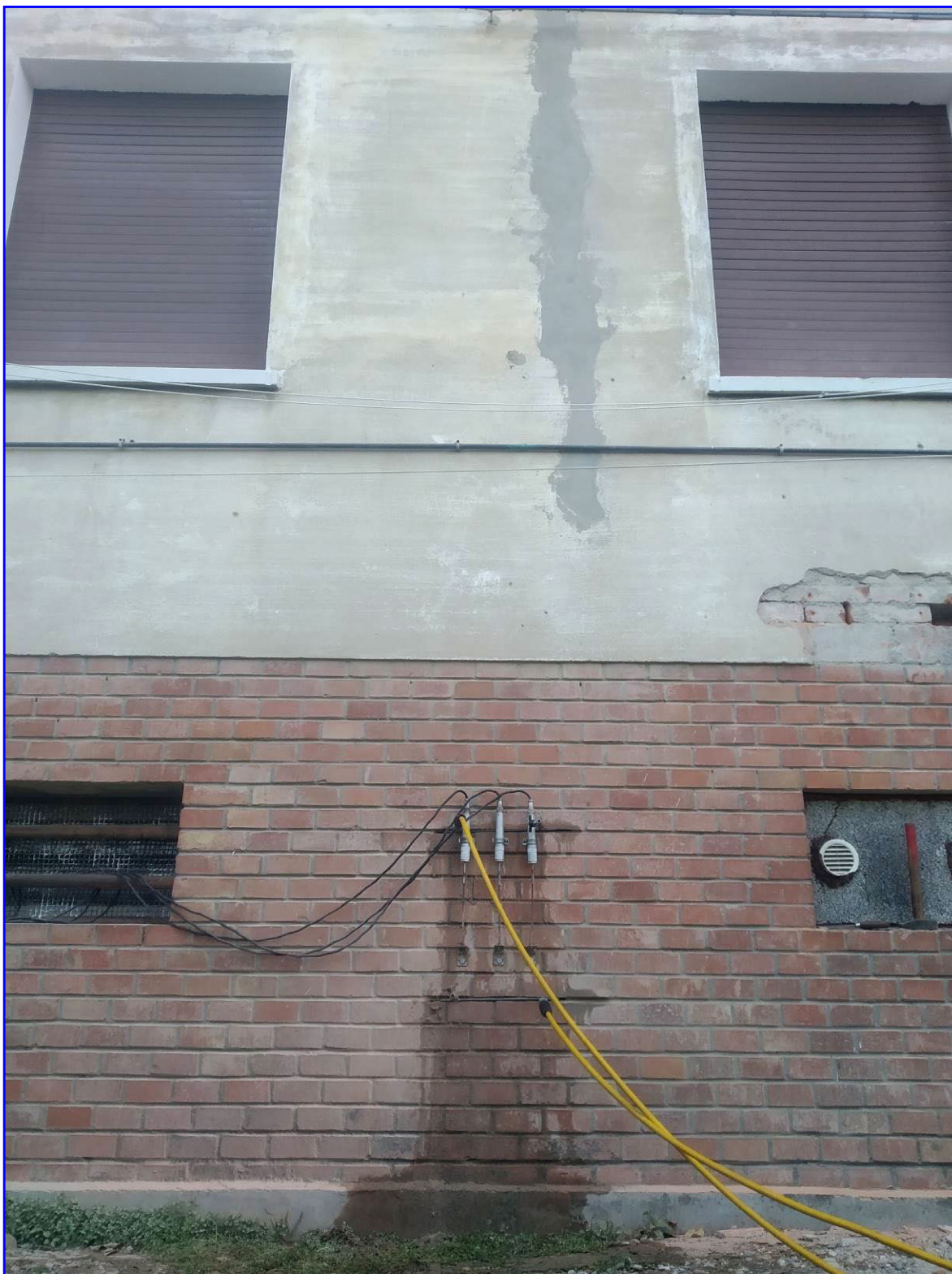
La prova 61424/BO, denominata MP2, è stata effettuata sulla parete perimetrale lato sud al piano terra della struttura; sono stati installati 3 trasduttori potenziometrici per le misurazioni in tempo reale.



