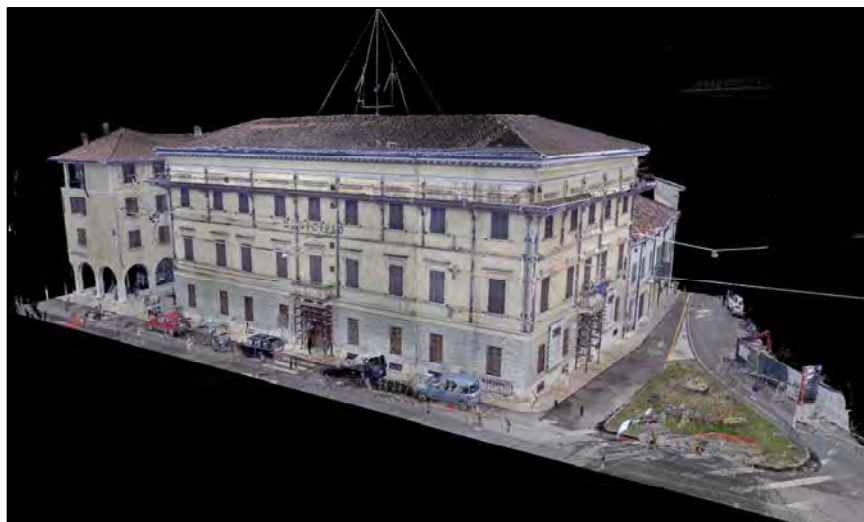




# COMUNE DI QUISTELLO



INTERVENTO DI RIPRISTINO DEI DANNI SISMICI,  
MIGLIORAMENTO SISMICO, RESTAURO ARCHITETTONICO,  
COMPRESI INTERVENTI DI ADEGUAMENTO IMPIANTI ED  
EFFICIENTAMENTO ENERGETICO

## PROGETTO ESECUTIVO

ELABORATO <b>TAV. ST 1B</b>	<b>OPERE STRUTTURALI</b> PROVE STRUMENTALI IN SITO	SCALA
<i>PROGETTAZIONE</i> <i>ARCH. STEFANO RIGHI</i> <i>ISCRIZIONE ORDINE DEGLI ARCHITETTI DI MANTOVA N. 275</i>		
<i>PROGETTAZIONE STRUTTURE</i> <i>ING. LUCA SIGNORINI</i> <i>ISCRIZIONE ALL'ALBO DEGLI INGEGNERI DI MANTOVA N. 972</i>		
<i>PROGETTAZIONE IMPIANTI MECCANICI</i> <i>ING. PAOLO LOTTI</i> <i>ISCRIZIONE ALL'ALBO DEGLI INGEGNERI DI MANTOVA N. 804</i>		
<i>PROGETTAZIONE IMPIANTI ELETTRICI</i> <i>P.I. ALESSANDRO NEGRINI</i> <i>ISCRIZIONE ALL'ALBO DEI PERITI INDUSTRIALI DI MANTOVA N. 900</i>		
<i>ESECUZIONE DEI RILIEVI</i> <b>GEOGRA</b> <i>via Indipendenza, 106 SERMIDE (MN) 0386-62628 <a href="http://www.geogra.it">www.geogra.it</a> e-mail: <a href="mailto:info@geogra.it">info@geogra.it</a></i>		IL-RESPONSABILE-DEL-PROCEDIMENTO
DATA 19-12-2016	REVISIONE	ARCHIVIO



## 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 0471/543110 - [4emme@legalmail.it](mailto:4emme@legalmail.it) - [www.4emme.it](http://www.4emme.it)

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

## INDAGINI SPERIMENTALI *PALAZZO VIANI* QUISTELLO (MN)

**PROVE N° 4648÷4653/VR**

**07÷10 aprile 2015**

Committente: **Comune di Quistello**

Tecnico Incaricato: **dott. ing. Luca Signorini**

Relatore: **dott. ing. Andrea Palermo**



***Fronte principale di Palazzo Viani - sede municipale di Quistello (MN)***

RIF.: VR-035-15 Comune di Quistello

Verona, 06 maggio 2015

## INDICE

<b>1</b>	<b>PREMESSA.....</b>	<b>3</b>
1.1	Descrizione della struttura .....	4
<b>2</b>	<b>INDAGINI SU MURATURA – PROVE N° 4648+4650/VR.....</b>	<b>5</b>
2.1	Planimetrie degli edifici indagati con ubicazione delle zone indagate .....	5
2.2	Martinetti piatti.....	7
2.2.1	Descrizione della strumentazione .....	7
2.2.2	Rilievo in sito delle tensioni d'esercizio .....	8
2.2.3	Misura della resistenza a compressione .....	8
2.3	Shave test .....	9
2.4	Corpo principale – Piano Terra - Prova n° 4648/VR .....	10
2.4.1	Tensione di esercizio – Muratura in laterizio pieno.....	10
2.4.2	Resistenza a compressione - Muratura in laterizio .....	12
2.4.3	Shave test.....	14
2.5	Corpo Principale – Piano Primo - Prova n° 4649/VR .....	17
2.5.1	Tensione di esercizio – Muratura in laterizio pieno.....	17
2.5.2	Resistenza a compressione - Muratura in laterizio .....	19
2.5.3	Shave test.....	21
2.6	Ala Est – Piano Terra - Prova n° 4650/VR.....	24
2.6.1	Tensione di esercizio – Muratura in laterizio forato .....	24
2.6.2	Resistenza a compressione - Muratura in laterizio .....	26
2.6.3	Shave test.....	28
<b>3</b>	<b>ANALISI PETROGRAFICHE SU MALTE E INTONACO – PROVE N° 4651/VR.....</b>	<b>31</b>
3.1	Planimetrie dell'edificio con ubicazione delle zone di prelievo .....	31
3.2	Analisi Petrografica su campioni di malta .....	32
<b>4</b>	<b>INDAGINI GEORADAR – PROVA N° 4652/VR .....</b>	<b>33</b>
4.1	Modalità di esecuzione delle indagini .....	35
4.2	Schemi di ubicazione delle scansioni .....	35
4.3	Modalità di esecuzione dell'analisi.....	37
4.4	Analisi dei segnali .....	38
<b>5</b>	<b>CARATTERIZZAZIONE DINAMICA – PROVA N° 4653/VR .....</b>	<b>45</b>
5.1	Descrizione della strumentazione.....	46
5.2	Posizionamento dei Microsismic.....	46
5.3	Analisi dinamica .....	53
5.4	Frequenze del terreno .....	60
<b>6</b>	<b>CONSIDERAZIONI TECNICHE FINALI.....</b>	<b>61</b>
6.1	Indagini su murature.....	61
6.1.1	Stima dei moduli elastici.....	61
6.1.2	Resistenza a taglio caratteristica.....	63
6.1.3	Tabella riassuntiva dei dati.....	64
6.2	Indagini georadar per la ricerca di fondazioni .....	64
6.3	Caratterizzazione dinamica .....	64

## ALLEGATI

Rapporto di prova analisi Petrografica NR. 1444 del 30/04/2015

## 1 PREMESSA

La Società *4 EMME Service S.p.A.* è stata incaricata dal **Comune di Quistello** di eseguire alcune indagini sperimentali presso la sede municipale di **Palazzo Viani** in Piazza Matteotti a Quistello (MN).

Le indagini sperimentali eseguite sono:

- n° 3 prove con martinetti piatti per il rilievo delle tensioni d'esercizio e la misura della resistenza a compressione della muratura;
- n° 3 prove a scorrimento o "shave test" per la misura della resistenza a taglio della muratura;
- n° 8 analisi petrografiche su campioni di malta ed intonaco prelevati;
- n° 2 indagini con georadar sulla pavimentazione perimetrale esterna ed all'interrato per l'individuazione di eventuali fondazioni;
- n° 1 caratterizzazione dinamica dell'edificio.

Tali prove sono state eseguite per la caratterizzazione dei materiali e delle strutture sottoposte ad indagine.

La scelta delle zone da sottoporre a controllo e le modalità di rilevazione sono state preventivamente concordate con il Tecnico Incaricato dott. ing. Luca Signorini.

Le indagini sperimentali sono state eseguite nelle date **07÷10 aprile 2015**.

### **All'esecuzione delle indagini hanno assistito:**

ing.	L. Signorini	Tecnico Incaricato;
arch.	S. Righi	Responsabile Tecnico Comune di Quistello;

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

geom.	P. Bassi;
ing.	A. Palermo;
geom.	S. Marcolini;
geom.	M. Mantovani.



### 1.1 Descrizione della struttura

Palazzo Viani, sede del Municipio di Quistello, è un edificio ad L in muratura distribuito su quattro piani fuori terra (compreso il sottotetto) ed un piano interrato. Ad esso adiacente nella zona sud-est c'è un ampliamento di due piani fuori terra, sede della Polizia Municipale, anch'esso in muratura.

Il municipio è stato dichiarato inagibile in seguito al terremoto del maggio 2012 ed è in fase di ripristino funzionale e miglioramento antisismico.



*Foto 1: Vista satellitare dell'edificio oggetto di indagini*

## 2 INDAGINI SU MURATURA – PROVE N° 4648÷4650/VR

Le porzioni di muratura interessate dalle prove sono state sottoposte a rilievo della tensione esistente, a misura della resistenza a compressione e della resistenza a taglio.

### 2.1 Planimetrie degli edifici indagati con ubicazione delle zone indagate

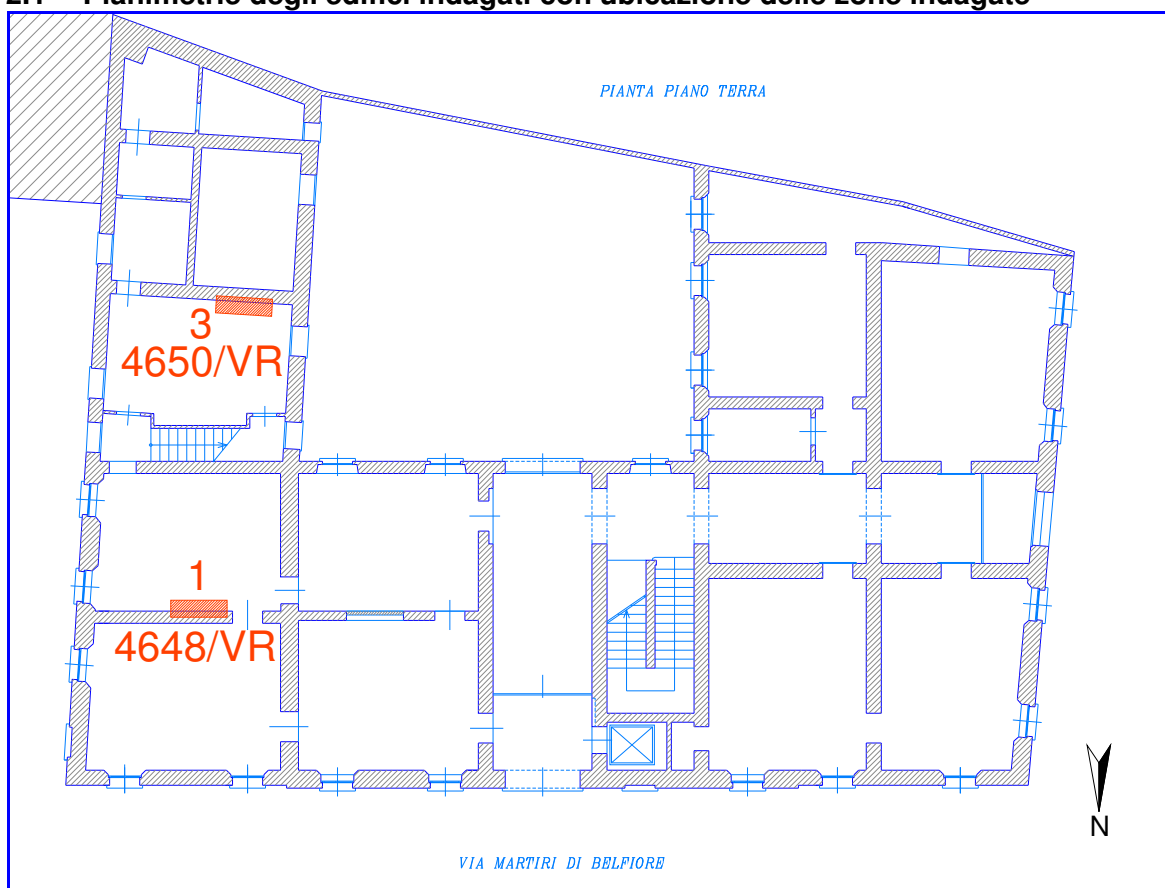


Fig. 1: Planimetria del piano terra con ubicazione delle zone indagate

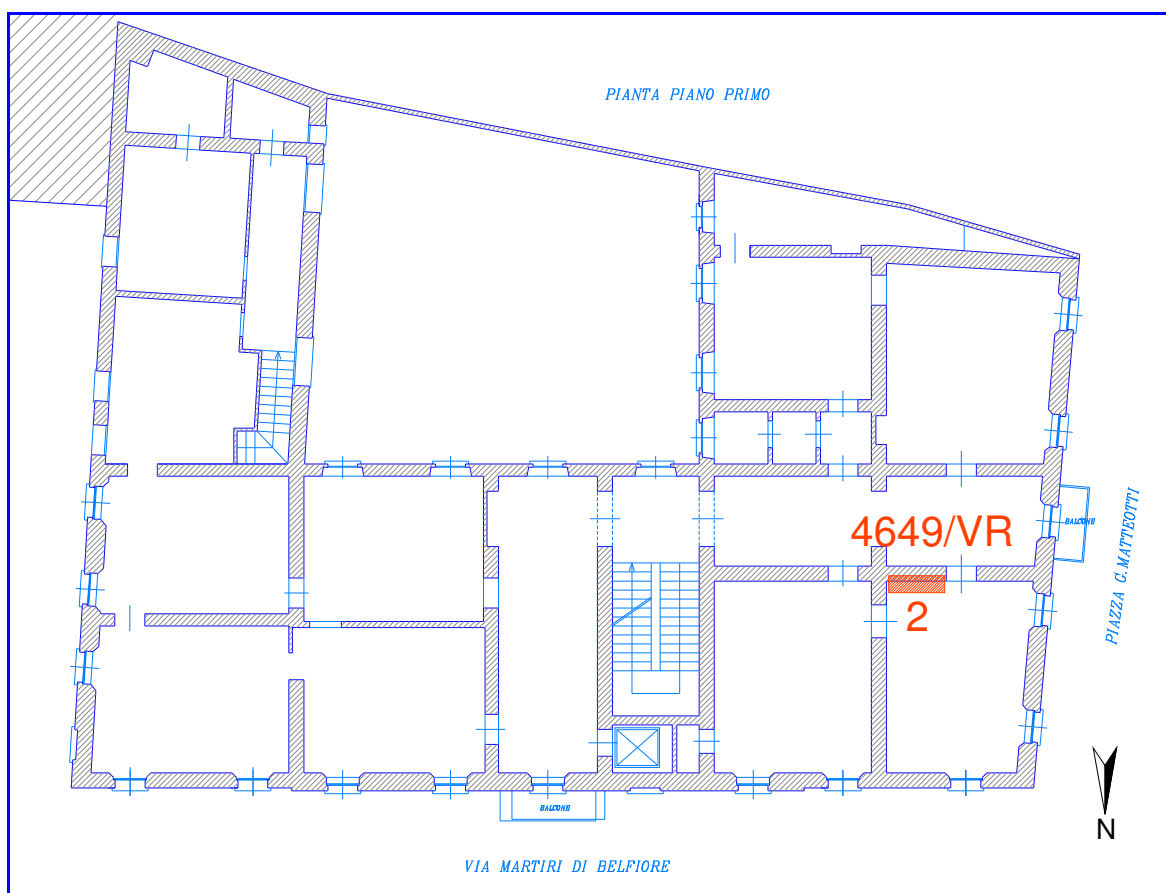


Fig. 2: Planimetria del piano primo con ubicazione della zona indagata

## 2.2 Martinetti piatti

### 2.2.1 Descrizione della strumentazione

Il *martinetto piatto* utilizzato (Controls 58-D0567/E20) è una cella di carico azionata idraulicamente, in acciaio ad alta resistenza, di forma semicircolare allungata con le seguenti caratteristiche:

- superficie: 761,5 cm<sup>2</sup>
- spessore: 3,5 mm
- diametro: 34,7 mm
- profondità di installazione: 25,7 mm



Foto 2: Pompa e martinetto

Ogni martinetto è caratterizzato da un coefficiente di taratura ( $k_m$ ) che ne definisce l'efficacia, ossia la riduzione della spinta rispetto alla massima teoricamente raggiungibile, tenuto conto della rigidità dei bordi. Tale coefficiente  $k_m$  può essere anche differente a seconda della pressione  $p_m$  esercitata dal martinetto ed in questo caso è:

$$k_m = 0,85$$

L'attrezzatura di taglio consiste in una troncatrice con motore a scoppio 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  $A_t = 865 \text{ cm}^2$ .

L'erogazione della pressione ai martinetti viene effettuata da una pompa oleodinamica manuale Mod. PMSA-3,5 della F.P.T. con manometro di precisione.

Gli spostamenti della muratura (e quindi le sue deformazioni) sono stati rilevati mediante un sistema di acquisizione in linea costituito da un'apparecchiatura per amplificazione, conversione analogico-digitale e acquisizione dei dati "IOtech" mod. WAVEBOOK/516E con software di elaborazione DasyLab e tre trasduttori potenziometrici con fondo scala 50 mm e sensibilità millesimale mod. Midori LP-50 applicati alla superficie esterna:

<b>escursione</b>	50 mm
<b>sensibilità</b>	0,001 mm
<b>linearità</b>	99,6%

La calibrazione dei sensori è stata effettuata in data 23 giugno 2014 e documentata col Certificato di Taratura n. 1108/14.



Foto 3: Wavebook 516E dell'IOtech



Foto 4: Sensore potenziometrico 50 mm



### 2.2.2 Rilievo in sito delle tensioni d'esercizio

Lo scopo della prova con martinetto piatto singolo, è la misura dello stato tensionale di una parete muraria in sito. Questo tipo di indagine è stata introdotta per la prima volta nell'analisi di un edificio monumentale nel 1978 e da allora ha subito interessanti sviluppi e miglioramenti.

La prova viene eseguita con le seguenti modalità:

- predisposizione dei sensori di spostamento nella zona d'indagine;
- alterazione dello stato tensionale della muratura mediante l'esecuzione di un taglio sul piano normale alla superficie della parete muraria e alla direzione della tensione da misurare con rilievo delle deformazioni indotte;
- inserimento del martinetto piatto nel taglio;
- ripristino dello stato tensionale iniziale mediante pompa idraulica collegata al martinetto. Tale operazione viene eseguita, se possibile, in più cicli con incremento progressivo del carico.

L'esecuzione del taglio comporta il rilascio delle tensioni che si manifestano con la tendenza a richiuderne i lembi. Introducendo nella fessura un martinetto piatto, la pressione ( $P$ ) applicata che riporta la muratura circostante alle condizioni antecedenti il taglio viene assunta come prossima alla tensione in sito.

Risulta fondamentale la distinzione tra movimenti indotti dal rilascio elastico dovuto al taglio e movimenti legati a rotture localizzate, cricche, ecc., non originati quindi dal rilascio elastico e pertanto da non tenere in considerazione.

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

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

dove:

- $\sigma_e$  = tensione verticale di esercizio in sito (MPa);
- $P$  = pressione di ripristino delle condizioni iniziali al martinetto (MPa);
- $A_m$  = area del martinetto (cm<sup>2</sup>);
- $A_t$  = area del taglio (cm<sup>2</sup>);
- $k_m$  = coefficiente di bordo del martinetto (adimensionale).

### 2.2.3 Misura della resistenza a compressione

La misura della resistenza a compressione prevede:

- rilievo della tensione preesistente (cfr. paragrafo precedente);
- installazione di un secondo martinetto parallelo al primo ad una distanza di circa 50 cm;
- esecuzione, se possibile, di altri due tagli paralleli tra loro e perpendicolari ai martinetti, disposti a delimitare lateralmente un parallelepipedo murario con una sola faccia (quella posteriore) collaborante con la struttura muraria;
- installazione di sensori di spostamento nella zona compresa tra i due martinetti;
- esecuzione della prova a compressione aumentando la pressione nei martinetti mediante pompa idraulica. Tale operazione viene eseguita solitamente in più cicli con incremento progressivo del carico massimo.

La pressione di rottura viene individuata mediante l'analisi dell'andamento dei sensori di spostamento posti tra i due martinetti e mediante analisi visiva della muratura stessa.

In taluni casi è possibile distinguere la fase di rottura della malta da quella di rottura dei mattoni.

La tensione di rottura in sito si ricava con una formula analoga a quella utilizzata per la tensione d'esercizio, con la differenza che  $A_t$  e  $k_m$  sono la media rispettivamente delle aree di taglio e dei coefficienti di bordo dei due martinetti:

Tutti i martinetti piatti utilizzati erano nuovi, di conseguenza i valori di cui sopra diventano:

$$A_m = 761,50 \text{ cm}^2; A_t = 865,00 \text{ cm}^2; k_t = 761,50/865,00 = 0,88; k_m = 0,85$$

Per cui:

$$\sigma_v = P \cdot k_t \cdot k_m = P \cdot 0,748$$

## 2.3 Shave test

Per le prove di analisi della resistenza al taglio di un singolo elemento murario, sottoposto ad una forza laterale, è stata utilizzata la seguente strumentazione:

- pompa oleodinamica manuale Mod. PMSA-3,5 della F.P.T. con manometro di precisione;
- martinetto oleodinamico per l'applicazione del carico Mod. CRM-10/100 della F.P.T.;

La precisione dei carichi applicati è garantita dal manometro (precisione > 99,5 %); la precisione complessiva delle rilevazioni è dell'ordine del 98%.

Il rilievo delle deformazioni è stato eseguito con lo stesso sistema di sensori-unità di acquisizione utilizzati per le prove con martinetti piatti.

La prova viene eseguita utilizzando un martinetto inserito al posto di un elemento murario e controllato dalla pompa con manometro, asportando anche il corso di malta verticale opposto alla posizione del martinetto, così da isolare l'elemento di prova. I sensori sono posti in orizzontale e servono a determinare il momento del cedimento della malta, identificando la forza di taglio necessaria.

La tensione  $\tau_i$  al momento della rottura (resistenza a taglio) è calcolata come:

$$\tau_i = \frac{P_h}{A_j}$$

dove:

$P_h$  è la massima forza orizzontale esercitata nella prova;

$A_j$  è la somma dell'area lorda dei giunti orizzontali superiore e inferiore del campione.

La resistenza  $\tau_0$  sotto compressione nulla (resistenza a taglio caratteristica) può essere ottenuta con la seguente:

$$\tau_i = \tau_0 + \mu \cdot S_v$$

dove:

$\mu$  è il coefficiente di attrito;

$S_v$  è lo stato di compressione del provino al momento della prova (per il calcolo della resistenza si è considerata la tensione di esercizio determinata dalla prova con martinetto singolo su muratura);

Il coefficiente d'attrito  $\mu$  deve essere ipotizzato; studi di laboratorio hanno dimostrato che detto coefficiente varia tra 0,3 e 1,6 con valore medio di 0,8 e coefficiente di variazione compreso fra 30% ed il 50%.

## 2.4 Corpo principale – Piano Terra - Prova n° 4648/VR

La prova è stata eseguita su una porzione di muratura di mattoni pieni in laterizio.

### 2.4.1 Tensione di esercizio – Muratura in laterizio pieno

Per la prova è stato utilizzato un martinetto 58-D0567/E20.

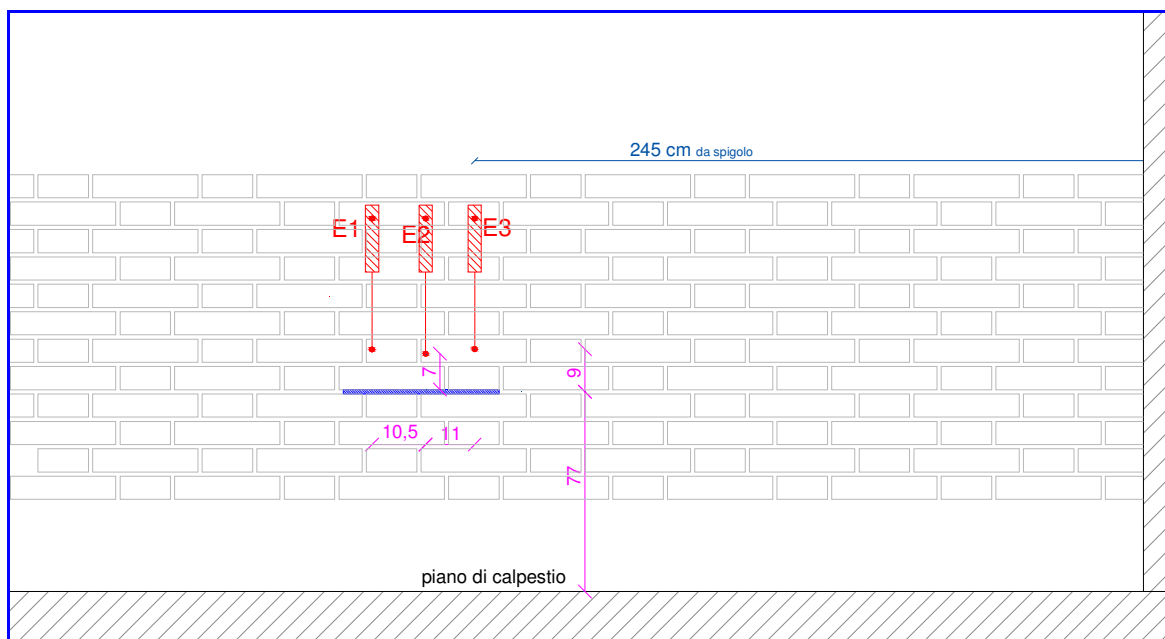


Fig. 3: *Disposizione martinetto e sensori*



Foto 5: *Esecuzione del taglio orizzontale per l'inserimento del martinetto*



Foto 6: *Sensori e martinetto installati per il carico d'esercizio*

# Risultati della prova - tensione d'esercizio

FASE	p (bar)	E1 (mm)	E2 (mm)	E3 (mm)	Commento
azzeramento	0,0	0,000	0,000	0,000	
fine taglio	0,0	-0,014	-	-0,004	
martinetto	0,0	-0,014	-	-0,006	
fine spurgo	0,0	-0,014	-	-0,009	
inizio prova	0,0	-0,014	-	-0,009	
I ciclo	1,0	-0,014	-	-0,009	
	2,0	-0,014	-	-0,009	
	3,0	-0,012	-	-0,009	
	4,0	-0,008	-	-0,009	
	5,0	0,000	-	-0,007	azzeramento E1
scarico	0,0	-0,008	-	-0,009	
II ciclo	0,0	-0,008	-	-0,009	
	2,0	-0,005	-	-0,007	
	4,0	-0,003	-	-0,006	
	5,0	0,000	-	-0,003	azzeramento E1
	5,5	0,001	-	0,000	azzeramento E3
scarico	0,0	-0,007	-	-0,006	

**NB:** il sensore E2 non ha avuto movimenti significativi.

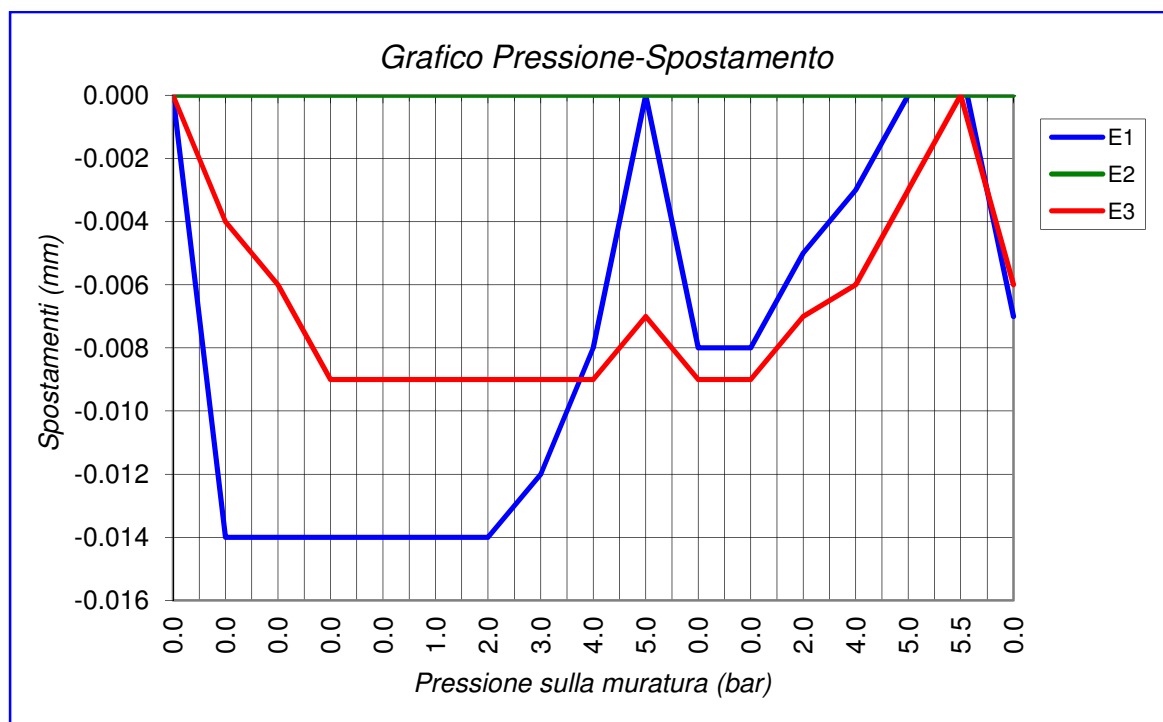


Fig. 4: *Grafico Tensione-Spostamento*

$$P = 5,0 \div 5,5 \text{ bar} = 0,50 \div 0,55 \text{ MPa}$$

**TENSIONE ESERCIZIO RILEVATA:**  $\sigma_e = 0,50 \div 0,55 \cdot 0,748 = 0,37 \div 0,41 \text{ MPa}$

## 2.4.2 Resistenza a compressione - Muratura in laterizio

Per la prova sono stati utilizzati due martinetti 58-D0567/E20.

