

Ambito: PNRR

Misura: M4C1I3.3

**STUDIO DINAMO S.r.l. - Società di Ingegneria**

Via Albero n°3, 25047 Darfo B.T. (BS)  
c.f./P.iva: 03690490986 - n°REA: BS-554731  
tel/fax: 0364529662 - mail: info@studiodinamo.it  
sito internet: www.studiodinamo.it

**ALLEGATO****D****DATA:**

Luglio 2023

**AGGIORN:****COMUNE:**

Darfo B.T.

**PROVINCIA:**

Brescia

**DISEGNATORE:**

Ing. Diego Macario

**PROT. CAD:****PROGETTISTA:****IMPRESA ESECUTRICE:****COMMITTENTI:**

**COMUNE DI DARFO B.T.,**  
Piazza Col Lorenzini, 4 - Darfo Boario Terme (BS)

**PROGETTO:**

PROGETTO ESECUTIVO LAVORI DI ADEGUAMENTO SISMICO SCUOLA PRIMARIA DI  
MONTECCHIO - CUP: J83H19000410005 – CIG: ZCC2C3BAF0

**O G G E T T O:** ALLEGATO "D"

Relazione indagini diagnostiche strutture

## **INDICE**

<b>1. PREMESSA</b>	<b>2</b>
<b>2. INQUADRAMENTO DELLE INDAGINI</b>	<b>3</b>
<b>3. METODOLOGIA D'INDAGINE</b>	<b>4</b>
<b>3.1 Scarificazione murature</b>	<b>4</b>
3.1.1 Caratteristiche tecniche delle apparecchiature	4
<b>3.2 Prova di carico murature con martinetto piatto singolo</b>	<b>5</b>
3.2.1 Modalità di esecuzione della prova	5
<b>3.3 Prova di carico murature con martinetto piatto doppio</b>	<b>6</b>
3.3.1 Modalità di esecuzione della prova	6
<b>4. CONCLUSIONI</b>	<b>7</b>

**ALLEGATO 1 – REPORT DIAGNOSTICO**

**ALLEGATO 2 – SCHEDE ELABORAZIONE PROVE DI CARICO CON MARTINETTO SINGOLO**

**ALLEGATO 3 – SCHEDE ELABORAZIONE PROVE DI CARICO CON MARTINETTI DOPPI**

## **1. PREMESSA**

A seguito dell'incarico conferito dalla Committenza si è proceduto all'esecuzione di una campagna di indagini diagnostiche per determinare le caratteristiche strutturali dell'edificio che ospita la scuola Primaria sita in Via Ponte a Darfo Boario Terme (BS).

Dette indagini seguono un protocollo che prevede verifiche da effettuare in situ, comprensive sia di prove distruttive atte o alla stima diretta dei parametri meccanici dei materiali o al prelievo di campioni di materiale, queste ultime completate da specifiche prove di laboratorio, sia di prove non distruttive (PND) che consentono di estendere i risultati ai punti laddove non condotte prove distruttive. Le stesse PND permettono, tra l'altro, l'individuazione dei tracciati e delle tramature caratteristiche degli elementi portanti sia verticali che orizzontali, il rilievo delle sezioni dei vari elementi in cemento armato, quindi la stima del numero e della dimensione delle armature o ancora l'ispezione di sistemi di rivestimento non accessibili, quali ad esempio controsoffitti continui o contropareti.

I punti di prova, scelti in accordo con la Committenza, sono stati individuati in numero e posizione in modo tale da garantire il raggiungimento di un livello di conoscenza adeguato ed omogeneo per le varie componenti strutturali del manufatto, supportato ove presente dalla documentazione di progetto.