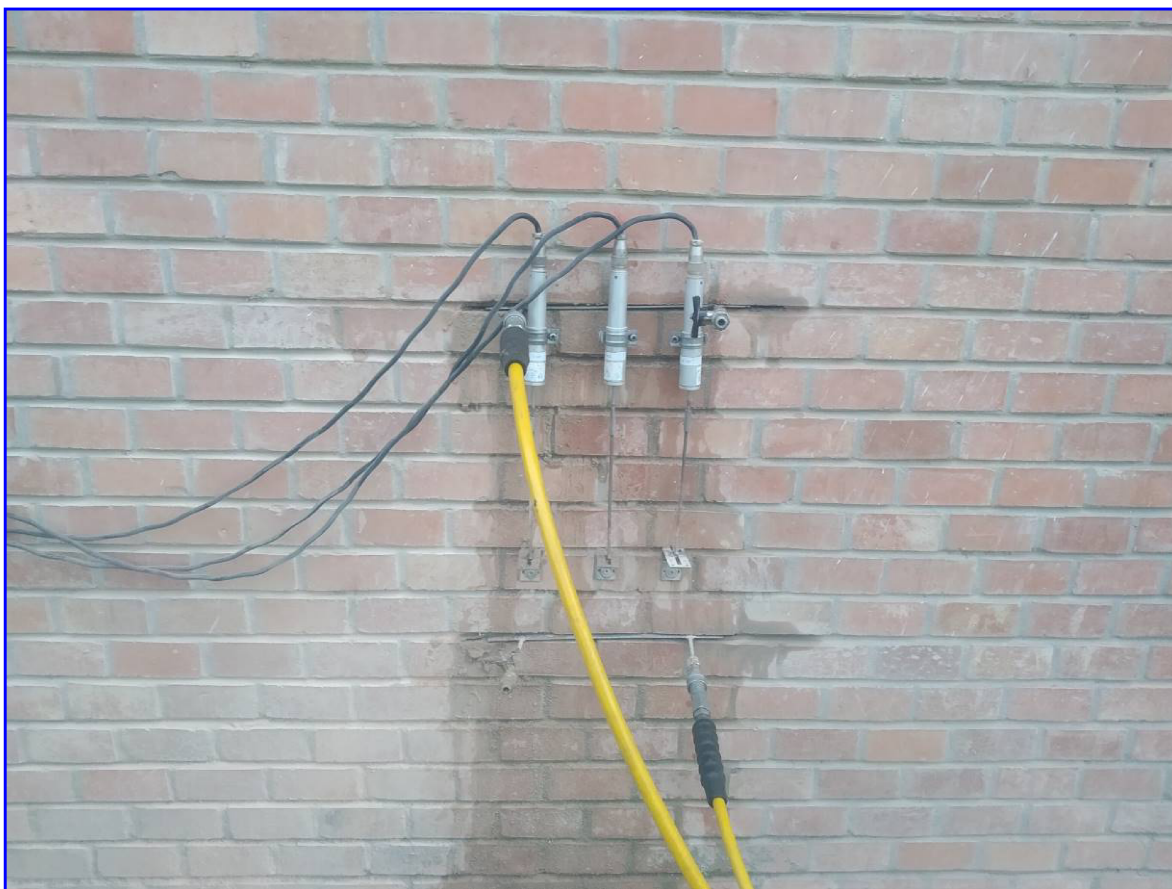
Grafici originali rilevati durante la prova (tensione)



Grafici originali rilevati durante la prova (compressione)



Zona della prova



Prova di tensione e di compressione

2.9 Rapporto dei risultati – Via G. Galilei, 5

<i>N° prova</i>	Pressione di Ripristino [bar]	Tensione di esercizio [daN/cm ²]	Pressione di Compressione [bar]	Tensione di compressione [daN/cm ²]
MP2	28,00	22,96	90,00	73,80