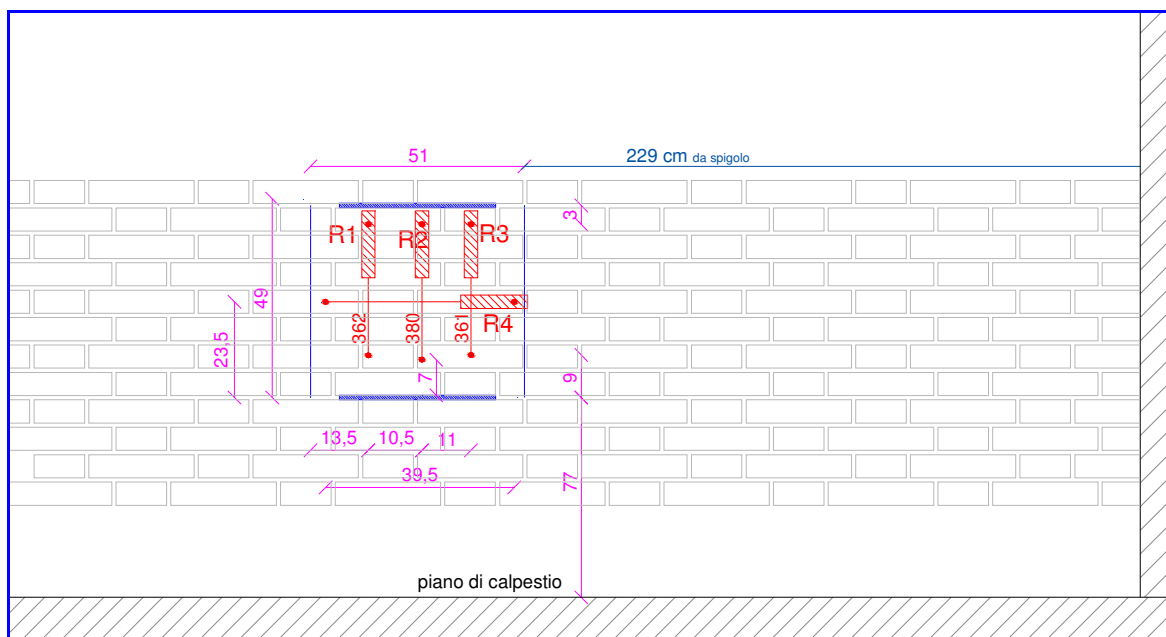


Fig. 5: *Disposizione martinetti e sensori*



Foto 7: *Esecuzione di un taglio verticale*

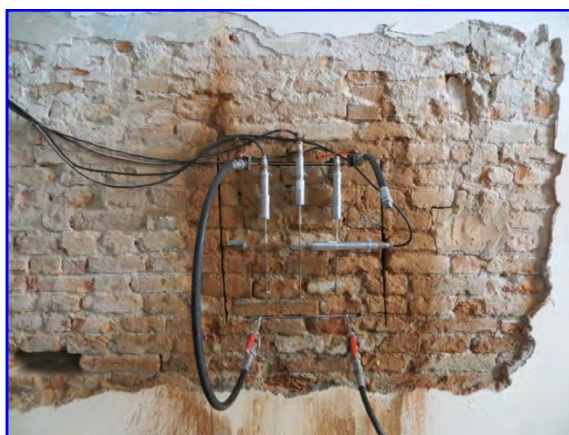


Foto 8: *Sensori e martinetti installati per la prova a compressione*



### Risultati della prova - Resistenza a compressione

FASE	p	R1	R2	R3	R4	Commento
	(bar)	(mm)		(mm)	(mm)	
I ciclo	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	azzeramento
	2,0	0,000	-	0,000	0,000	
	4,0	0,012	-	0,010	-0,001	
	6,0	0,026	-	0,015	-0,006	
	8,0	0,045	-	0,036	-0,012	
	10,0	0,084	-	0,074	-0,022	
scarico	0,0	0,004		0,003	-0,006	
II ciclo	0,0	0,000	-	0,000	0,000	azzeramento
	2,0	0,000	-	0,000	0,000	
	4,0	0,010	-	0,010	-0,004	
	6,0	0,032	-	0,027	-0,010	
	8,0	0,051	-	0,049	-0,022	
	10,0	0,084	-	0,071	-0,072	
	12,0	0,103	-	0,091	-0,200	
	14,0	0,123	-	0,150	-0,438	rumore
	15,0	0,146	-	0,152	-0,616	rottura
scarico	0,0	0,025	-	0,091	-0,378	residui alti

**NB:** il sensore R2 non ha avuto movimenti significativi.  
al termine del primo ciclo è stato eseguito un azzeramento vista l'entità del residuo.

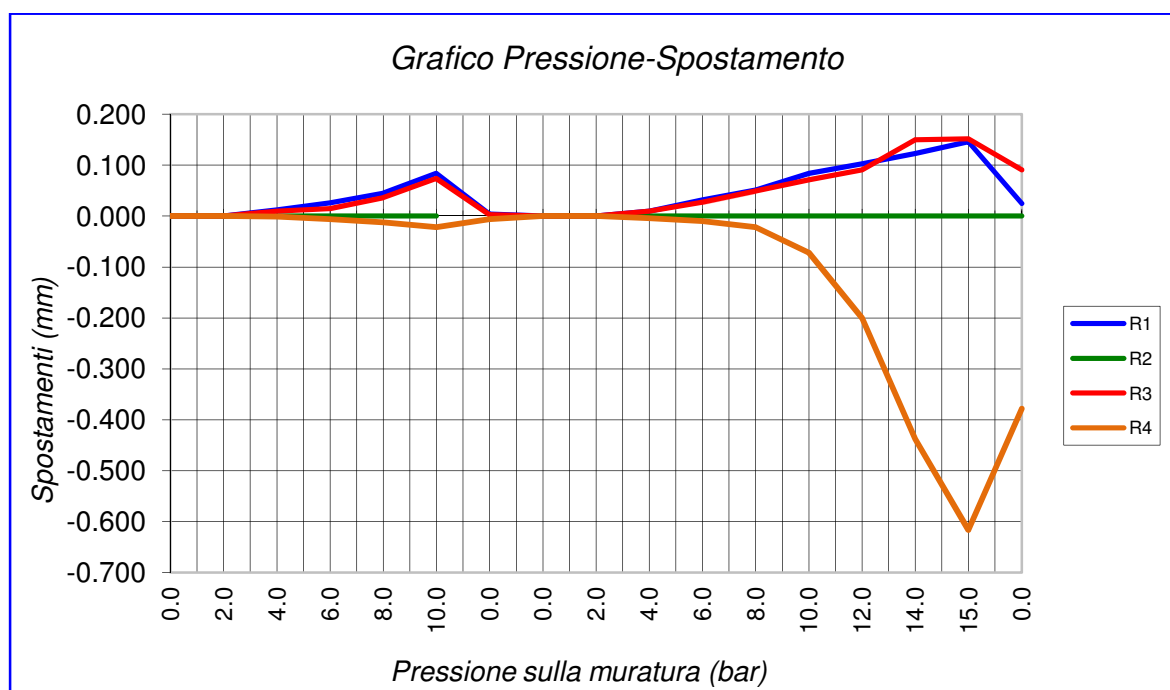


Fig. 6: *Grafico Tensione-Spostamento*

Considerando l'andamento dei sensori ed i segni di rottura abbiamo che:

$$P = 15,0 \text{ bar} = 1,50 \text{ MPa}$$

$$\text{TENSIONE ROTTURA RILEVATA: } \sigma_v = 1,50 \cdot 0,748 = 1,12 \text{ MPa}$$

### 2.4.3 Shave test

Muratura in mattoni pieni (dimensione mattone di prova  $28,5 \times 13,0 \times 4,5$  cm)

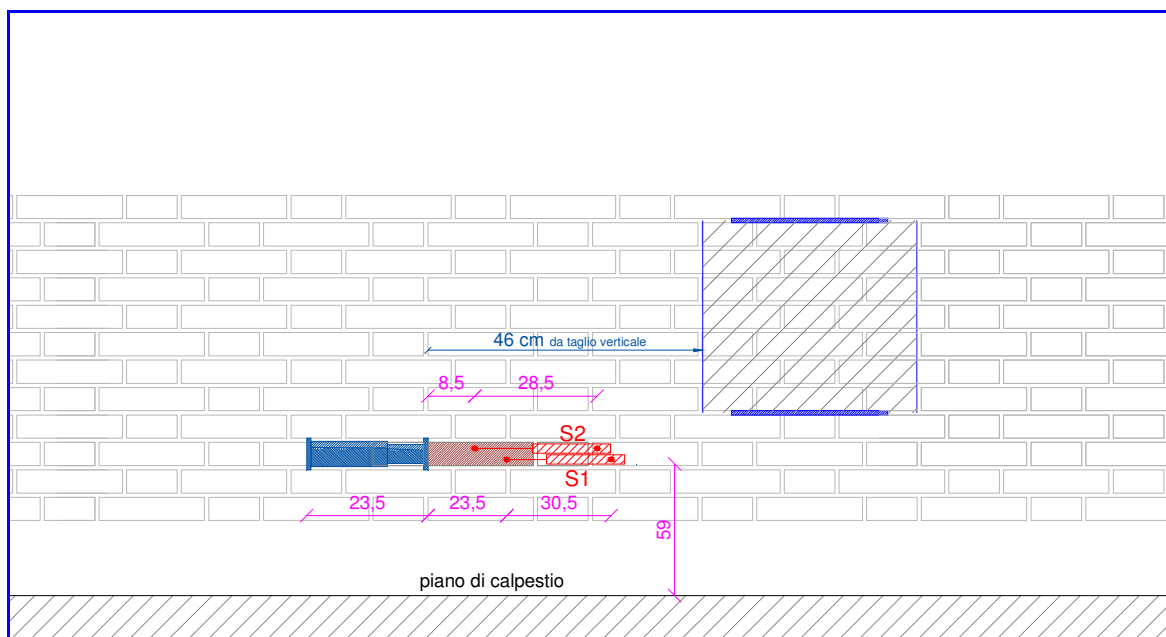


Fig. 7: *Disposizione martinetto e sensori*



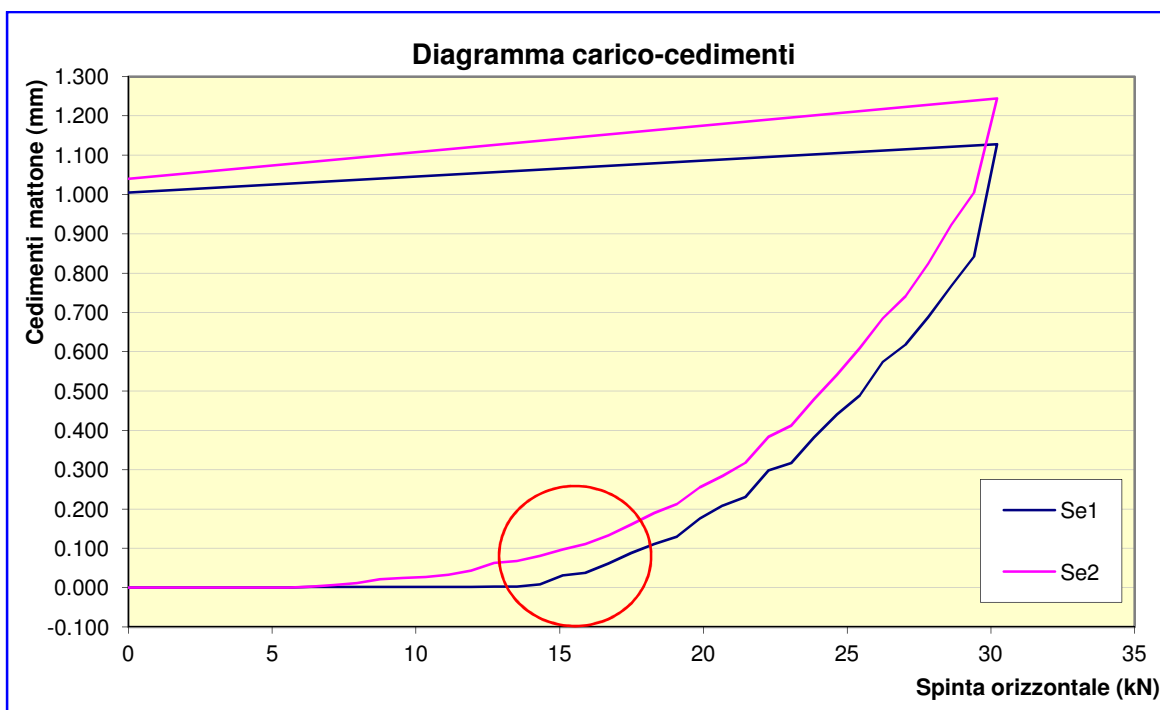
Foto 9: *Panoramica della prova con martinetto, pompa e sensori*



Foto 10: *Sensori e martinetto idraulico installati*

# Risultati della prova a scorrimento

p	carico	S1	S2	media
(bar)	(kN)	(mm)	(mm)	(mm)
0,0	0,00	0,000	0,000	0,000
5,0	0,80	0,000	0,000	0,000
10,0	1,59	0,000	0,000	0,000
15,0	2,39	0,000	0,000	0,000
20,0	3,18	0,000	0,000	0,000
25,0	3,98	0,000	0,000	0,000
30,0	4,77	0,000	0,000	0,000
35,0	5,57	0,000	0,000	0,000
40,0	6,36	0,002	0,003	0,003
45,0	7,16	0,002	0,007	0,005
50,0	7,95	0,002	0,012	0,007
55,0	8,745	0,002	0,021	0,012
60,0	9,54	0,002	0,025	0,014
65,0	10,34	0,002	0,027	0,015
70,0	11,13	0,002	0,033	0,018
75,0	11,93	0,002	0,043	0,023
80,0	12,72	0,003	0,063	0,033
85,0	13,52	0,003	0,068	0,036
90,0	14,31	0,008	0,081	0,045
95,0	15,11	0,031	0,097	0,064
100,0	15,90	0,038	0,111	0,075
105,0	16,70	0,061	0,133	0,097
110,0	17,49	0,088	0,161	0,125
115,0	18,29	0,111	0,190	0,151
120,0	19,08	0,130	0,213	0,172
125,0	19,88	0,175	0,255	0,215
130,0	20,67	0,209	0,284	0,247
135,0	21,47	0,231	0,318	0,275
140,0	22,26	0,298	0,384	0,341
145,0	23,06	0,317	0,412	0,365
150,0	23,85	0,382	0,479	0,431
155,0	24,65	0,441	0,542	0,492
160,0	25,44	0,489	0,609	0,549
165,0	26,24	0,574	0,685	0,630
170,0	27,03	0,618	0,741	0,680
175,0	27,83	0,688	0,824	0,756
180,0	28,62	0,767	0,923	0,845
185,0	29,42	0,842	1,005	0,924
190,0	30,21	1,128	1,244	1,186
0,0	0,00	1,005	1,040	1,023



forza laterale resistente	superf. laterizio (inf+sup)	R taglio $\tau_i$
(N)	(cm <sup>2</sup> )	(N/cm <sup>2</sup> )
16700	741	22,54

## 2.5 Corpo Principale – Piano Primo - Prova n° 4649/VR

La prova è stata eseguita su una porzione di muratura di mattoni pieni in laterizio.

### 2.5.1 Tensione di esercizio – Muratura in laterizio pieno

Per la prova è stato utilizzato un martinetto 58-D0567/E20.

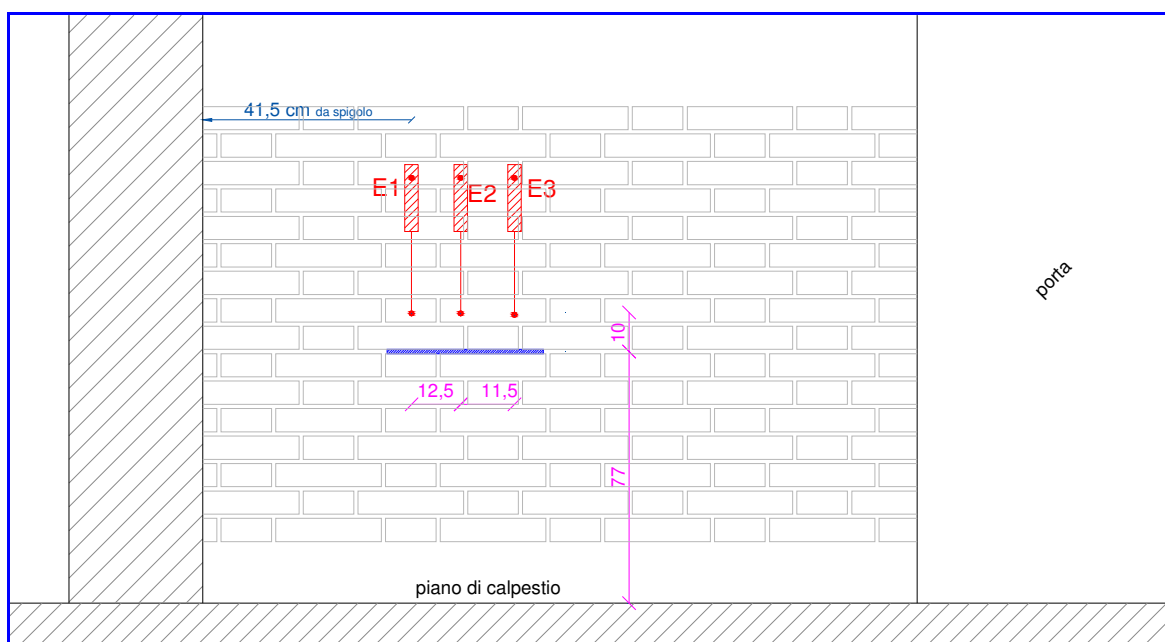


Fig. 8: *Disposizione martinetto e sensori*

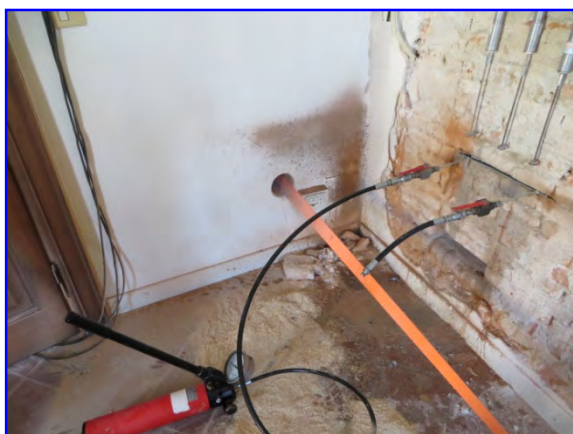


Foto 11: *Carico d'esercizio*



Foto 12: *Sensori e martinetto installati per il carico d'esercizio*



### Risultati della prova - tensione d'esercizio

FASE	p (bar)	E1 (mm)	E2 (mm)	E3 (mm)	Commento
azzeramento	0,0	0,000	0,000	0,000	
fine taglio	0,0	-	-0,048	-0,043	
martinetto	0,0	-	-0,052	-0,043	
fine spurgo	0,0	-	-0,045	-0,034	
inizio prova	0,0	-	-0,045	-0,034	
I ciclo	1,0	-	-0,039	-0,033	
	2,0	-	-0,035	-0,024	
	3,0	-	-0,034	-0,013	
	4,0	-	-0,031	0,000	azzeramento E3
scarico	0,0	-	-0,032	-0,032	
II ciclo	0,0	-	-0,032	-0,032	
	2,0	-	-0,028	-0,021	
	4,0	-	-0,016	0,000	azzeramento E3
scarico	0,0	-	-0,028	-0,025	
III ciclo	0,0	-	-0,028	-0,025	
	2,0	-	-0,020	-0,021	
	3,5	-	0,000	0,000	azzeramento E2 E3
scarico	0,0	-	-0,025	-0,023	

**NB:** il sensore E1 non ha avuto movimenti significativi.

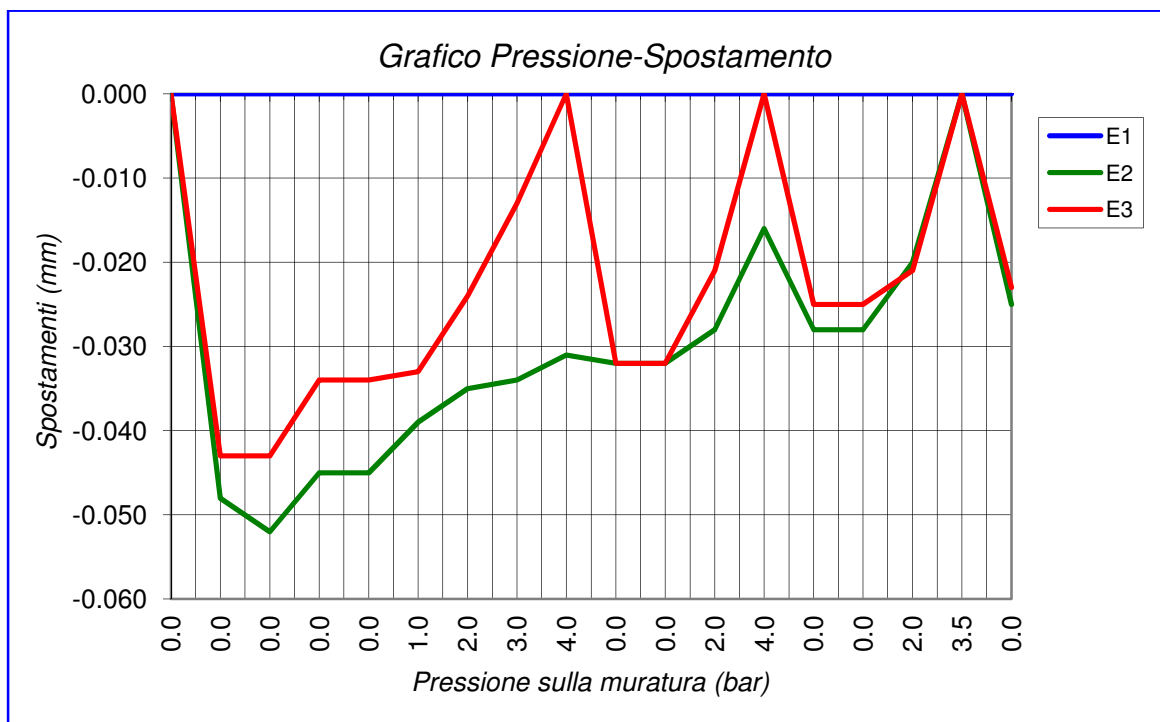


Fig. 9: Grafico Tensione-Spostamento

$$P = 3,5 \div 4,0 \text{ bar} = 0,35 \div 0,40 \text{ MPa}$$

$$\text{TENSIONE ESERCIZIO RILEVATA: } \sigma_e = 0,35 \div 0,40 \cdot 0,748 = 0,26 \div 0,30 \text{ MPa}$$

## 2.5.2 Resistenza a compressione - Muratura in laterizio

Per la prova sono stati utilizzati due martinetti 58-D0567/E20.

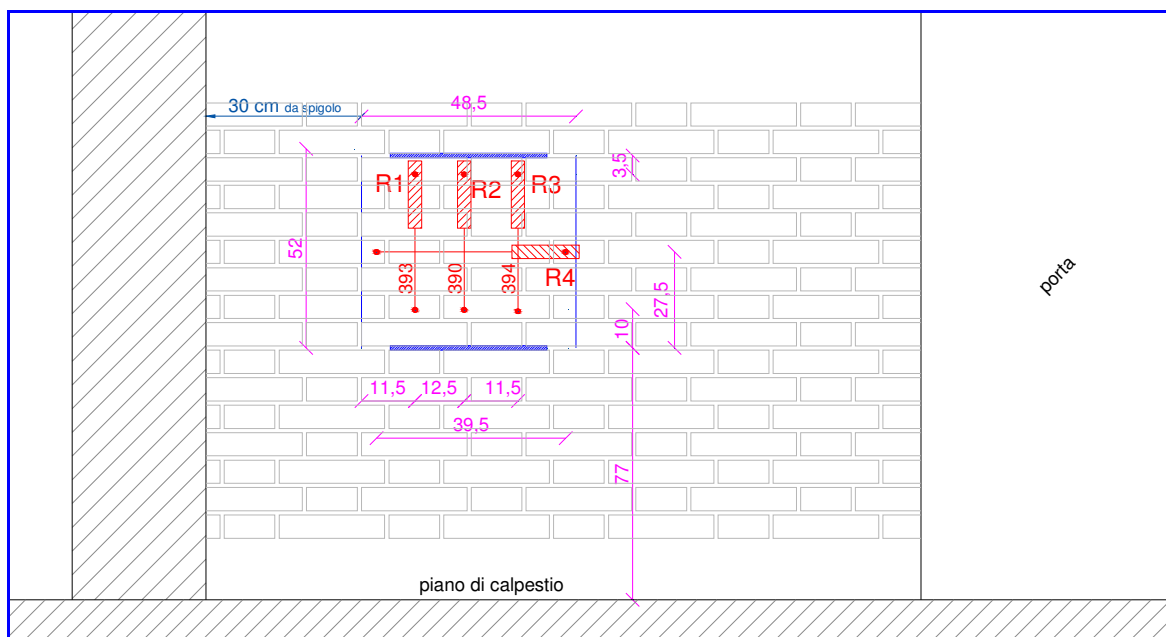


Fig. 10: *Disposizione martinetti e sensori*



Foto 13: *Esecuzione del taglio orizzontale per l'inserimento del martinetto*



Foto 14: *Sensori e martinetti installati per la prova a compressione*

### Risultati della prova - Resistenza a compressione

FASE	p	R1	R2	R3	R4	Commento
	(bar)	(mm)		(mm)	(mm)	
I ciclo	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	azzeramento
	2,0	-	0,029	0,017	0,000	
	4,0	-	0,078	0,038	0,000	
	6,0	-	0,105	0,046	0,000	
	8,0	-	0,115	0,051	0,000	
scarico	0,0	-	0,009	0,002	0,000	
II ciclo	0,0	-	0,009	0,002	0,000	
	2,0	-	0,031	0,021	0,000	
	4,0	-	0,075	0,040	0,000	
	6,0	-	0,101	0,044	0,000	
	8,0	-	0,119	0,048	-0,005	
	10,0	-	0,128	0,065	-0,011	
	12,0	-	0,139	0,092	-0,015	
	14,0	-	0,152	0,106	-0,038	rumore
	16,0	-	-0,159	0,120	-0,075	rottura
scarico	0,0	-	-0,158	0,060	-0,075	residui alti

**NB:** il sensore R1 non ha avuto movimenti significativi.

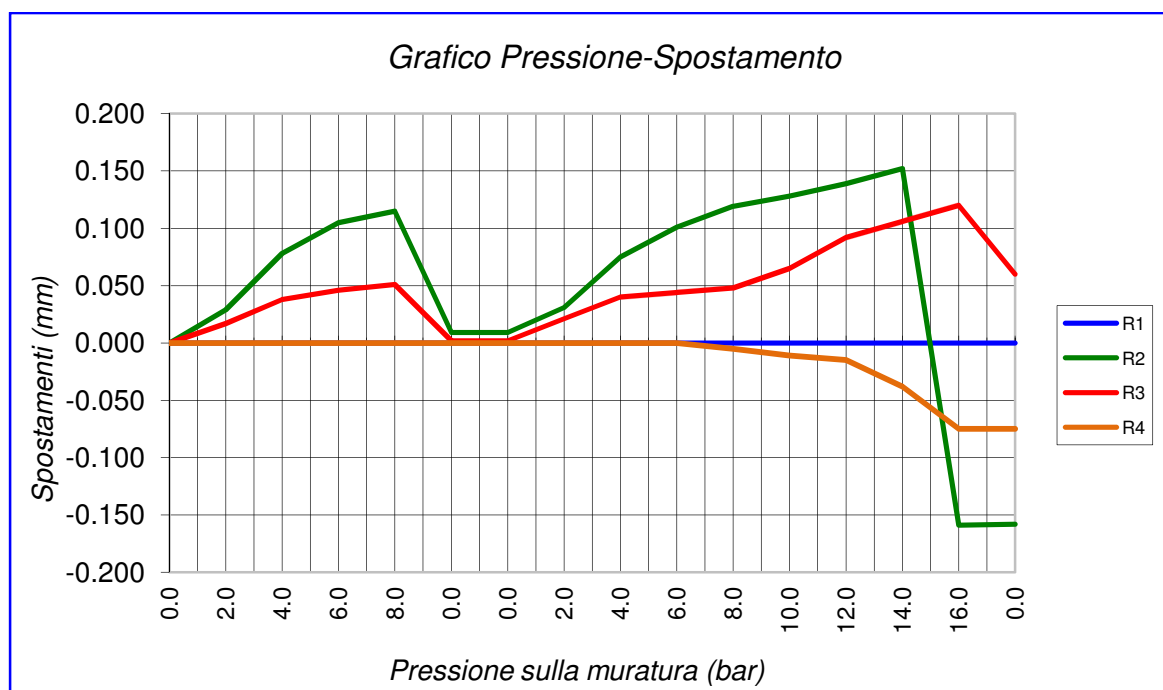


Fig. 11: *Grafico Tensione-Spostamento*

Considerando l'andamento dei sensori ed i segni di rottura sulla muratura abbiamo che:

$$P = 16,0 \text{ bar} = 1,60 \text{ MPa}$$

$$\text{TENSIONE ROTTURA RILEVATA: } \sigma_v = 1,60 \cdot 0,748 = 1,20 \text{ MPa}$$

### 2.5.3 Shave test

Muratura in mattoni pieni (dimensioni mattone di prova 28,0 × 13,0 × 5,5 cm)

