



**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA**

Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile ed Ambientale

Corso di Laurea Magistrale a ciclo unico in Ingegneria Edile-Architettura

**TESI DI LAUREA**

**INDAGINI SPERIMENTALI NON DISTRUTTIVE PER LA  
VALUTAZIONE DI ALCUNI ASPETTI CARATTERIZZANTI  
L'EVOLUZIONE STORICA E GLI INTERVENTI PREGRESSI  
DELLA CAPPELLA DEGLI SCROVEGNI**

Relatori: Prof. ssa Maria Rosa Valluzzi

Correlatori: Prof. Claudio Modena

Prof. ssa Rita Deiana

Prof. Stefano Zaggia

Dott. Ing. Filippo Lorenzoni

Laureanda: Linda Stievano

Anno Accademico 2014-2015



*Alla mia famiglia*



*Un sentito ringraziamento alla prof.ssa Maria Rosa Valluzzi, relatrice di questa tesi, per avermi trasmesso con la sua passione per la ricerca l'entusiasmo nell'affrontare il mio studio. Ringrazio il prof. Modena, studioso dello stato di conservazione della Cappella degli Scrovegni, per aver condiviso il materiale di ricerca, buona base di partenza. Un ringraziamento alla prof.ssa Rita Deiana e al prof. Stefano Zaggia per i loro preziosi consigli ed insegnamenti. Un sentito grazie al dott. ing. Filippo Lorenzoni e all'ing. Mauro Caldon per la disponibilità e la pazienza nel seguirmi, e guidarmi, negli ultimi mesi.*

*Un riconoscimento di cuore ai miei genitori, Vanna e Graziano, da sempre punto di riferimento per me, con i loro sacrifici e il loro supporto mi hanno donato la possibilità di raggiungere questo importante traguardo. Sono molto grata a Alessia che mi ha sopportato in diverse occasioni rivelandosi un valido e fidato aiuto. Un ringraziamento particolare ai miei nonni che non smettono mai di credere in me, mostrandosi sempre attenti e interessati a tutto ciò che faccio.*

*Un grazie a Elena con la quale ho condiviso, oltre a questo lavoro di tesi, gli ultimi mesi alternando momenti sereni e di difficoltà, di confronto e di sostegno, che mi ha permesso di essere sempre me stessa offrendomi la sua naturalezza, determinazione e emotività. Un sentito grazie ad amiche vere e compagne nella quotidianità degli ultimi anni, Giorgia e Margherita, per l'aiuto, la semplicità e la tenacia che mi hanno donato.*

*Un ringraziamento a Silvia, Arianna e Elena, amiche da sempre, uniche e sincere, per la loro spontaneità e il loro sostegno nel quale mai dubiterò.*

*Desidero ringraziare infine Michael che ha saputo comprendermi ed accettarmi nel percorso di crescita insieme, complice solare e attento nella quotidianità e punto di forza nei momenti difficili.*



## **INDICE**

<b>Introduzione .....</b>	<b>1</b>
<b>Parte I. ANALISI STORICO – CRITICA .....</b>	<b>3</b>
<b>1. Inquadramento .....</b>	<b>5</b>
1.1. Inserimento del fabbricato nel contesto cittadino .....	5
1.2. Analisi dei piani territoriali.....	6
1.2.1. Elaborati di analisi .....	6
1.2.2. Elaborati di progetto .....	7
1.3. Inquadramento cartografico.....	7
1.4. Inquadramento sismico .....	9
1.4.1. Rischio sismico .....	9
1.4.2. Storia sismica dell'area.....	10
<b>2. Analisi storica.....</b>	<b>14</b>
2.1. Il ruolo della famiglia Scrovegni .....	15
2.1.1. L'acquisizione del sito .....	15
2.1.2. L'edificazione dell'oratorio.....	18
2.2. Famiglia Foscari.....	23
2.2. Famiglia Gradenigo .....	24
2.2. L'intervento del Comune di Padova.....	25
Appendice A. Cronologia storica.....	27
Appendice B. Cronologia storica illustrata.....	33
<b>3. I restauri .....</b>	<b>41</b>
3.1. Commissione del 1867 e intervento di Guglielmo Botti.....	42
3.2. Lavori condotti dal Comune: Maestri e Bertolli.....	44
3.2.1. Eugenio Maestri .....	45
3.2.2. Antonio Bertolli .....	46
3.3. Lavori di fine Ottocento – inizio Novecento .....	46
3.4. Prima Guerra Mondiale .....	47
3.5. Tra le guerre.....	48
3.6. Seconda Guerra Mondiale .....	49
3.7. Dopoguerra .....	51

