



RAPPORTO DI PROVA N.00700 del 24/03/2023

RIF. V.A. N. 223/858 del 15/03/2023

d a t i  d i c h i a r a t i	Committente: COMUNE DI CAMPI BISENZIO Piazza Dante, 36 – 50013 Campi Bisenzio (FI)
	Cantiere: VILLA RUCELLAI – ANNESSO Campi Bisenzio (FI)
	V.I.E.: N.15580 del 15/03/2023
	Esperienze effettuate: MARTINETTI PIATTI SINGOLI E MARTINETTI PIATTI DOPPI; INDAGINI PENETROMETRICHE; INDAGINI ENDOSCOPICHE; SAGGIO INVESTIGATIVO

Tecnico incaricato:

Dott. Ing. Giovanni Cardinale



*Villa Rucellai – Annesso – Campi Bisenzio (FI)*

Rapporto di prova N. 00700 del 23/03/2023. Il presente documento non deve essere riprodotto in forma parziale senza l'autorizzazione scritta del responsabile del Laboratorio. Pag. 1/23



## INDICE

<b>1 - PREMESSA.....</b>	<b>3</b>
<b>2 - STRUMENTAZIONE UTILIZZATA.....</b>	<b>4</b>
2.1 - Martinetti piatti.....	4
2.1.1 - Prova con martinetto piatto singolo.....	5
2.1.2 - Prova con martinetto piatto doppio.....	7
2.2 - Penetrometro Gucci.....	9
2.3 - Indagini endoscopiche.....	9
<b>3 - UBICAZIONE DELLE INDAGINI.....</b>	<b>10</b>
<b>4 - RISULTATI DELL'INDAGINI.....</b>	<b>11</b>
4.1 - MARTINETTI PIATTI.....	11
4.1.1 - Martinetto piatto singolo – MP1.....	11
4.1.2 - Martinetto piatto doppio – MP1.....	12
4.1.3 - Martinetto piatto singolo – MP2.....	15
4.1.4 - Martinetto piatto doppio – MP2.....	16
4.2 - INDAGINI PENETROMETRICHE PNT-G.....	19
4.3 - INDAGINI ENDOSCOPICHE.....	21
4.4 - SAGGIO INVESTIGATIVO.....	23



## 1 - PREMESSA

Il giorno **15 marzo 2023** tecnici del Laboratorio Sigma hanno eseguito una serie di indagini sulle strutture dell'edificio denominato "Annesso Villa Rucellai", ubicato nel Comune di Campi Bisenzio (FI).

In particolare sono state eseguite:

- n.2 prova con martinetto piatto singolo;
- n.2 prova con martinetti piatti doppi;
- n.3 indagini su ricorsi di malta mediante PNT-G;
- n.2 indagini endoscopiche;
- n.1 saggio investigativo.

Con riferimento ai Ns V.I.E. n° 15580 del 15/03/2023.

L'attività d'indagine è stata eseguita in conformità con quanto richiesto dal tecnico incaricato Dott. Ing. Giovanni Cardinale.

I tecnici del Laboratorio Sigma che hanno eseguito le indagini sono:

Geom.	A. Ortisi	Sperimentatore
Geom.	J. Bertocci	Sperimentatore
Sig.	E. Varosi	Aiuto Sperimentatore



## 2 - STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

### 2.1 - Martinetti piatti

Martinetti piatti oleodinamici semiovali, dimensioni 350 x 259 x 4.1 mm e area 77500 mm<sup>2</sup>;



Per la messa in carico dei martinetti viene utilizzata una pompa manuale F.P.T. PMSA3/L3 con MAX W. P. 700 [bar] e manometro AEP Transducers;



Deformometro DGEI250 base di misura 250 mm con comparatore elettronico digitale Mitutoyo mod.ID-S112B risoluzione 0,001 mm;



Per la realizzazione del taglio in cui alloggiare i martinetti si adopera una moto-troncatrice a trasmissione eccentrica Husqvarna K970 Ring con disco diamantato da 350 mm che consente di praticare tagli semicircolari di 260 mm di profondità.





## 2.1.1 - Prova con martinetto piatto singolo

### Determinazione dello stato di sollecitazione della muratura

La prova, eseguita mediante l'utilizzo di martinetto piatto oleodinamico semiovale, permette di ricavare lo stato di sollecitazione preesistente nella muratura.

Il materiale su cui viene eseguita la prova è normalmente eterogeneo, per cui si cerca di fare in modo che i valori misurati siano rappresentativi di un comportamento medio della struttura in esame.

Le modalità generali di prova consistono nel realizzare un taglio piano ortogonale alla muratura e misurare la convergenza (parziale chiusura) che le due facce del taglio subiscono con la realizzazione del taglio stesso mediante punti di riferimento simmetrici (basi di misura) applicati preventivamente sulla muratura a cavallo del taglio.

Dopo aver introdotto il martinetto piatto nel taglio precedentemente effettuato, lo si mette progressivamente in pressione sino a riportare in condizioni iniziali la geometria del taglio.

In tale condizione il valore della pressione idraulica all'interno del martinetto è uguale alla sollecitazione preesistente dentro la muratura; tramite opportune costanti si tiene conto dell'area e della rigidità propria del martinetto, dell'area del taglio e quindi delle superfici reali di contatto martinetto-taglio.

Il valore di tensione “ $\sigma$ ” nel punto di prova, espresso in N/mm<sup>2</sup>, è dato dalla seguente relazione:

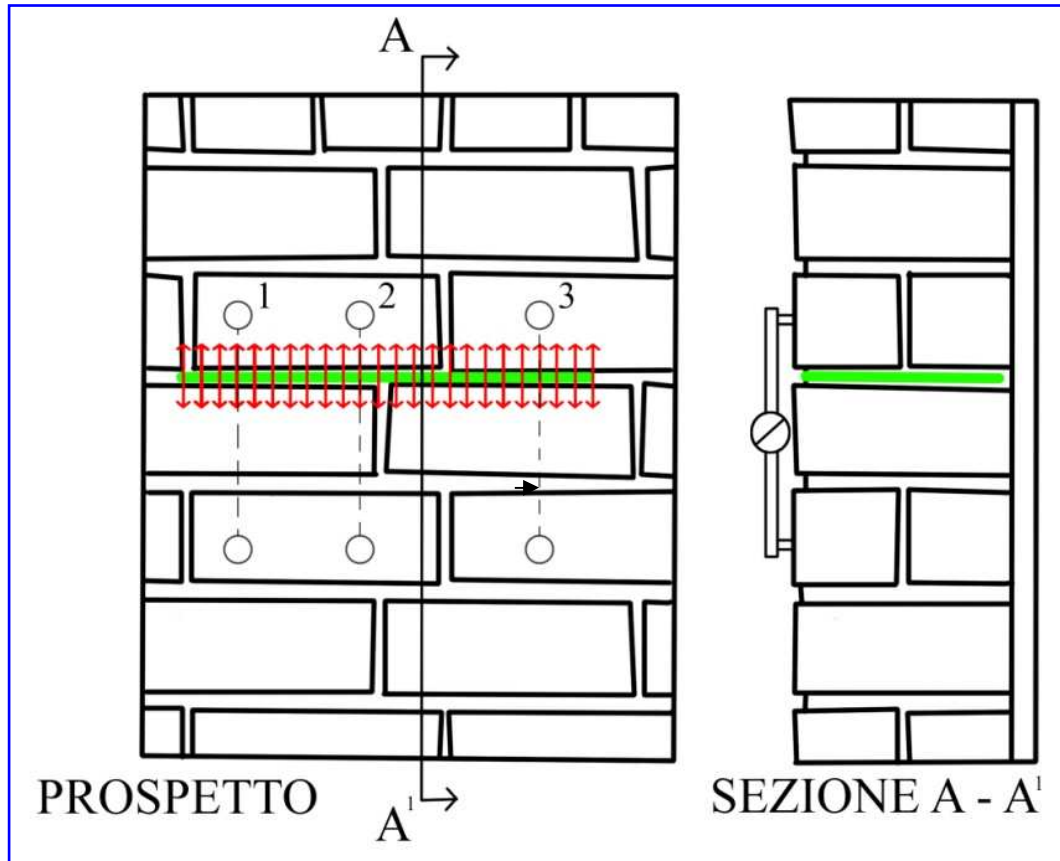
$$\sigma = K_m \cdot K_a \cdot p$$

dove:

- **$K_m$**  = costante che tiene conto delle caratteristiche geometriche del martinetto e della rigidità della saldatura di bordo; tale costante è stata determinata mediante taratura e risulta essere pari a 0,89,
- **$K_a$**  = rapporto fra area del martinetto ed area del taglio, si assume pari ad 1,
- **$p$**  = pressione occorrente per ripristinare le originarie condizioni della muratura, espressa in bar.