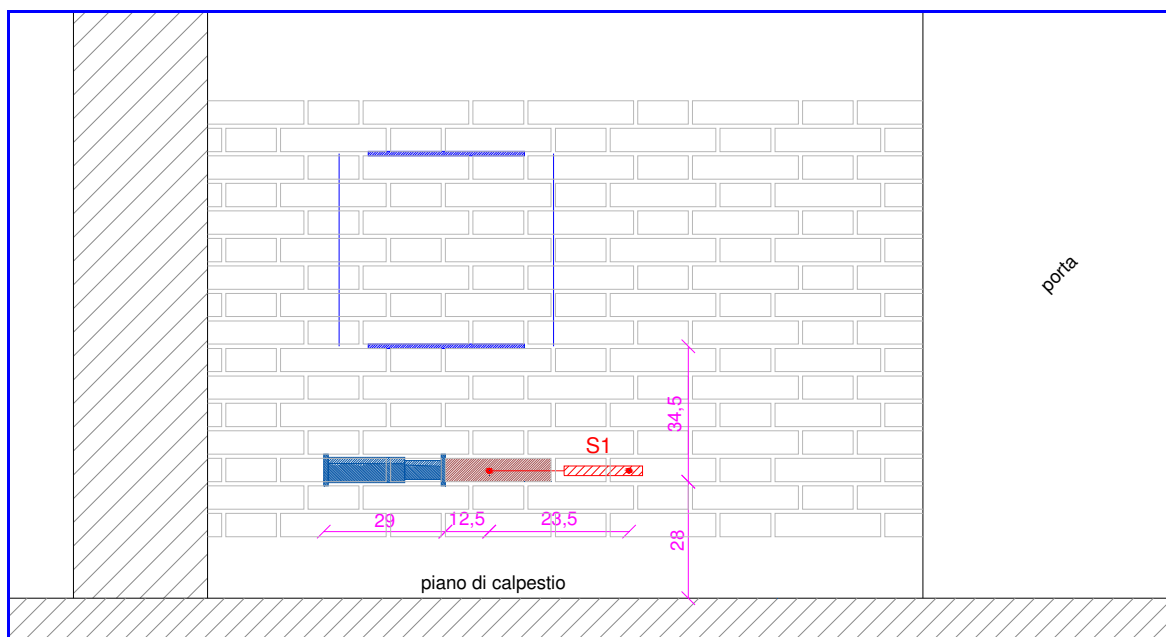


Fig. 12: *Disposizione martinetto e sensori*



Foto 15: *Panoramica della prova con martinetto, pompa e sensori*

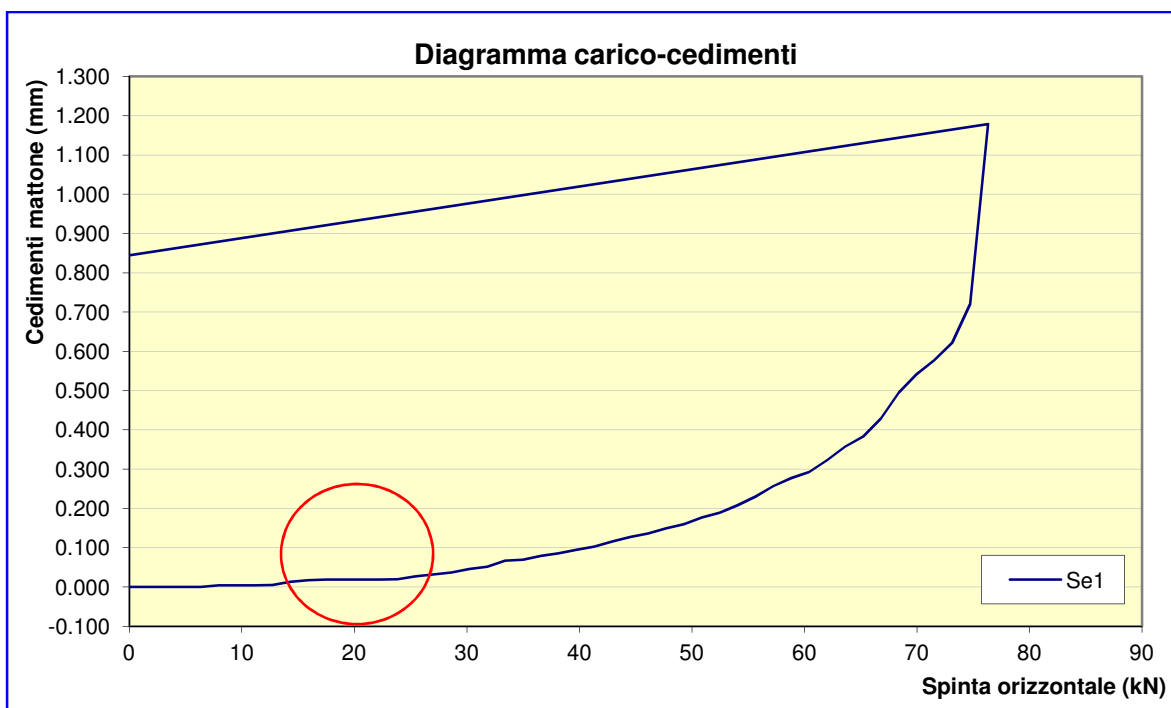


Foto 16: *Sensori e martinetto idraulico installati*

### Risultati della prova a scorrimento

<b>p</b>	<b>carico</b>	<b>S1</b>
<i>(bar)</i>	<i>(kN)</i>	<i>(mm)</i>
0,0	0,00	0,000
10,0	1,59	0,000
20,0	3,18	0,000
30,0	4,77	0,000
40,0	6,36	0,000
50,0	7,95	0,004
60,0	9,54	0,004
70,0	11,13	0,004
80,0	12,72	0,005
90,0	14,31	0,013
100,0	15,90	0,017
110,0	17,49	0,019
120,0	19,08	0,019
130,0	20,67	0,019
140,0	22,26	0,019
150,0	23,85	0,020
160,0	25,44	0,027
170,0	27,03	0,032
180,0	28,62	0,037
190,0	30,21	0,046
200,0	31,80	0,051
210,0	33,39	0,067
220,0	34,98	0,069
230,0	36,57	0,079
240,0	38,16	0,086
250,0	39,75	0,095
260,0	41,34	0,103
270,0	42,93	0,116
280,0	44,52	0,127
290,0	46,11	0,136
300,0	47,70	0,149
310,0	49,29	0,160
320,0	50,88	0,177
330,0	52,47	0,189
340,0	54,06	0,208
350,0	55,65	0,230
360,0	57,24	0,257
370,0	58,83	0,277
380,0	60,42	0,293
390,0	62,01	0,323
400,0	63,60	0,357
410,0	65,19	0,382
420,0	66,78	0,429
430,0	68,37	0,495
440,0	69,96	0,541
450,0	71,55	0,577
460,0	73,14	0,622
470,0	74,73	0,721
480,0	76,32	1,179
0,0	66,78	0,845





forza laterale resistente	superf. laterizio (inf+sup)	R taglio $\tau_i$
(N)	(cm <sup>2</sup> )	(N/cm <sup>2</sup> )
25440	662,5	38,40

## 2.6 Ala Est – Piano Terra - Prova n° 4650/VR

La prova è stata eseguita su una porzione di muratura di mattoni pieni in laterizio.

### 2.6.1 Tensione di esercizio – Muratura in laterizio forato

Per la prova è stato utilizzato un martinetto 58-D0567/E20.

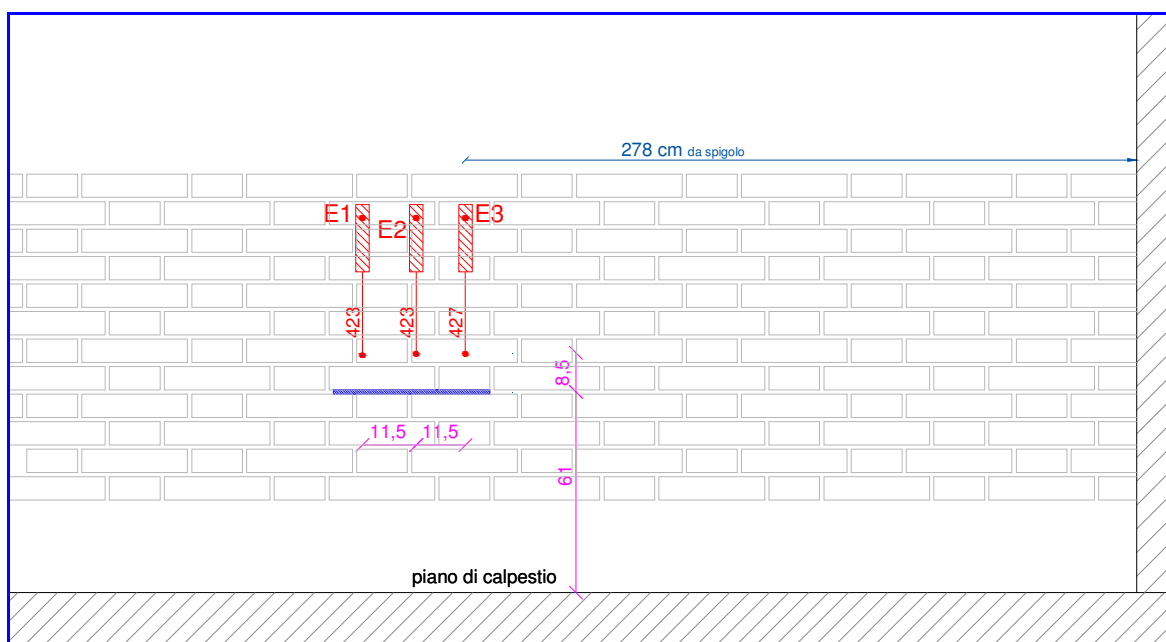


Fig. 13: *Disposizione martinetto e sensori*



Foto 17: *Esecuzione del taglio orizzontale per l'inserimento del martinetto*



Foto 18: *Sensori e martinetto installati per il carico d'esercizio*

### Risultati della prova - tensione d'esercizio

FASE	p (bar)	E1 (mm)	E2 (mm)	E3 (mm)	Commento
azzeramento	0,0	0,000	0,000	0,000	
fine taglio	0,0	-0,004	-0,011	-	
martinetto	0,0	-0,004	-0,014	-	
fine spurgo	0,0	-0,004	-0,012	-	
inizio prova	0,0	-0,004	-0,012	-	
I ciclo	1,0	-0,004	-0,012	-	
	2,0	-0,003	-0,007	-	
	3,0	0,000	0,000	-	azzeramento E1 E2
	0,0	-0,004	-0,011	-	
II ciclo	0,0	-0,004	-0,011	-	
	1,0	-0,004	-0,011	-	
	2,0	-0,003	-0,005	-	
	3,0	0,000	0,000	-	azzeramento E1 E2
scarico	0,0	-0,003	-0,010	-	

**NB:** il sensore E3 non ha avuto movimenti significativi.

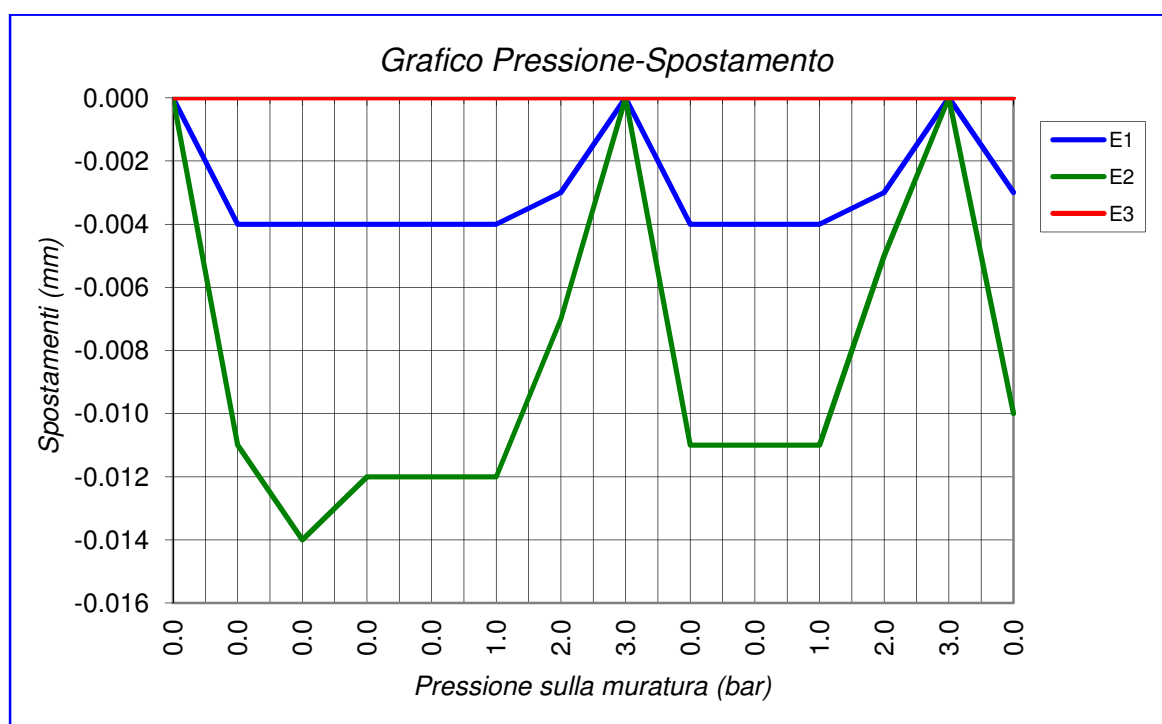


Fig. 14: Grafico Tensione-Spostamento

$$P = 3,0 \text{ bar} = 0,30 \text{ MPa}$$

$$\text{TENSIONE ESERCIZIO RILEVATA: } \sigma_e = 0,30 \cdot 0,748 = 0,22 \text{ MPa}$$

## 2.6.2 Resistenza a compressione - Muratura in laterizio

Per la prova sono stati utilizzati due martinetti 58-D0567/E20.

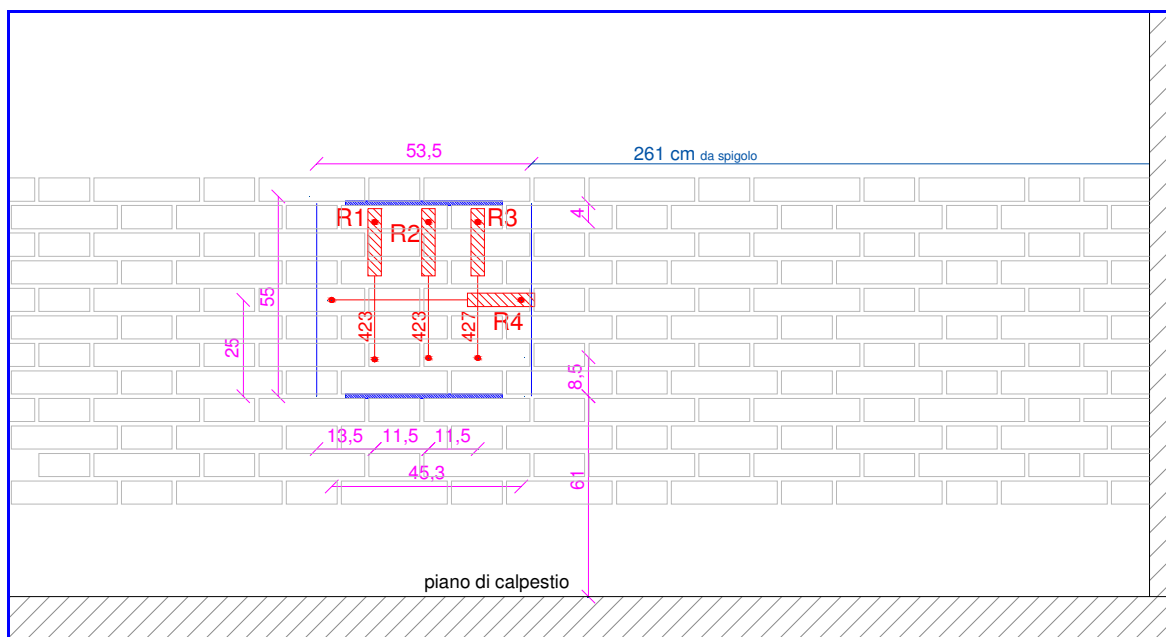


Fig. 15: *Disposizione martinetti e sensori*



Foto 1: Esecuzione del taglio orizzontale per l'inserimento del martinetto



Foto 2: Sensori e martinetti installati per la prova a compressione

### Risultati della prova - Resistenza a compressione

FASE	p	R1	R2	R3	R4	Commento
	(bar)	(mm)		(mm)	(mm)	
II ciclo	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	
	2,0	0,009	0,001	0,001	0,000	
	4,0	0,013	0,001	0,002	-0,006	
	6,0	0,027	0,004	0,008	-0,009	
	8,0	0,044	0,034	0,008	-0,009	
	10,0	0,086	0,082	0,014	-0,009	
	12,0	0,121	0,128	0,025	-0,009	
scarico	0,0	0,076	0,051	0,027	-0,008	
III ciclo	0,0	0,076	0,051	0,027	-0,008	
	4,0	0,089	0,052	0,027	-0,008	
	8,0	0,107	0,094	0,020	-0,008	
	12,0	0,141	0,155	0,045	-0,009	
	16,0	0,275	0,275	0,149	-0,011	
	18,0	0,354	0,329	0,191	-0,011	
	20,0	0,490	0,482	0,321	-0,013	
	22,0	0,570	0,592	0,389	-0,013	
	24,0	0,697	0,714	0,489	-0,557	rottura
scarico	0,0	0,427	0,390	0,297	-0,553	residui alti

Il primo ciclo non ha dato spostamenti significativi

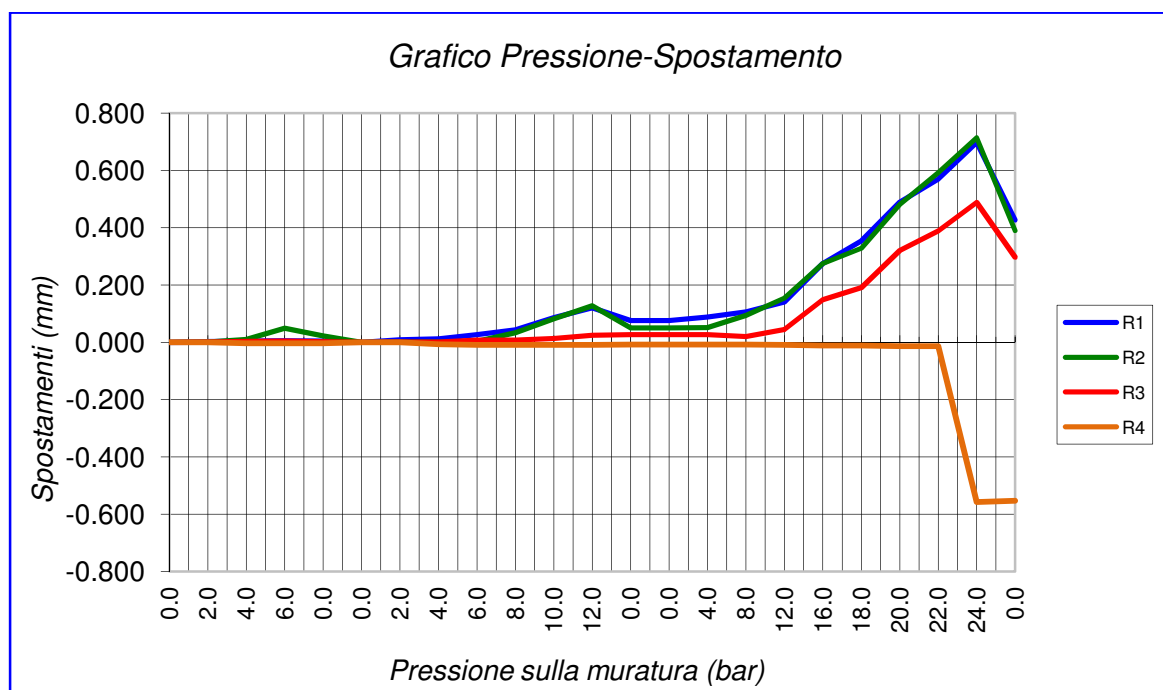


Fig. 16: Grafico Tensione-Spostamento

Considerando l'andamento dei sensori ed i segni di rottura sulla muratura abbiamo che:

$$P = 24,0 \text{ bar} = 2,40 \text{ MPa}$$

$$\text{TENSIONE ROTTURA RILEVATA: } \sigma_v = 2,40 \cdot 0,748 = 1,79 \text{ MPa}$$



### 2.6.3 Shave test

Muratura in mattoni pieni (dimensioni mattone di prova  $29,0 \times 12,5 \times 6,5$  cm)

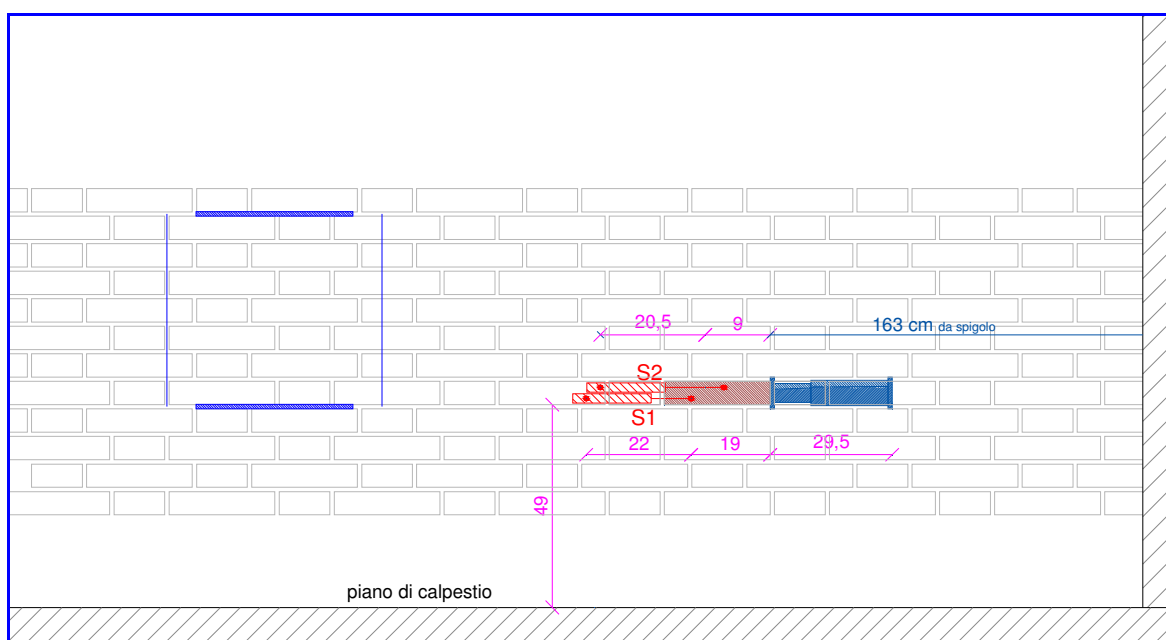


Fig. 17: *Disposizione martinetto e sensori*



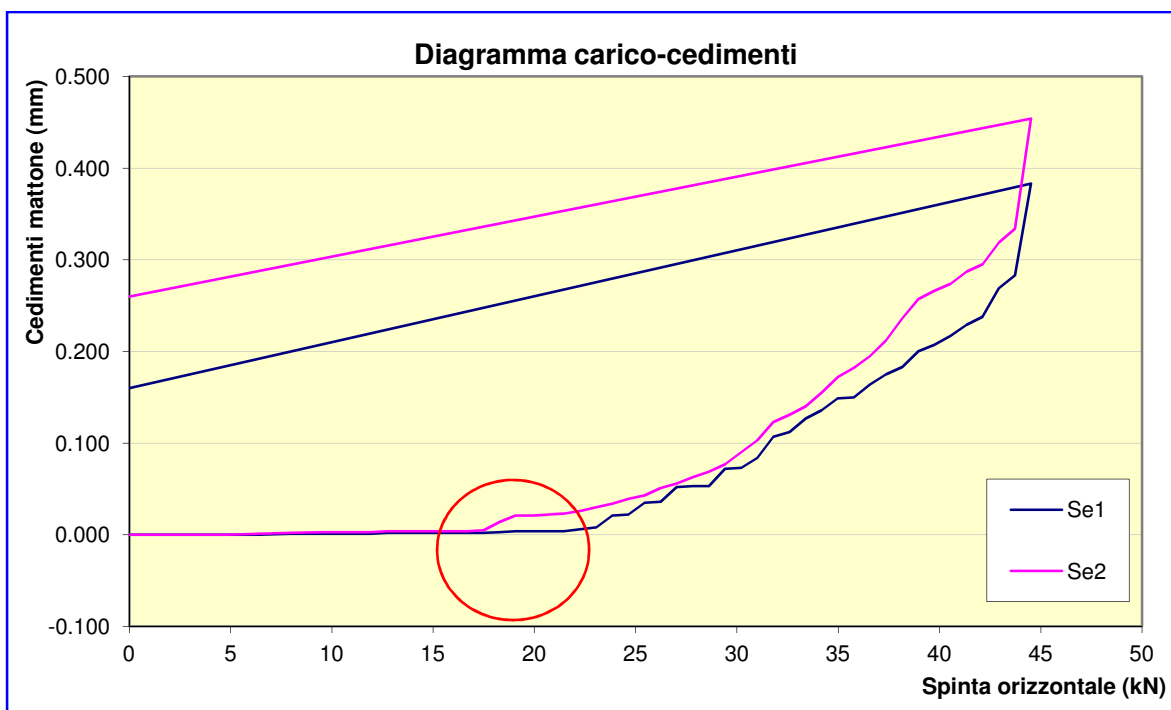
Foto 3: *Panoramica della prova con martinetto, pompa e sensori*



Foto 4: *Sensori e martinetto idraulico installati*

# Risultati della prova a scorrimento

p	carico	S1	S2	media
(bar)	(kN)	(mm)	(mm)	(mm)
0,0	0,000	0,000	0,000	0,000
10,0	1,59	0,000	0,000	0,000
20,0	3,18	0,000	0,000	0,000
30,0	4,77	0,000	0,000	0,000
40,0	6,36	0,000	0,001	0,001
50,0	7,95	0,001	0,002	0,002
60,0	9,54	0,001	0,003	0,002
70,0	11,13	0,001	0,003	0,002
75,0	11,93	0,001	0,003	0,002
80,0	12,72	0,002	0,004	0,003
85,0	13,52	0,002	0,004	0,003
90,0	14,31	0,002	0,004	0,003
95,0	15,11	0,002	0,004	0,003
100,0	15,90	0,002	0,004	0,003
105,0	16,70	0,002	0,004	0,003
110,0	17,49	0,002	0,005	0,004
115,0	18,29	0,003	0,014	0,009
120,0	19,08	0,004	0,021	0,013
125,0	19,88	0,004	0,021	0,013
130,0	20,67	0,004	0,022	0,013
135,0	21,47	0,004	0,023	0,014
140,0	22,26	0,006	0,026	0,016
145,0	23,06	0,008	0,030	0,019
150,0	23,85	0,021	0,034	0,028
155,0	24,65	0,022	0,039	0,031
160,0	25,44	0,035	0,043	0,039
165,0	26,24	0,036	0,051	0,044
170,0	27,03	0,052	0,056	0,054
175,0	27,83	0,053	0,063	0,058
180,0	28,62	0,053	0,069	0,061
185,0	29,42	0,072	0,077	0,075
190,0	30,21	0,073	0,090	0,082
195,0	31,01	0,084	0,103	0,094
200,0	31,80	0,107	0,123	0,115
205,0	32,60	0,112	0,131	0,122
210,0	33,39	0,127	0,140	0,134
215,0	34,19	0,136	0,155	0,146
220,0	34,98	0,149	0,172	0,161
225,0	35,78	0,150	0,182	0,166
230,0	36,57	0,164	0,195	0,180
235,0	37,37	0,175	0,212	0,194
240,0	38,16	0,183	0,236	0,210
245,0	38,96	0,200	0,257	0,229
250,0	39,75	0,207	0,266	0,237
255,0	40,55	0,217	0,274	0,246
260,0	41,34	0,229	0,287	0,258
265,0	42,14	0,238	0,295	0,267
270,0	42,93	0,269	0,319	0,294
275,0	43,73	0,283	0,334	0,309
280,0	44,52	0,383	0,454	0,419
0,0	0,00	0,160	0,260	0,210



forza laterale resistente	superf. laterizio (inf+sup)	R taglio $\tau_i$
(N)	(cm <sup>2</sup> )	(N/cm <sup>2</sup> )
18290	662,5	27,61

### 3 ANALISI PETROGRAFICHE SU MALTE E INTONACO – PROVE N° 4651/VR

Sono stati effettuati otto prelievi in cinque zone dell'edificio:

sigla	descrizione	piano	posizione	elemento	faccia
<b>1 A</b>	intonaco	terra	corpo principale, stanza S-E	muro	S
<b>1 B</b>	malta	terra	corpo principale, stanza S-E	muro	S
<b>2 A</b>	intonaco	primo	corpo principale, 2 <sup>a</sup> stanza da N-W	muro	W
<b>2 B</b>	malta	primo	corpo principale, 2 <sup>a</sup> stanza da N-W	muro	W
<b>3 A</b>	intonaco	terra	ala est, prima stanza da N	muro	N
<b>3 B</b>	malta	terra	ala est, prima stanza da N	muro	N
<b>4</b>	intonaco	terra	spalla E entrata di via martiri della libertà	muro	N
<b>5</b>	intonaco	terra	spalla N prima finestra da N facciata E	muro	E

