



COMUNE DI L'AQUILA

SETTORE RICOSTRUZIONE PUBBLICA



LAVORI DI CONSOLIDAMENTO E RECUPERO DI PALAZZO MARGHERITA IN PIAZZA PALAZZO – L'AQUILA

Progetto preliminare

Responsabile del Settore Ricostruzione Pubblica

Dott. Ing. Mario DI GREGORIO

Responsabile Unico del Procedimento

Dott. Ing. Mario DI GREGORIO

Progettazione Preliminare:

Geom. Carlo Cafaggi

P.I. Livio Stefanucci

Arch. Federica Sulpizio

Ing. Emanuela Ferrini

Geom. Stefano Graziani

Ing. Giuseppina Ambrosio

Serie: Rilievo geometrico e analisi del danno	Data: Giugno 2012
Oggetto: R.2 – Rilievo materico costruttivo	

INDICE DEI CONTENUTI

1. INTRODUZIONE	3
2. PROVE SPERIMENTALI DI CARATTERIZZAZIONE DEI MATERIALI.....	3
2.1. Definizione della campagna di indagine	3
3. LOCALIZZAZIONE DELLE PROVE SPERIMENTALI	4
4. SAGGI	6
4.1. Saggi sulle murature	6
4.2. Saggi in copertura	10
5. PROVE CON MARTINETTI PIATTI	12
6. PROVE SONICHE	32
6.1. Caratteristiche Tecniche Della Strumentazione.....	32
6.2. Schede Indagini Soniche.....	33
6.3. Risultati prove soniche	41
7. RAPPORTO DI INDAGINI TERMOGRAFICHE	43
7.1. TIPOLOGIA E MODALITÀ DI INDAGINE.....	43
7.2. CARATTERISTICHE TECNICHE.....	43
7.3. NORMATIVA DI RIFERIMENTO	44
7.4. RISULTATI INDAGINI TERMOGRAFICHE	44
8. RAPPORTO INDAGINE GEORADAR	45
8.1. TIPOLOGIA DI INDAGINE	45
8.2. ACQUISIZIONE DEL SEGNALE RADAR	45
8.3. SCHEMA DI ACQUISIZIONE	46
8.4. RISULTATI INDAGINI GEORADAR.....	46
BIBLIOGRAFIA	48
9. Allegati	49
9.1. Termografie	49
<i>RISULTATI – FACCIATA ESTERNA LATO NORD-EST</i>	<i>65</i>
<i>RISULTATI – FACCIATA ESTERNA LATO NORD-OVEST</i>	<i>82</i>
<i>RISULTATI – FACCIATA ESTERNA LATO SUD-OVEST</i>	<i>88</i>

1. INTRODUZIONE

La seguente relazione di riferisce alla campagna di prove sperimentali effettuata sulle strutture del Palazzo Margherita, sede dell'amministrazione comunale della città dell'Aquila. L'incarico è stato commissionato dallo stesso ente comunale.

Il piano delle indagini fa parte della fase della diagnostica del progetto e va predisposto nell'ambito di un quadro generale volto a mostrare le motivazioni e gli obiettivi delle indagini stesse. Nel caso in cui vengano effettuate prove sulla struttura, attendibili ed in numero statisticamente significativo, i valori delle resistenze meccaniche dei materiali vengono desunti da queste e confrontati con quelli previsti nelle NTC 2008 [2].

La costruzione è di tipologia isolata con tre piani fuori terra; la struttura è in muratura portante costituita principalmente da blocchi in pietra e malta di calce.

Lo scopo della presente campagna di indagine è quello di identificare le differenti tipologie di murature che costituiscono la struttura portante e caratterizzarne i parametri di resistenza meccanica ed elasticità delle strutture portanti.

2. PROVE SPERIMENTALI DI CARATTERIZZAZIONE DEI MATERIALI

La campagna di prove sperimentali è stata definita in primo luogo sulla base di una attenta *Ispezione Visiva*, finalizzata alla conoscenza dei tipi di apparecchiatura muraria presente nel fabbricato e all'individuazione di eventuali segni di lesionamento significativi. Le indagini sperimentali sono consistite complessivamente in:

- n° 6 saggi sulle murature mediante rimozione di parti di intonaco;
- n° 9 prove soniche (4 prove indirette e 5 prove dirette);
- n° 1 prova con martinetto piatto singolo;
- n° 4 prove con martinetto piatto doppio;
- varie indagini georadar;
- varie acquisizioni termografiche.

2.1. Definizione della campagna di indagine

L'edificio oggetto di analisi ha struttura portante in muratura di diverse tipologie. A seguito dell'ispezione visiva, sono state individuate le porzioni significative per sperimentarle con il metodo dei martinetti piatti doppi al fine della determinazione delle proprietà meccaniche. Vari saggi sulle murature e prove soniche effettuate su maschi murari a campione hanno consentito di studiare l'omogeneità delle strutture murarie e ragionevolmente, di estendere o meno la validità della prova con martinetto piatto all'intero corpo di fabbrica.

3. LOCALIZZAZIONE DELLE PROVE SPERIMENTALI

Di seguito si riportano schemi di planimetrie con indicate le prove sperimentali effettuate con la nomenclatura indicata in Tabella 1: legenda delle prove effettuate

PIANO	TIPO DI PROVA	N°
PT: piano terra	MPD: martinetto piatto doppio	numero della prova
PI: piano primo	MPS: martinetto piatto singolo	
	S: indagine sonica	
	RI: rimozione di intonaco	

Tabella 1: legenda delle prove effettuate

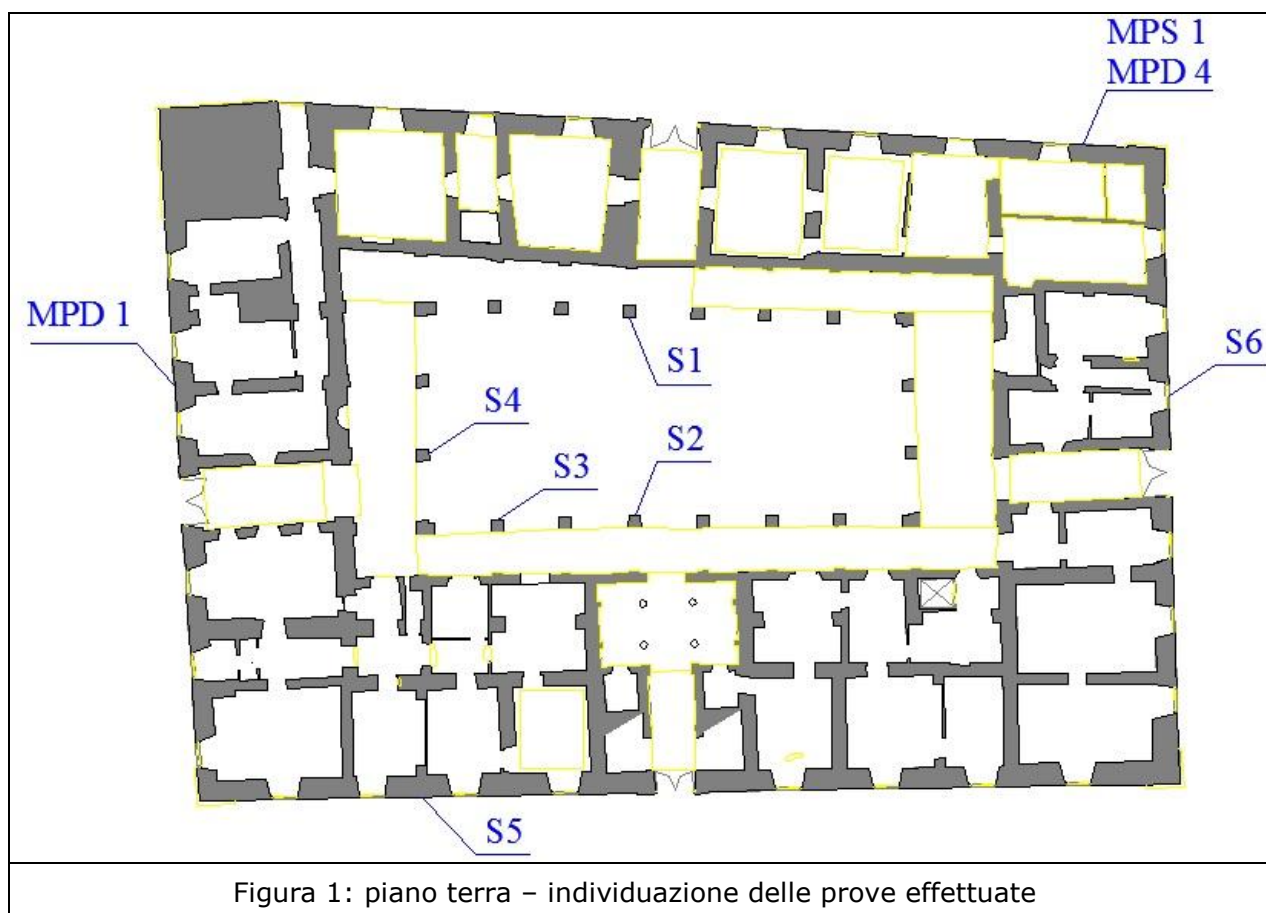


Figura 1: piano terra - individuazione delle prove effettuate

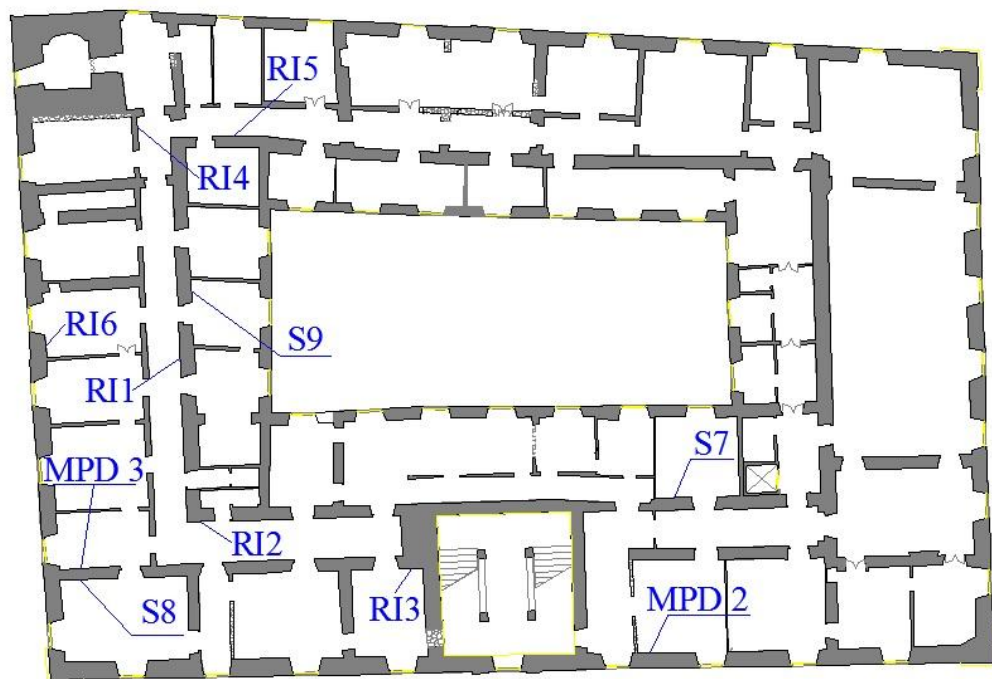


Figura 2: piano primo – individuazione delle prove effettuate

PROVE SPERIMENTALI SULLE MURATURE

4. SAGGI

4.1. Saggi sulle murature

Sono stati effettuati diversi saggi sulle murature di Palazzo Margherita, allo scopo di comprendere le varie tipologie murarie presenti nel fabbricato. Tutti i saggi hanno rivelato che il materiale principalmente impiegato è la pietra sbazzata irregolarmente allettata con malta di calce. Talvolta è stata rinvenuta la presenza del laterizio, in maniera più o meno diffusa; i laterizi sembrano rispondere all'esigenza di livellamento del filare in fase di costruzione, sebbene non siano stati disposti sotto forma di ricorso orizzontale.

Per quanto riguarda le volte poste a copertura dei vari ambienti, al piano terra si è riscontrata la presenza di volte strutturali in muratura, mentre invece ai piani superiori le volte risultano essere costituite da una testa di mattoni (disposizione del laterizio in foglio) e ad esse non è affidato il ruolo di sostenere il solaio soprastante, strutturalmente indipendente; ai piani primo e secondo perciò si considerino tutte le volte dei controsoffitti autoportanti.

Percorrendo il secondo piano, lungo tutto il corridoio che circonda il cortile, è stata rinvenuta la presenza di un intervento di consolidamento effettuato in tempi recenti: si tratta dell'applicazione di fogli di rete metallica elettrosaldata ϕ 6, passo 10 cm. Questo intervento interessa tutte i maschi murari interni che delimitano il corridoio e in particolare il solo paramento murario prospiciente il corridoio stesso. Si è inoltre potuto constatare l'assenza di elementi metallici di connessione tra rete elettrosaldata e muratura, lasciando il compito della connessione al solo intonaco (di tipo cementizio).

Di seguito si possono apprezzare le considerazioni derivanti da indagine visiva e da saggi mediante una serie di documenti fotografici.



Piano Primo – sondaggio RI 1



Piano Primo – sondaggio RI 2



Piano Primo – sondaggio RI 3



Piano Primo – sondaggio RI 4



Piano Primo – sondaggio RI 5



Piano Primo – sondaggio RI 6

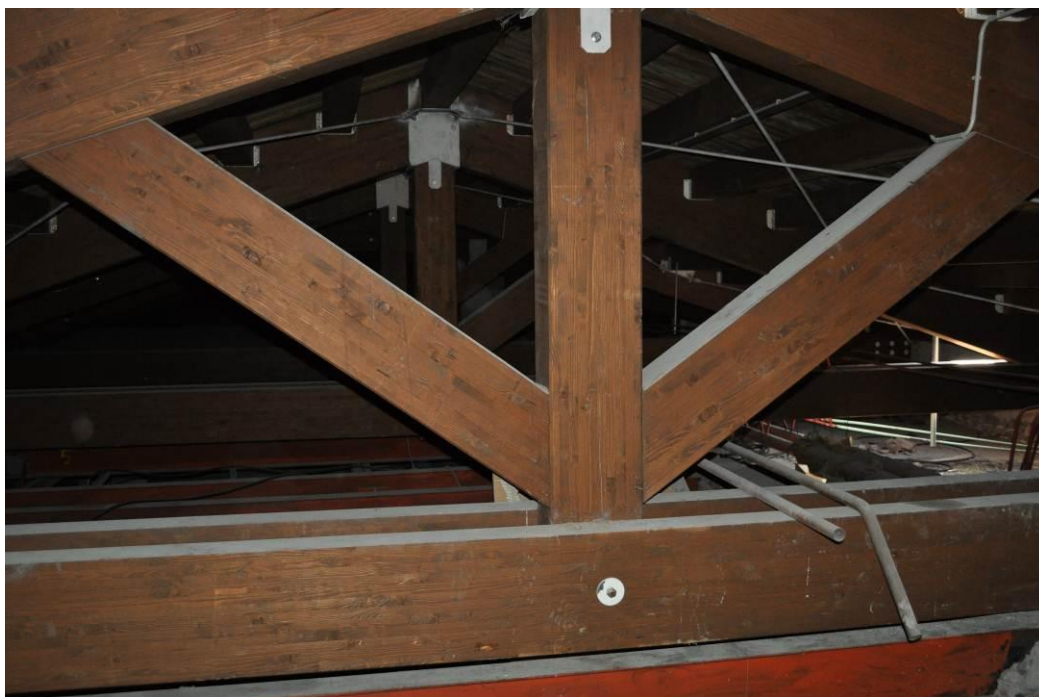


Secondo piano - consolidamento con rete metallica

4.2. **Saggi in copertura**



Sottotetto – cordolo in c.c.a. h= 1 m circa



Sottotetto – capriata in legno lamellare



Sottotetto – trave in legno lamellare

5. PROVE CON MARTINETTI PIATTI

Per la determinazione delle caratteristiche di deformabilità vengono utilizzati due martinetti piatti paralleli, posti in modo da delimitare tra di essi un campione significativo di muratura, sul quale viene eseguita una prova di compressione monoassiale in direzione normale al piano di posa, senza l'asportazione del campione.

Sulla superficie esterna del paramento murario vengono applicati quattro trasduttori di spostamento, che forniscono, con una frequenza di acquisizione dati di circa 10Hz, valori relativi a tre riferimenti verticali e uno orizzontale, opportunamente disposti all'interno dell'area interessata dalla sollecitazione fornita dai martinetti.

La pressione viene acquisita, alla stessa frequenza, con un canale apposito applicato ad un trasduttore di pressione collegato al circuito del martinetto.

I dati vengono acquisiti in tempo reale e visionati sotto forma di grafico tensione-deformazione, dal quale è possibile osservare l'andamento del ciclo di carico-scarico e stimare l'insorgere delle fasi di fessurazione e quindi di rottura del materiale.

Il valore del modulo di deformabilità è calcolato impiegando la seguente formula:

$$E = \Delta\sigma / \Delta\varepsilon$$

$\Delta\sigma$ = incremento tensionale;

$\Delta\varepsilon$ = incremento di deformazione;

Gli incrementi di tensione e deformazione scelti per definire il modulo elastico dell'elemento fanno riferimento ad una fase completamente elastica, individuata all'interno dei cicli di sollecitazione imposti. Il valore di E viene calcolato considerando la media dei valori relativi alle tre basi di misura.

La tecnica di prova del martinetto piatto può praticamente definirsi non distruttiva in quanto, al termine di essa, i martinetti piatti inseriti dentro le murature possono essere rimossi con estrema facilità e gli strati di malta possono essere facilmente reintegrati.

MPD 1

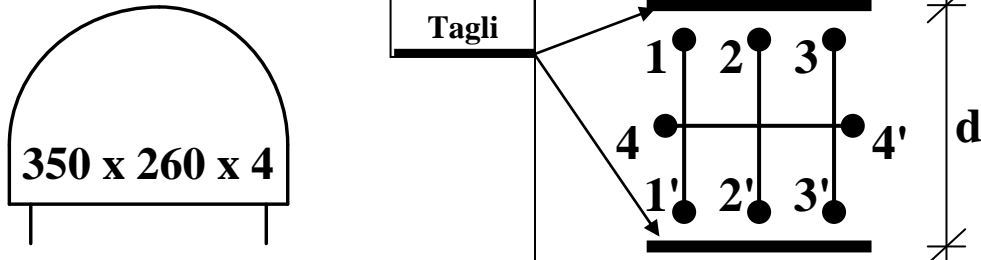


ubicazione della prova con disposizione della strumentazione.



particolare dell'elemento murario provato.

DETTAGLI TECNICI DELLA PROVA

			Martinetto – Area 779 mm² (Area del taglio 844 mm²)		Disposizione dei punti di misura d : 500 mm 1 – 1': 250 mm 2 – 2': 250 mm 3 – 3': 250 mm 4 – 4': 250 mm	
Eff. Martinetto	1 bar ≤ p < 10 bar	0,860				
Eff. Martinetto	10 bar ≤ p < 50 bar	0,890				
Rapporto Am/At		0,923				

SINTESI DEI RISULTATI

E Modulo Elastico Secante (calcolato sull'ultimo ciclo) - il 1° fino a 5 bar -- il 2° fino a 10 bar -- il 3° fino a rottura - (N/mm²)					R Rottura (N/mm²)
1496	tra	0,00	e	0,17 MPa	intorno a 3,00 MPa rottura sui giunti di malta e sulla muratura (inizio del fenomeno tra 0,75 e 1,00 MPa)
1543	tra	0,00	e	0,32 MPa	
1954	tra	0,00	e	0,65 MPa	
2290	tra	0,00	e	1,14 MPa	
2640	tra	0,00	e	1,45 MPa	
3409	tra	0,00	e	2,10 MPa	

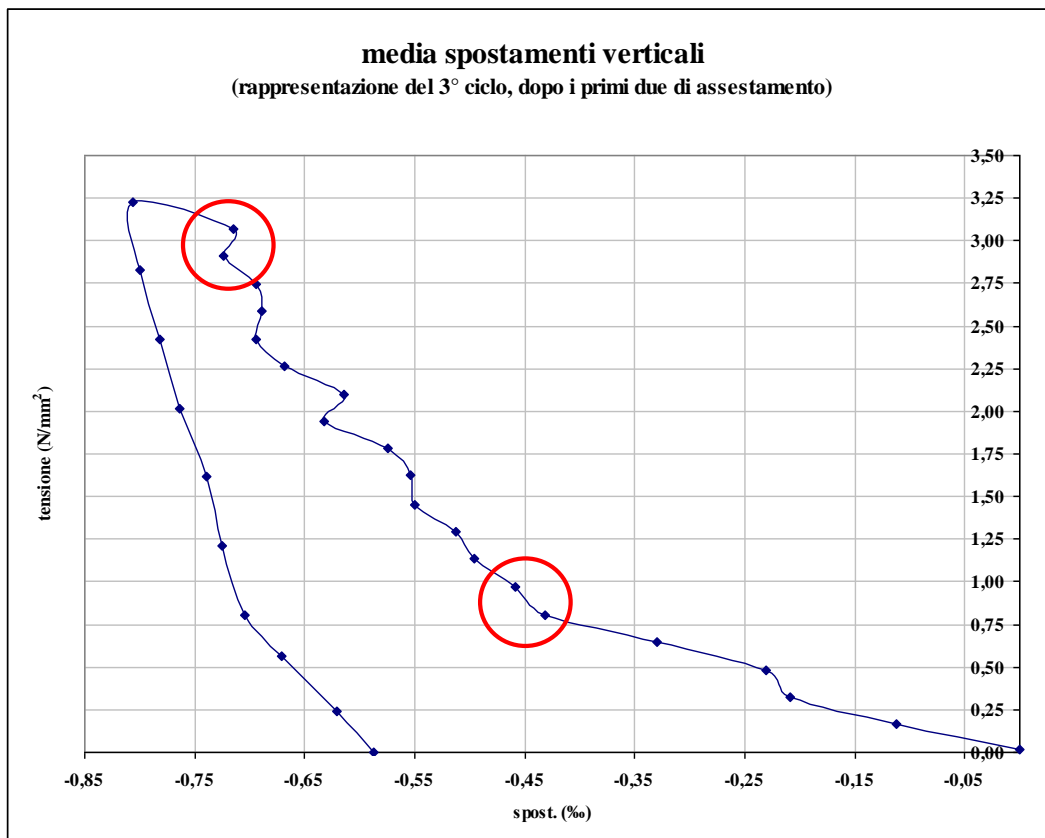


Grafico – media spostamenti verticali e tensione.