### Disposizione del Martinetto piatto e delle basi di misura per la determinazione della tensione verticale della muratura.



### Letture degli spostamenti

Il deformometro è costituito da due aste cilindriche in acciaio AISI 304, di cui una fissa ed una mobile e scorrevole; nelle due estremità delle aste sono fissati due coltelli che terminano con punte sferiche, lo spostamento tra i coltelli (coincidente con quello delle basette forate) viene misurato da un comparatore elettronico Mitutoyo, munito di display digitale.

Le deformazioni ( $\epsilon$ ) saranno ottenute dal rapporto:

$$\epsilon = \Delta l / l$$

dove:

- $\Delta l$  = differenza tra la lettura della deformazione misurata rispetto alla misura iniziale
- $l$  = lunghezza della base di misura (250 mm)



## 2.1.2 - Prova con martinetto piatto doppio

### Determinazione delle caratteristiche di deformabilità della muratura

La determinazione delle caratteristiche di deformabilità della muratura viene effettuata praticando due tagli orizzontali paralleli ad una distanza di circa 50 cm, nei quali vengono introdotti i due martinetti piatti oleodinamici semiovali.

La particolare condizione equivale ad una compressione mono assiale della porzione di muratura compresa tra i due tagli, in direzione ortogonale al piano di posa dei mattoni che consentirà la stima della resistenza a compressione.

Il materiale su cui viene eseguita la prova è normalmente molto eterogeneo, per cui si cerca di fare in modo che i valori misurati siano i più rappresentativi possibili di un comportamento medio della struttura in esame.

Le condizioni che caratterizzano tale prova sono costituite dal tipo di compressione praticamente uniassiale e dal fatto che la porzione di struttura muraria in esame ha dei vincoli particolari non simmetrici ed a volte non del tutto ben definiti.

Per la prova con due martinetti (vedi disegno schematico seguente), inseriti in altrettanti tagli piani paralleli e sovrapposti, la messa in pressione idraulica dei due martinetti è realizzata con un unico circuito in modo da avere un decorso dell'entità dei carichi assolutamente identico.

Le basi estensimetriche ( longitudinali e trasversali ) installate sulla faccia della porzione di muratura in prova, interposta fra i due martinetti, consentono di ottenere il quadro completo del suo comportamento deformativo.

Il calcolo della deformabilità è eseguito applicando il carico per cicli di carico e scarico, con intensità via via crescente.

I risultati vengono registrati su diagrammi pressione/deformazione, in seguito riportati.

La pressione effettivamente applicata sulla muratura è calcolata con la seguente relazione:

$$\sigma = A_m / A_t \cdot K_m \cdot p$$

dove :

- $A_m$  = Area del martinetto;
- $A_t$  = Valore medio delle due aree di taglio;
- $K_m$  = costante che tiene conto delle caratteristiche geometriche del martinetto e della rigidità della saldatura di bordo; tale costante è stata determinata mediante taratura e risulta essere pari a 0,89;
- $p$  = pressione erogata dai due martinetti.

Assumendo  $A_m / A_t = 1$ , il valore del modulo elastico verticale ( longitudinale ) della muratura è determinato dalla relazione:

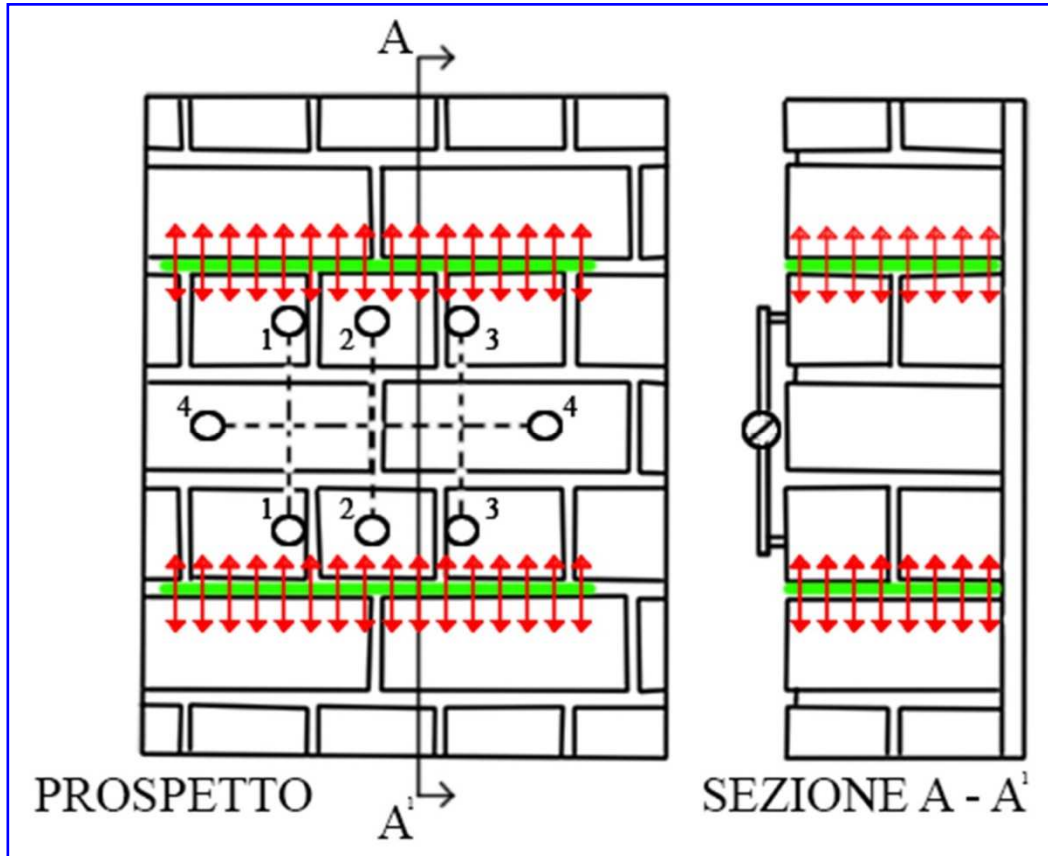
$$E_v = \sigma / \epsilon_v$$

dove :

- $\epsilon_v$  = deformazione verticale ( longitudinale ) misurata in prossimità dell'asse di mezzeria dell' elemento murario delimitato dai due martinetti.



## SCHEMA DELLA PROVA CON MARTINETTO DOPPIO PER LA DETERMINAZIONE DELLE CARATTERISTICHE DI DEFORMAZIONE



### Letture degli spostamenti

Il deformometro è costituito da due aste cilindriche in acciaio AISI 304, di cui una fissa ed una mobile e scorrevole; nelle due estremità delle aste sono fissati due coltelli che terminano con punte sferiche, lo spostamento tra i coltelli (coincidente con quello delle basette forate) viene misurato da un comparatore elettronico Mitutoyo, munito di display digitale.

Le deformazioni ( $\epsilon$ ) saranno ottenute dal rapporto:

$$\epsilon = \Delta l / l$$

dove:

- $\Delta l$  = differenza tra la lettura della deformazione misurata rispetto alla misura iniziale
- $l$  = lunghezza della base di misura ( 250 mm )





## 2.2 - Penetrometro Gucci

La tecnica per la valutazione in situ della resistenza della malta, si basa sulla misura dell'energia dissipata per praticare dei piccoli fori nei ricorsi di malta della muratura.

Il penetrometro PNT-G, misura l'energia necessaria per realizzare un foro nella malta di diametro 4 mm per una profondità di 5 mm.

In ogni zona in cui si vuol stimare la resistenza a compressione della malta devono essere praticati sedici fori.

Un gruppo di valori è accettabile solo se almeno 5 valori differiscono dal valor medio delle 16 cave per meno del 25%.

Se il gruppo valori è accettabile si calcola la media dei sei valori centrali.

Nella tabella dei risultati viene evidenziata la media dei sei valori centrali ed il valore della resistenza a compressione della malta calcolato secondo la seguente relazione:

$$f_m = (PG + 22)/134$$

dove  $f_m$  è la resistenza a compressione della malta espressa in MPa, e PG è la media delle sei letture centrali.

Se  $f_m$  risulta superiore a 4 MPa si verifica la frantumazione dei grani anziché lo scioglimento dei legami fra essi e quindi la risposta dipende dalla resistenza propria dei grani stessi.



## 2.3 - Indagini endoscopiche

Le indagini endoscopiche sono state eseguite utilizzando un endoscopio flessibile a luce fredda FLIR, inserito all'interno dei fori precedentemente eseguiti di diametro di circa 20 mm.