Si riporta di seguito un elenco non esaustivo relativo alle prove eseguite:

- Prova di carico murature con martinetti piatti singolo
- Prova di carico murature con martinetti piatti doppi

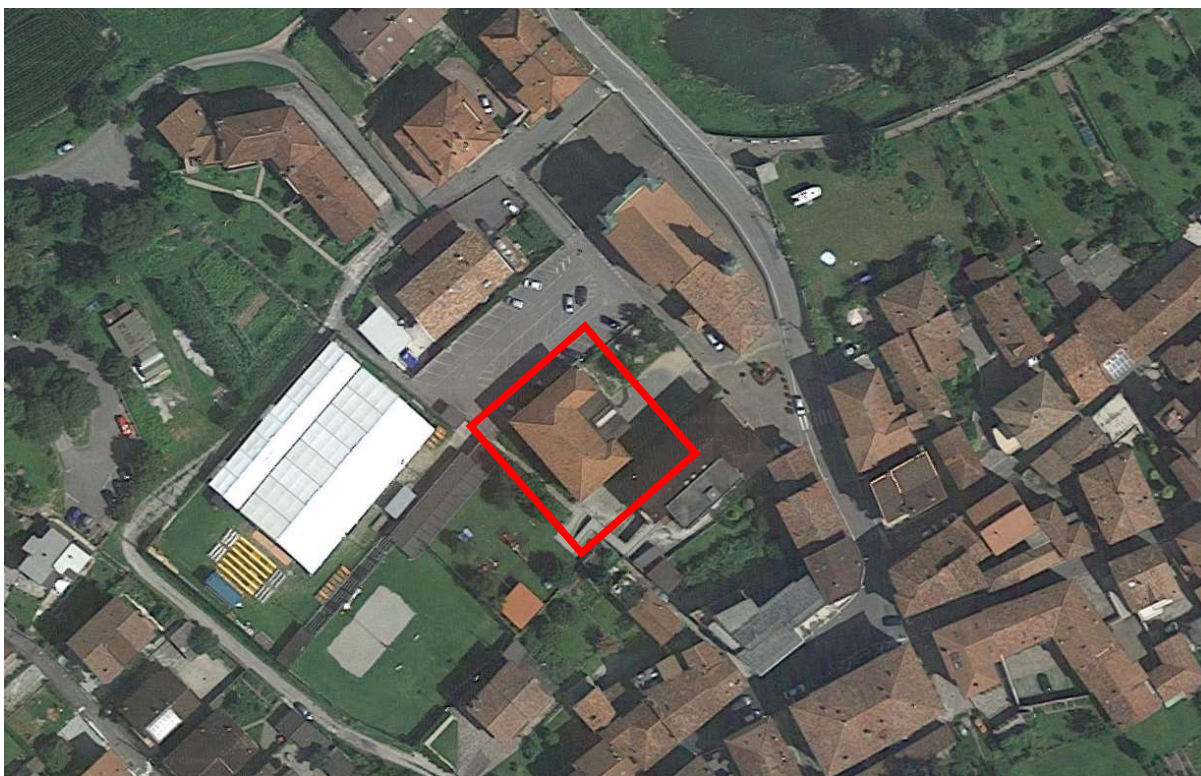
L'elaborazione e l'interpretazione delle misurazioni ottenute, consente di risalire ai valori di resistenza dei materiali in opera oltreché ad avere un riscontro oggettivo delle strutture; la documentazione fotografica riportata nel Report Diagnostico (Allegato 1) è di ausilio all'individuazione dei punti di prova delle varie analisi.

## 2. INQUADRAMENTO DELLE INDAGINI

Dalla documentazione raccolta non si è potuto risalire con precisione alla data di costruzione dell'edificio oggetto del monitoraggio, tuttavia è possibile affermare che lo stesso non sia di recente realizzazione.

Il manufatto è caratterizzato da un impianto planimetrico avente sagoma di forma irregolare ed è disposto complessivamente su due livelli fuoriterra collegati tra di loro da un vano scala.

La struttura portante verticale è realizzata in muratura in pietrame. Il sistema di copertura ammette morfologia a falda ed è probabilmente provvisto di un rivestimento esterno in realizzato in coppi.



*Foto 1 – Inquadramento dell'edificio nel contesto.*

Al fine di poter stimare sia le caratteristiche meccaniche dei materiali impiegati per le strutture portanti, sia la geometria delle sezioni resistenti, e nel caso di elementi in cemento armato la loro carpenteria, possono essere condotte prove sperimentali singole o combinate sulle varie componenti strutturali del manufatto oggetto di verifiche. La campagna di indagini ha previsto l'esecuzione delle seguenti prove:

Piano di riferimento	Prove su muratura	
	Martinetto piatto singolo	Martinetto piatto doppio
Piano Terra	2	2

Negli Allegati è contenuto il riepilogo delle misurazioni effettuate con le diverse prove eseguite nel corso dell'indagine.