#### 3.1 Planimetrie dell'edificio con ubicazione delle zone di prelievo

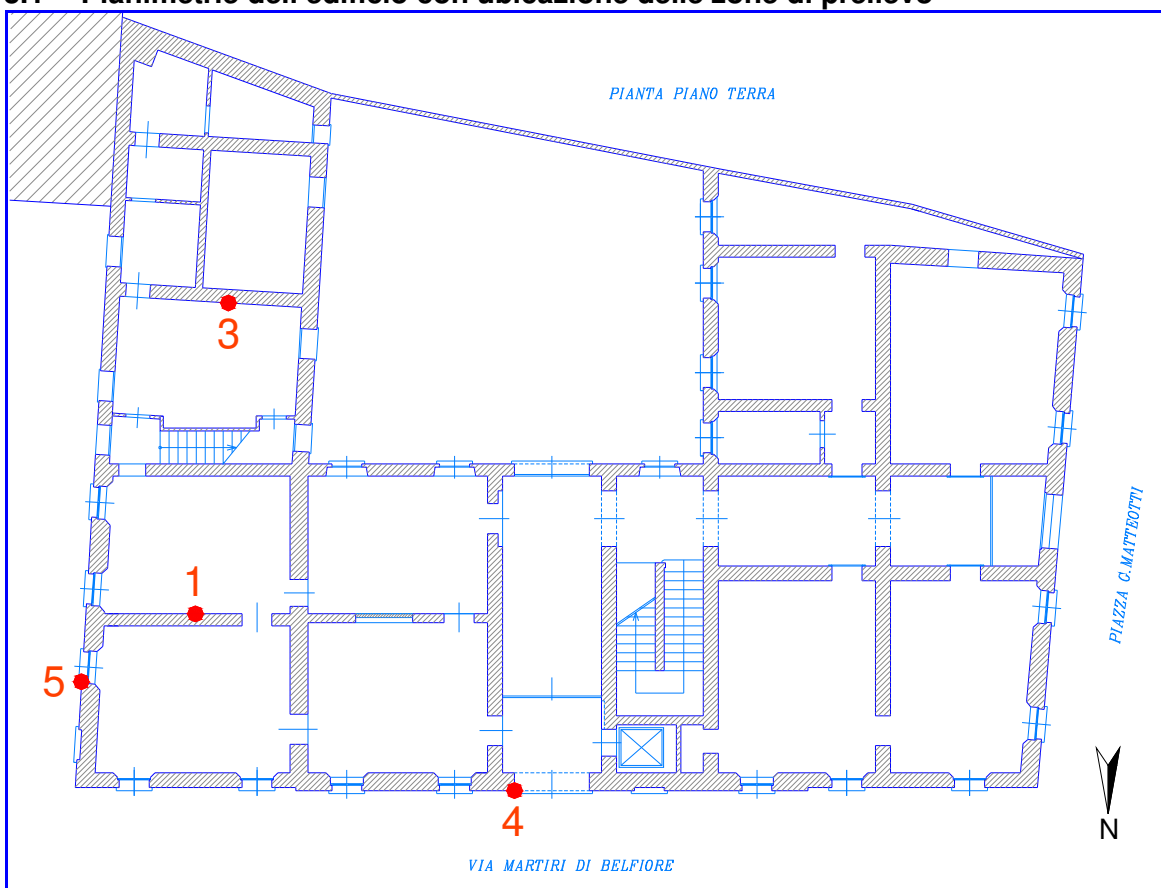


Fig. 18: Planimetria del piano terra con ubicazione delle zone di prelievo

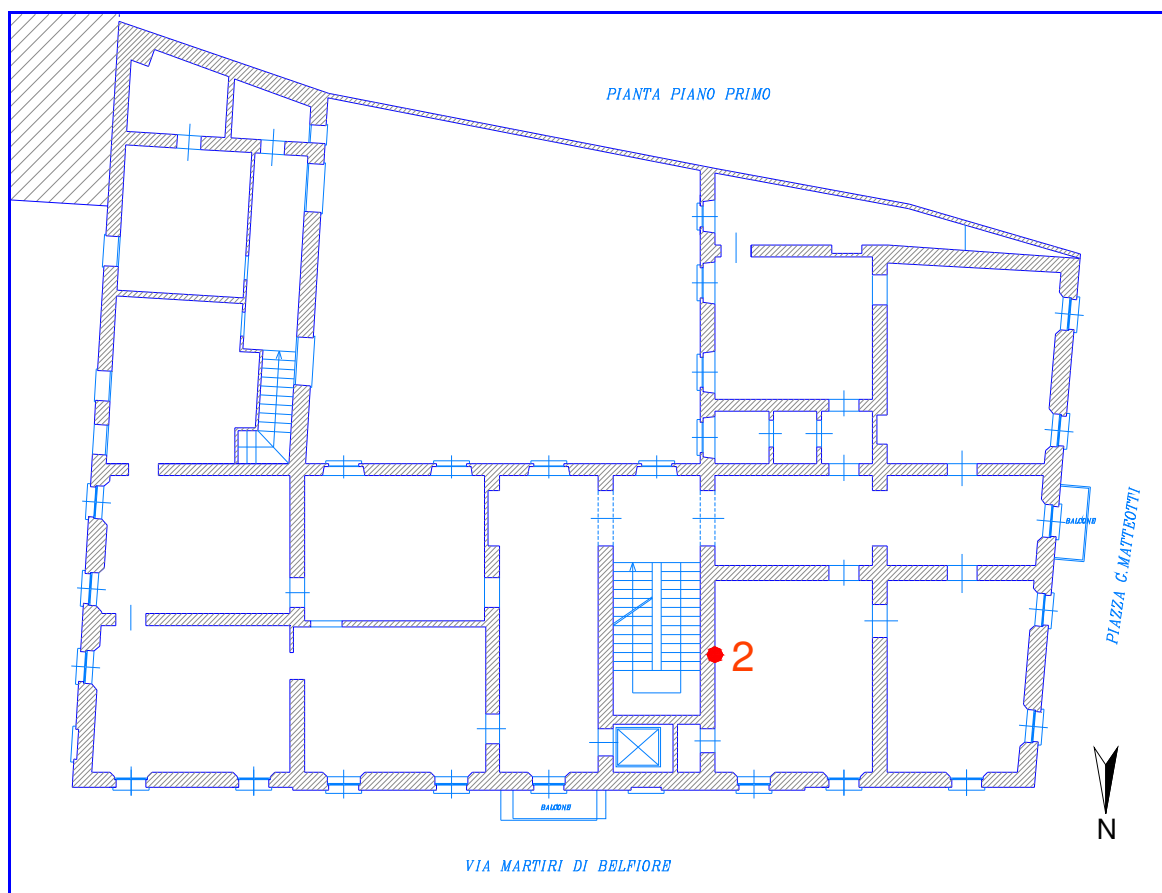


Fig. 19: Planimetria del piano primo con ubicazione della zona di prelievo

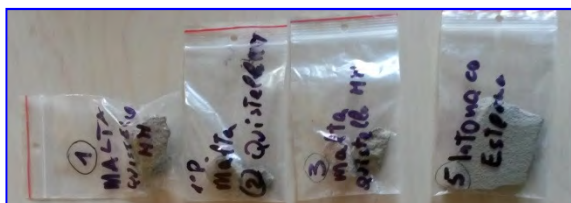


Foto 5: Campioni di malta ed intonaco

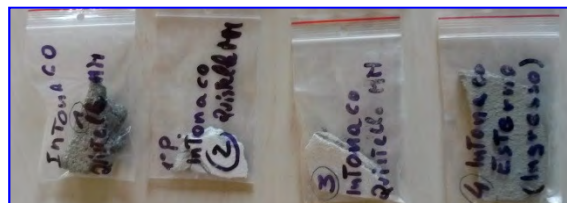


Foto 6: Campioni di malta ed intonaco

### 3.2 Analisi Petrografica su campioni di malta

Gli tre campioni di malta ed i cinque campioni d'intonaco presentano caratteristiche molto simili tra loro con prevalenza (tra il 36% ed il 40%) di calcite a struttura omogenea e tessitura micritica; la classe di appartenenza delle malte (considerata la granulometria, la porosità ed il rapporto aggregato/legante) risulta essere *M* 2,5 (vedi in allegato il rapporto di prova n° 1444 del 30/04/2015).

## 4 INDAGINI GEORADAR – PROVA N°4652/VR

### Metodologia d'indagine

La metodologia GPR, attraverso l'utilizzo di onde elettromagnetiche, consente la definizione delle caratteristiche interne al mezzo indagato. In particolare è possibile identificare interfacce tra livelli dotati di differente resistività e costante dielettrica. Tali parametri sono in seguito correlabili a fattori fisici quali il grado di compattazione, la posizione e le caratteristiche di eventuali manufatti sepolti, la presenza di zone umide o di zone non cementate.

Un impulso elettromagnetico della durata di pochi nanosecondi, inviato nel mezzo tramite un'antenna trasmittente, viene in parte riflesso dalle interfacce tra livelli in contrasto elettromagnetico ed in parte trasmesso nei livelli sottostanti. I segnali riflessi vengono captati in superficie tramite un'antenna ricevente; quest'ultima può essere la stessa utilizzata per la trasmissione (configurazione monostatica).

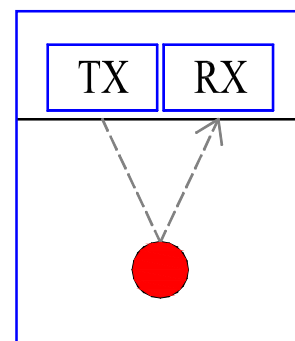


Fig. 20: Antenne

Eventuali oggetti presenti al di sotto delle superfici rilevate generano nelle immagini radar ("o radargrammi") LE caratteristiche forme iperboliche, come illustrato in Fig. 3.

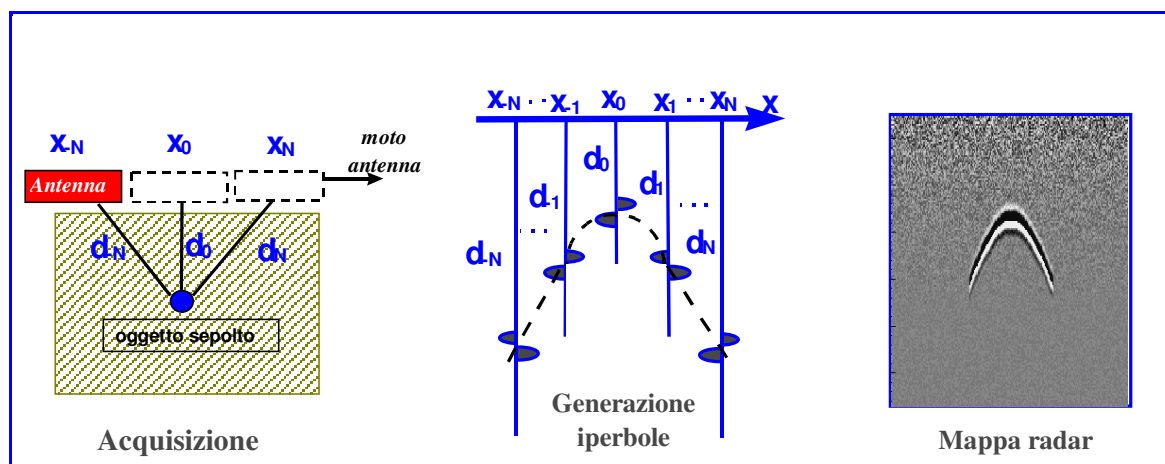


Fig. 21: Generazione di una mappa radar

### Strumentazione

L'indagine è stata eseguita utilizzando un sistema radar RISK20 della "IDS - Ingegneria dei Sistemi S.p.A.", costituito da (fig. 4):

- computer laptop Panasonic Toughbook CF 18;
- unità di controllo antenne DAD K1 a 1 canale, montata su zaino;
- antenna di frequenza adeguata all'indagine, in questo caso 400 MHz;
- ruota metrica montata sull'antenna;
- cavo multipolare;
- batteria montata su zaino.

Il laptop consente tutte le operazioni di calibrazione del sistema e l'impostazione dei parametri di acquisizione quali tempo di registrazione. L'unità di controllo genera il segnale che viene inviato alla sezione trasmittente e elabora il segnale ricevuto dalla sezione ricevente dell'antenna. All'unità centrale è collegata, tramite un cavo multipolare, l'antenna che ha il compito di trasmettere i segnali elettromagnetici all'interno della struttura da indagare e di ricevere le riflessioni dovute alle interfacce elettromagnetiche



presenti alle diverse profondità di indagine. La frequenza di trasmissione viene determinata dalle caratteristiche costruttive dell'antenna stessa e può variare da 14 MHz a oltre 2,5 GHz. La scelta della frequenza è basata sugli scopi di utilizzo dell'apparecchiatura, ad una bassa frequenza corrisponde infatti una elevata penetrazione del segnale in profondità ma con uno scarso dettaglio delle anomalie riscontrabili (risoluzione bassa). Al contrario ad alte frequenze corrispondono elevati livelli risolutivi con scarsa penetrazione del segnale.



Fig. 22: Configurazione del "Sistema georadar RISK20"

### **Pre processing**

Durante la fase di acquisizione in cantiere, vengono applicati dei filtri che consentono una corretta visualizzazione del segnale allo scopo di valutarne immediatamente la bontà. I segnali vengono però salvati privi di qualsiasi filtraggio, per preservare quanto più possibile i dettagli a volte non visibili in prima analisi. I parametri ottimali di analisi e visualizzazione vengono definiti nella fase di rielaborazione del segnale.



Foto 7: Attrezzatura GPR

#### 4.1 Modalità di esecuzione delle indagini

Obiettivo delle indagini è l'individuazione di eventuali elementi metallici di collegamento tra i componenti in pietra delle colonne e di terminali metallici di tiranti nascosti sotto l'intonaco del prospetto principale.

L'indagine è stata eseguita con un'antenna da 400 MHz facendo più scansioni in direzione longitudinale e trasversale secondo griglie con maglie di 1,00×1,00 m o 1,00×2,00 m a partire da un punto di riferimento indicato come "zero". Ove non è stato possibile eseguire le trasversali si sono eseguite le sole scansioni longitudinali.

La velocità di propagazione delle onde elettromagnetiche nel mezzo è stata valutata mediamente in **0,10 m/ns**.

La distanza orizzontale viene misurata dalla rotella metrica collegata all'antenna. La precisione è centimetrica ma sobbalzi, scalini o altri ostacoli possono rendere le misure meno precise.

#### 4.2 Schemi di ubicazione delle scansioni

Si riportano di seguito le planimetrie dei piani dell'edificio in cui si sono eseguite le scansioni con l'antenna da 400 MHz..



*Foto 8: Esecuzione di una scansione all'esterno*



*Foto 9: Esecuzione di una scansione al piano interrato*

Di seguito si riportano gli schemi delle singole scansioni:

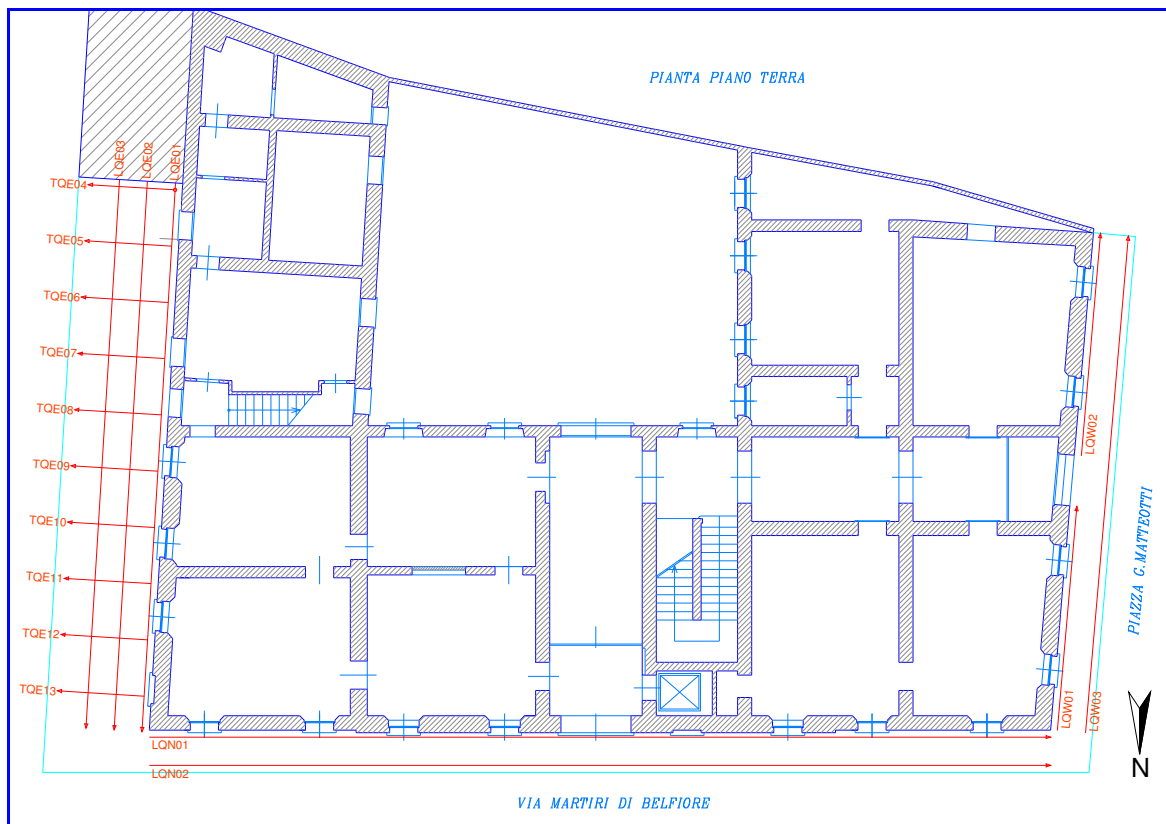


Fig. 23: Planimetria del piano terra con le porzioni indagate

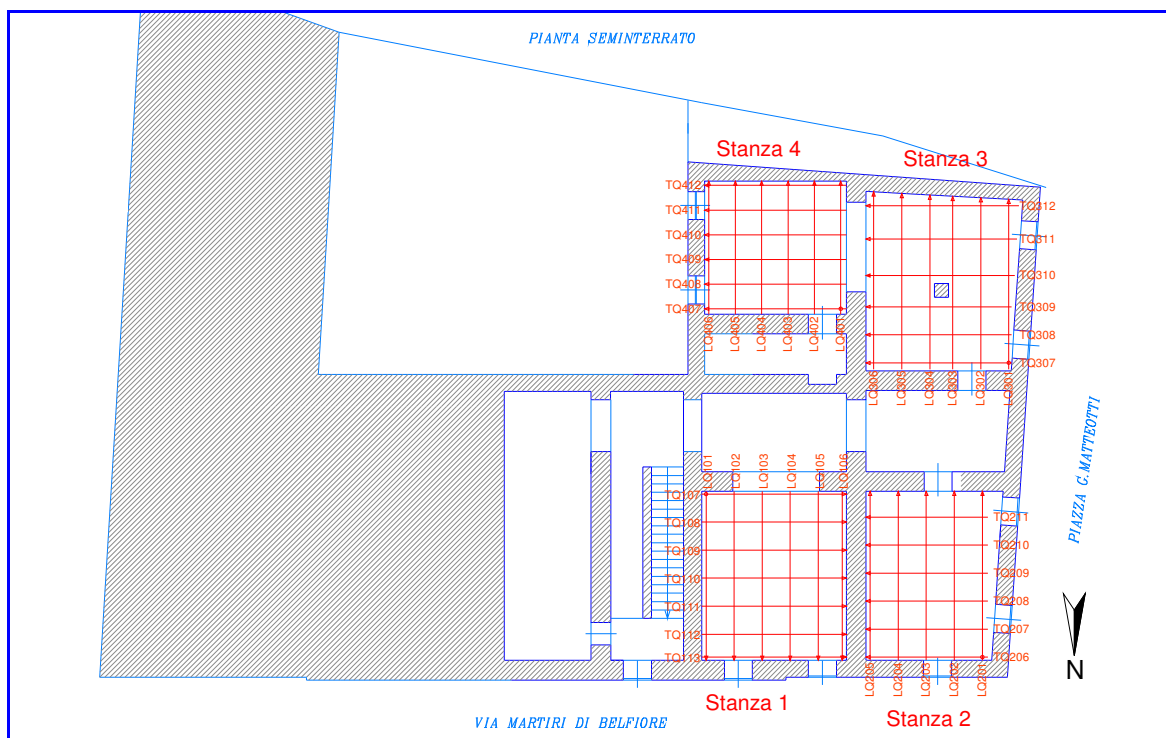


Fig. 24: Planimetria del piano interrato con le porzioni indagate





Foto 10: Stanza 1



Foto 11: Stanza 2



Foto 12: Stanza 3



Foto 13: Stanza 4



Foto 14: Lato est

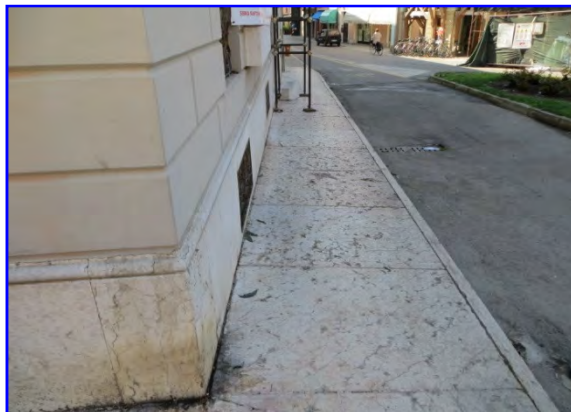


Foto 15: Lato ovest

#### 4.3 Modalità di esecuzione dell'analisi

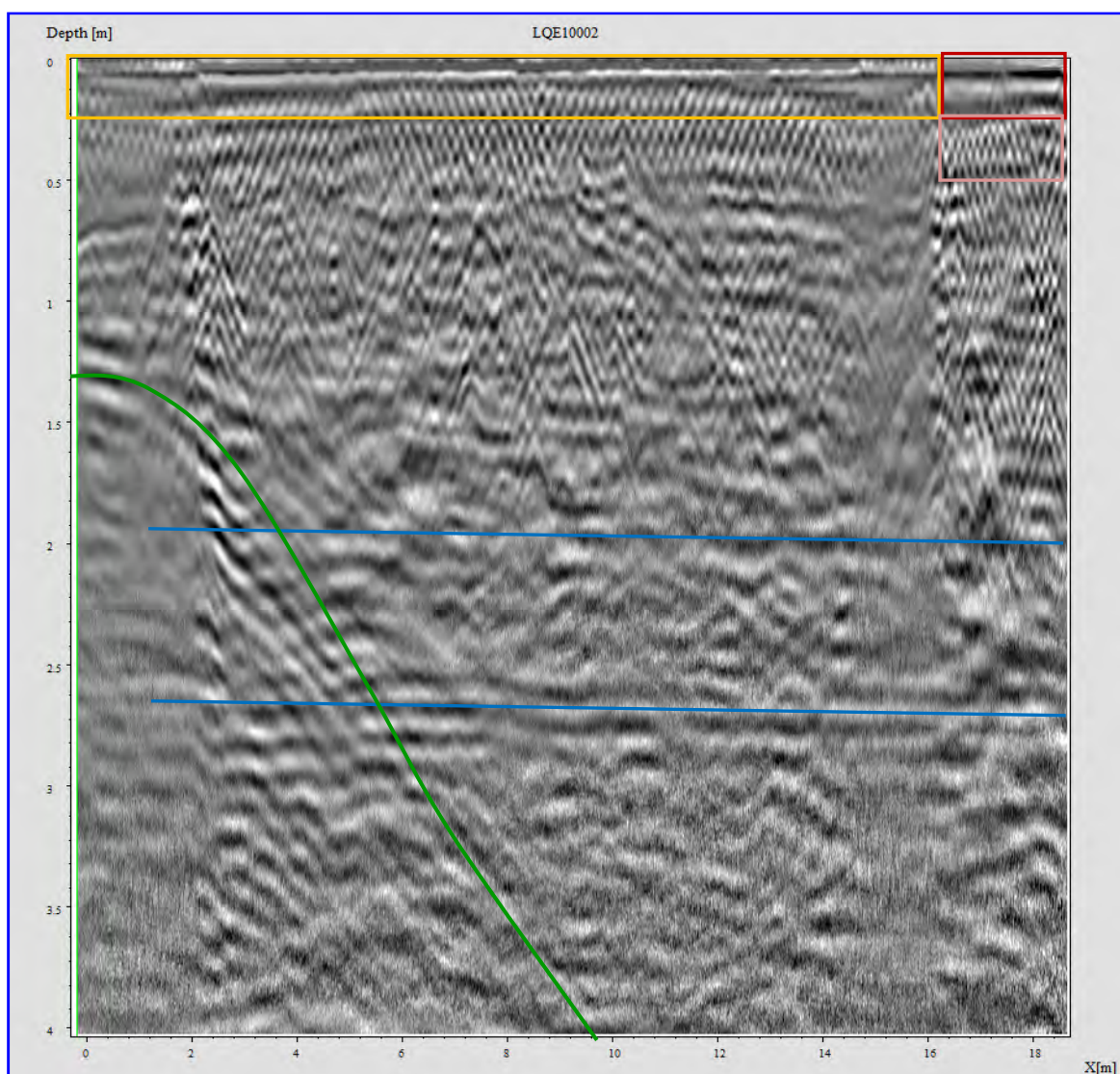
Nell'analisi vengono studiate tutte le scansioni effettuate filtrando il segnale in maniera opportuna e ricercando solamente i target che ricorrono nelle stesse posizioni in differenti scansioni.

Nel paragrafo successivo verranno poi inseriti solamente alcuni radargrammi a titolo d'esempio per illustrare il metodo di interpretazione.

#### 4.4 Analisi dei segnali

Seguono alcuni radargrammi ottenuti con l'antenna da 400 MHz.

In questo primo grafico rappresentativo dell'indagine lungo il perimetro est dell'edificio, con il rettangolo **giallo** si evidenzia lo strato della pavimentazione in mattonelle di porfido, mentre con il rettangolo **rosso scuro**, la parte in cui cambia la tipologia di pavimentazione in lastre di pietra chiara:



*Fig. 25: Radargramma longitudinale lungo il marciapiede est*

Con il rettangolo **rosa** si nota che la porzione sotto la pavimentazione in pietra potrebbe essere simile a quella precedente (mattonelle). In **verde** si evidenzia un target che ricorre a partire da una profondità di 1,30 m nelle scansioni longitudinali e potrebbe essere legato alla fondazione sotto l'edificio dell'AVIS. Le linee orizzontali **azzurre** tra i 2,00 ed i 2,60 m di profondità, indicano un cambio di materiale nella stratificazione (ma potrebbero anche rappresentare il passaggio da terreno riportato ad un manufatto sottostante); si esclude possa essere un allargamento della sezione muraria in quanto, essendo presenti anche nelle scansioni più lontane dalla facciata est del palazzo, vorrebbe dire che la fondazione ha un allargamento di circa 2,00 m.



Anche nelle scansioni eseguite sulla facciata nord si evidenzia lo strato della pavimentazione superficiale, in pietra chiara, con il rettangolo **rosso scuro**; il rettangolo **rosa** rappresenta quella che potrebbe essere una pavimentazione precedente a quella attuale:

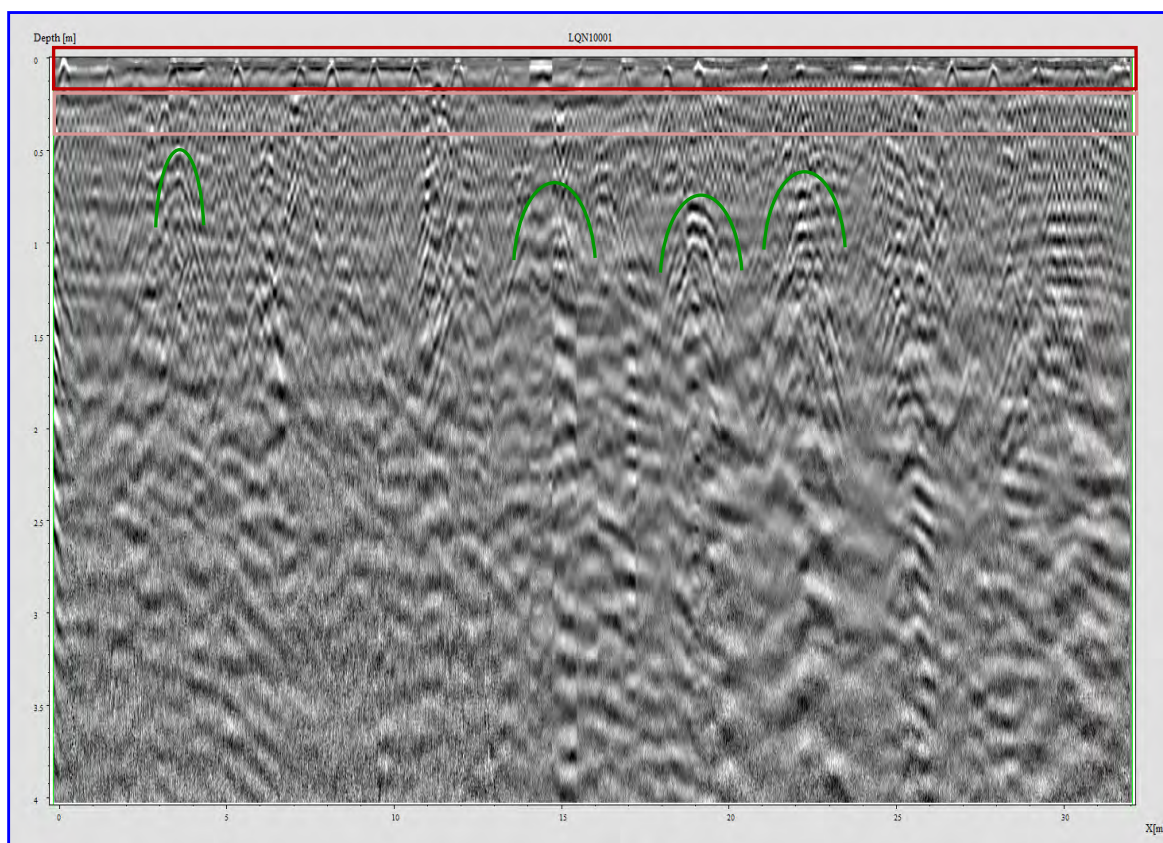


Fig. 26: *Radargramma longitudinale lungo il marciapiede nord*

In questa scansione non si notano peculiarità se non alcuni target evidenziati dalle parabole **verdi**, a marcare quelli che potrebbero essere dei sottoservizi con direzione perpendicolare alla facciata nord.



Anche lungo la facciata ovest si evidenzia lo strato della pavimentazione con il rettangolo rosso scuro e con quello rosa lo strato sottostante:

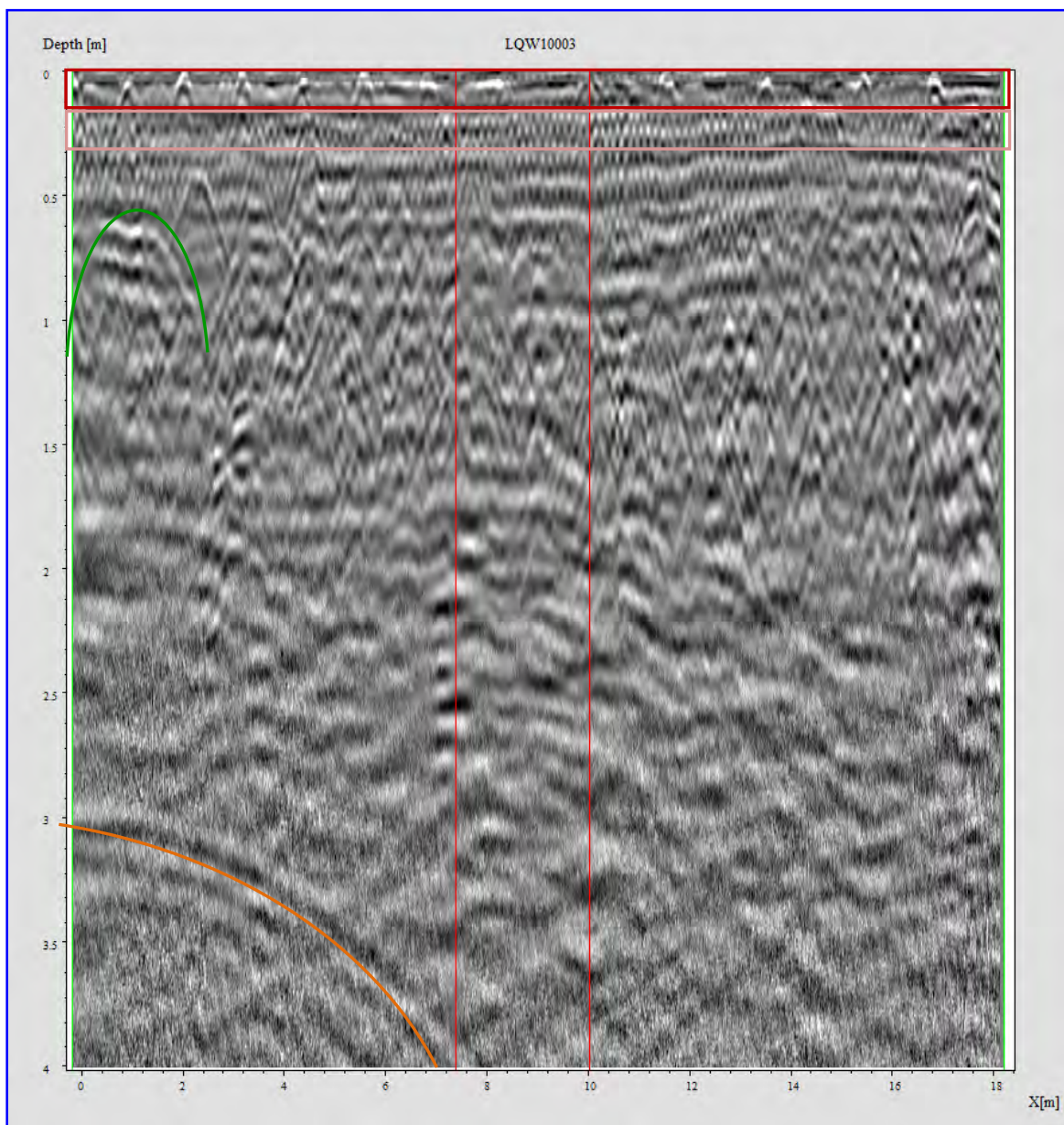


Fig. 27: Radargramma longitudinale lungo il marciapiede ovest

In arancio un target di ampie dimensioni intorno ai 3,00 m di profondità legato ad un manufatto al di sotto del piano stradale. La parabola verde, come nel precedente radargramma, marca un manufatto intorno ai 0,60 m di profondità.