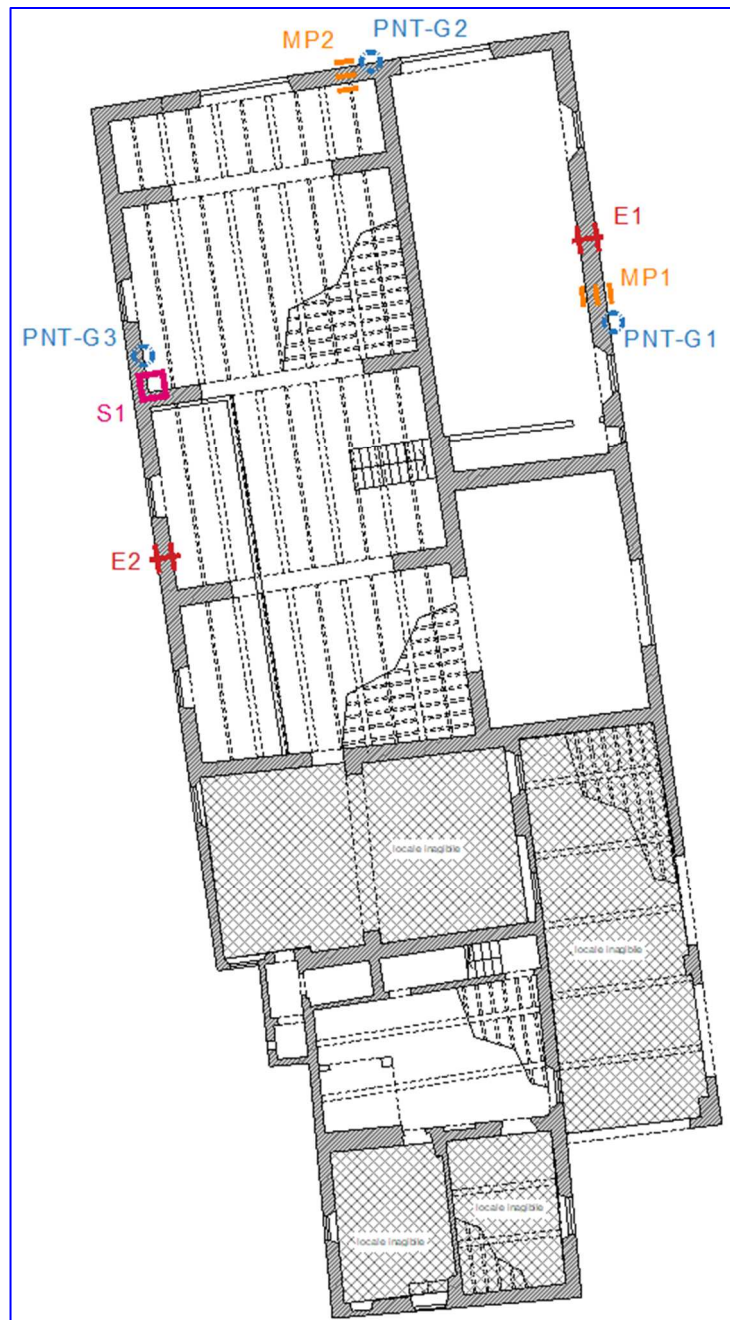


### 3 - UBICAZIONE DELLE INDAGINI

Si riporta a seguire l'ubicazione delle indagini eseguite sull'immobile di cui all'oggetto.

#### LEGENDA

- |||MPX - Martinetto piatto singolo e doppio
- ⊙ PNT-GX - Indagine penetrometrica
- + EX - Indagine endoscopica
- SX - Saggio



*Pianta piano terra*

Rapporto di prova N. 00700 del 23/03/2023. Il presente documento non deve essere riprodotto in forma parziale senza l'autorizzazione scritta del responsabile del Laboratorio. Pag. 10/23



## 4 - RISULTATI DELL'INDAGINI

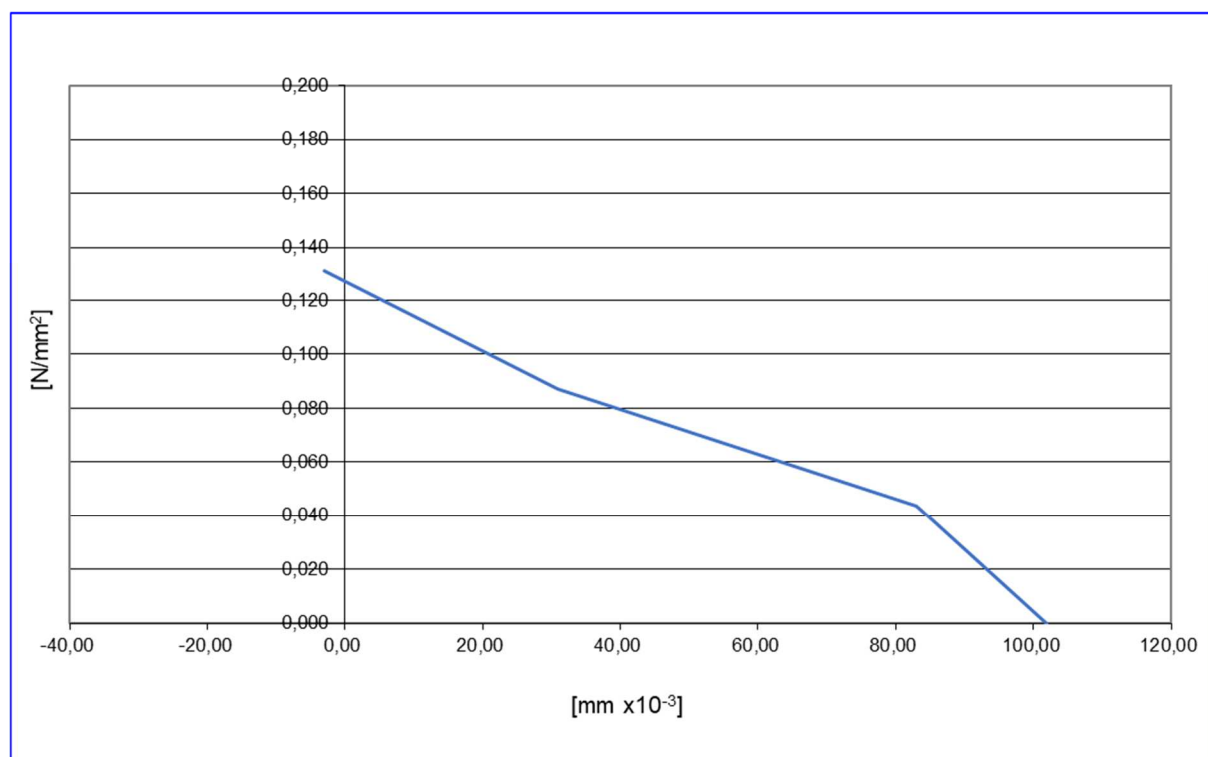
### 4.1 - MARTINETTI PIATTI

#### 4.1.1 - Martinetto piatto singolo – MP1

Data prova: 15/03/2022	Ubicazione indagine: Piano terra	Scheda n.1
Sigla indagine: MP1	Tipologia muratura: <i>Muratura mista in pietre e mattoni</i>	

Pressione P [bar]	Pressione effettiva $\delta$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\Delta$ [mm x 10 <sup>-3</sup> ]			Deformazione media [mm x 10 <sup>-3</sup> ]
		$\Delta 1$	$\Delta 2$	$\Delta 3$	
ante taglio	0	0	0	0	0
post taglio	0	120	103	82	102
0,50	0,044	97	91	61	83
1,00	0,087	25	40	28	31
1,50	0,131	-9	0	0	-3