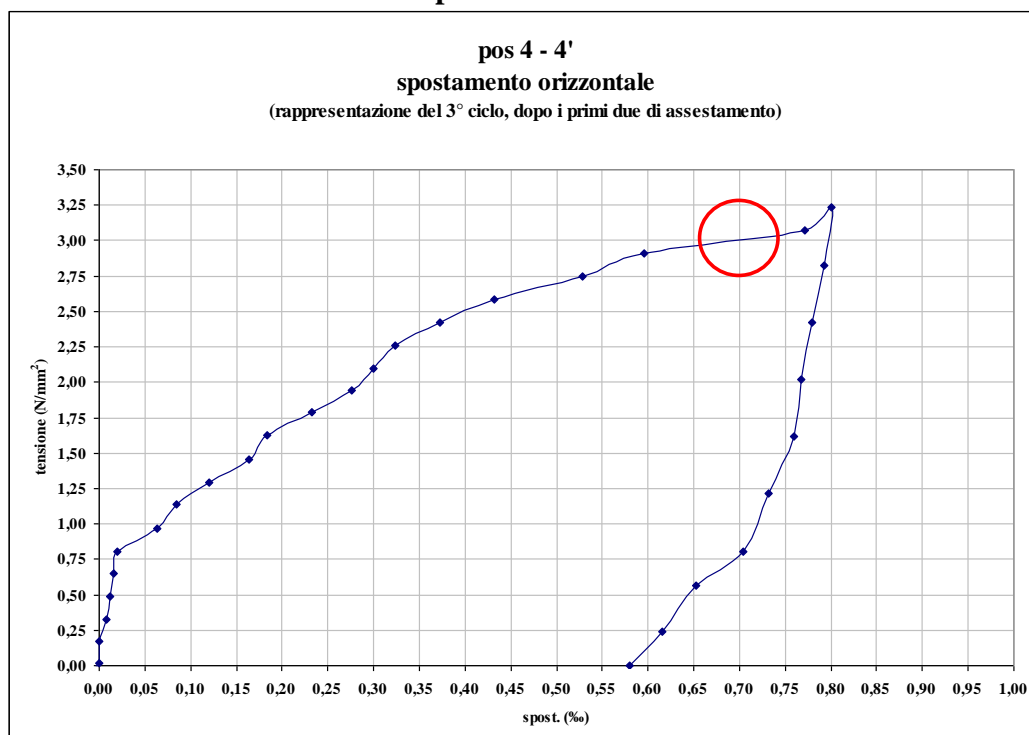
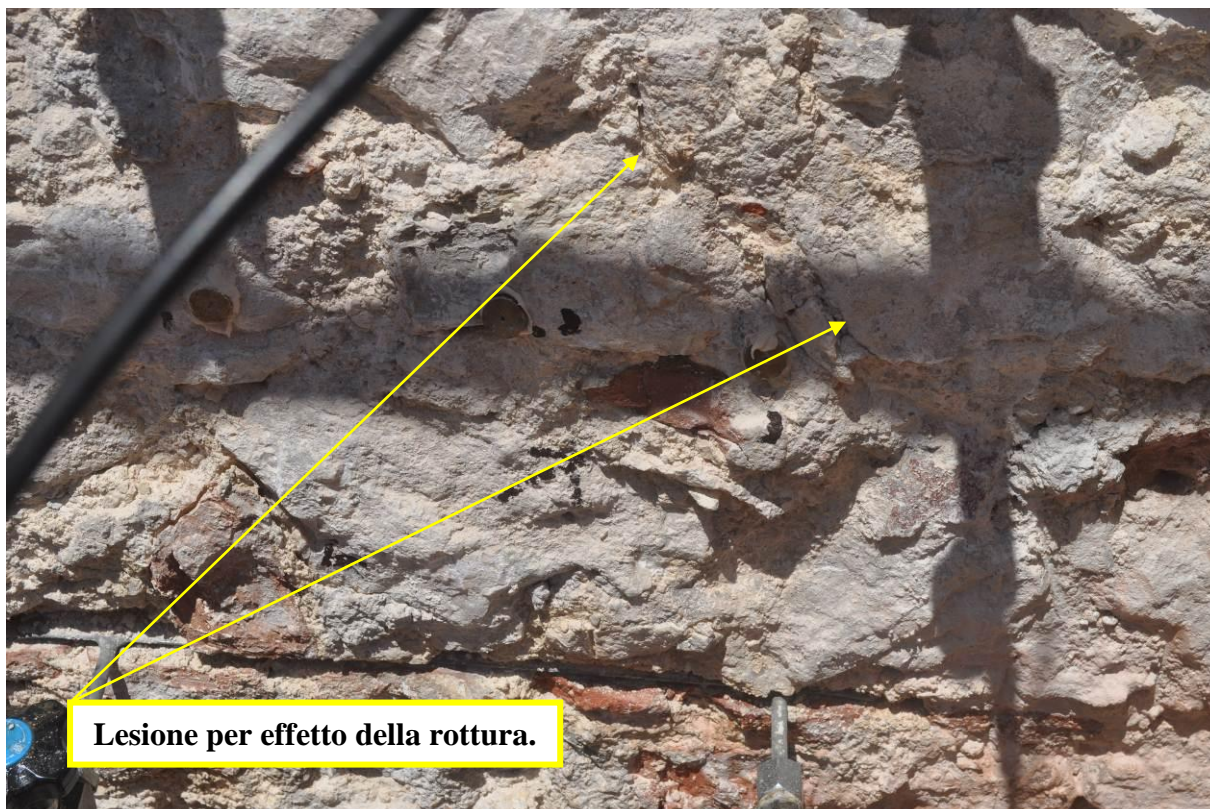


Grafico – spostamento orizzontale pos. 4 – 4' e tensione.



rilievo delle lesioni al termine della prova sui giunti di malta.



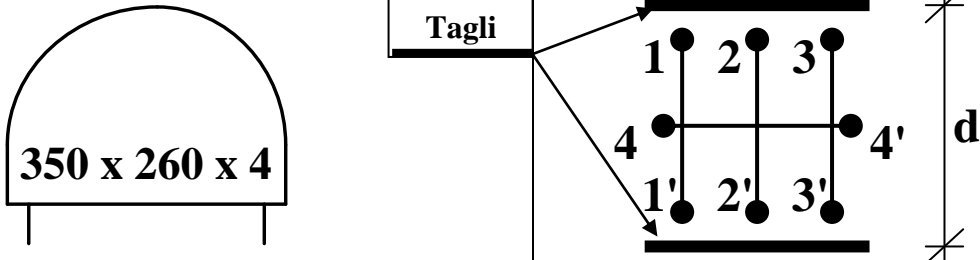
rilievo delle lesioni al termine della prova sulla muratura.

MPD 2



ubicazione della prova con disposizione della strumentazione e particolare dell'elemento murario provato.

DETTAGLI TECNICI DELLA PROVA

			Martinetto – Area 779 mm² (Area del taglio 844 mm²)		Disposizione dei punti di misura d : 440 mm 1 – 1': 275 mm 2 – 2': 277 mm 3 – 3': 277 mm 4 – 4': 280 mm	
Eff. Martinetto	1 bar ≤ p < 10 bar	0,860				
Eff. Martinetto	10 bar ≤ p < 50 bar	0,890				
Rapporto Am/At		0,923				

SINTESI DEI RISULTATI

E Modulo Elastico Secante (calcolato sull'ultimo ciclo) - il 1° fino a 5 bar -- il 2° fino a 10 bar -- il 3° fino a rottura - (N/mm²)						R Rottura (N/mm²)
1554	tra	0,00	e	0,76	MPa	intorno a 2,25 MPa rottura sui giunti di malta e sulla muratura (inizio del fenomeno tra 0,75 e 1,00 MPa)
1665	tra	0,00	e	1,01	MPa	
1695	tra	0,00	e	1,25	MPa	
1785	tra	0,00	e	1,50	MPa	
1585	tra	0,00	e	1,75	MPa	
1610	tra	0,00	e	2,10	MPa	

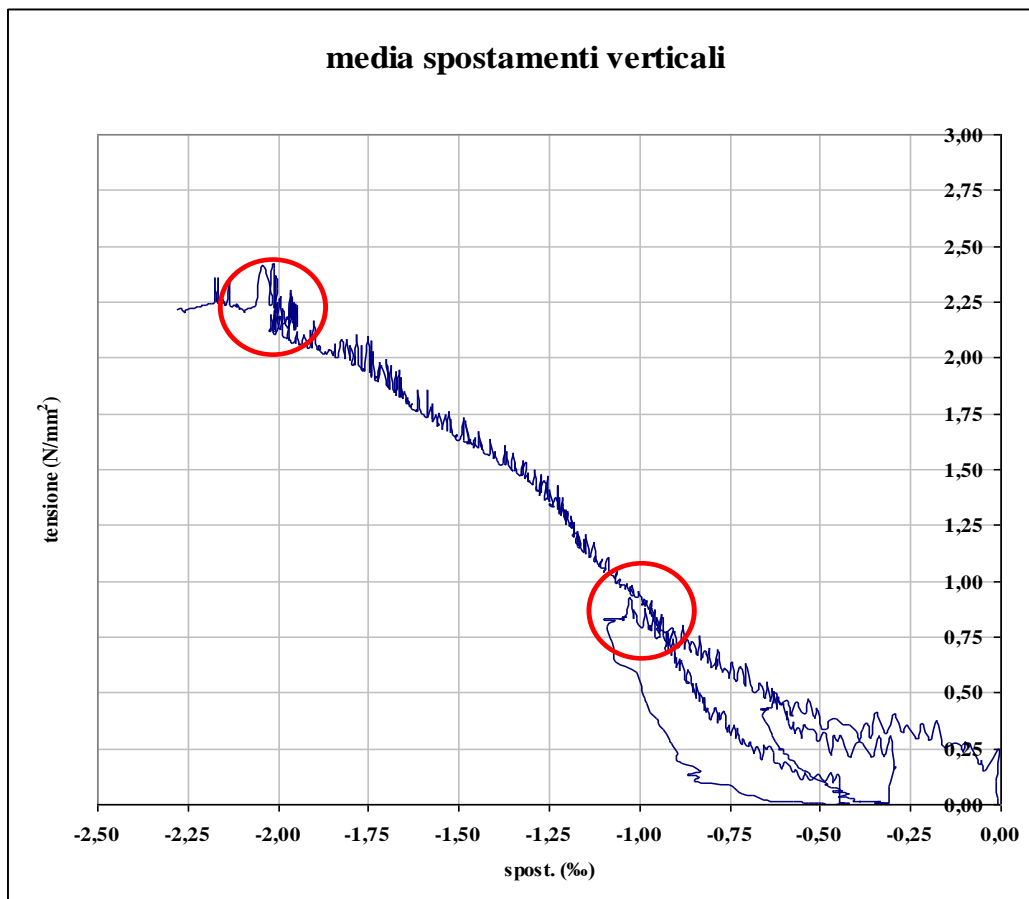


Grafico – media spostamenti verticali e tensione.

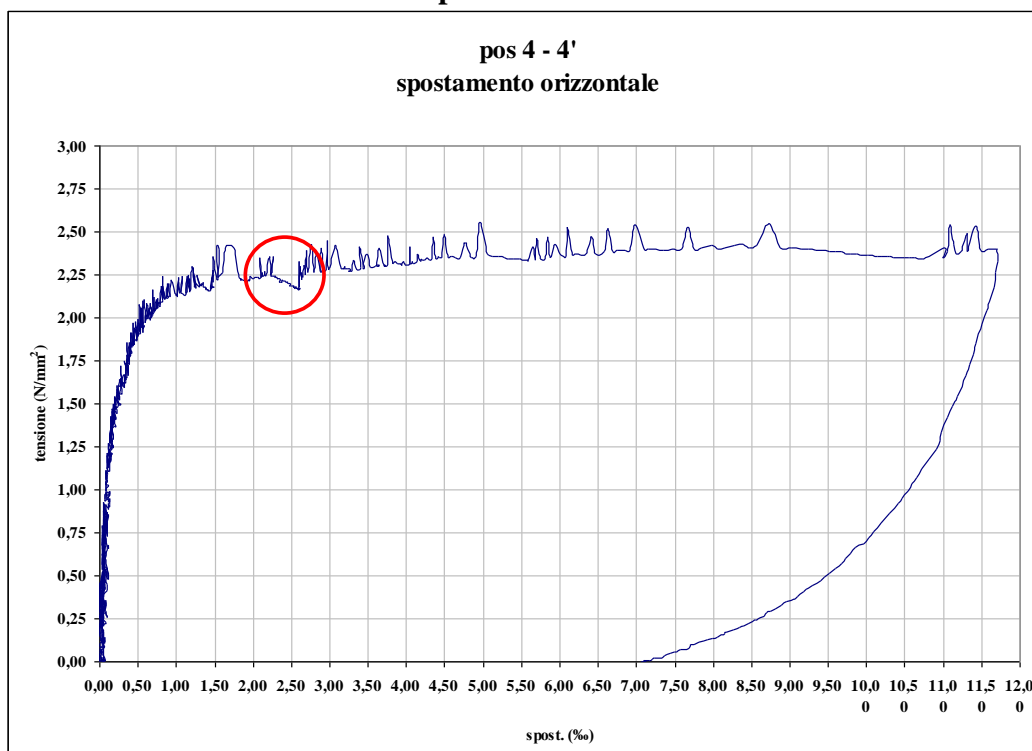
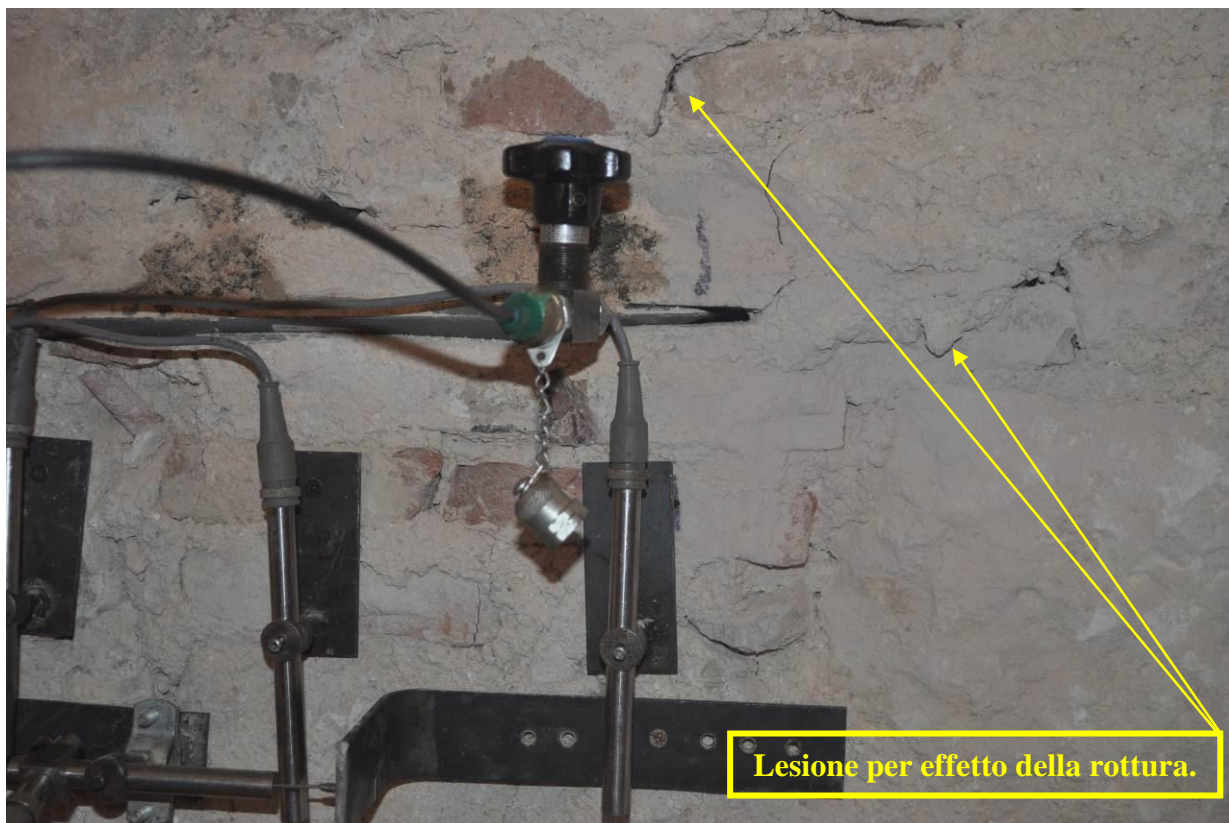


Grafico – spostamento orizzontale pos. 4 – 4' e tensione.



rilievo delle lesioni al termine della prova sui giunti di malta.



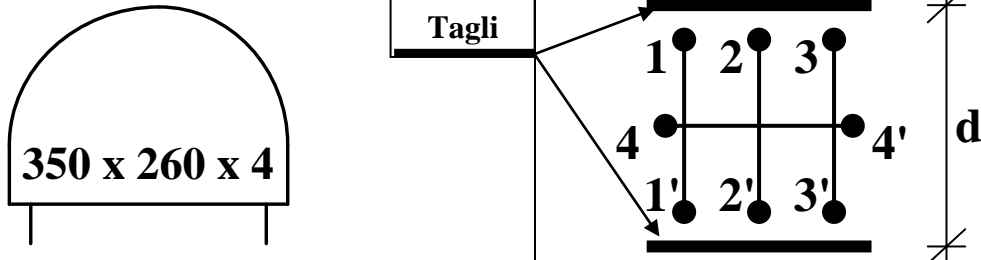
rilievo delle lesioni al termine della prova sulla muratura.

MPD 3



ubicazione della prova con disposizione della strumentazione e particolare dell'elemento murario provato.

DETTAGLI TECNICI DELLA PROVA

		
Martinetto – Area 779 mm² (Area del taglio 844 mm²)		
Disposizione dei punti di misura		
Eff. Martinetto	1 bar ≤ p < 10 bar	0,860
Eff. Martinetto	10 bar ≤ p < 50 bar	0,890
Rapporto Am/At		0,923

SINTESI DEI RISULTATI

E Modulo Elastico Secante (calcolato sull'ultimo ciclo) - il 1° fino a 5 bar -- il 2° fino a 10 bar -- il 3° fino a rottura - (N/mm²)						R Rottura (N/mm²)
2816	tra	0,00	e	0,76	MPa	intorno a 2,25 MPa rottura sui giunti di malta e sulla muratura (inizio del fenomeno intorno a 2,00 MPa)
3372	tra	0,00	e	1,00	MPa	
2382	tra	0,00	e	1,25	MPa	
1902	tra	0,00	e	1,52	MPa	
1620	tra	0,00	e	1,75	MPa	
1465	tra	0,00	e	2,00	MPa	

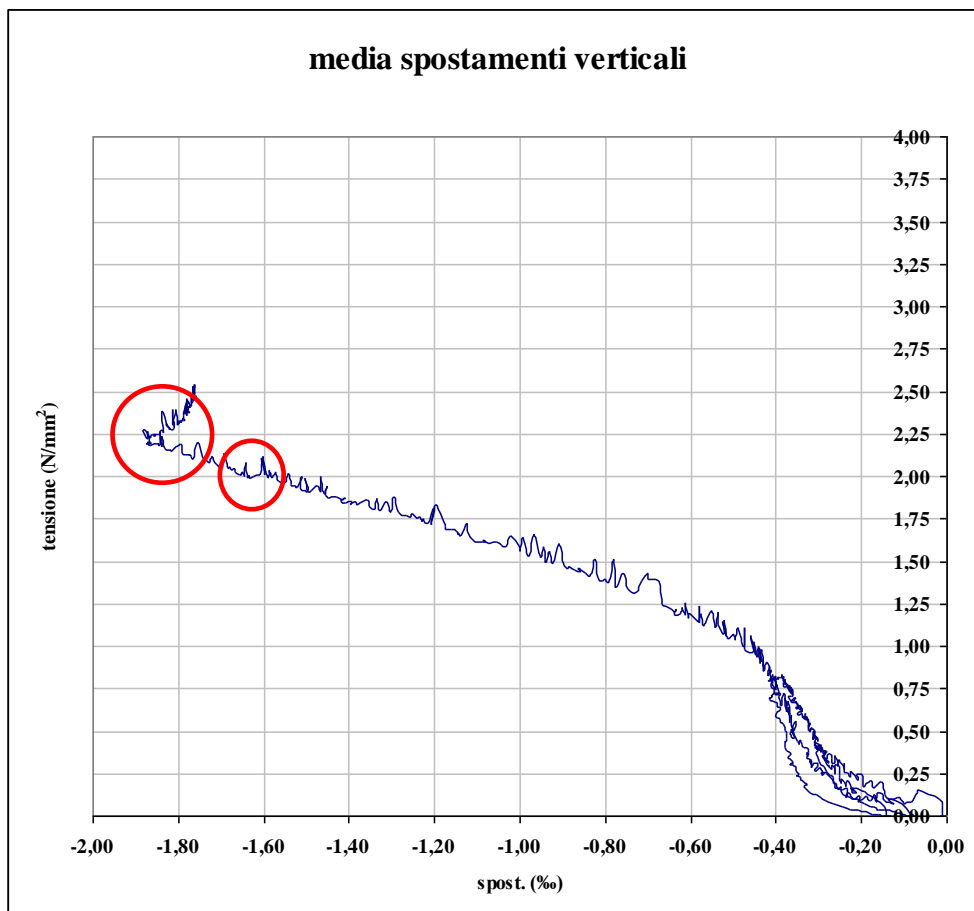


Grafico – media spostamenti verticali e tensione.

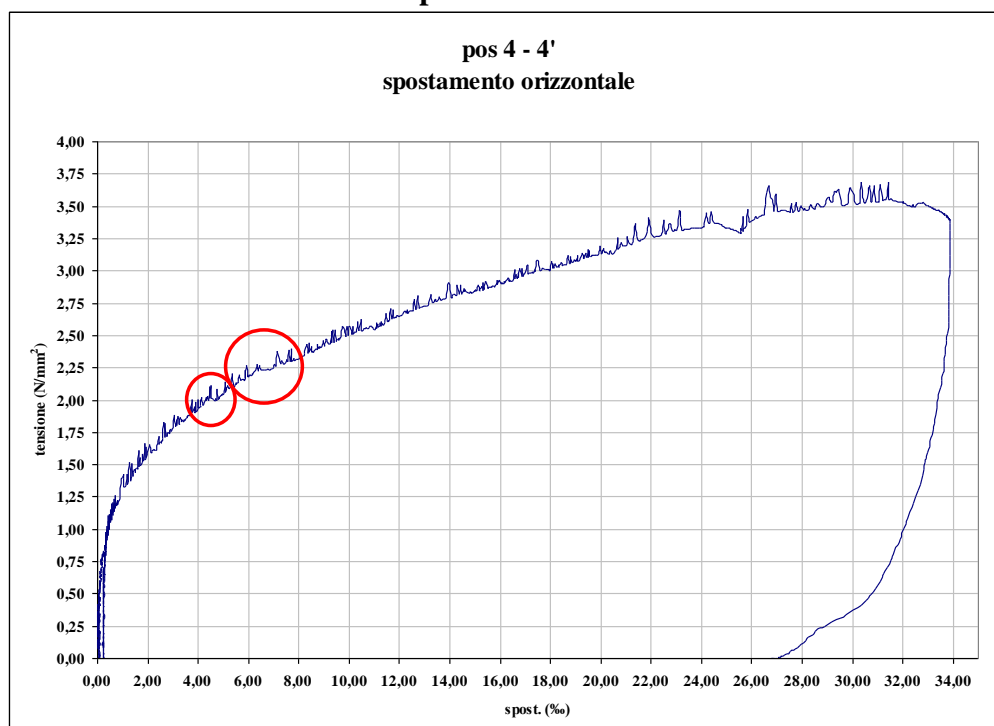
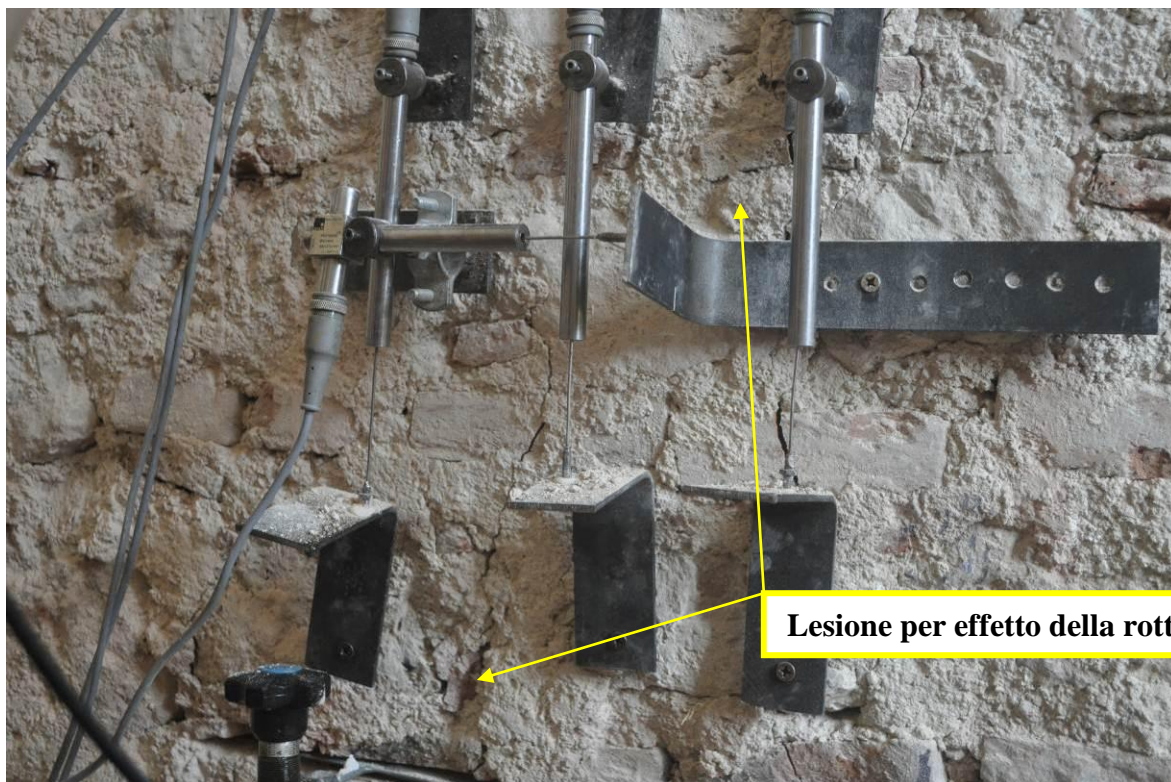
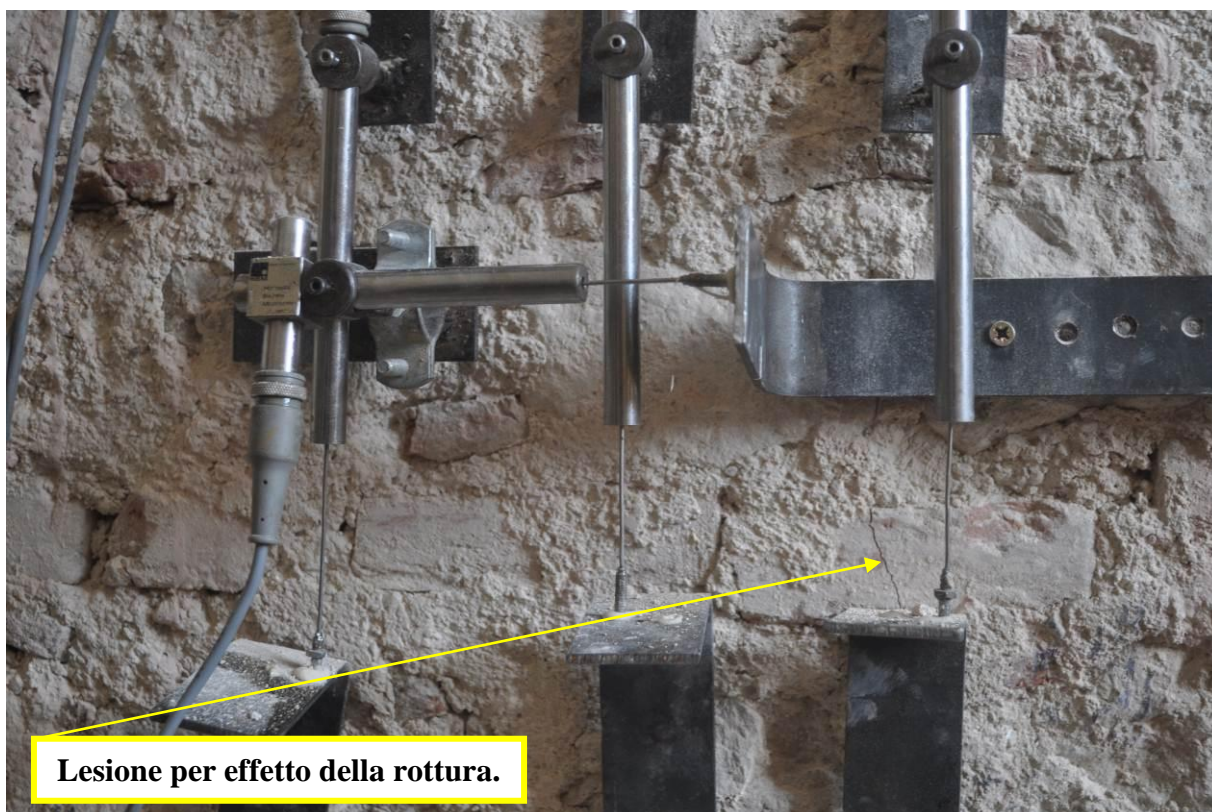


Grafico – spostamento orizzontale pos. 4 – 4' e tensione.