Modulo elastico

Dal rapporto tra la tensione di compressione applicata e la deformazione massima misurata si ricava il valore del modulo di elasticità **E**:

$$E = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon}$$

dove: $\Delta\sigma$ = intervallo di carico considerato pari a **73,80 daN/cm²**

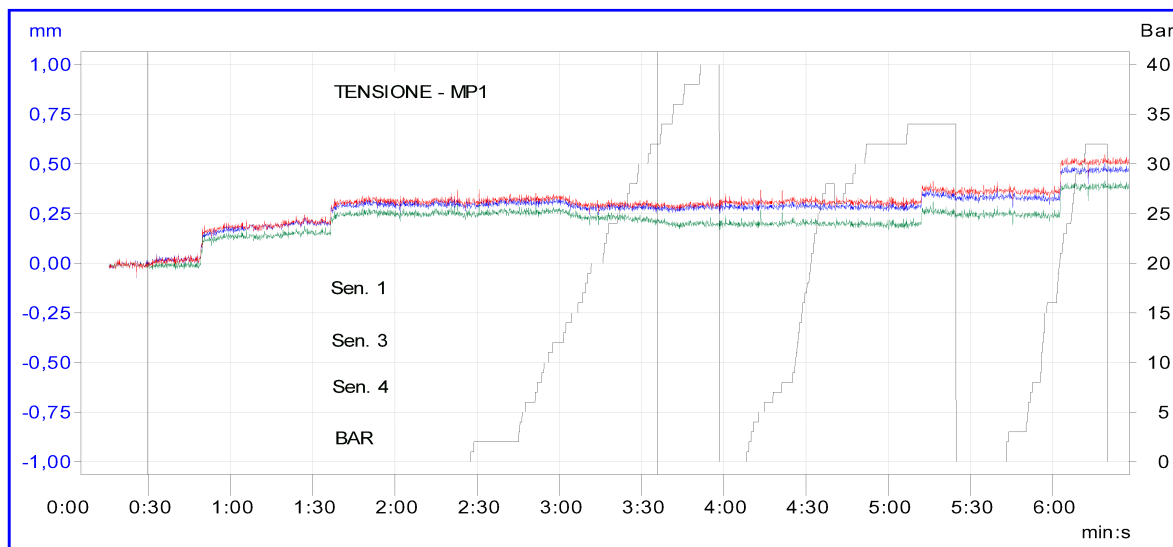
$$\Delta\varepsilon = \text{deformazione assiale corrispondente } \Delta\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$$

Essendo $\Delta l = 0,66$ mm (deformazione media rilevata sui cicli con incremento da 4,0 a 90,0 bar) e $l = 360$ mm (distanza fra i capisaldi):

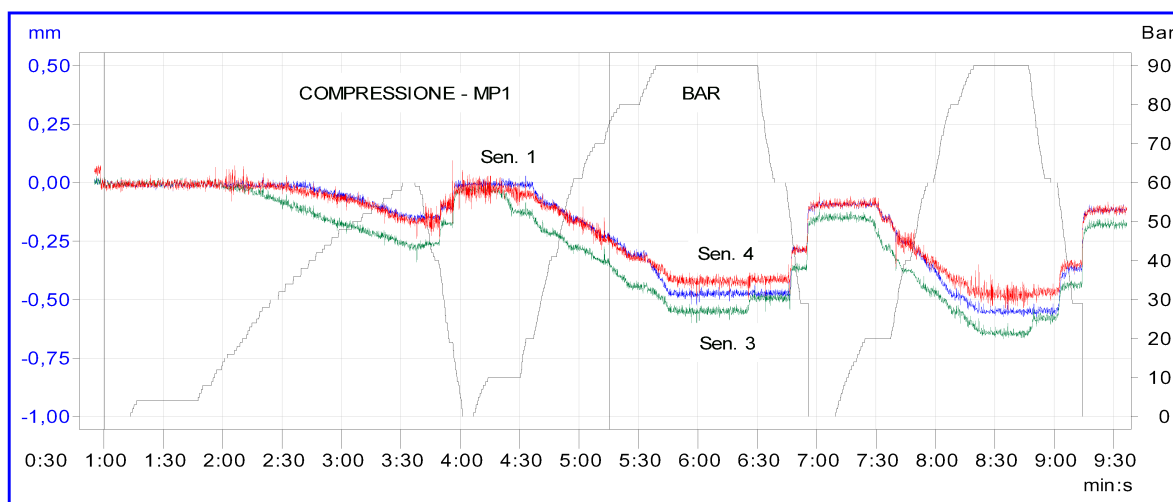
$$E = 73,80/0,00183 = 40.255 \text{ daN/cm}^2$$