### 3. METODOLOGIA D'INDAGINE

#### 3.1 Scarificazione murature

Per valutare le caratteristiche delle murature si eseguono analisi dirette tramite scarificazione dell'intonaco con valutazioni visive dei paramenti che consentono di individuare gli elementi costituenti, la tramatura ed i livelli di ammassamento tra muri collegati. Altre informazioni sono reperite da documentazione fornita dalla Committenza.

Per determinare lo spessore delle murature, senza produrre una ispezione “passante” si impiega un transpinter dotato di due sonde (“ricevitore” e “trasmettitore”) che appoggiate sulle due facce dell'elemento da analizzare consente di stimarne lo spessore con la precisione di  $\pm 5\%$ .



*Foto 2 – Misurazione indiretta dello spessore di un setto murario.*

##### 3.1.1 Caratteristiche tecniche delle apparecchiature

- Precisione della misurazione spessore parete:  $\pm 5\%$ .
- Range di misurazione: 0.05 m ÷ 1.35 m
- Range temperatura d'esercizio:  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  ÷  $+55\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Precisione:  $\pm 4\text{ HL}$  (0,5% a 800 HL)
- Display: LCD ad alto contrasto.
- Temperatura di funzionamento: da  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$

### 3.2 Prova di carico murature con martinetto piatto singolo

La prova di carico con il martinetto piatto singolo consente la stima dello stato di sforzo locale di compressione a cui è soggetta la muratura. Consiste nel provocare il rilascio delle tensioni e quindi una variazione locale della geometria superficiale della muratura, praticando un taglio piano orizzontale. L'ipotesi su cui si basa tale tecnica è che la pressione necessaria per riportare la muratura alla configurazione indeformata iniziale (applicata tramite un martinetto piatto), corrisponda al valore di sollecitazione preesistente nella muratura. La grandezza di riferimento è la variazione di distanza tra le basi di misura poste in verticale a cavallo del taglio. Dopo aver misurato la distanza iniziale tra le basi, si procede eseguendo un taglio. Rilevata la convergenza delle superfici del taglio attraverso la rilettura della distanza tra le basi di misura, si inserisce nella fessura aperta nella muratura un martinetto collegato ad una pompa a mano e si incrementa quindi la pressione fino al ripristino della geometria iniziale. Rilevato il valore di pressione corrispondente all'annullamento della convergenza provocata dal taglio, si diminuisce la pressione fino a scaricare la muratura. Tale ciclo di carico e scarico viene ripetuto due volte: la prima volta la pressione viene aumentata lentamente, in 10-20 minuti circa (pari al tempo impiegato per l'esecuzione del taglio e l'inserimento del martinetto); il valore dello stato di sforzo è calcolato con la seguente relazione:

$$\sigma_m = P K_a K_m \quad \text{dove:}$$

- P = pressione del martinetto che permette di ristabilire la distanza iniziale tra le basi, misurata in bar (media dei valori di pressione corrispondenti ad uno spostamento nullo delle basi di misura, ottenuti per interpolazione).
- K<sub>a</sub> = costante adimensionale che rappresenta il rapporto tra l'area del martinetto e l'area del taglio nella muratura;
- K<sub>m</sub> = costante adimensionale, dipendente dalla geometria e dalla rigidità del martinetto, riportata sul certificato di taratura del martinetto stesso.

#### 3.2.1 Modalità di esecuzione della prova

- Il taglio nella muratura è stato realizzato mediante una sega circolare a disco eccentrico.
- Per la prova è stato utilizzato un martinetto di dimensioni 350 x 260 x 4 mm con costante media di taratura, come riportata nel certificato allegato alla relazione, pari a K<sub>m</sub> = 0,891
- La variazione della distanza tra le basi di misura fissati a cavallo del martinetto è stata rilevata con un deformometro digitale millesimale.
- Il sistema di carico è costituito da una pompa a mano dotata di manometro e collegata al martinetto. La pressione è stata incrementata per passi discreti pari a 0,5÷1 bar.