Rilievo delle lesioni al termine della prova sui giunti di malta.



rilievo delle lesioni al termine della prova sulla muratura.

MPS 1

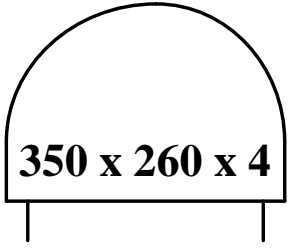
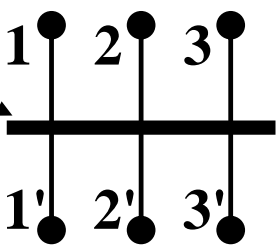


ubicazione della prova.



particolare dell'elemento murario provato.

DETTAGLI TECNICI DELLA PROVA

					
Martinetto – Area 779 mm² (Area del taglio 844 mm²)			Disposizione dei punti di misura		
Eff. Martinetto	1 bar ≤ p < 10 bar	0,860	1 – 1': 250 mm 2 – 2': 250 mm 3 – 3': 250 mm		
Eff. Martinetto	10 bar ≤ p < 50 bar	0,890			
Rapporto Am/At		0,923			

SINTESI DEI RISULTATI

STIMA DELLA TENSIONE A COMPRESSIONE DELLA MURATURA

(metodo con martinetto piatto singolo)

Prospetto defomazioni

Pressione martinetto (bar)	Fase N.	Pos. 1-1' (mm)	Pos. 2-2' (mm)	Pos. 3-3' (mm)	Media (mm)
6-lug-11					
---	0	0,000	0,000	0,000	0,000
0,0	1	-0,290	-0,428	-0,345	-0,354
1,0	1	-0,299	-0,383	-0,332	-0,338
2,0	1	-0,286	-0,347	-0,301	-0,311
3,0	1	-0,265	-0,307	-0,266	-0,279
4,0	1	-0,250	-0,277	-0,237	-0,255
5,0	1	-0,240	-0,253	-0,226	-0,240
6,0	1	-0,228	-0,225	-0,204	-0,219
7,0	1	-0,225	-0,207	-0,194	-0,209
8,0	1	-0,221	-0,181	-0,176	-0,193
9,0	1	-0,220	-0,163	-0,164	-0,182
10,0	1	-0,216	-0,141	-0,148	-0,168
11,0	1	-0,214	-0,116	-0,143	-0,158
12,0	1	-0,211	-0,092	-0,128	-0,144

(continua)

STIMA DELLA TENSIONE A COMPRESSIONE DELLA MURATURA

(metodo con martinetto piatto singolo)

Prospetto defomazioni

Pressione martinetto (bar)	Fase N.	Pos. 1-1' (mm)	Pos. 2-2' (mm)	Pos. 3-3' (mm)	Media (mm)
6-lug-11					
13,0	1	-0,204	-0,069	-0,109	-0,127
14,0	1	-0,199	-0,020	-0,090	-0,103
15,0	1	-0,190	0,011	-0,072	-0,084
16,0	1	-0,181	0,060	-0,051	-0,057
17,0	1	-0,165	0,105	-0,025	-0,028
18,0	1	-0,135	0,130	0,007	0,001

Fase 0 : Prima del taglio

Fase 1 : Dopo il taglio

Determinazione dello stato tensionale

Area del martinetto A_r (cm ²)	Area del taglio A_t (cm ²)	Rapporto A_r/A_t K_a (---)	Coefficiente di taratura del martinetto K_m (---)	Pressione al martinetto P (MPa)	Tensione a compressione della muratura f_m (MPa)
779	844	0,923	0,875	1,80	1,45

MPD 4

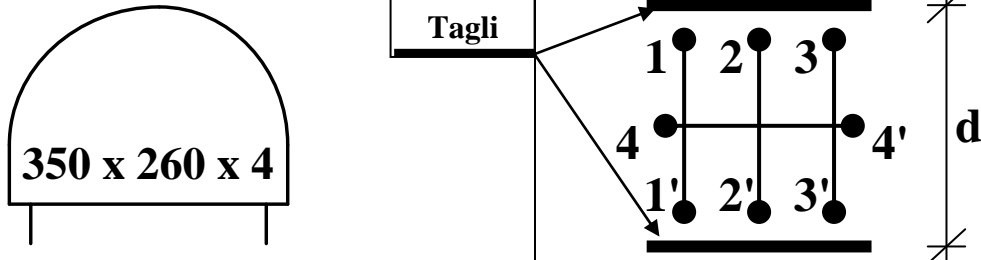


ubicazione della prova.



particolare dell'elemento murario provato.

DETTAGLI TECNICI DELLA PROVA

		
Martinetto – Area 779 mm² (Area del taglio 844 mm²)		
Disposizione dei punti di misura		
Eff. Martinetto	1 bar ≤ p < 10 bar	0,860
Eff. Martinetto	10 bar ≤ p < 50 bar	0,890
Rapporto Am/At		0,923

SINTESI DEI RISULTATI

E Modulo Elastico Secante (calcolato sull'ultimo ciclo) (N/mm²)					R Rottura (N/mm²)
961	tra	0,00	e	1,00 MPa	intorno a 3,00 MPa rottura sui giunti di malta e sulla muratura (inizio del fenomeno tra 1,75 e 2,00 MPa)
1127	tra	0,00	e	1,25 MPa	
1263	tra	0,00	e	1,51 MPa	
1324	tra	0,00	e	1,75 MPa	
1219	tra	0,00	e	2,00 MPa	
1157	tra	0,00	e	2,25 MPa	
1104	tra	0,00	e	2,50 MPa	

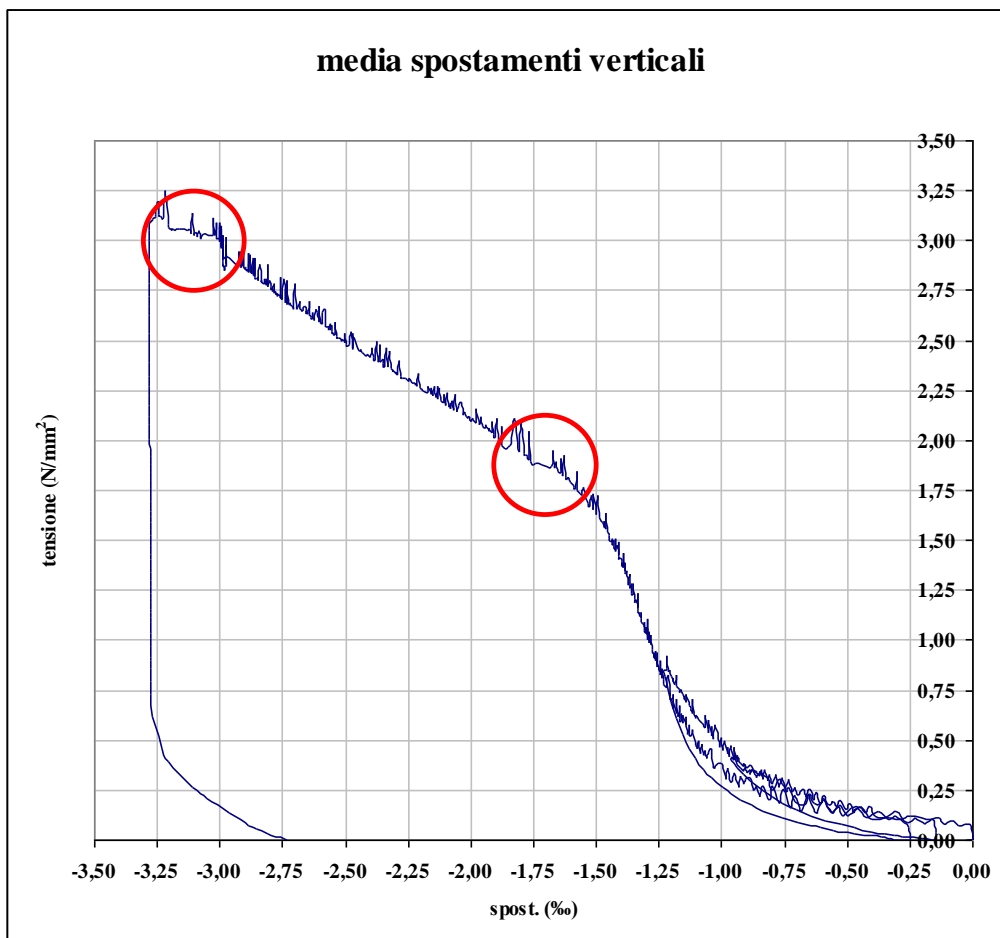


Grafico – media spostamenti verticali e tensione.

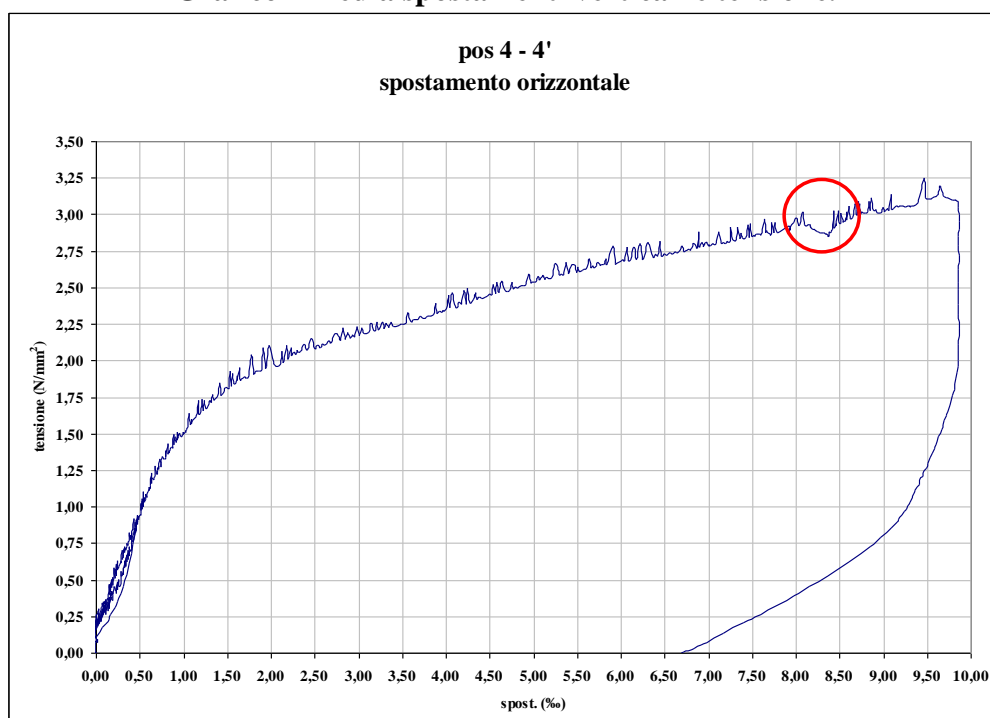
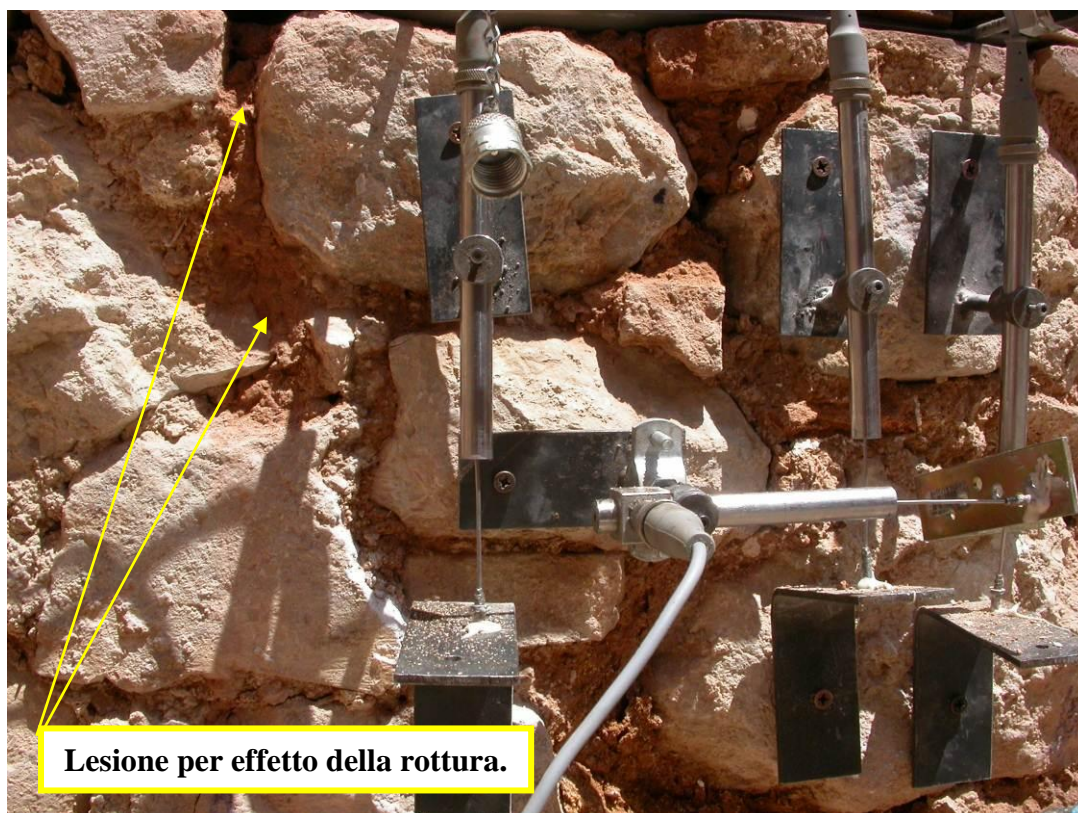
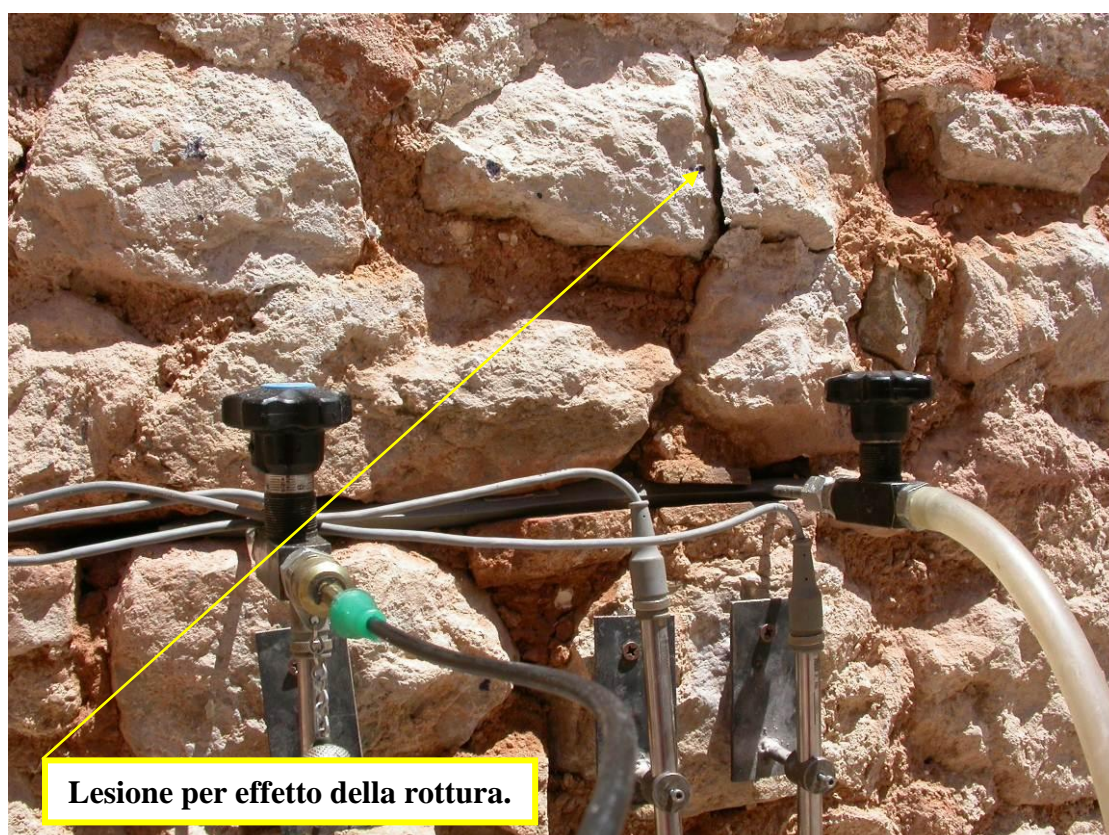


Grafico – spostamento orizzontale pos. 4 – 4' e tensione.



rilievo delle lesioni al termine della prova sui giunti di malta.



rilievo delle lesioni al termine della prova sulla muratura.

6. PROVE SONICHE

6.1. Caratteristiche Tecniche Della Strumentazione

Acquisizione

- Range di misura: 100mV – 20V;
- Basi dei tempi: 20ns – 81,9µs;
- Risoluzione campione: 8 bit;
- Campioni per evento: 8192 per misure a contatto, 640 per diagrafia;
- Banda passante: 50 MHz;
- Filtro per ultrasuoni: frequenza centrale 50 kHz;
- Canali di misura: 1;

Sonde

- Per contatto e prova sonica con martello: frequenza di risonanza 53 kHz, diametro 48mm;
- Frequenza massima emissione impulsi: 1 al secondo;
- Passo di misura minimo: 10mm;

Martello

- Battenti: in plastica e in metallo;
- Trigger: piezoelettrico;



Sulle varie murature sono state effettuate prove soniche con lo scopo di poter generalizzare o eventualmente smentire i risultati delle prove distruttive ottenuti su limitate parti di struttura. Inoltre, preventivamente agli interventi di riparazione dell'edificio, le prove soniche sono uno strumento utile per individuare le parti di muratura con maggior percentuale di vuoti e per una quantizzazione numerica orientativa dei benefici degli interventi messi in atto.

Le valutazione conseguente è puramente qualitativa e, come di consueto per questo tipo di prova, priva di riferimenti assoluti utili a dedurre valori certi di resistenza meccanica delle murature.

Di seguito si riportano le schede contenenti le varie informazioni circa ogni indagine sonica effettuata: in ogni tabella vengono riportate le caratteristiche geometriche della porzione di muratura oggetto di indagine e i valori della velocità di percorrenza del suono, sia in forma grafica che elencati in tabella per ciascun punto indagato.

6.2. Schede Indagini Soniche

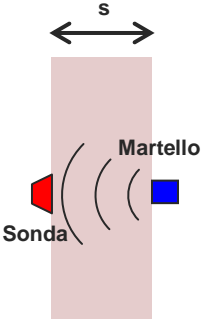
MISURE SONICHE DIRETTE

PIANO
ID prova

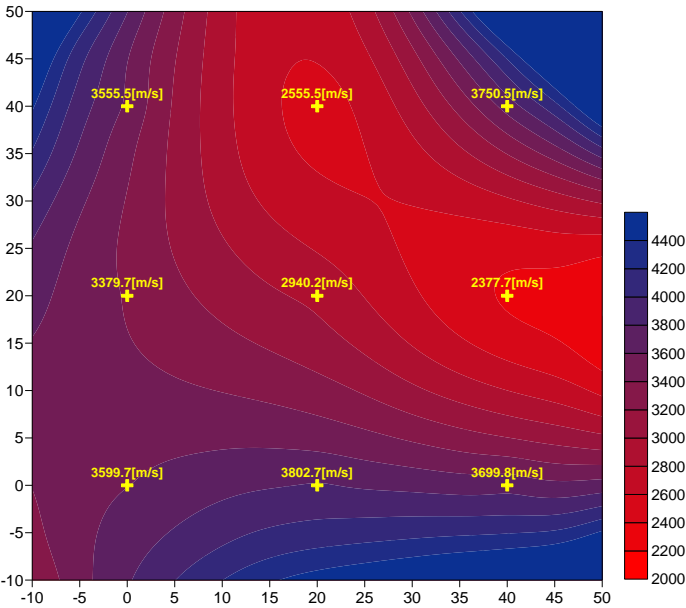
TERRA
S1

Geometria

INTERASSE X [cm]	a = 20
INTERASSE Y [cm]	b = 20
DISTANZA X DA MARTELLO [cm]	c = 140
DISTANZA Y DA MARTELLO [cm]	d = 20
SPESSORE[cm]	s = 70
INTONACO INTERNO	assente
INTONACO ESTERNO	assente

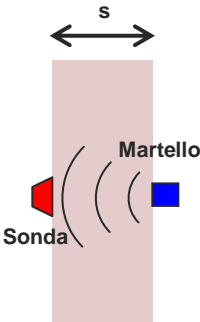


PUNTO	X [cm]	Y [cm]	D [cm]	μs	V [m/s]
1	0	0	70	194,46	3599,7
2	20	0	70	184,08	3802,7
3	40	0	70	189,20	3699,8
4	0	20	70	207,12	3379,7
5	20	20	70	238,08	2940,2
6	40	20	70	294,40	2377,7
7	0	40	70	196,88	3555,5
8	20	40	70	273,92	2555,5
9	40	40	70	186,64	3750,5
VALORE MINIMO					2377,7
VALORE MASSIMO					3802,7
VALORE MEDIO					3295,7

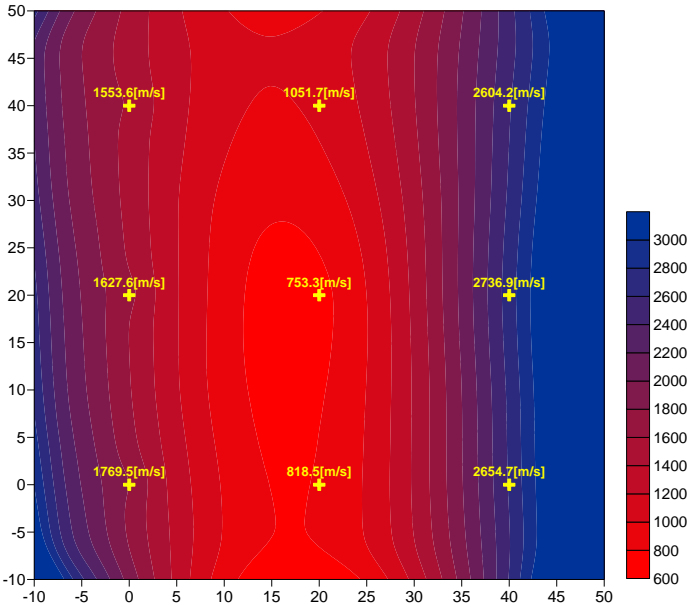


MISURE SONICHE DIRETTE**PIANO
ID prova****TERRA
S2****Geometria**

INTERASSE X [cm]	a =	20
INTERASSE Y [cm]	b =	20
DISTANZA X DA MARTELLO [cm]	c =	140
DISTANZA Y DA MARTELLO [cm]	d =	20
SPESSORE[cm]	s =	70
INTONACO INTERNO	assente	
INTONACO ESTERNO	assente	