Le linee verticali rosse, infine, indicano solamente i lati del portone d'ingresso di via Martiri di Belfiore.

Di seguito presentiamo due radar grammi longitudinali ed uno trasversale per ognuna delle stanze all'interrato di palazzo Viani.

Per la stanza 1 si evidenzia con il rettangolo **giallo** lo strato di pavimentazione formato da elementi che hanno direzione trasversale rispetto alla direzione della scansione:

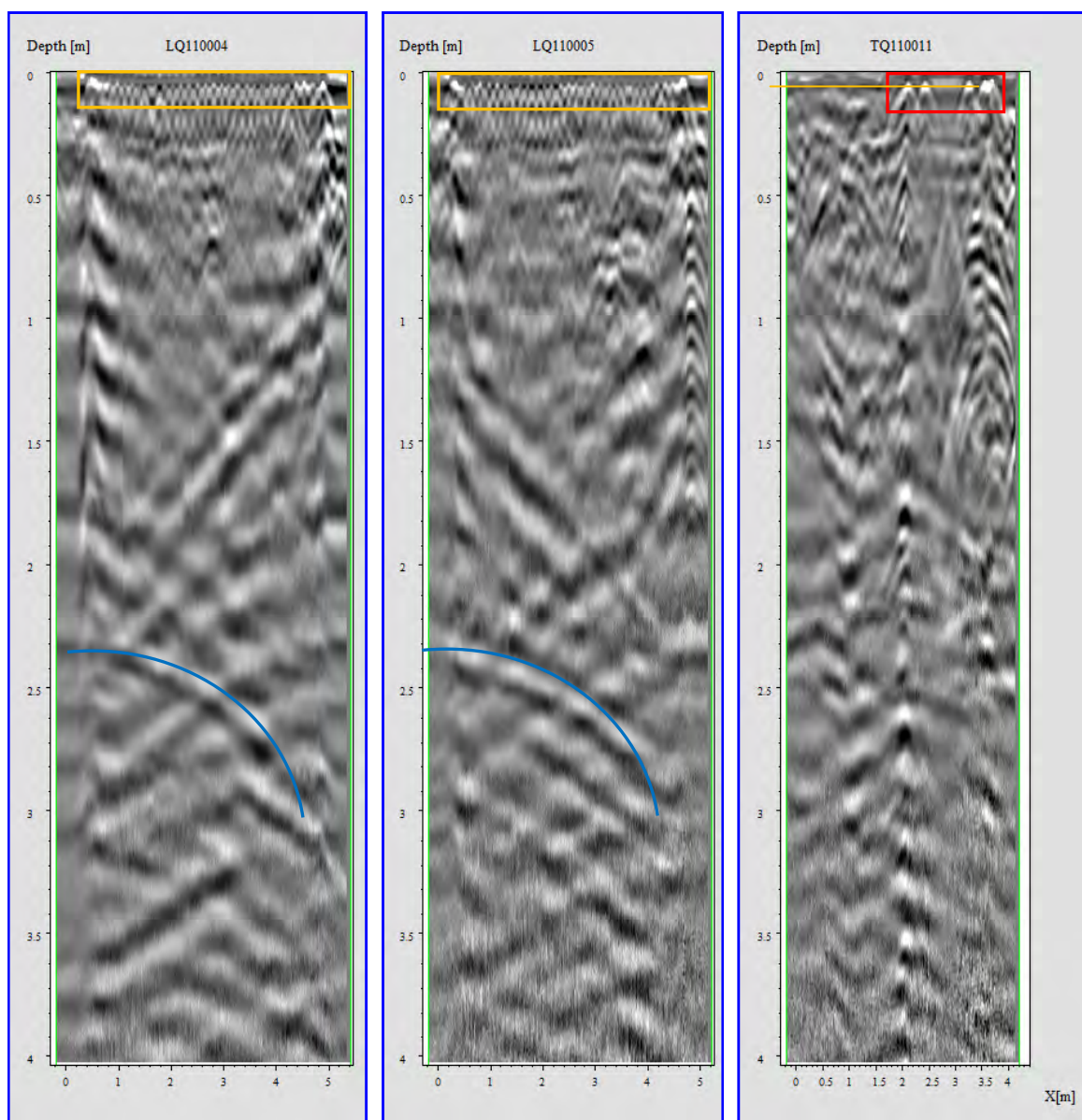


Fig. 28: Radargrammi della stanza 1 all'interrato

Si evidenzia, sempre in **giallo**, la linea che individua in direzione trasversale uno degli elementi costitutivi della pavimentazione; con la parabola **azzurra** si è evidenziato un target intorno ai 2,30 m di profondità verso l'interno dell'edificio che ricorre su tutte le scansioni longitudinali e che potrebbe rappresentare un manufatto di ampie dimensioni od un cambio drastico di materiale nella stratigrafia del terreno sottostante.

Con il rettangolo **rosso**, infine, si evidenzia quello che potrebbe essere un elemento che attraversa tutto il pavimento della stanza appena sotto la superficie del pavimento (dal momento che si vede in maniera analoga anche nelle altre scansioni trasversali),



Per la stanza 2 si evidenziano, con due linee orizzontali **azzurre**, quelli che sembrano essere dei cambi di stratigrafia della pavimentazione:

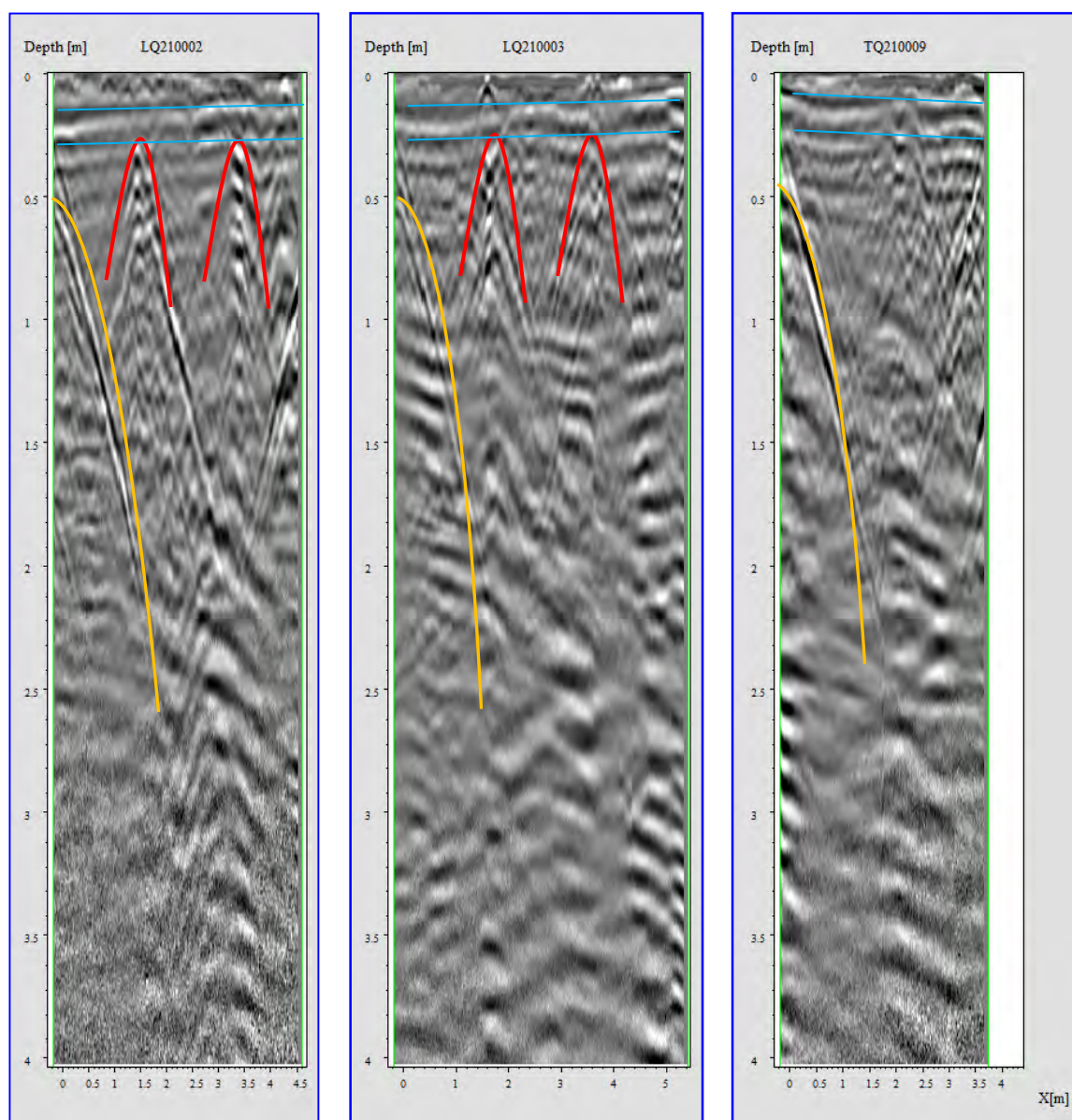


Fig. 29: Radargrammi della stanza 2 all'interrato

Si evidenziano, in **rosso**, due target che “tagliano” la stanza trasversalmente (probabili sottoservizi) in tutte le scansioni longitudinali mentre con le parabole **gialle** si evidenziano target che ricorrono su quasi tutte le scansioni che potrebbero rappresentare un leggero allargamento della sezione muraria delle murature perimetrali verso l'interno dell'edificio, a circa 0,50 m di profondità.

Per la stanza 3 si evidenziano, con due linee orizzontali **azzurre**, quelli che sembrano essere dei cambi di stratigrafia della pavimentazione (come per la precedente):

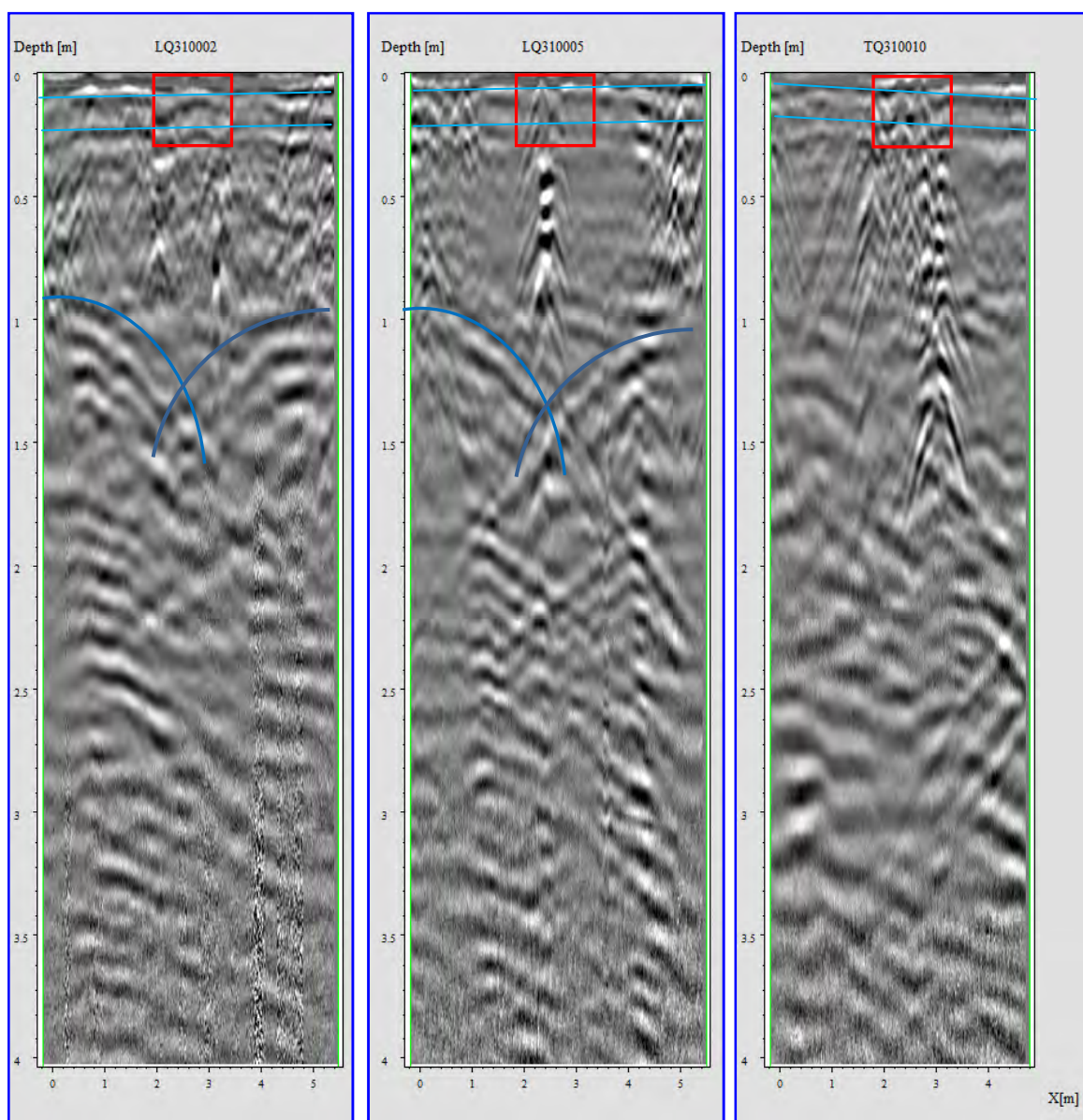


Fig. 30: *Radargrammi della stanza 3 all'interrato*

Il rettangolo **rosso** evidenziano target che potrebbero essere parte di un elemento, sotto la pavimentazione, legato al pilastro in centro alla stanza, con le parabole **blu** si sono evidenziati target che ricorrono ad 1,00 m di profondità al di sotto dei paramenti murari sui lati nord e sud in tutte le scansioni longitudinali ma che difficilmente potrebbero rappresentare elementi appartenenti alle fondazioni dal momento che non sono presenti sul lato perimetrale ovest.



Per la stanza 4 si evidenzia un target in **rosso** a 0,40 m di profondità sia in direzione longitudinale sia trasversale (la qual cosa lo posiziona quasi al centro della stanza), di dimensioni ridotte che però non è legato al discorso fondazioni:

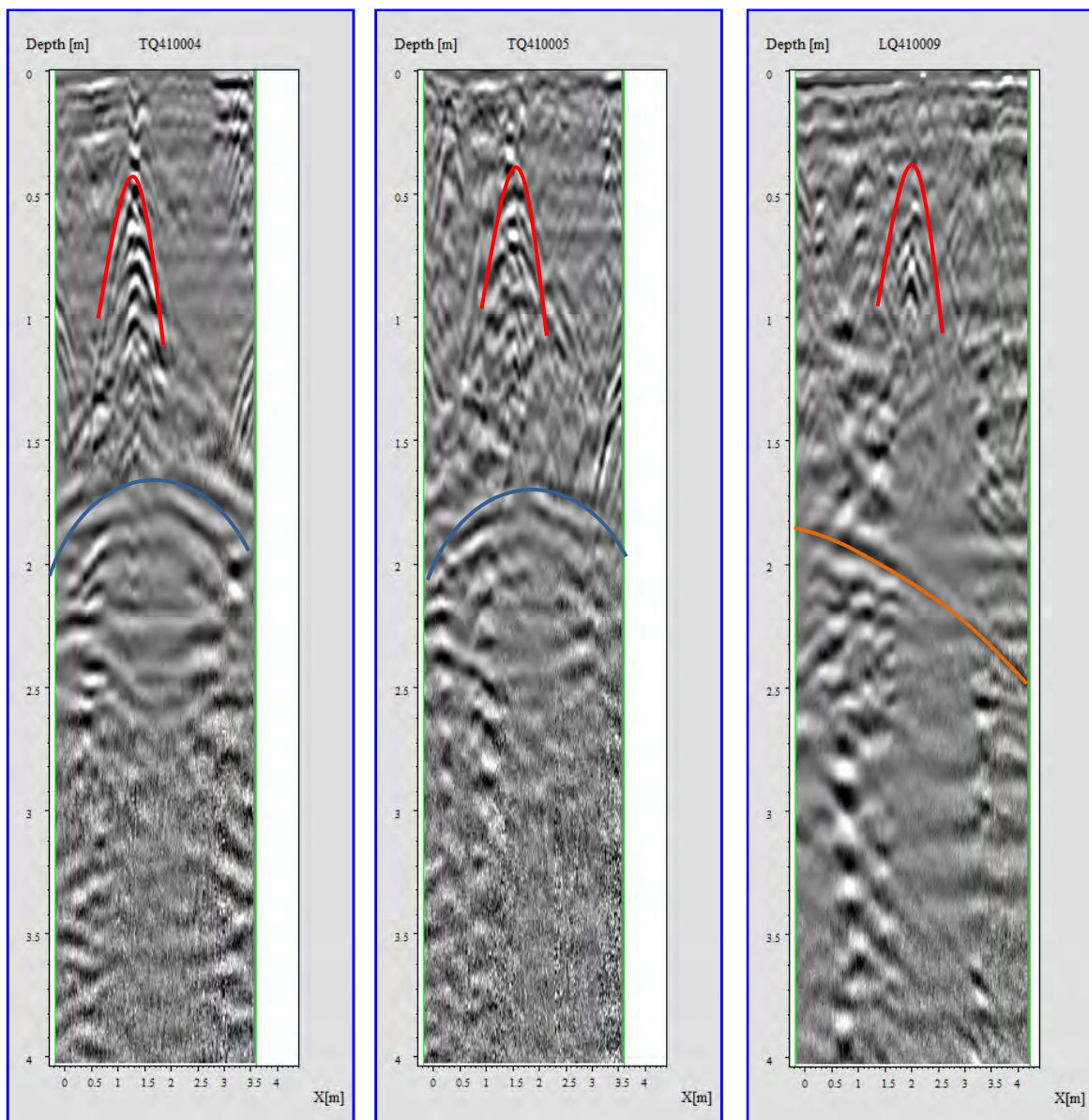


Fig. 31: *Radargrammi della stanza 4 all'interrato*

Con la parabola **blu** si rileva il target che ricorre su tutte le scansioni che potrebbe rappresentare un manufatto anch'esso al centro della stanza ed a 1,70 m di profondità. La parabola **arancio**, invece, indica la presenza di un manufatto a 1,80 m di profondità che, per le dimensioni non sembra avere legami con le fondazioni.

## 5 CARATTERIZZAZIONE DINAMICA – PROVA N° 4653/VR

Lo scopo dell'indagine dinamica è quello di individuare sperimentalmente le frequenze libere di vibrazione. I parametri dinamici, essendo legati a tutti gli elementi geometrici e meccanici della struttura, rappresentano un valido strumento di controllo nel tempo dell'eventuale variazione delle condizioni generali ed un supporto fondamentale per la calibrazione dei modelli numerici.

Ai fini dell'indagine sismica e per valutare la vulnerabilità delle strutture è necessario verificare che non sussistano fenomeni di risonanza che producano l'incremento del danneggiamento in occasione di un terremoto.

Quando la frequenza propria della struttura è superiore a quella del sottosuolo (mediamente entro un 30%) si parla comunque di possibile vulnerabilità perché un edificio che inizia a danneggiarsi diminuisce le frequenze dei propri modi di vibrare, potendo così entrare in risonanza nelle fasi finali del terremoto.

Una relazione indicativa tra l'altezza di un edificio in muratura e la frequenza del suo primo modo di vibrare è descritta nella seguente figura (Masi et al., 2007):

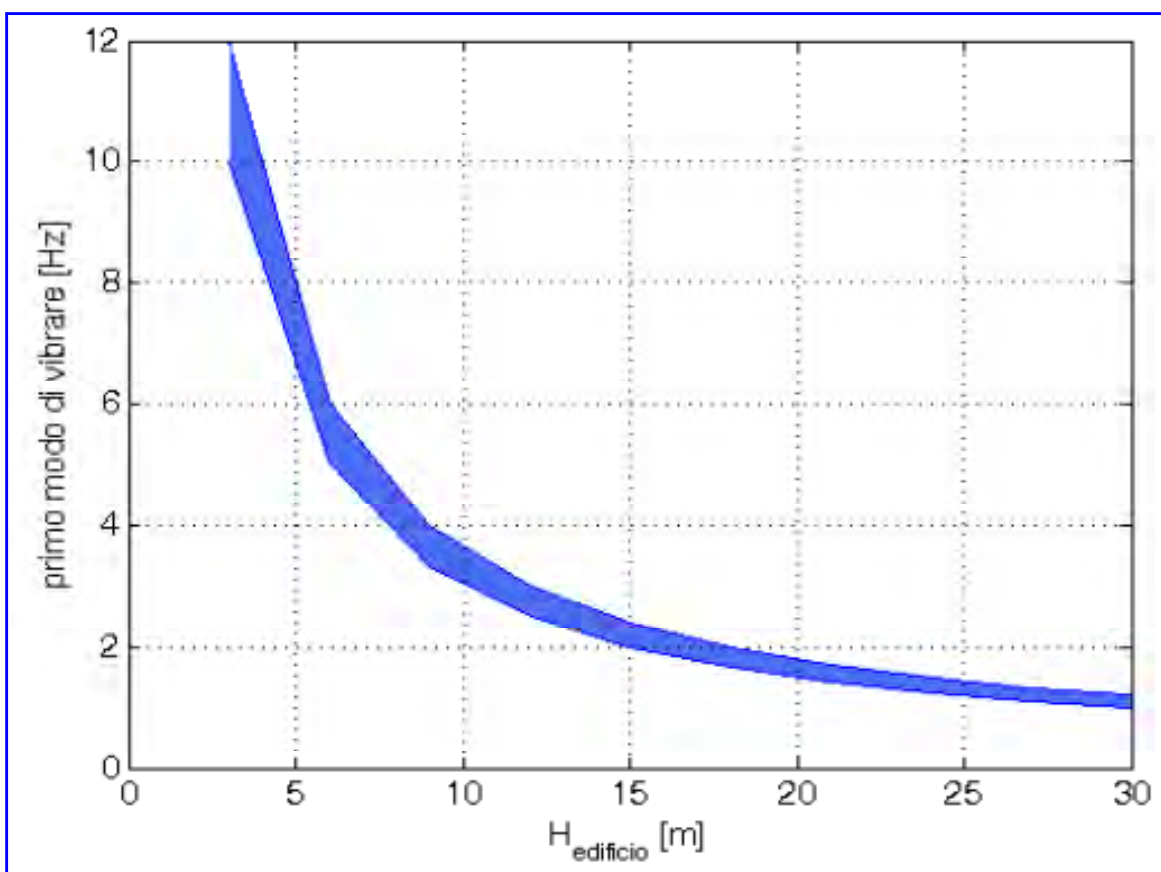


Fig. 32: Grafico della relazione tra altezza e primo modo di un edificio in muratura



### 5.1 Descrizione della strumentazione

La misura delle frequenze proprie della struttura è stata eseguita utilizzando da 1 a 4 tromografi digitali Microsismic 6S costituiti da 1 terna accelerometrica e 2 terne geofoniche.

Fondo scala accelerometri:  $\pm 3$  g nella banda 0,5 Hz-1600 Hz per gli assi X e Y e 0,5 Hz-550 Hz per l'asse Z.

La densità di potenza spettrale del rumore è 280  $\mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$  rms per gli assi X e Y e 350  $\mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$  rms per l'asse Z. La tipologia è MEMS®.

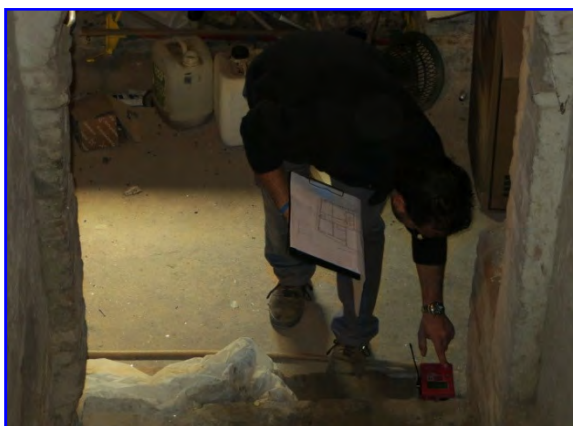
L'eccitazione della struttura è stata di tipo naturale e/o prodotta dalla spinta del vento.

Il campionamento è stato di 128 Hz e, quando utilizzate in serie, le apparecchiature sono collegate tra loro via radio per consentire la sincronizzazione del segnale.

### 5.2 Posizionamento dei Microsismic

Per la caratterizzazione dinamica dell'edificio i Microsismics sono stati posizionati secondo quattro configurazioni differenti al fine di poter determinare il comportamento complessivo della struttura; due in orizzontale, in prossimità dei vertici del corpo principale e dell'ala ovest all'altezza del secondo piano (I e II configurazione) ed in verticale in corrispondenza del vano scale (III e IV configurazione).

Le acquisizioni hanno avuto durate di 6 minuti ciascuna.



*Foto 16: Configurazione dello strumento prima di iniziare l'acquisizione*

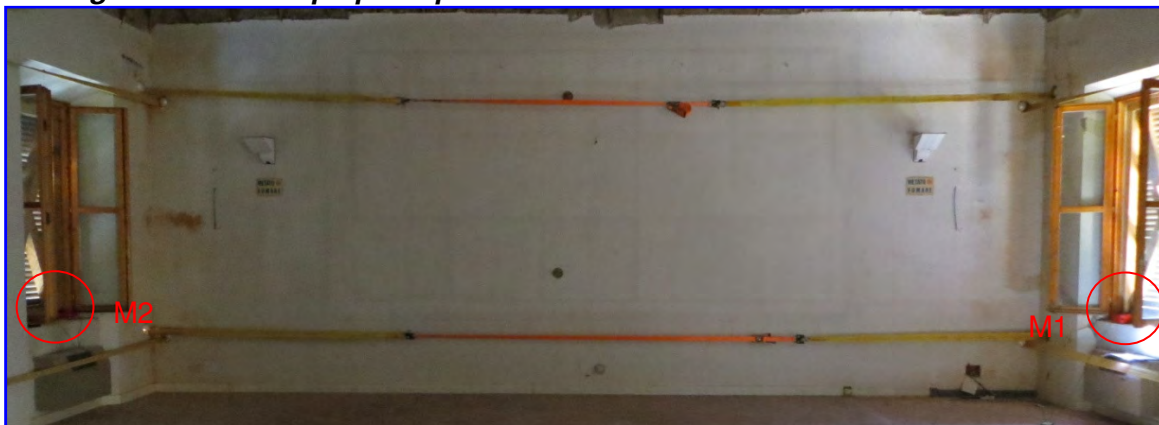


*Foto 17: Posizione del Microsismic per il rilievo delle frequenze del terreno*

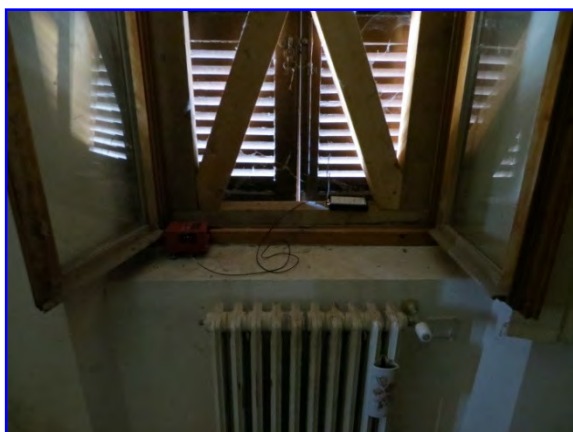
Per il rilievo delle frequenze del terreno in prossimità dell'edificio, è stato utilizzato un Microsismic posizionato in un'area verde a circa 50 m ad est da Palazzo Viani.

## **Configurazioni orizzontali**

### ***I configurazione – Corpo principale***



*Foto 18: Microsismic M1 ed M2*



*Foto 19: Microsismic M3*



*Foto 20: Microsismic M4*

## **Posizione degli strumenti**

I quattro Microsismics sono stati messi in prossimità dei vertici del corpo principale posizionati sui davanzali delle finestre perché fossero tutti alla stessa quota:

- M1 in prossimità del vertice sud-est;
- M2 in prossimità del vertice nord-est;
- M3 in prossimità del vertice nord-ovest;
- M4 in prossimità del vertice sud-ovest.

Tutti gli strumenti sono rivolti con l'asse X verso est (asse longitudinale), l'asse Y allineato all'asse trasversale dell'edificio e l'asse Z in verticale.

Nella pagina seguente è indicata la posizione dei Microsismics nella configurazione appena descritta sulla planimetria del piano secondo.