### **3.3 Prova di carico murature con martinetto piatto doppio**

Dopo aver eseguito il primo taglio per l'inserimento del martinetto piatto, si pratica nella muratura un taglio parallelo al primo in modo da isolare un campione di muratura di dimensioni pari a circa 350 x 400 mm.

Il blocco di muratura viene sottoposto a compressione monoassiale mediante i due martinetti collegati allo stesso sistema idraulico. Si effettuano cicli di carico e scarico a livelli di sollecitazione sempre crescenti fino al superamento del limite elastico o a volte fino a raggiungere il valore di prima fessurazione della muratura (se il carico di contrasto lo permette). L'impostazione di basi di misura fisse posizionate tra i due martinetti consente la misurazione della deformazione corrispondente alla pressione applicata, nelle direzioni verticale e trasversale.

#### **3.3.1 Modalità di esecuzione della prova**

- All'interno del secondo taglio, eseguito con la medesima sega circolare impiegata per la prova con martinetto singolo, è stato inserito un martinetto piatto avente le medesime caratteristiche di quello descritto in precedenza.
- La variazione delle deformazioni della muratura compresa tra i due martinetti è stata rilevata impiegando cinque sensori, di cui quattro posti in verticale ed uno in orizzontale, ciascuno dei quali vincolato alle estremità a tasselli fissati nella muratura stessa. I sensori hanno una corsa di 25 mm ed un errore di linearità pari a  $\pm 0,2$  % f.s..
- Il sistema di carico è costituito da una pompa a mano dotata di manometro e collegata al martinetto. Per l'esecuzione di questa prova, la pressione è stata incrementata per passi discreti di 1÷2 bar.

#### 4. CONCLUSIONI

A seguito dell'incarico conferito dalla Committenza si è proceduto all'esecuzione di una campagna d'indagini diagnostiche per determinare le caratteristiche strutturali dell'edificio che ospita la scuola Primaria sita in Via Ponte a Darfo Boario Terme (BS).

Per una maggiore comprensione dei risultati riportati, si rimanda alle schede di riepilogo contenute negli Allegati.

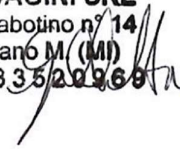
Milano (MI), 06/09/2021

Ing. Marco Gallotta

Tecnoindagini S.r.l.