<b>Tensione di ripristino [ N/mm<sup>2</sup> ]</b>
<b>0,127</b>





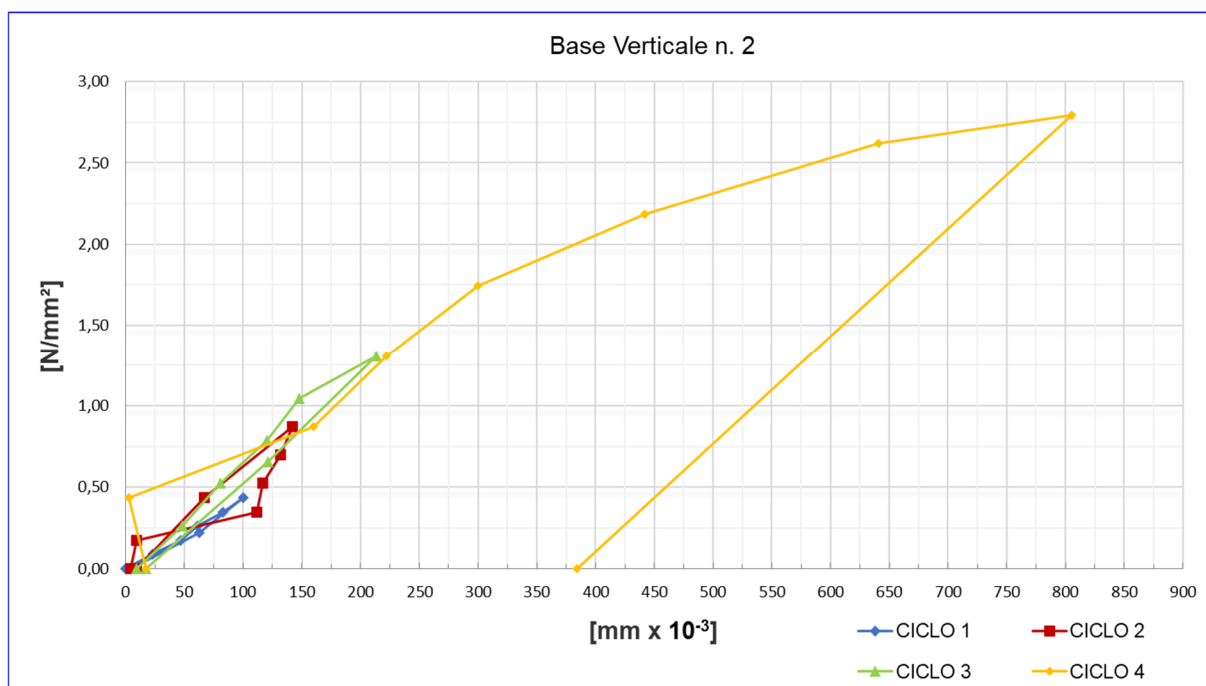
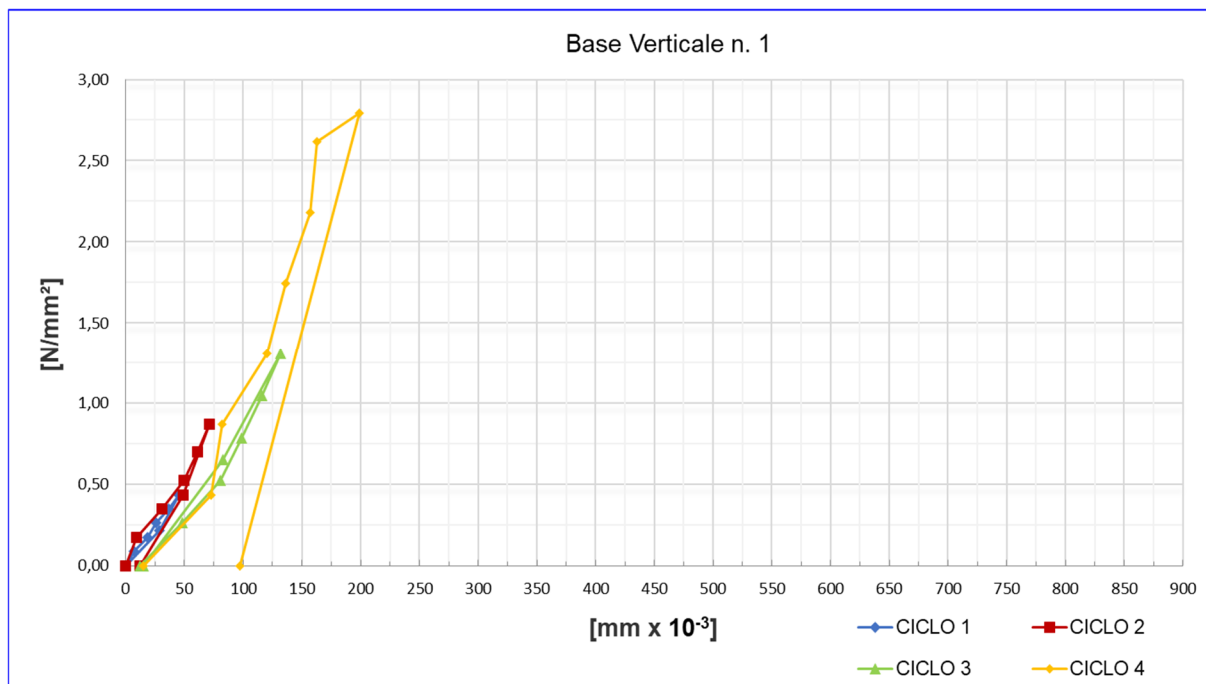
#### 4.1.2 - Martinetto piatto doppio – MP1

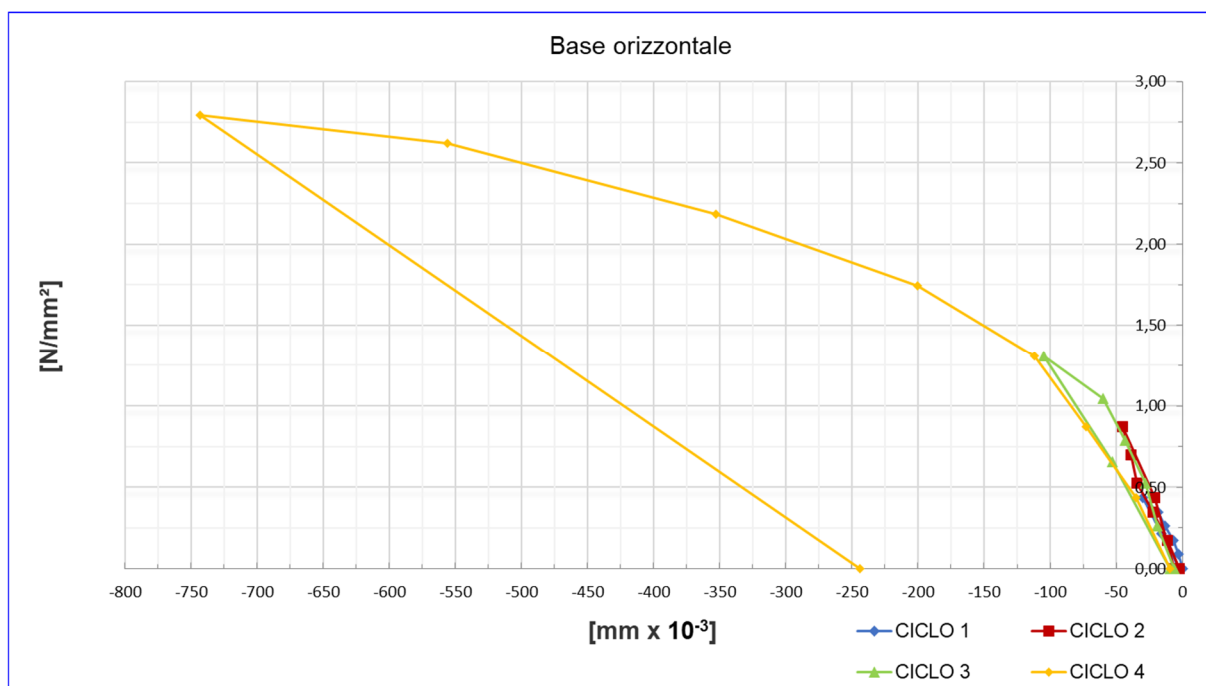
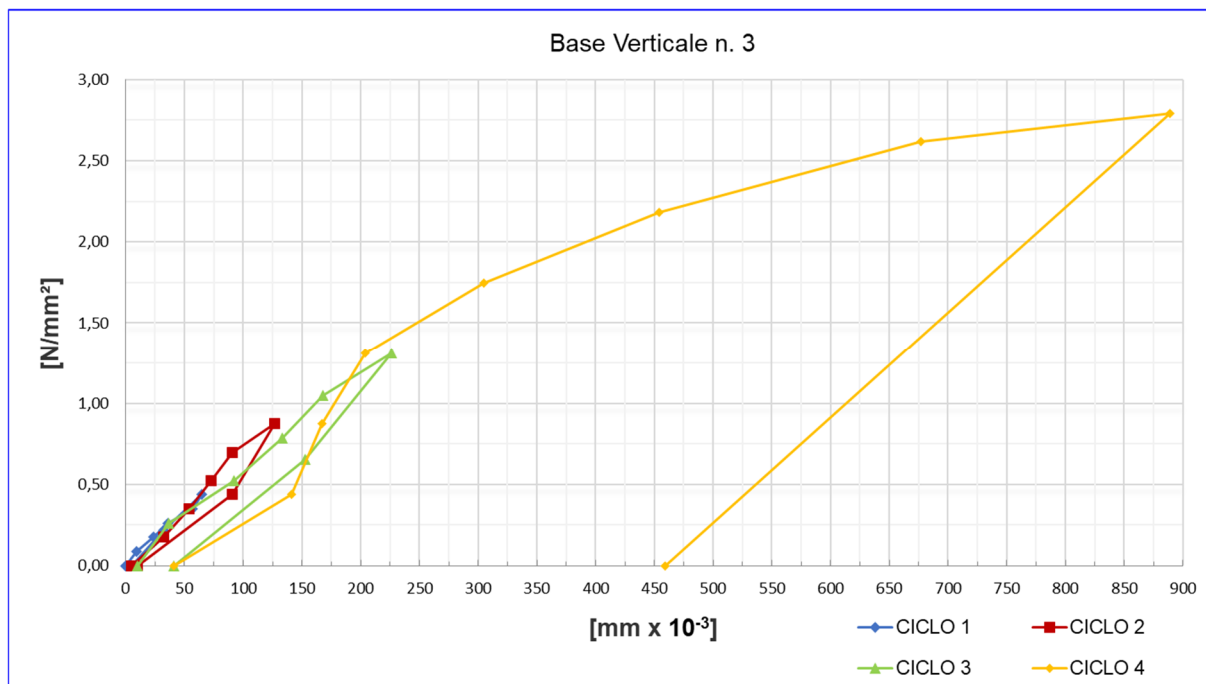
Data prova: 15/03/2022	Ubicazione indagine: Piano terra	Scheda n.2
<b>Sigla indagine: MP1</b>	<b>Tipologia muratura: Muratura mista in pietre e mattoni</b>	