3.8. Interventi anni Cinquanta .....	52
3.9. Interventi anni Sessanta.....	54
3.9.1. Sostituzione del tetto .....	54
3.9.2. Sostituzione e riparazione delle catene .....	58
3.9.3. Ultime constatazioni e conclusione dei lavori .....	61
3.10. Sisma del Friuli .....	62
3.11. Le nuove indagini: anni Ottanta e Novanta .....	63
3.12. Il Corpo Tecnico Attrezzato.....	65
3.13. Nuove indagini e cantieri mirati per il restauro degli affreschi (1989 – 2002)...	66
3.14. Le indagini idrogeologiche .....	66
Appendice C. Cronologia dei restauri.....	69
<b>4. I rilievi storici .....</b>	<b>85</b>
4.1. Rilievo del 1871 – “Chiesa dell’Annunziata, detta dell’Arena” .....	85
4.2. Rilievo del 1880 della condizione degli intonaci .....	92
4.3. Rilievo del 1957 – 1963 relativo ai lavori degli anni Sessanta .....	102
Appendice D. Schede iconografiche.....	105
<b>Parte II. ANALISI DELLO STATO DI FATTO.....</b>	<b>133</b>
<b>5. Rilievo architettonico e fotografico .....</b>	<b>135</b>
5.1. Descrizione morfologica del sito.....	135
5.2. Rilievo architettonico .....	136
5.2.1. Descrizione morfologica dell’edificio .....	143
5.2.2. Caratterizzazione funzionale dell’edificio e dei suoi spazi.....	145
5.3. Rilievo fotografico .....	147
5.3.1. Esterni .....	147
5.3.2. La cripta.....	150
5.3.3. La navata, presbiterio e abside, la loggia .....	151
5.3.4. Il sottotetto .....	151
Appendice E. Anfiteatro patavino: “planimetria degli scavi eseguiti dall’anno 1880 al 1907” .....	155
<b>6. Rilievo strutturale .....</b>	<b>159</b>
6.1. Unità strutturali.....	159

6.2. Rilievo delle tipologie murarie .....	161
6.2.1. Identificazione delle tipologie murarie .....	161
6.2.2. Valutazione della qualità muraria .....	163
6.3. Rilievo degli elementi strutturali .....	170
6.3.1. Strutture portanti e non portanti.....	170
6.3.2. Volte, solai e coperture .....	171
6.3.3. Catene e tiranti.....	176
<b>7. Rilievo critico del danno .....</b>	<b>184</b>
7.1. Quadro fessurativo .....	185
7.1.1. Fessurazione longitudinale della volta a botte .....	187
7.1.2. Analisi statica mediante costruzione grafica dell'arco.....	191
7.1.3. Fessurazione nell'arco trionfale .....	199
7.1.4. Fessurazione nella controfacciata .....	200
7.2. Analisi del degrado .....	201
7.2.1. Mappatura del degrado esterno .....	201
7.2.2. Mappatura del degrado interno .....	207
7.2.3. Natura del danno .....	214
7.3. Analisi delle vulnerabilità.....	215
7.3.1. Vulnerabilità in prospetto .....	215
7.3.2. Vulnerabilità in pianta.....	217
7.3.3. Vulnerabilità in sezione .....	220
7.4. Vulnerabilità non strutturali, arredi e impianti.....	221
7.4.1. Cripta .....	222
7.4.2. Navata .....	223
7.4.3. Sacrestia .....	224
7.4.4. Sottotetto.....	224
7.5. Gli strumenti schedografici .....	224
7.5.1. Scheda di I livello.....	224
Appendice F. Schematizzazione delle problematiche rintracciate .....	227
<b>Parte III. INDAGINI DIAGNOSTICHE.....</b>	<b>230</b>
<b>8. Sicurezza strutturale delle costruzioni storiche .....</b>	<b>233</b>
8.1. Generalità.....	233