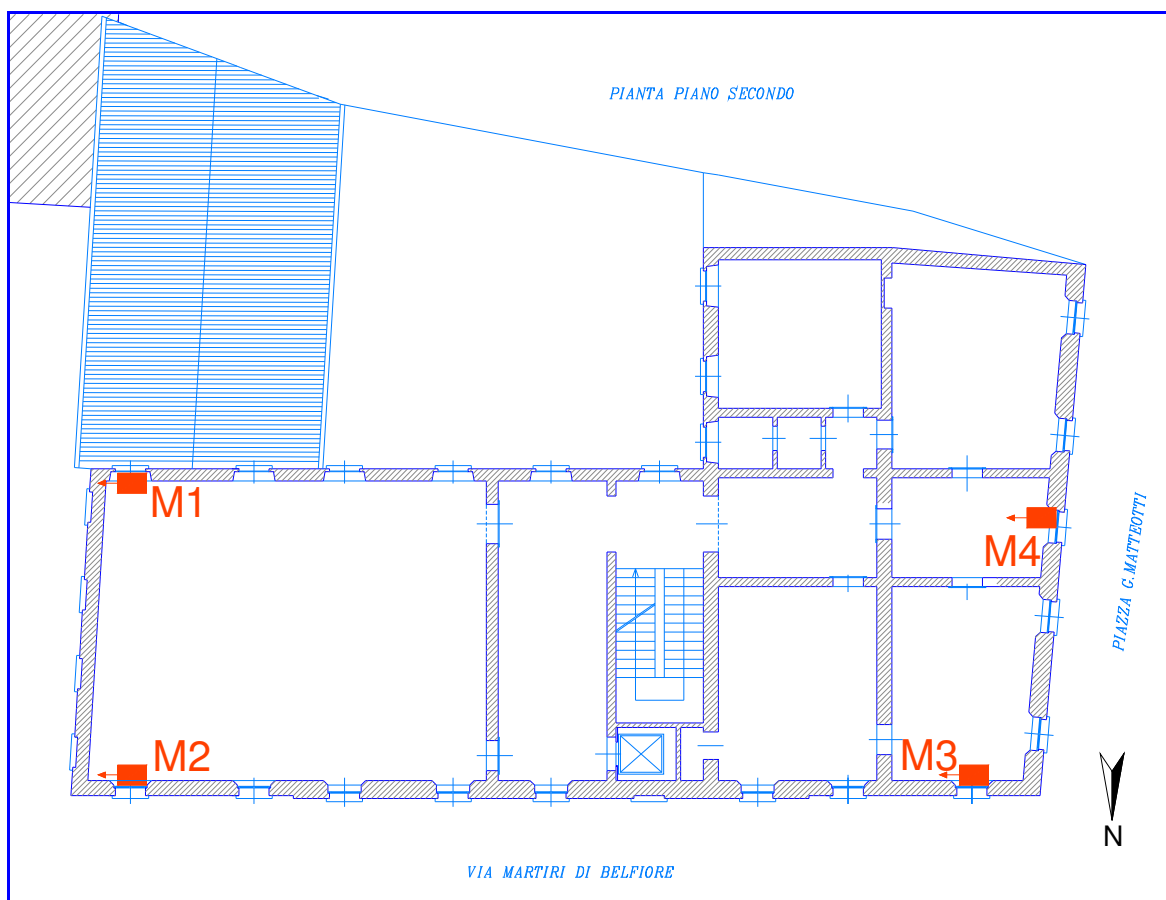
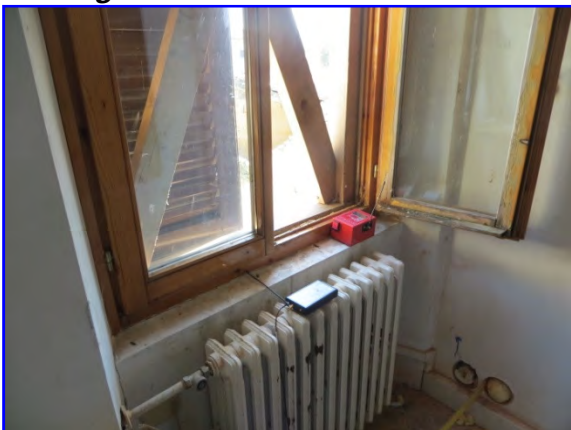


Fig. 33: Planimetria con schema di posizionamento dei Microsismics (I configurazione)

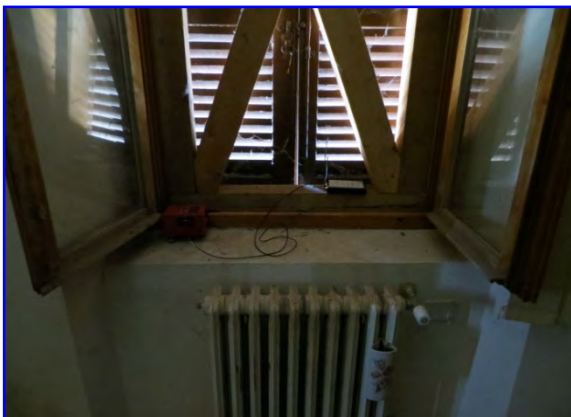
### **Il configurazione – Ala ovest**



*Foto 21: Microsismic M1*



*Foto 22: Microsismic M2*



*Foto 23: Microsismic M3*



*Foto 24: Microsismic M4*

### **Posizione degli strumenti**

Due dei quattro Microsismics sono stati messi in prossimità dei vertici sud dell'ala ovest mentre gli altri due sono stati posizionati sul corpo principale in corrispondenza della facciata nord tutti sui davanzali delle finestre in maniera che fossero alla stessa quota:

- M1 in prossimità del vertice sud-est dell'ala ovest;
- M2 sulla terza finestra da ovest della facciata nord del corpo principale;
- M3 sulla prima finestra da ovest della facciata nord del corpo principale;
- M4 in prossimità del vertice sud-ovest.

Tutti gli strumenti sono rivolti con l'asse X verso sud (direzione dell'asse longitudinale dell'ala ovest e dell'asse trasversale del corpo principale), l'asse Y allineato all'asse longitudinale del corpo principale e l'asse Z in verticale.

Nella pagina seguente è indicata la posizione dei Microsismics nella configurazione appena descritta sulla planimetria del piano secondo.

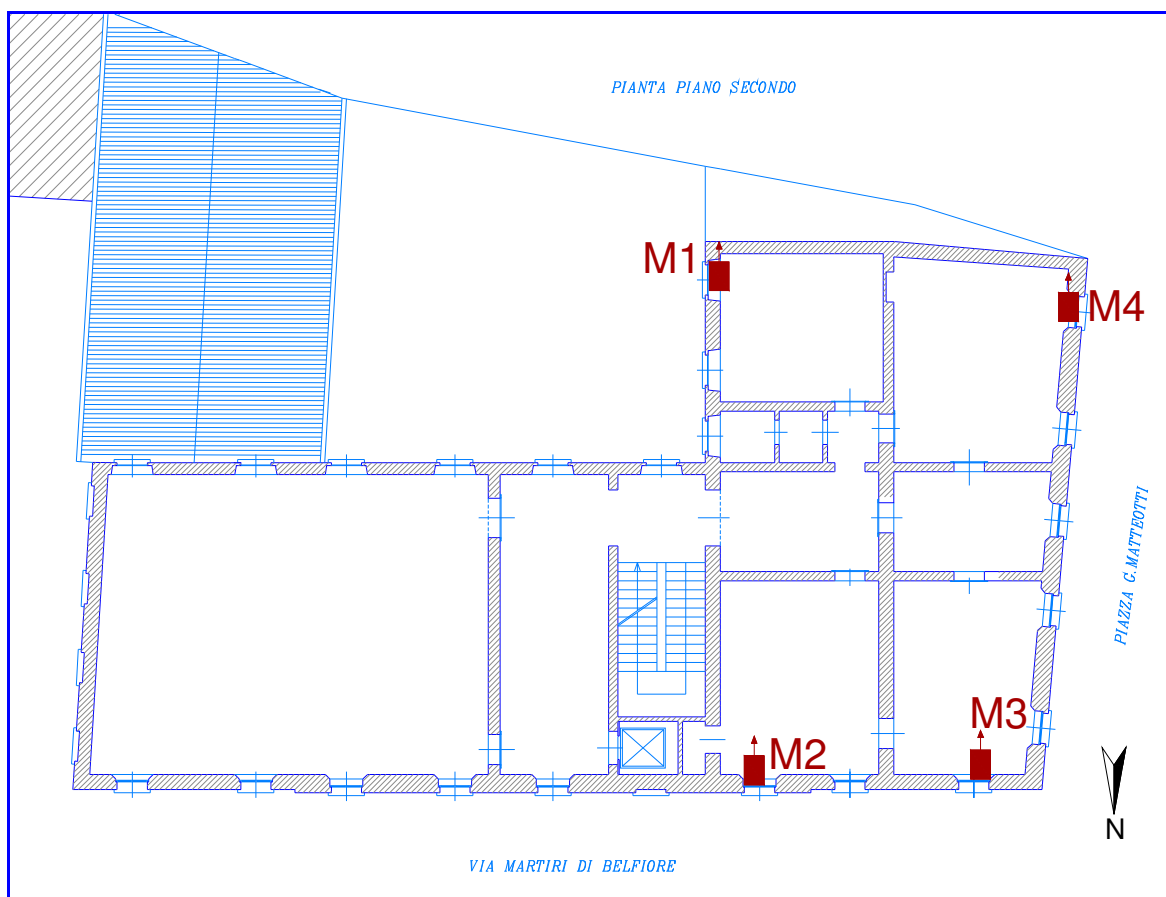
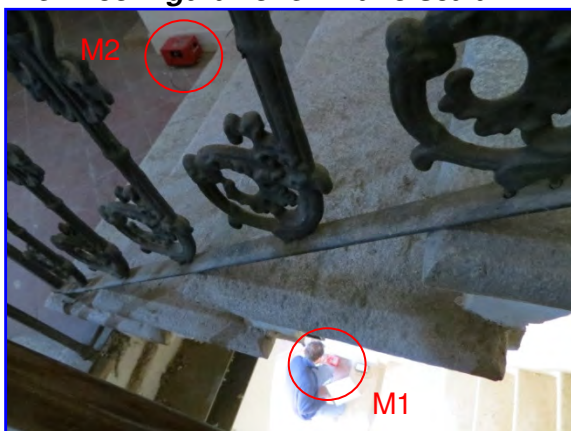


Fig. 34: Planimetria con schema di posizionamento dei Microsismics (II configurazione)



## Configurazione verticale

### *III e IV configurazione – Vano scala*



*Foto 25: Microsismics 1 e 2*



*Foto 26: Microsismic 3 e 4*

### **Posizione degli strumenti**

I quattro Microsismics sono stati messi in corrispondenza del vano scala del corpo principale, uno a piano terra e gli altri rispettivamente al primo, secondo ed ultimo piano tutti in corrispondenza del muro portante ovest della scala all'altezza dell'alzata del primo gradino della rampa che porta al piano superiore:

- M1 posto a quota pavimentazione del piano terra;
- M2 posto a quota pavimentazione del piano primo;
- M3 posto a quota pavimentazione del piano secondo;
- M4 posto a quota pavimentazione del piano terzo;

Tutti gli strumenti sono rivolti con l'asse X verso nord (asse trasversale dell'edificio), l'asse Y allineato all'asse longitudinale dell'edificio e l'asse Z in verticale.

Nella *IV Configurazione* tutti gli strumenti sono rimasti nella stessa posizione eccettuato M1 che è stato spostato all'interrato mantenendo comunque lo stesso allineamento verticale.



*Foto 27: Microsismics M1 all'interrato*



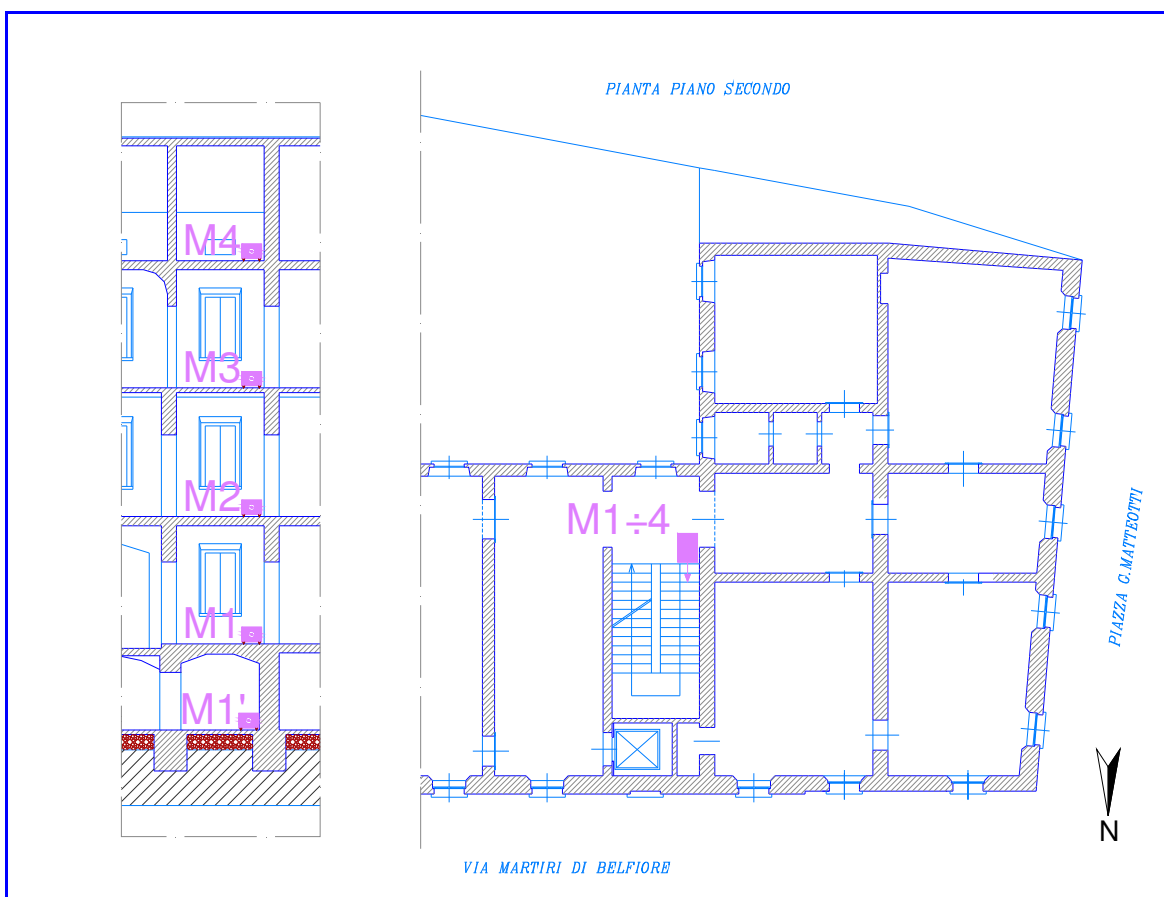


Fig. 35: Schema di posizionamento dei Microsismics (III e IV configurazione)

### 5.3 Analisi dinamica

Nelle pagine seguenti si riportano, a titolo di esempio, le elaborazioni eseguite per la *I configurazione* combinando le terne 1, 2, 3, 4. In ascissa abbiamo il tempo ed in ordinata le accelerazioni in  $\text{mm/s}^2$ .

Il primo grafico mostra l'oscillogramma di tutti i canali nella finestra temporale dei 6 minuti di acquisizione, nei successivi si presentano finestre temporali in cui i dati sono stati analizzati mediante opportuni filtri e l'elaborazione nel dominio delle frequenze delle acquisizioni, ottenute con la trasformata di Fourier.

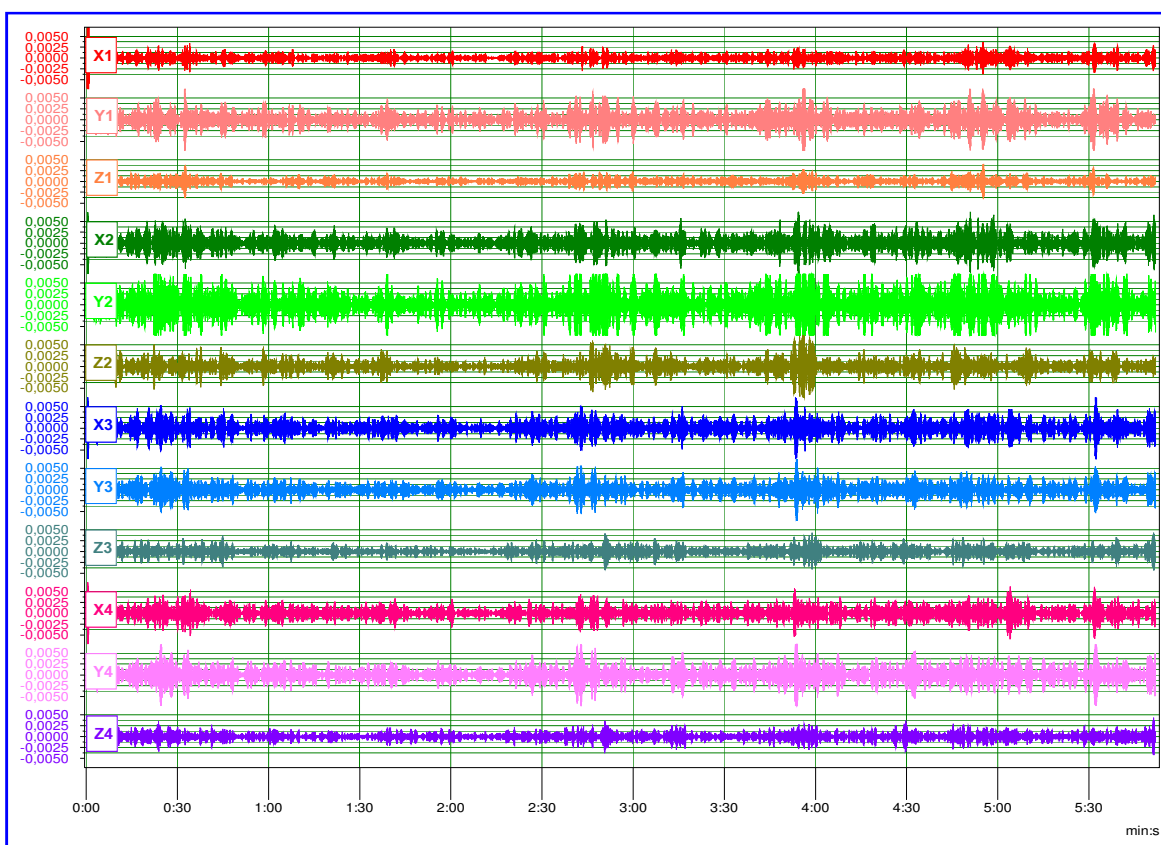


Fig. 36: Oscillogramma di tutti i canali

Nelle pagine seguenti vengono analizzati dapprima i segnali lungo l'asse longitudinale (X) ed in seguito lungo l'asse trasversale (Y) del corpo principale dell'edificio.

Il primo grafico è stato elaborato con filtro passa basso di 15,0 Hz:

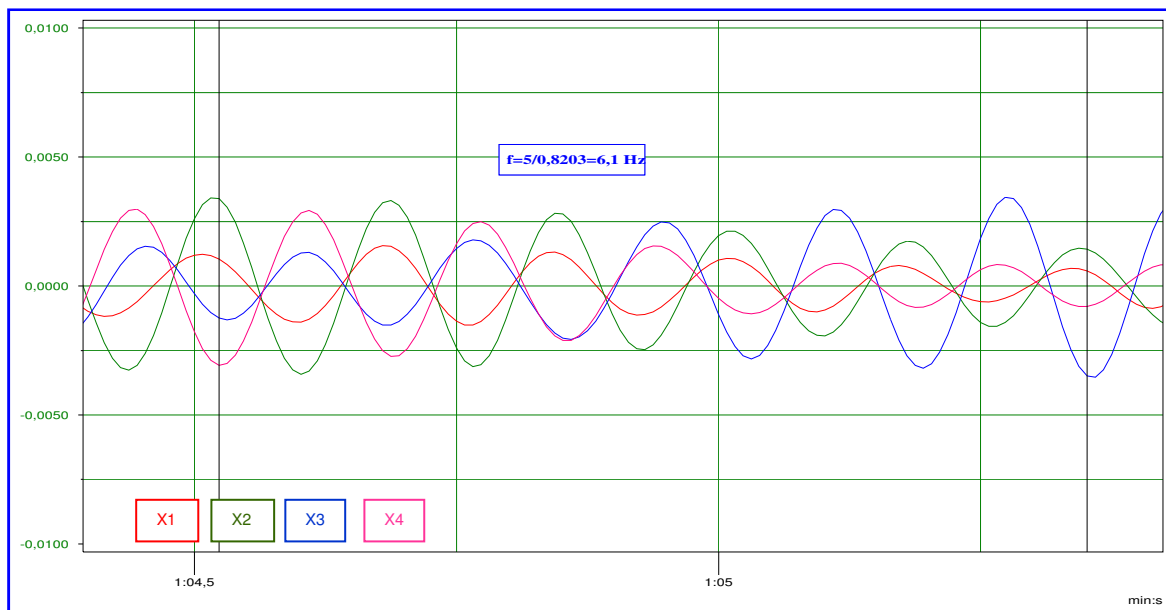


Fig. 37: Oscillogramma dei canali in direzione longitudinale

In direzione  $X_1$ , in fase con  $X_2$ , ed in controfase con  $X_3$  ed  $X_4$  si possono contare 5 oscillazioni in un intervallo di 0,8203 secondi pari ad una frequenza  $f=5/0,8203=6,1$  Hz.

Di seguito la trasformata di Fourier per la direzione longitudinale:

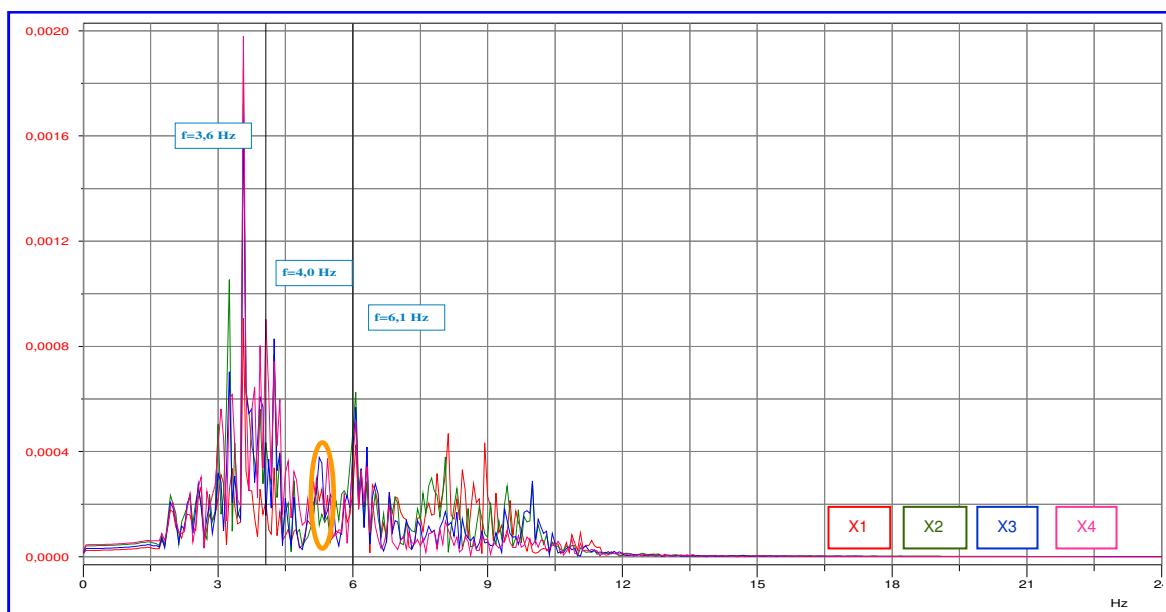


Fig. 38: Spettrogramma dei canali in direzione longitudinale

A conferma di quanto eseguito nel dominio dei tempi si nota la frequenza di **6,1 Hz**; compaiono inoltre una frequenza di **4,0 Hz** ed una a **3,1 Hz** individuate, poi, con filtri più pesanti come presentato:

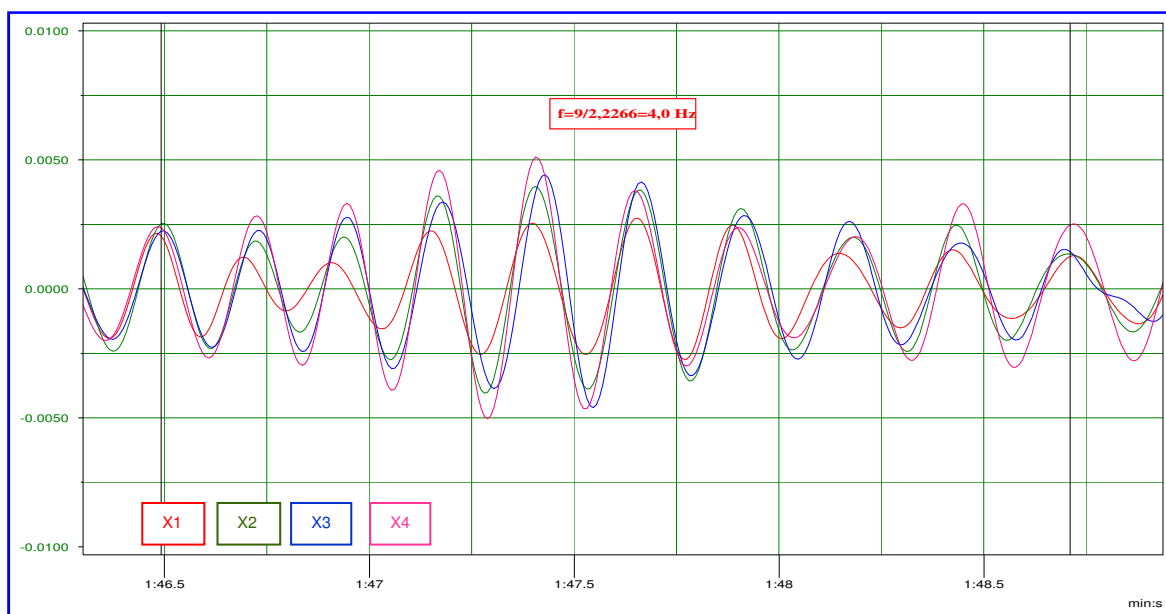


Fig. 39: Oscillogramma dei canali in direzione longitudinale

In direzione  $X_1$ , in fase con  $X_2$ ,  $X_3$  e  $X_4$  si possono contare 9 oscillazioni in un intervallo di 2,2266 secondi pari ad una frequenza  $f=9/2,2266=4,0$  Hz.

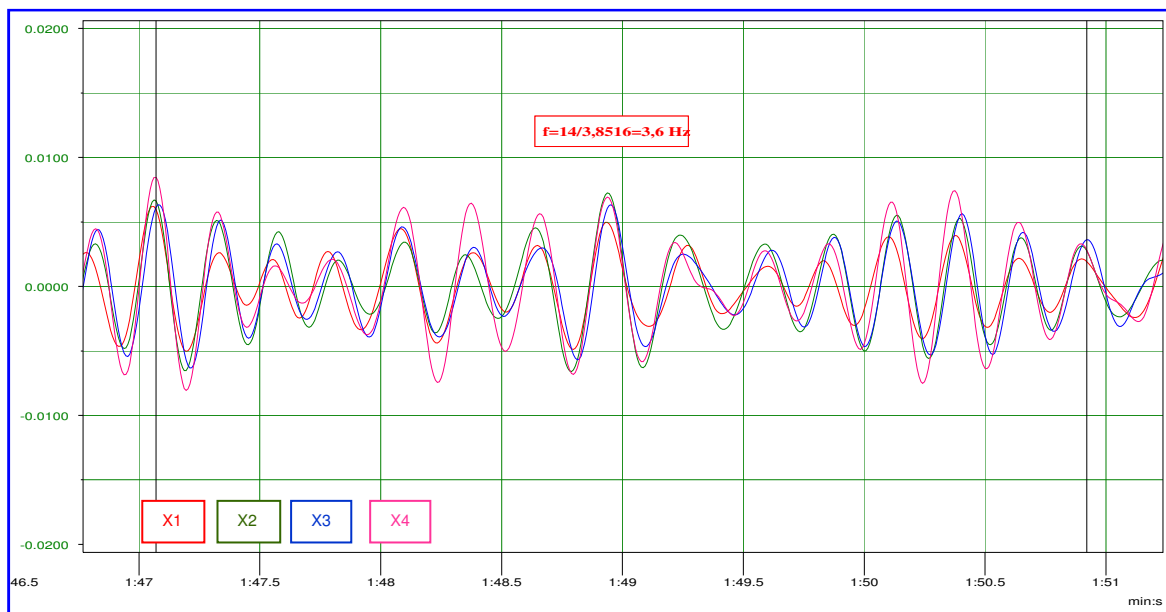


Fig. 40: Oscillogramma dei canali in direzione longitudinale

In direzione  $X_1$ , in fase con  $X_2$ ,  $X_3$  e  $X_4$  si possono contare 14 oscillazioni in un intervallo di 3,8516 secondi pari ad una frequenza  $f=14/3,8516=3,6$  Hz.

Anche in direzione trasversale si è eseguita un'elaborazione iniziale con filtro passa basso 15,0 Hz:

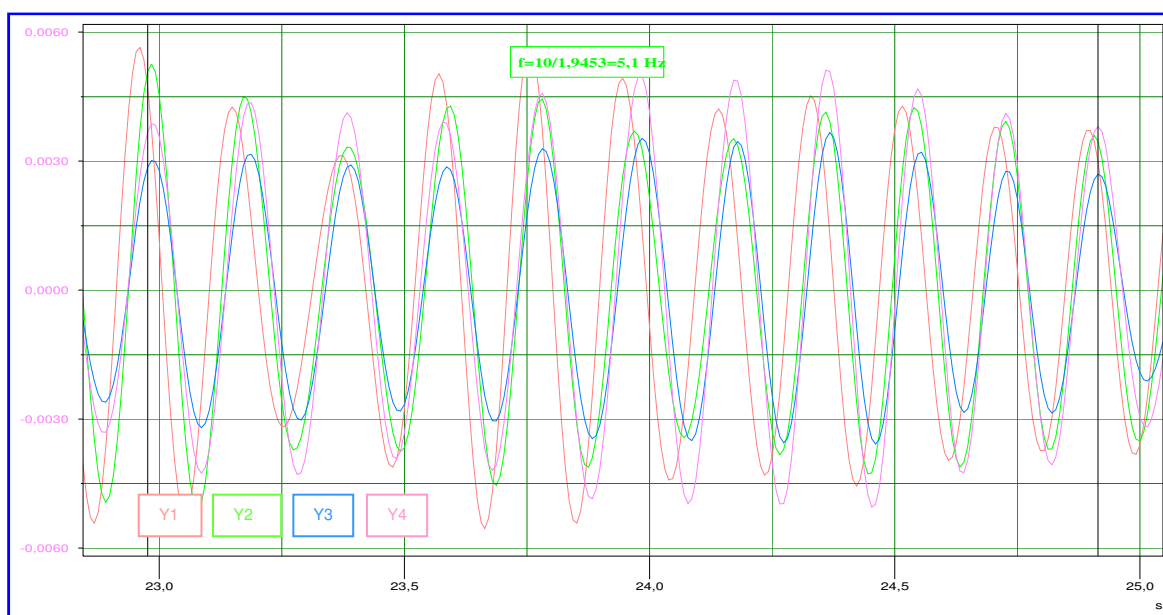


Fig. 41: Oscillogramma dei canali in direzione trasversale

In direzione  $Y_1$ , in fase con  $Y_2$ ,  $Y_3$  e  $Y_4$  si possono contare 10 oscillazioni in un intervallo di 1,9453 secondi pari ad una frequenza  $f=10/1,9453=5,1$  Hz.