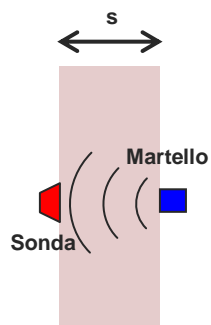


PUNTO	X [cm]	Y [cm]	D [cm]	μs	V [m/s]
1	0	0	70	395,60	1769,5
2	20	0	70	855,23	818,5
3	40	0	70	263,68	2654,7
4	0	20	70	430,08	1627,6
5	20	20	70	929,28	753,3
6	40	20	70	255,76	2736,9
7	0	40	70	450,56	1553,6
8	20	40	70	665,60	1051,7
9	40	40	70	268,80	2604,2
VALORE MINIMO					753,3
VALORE MASSIMO					2736,9
VALORE MEDIO					1730,0

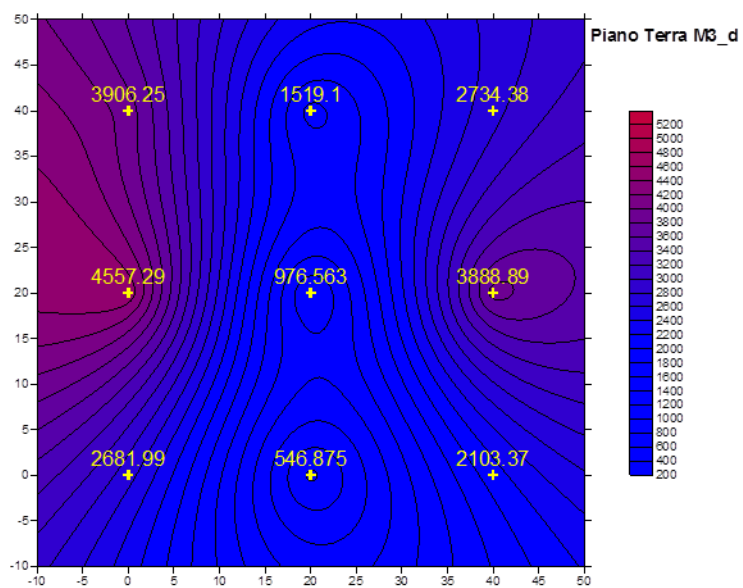
**MISURE SONICHE DIRETTE****PIANO
ID prova****TERRA
S3**

Geometria

INTERASSE X [cm]	a =	20
INTERASSE Y [cm]	b =	20
DISTANZA X DA MARTELLO [cm]	c =	70
DISTANZA Y DA MARTELLO [cm]	d =	20
SPESSORE[cm]	s =	70
INTONACO INTERNO	assente	
INTONACO ESTERNO	assente	



PUNTO	X [cm]	Y [cm]	D [cm]	μs	V [m/s]
1	0	0	70,00	179,20	3906,25
2	20	0	70,00	460,80	1519,10
3	40	0	70,00	256,00	2734,38
4	0	20	70,00	153,60	4557,29
5	20	20	70,00	716,80	976,56
6	40	20	70,00	180,00	3888,89
7	0	40	70,00	261,00	2681,99
8	20	40	70,00	1280,00	546,88
9	40	40	70,00	332,80	2103,37
VALORE MINIMO				153,60	546,88
VALORE MASSIMO				1280,00	4557,29
VALORE MEDIO					2546,08



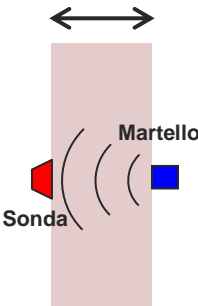
MISURE SONICHE DIRETTE

PIANO
ID prova

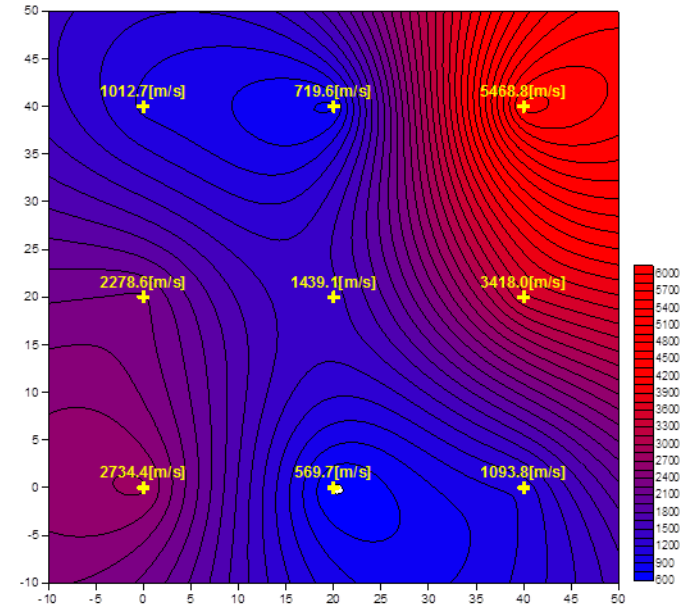
TERRA
S4

Geometria

INTERASSE X [cm]	a =	20
INTERASSE Y [cm]	b =	20
DISTANZA X DA MARTELLO [cm]	c =	70
DISTANZA Y DA MARTELLO [cm]	d =	20
SPESSORE[cm]	s =	70
INTONACO INTERNO	assente	
INTONACO ESTERNO	assente	



PUNTO	X [cm]	Y [cm]	D [cm]	μs	V [m/s]
1	0	0	70,00	691,20	1012,73
2	20	0	70,00	972,80	719,57
3	40	0	70,00	128,00	5468,75
4	0	20	70,00	307,20	2278,65
5	20	20	70,00	486,40	1439,14
6	40	20	70,00	204,80	3417,97
7	0	40	70,00	256,00	2734,38
8	20	40	70,00	1228,80	569,66
9	40	40	70,00	640,00	1093,75
VALORE MINIMO				128,00	569,66
VALORE MASSIMO				1228,80	5468,75
VALORE MEDIO				546,13	2081,62



MISURE SONICHE INDIRETTE

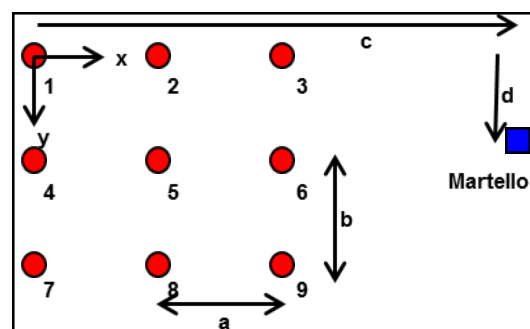
PIANO

TERRA

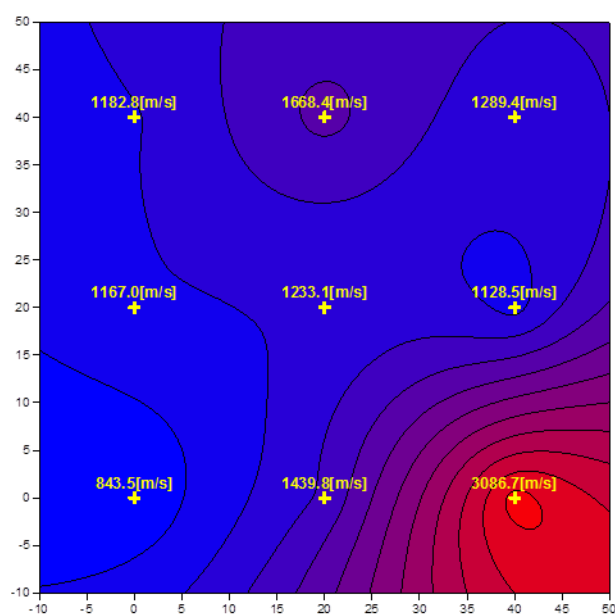
ID prova S5

Geometria

INTERASSE X [cm] a = 20
 INTERASSE Y [cm] b = 20
 DISTANZA X DA MARTELLO [cm] c = 140
 DISTANZA Y DA MARTELLO [cm] d = 20
 SPESSORE[cm] s = 120
 INTONACO INTERNO assente
 INTONACO ESTERNO assente



PUNTO	X [cm]	Y [cm]	Dorizz. [cm]	D [cm]	μs	V [m/s]
1	0	0	141,42	278,57	2355,20	1182,78
2	20	0	121,66	269,07	1612,80	1668,36
3	40	0	101,98	260,77	2022,40	1289,40
4	0	20	140,00	277,85	2380,80	1167,04
5	20	20	120,00	268,33	2176,00	1233,13
6	40	20	100,00	260,00	2304,00	1128,47
7	0	40	141,42	278,57	3302,40	843,53
8	20	40	121,66	269,07	1868,80	1439,81
9	40	40	101,98	260,77	844,80	3086,74
VALORE MINIMO					844,80	843,53
VALORE MASSIMO					3302,40	3086,74
VALORE MEDIO					2096,36	1448,81



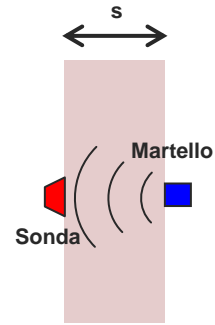
MISURE SONICHE DIRETTE

PIANO
ID prova

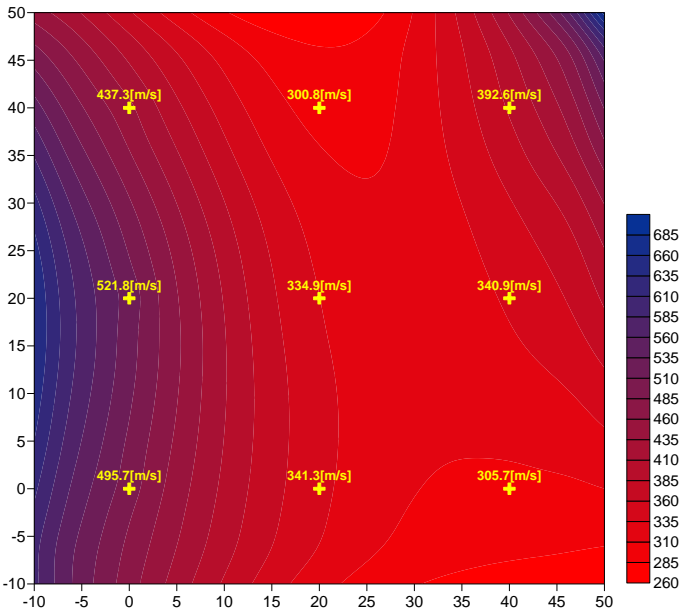
TERRA
S6

Geometria

INTERASSE X [cm]	a =	20
INTERASSE Y [cm]	b =	20
DISTANZA X DA MARTELLO [cm]	c =	140
DISTANZA Y DA MARTELLO [cm]	d =	20
SPESSORE[cm]	s =	120
INTONACO INTERNO	assente	
INTONACO ESTERNO	assente	



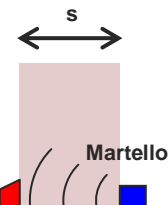
PUNTO	X [cm]	Y [cm]	D [cm]	μs	V [m/s]
1	0	0	120	2219,04	495,7
2	20	0	120	3222,56	341,3
3	40	0	120	3598,59	305,7
4	0	20	120	2108,23	521,8
5	20	20	120	3284,69	334,9
6	40	20	120	3226,87	340,9
7	0	40	120	2515,17	437,3
8	20	40	120	3656,49	300,8
9	40	40	120	2801,66	392,6
VALORE MINIMO					300,8
VALORE MASSIMO					521,8
VALORE MEDIO					385,7



MISURE SONICHE DIRETTE

PIANO
ID prova

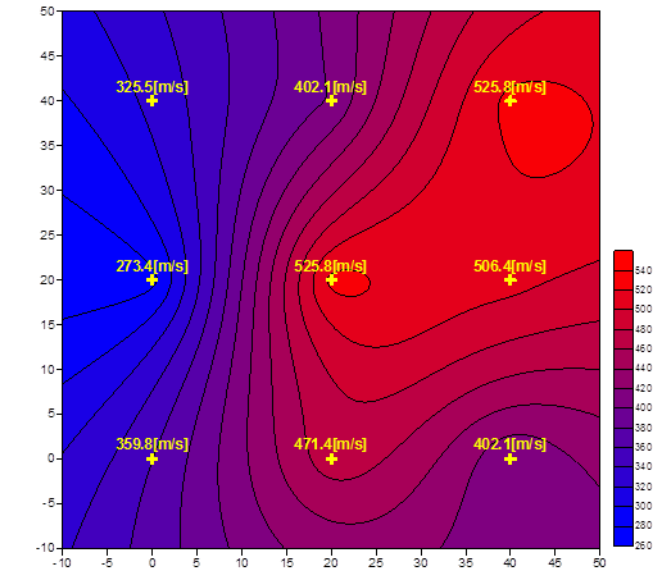
TERRA
S7



Geometria

INTERASSE X [cm]	a =	20
INTERASSE Y [cm]	b =	20
DISTANZA X DA MARTELLO [cm]	c =	70
DISTANZA Y DA MARTELLO [cm]	d =	20
SPESSORE[cm]	s =	70
INTONACO INTERNO	assente	
INTONACO ESTERNO	assente	

PUNTO	X [cm]	Y [cm]	D [cm]	μs	V [m/s]
1	0	0	70,00	2150,40	325,52
2	20	0	70,00	1740,80	402,11
3	40	0	70,00	1331,20	525,84
4	0	20	70,00	2560,00	273,44
5	20	20	70,00	1331,20	525,84
6	40	20	70,00	1382,40	506,37
7	0	40	70,00	1945,60	359,79
8	20	40	70,00	1484,80	471,44
9	40	40	70,00	1740,80	402,11
VALORE MINIMO					273,44
VALORE MASSIMO					525,84
VALORE MEDIO					421,38



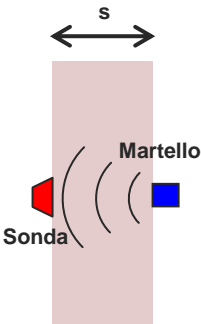
MISURE SONICHE DIRETTE

PIANO
ID prova

TERRA
S8

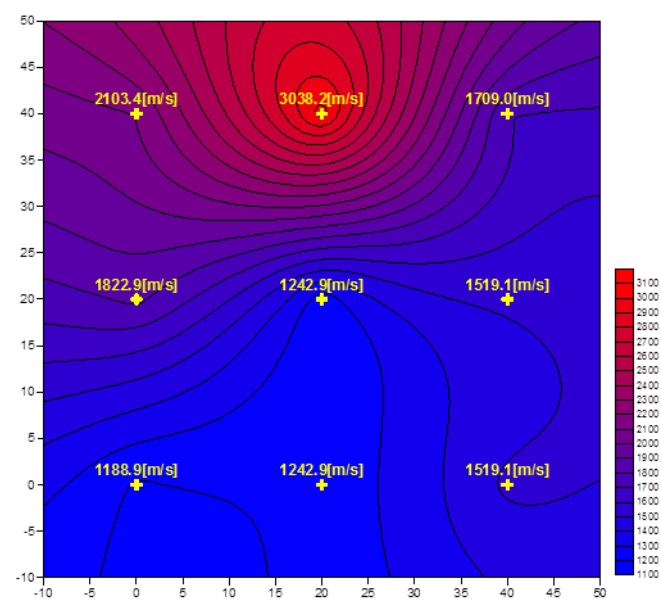
Geometria

INTERASSE X [cm]	a =	20
INTERASSE Y [cm]	b =	20



DISTANZA X DA MARTELLO
[cm] c = 70
DISTANZA Y DA MARTELLO
[cm] d = 20
SPESSORE[cm] s = 70
INTONACO INTERNO assente
INTONACO ESTERNO assente

PUNTO	X [cm]	Y [cm]	D [cm]	μ s	V [m/s]
1	0	0	70,00	332,80	2103,37
2	20	0	70,00	230,40	3038,19
3	40	0	70,00	409,60	1708,98
4	0	20	70,00	384,00	1822,92
5	20	20	70,00	563,20	1242,90
6	40	20	70,00	460,80	1519,10
7	0	40	70,00	588,80	1188,86
8	20	40	70,00	563,20	1242,90
9	40	40	70,00	460,80	1519,10
VALORE MINIMO					1188,86
VALORE MASSIMO					3038,19
VALORE MEDIO					1709,59

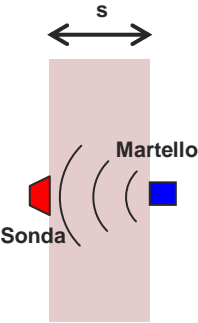


MISURE SONICHE DIRETTE

PIANO ID prova
TERRA S9

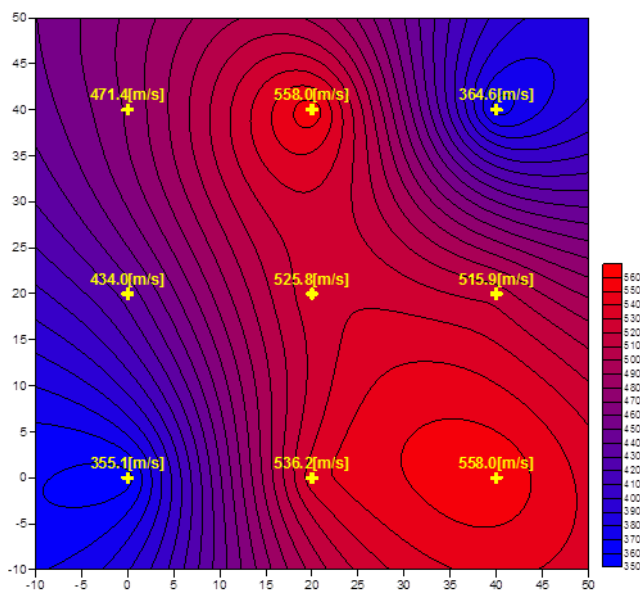
Geometria

INTERASSE X [cm] a = 20
INTERASSE Y [cm] b = 20
DISTANZA X DA MARTELLO [cm] c = 70
DISTANZA Y DA MARTELLO [cm] d = 20



SPESSORE[cm]	s = 70
INTONACO INTERNO	assente
INTONACO ESTERNO	assente

PUNTO	X [cm]	Y [cm]	D [cm]	μs	V [m/s]
1	0	0	70,00	1484,80	471,44
2	20	0	70,00	1254,40	558,04
3	40	0	70,00	1920,00	364,58
4	0	20	70,00	1612,80	434,03
5	20	20	70,00	1331,20	525,84
6	40	20	70,00	1356,80	515,92
7	0	40	70,00	1971,20	355,11
8	20	40	70,00	1305,60	536,15
9	40	40	70,00	1254,40	558,04
VALORE MINIMO					355,11
VALORE MASSIMO					558,04
VALORE MEDIO					479,91



6.3. Risultati prove soniche

Le indagini soniche sono state effettuate su varie parti di struttura, con risultati tra loro differenti: in particolare l'indagine è stata rivolta in prima fase alle colonne della corte interna; tali colonne sono costituite da un involucro in muratura di blocchi di pietra da taglio con nucleo di riempimento interno. L'indagine sonica risulta utile a valutare in termini qualitativi il riempimento di queste colonne: dai risultati della velocità di percorrenza delle onde soniche si può ipotizzare la presenza di un riempimento ben compatto e senza la presenza significativa di vuoti.

I valori molto alti della velocità sonica sono da ricondurre alla presenza di pietra da taglio e alle dimensioni piuttosto ridotte degli elementi oggetto di indagine: oltre ad essere la pietra un mezzo in cui le onde soniche si propagano molto rapidamente, le dimensioni snelle degli elementi fa sì che parte delle onde viaggi superficialmente piuttosto che all'interno dell'elemento (onde di taglio), fornendo un valore di velocità di percorrenza piuttosto elevato.

Le prove effettuate sulle pareti in muratura al piano terra hanno fornito valori piuttosto alti di velocità di propagazione sonora, suggerendo la presenza di un riempimento tra i paramenti ben compattato e privo di vuoti interstiziali.

Infine, le prove soniche effettuate sulle strutture al piano primo hanno prodotto risultati talvolta buoni (S8), talvolta mediocri (S7, S9) con valori di velocità appena superiori a quella di propagazione del suono nel vuoto.

7. RAPPORTO DI INDAGINI TERMOGRAFICHE

7.1. TIPOLOGIA E MODALITÀ DI INDAGINE

Tecnica telemetrica in grado di determinare la temperatura radiante di una superficie con notevole risoluzione spaziale e precisione. Si tratta di un mezzo di diagnosi non distruttiva basato sull'analisi di immagini che evidenziano discontinuità termiche. La metodologia sfrutta la capacità di alcuni dispositivi (sensori bolometrici) di rivelare l'intensità della radiazione nella zona termica dello spettro elettromagnetico, ovvero quella dell'infrarosso.

L'energia termica, o infrarossa, consiste in una luce la cui lunghezza d'onda risulta troppo grande per essere individuata dall'occhio umano; si tratta della porzione dello spettro elettromagnetico che viene percepita come calore. A differenza della luce visibile, nel mondo dei raggi infrarossi tutti gli elementi con una temperatura al di sopra dello zero assoluto (cioè a $0\text{ K} = -273,15\text{ °C}$) emettono calore. Più è alta la temperatura dell'oggetto, più quest'ultimo irradierà raggi infrarossi.

Il principio quindi si basa sulla misura della distribuzione delle temperature superficiali dell'oggetto in esame. Un'anomalia di tale distribuzione di temperature è indicativa di un possibile difetto.

La termocamera è uno strumento che rileva a distanza l'energia infrarossa (o termica) e la converte in un segnale elettronico, che viene in seguito elaborato al fine di produrre immagini video e realizzare calcoli della temperatura. Il calore rilevato da una termocamera può essere quantificato con estrema precisione permettendo all'utente di monitorare la performance termica e, allo stesso tempo, di identificare e valutare l'entità di problemi di natura termica. Tuttavia, la radiazione rilevata dalla telecamera non è unicamente dipendente dalla temperatura degli oggetti ma è anche determinata dall'emissività, dalla radiazione originata dall'ambiente circostante che viene riflessa sull'oggetto e dall'assorbimento della radiazione derivante dall'oggetto nonché della radiazione riflessa da parte dell'atmosfera. Nella maggior parte dei casi la termografia viene utilizzata per una prima mappatura delle zone caratterizzate da anomalie superficiali, sulle quali poi eventualmente effettuare indagini più approfondite in grado di esaminare il mezzo in profondità.

7.2. CARATTERISTICHE TECNICHE

- Modello: FLIR 620
- Intervallo di temperatura: Da -20 °C a $+120\text{ °C}$
- Accuratezza: $\pm 1\text{ °C}$ o $\pm 1\%$ di lettura
- Campo visivo (FOV): $24^\circ \times 18^\circ$
- Distanza minima di messa a fuoco: 0.3 m
- Sensibilità termica (NETD mK): $<40\text{ mK @ } +30\text{ °C } (+86\text{ °F})$
- Risoluzione IR: 640 x 480 pixels
- Campo spettrale: da 7.5 a 13 μm

7.3. **NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

- Norma UNI 10824-1 Prove non distruttive - Termografia all'infrarosso - Termini e definizioni.
- Norma UNI EN 13187 Prestazione termica degli edifici – Rivelazione qualitative delle irregolarità termiche negli involucri edilizi – Metodo all'infrarosso.

Sono stati effettuati rilievi termometrici sulle murature portanti perimetrali del fabbricato al fine di valutare eventuali disomogeneità del paramento murario oltre che la presenza di elementi di irrigidimento sui piani in elevazione.

7.4. **RISULTATI INDAGINI TERMOGRAFICHE**

Le indagini termometriche realizzate sulle facciate del fabbricato in un intervallo temporale di qualche minuto (e quindi nelle medesime condizioni ambientali interne ed esterne) evidenziano cambi di tipologia muraria e presenza di chiusure murarie.

In generale, la tipologia dominante sulle facciate perimetrali del complesso risulta essere costituita da materiale lapideo sbizzato (pietra calcarea) di media dimensione ($15 \div 25$ cm), disposto in modo casuale in assenza di ricorsi e/o listature. In corrispondenza delle angolate si rileva la presenza di alternanza di materiale lapideo squadrato di grande dimensione (>25 cm) a costituire ammorsamenti efficaci.

Nelle facciate sud-est e nord-est (si veda la freccia colore bianco) si rileva al secondo livello di elevazione la presenza di archi in laterizio al di sopra delle aperture.

Nel facciata sud-ovest si rileva una differenza di risposta in termini di scambio termico (si veda la freccia di colore verde) tra due pareti contigue, ad evidenziare probabilmente la presenza di una diversa applicazione e consistenza dello strato di intonaco. Ai vari livelli di elevazione non si rilevano elementi di irrigidimento orizzontale, quali cordoli in materiale cementizio.

In allegato si riportano le immagini termografiche con relative fotografie che evidenziano quanto esposto sopra

LA TORRE CIVICA

La torre di Palazzo Margherita è un corpo con struttura a sé stante malgrado lo stretto contatto con le strutture in muratura dell'edificio. Il piano di indagini sperimentali per la torre è stato studiato in modo da chiarire le tecniche costruttive utilizzate nella realizzazione delle murature. In particolare l'indagine è stata volta a comprendere lo spessore delle pareti della torre e a definirne la loro stratigrafia in termini qualitativi riguardo agli spessori degli strati e ai materiali di cui questi sono composti.