2.10 Descrizione della prova (MP3 – prova n° 6144C/BO)

La prova **6144C/BO**, denominata **MP3**, è stata effettuata sulla parete perimetrale lato nord al piano terra della struttura; sono stati installati 3 trasduttori potenziometrici per le misurazioni in tempo reale.



Grafici originali rilevati durante la prova (tensione)



Grafici originali rilevati durante la prova (compressione – rottura del laterizio)



Zona della prova

2.11 Rapporto dei risultati – Via G. Galilei, 7

<i>N° prova</i>	Pressione di Ripristino [bar]	Tensione di esercizio [daN/cm ²]	Pressione di Compressione [bar]	Tensione di compressione [daN/cm ²]
MP3	24,00	19,96	75,00	61,96

Modulo elastico

Dal rapporto tra la tensione di compressione applicata e la deformazione massima misurata si ricava il valore del modulo di elasticità **E**:

$$E = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon}$$

dove: $\Delta\sigma$ = intervallo di carico considerato pari a **61,96 daN/cm²**

$$\Delta\varepsilon = \text{deformazione assiale corrispondente } \Delta\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$$

Essendo $\Delta l = 0,65$ mm (deformazione media rilevata sui cicli con incremento da 4,0 a 90,0 bar) e $l = 360$ mm (distanza fra i capisaldi):

$$E = 61,96/0,00181 = 34.062 \text{ daN/cm}^2$$

3. SHAVE TEST

3.1 Strumentazione di misura

La rilevazione delle deformazioni è stata effettuata con l'attrezzatura costituita da:

- unità computerizzata di registrazione delle deformazioni *Wavebook/516E*;
- 3 trasduttori potenziometrici modello *Midori LP-50 da 5 K Ω* ;
- software di elaborazione *DasyLab ver. 11.0*.

La calibrazione è stata effettuata in data 19 ottobre 2021 e documentata col Certificato di Taratura n. 1942/21.

Tutti gli strumenti sono stati tarati dal Laboratorio Tarature della 4 EMME Service S.p.A. utilizzando dei sensori campione come previsto dalla procedura 7.6 "Gestione degli Strumenti" del Manuale di Qualità.

3.2 Metodologia

Lo Shave Test (RILEM 127 D.6) permette, attraverso l'utilizzo di un apposito martinetto cilindrico, di determinare la resistenza allo scorrimento della muratura (taglio τ), in sito.

La prova shave test è stata effettuata in presenza di compressione verticale.

La prova consiste nel verificare la forza occorrente per far scorrere i provini (mattoni) della muratura, nel piano dei giunti di malta orizzontale.

3.3 Descrizione della prova

È stata eseguita una prova sulla parete centrale del fabbricato.

Per le misurazioni sono stati installati 2 sensori elettronici potenziometrici in entrambe le prove.

3.4 Rapporto dei risultati (Shave test 1 - prova n° 6144D/BO)

Dimensioni del mattone: 28,0 cm x 13,0 cm (mattone pieno parete perimetrale – via G. Galilei, 3).