Pressione  P [bar]	Pressione effettiva  δ [N/mm²]	Basi verticali						Base orizzontale
		Δ [mm x 10 <sup>-3</sup> ]			ε1	ε2	ε3	[mm x 10 <sup>-3</sup> ]
		Δ1	Δ2	Δ3	Δ1/L1	Δ2/L2	Δ3/L3	Δ4
0,0	0,00	0	0	0	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0
1,0	0,09	7	23	9	2,8E-05	9,2E-05	3,6E-05	-3
2,0	0,17	19	47	24	7,6E-05	1,9E-04	9,6E-05	-7
3,0	0,26	26	61	36	1,0E-04	2,4E-04	1,4E-04	-13
4,0	0,35	37	83	57	1,5E-04	3,3E-04	2,3E-04	-18
5,0	0,44	45	100	65	1,8E-04	4,0E-04	2,6E-04	-30
2,5	0,22	29	63	32	1,2E-04	2,5E-04	1,3E-04	-16
0,0	0,00	0	4	5	0,0E+00	1,6E-05	2,0E-05	-2
2,0	0,17	9	9	32	3,6E-05	3,6E-05	1,3E-04	-11
4,0	0,35	31	112	54	1,2E-04	4,5E-04	2,2E-04	-22
6,0	0,52	50	117	73	2,0E-04	4,7E-04	2,9E-04	-34
8,0	0,70	61	132	91	2,4E-04	5,3E-04	3,6E-04	-39
10,0	0,87	71	142	127	2,8E-04	5,7E-04	5,1E-04	-45
5,0	0,44	49	67	91	2,0E-04	2,7E-04	3,6E-04	-21
0,0	0,00	12	9	10	4,8E-05	3,6E-05	4,0E-05	-6
3,0	0,26	48	48	37	1,9E-04	1,9E-04	1,5E-04	-19
6,0	0,52	81	81	92	3,2E-04	3,2E-04	3,7E-04	-28
9,0	0,79	99	120	133	4,0E-04	4,8E-04	5,3E-04	-43
12,0	1,05	116	148	168	4,6E-04	5,9E-04	6,7E-04	-60
15,0	1,31	132	213	226	5,3E-04	8,5E-04	9,0E-04	-105
7,5	0,65	83	121	153	3,3E-04	4,8E-04	6,1E-04	-53
0,0	0,00	15	17	41	6,0E-05	6,8E-05	1,6E-04	-9
5,0	0,44	73	3	141	2,9E-04	1,2E-05	5,6E-04	-35
10,0	0,87	82	160	167	3,3E-04	6,4E-04	6,7E-04	-73
15,0	1,31	120	222	204	4,8E-04	8,9E-04	8,2E-04	-112
20,0	1,75	136	300	305	5,4E-04	1,2E-03	1,2E-03	-200
25,0	2,18	157	442	454	6,3E-04	1,8E-03	1,8E-03	-353
30,0	2,62	163	641	677	6,5E-04	2,6E-03	2,7E-03	-556
32,0	2,79	199	805	889	8,0E-04	3,2E-03	3,6E-03	-743
0,0	0,00	97	384	459	3,9E-04	1,5E-03	1,8E-03	-244

Coefficiente	Coefficiente	Pressione massima raggiunta	Tensione di prima fessurazione
Km	Ka	[N/mm²]	σ [N/mm²]
0,89	1	2,79	2,62

Rapporto di prova N. 00700 del 23/03/2023. Il presente documento non deve essere riprodotto in forma parziale senza l'autorizzazione scritta del responsabile del Laboratorio. Pag. 12/23





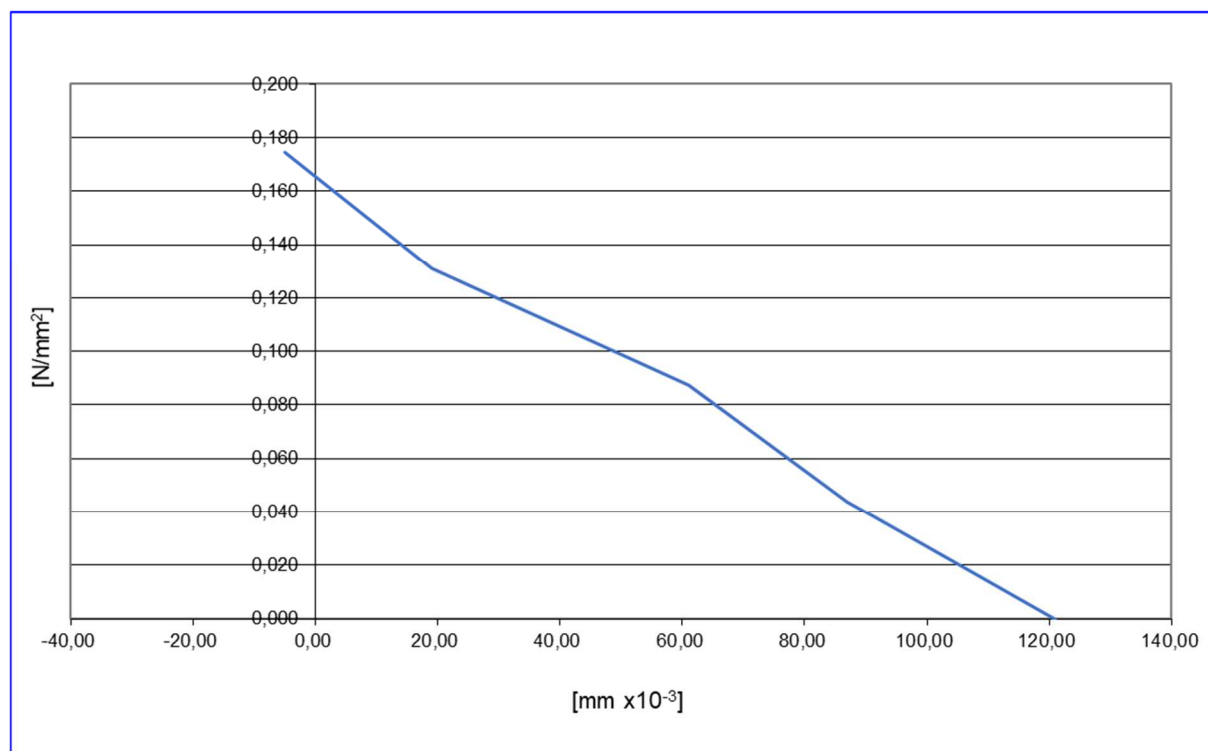


#### 4.1.3 - Martinetto piatto singolo – MP2

Data prova: 15/03/2022	Ubicazione indagine: Piano terra	Scheda n.1
Sigla indagine: MP1	Tipologia muratura: <i>Muratura mista in pietre e mattoni</i>	

Pressione P [bar]	Pressione effettiva $\delta$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\Delta$ [mm x 10 <sup>-3</sup> ]			Deformazione media [mm x 10 <sup>-3</sup> ]
		$\Delta 1$	$\Delta 2$	$\Delta 3$	
ante taglio	0	0	0	0	0
post taglio	0	62	151	149	121
0,50	0,044	30	129	101	87
1,00	0,087	18	88	76	61
1,50	0,131	0	32	25	19
2,00	0,175	-14	0	0	-5