Le prove sperimentali effettuate sono principalmente indagini endoscopiche e acquisizioni mirate mediante tecnica georadar.

8. RAPPORTO INDAGINE GEORADAR

8.1. TIPOLOGIA DI INDAGINE

La metodologia GPR, attraverso l'utilizzo di onde elettromagnetiche, consente la definizione delle caratteristiche interne al mezzo indagato attraverso l'identificazione delle interfacce tra livelli dotati di differente resistività e costante dielettrica.

La generazione e la ricezione dei segnali è operata da una o più antenne, tra loro collegate, con funzioni di trasmissione e ricezione. Il risultato finale di un rilevamento elementare è costituito da un segnale nel dominio dei tempi, comprendente una serie di impulsi che rappresentano la successione degli orizzonti attraversati e la cui posizione dipende dalla velocità di propagazione delle onde nei materiali.

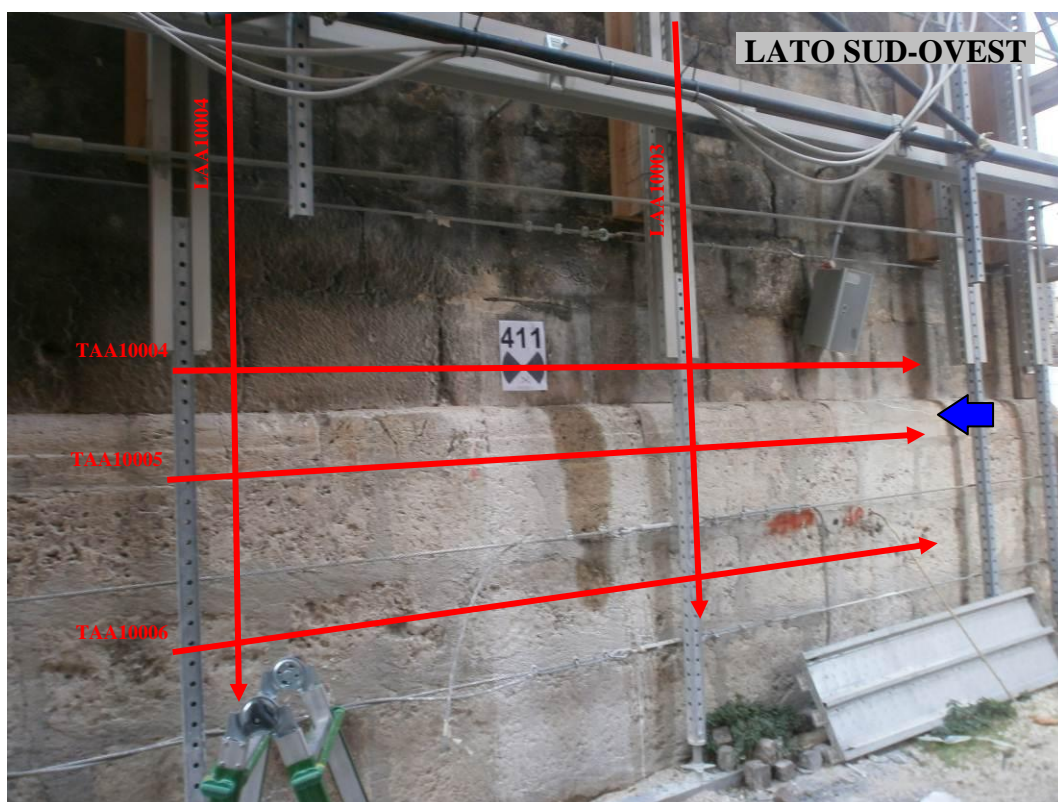
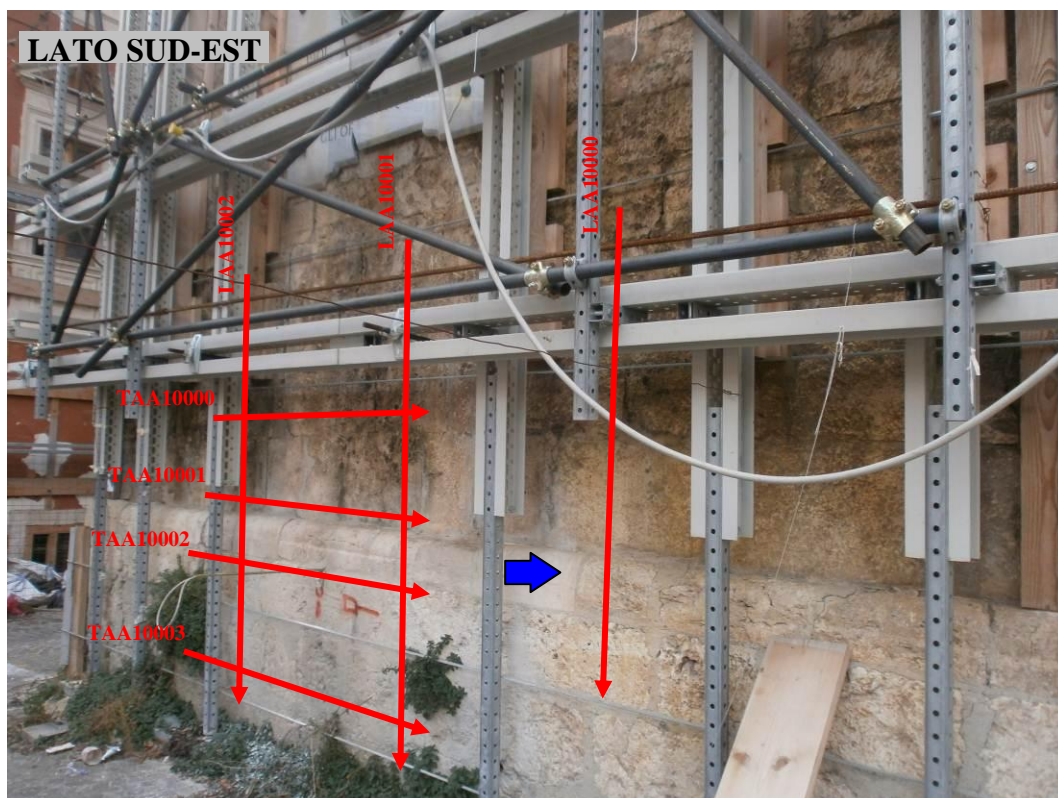
8.2. ACQUISIZIONE DEL SEGNALE RADAR

Le indagini GPR sono state eseguite con tecnica singlefold utilizzando radar monostatico costituito di moduli antenna, con funzioni di trasmissione e ricezione, a frequenze nominali pari a 1600 MHz, campionamento a 1024 samples/scan e fondo scala impostato a 40 ns, per una profondità di indagine superiore al metro.

I tracciati sono stati effettuati in considerazione della disposizione interna dei componenti portanti e portati del fabbricato, oltre che degli ostacoli presenti nell'area di indagine.

Sono state effettuate indagini a campione su porzioni di murature portanti del basamento della torre campanaria, al fine di verificarne la consistenza delle sezioni.

8.3. SCHEMA DI ACQUISIZIONE



8.4. RISULTATI INDAGINI GEORADAR

L'analisi delle sezioni georadar rilevano la presenza di riflessioni multiple, lungo tutte le sezioni esaminate, in corrispondenza della modanatura esterna (freccia colore blu), ad evidenziare la presenza di un orizzontamento con elementi irrigidenti disposti a passo regolare di circa 80 cm.. Al di sotto la sezione della muratura portante sembra avere uno spessore definito, stimato intorno a 1,30 m circa.

BIBLIOGRAFIA

1. D.M. 14/01/2008, N.T.C. 2008. Norme tecniche per le costruzioni.
2. Circolare 2 febbraio 2009, n°617 – Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008 (GU n° 47 del 26-2-2009 – Suppl. Ordinario n°27)
3. Lagomarsino S., Le indagini per la conoscenza nella valutazione della sicurezza sismica di edifici esistenti in muratura, Dipartimento per le politiche integrate di sicurezza e per la Protezione Civile.
4. Istituto sperimentale per l'edilizia s.p.a, Prove con martinetti piatti Chiesa S. Francesco d'Assisi in Gaeta.

Il Responsabile Tecnico
(P.I. M. Emiliani)

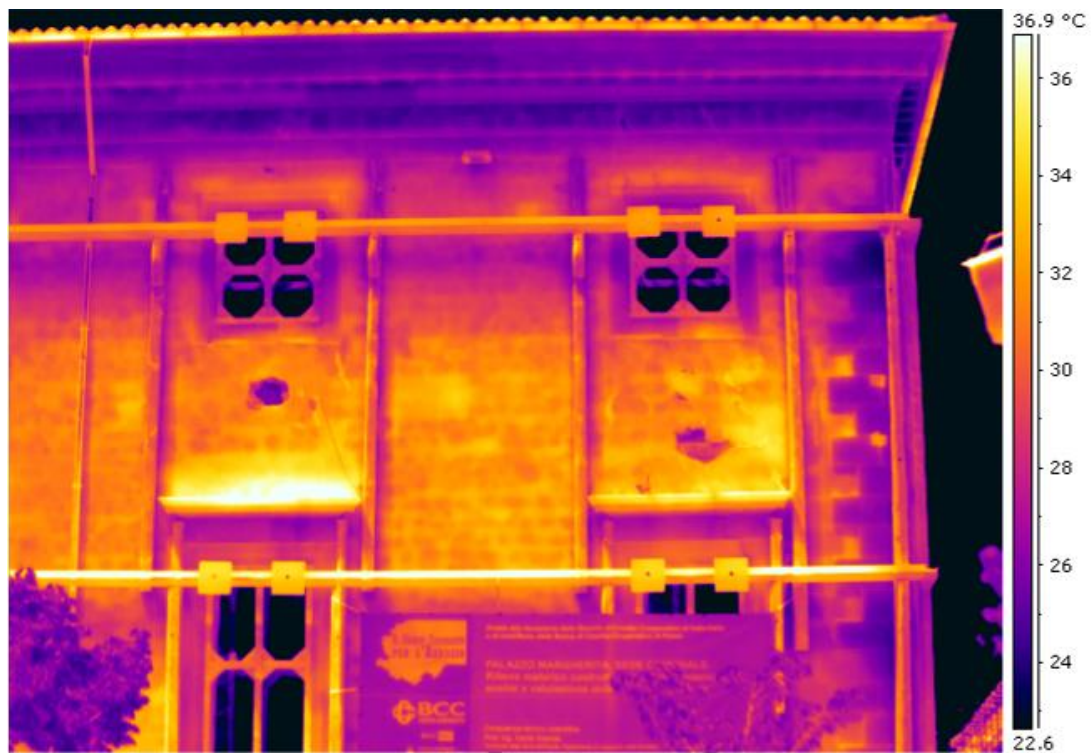
L'Ingegnere Responsabile
(Prof. Ing. M.M. Giammatteo)

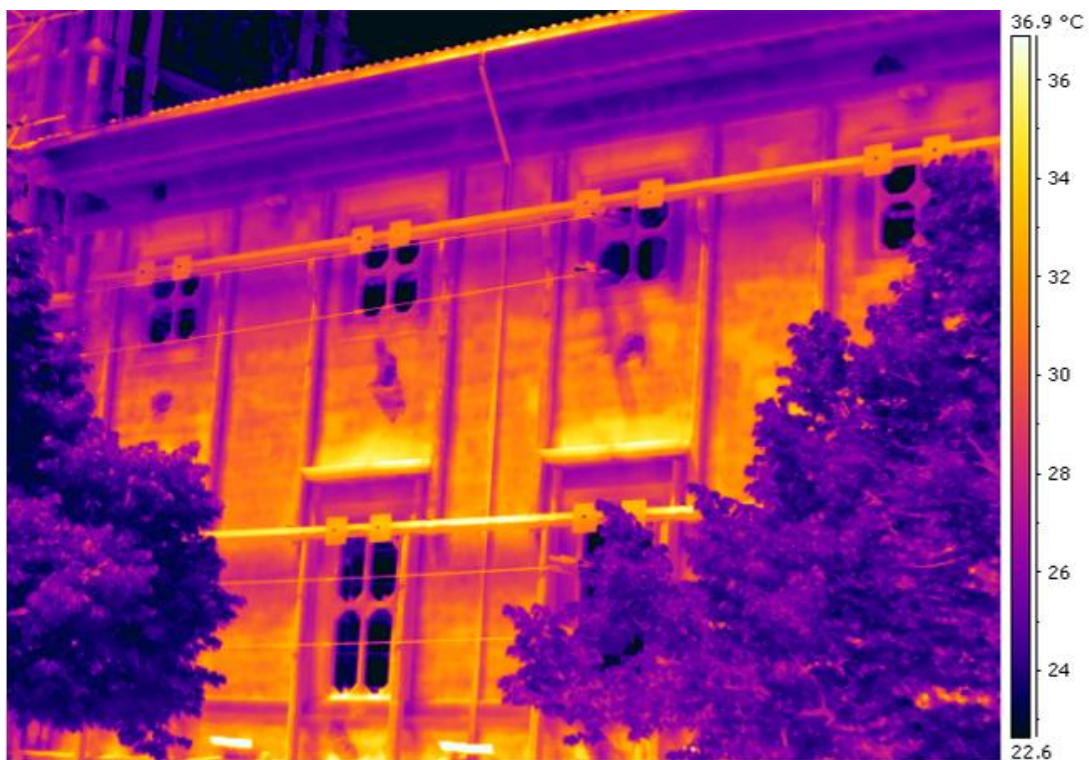
Il Direttore del Dipartimento
(Prof. Ing. D. Galeota)

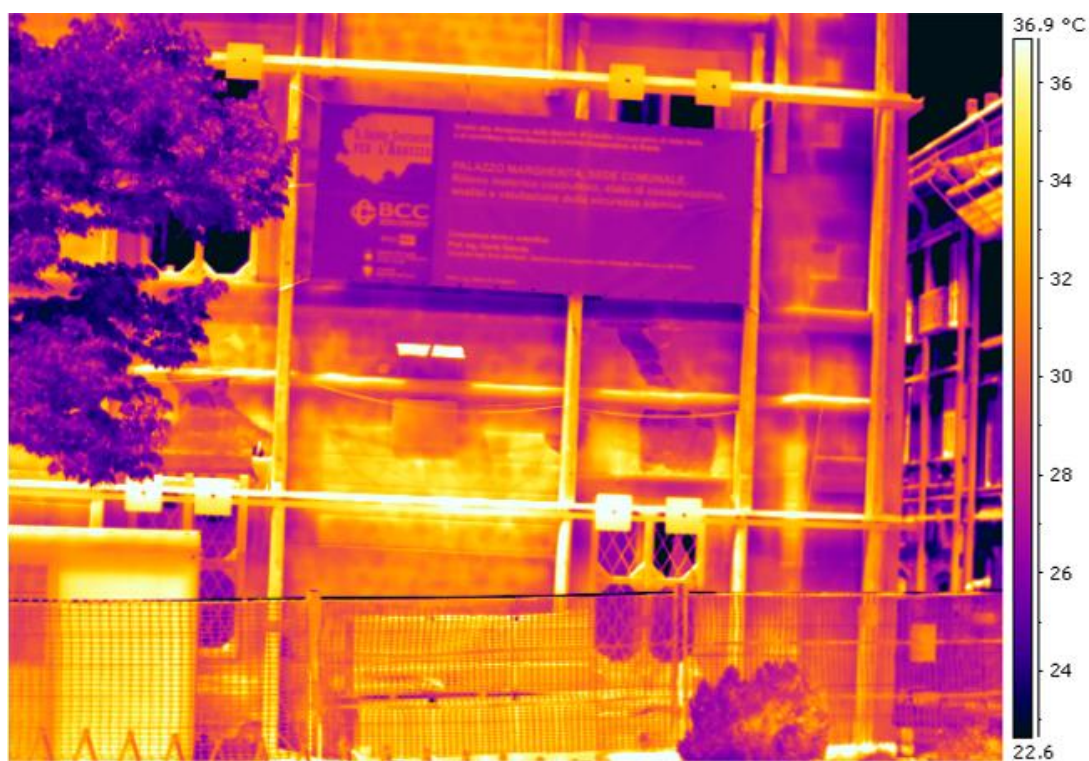
9. *Allegati*

9.1. Termografie

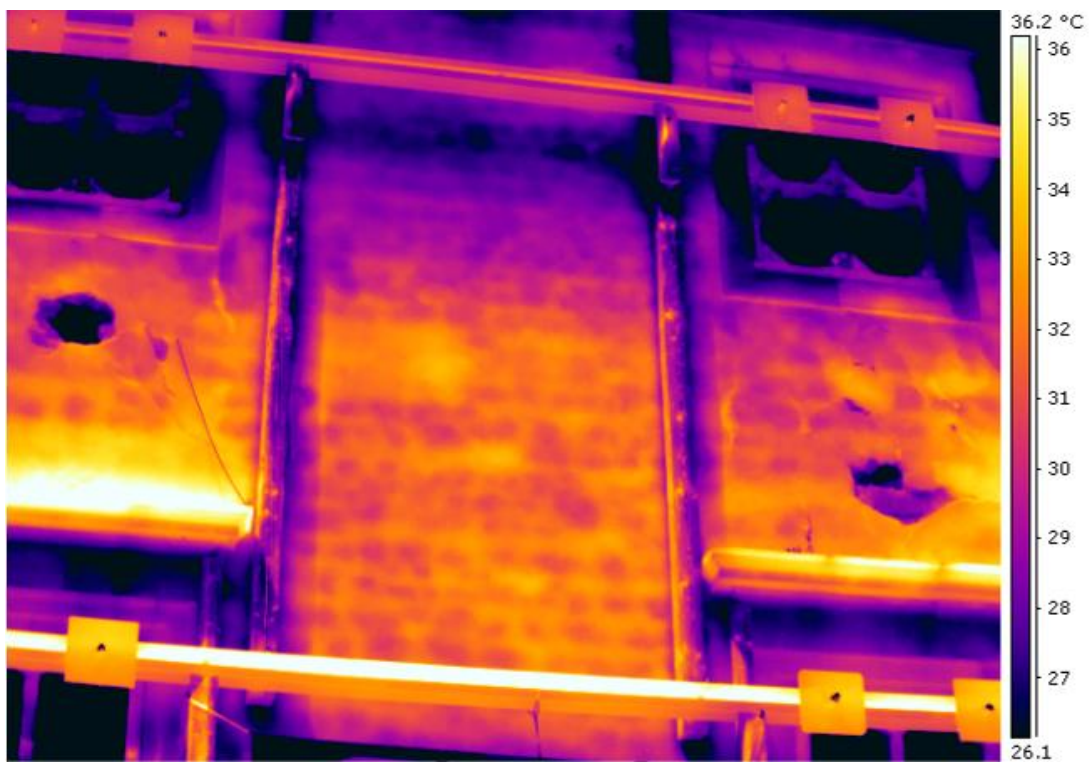
RISULTATI – FACCIATA ESTERNA LATO SUD-EST