**TECNOINDAGINI SRL**  
Via Monte Sabotino n° 14  
20095 Cusano M. (MI)  
P. IVA 06383520968

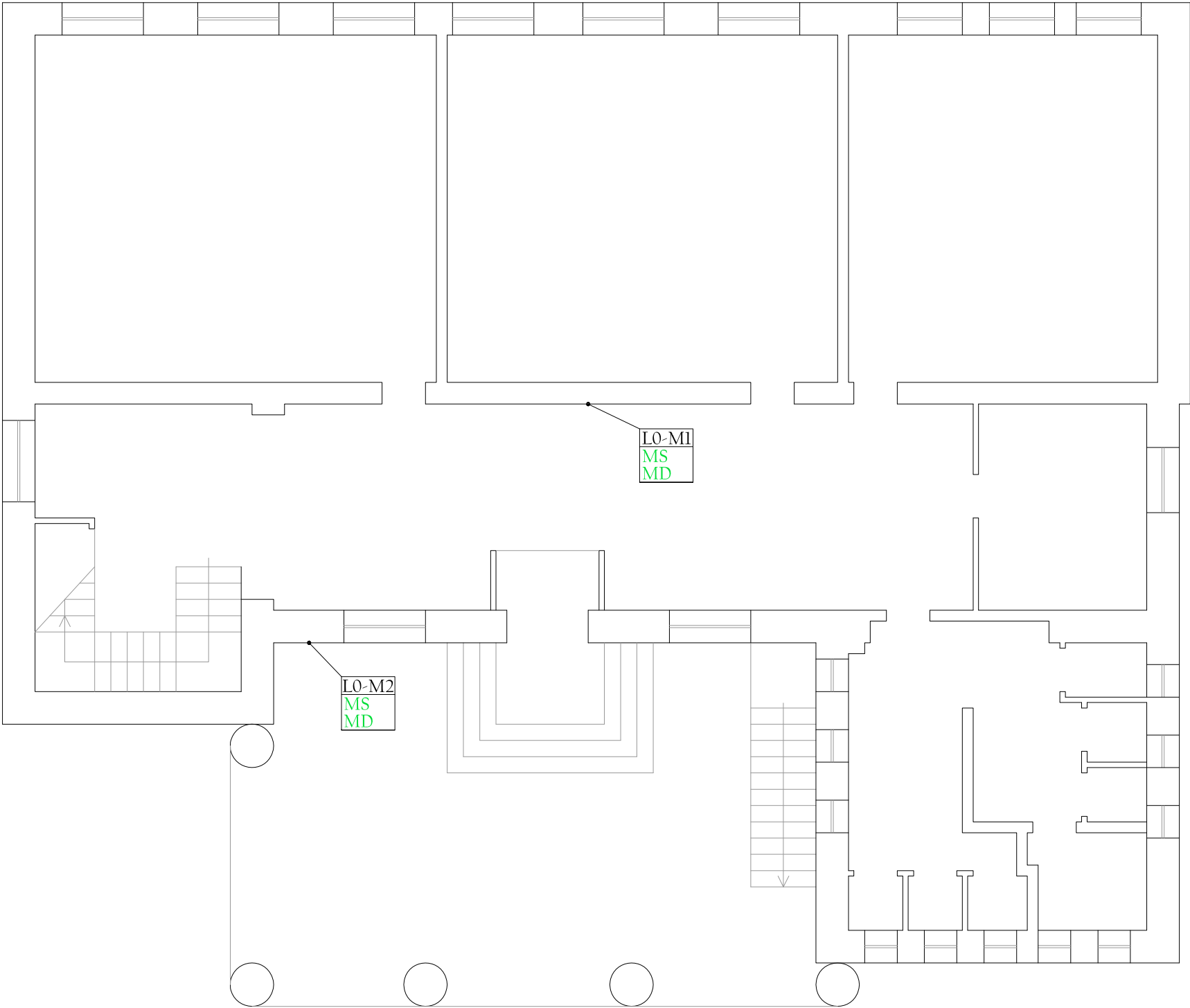




## **ALLEGATO 1**

### **REPORT DIAGNOSTICO**

REPORT DIAGNOSTICO - PIANO TERRA




LEGENDA

- MS MARTINETTO PIATTO SINGOLO
- MD MARTINETTO PIATTO DOPPIO


PROVA MARTINETTO SINGOLO		
MURO LO-M1		
f <sub>m</sub> [N/cm <sup>2</sup> ]	Minimo	Massimo
	100	180
τ <sub>c</sub> [N/cm <sup>2</sup> ]	Minimo	Massimo
	1,80	3,20
SFORZO MEDIO [N/mm <sup>2</sup> ]	0,444	




PROVA MARTINETTO DOPPIO		
MURO LO-M1		
σ [N/mm <sup>2</sup> ]	0,00	0,87
ε <sub>u</sub> [μm/mm]	0,94	
E [N/mm <sup>2</sup> ]	921	



PROVA MARTINETTO SINGOLO		
MURO LO-M2		
f <sub>m</sub> [N/cm <sup>2</sup> ]	Minimo	Massimo
	100	180
τ <sub>c</sub> [N/cm <sup>2</sup> ]	Minimo	Massimo
	1,80	3,20
SFORZO MEDIO [N/mm <sup>2</sup> ]	0,268	



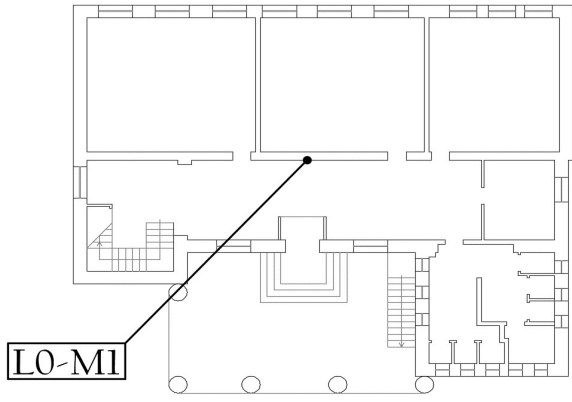

PROVA MARTINETTO DOPPIO		
MURO LO-M2		
σ [N/mm <sup>2</sup> ]	0,00	1,03
ε <sub>u</sub> [μm/mm]	0,71	
E [N/mm <sup>2</sup> ]	1456	