<b>Tensione di ripristino [ N/mm<sup>2</sup> ]</b>
<b>0,165</b>





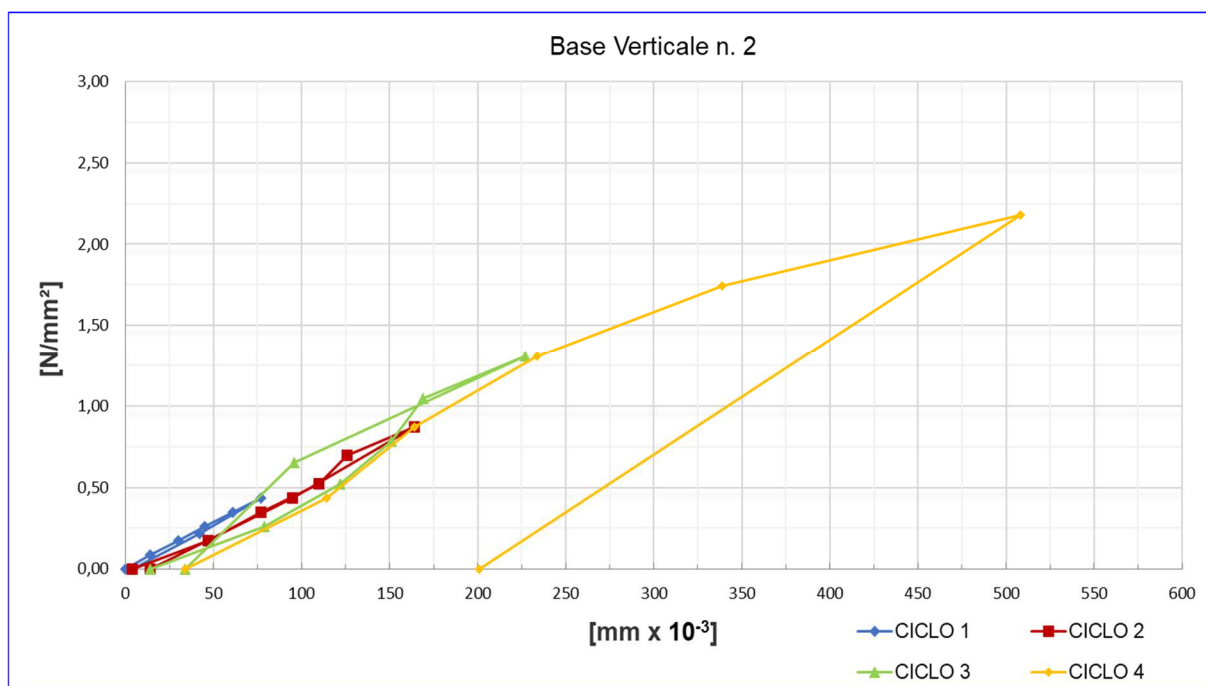
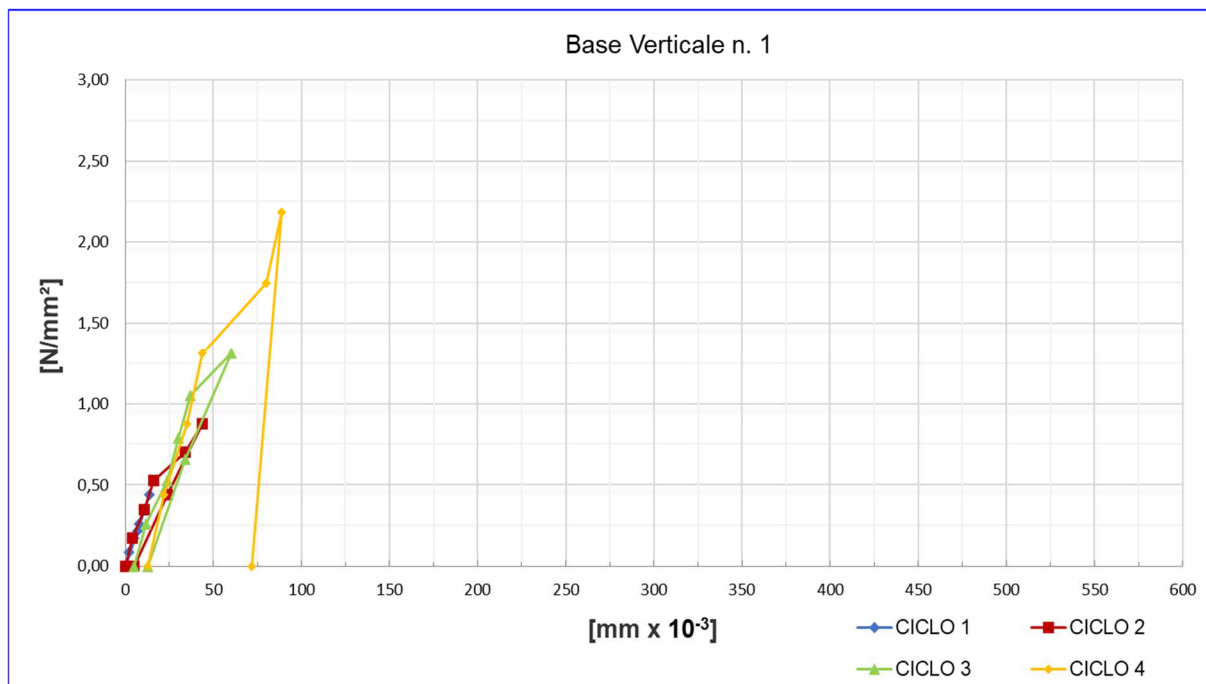
#### 4.1.4 - Martinetto piatto doppio – MP2

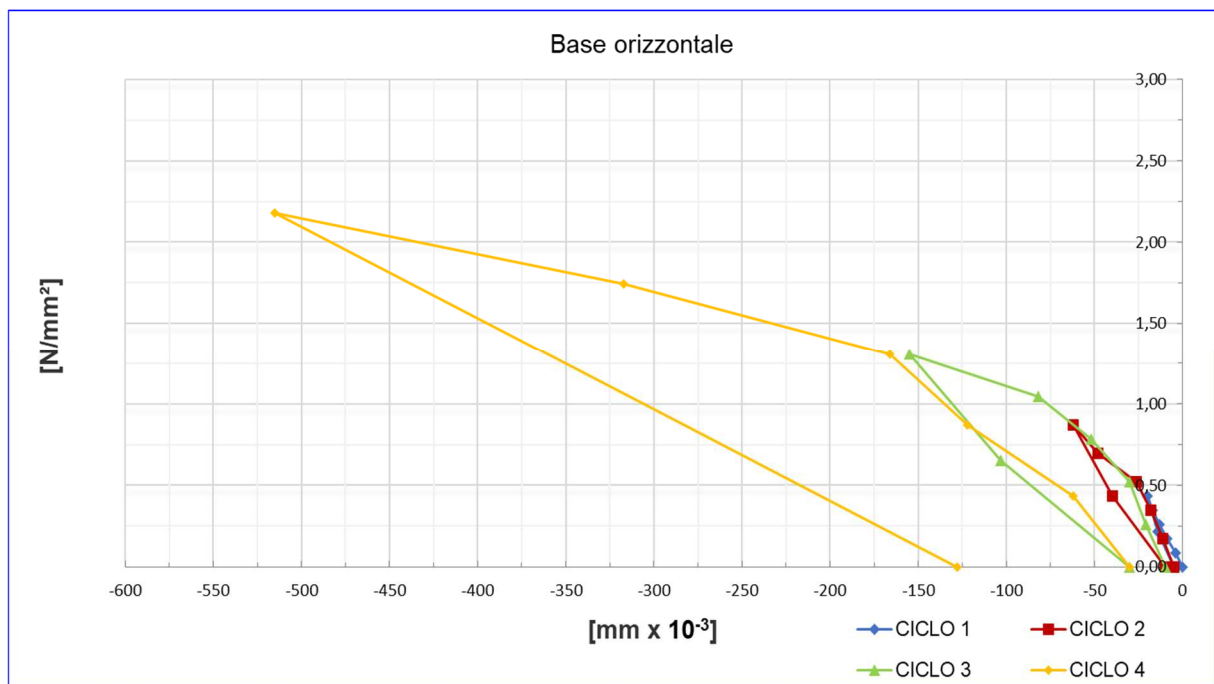
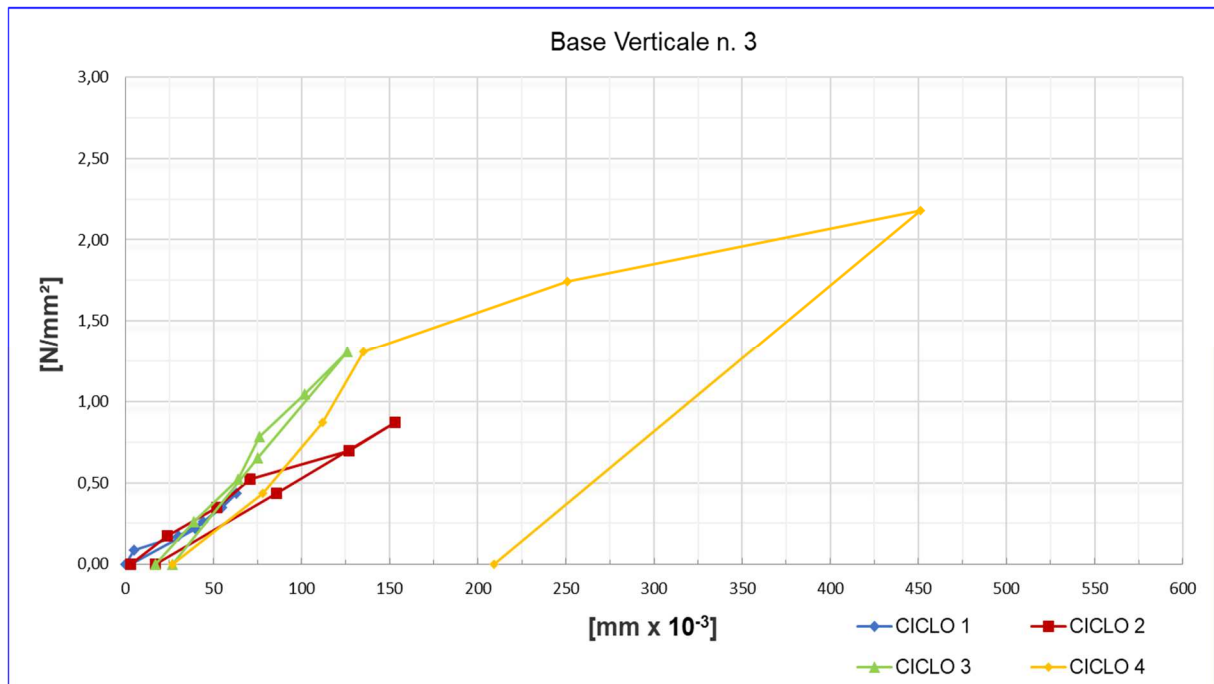
Data prova: 15/03/2022	Ubicazione indagine: Piano terra	Scheda n.2
<b>Sigla indagine: MP2</b>	<b>Tipologia muratura: <i>Muratura mista in pietre e mattoni</i></b>	