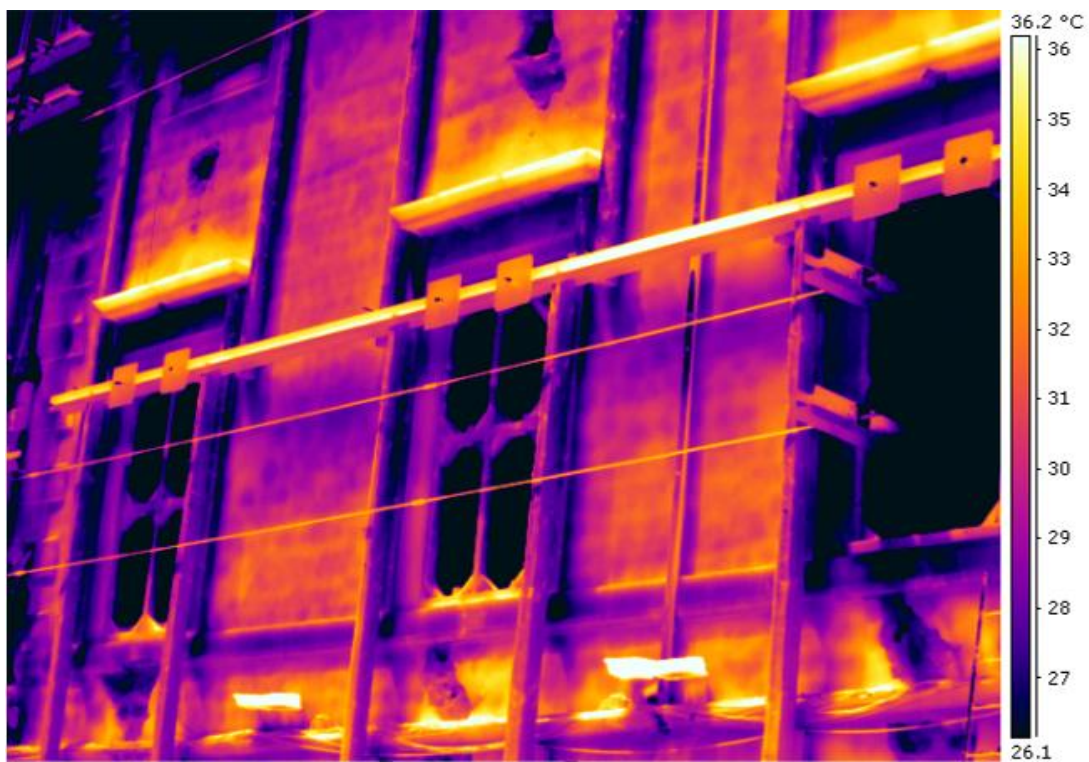


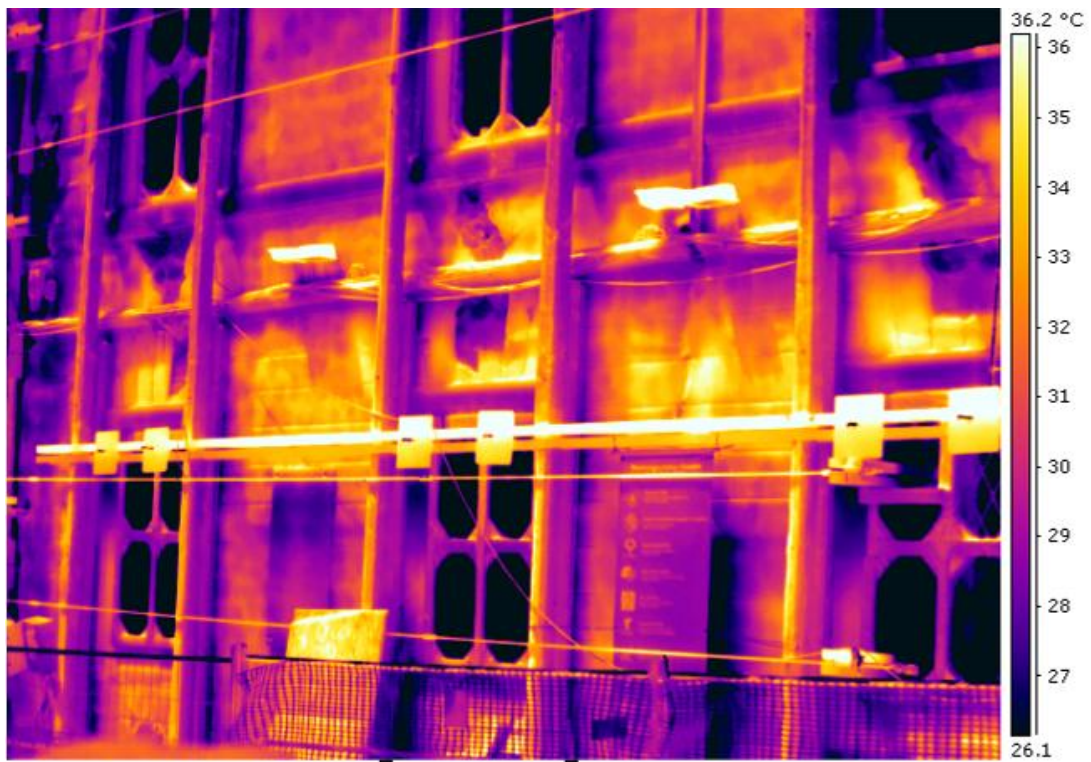




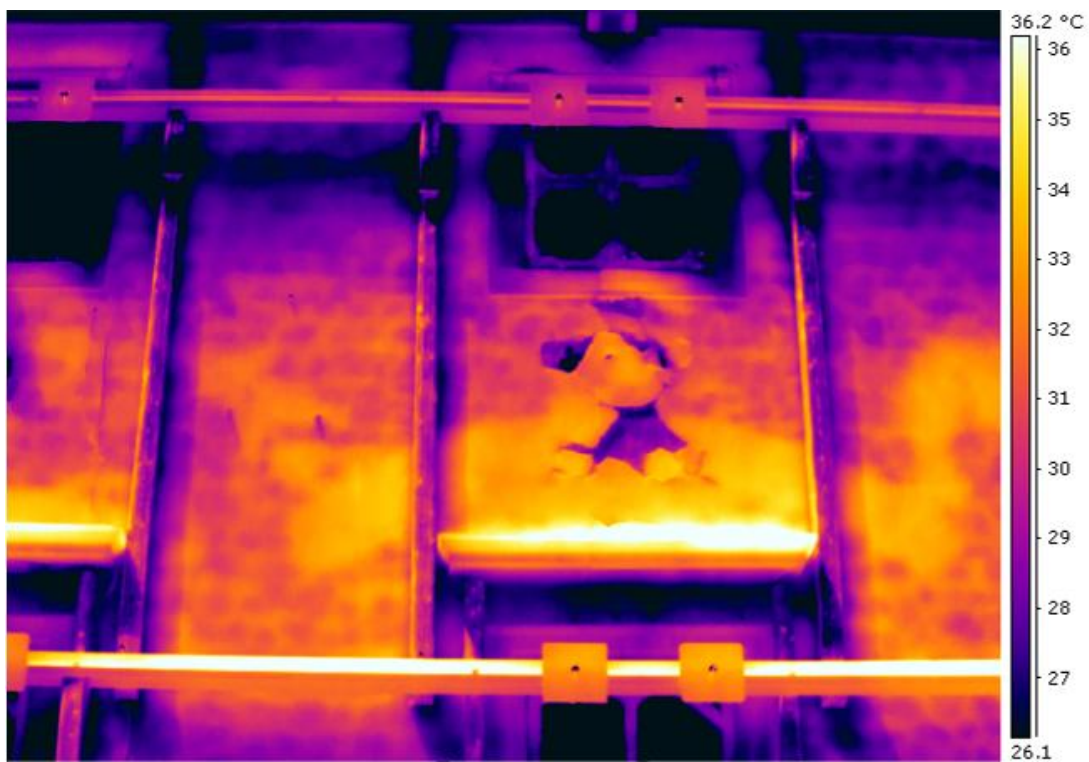


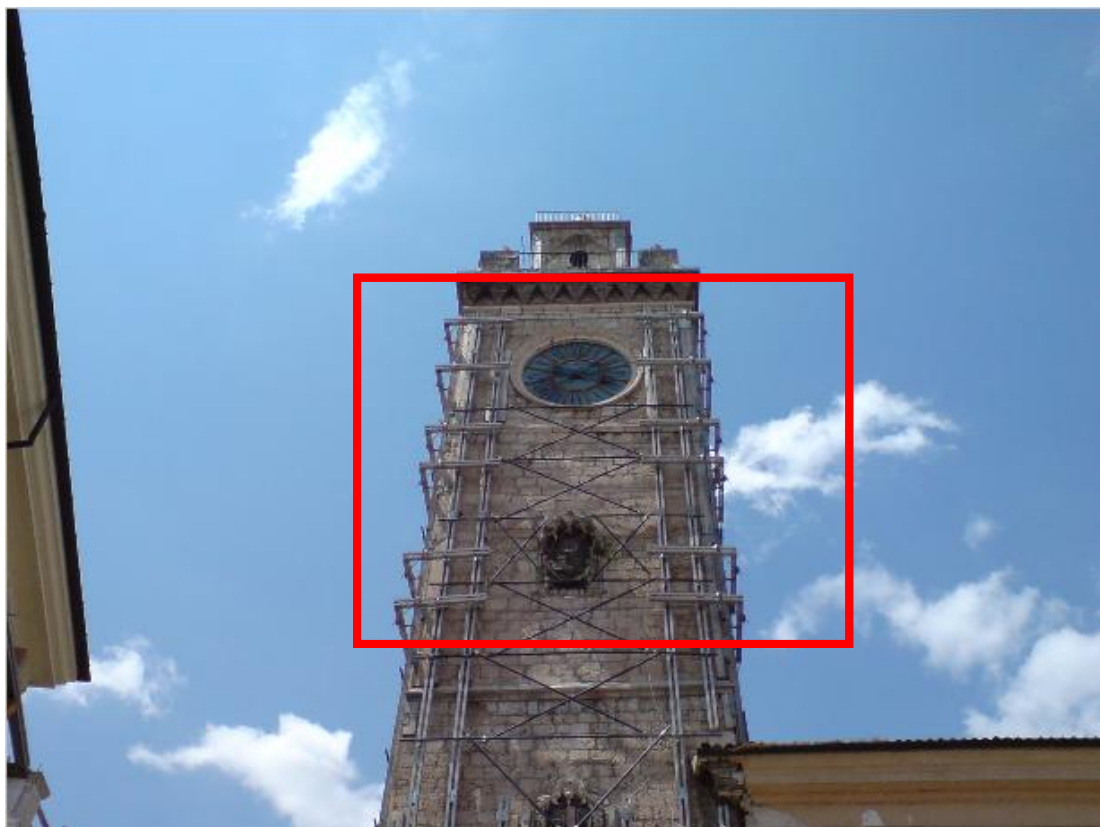
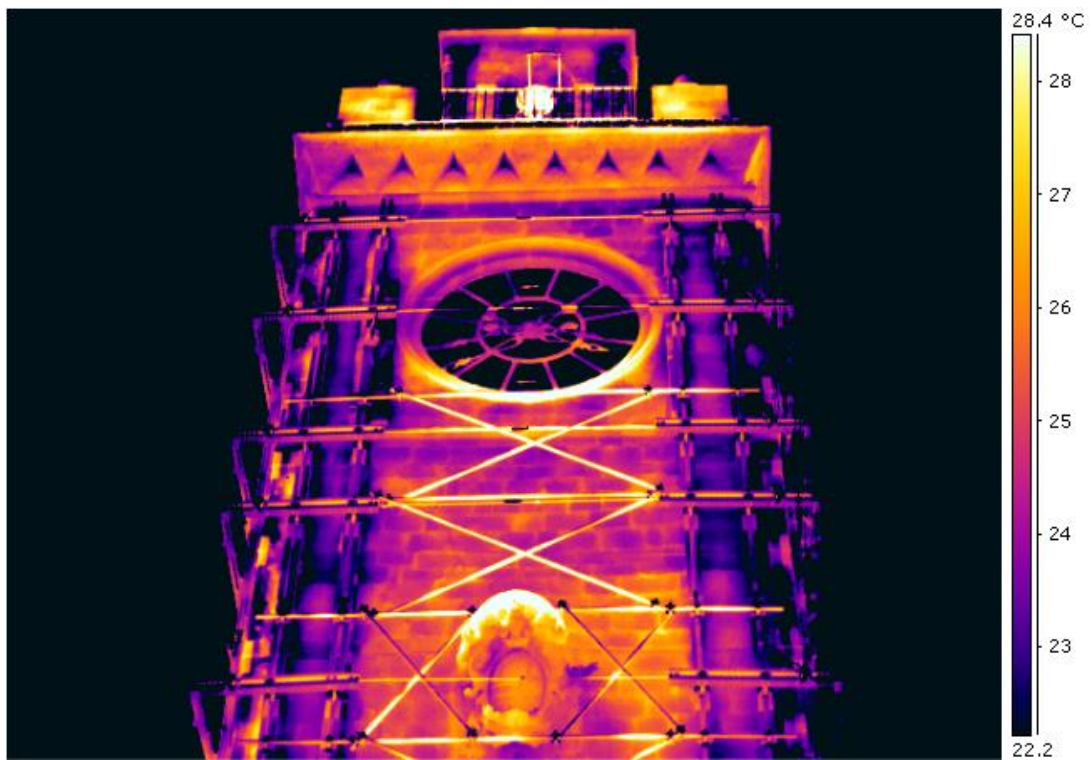