At: Area totale dei corsi di malta superiore e inferiore del mattone = **728,0 cm²**

P: pressione del martinetto

A_m: Area del martinetto = 14,4 cm²

Pressione [bar]	Valore τ [daN/cm ²]
50	0,989
100	1,978
150	2,967
200	3,956
250	4,945
300	5,934
320	6,330
350	6,923
380	7,516
400	7,912
450	8,901

Nota bene: la freccia massima a 480,0 bar è stata di 0,17 (mm)

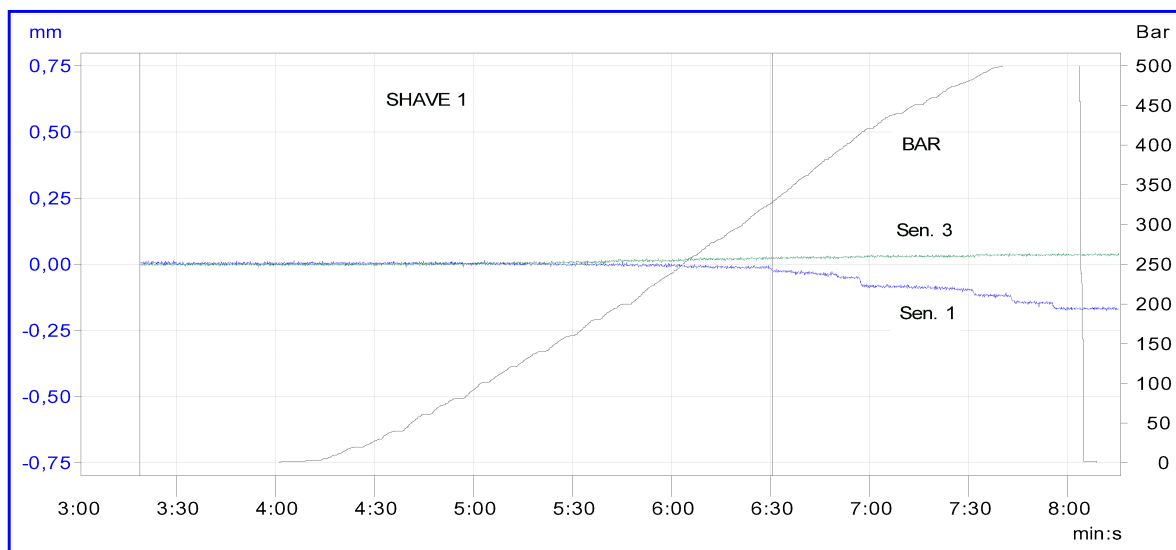


Grafico originale – Shave 1 – Via G. Galilei, 3



Area di prova – Shave test 1

3.5 Rapporto dei risultati (Shave test 2 - prova n° 6144E/BO)

Dimensioni del mattone: 28,0 cm x 13,0 cm (mattone pieno parete perimetrale lato sud – via G. Galilei, 5).

At: Area totale dei corsi di malta superiore e inferiore del mattone = **728,0 cm²**

P: pressione del martinetto

A_m: Area del martinetto = 14,4 cm²

$$\tau = P \cdot \frac{A_m}{A_t}$$

Pressione [bar]	Valore τ [daN/cm ²]
30	0,593
60	1,187
80	1,582
100	1,978
120	2,374
140	2,769
160	3,165
180	3,560
200	3,956
220	4,352
240	4,747
280	5,538
290	5,736