Di seguito la trasformata di Fourier per la direzione trasversale:

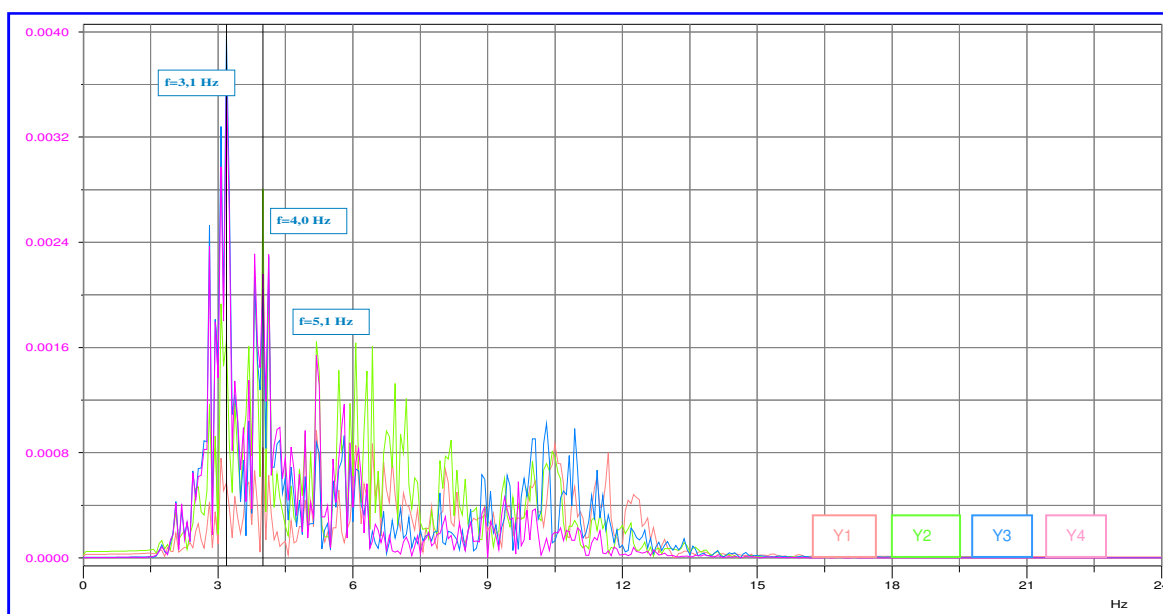


Fig. 42: Spettrogramma dei canali in direzione trasversale

Anche quì è confermata la frequenza individuata con l'elaborazione eseguita precedentemente e compaiono inoltre la frequenza di **4,0 Hz** ed una di **3,1 Hz** individuate poi con ulteriori filtri:

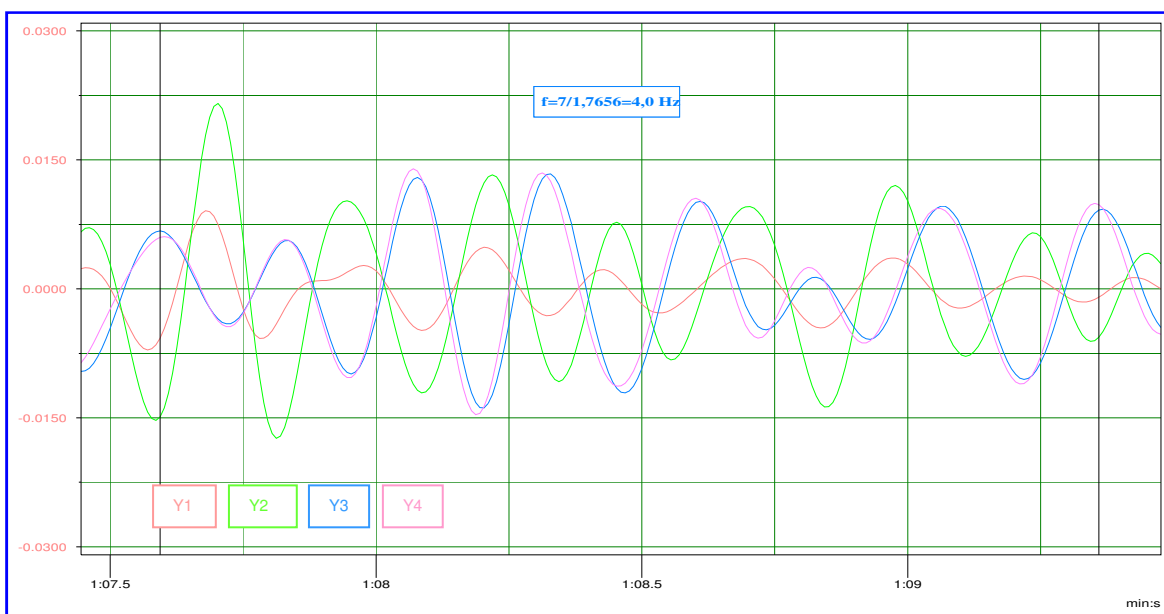


Fig. 43: Oscillogramma dei canali in direzione trasversale

In direzione  $Y_1$ , in fase con  $Y_2$  ed in controfase con  $Y_3$  e  $Y_4$  si possono contare 7 oscillazioni in un intervallo di 1,7656 secondi pari ad una frequenza  $f=7/1,7656=4,0$  Hz.

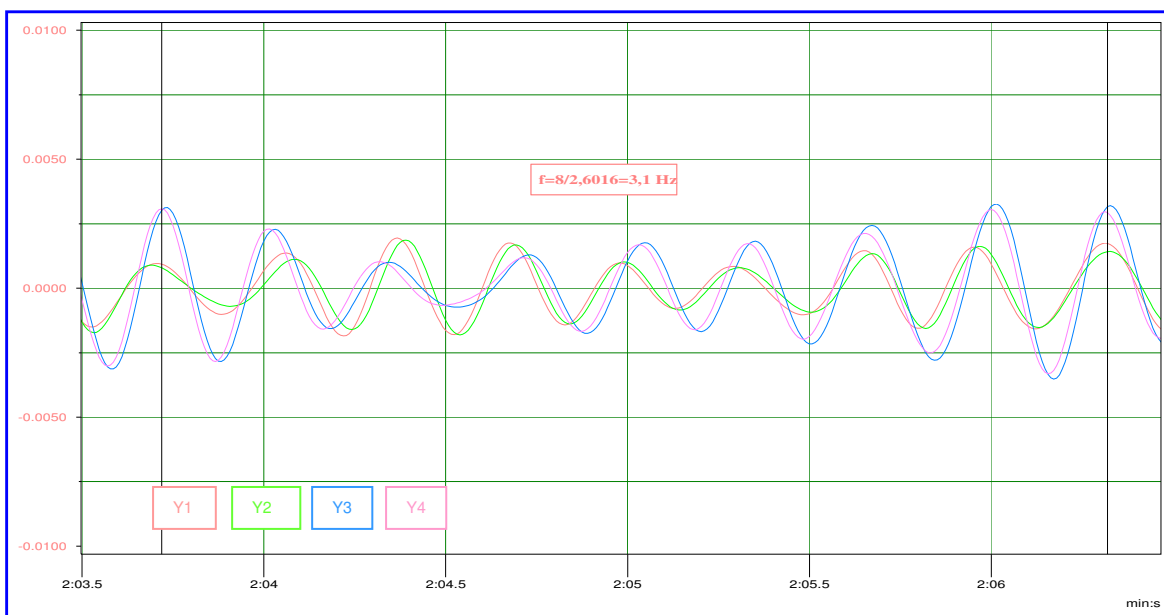


Fig. 44: Oscillogramma dei canali in direzione trasversale

In direzione  $Y_1$ , in fase con  $Y_2$ ,  $Y_3$  ed  $Y_4$  si possono contare 8 oscillazioni in un intervallo di 2,6016 secondi pari ad una frequenza  $f=8/2,6016=3,1$  Hz.



Per quel che riguarda la *II configurazione* si può affermare che le frequenze individuate nell'ala ovest in direzione nord-sud (trasversale del corpo principale) sono le stesse individuate nel corpo principale, mentre in direzione est-ovest (longitudinale del corpo principale) si è potuta evidenziare con chiarezza la sola frequenza di **5,4 Hz**:

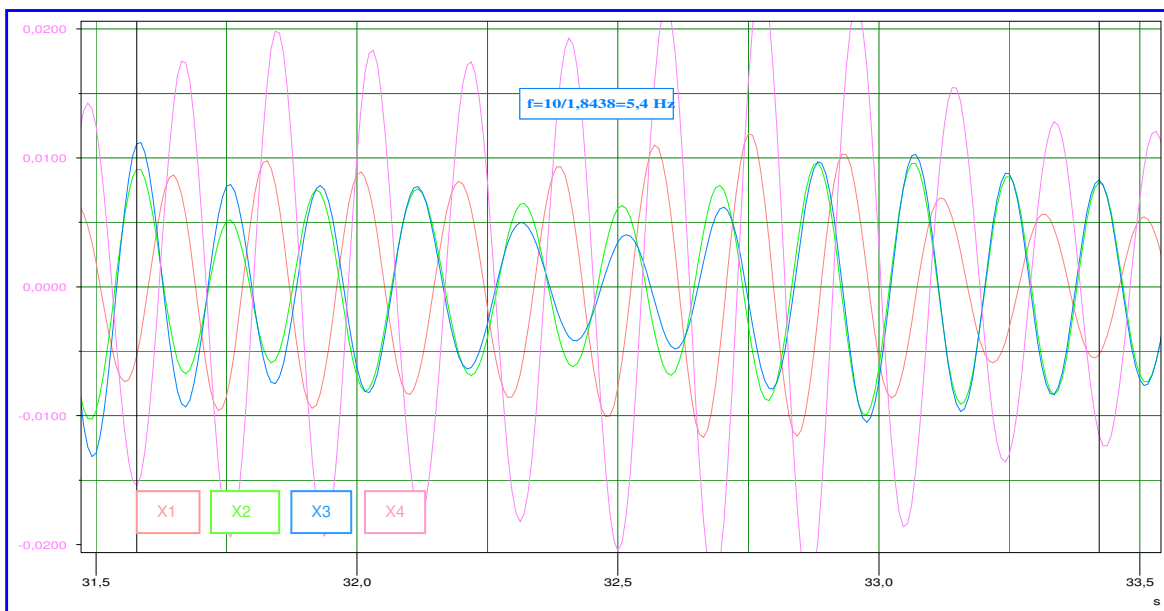


Fig. 45: *Oscillogramma in direzione est-ovest (longitudinale del corpo principale)*

In direzione  $Y_1$ , in fase con  $Y_4$  ed in controfase con  $Y_2$  e  $Y_3$  si possono contare 10 oscillazioni in un intervallo di 1,8438 secondi pari ad una frequenza  $f = 10 / 1,8438 = 5,4$  Hz.

Di seguito la trasformata di Fourier per la direzione trasversale:

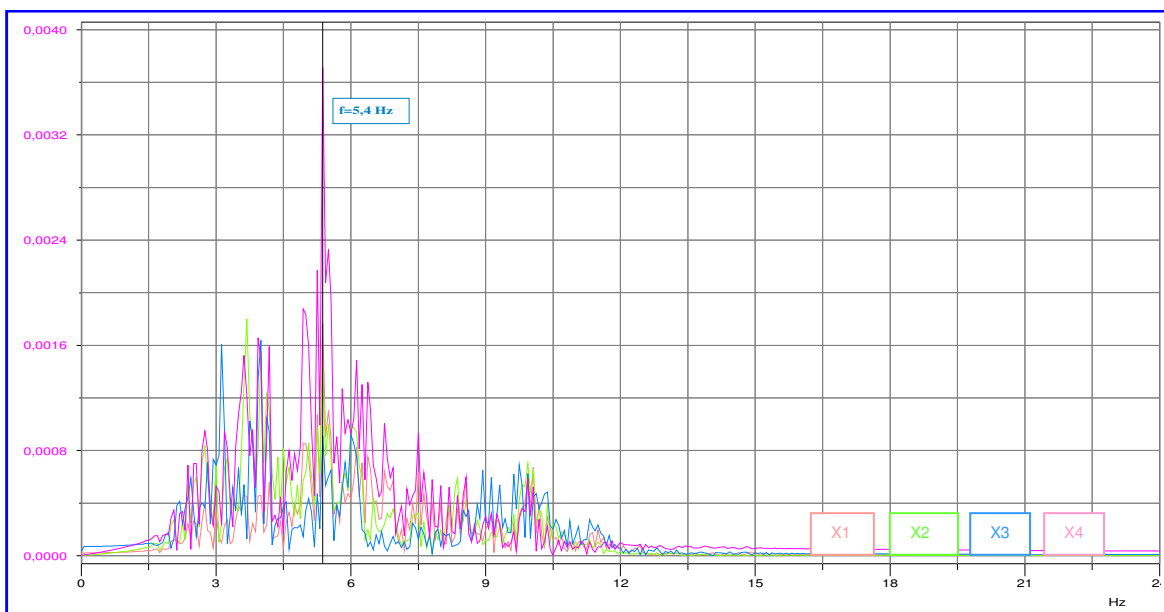


Fig. 46: *Spettrogramma in direzione est-ovest (longitudinale del corpo principale)*

Si vede chiaramente la frequenza individuata nel dominio dei tempi.

La frequenza di 5,4 Hz si riesce a notare, anche negli spettrogrammi delle altre configurazioni (contrassegnate con un ellisse **giallo**).

Di seguito presentiamo degli spettrogrammi ricavati con l'analisi eseguita in verticale sulla *III configurazione* (mediante un altro programma), che confermano quanto trovato nell'elaborazione precedente; presentano in più anche una frequenza di **4,3 Hz** longitudinale non individuata con l'analisi del segnale nel dominio dei tempi.

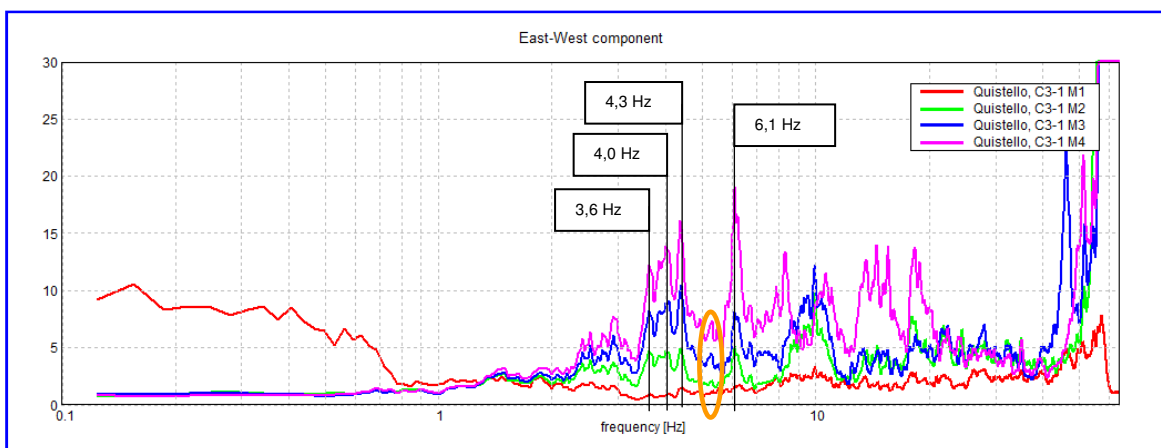


Fig. 47: Spettrogramma della III configurazione in direzione longitudinale

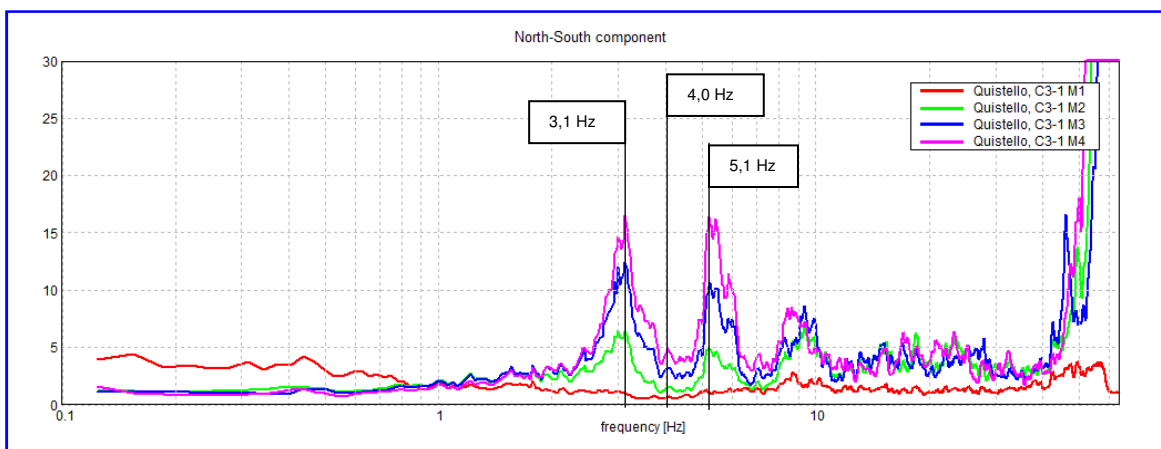


Fig. 48: Spettrogramma della III configurazione in direzione trasversale

## 5.4 Frequenze del terreno



Foto 28: Microsismic posizionato nell'area verde



Foto 29: Microsismic per il rilievo delle frequenze del terreno

Per quel che riguarda il terreno è stata fatta un'analisi con la tecnica dei rapporti spettrali H/V che consiste nel calcolo del rapporto degli spettri di Fourier del rumore sismico nel piano orizzontale H e della componente verticale V:

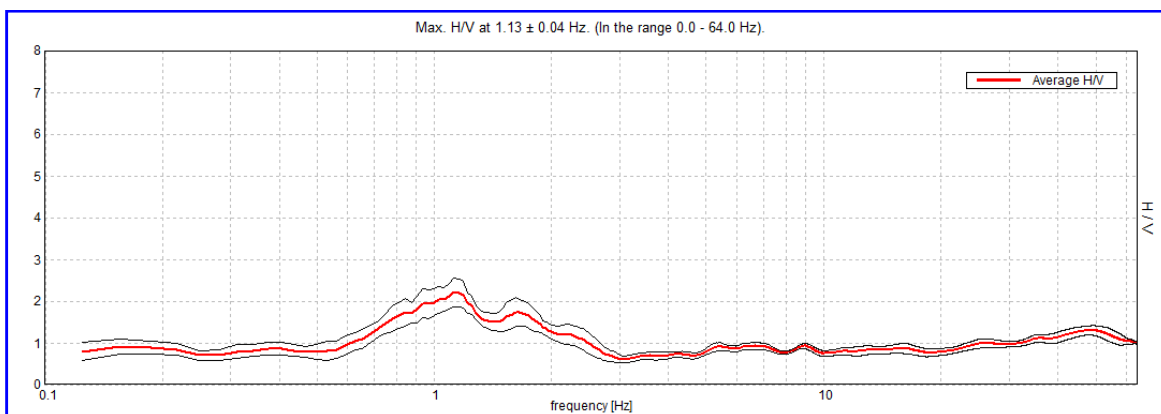


Fig. 49: Valore medio di H/V

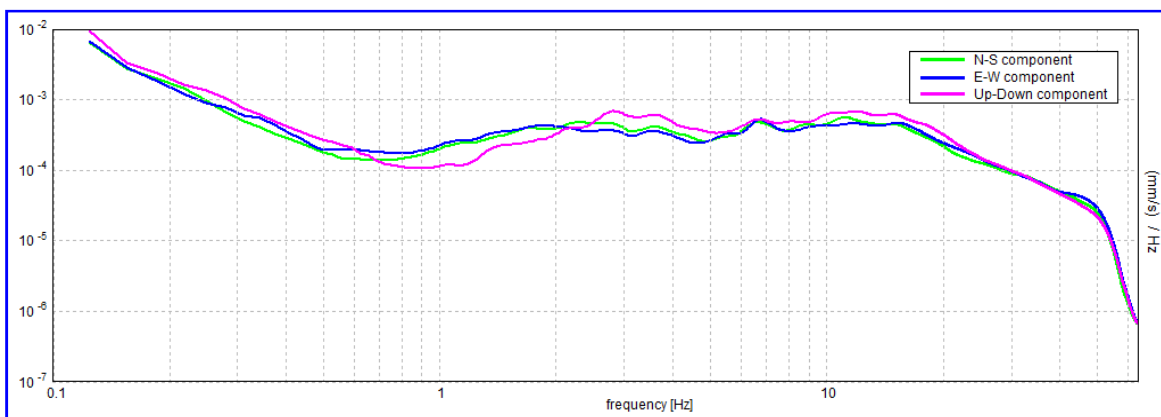


Fig. 50: Spettro di ampiezza necessario per la valutazione delle H/V

Come si può notare nella curva compare la  $f = 1,13 \text{ Hz}$  come frequenza fondamentale di risonanza legato al contatto tra coperture e bedrock sismico in profondità; si nota inoltre una seconda frequenza intorno ai  $1,65 \text{ Hz}$  legata al contatto tra strati più superficiali.

## 6 CONSIDERAZIONI TECNICHE FINALI

Di seguito alcune considerazioni su quanto rilevato:

### 6.1 Indagini su murature

#### 6.1.1 Stima dei moduli elastici

I dati dei cicli di carico eseguiti durante la verifica della tensione di rottura possono inoltre essere utilizzati per determinare i valori del modulo di Young.

La Normativa Italiana indica di assumere, come valore del modulo elastico, quello calcolato nell'intervallo tra 1/10 e 4/10 della tensione di rottura della muratura.

I diagrammi a seguito riportati rappresentano l'individuazione dell'equazione della linea di tendenza lineare basata sulla media delle deformazioni nella prima parte del ciclo di carico.

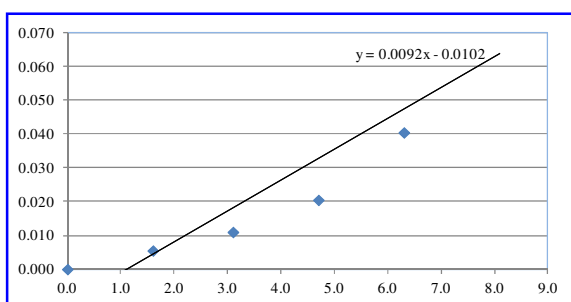


Fig. 51: Rottura corpo principale p.t.

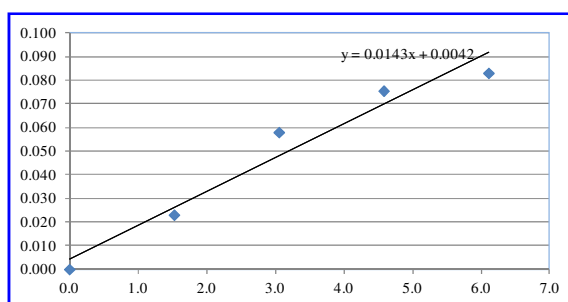


Fig. 52: Rottura corpo principale p.1 °

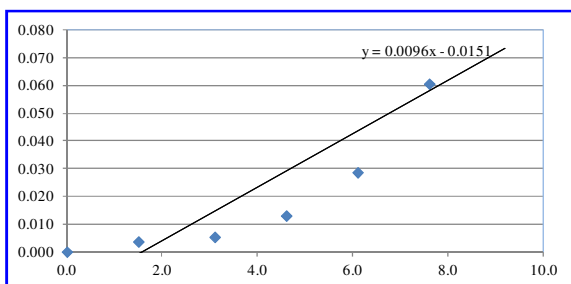


Fig. 53: Rottura ala est p.t.

Utilizzando l'equazione della linea di tendenza lineare individuata nel grafico è possibile risalire alle deformazioni medie nell'intervallo di carico richiesto dalla normativa.

Il modulo di elasticità E si può calcolare attraverso la relazione:

$$E = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\frac{L_2}{L} - \frac{L_1}{L}}$$

dove:  $L_1$  = deformazioni medie misurate dai sensori al 10% del carico di rottura stimato;

$L_2$  = deformazioni medie misurate dai sensori al 40% del carico di rottura stimato;

$L$  = media delle basi di misura;

$\sigma_1$  = 10% del carico di rottura stimato;

$\sigma_2$  = 40% del carico di rottura stimato.

Di conseguenza:

#### **4648/VR – Corpo principale - Piano terra**

Muratura di mattoni pieni e malta di calce. La rottura si è verificata a 1,12 MPa che corrispondono a 11,42 daN/cm<sup>2</sup>.

La linea di tendenza delle deformazioni dei sensori R1 ed R3 è:

$$L=0,0092\sigma-0,0102$$

Per cui abbiamo che  $\sigma_1= 1,14$  daN/cm<sup>2</sup> e  $\sigma_2= 4,56$  daN/cm<sup>2</sup> a cui corrispondono  $L_1=0,000288$  mm,  $L_2=0,031752$  mm ed  $L=361,5$  mm\* da cui deriva che:

$$E = \frac{3,42}{0,000087} = 39310 \text{ daN/cm}^2 = \mathbf{3855 \text{ MPa}}$$

\* Media riferita alla distanza tra i capisaldi dei sensori R1 = 362 mm, ed R3 = 361 mm, in quanto R2 non ha avuto movimenti significativi.

#### **4649/VR – Corpo principale - Piano primo**

Muratura di mattoni pieni e malta di calce. La rottura si è verificata a 1,20 MPa che corrispondono a 12,24 daN/cm<sup>2</sup>.

La linea di tendenza delle deformazioni dei sensori R2 ed R3 è:

$$L=0,0143\sigma+0,0042$$

Per cui abbiamo che  $\sigma_1= 1,22$  daN/cm<sup>2</sup> e  $\sigma_2= 4,88$  daN/cm<sup>2</sup> a cui corrispondono  $L_1=0,021646$  mm,  $L_2=0,073984$  mm ed  $L=351,5$  mm\* da cui deriva che:

$$E = \frac{3,66}{0,000149} = 24564 \text{ daN/cm}^2 = \mathbf{2409 \text{ MPa}}$$

\* Media riferita alla distanza tra i capisaldi dei sensori R2 = 353 mm, ed R3 = 350 mm, in quanto R1 non ha avuto movimenti significativi.

#### **4650/VR – Ala est – Piano terra**

Muratura di mattoni pieni e malta di calce. La rottura si è verificata a 1,79 MPa che corrispondono a 18,25 daN/cm<sup>2</sup>.

La linea di tendenza della media delle deformazioni del secondo ciclo (il primo non è stato preso in considerazione) è:

$$L=0,0096\sigma-0,0151$$

Per cui abbiamo che  $\sigma_1= 1,83$  daN/cm<sup>2</sup> e  $\sigma_2= 7,32$  daN/cm<sup>2</sup> a cui corrispondono  $L_1=0,002468$  mm,  $L_2=0,055172$  mm ed  $L=423$  mm\* da cui deriva che:

$$E = \frac{5,49}{0,000125} = 43920 \text{ daN/cm}^2 = \mathbf{4307 \text{ MPa}}$$

\* Media riferita alla distanza tra i capisaldi dei sensori R1 = 423 mm, ed R2 = 423 mm, in quanto R3 non ha avuto movimenti significativi nel primo ciclo.

Si può notare come i valori dei moduli elastici siano piuttosto elevati per la tipologia di muratura oggetto di prova e questo si può spiegare con il fatto che, nei cicli considerati per il calcolo, le deformazioni sono state piuttosto ridotte.



### 6.1.2 Resistenza a taglio caratteristica

Come già riportato, la resistenza  $\tau_0$  sotto compressione nulla (resistenza a taglio caratteristica) può essere ottenuta con la seguente:

$$\tau_i = \tau_0 + \mu \cdot S_v$$

da cui:

$$\tau_0 = \tau_i - \mu \cdot S_v$$

dove:

$\mu$  è il coefficiente di attrito e deve essere ipotizzato; varia tra 0,3÷1,6 con valore medio 0,8 e coefficiente di variazione compreso fra il 30 ed il 50%;

$S_v$  è lo stato di compressione del provino;

#### 4648/VR – Corpo principale - Piano terra

Muratura in mattoni pieni di laterizio e malta di calce.

R taglio $\tau_i$	stato di compressione	coeff. attrito ( $\mu$ )	$\tau_0$
(N/cm <sup>2</sup> )	(N/cm <sup>2</sup> )	(0,3÷1,6)	(N/cm <sup>2</sup> )
22,54	40,0*	0,5**	2,54

\* stato di compressione medio.

\*\* come coefficiente di attrito si è utilizzato il massimo valore tale da ottenere un risultato positivo.

#### 4649/VR – Corpo principale - Piano primo

Muratura in mattoni pieni di laterizio e malta di calce.

R taglio $\tau_i$	stato di compressione	coeff. attrito ( $\mu$ )	$\tau_0$
(N/cm <sup>2</sup> )	(N/cm <sup>2</sup> )	(0,3÷1,6)	(N/cm <sup>2</sup> )
38,40	28,0*	1,0**	10,40

\* stato di compressione medio.

\*\* come coefficiente di attrito si è utilizzato un valore tale da ottenere un risultato vicino ai limiti per questo tipo di muratura.

#### 4650/VR – Ala est – Piano terra

Muratura in mattoni pieni di laterizio e malta di calce.

R taglio $\tau_i$	stato di compressione	coeff. attrito ( $\mu$ )	$\tau_0$
(N/cm <sup>2</sup> )	(N/cm <sup>2</sup> )	(0,3÷1,6)	(N/cm <sup>2</sup> )
27,61	23,0	0,8	9,21

### 6.1.3 Tabella riassuntiva dei dati

Riassumiamo gli esiti delle prove con martinetti piatti e degli shave-test sulle murature:

Prova	Zona	Piano	Carico di esercizio (MPa)	Carico di rottura (MPa)	Resistenza a taglio (N/cm <sup>2</sup> )
4648/VR	corpo principale	terra	0,37÷0,41	1,12	2,54
4649/VR	corpo principale	primo	0,26÷0,30	1,20	10,40
4650/VR	ala est	terra	0,22	1,79	9,21

### 6.2 Indagini georadar per la ricerca di fondazioni

Con le indagini georadar non si sono individuati target che potessero confermare in maniera certa la presenza di allargamenti delle sezioni murarie al di sotto del piano di campagna sul perimetro esterno ed al di sotto del pavimento dell'interrato eccezion fatta per la stanza 2 all'interrato in cui target ricorrenti in tutte le scansioni, per dimensioni e profondità, potrebbero far pensare a fondazioni.