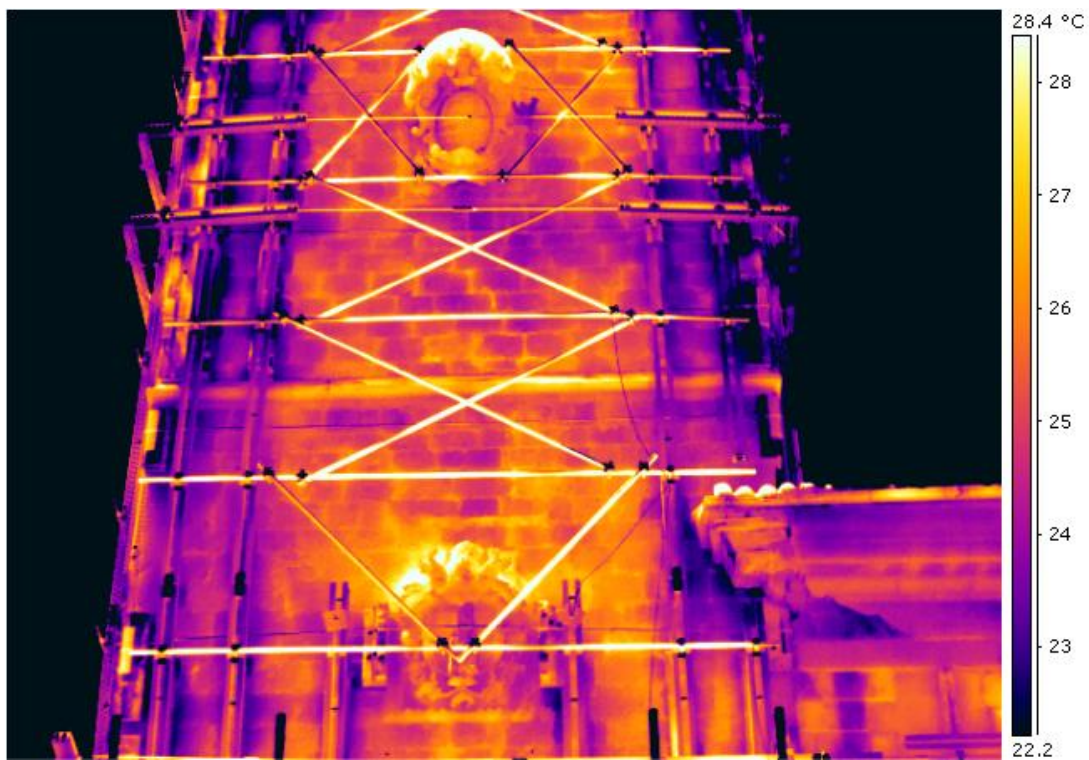


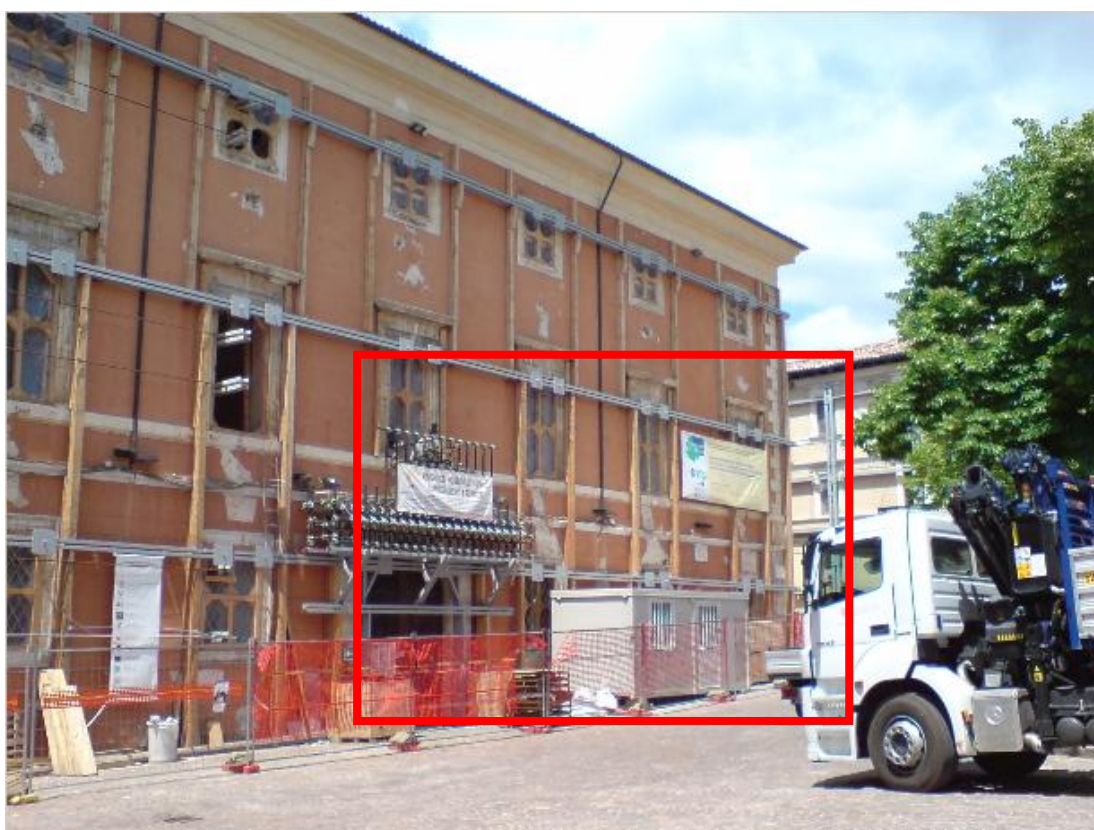


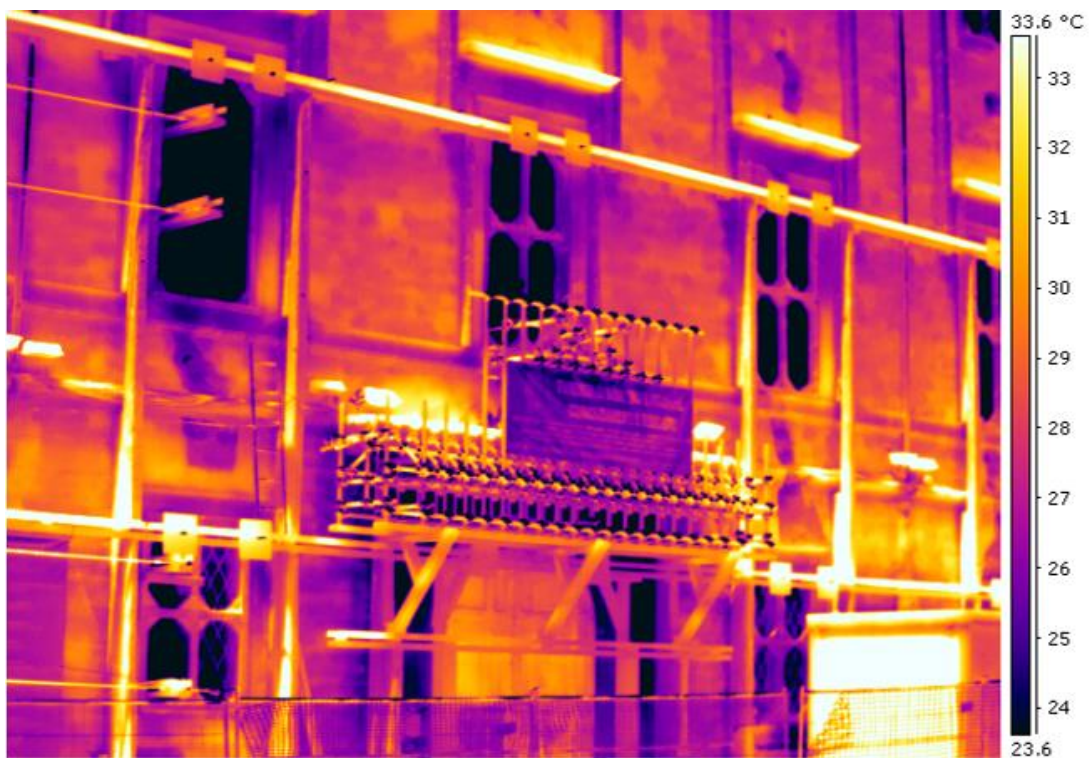


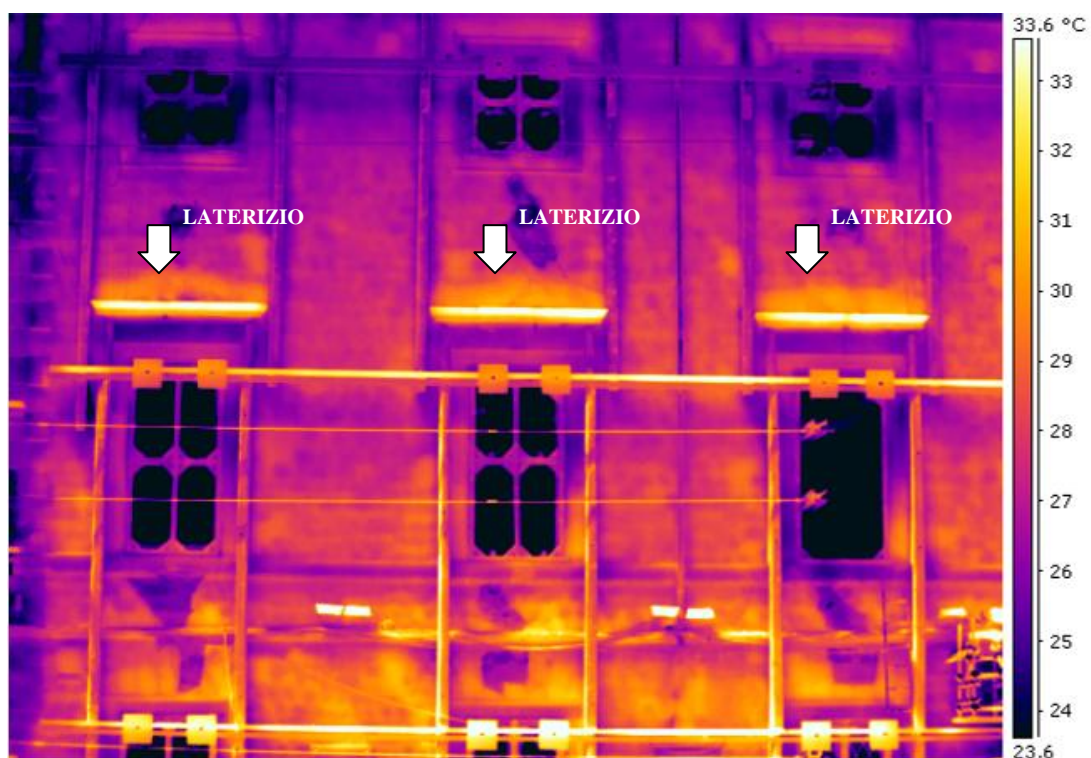




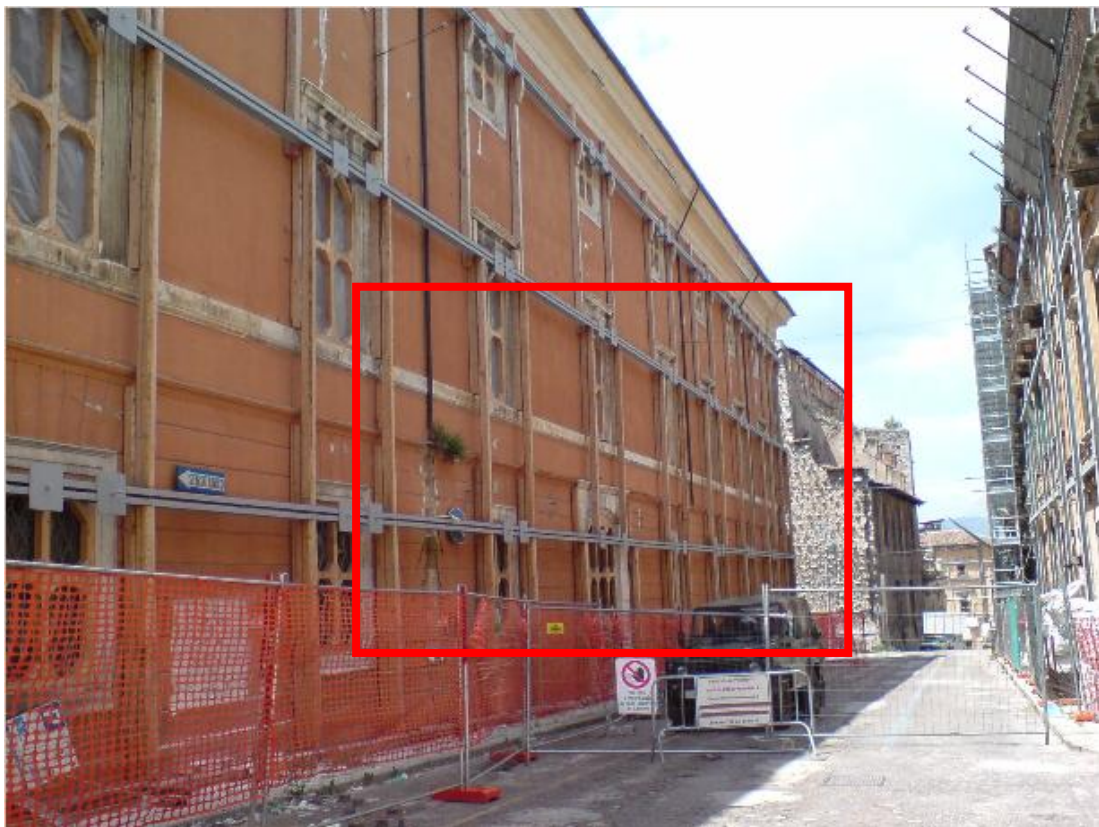


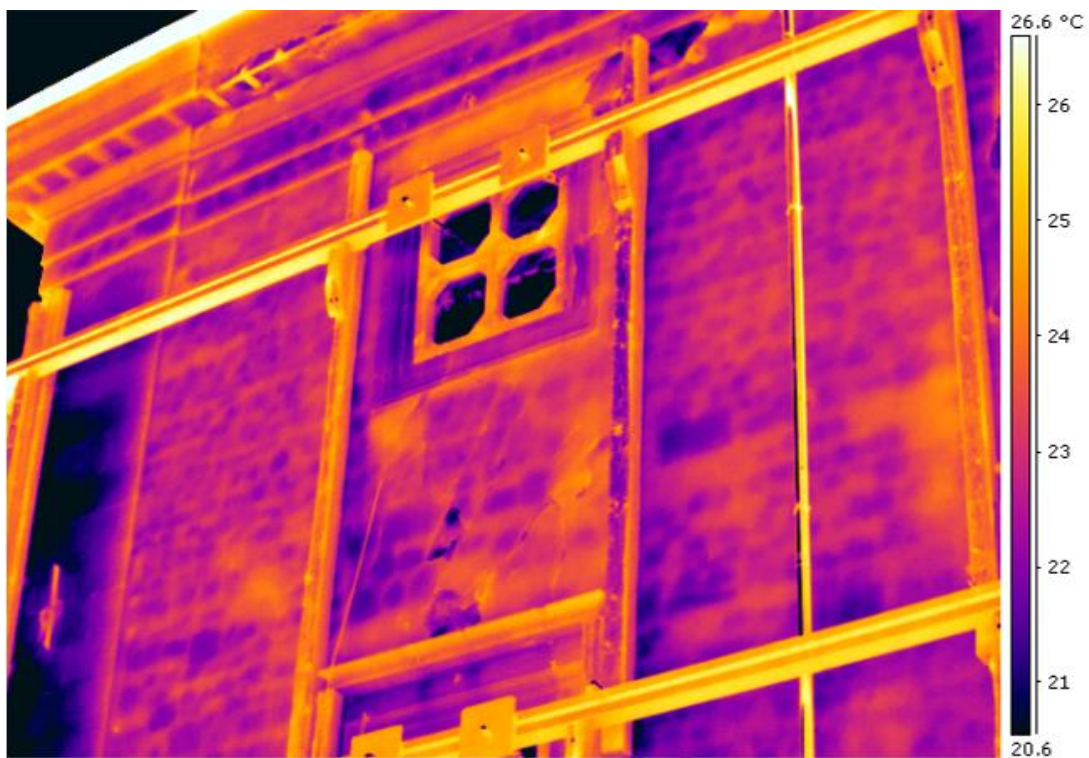


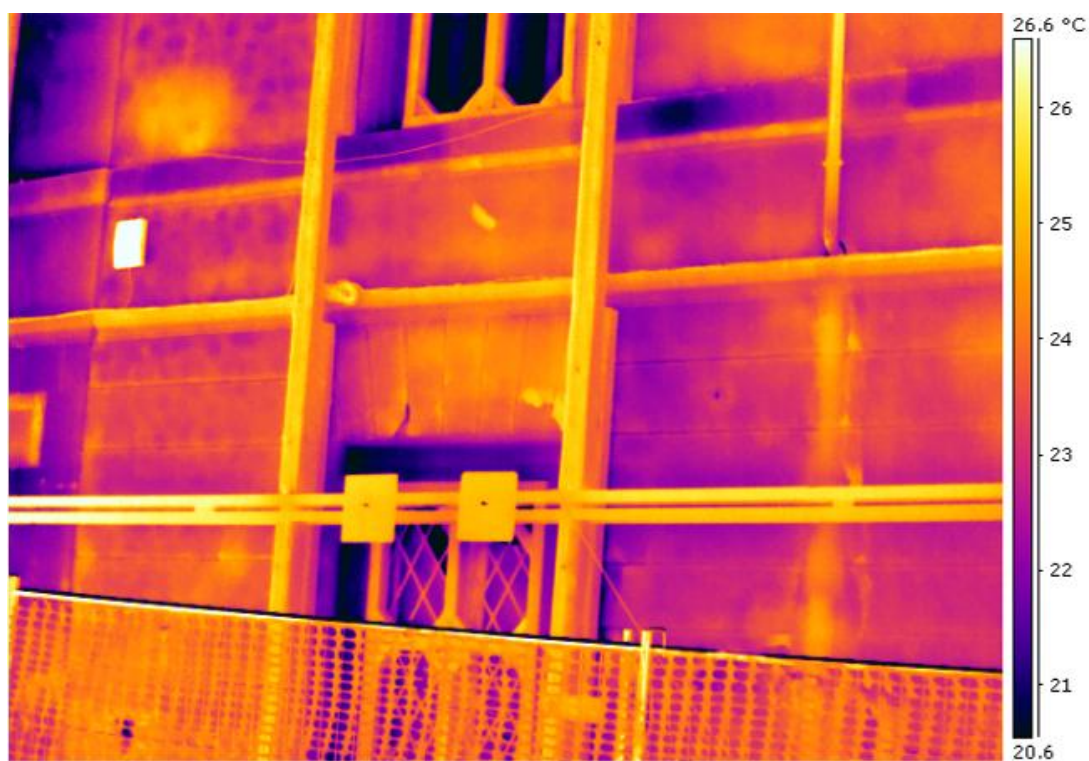


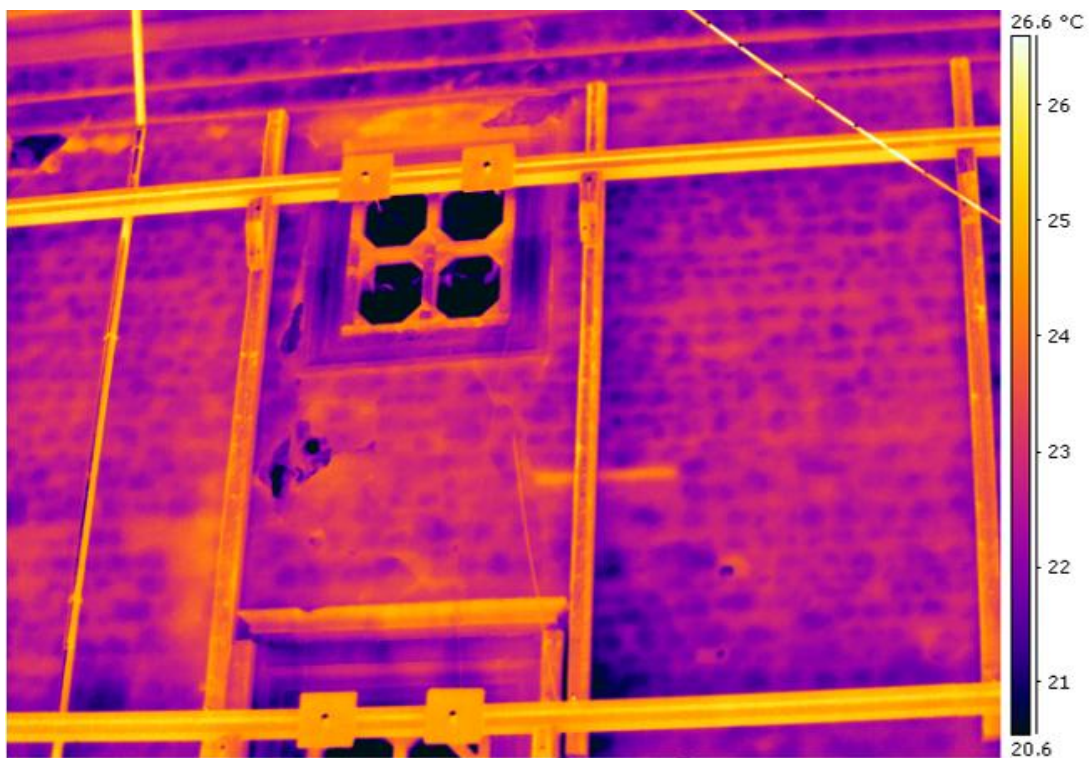


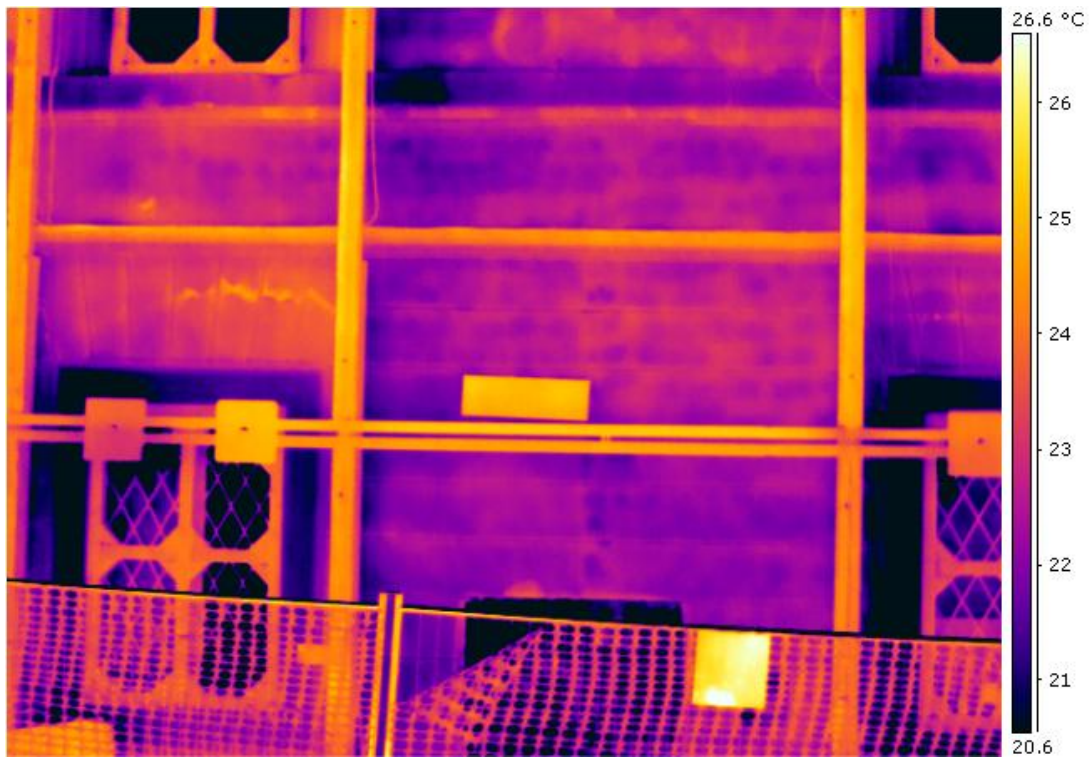
RISULTATI - FACCIATA ESTERNA LATO NORD-EST