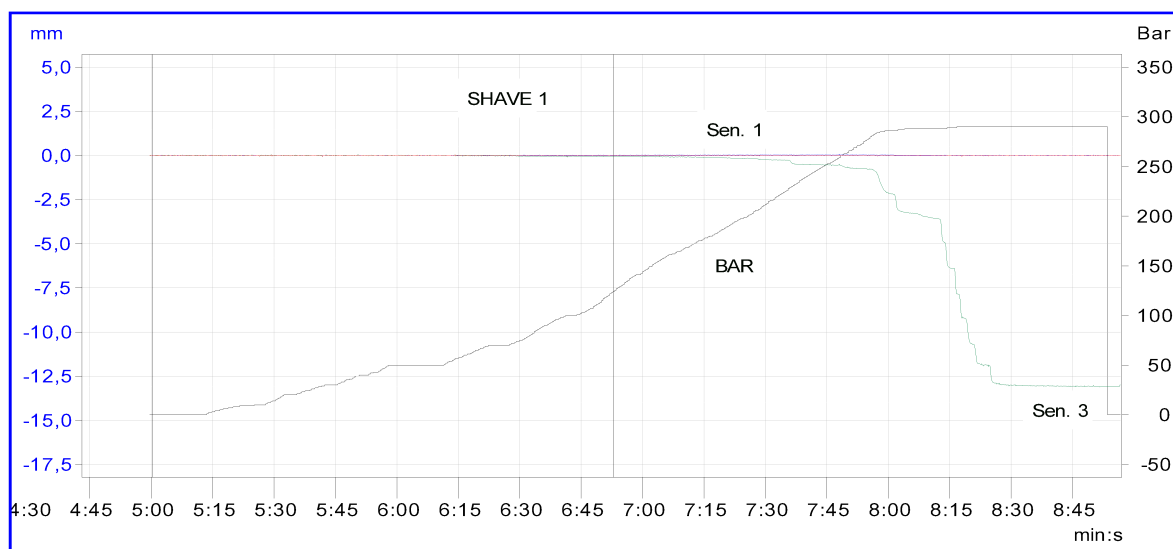


Grafico originale – Shave 2 – Via G. Galilei, 5

Nota bene: la freccia massima a 290 bar è stata di 12,93 (mm)



Area di prova – Shave test 2

3.6 Rapporto dei risultati (Shave test 3 - prova n° 6144F/BO)

Dimensioni del mattone: 28,0 cm x 13,0 cm (mattone pieno parete Perimetrale lato est – via G. Galilei, 7).

At: Area totale dei corsi di malta superiore e inferiore del mattone = **728,0 cm²**

P: pressione del martinetto

A_m: Area del martinetto = 14,4 cm²

$$\tau = P \cdot \frac{A_m}{A_t}$$

Pressione [bar]	Valore τ [daN/cm ²]
50	0,989
100	1,978
150	2,967
200	3,956
250	4,945
300	5,934
350	6,923
380	7,516
400	7,912
450	8,901
480	9,495

Nota bene: la freccia massima a 480,0 bar è stata di 0,73 (mm)