## **ALLEGATO 2**

### **SCHEDE ELABORAZIONE PROVE DI CARICO CON MARTINETTO SINGOLO**

PUNTO DI PROVA	LO-M1	AMBIENTE	Corridoio
		LIVELLO	Piano Terra
		ELEMENTO	Muro di Spina

<b>UBICAZIONE PROVA</b> 	<b>SM SCARIFICA MURATURA</b> 
--	--

PARAMETRI MECCANICI MURATURA						
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	$f_m$ [N/cm <sup>2</sup> ]		$\tau_c$ [N/cm <sup>2</sup> ]		$E$ [N/mm <sup>2</sup> ]	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max
	100	180	1,80	3,20	690	1050

MS

PROVA DI CARICO CON MARTINETTO SINGOLO

SFORZO LOCALE		
BASE 1	0,534	[N/mm <sup>2</sup> ]
BASE 2	0,465	[N/mm <sup>2</sup> ]
BASE 3	0,436	[N/mm <sup>2</sup> ]
BASE 4	0,342	[N/mm <sup>2</sup> ]
SFORZO MEDIO	0,444	[N/mm <sup>2</sup> ]
NOTE		

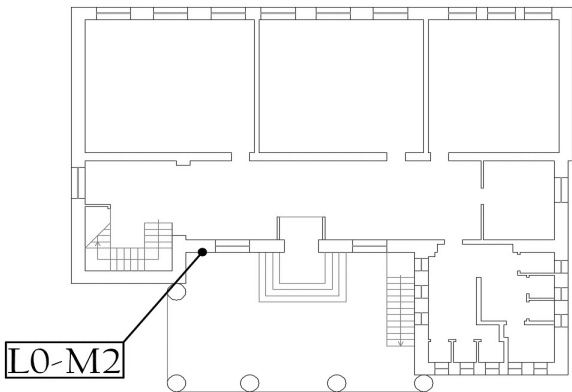

Graph showing displacement (spostamento) in  $\mu\text{m}$  versus load (sfuerzo) in  $\text{N/mm}^2$  for four bases. The graph shows that displacement increases with load and is highest for BASE 1 and lowest for BASE 4.

sfuerzo [ $\text{N/mm}^2$ ]	BASE 1 [ $\mu\text{m}$ ]	BASE 2 [ $\mu\text{m}$ ]	BASE 3 [ $\mu\text{m}$ ]	BASE 4 [ $\mu\text{m}$ ]
0,00	350	300	200	150
0,04	320	270	170	120
0,08	290	240	140	90
0,12	260	210	110	60
0,16	230	180	80	30
0,20	200	150	50	0

Graph showing displacement (spostamento) in  $\mu\text{m}$  versus load (sfuerzo) in  $\text{N/mm}^2$  for four bases. The graph shows that displacement increases with load and is highest for BASE 1 and lowest for BASE 4.

sfuerzo [ $\text{N/mm}^2$ ]	BASE 1 [ $\mu\text{m}$ ]	BASE 2 [ $\mu\text{m}$ ]	BASE 3 [ $\mu\text{m}$ ]	BASE 4 [ $\mu\text{m}$ ]
0,00	330	310	280	270
0,05	300	280	250	220
0,10	270	250	220	180
0,15	240	220	190	150
0,20	210	190	160	120

PUNTO DI PROVA	LO-M2	AMBIENTE	Portico d'Ingresso
		LIVELLO	Piano Terra
		ELEMENTO	Muro Perimetrale

<b>UBICAZIONE PROVA</b> 	<b>SM SCARIFICA MURATURA</b> 
--	--

PARAMETRI MECCANICI MURATURA						
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	$f_m$ [N/cm <sup>2</sup> ]		$\tau_c$ [N/cm <sup>2</sup> ]		$E$ [N/mm <sup>2</sup> ]	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max
	100	180	1,80	3,20	690	1050