Pressione  P [bar]	Pressione effettiva  δ [N/mm²]	Basi verticali						Base orizzontale
		Δ [mm x 10 <sup>-3</sup> ]			ε1	ε2	ε3	[mm x 10 <sup>-3</sup> ]
		Δ1	Δ2	Δ3	Δ1/L1	Δ2/L2	Δ3/L3	Δ4
0,0	0,00	0	0	0	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0
1,0	0,09	2	14	5	8,0E-06	5,6E-05	2,0E-05	-4
2,0	0,17	5	30	30	2,0E-05	1,2E-04	1,2E-04	-9
3,0	0,26	8	45	44	3,2E-05	1,8E-04	1,8E-04	-13
4,0	0,35	11	61	55	4,4E-05	2,4E-04	2,2E-04	-17
5,0	0,44	14	77	63	5,6E-05	3,1E-04	2,5E-04	-20
2,5	0,22	7	42	40	2,8E-05	1,7E-04	1,6E-04	-14
0,0	0,00	0	4	3	0,0E+00	1,6E-05	1,2E-05	-5
2,0	0,17	4	47	24	1,6E-05	1,9E-04	9,6E-05	-11
4,0	0,35	11	77	52	4,4E-05	3,1E-04	2,1E-04	-18
6,0	0,52	16	110	71	6,4E-05	4,4E-04	2,8E-04	-26
8,0	0,70	34	126	127	1,4E-04	5,0E-04	5,1E-04	-48
10,0	0,87	44	164	153	1,8E-04	6,6E-04	6,1E-04	-62
5,0	0,44	24	95	86	9,6E-05	3,8E-04	3,4E-04	-40
0,0	0,00	5	14	17	2,0E-05	5,6E-05	6,8E-05	-10
3,0	0,26	12	79	39	4,8E-05	3,2E-04	1,6E-04	-21
6,0	0,52	24	122	64	9,6E-05	4,9E-04	2,6E-04	-30
9,0	0,79	30	151	76	1,2E-04	6,0E-04	3,0E-04	-52
12,0	1,05	37	169	102	1,5E-04	6,8E-04	4,1E-04	-82
15,0	1,31	60	227	126	2,4E-04	9,1E-04	5,0E-04	-155
7,5	0,65	34	96	75	1,4E-04	3,8E-04	3,0E-04	-103
0,0	0,00	13	34	27	5,2E-05	1,4E-04	1,1E-04	-30
5,0	0,44	22	114	78	8,8E-05	4,6E-04	3,1E-04	-62
10,0	0,87	35	164	112	1,4E-04	6,6E-04	4,5E-04	-122
15,0	1,31	44	234	135	1,8E-04	9,4E-04	5,4E-04	-166
20,0	1,75	80	339	251	3,2E-04	1,4E-03	1,0E-03	-317
25,0	2,18	89	508	451	3,6E-04	2,0E-03	1,8E-03	-515
0,0	0,00	72	201	209	2,9E-04	8,0E-04	8,4E-04	-128

Coefficiente	Coefficiente	Pressione massima raggiunta	Tensione di prima fessurazione
Km	Ka	[N/mm²]	σ [N/mm²]
0,89	1	2,18	2,18









#### 4.2 - INDAGINI PENETROMETRICHE PNT-G

Sigla indagine		Elemento strutturale indagato														
<b>PNT-G1</b>		<b>Parete piano terra</b>														
Indagine PNT-G																<b>media</b>
586	362	219	181	138	423	225	171	230	197	401	280	325	372	180	256	284
<b>N° 6 VALORI CENTRALI</b>												<b>pg</b> media dei 6 valori centrali	<b>fm</b> [MPa]			
219	225	230	256	280	325							256	<b>2,07</b>			
Nel caso in esame il gruppo di letture è risultato <b>accettabile</b> .																

Sigla indagine		Elemento strutturale indagato														
<b>PNT-G2</b>		<b>Parete piano terra</b>														
Indagine PNT-G																<b>media</b>
110	221	205	358	697	603	183	197	352	296	658	193	426	243	191	209	321
<b>N° 6 VALORI CENTRALI</b>												<b>pg</b> media dei 6 valori centrali	<b>fm</b> [MPa]			
205	209	221	243	296	352							254	<b>2,06</b>			
Nel caso in esame il gruppo di letture è risultato <b>accettabile</b> .																

Sigla indagine		Elemento strutturale indagato														
<b>PNT-G3</b>		<b>Parete piano terra</b>														
Indagine PNT-G																<b>media</b>
266	420	325	409	287	203	194	197	244	403	302	299	173	232	125	412	281
<b>N° 6 VALORI CENTRALI</b>												<b>pg</b> media dei 6 valori centrali	<b>fm</b> [MPa]			
232	244	266	287	299	302							272	<b>2,19</b>			
Nel caso in esame il gruppo di letture è risultato <b>accettabile</b> .																

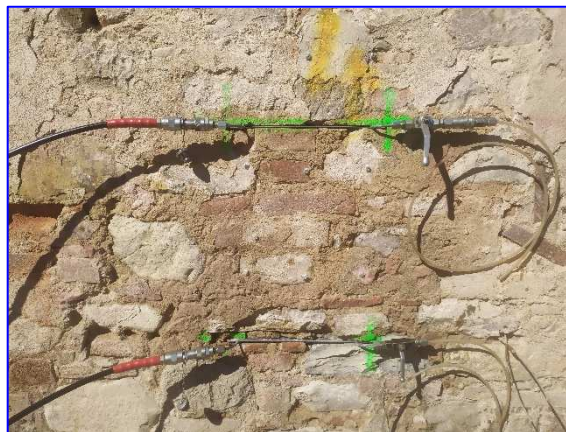


### Documentazione fotografica martinetti piatti e indagine penetrometrica

Di seguito si riportano delle immagini delle prove fatte con i martinetti piatti e delle indagini penetrometriche