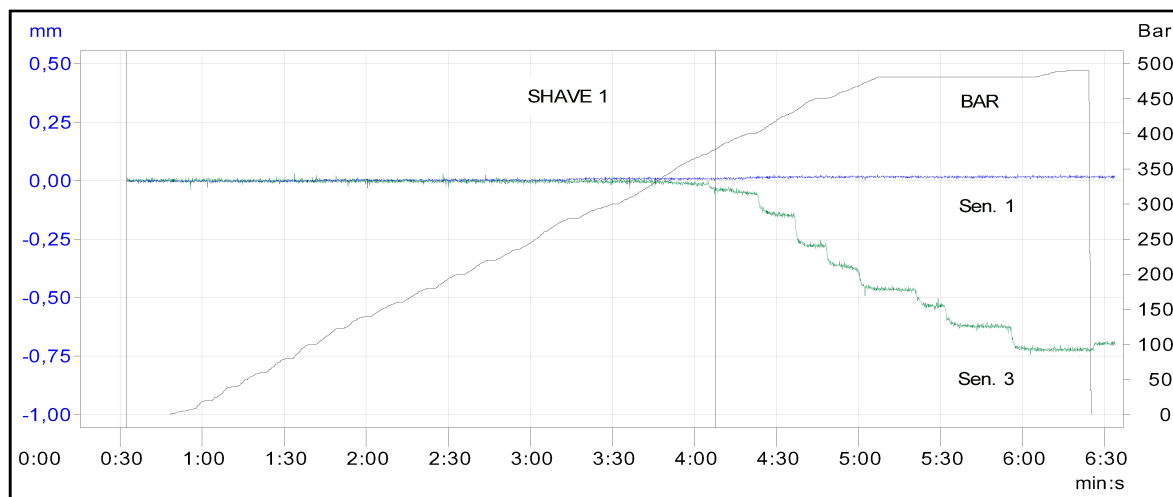
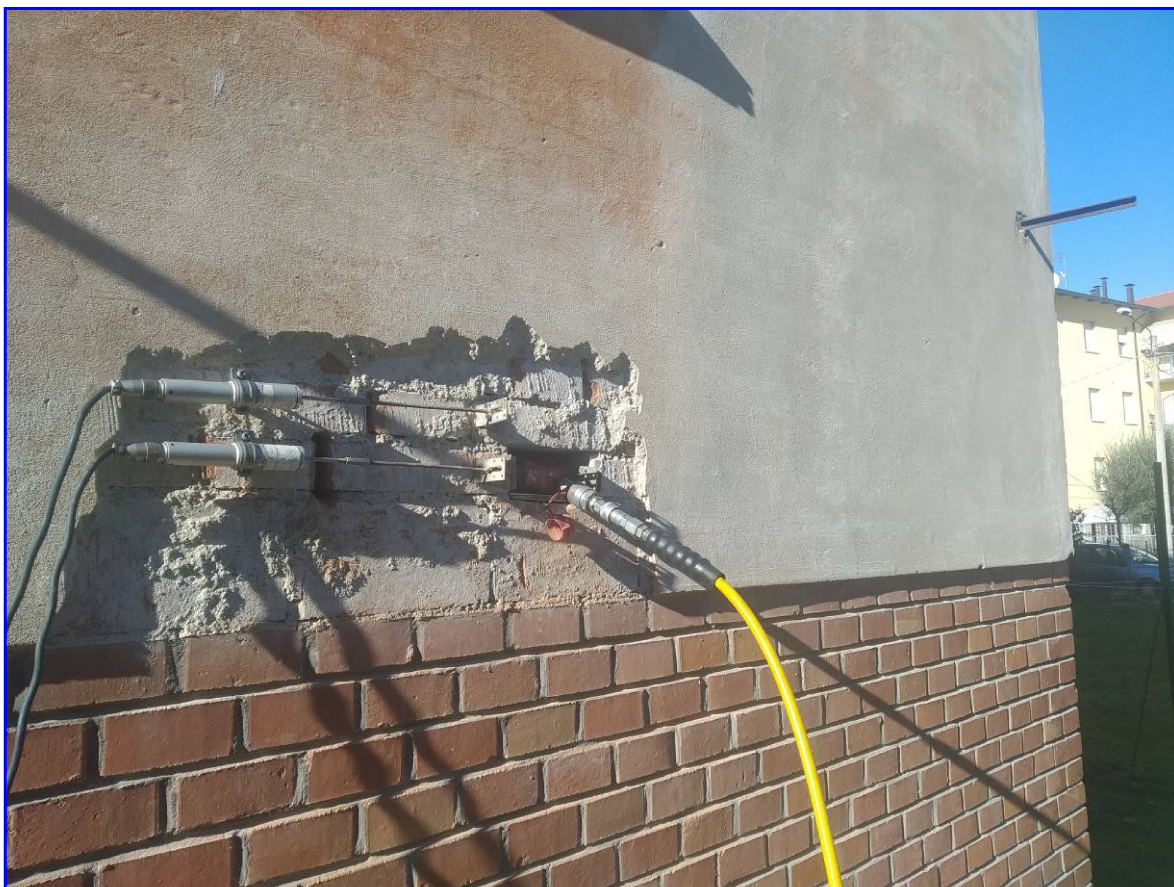


Grafico originale – Shave test 3- Via G. Galilei, 7



Area di prova – Shave test 3

4. PROVE PENETROMETRICHE SU MALTA

Il penetrometro per malta serie RSM è costituito da una massa battente collegata da una molla che messa in carica manualmente colpisce un percussore nel quale viene inserito un puntale (ago) preposto alla perforazione della malta.

L'ago puntale realizzato in acciaio legato termina con un cono ad angolo di 25°.

L'ago sottoposto ad urti dinamici costanti avanza all'interno del giunto di malta spingendo e comprimendo la malta a lato del proprio percorso.