MS

PROVA DI CARICO CON MARTINETTO SINGOLO

SFORZO LOCALE		
BASE 1	0,265	[N/mm <sup>2</sup> ]
BASE 2	0,277	[N/mm <sup>2</sup> ]
BASE 3	0,267	[N/mm <sup>2</sup> ]
BASE 4	0,263	[N/mm <sup>2</sup> ]
SFORZO MEDIO	0,268	[N/mm <sup>2</sup> ]
NOTE		

Graph showing displacement (spostamento) in  $\mu\text{m}$  versus load (sfuerzo) in  $\text{N/mm}^2$  for four bases (BASE 1, BASE 2, BASE 3, BASE 4). The y-axis ranges from -50 to 150  $\mu\text{m}$ , and the x-axis ranges from 0,00 to 0,80  $\text{N/mm}^2$ . The legend indicates load levels from 0,00 to 0,29  $\text{N/mm}^2$ .

sfuerzo [ $\text{N/mm}^2$ ]	BASE 1 [ $\mu\text{m}$ ]	BASE 2 [ $\mu\text{m}$ ]	BASE 3 [ $\mu\text{m}$ ]	BASE 4 [ $\mu\text{m}$ ]
0,00	125	115	80	75
0,10	95	85	75	50
0,20	65	55	50	25
0,30	35	25	25	0
0,40	5	0	0	-10

Graph showing displacement (spostamento) in  $\mu\text{m}$  versus load (sfuerzo) in  $\text{N/mm}^2$  for four bases (BASE 1, BASE 2, BASE 3, BASE 4). The y-axis ranges from -50 to 200  $\mu\text{m}$ , and the x-axis ranges from 0,00 to 0,80  $\text{N/mm}^2$ . The legend indicates load levels from 0,00 to 0,29  $\text{N/mm}^2$ .

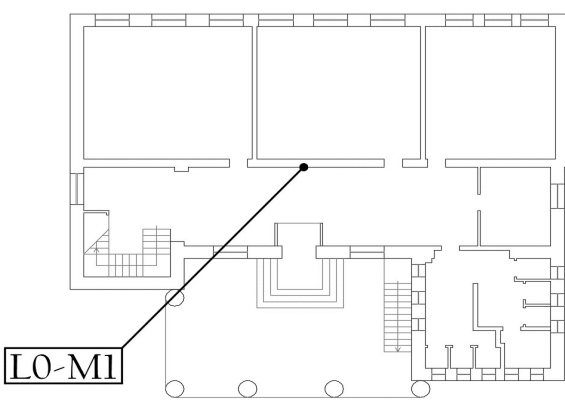

sfuerzo [ $\text{N/mm}^2$ ]	BASE 1 [ $\mu\text{m}$ ]	BASE 2 [ $\mu\text{m}$ ]	BASE 3 [ $\mu\text{m}$ ]	BASE 4 [ $\mu\text{m}$ ]
0,00	140	100	85	60
0,10	110	85	70	45
0,20	70	60	50	30
0,30	40	35	35	15
0,40	10	5	5	0

## **ALLEGATO 3**

### **SCHEDE ELABORAZIONE PROVE DI CARICO CON MARTINETTI DOPPI**



PUNTO DI PROVA	LO-M1	AMBIENTE	Corridoio
		LIVELLO	Piano Terra
		ELEMENTO	Muro di Spina

<b>UBICAZIONE PROVA</b> 	<b>SM SCARIFICA MURATURA</b> 
--	--

PARAMETRI MECCANICI MURATURA						
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	$f_m$ [N/cm <sup>2</sup> ]		$\tau_c$ [N/cm <sup>2</sup> ]		$E$ [N/mm <sup>2</sup> ]	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max
	100	180	1,80	3,20	690	1050