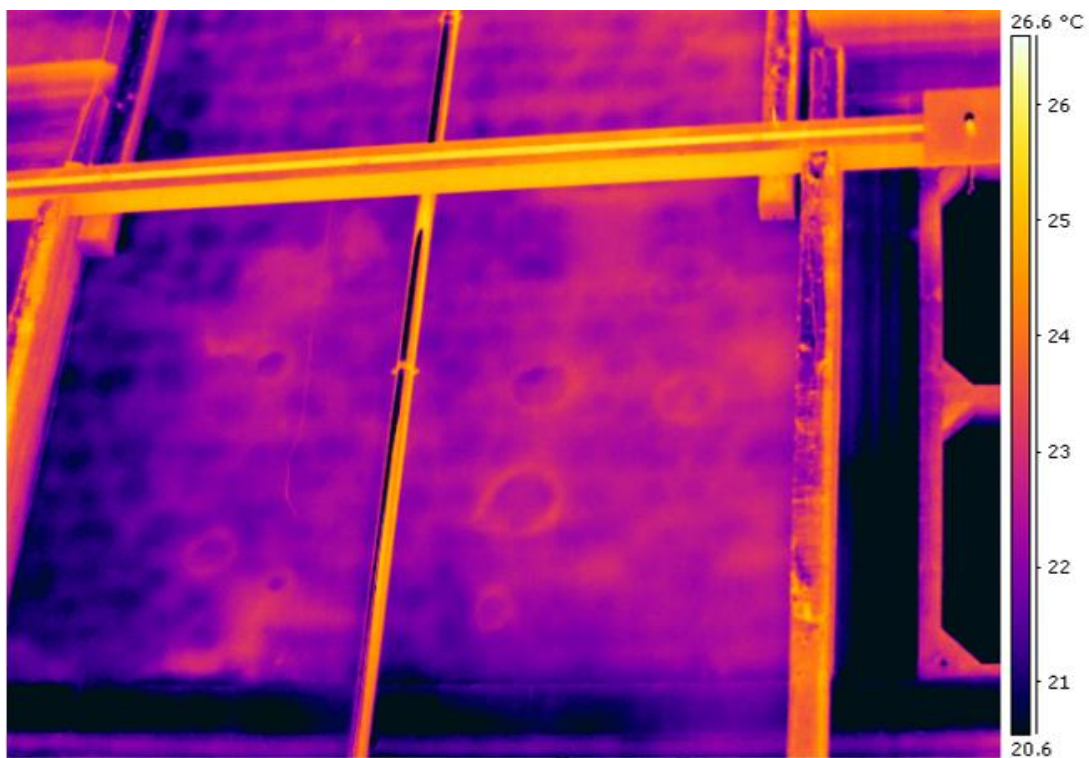


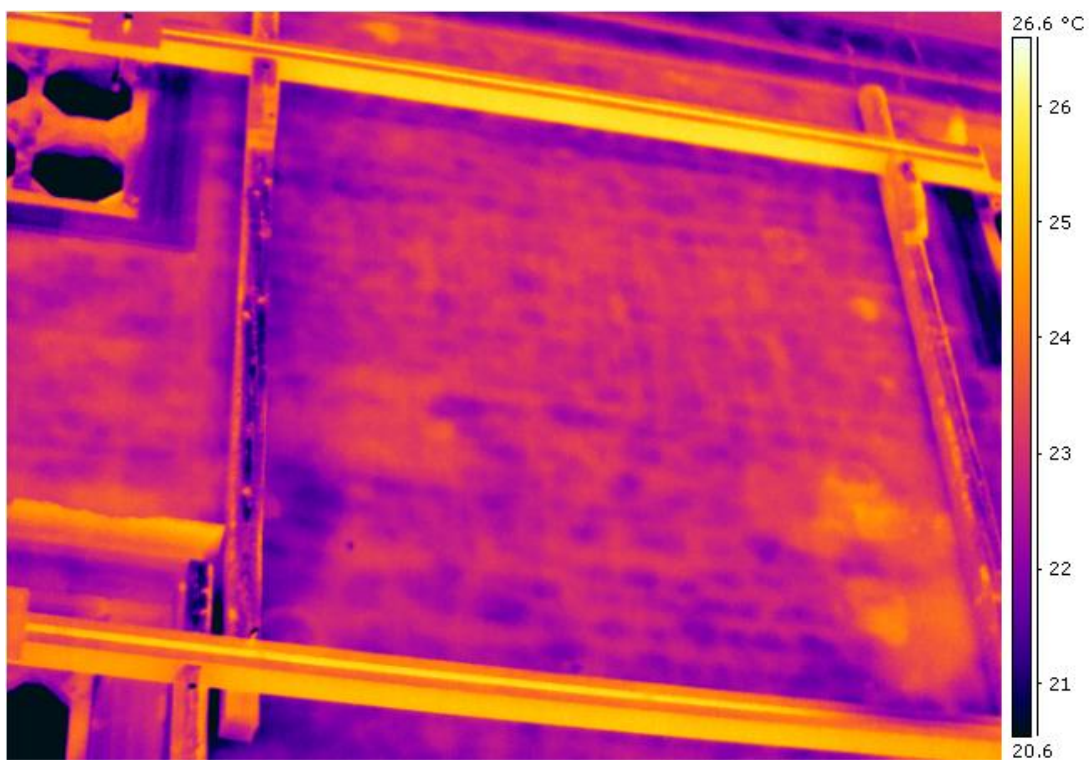


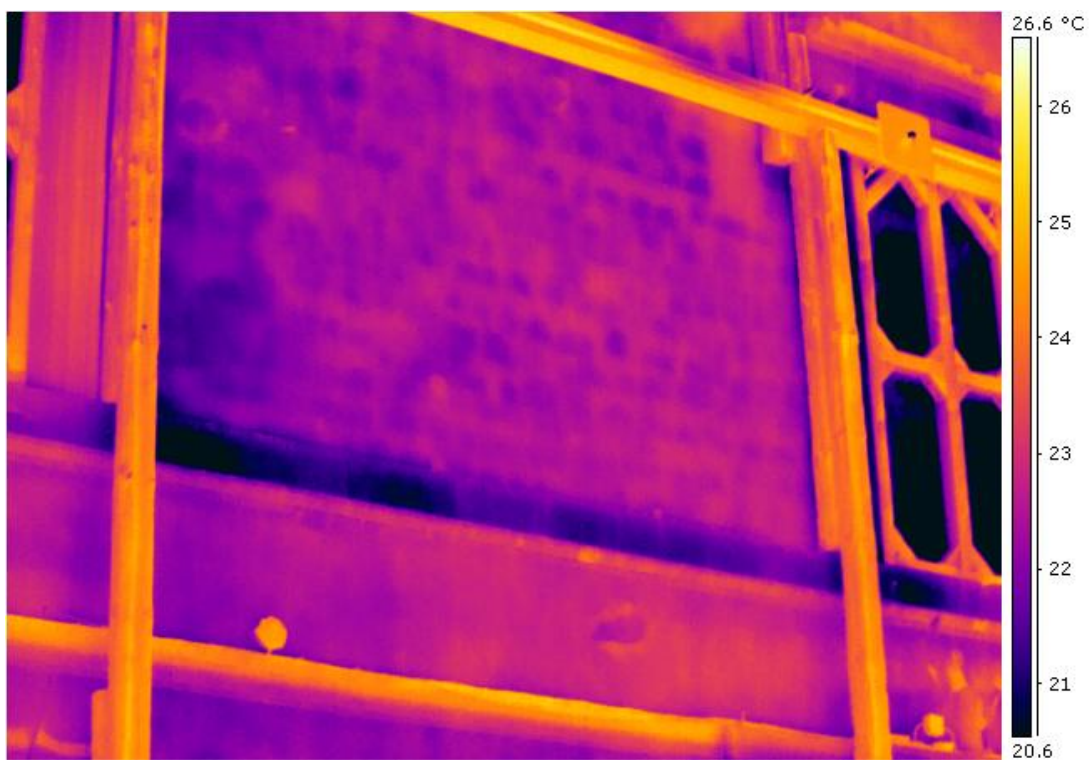


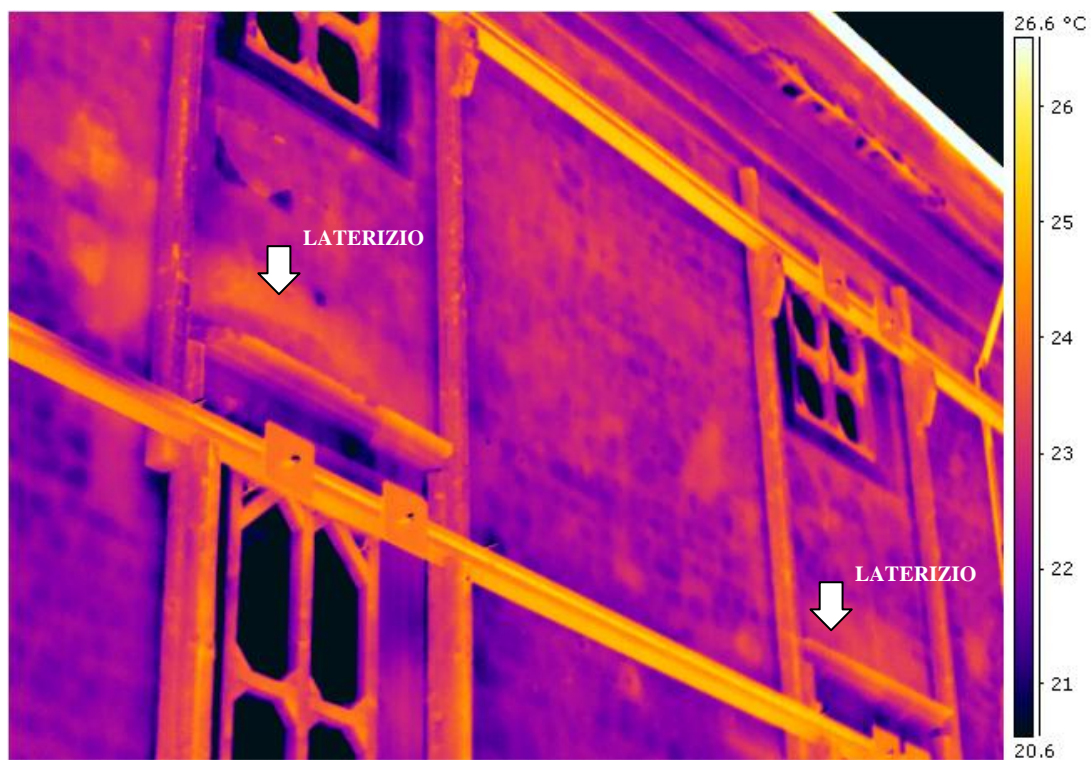


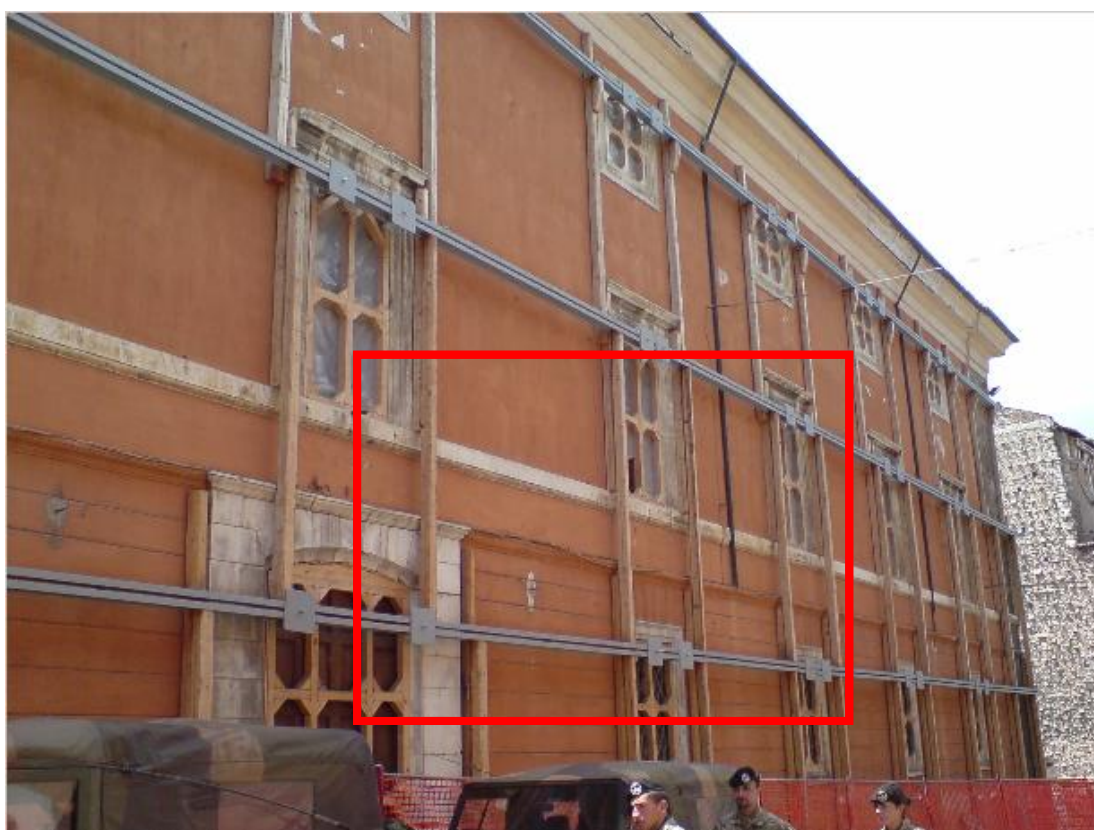






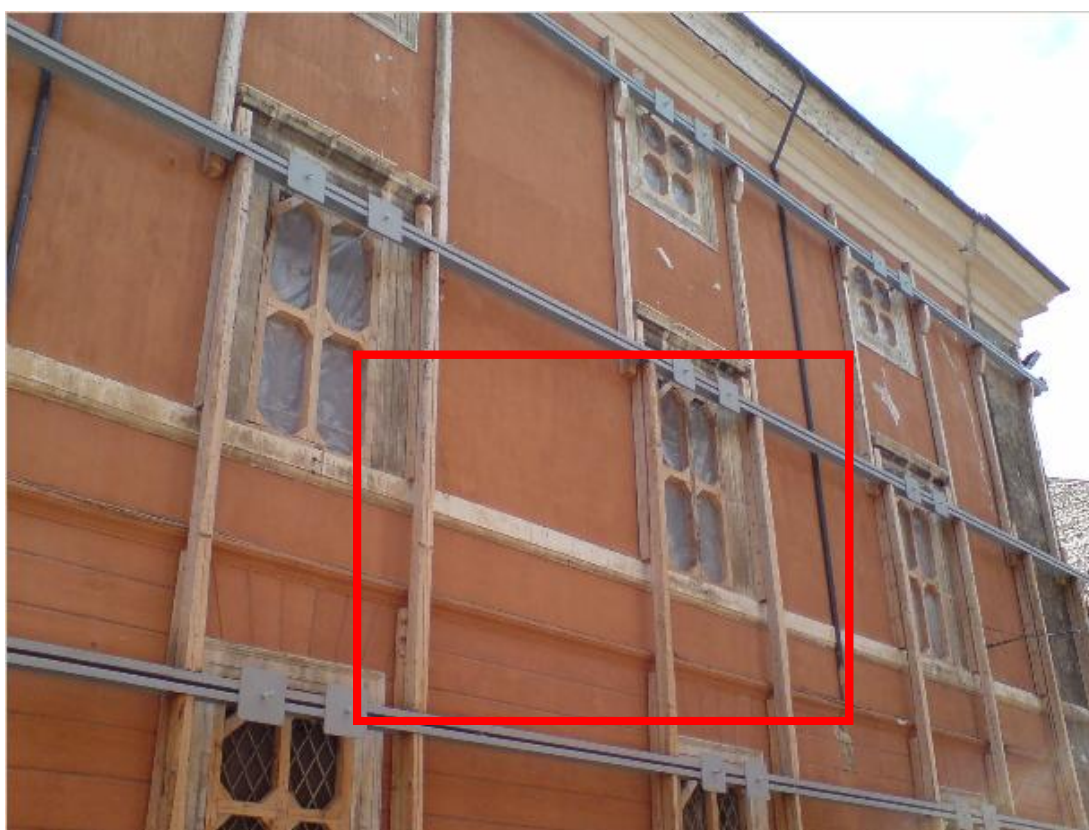


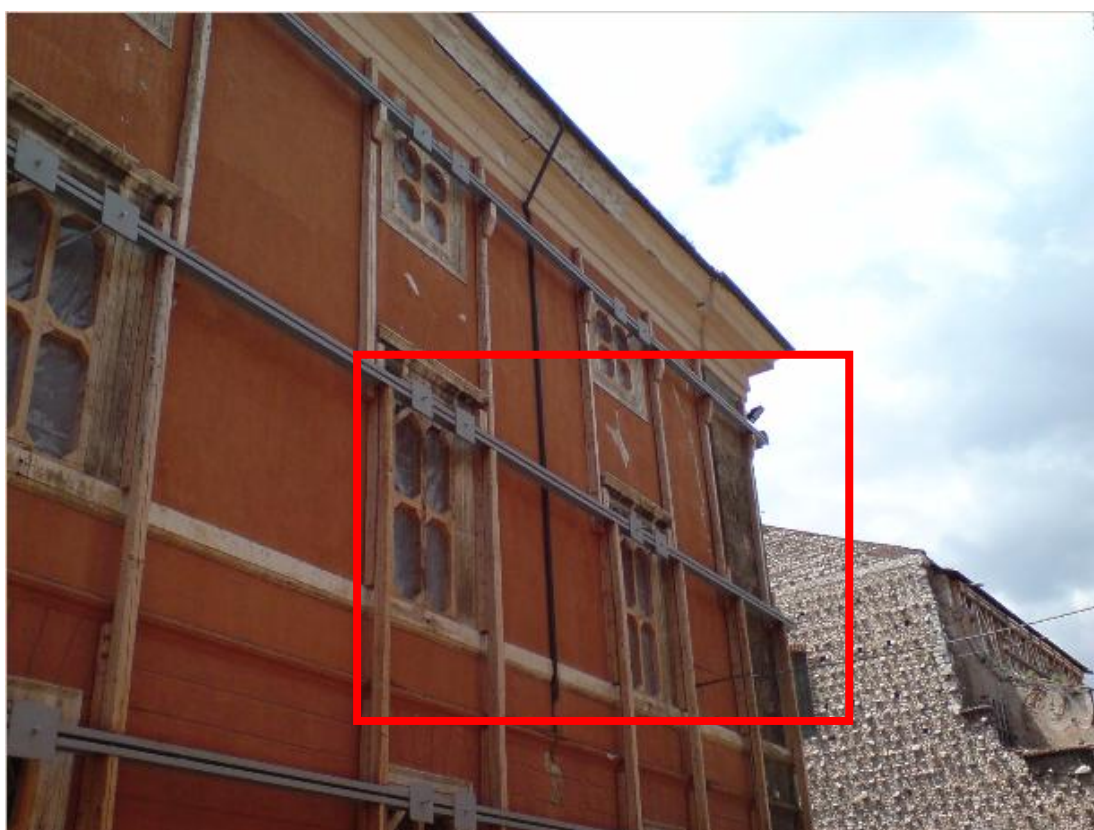


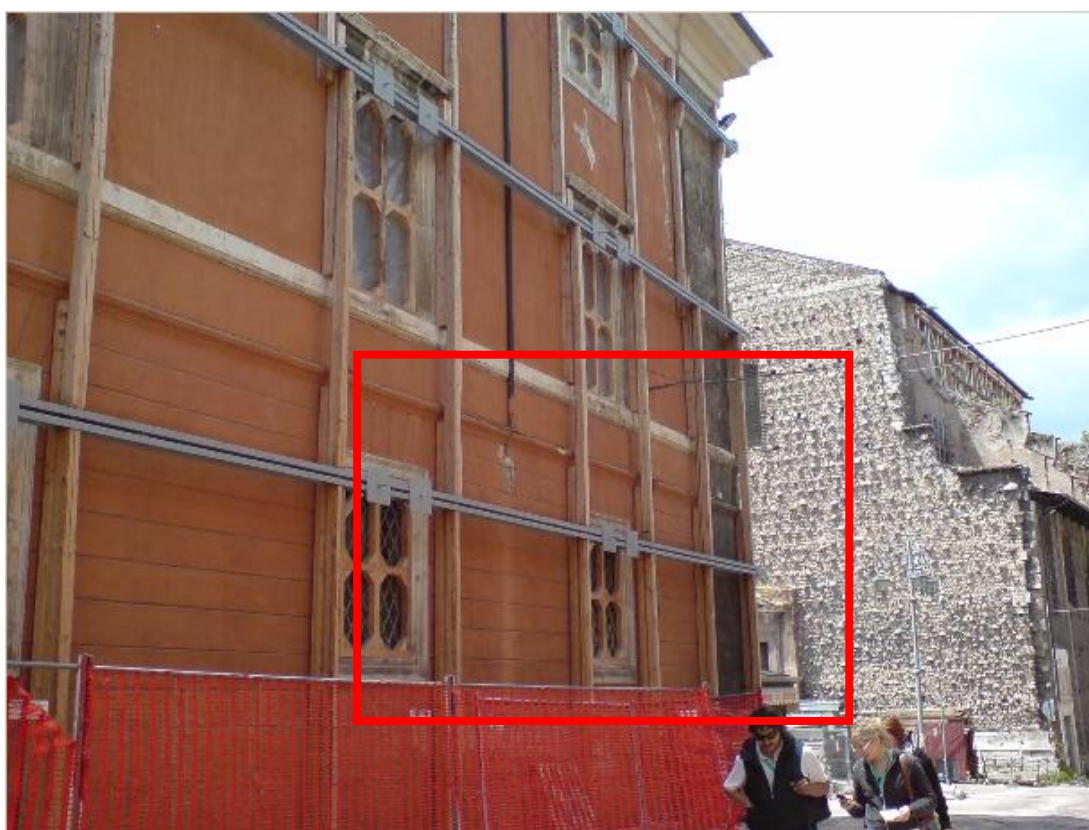
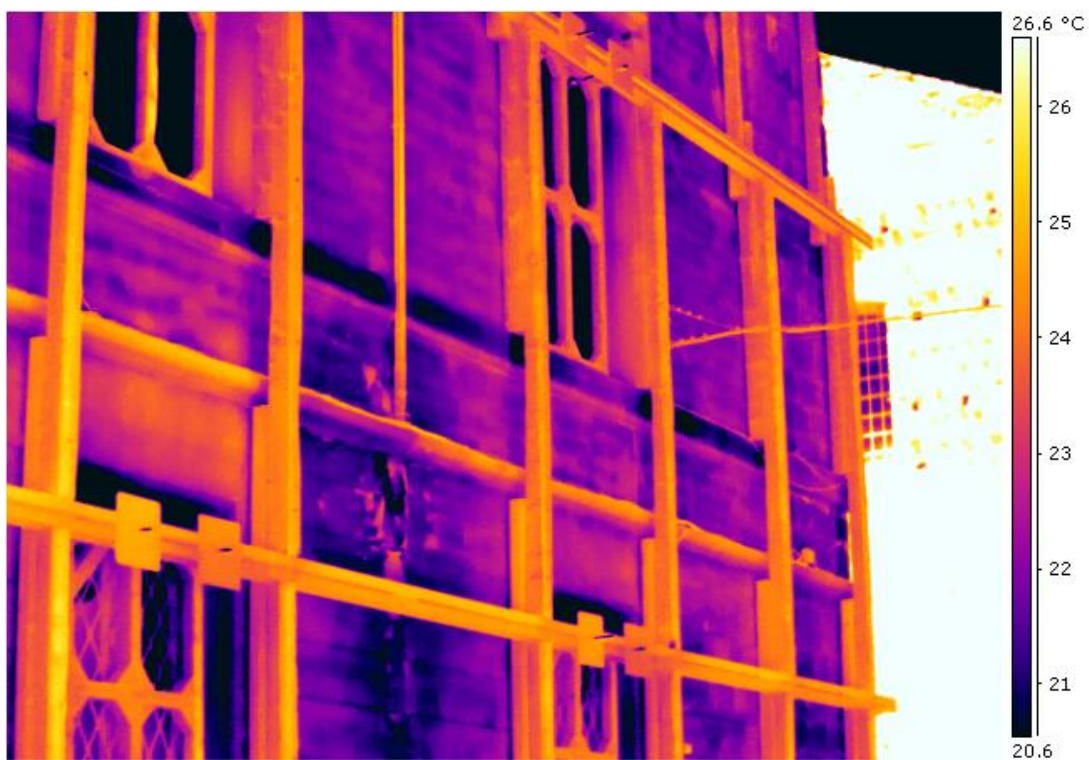


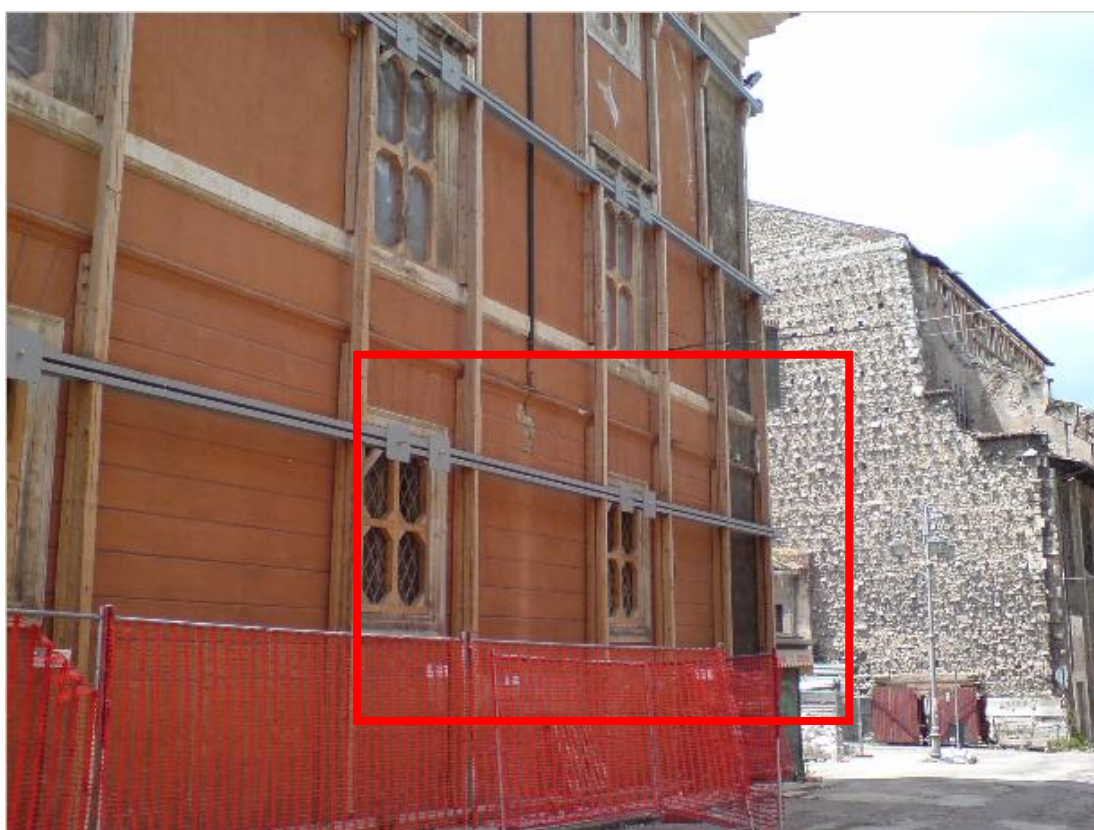
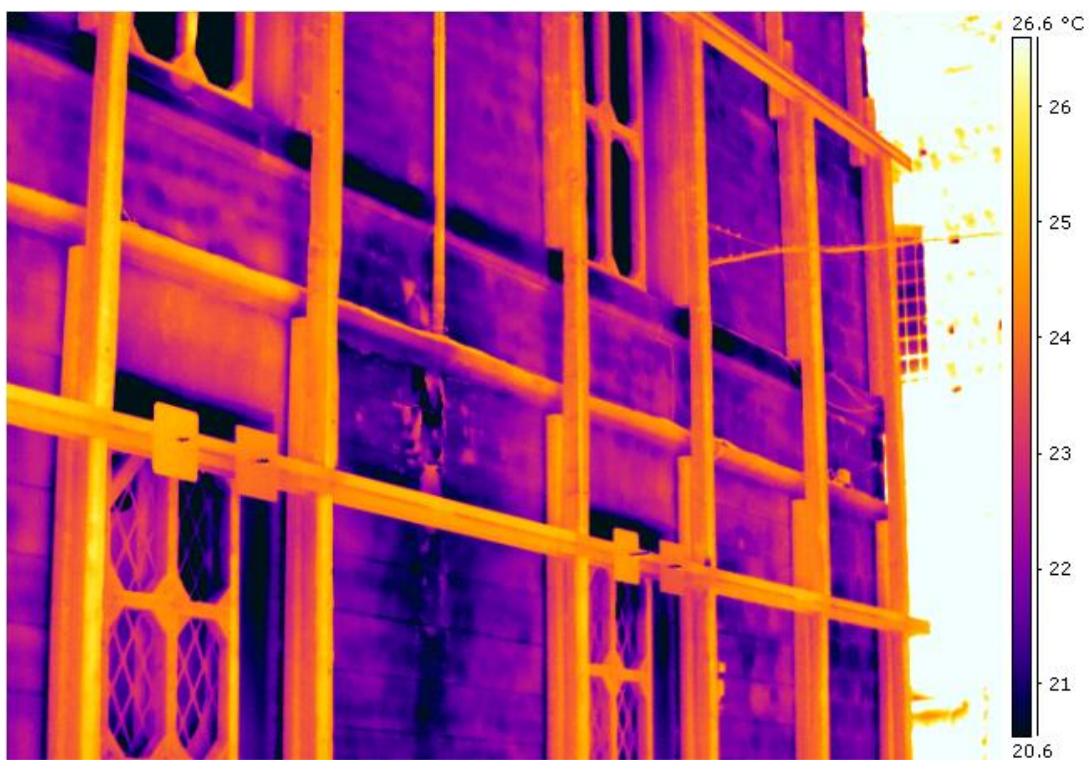


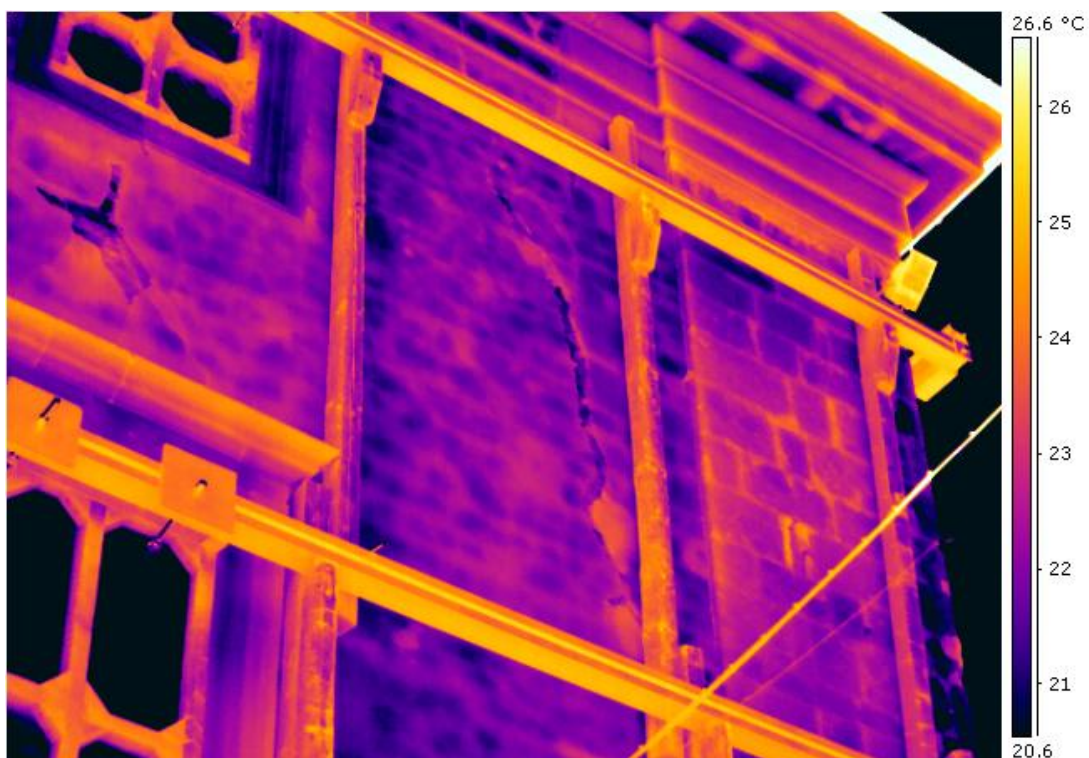


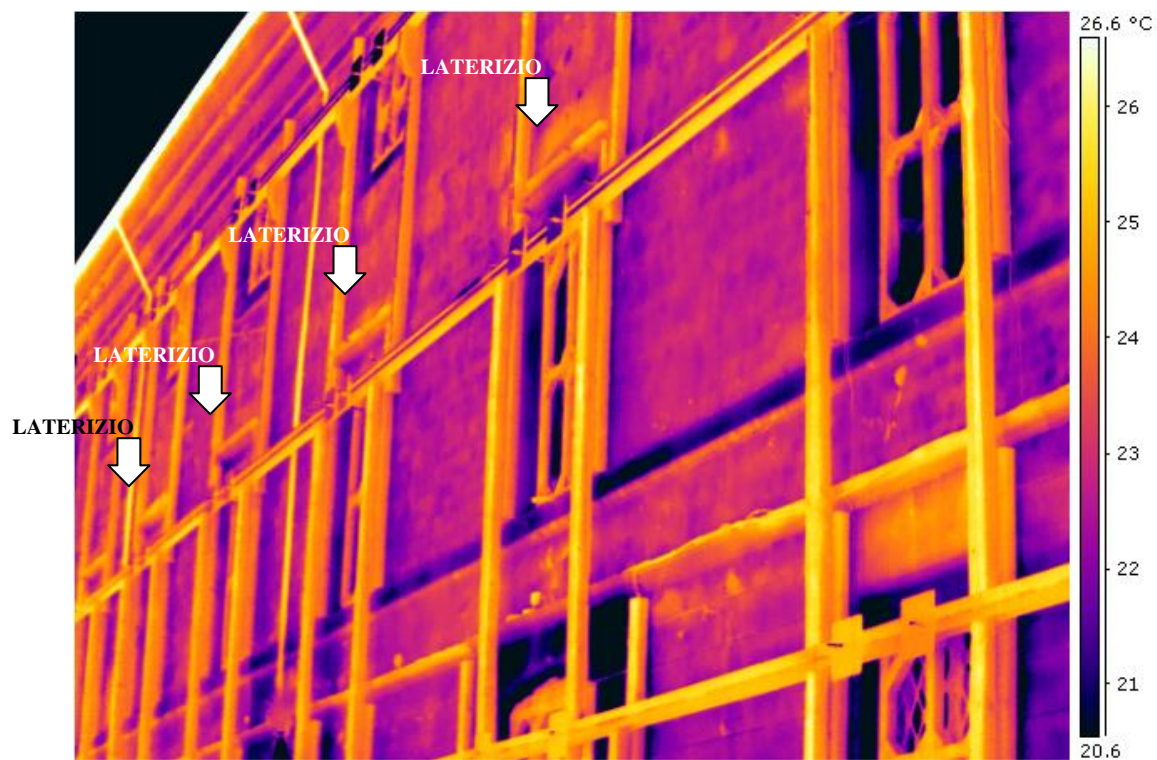




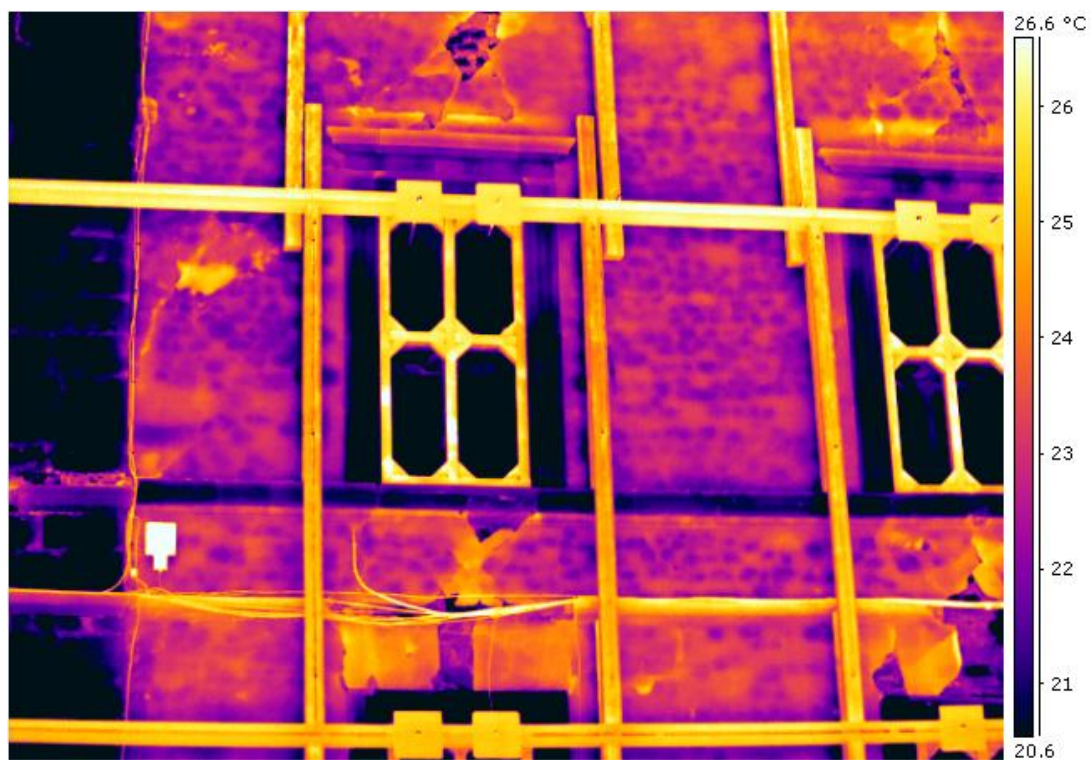


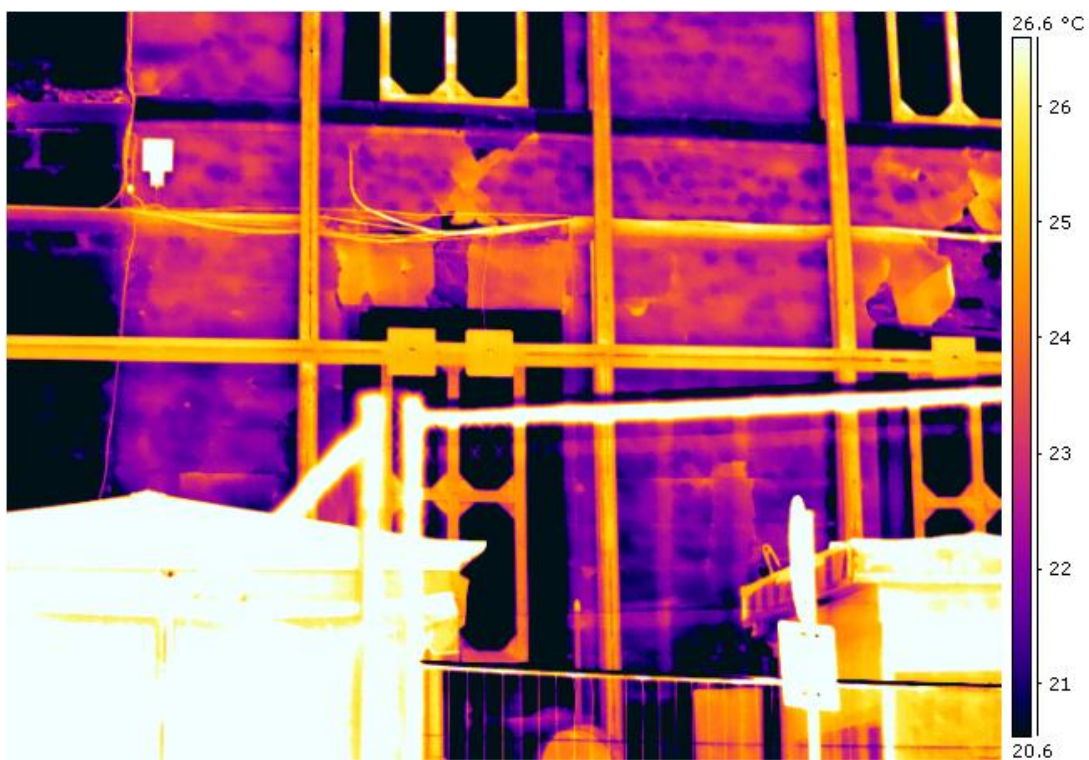




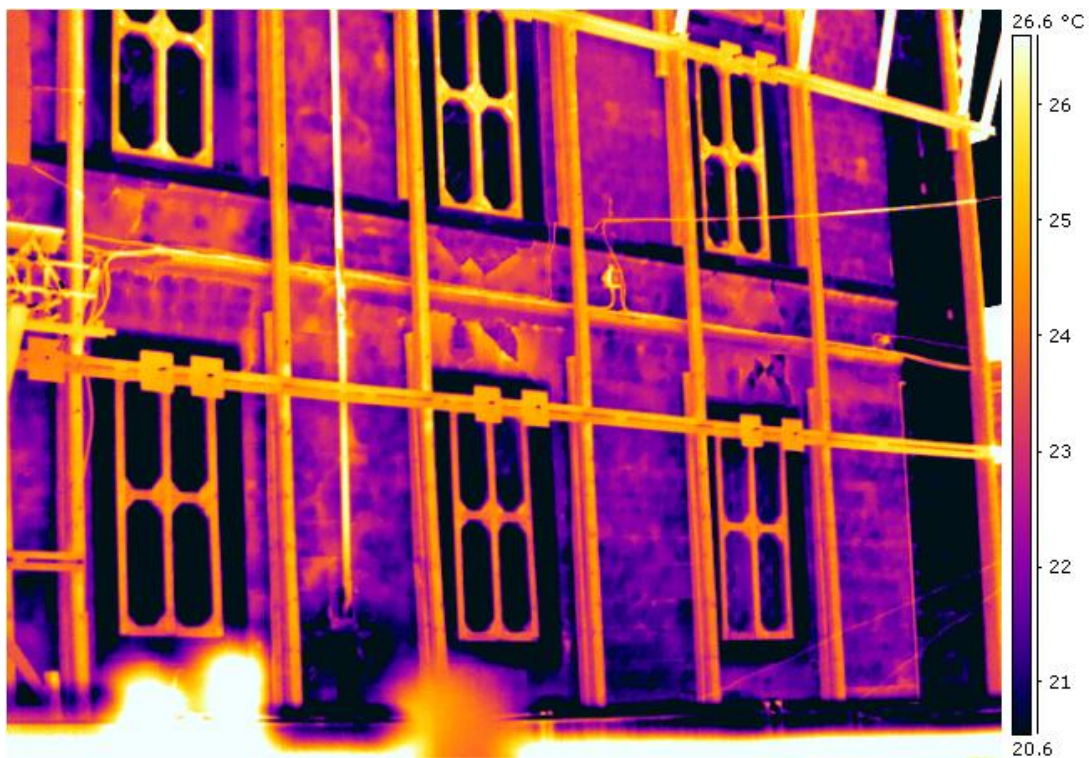


RISULTATI – FACCIATA ESTERNA LATO NORD-OVEST











RISULTATI - FACCIATA ESTERNA LATO SUD-OVEST