### 6.3 Caratterizzazione dinamica

Si possono riassumere le prime frequenze determinate sperimentalmente nella seguente tabella:

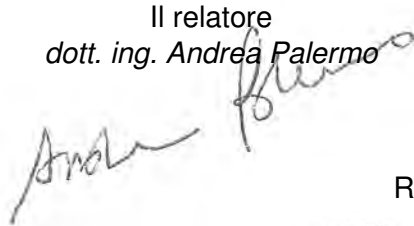
Longitudinale [Hz]	Trasversale [Hz]	Descrizione
-	3,1	flessionale trasversale 
3,6	-	flessionale longitudinale 
4,0	4,0	torsionale 
4,3	-	n.d.
-	5,1	flessionale trasversale 
5,4	-	torsionale (ala ovest) 
6,1	-	- 

Le frequenze del terreno libero nei dintorni dell'edificio sono: **1,13 Hz** ed **1,65 Hz**.


**N.B.:** La 4 Emme Service S.p.A. risponde esclusivamente della correttezza delle misure ottenute in cantiere. I calcoli e le valutazioni successive sono da considerarsi solo a supporto dell'indagine e devono essere approvati dal Tecnico Incaricato.

Verona, 06 maggio 2015

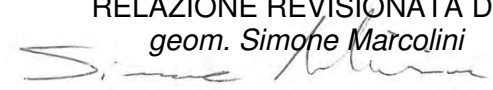
Il relatore  
dott. ing. Andrea Palermo



4 EMME Service S.p.A.  
Il Direttore del Centro di Verona  
geom. Paolo Bassi



RELAZIONE REVISIONATA DA:  
geom. Simone Marcolini





## 4 EMME Service S.p.A.

### Laboratorio Prove Materiali

Via L. Zuegg, 20 – 39100 Bolzano Tel. 0471 543182 – Fax 543180  
laboratorio.bz@4emme.it – www.4emme.it

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

Pagina 1 di 9

#### RAPPORTO DI PROVA

NR. 1444

del 30/04/2015

Intestatario rapporto di prova:

Comune di Quistello  
Piazza Matteotti, 1  
46026 Quistello (MN)

Verbale di accettazione:

Nr. 3024 del 09/04/2015

Descrizione della prova:

**DESCRIZIONE PETROGRAFICA**

Norme di riferimento:

UNI 11176:2006

Cantiere / Luogo del prelievo:

Sede del Municipio

Descrizione del materiale:

Campioni di malta

Quantità:

8

Prelievo effettuato da:

4 Emme Service Spa

Data prelievo:

08/04/2015

Data della prova:

28/04/2015

*Il presente Rapporto di Prova si riferisce solo al campione sottoposto alle prove.*

Lo sperimentatore  
*dott. geol. Andrea Tralli*

Il direttore del laboratorio  
*dott. ing. Settimio Marinello*

**RAPPORTO DI PROVA**
**NR. 1444**
**del 30/04/2015**
**SIGLA CAMPIONE: 1A – intonaco – Piano terra – interno – lato est**
**Descrizione macroscopica**

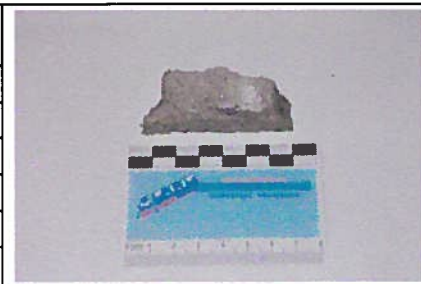
Malta di colore grigio chiaro a coesione tenace a granulometria arenacea.

**Descrizione mineralogico-petrografica**

TESSITURA	COMPONENTI		ANALISI MODALE*
<b>Matrice</b>	Formato da calcite a struttura omogenea e tessitura micritica.		41 %
<b>Porosità da aggregati</b>	Definita da vacui di forma irregolare.		10 %
<b>Porosità da legante</b>	Definita da vacui di forma irregolare.		6 %
<b>Porosità da sutura aggregato/legante</b>	Non definita.		-
<b>Aggregati</b>	Calcite	50 %	43 %
	Calcareniti	46 %	
	Pirosseni	2 %	
	Biotite	2 %	

\* Determinazioni percentuali sulla base di una stima visuale (SHVETSOV M.S. - 1954).

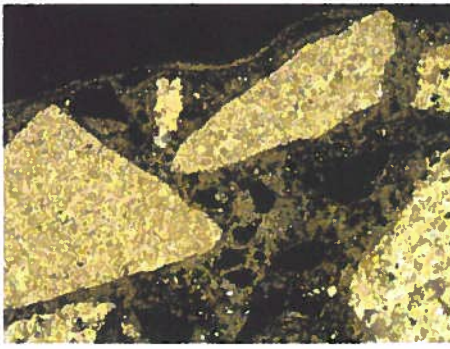
**Descrizione microscopica degli aggregati**

TESSITURA	COMPONENTI	ANALISI MODALE*	
Granulometria	Siltoso (minore di 62,5 µm).	28 %	
	Arenaceo (62,5 µm – 2,0 mm).	70 %	
	Conglomeratico fine (tra 2,0 e 4,0 mm).	2 %	
	Conglomeratico grossolano (oltre i 4,0 mm).	-	
Forma	Da arrotondato ad angoloso.		
Sfericità	Medio-alta.		
Classazione	Scarsa. Non si notano orientazioni preferenziali dei clasti.		

Campione tal quale.

\* Determinazioni percentuali sulla base di una stima visuale (SHVETSOV M.S. - 1954).

**Caratterizzazione del materiale**

<b>Classificazione dell'impasto</b>	<p>Malta di colore grigio chiaro, tenace, realizzata con calce idraulica caricata con sabbia principalmente carbonatica.</p> <p>La granulometria dell'aggregato varia dalla classe siltoso a quella conglomeratica fine con prevalenza della frazione arenacea.</p> <p>Il rapporto aggregato/legante in pasta è circa 3/1.</p> <p>La porosità totale è medio-bassa, definita da vacui di forma prevalentemente irregolare.</p> <p>Lo stato di conservazione è buono.</p>	
<b>Osservazioni particolari</b>	L'impasto analizzato può essere classificato come appartenente alla classe M 2,5 (Idraulica) secondo il D.M. 14/01/2008.	

Fotomicrografia al Microscopio Polarizzatore in luce trasmessa, sezione sottile, 40 x N+.

Lo sperimentatore  
dott. geol. Andrea Tralli

Il direttore del laboratorio  
dott. ing. Settimio Martinello



**RAPPORTO DI PROVA**
**NR. 1444**
**del 30/04/2015**
**SIGLA CAMPIONE: 1B – malta – Piano terra – interno – lato est**
**Descrizione macroscopica**

Malta di colore grigio chiaro a coesione tenace a granulometria arenacea.

**Descrizione mineralogico-petrografica**

TESSITURA	COMPONENTI		ANALISI MODALE*
<b>Matrice</b>	Formato da calcite a struttura omogenea e tessitura micritica.		36 %
<b>Porosità da aggregati</b>	Definita da vacui di forma irregolare.		11 %
<b>Porosità da legante</b>	Definita da vacui di forma irregolare.		10 %
<b>Porosità da sutura aggregato/legante</b>	Non definita.		-
<b>Aggregati</b>	Quarzo	50 %	43 %
	Calcareniti	35 %	
	Rocce metamorfiche	10 %	
	Feldspati	3 %	
	Biotite	2 %	

\* Determinazioni percentuali sulla base di una stima visuale (SHVETSOV M.S. - 1954).

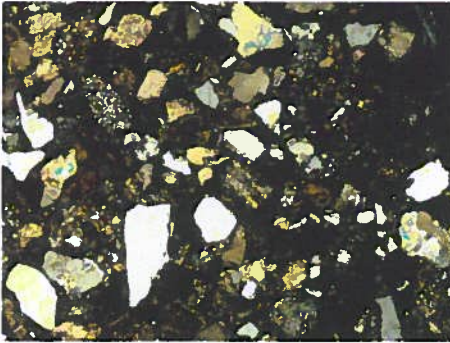
**Descrizione microscopica degli aggregati**

TESSITURA	COMPONENTI	ANALISI MODALE*	
Granulometria	Siltoso (minore di 62,5 µm).	27 %	
	Arenaceo (62,5 µm – 2,0 mm).	72 %	
	Conglomeratico fine (tra 2,0 e 4,0 mm).	1 %	
	Conglomeratico grossolano (oltre i 4,0 mm).	-	
Forma	Da arrotondato ad angoloso.		
Sfericità	Medio-alta.		
Classazione	Scarsa. Non si notano orientazioni preferenziali dei clasti.		

Campione tal quale.

\* Determinazioni percentuali sulla base di una stima visuale (SHVETSOV M.S. - 1954).

**Caratterizzazione del materiale**

<b>Classificazione dell'impasto</b>	<p>Malta di colore grigio chiaro, tenace, realizzata con calce idraulica caricata con sabbia carbonatica e silicatica.</p> <p>La granulometria dell'aggregato varia dalla classe siltoso a quella conglomeratica fine con prevalenza della frazione arenacea.</p> <p>Il rapporto aggregato/legante in pasta è circa 3/1.</p> <p>La porosità totale è medio-bassa, definita da vacui di forma prevalentemente irregolare.</p> <p>Lo stato di conservazione è buono.</p>	
<b>Osservazioni particolari</b>	L'impasto analizzato può essere classificato come appartenente alla classe M 2,5 (Idraulica) secondo il D.M. 14/01/2008.	

Lo sperimentatore  
dott. geol. Andrea Tralli

Il direttore del laboratorio  
dott. ing. Stefano Martinello

**RAPPORTO DI PROVA**
**NR. 1444**
**del 30/04/2015**
**SIGLA CAMPIONE: 2A – intonaco – Primo Piano – interno – lato ovest**
**Descrizione macroscopica**

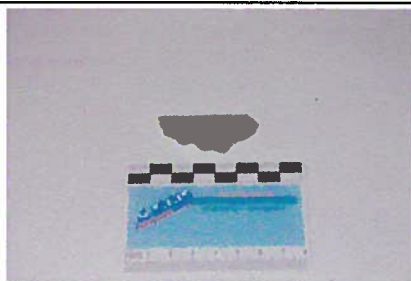
Malta di colore grigio chiaro a coesione tenace a granulometria arenacea.

**Descrizione mineralogico-petrografica**

TESSITURA	COMPONENTI		ANALISI MODALE*
<b>Matrice</b>	Formato da calcite a struttura omogenea e tessitura micritica.		41 %
<b>Porosità da aggregati</b>	Definita da vacui di forma irregolare.		7 %
<b>Porosità da legante</b>	Definita da vacui di forma irregolare.		8 %
<b>Porosità da sutura aggregato/legante</b>	Non definita.		-
<b>Aggregati</b>	Quarzo	40 %	44 %
	Calcareniti	36 %	
	Feldspati	10 %	
	Rocce metamorfiche	10 %	
	Piroseni	2 %	
	Biotite	2 %	

\* Determinazioni percentuali sulla base di una stima visuale (SHVETSOV M.S. - 1954).

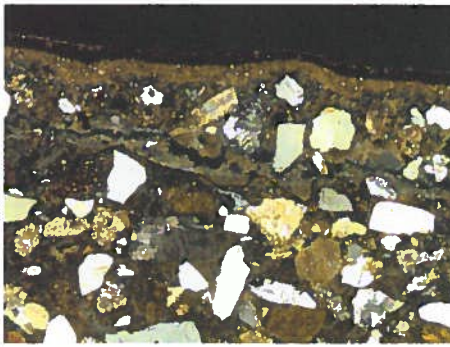
**Descrizione microscopica degli aggregati**

TESSITURA	COMPONENTI	ANALISI MODALE*	
Granulometria	Siltoso (minore di 62,5 µm).	25 %	
	Arenaceo (62,5 µm – 2,0 mm).	75 %	
	Conglomeratico fine (tra 2,0 e 4,0 mm).	-	
	Conglomeratico grossolano (oltre i 4,0 mm).	-	
Forma	Da arrotondato ad angoloso.		
Sfericità	Medio-alta.		
Classazione	Scarsa. Non si notano orientazioni preferenziali dei clasti.		

Campione tal quale.

\* Determinazioni percentuali sulla base di una stima visuale (SHVETSOV M.S. - 1954).

**Caratterizzazione del materiale**

<b>Classificazione dell'impasto</b>	<p>Malta di colore grigio chiaro, tenace, realizzata con calce idraulica caricata con sabbia carbonatica e silicatica.</p> <p>La granulometria dell'aggregato varia dalla classe siltoso a quella arenacea con prevalenza della frazione arenacea.</p> <p>Il rapporto aggregato/legante in pasta è circa 3/1.</p> <p>La porosità totale è medio-bassa, definita da vacui di forma prevalentemente irregolare.</p> <p>Lo stato di conservazione è buono.</p>	
<b>Osservazioni particolari</b>	L'impasto analizzato può essere classificato come appartenente alla classe M 2,5 (Idraulica) secondo il D.M. 14/01/2008.	

Fotomicrografia al Microscopio Polarizzatore in luce trasmessa, sezione sottile, 40 x N+.

Lo sperimentatore  
dott. geol. Andrea Tralli

Il direttore del laboratorio  
dott. ing. Stefano Martinello

**RAPPORTO DI PROVA**
**NR. 1444**
**del 30/04/2015**
**SIGLA CAMPIONE: 2B – malta – Primo Piano – interno – lato ovest**
**Descrizione macroscopica**

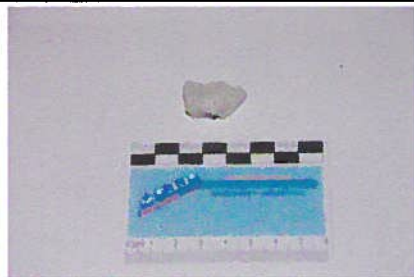
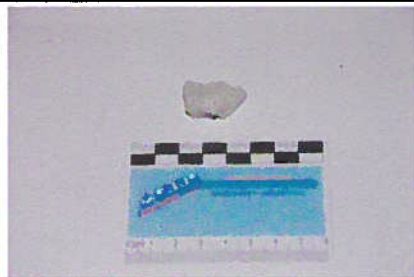
Malta di colore grigio chiaro a coesione tenace a granulometria arenacea.

**Descrizione mineralogico-petrografica**

TESSITURA	COMPONENTI	ANALISI MODALE*
<b>Matrice</b>	Formato da calcite a struttura omogenea e tessitura micritica.	40 %
<b>Porosità da aggregati</b>	Definita da vacui di forma irregolare.	11 %
<b>Porosità da legante</b>	Definita da vacui di forma irregolare.	8 %
<b>Porosità da sutura aggregato/legante</b>	Non definita.	-
<b>Aggregati</b>	Quarzo	38 %
	Calcareni	35 %
	Feldspati	13 %
	Rocce metamorfiche	9 %
	Piroseni	3 %
	Biotite	2 %
		41 %

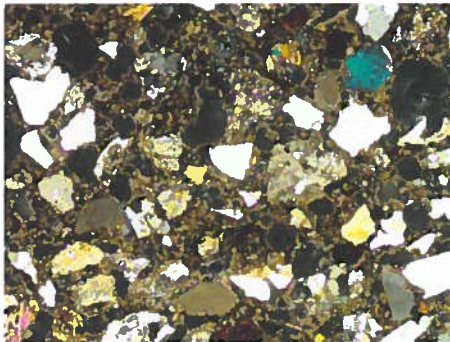
\* Determinazioni percentuali sulla base di una stima visuale (SHVETSOV M.S. - 1954).

**Descrizione microscopica degli aggregati**

TESSITURA	COMPONENTI	ANALISI MODALE*	
<b>Granulometria</b>	Siltoso (minore di 62,5 µm).	23 %	
	Arenaceo (62,5 µm – 2,0 mm).	77 %	
	Conglomeratico fine (tra 2,0 e 4,0 mm).	-	
	Conglomeratico grossolano (oltre i 4,0 mm).	-	
<b>Forma</b>	Da arrotondato ad angolare.		
<b>Sfericità</b>	Medio-alta.		
<b>Classazione</b>	Scarsa. Non si notano orientazioni preferenziali dei clasti.		

\* Determinazioni percentuali sulla base di una stima visuale (SHVETSOV M.S. - 1954).

**Caratterizzazione del materiale**

<b>Classificazione dell'impasto</b>	<p>Malta di colore grigio chiaro, tenace, realizzata con calce idraulica caricata con sabbia carbonatica e silicatica.</p> <p>La granulometria dell'aggregato varia dalla classe siltoso a quella arenacea con prevalenza della frazione arenacea.</p> <p>Il rapporto aggregato/legante in pasta è circa 3/1.</p> <p>La porosità totale è medio-bassa, definita da vacui di forma prevalentemente irregolare.</p> <p>Lo stato di conservazione è buono.</p>	
<b>Osservazioni particolari</b>	L'impasto analizzato può essere classificato come appartenente alla classe M 2,5 (Idraulica) secondo il D.M. 14/01/2008.	Fotomicrografia al Microscopio Polarizzatore in luce trasmessa, sezione sottile, 40 x N+.

Lo sperimentatore  
dott. geol. Andrea Tralli

Il direttore del laboratorio  
dott. ing. Stefano Martinello



**RAPPORTO DI PROVA**
**NR. 1444**
**del 30/04/2015**
**SIGLA CAMPIONE: 3A – intonaco – Piano Terra – interno – lato est**
**Descrizione macroscopica**

Malta di colore grigio chiaro a coesione tenace a granulometria arenacea.

**Descrizione mineralogico-petrografica**

TESSITURA	COMPONENTI		ANALISI MODALE*
<b>Matrice</b>	Formato da calcite a struttura omogenea e tessitura micritica.		41 %
<b>Porosità da aggregati</b>	Definita da vacui di forma irregolare.		9 %
<b>Porosità da legante</b>	Definita da vacui di forma irregolare.		8 %
<b>Porosità da sutura aggregato/legante</b>	Non definita.		-
<b>Aggregati</b>	Quarzo	37 %	42 %
	Calcareni	35 %	
	Feldspati	12 %	
	Rocce metamorfiche	10 %	
	Pirosseni	4 %	
	Biotite	2 %	

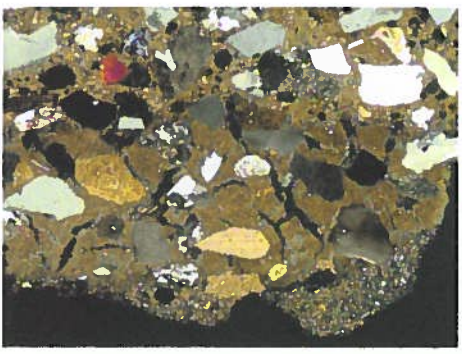
\* Determinazioni percentuali sulla base di una stima visuale (SHVETSOV M.S. - 1954).

**Descrizione microscopica degli aggregati**

TESSITURA	COMPONENTI	ANALISI MODALE*	
<b>Granulometria</b>	Siltoso (minore di 62,5 µm).	26 %	
	Arenaceo (62,5 µm – 2,0 mm).	74 %	
	Conglomeratico fine (tra 2,0 e 4,0 mm).	-	
	Conglomeratico grossolano (oltre i 4,0 mm).	-	
<b>Forma</b>	Da arrotondato ad angoloso.		
<b>Sfericità</b>	Medio-alta.		Campione tal quale.
<b>Classazione</b>	Scarsa. Non si notano orientazioni preferenziali dei clasti.		

\* Determinazioni percentuali sulla base di una stima visuale (SHVETSOV M.S. - 1954).

**Caratterizzazione del materiale**

<b>Classificazione dell'impasto</b>	<p>Malta di colore grigio chiaro, tenace, realizzata con calce idraulica caricata con sabbia carbonatica e silicatica.</p> <p>La granulometria dell'aggregato varia dalla classe siltoso a quella arenacea con prevalenza della frazione arenacea.</p> <p>Il rapporto aggregato/legante in pasta è circa 3/1.</p> <p>La porosità totale è medio-bassa, definita da vacui di forma prevalentemente irregolare.</p> <p>Lo stato di conservazione è buono.</p>	
<b>Osservazioni particolari</b>	L'impasto analizzato può essere classificato come appartenente alla classe M 2,5 (Idraulica) secondo il D.M. 14/01/2008.	

Fotomicrografia al Microscopio Polarizzatore in luce trasmessa, sezione sottile, 40 x N+.

Lo sperimentatore

dott. geol. Andrea Tralli

Il direttore del laboratorio

dott. ing. Settimio Martarello

**RAPPORTO DI PROVA**
**NR. 1444**
**del 30/04/2015**
**SIGLA CAMPIONE: 3B – malta – Piano Terra – interno – lato est**
**Descrizione macroscopica**


Malta di colore grigio chiaro a coesione tenace a granulometria arenacea.

**Descrizione mineralogico-petrografica**

TESSITURA	COMPONENTI	ANALISI MODALE*
<b>Matrice</b>	Formato da calcite a struttura omogenea e tessitura micritica.	41 %
<b>Porosità da aggregati</b>	Definita da vacui di forma irregolare.	10 %
<b>Porosità da legante</b>	Definita da vacui di forma irregolare.	8 %
<b>Porosità da sutura aggregato/legante</b>	Non definita.	-
<b>Aggregati</b>	Quarzo	35 %
	Calcareni	34 %
	Rocce metamorfiche	15 %
	Feldspati	10 %
	Piroseni	4 %
	Biotite	2 %

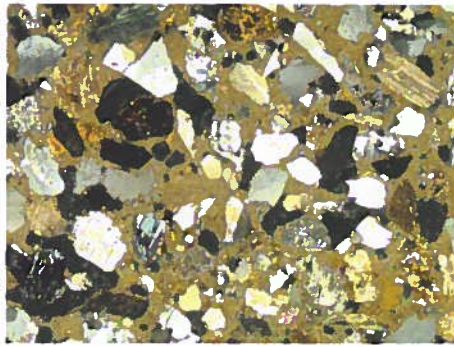
\* Determinazioni percentuali sulla base di una stima visuale (SHVETSOV M.S. - 1954).

**Descrizione microscopica degli aggregati**

TESSITURA	COMPONENTI	ANALISI MODALE*	
<b>Granulometria</b>	Siltoso (minore di 62,5 µm).	22 %	
	Arenaceo (62,5 µm – 2,0 mm).	70 %	
	Conglomeratico fine (tra 2,0 e 4,0 mm).	8 %	
	Conglomeratico grossolano (oltre i 4,0 mm).	-	
<b>Forma</b>	Da arrotondato ad angoloso.		
<b>Sfericità</b>	Medio-alta.		<b>Campione tal quale.</b>
<b>Classazione</b>	Scarsa. Non si notano orientazioni preferenziali dei clasti.		

\* Determinazioni percentuali sulla base di una stima visuale (SHVETSOV M.S. - 1954).

**Caratterizzazione del materiale**

<b>Classificazione dell'impasto</b>	<p>Malta di colore grigio chiaro, tenace, realizzata con calce idraulica caricata con sabbia carbonatica e silicatica.</p> <p>La granulometria dell'aggregato varia dalla classe siltoso a quella conglomeratica fine con prevalenza della frazione arenacea.</p> <p>Il rapporto aggregato/legante in pasta è circa 3/1.</p> <p>La porosità totale è medio-bassa, definita da vacui di forma prevalentemente irregolare.</p> <p>Lo stato di conservazione è buono.</p>	
<b>Osservazioni particolari</b>	L'impasto analizzato può essere classificato come appartenente alla classe M 2,5 (Idraulica) secondo il D.M. 14/01/2008.	<b>Fotomicrografia al Microscopio Polarizzatore in luce trasmessa, sezione sottile, 40 x N+.</b>

Lo sperimentatore  
dott. geol. *Andrea Tralli*

Il direttore del laboratorio  
dott. ing. *Stefano Martinello*



**RAPPORTO DI PROVA**
**NR. 1444**
**del 30/04/2015**
**SIGLA CAMPIONE: 4 – intonaco – Piano Terra – esterno ingresso – nord**
**Descrizione macroscopica**

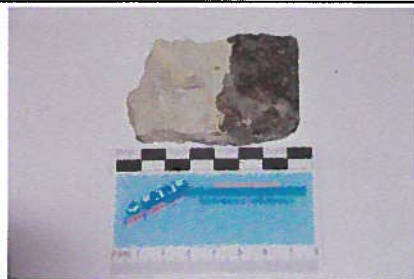
Malta di colore grigio chiaro a coesione tenace a granulometria arenacea.

**Descrizione mineralogico-petrografica**

TESSITURA	COMPONENTI		ANALISI MODALE*
<b>Matrice</b>	Formato da calcite a struttura omogenea e tessitura micritica.		39 %
<b>Porosità da aggregati</b>	Definita da vacui di forma irregolare.		7 %
<b>Porosità da legante</b>	Definita da vacui di forma irregolare.		9 %
<b>Porosità da sutura aggregato/legante</b>	Non definita.		-
<b>Aggregati</b>	Quarzo	39 %	45 %
	Calcareni	33 %	
	Rocce metamorfiche	12 %	
	Feldspati	10 %	
	Piroseni	3 %	
	Biotite	3 %	

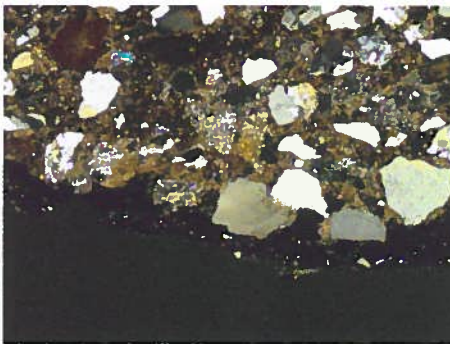
\* Determinazioni percentuali sulla base di una stima visuale (SHVETSOV M.S. - 1954).

**Descrizione microscopica degli aggregati**

TESSITURA	COMPONENTI	ANALISI MODALE*	
<b>Granulometria</b>	Siltoso (minore di 62,5 µm).	23 %	
	Arenaceo (62,5 µm – 2,0 mm).	70 %	
	Conglomeratico fine (tra 2,0 e 4,0 mm).	7 %	
	Conglomeratico grossolano (oltre i 4,0 mm).	-	
<b>Forma</b>	Da arrotondato ad angoloso.		
<b>Sfericità</b>	Medio-alta.		<b>Campione tal quale.</b>
<b>Classazione</b>	Scarsa. Non si notano orientazioni preferenziali dei clasti.		

\* Determinazioni percentuali sulla base di una stima visuale (SHVETSOV M.S. - 1954).

**Caratterizzazione del materiale**

<b>Classificazione dell'impasto</b>	<p>Malta di colore grigio chiaro, tenace, realizzata con calce idraulica caricata con sabbia carbonatica e silicatica.</p> <p>La granulometria dell'aggregato varia dalla classe siltoso a quella conglomeratica fine con prevalenza della frazione arenacea.</p> <p>Il rapporto aggregato/legante in pasta è circa 3/1.</p> <p>La porosità totale è medio-bassa, definita da vacui di forma prevalentemente irregolare.</p> <p>Lo stato di conservazione è buono.</p>	
<b>Osservazioni particolari</b>	L'impasto analizzato può essere classificato come appartenente alla classe M 2,5 (Idraulica) secondo il D.M. 14/01/2008.	

Fotomicrografia al Microscopio Polarizzatore in luce trasmessa, sezione sottile, 40 x N+.

Lo sperimentatore  
dott. **Andrea Tralli**

Il direttore del laboratorio  
dott. **Settimio Martino**

**RAPPORTO DI PROVA**
**NR. 1444**
**del 30/04/2015**
**SIGLA CAMPIONE: 5 – intonaco – Piano Terra – esterno – est**
**Descrizione macroscopica**

Malta di colore grigio chiaro a coesione tenace a granulometria arenacea.

**Descrizione mineralogico-petrografica**

TESSITURA	COMPONENTI	ANALISI MODALE*
<b>Matrice</b>	Formato da calcite a struttura omogenea e tessitura micritica.	39 %
<b>Porosità da aggregati</b>	Definita da vacui di forma irregolare.	7 %
<b>Porosità da legante</b>	Definita da vacui di forma irregolare.	8 %
<b>Porosità da sutura aggregato/legante</b>	Non definita.	-
<b>Aggregati</b>	Quarzo	35 %
	Rocce metamorfiche	30 %
	Calcareni	22 %
	Feldspati	10 %
	Piroseni	2 %
	Biotite	1 %


\* Determinazioni percentuali sulla base di una stima visuale (SHVETSOV M.S. - 1954).

**Descrizione microscopica degli aggregati**

TESSITURA	COMPONENTI	ANALISI MODALE*	
<b>Granulometria</b>	Siltoso (minore di 62,5 µm).	25 %	
	Arenaceo (62,5 µm – 2,0 mm).	67 %	
	Conglomeratico fine (tra 2,0 e 4,0 mm).	8 %	
	Conglomeratico grossolano (oltre i 4,0 mm).	-	
<b>Forma</b>	Da arrotondato ad angoloso.		
<b>Sfericità</b>	Medio-alta.		<b>Campione tal quale.</b>
<b>Classazione</b>	Scarsa. Non si notano orientazioni preferenziali dei clasti.		

\* Determinazioni percentuali sulla base di una stima visuale (SHVETSOV M.S. - 1954).

**Caratterizzazione del materiale**

<b>Classificazione dell'impasto</b>	<p>Malta di colore grigio chiaro, tenace, realizzata con calce idraulica caricata con sabbia carbonatica e silicatica.</p> <p>La granulometria dell'aggregato varia dalla classe siltoso a quella conglomeratica fine con prevalenza della frazione arenacea.</p> <p>Il rapporto aggregato/legante in pasta è circa 3/1.</p> <p>La porosità totale è medio-bassa, definita da vacui di forma prevalentemente irregolare.</p> <p>Lo stato di conservazione è buono.</p>	
<b>Osservazioni particolari</b>	L'impasto analizzato può essere classificato come appartenente alla classe M 2,5 (Idraulica) secondo il D.M. 14/01/2008.	<b>Fotomicrografia al Microscopio Polarizzatore in luce trasmessa, sezione sottile, 40 x N+.</b>

Lo sperimentatore  
dott. geol. Andrea Tralli

Il direttore del laboratorio  
dott. ing. Settimio Martinello