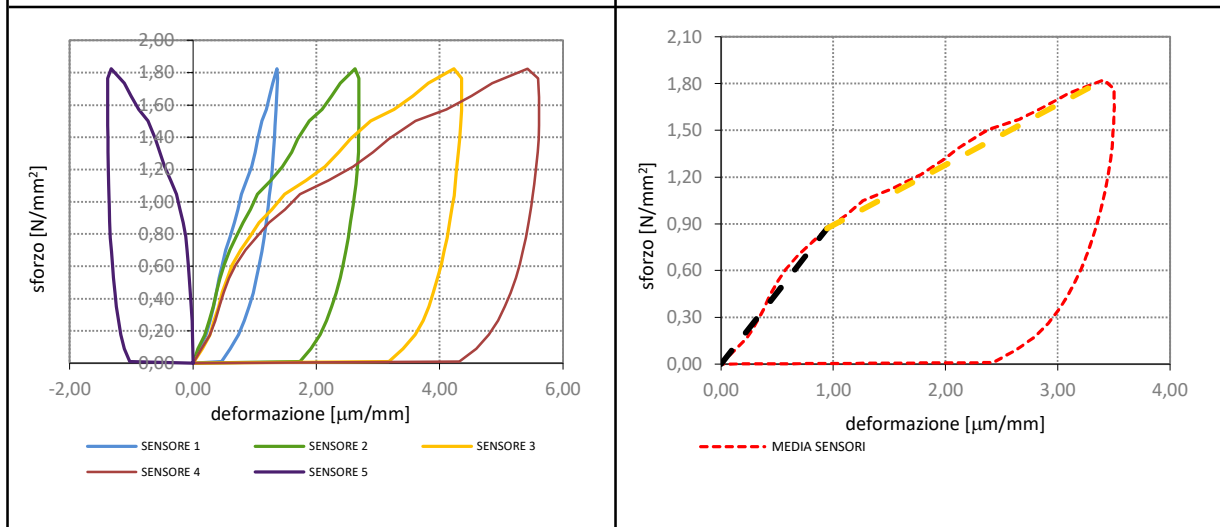
MD

PROVA DI CARICO CON MARTINETTI DOPPI

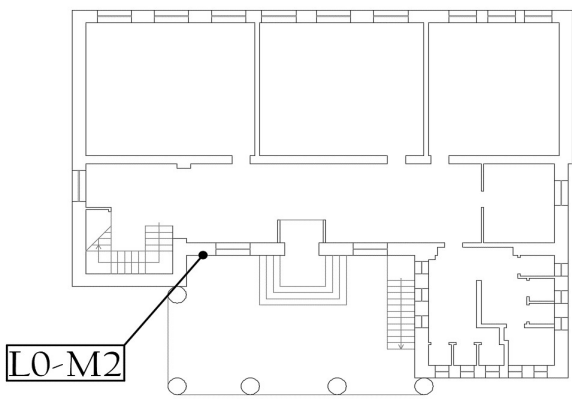

Intervallo di riferimento	Deformazione media	Modulo Elastico
$\Delta\sigma$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\epsilon_u$ [μm/mm]	E [N/mm <sup>2</sup> ]
0 - 0,87	0,94	921
0,87 - 1,82	2,47	387

NOTE

Per la determinazione del Modulo Elastico E, è stata considerata come deformazione media quella definita dalle misurazioni registrate da tutti i sensori verticali. Lo sforzo di prima fessurazione è pari a 1,77 N/mm2



PUNTO DI PROVA	LO-M2	AMBIENTE	Portico d'Ingresso
		LIVELLO	Piano Terra
		ELEMENTO	Muro Perimetrale

<b>UBICAZIONE PROVA</b> 	<b>SM SCARIFICA MURATURA</b> 
--	--

PARAMETRI MECCANICI MURATURA						
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	$f_m$ [N/cm <sup>2</sup> ]		$\tau_c$ [N/cm <sup>2</sup> ]		$E$ [N/mm <sup>2</sup> ]	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max
	100	180	1,80	3,20	690	1050

MD

PROVA DI CARICO CON MARTINETTI DOPPI

Intervallo di riferimento	Deformazione media	Modulo Elastico
$\Delta\sigma$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\epsilon_u$ [μm/mm]	E [N/mm <sup>2</sup> ]
0 - 1,03	0,71	1456
1,03 - 1,63	1,30	464

NOTE

Per la determinazione del Modulo Elastico E, è stata considerata come deformazione media quella definita dalle misurazioni registrate da tutti i sensori verticali. Lo sforzo di prima fessurazione è pari a 2,37 N/mm2

sforzo [N/mm<sup>2</sup>]

deformazione [μm/mm]

— SENSORE 1    — SENSORE 2    — SENSORE 3  
— SENSORE 4    — SENSORE 5

sforzo [N/mm<sup>2</sup>]

deformazione [μm/mm]

--- MEDIA SENSORI