*MP1 – Martinetto piatto singolo*

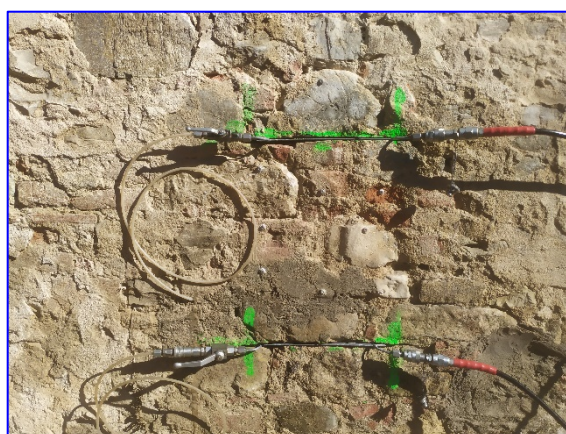


*MP1 – Martinetto piatto doppio*

*PNT-G1*



*MP2- Martinetto piatto singolo*



*MP2- Martinetto piatto doppio*

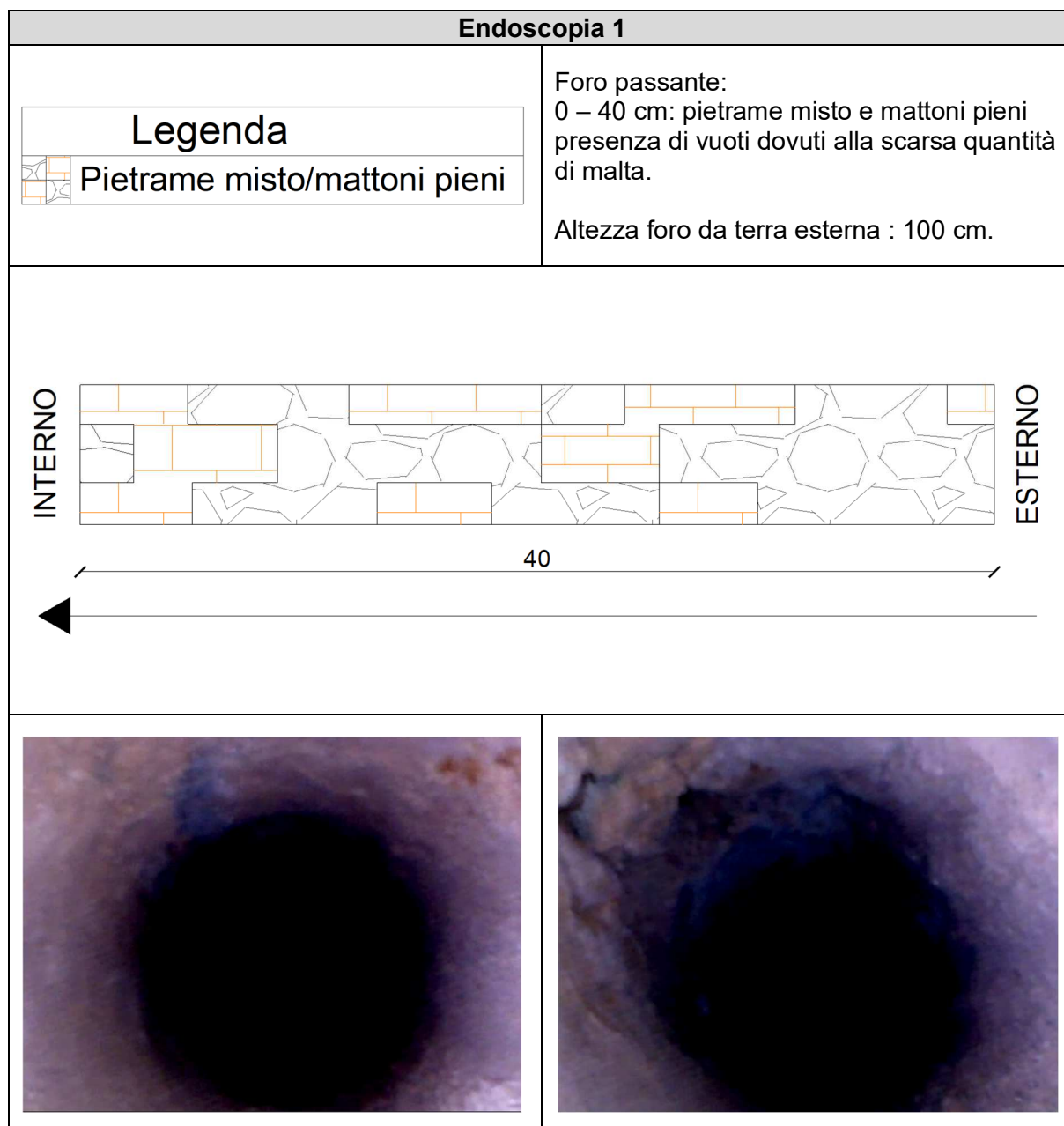
*PNT-G2*

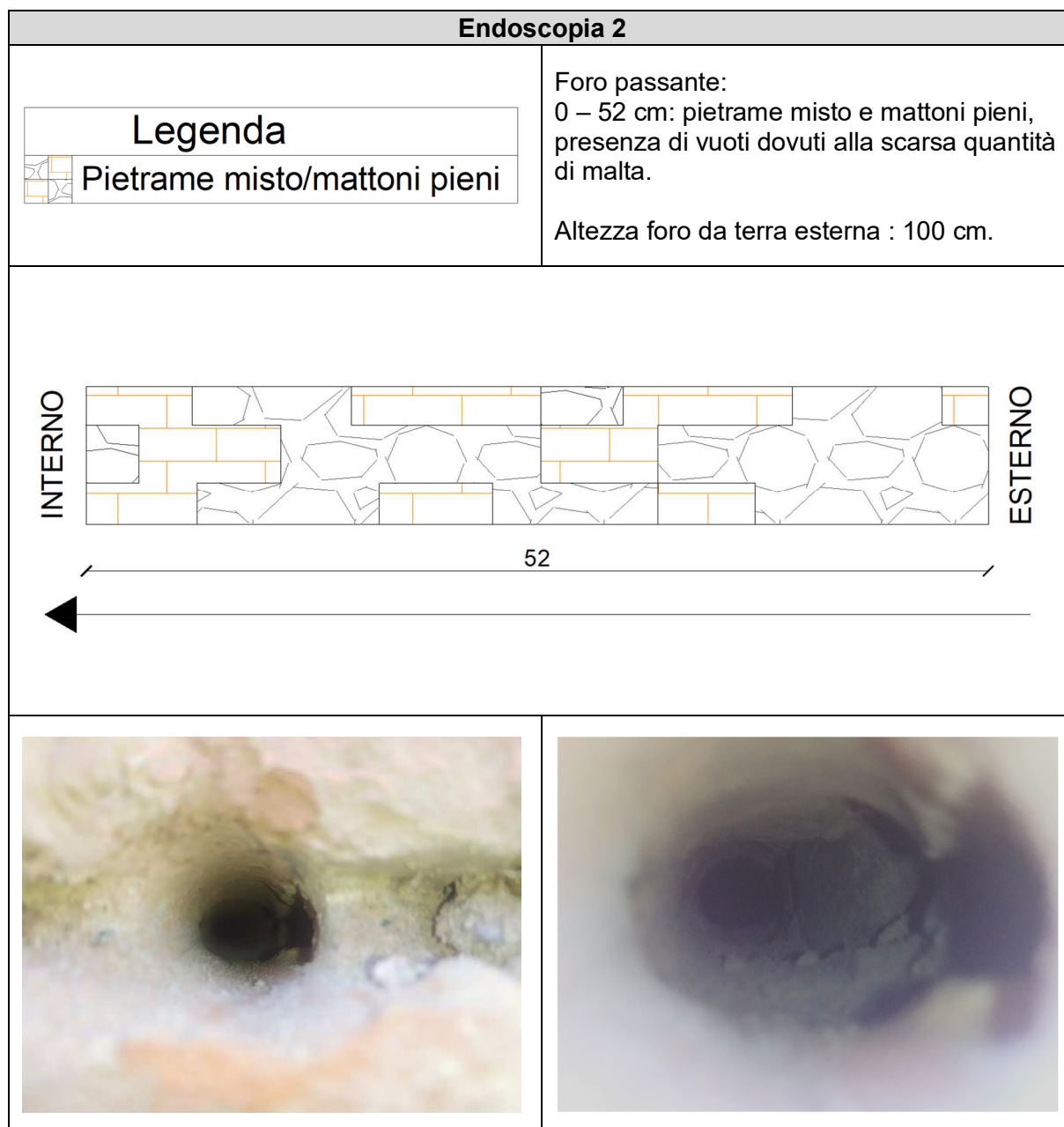


*PNT-G3*



### 4.3 - INDAGINI ENDOSCOPICHE







#### 4.4 - SAGGIO INVESTIGATIVO



Muratura interna

Muratura esterna

Lo Sperimentatore  
del Laboratorio  
**Geom. Alessandro Ortisi**

Il Direttore Responsabile  
del Laboratorio  
**Dott. Ing. Simone Scalamandrè**