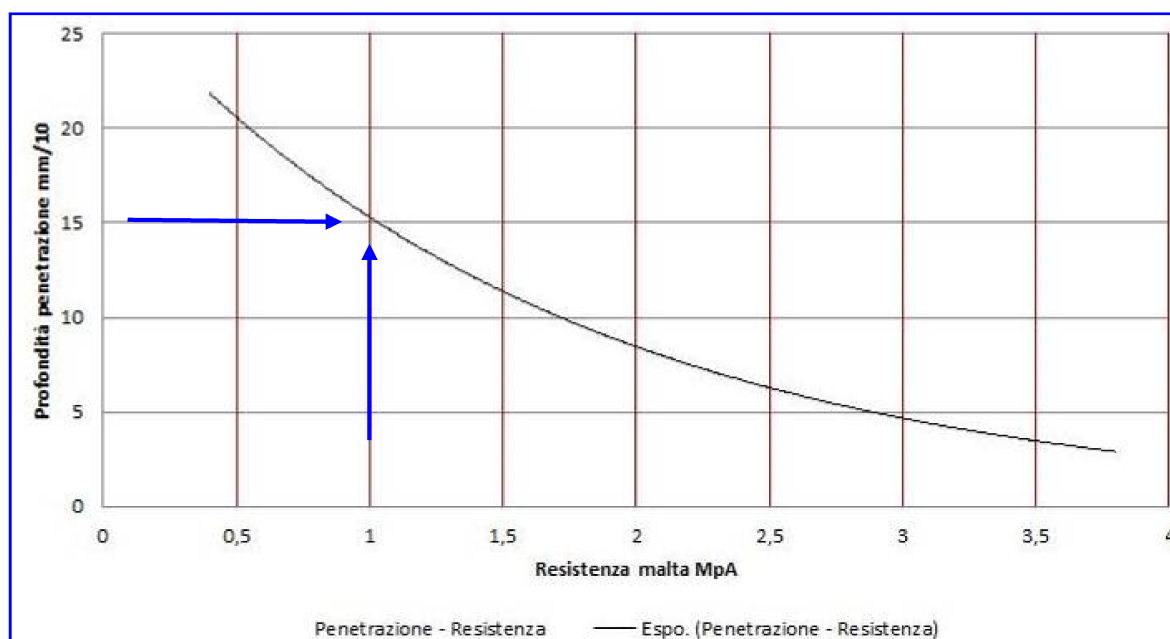
La resistenza che la malta offre all'avanzamento dell'ago è proporzionale alla resistenza meccanica del materiale quindi alla profondità di penetrazione. L'energia di impatto è pari a 4,55 Nm.

Per ogni prova l'ago viene infisso nella muratura mediante 10 impatti del percussore; successivamente se ne misura la profondità di penetrazione e, tramite apposita curva di correlazione, si ricava il valore di resistenza a compressione della malta.

4.1 Rapporto dei risultati

Sono state eseguite indagini penetrometriche su malta in 3 punti come indicato al paragrafo 1.1 nella pianta ubicazione prove con la sigla "MA".

Prova	Posizione	N° sezione	Profondità di penetrazione [mm]	Profondità di penetrazione media [mm]	Resistenza a compressione stimata da curva di correlazione [MPa]
MA1	Piano terra Parete Est Civ. 3	1	9,20	10,90	1,38
		2	11,10		
		3	12,40		
MA2	Piano terra Parete Est Civ. 5	1	13,10	15,07	1,00
		2	15,70		
		3	16,40		
MA3	Primo piano Parete Nord-Est Civ. 7	1	15,10	13,67	1,10
		2	12,70		
		3	13,20		



Curva di correlazione profondità di penetrazione – resistenza a compressione

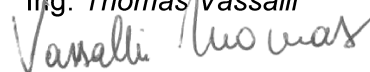
La 4 EMME Service S.p.A. si assume la responsabilità per la precisione delle misurazioni effettuate. L'elaborazione dei dati rappresenta invece solamente un sussidio da verificare ed approvare a cura del Collaudatore o del Tecnico Incaricato.

Bologna, 09 dicembre 2021

Il Relatore
Dott. Danilo Panetta



4 EMME Service S.p.A.
Dir. del Centro di Bologna
Ing. Thomas Vassalli



RELAZIONE REVISIONATA DA:

p.e. Michele Vaccari