8.1.1. Insegnamenti dalle esperienze italiane.....	235
8.1.2. Aggiornamento della normativa .....	238
8.1.3. Tecniche di intervento .....	239
<b>8.2. Indagini sperimentali .....</b>	<b>240</b>
8.2.1. Prove distruttive.....	242
8.2.2. Prove debolmente distruttive.....	243
8.2.3. Prove non distruttive .....	244
8.2.3.1. Indagini GPR .....	246
8.2.3.2. Indagini ERT .....	247
<b>9. Piano d'indagine .....</b>	<b>249</b>
9.1. Tipologie di indagini previste .....	249
9.2. Pianificazione del piano d'indagine .....	250
9.2.1. Pianta piano interrato (-2 m), cripta .....	251
9.2.1. Pianta 1 m .....	253
9.2.1. Pianta 7 m .....	257
9.2.1. Pianta 11,6 m .....	259
<b>10. Basi teoriche: indagini termografiche .....</b>	<b>263</b>
10.1. Stato dell'arte.....	263
10.1.1. Cenni storici.....	263
10.1.2. Potenzialità nell'edilizia.....	264
10.2. La termocamera ed il suo funzionamento .....	266
10.2.1. Caratteristiche della radiazione infrarossa .....	268
10.3. La potenzialità della termografia .....	269
10.3.1. Principi fondamentali.....	270
10.3.2. Metodologia operativa.....	273
10.3.3. Dati di output .....	275
10.3.4. Interpretazione dei termogrammi .....	276
<b>11. Analisi delle indagini termografiche pregresse.....</b>	<b>277</b>
11.1. Indagini termografiche 1977 - 1978 .....	277
11.1.1. Periodo invernale, interno .....	277
11.1.2. Periodo invernale, esterno.....	280
11.1.3. Periodo estivo, interno.....	281
11.1.4. Periodo estivo, esterno .....	281

11.2. Indagini termografiche 2001.....	282
11.3. Indagini termografiche 2013.....	285
11.3.1. Parete nord .....	286
11.3.2. Volta .....	288
11.3.3. Arco trionfale .....	292
11.3.4. Controfacciata .....	294
11.3.5. Collegamenti .....	295
11.3.6. Parete sud .....	297
11.3.7. Osservazioni conclusive .....	300
<b>12. Indagini termografiche 2014.....</b>	<b>302</b>
12.1. Interno.....	302
12.1.1. Parete nord .....	302
12.1.2. Volta .....	303
12.1.3. Arco trionfale .....	304
12.1.4. Collegamenti .....	304
12.1.5. Abside.....	306
12.1.6. Lesioni .....	307
12.1.7. Parete sud .....	307
12.2. Esterno .....	309
12.2.1. Facciata .....	309
12.2.2. Retro.....	310
12.2.3. Parete nord .....	311
<b>Parte IV. COMPORTAMENTO STRUTTURALE.....</b>	<b>313</b>
<b>13. Analisi strutturali basate su modelli calibrati .....</b>	<b>315</b>
13.1. Sistema di monitoraggio strutturale attivo .....	315
13.1.1. Analisi dei dati statici .....	317
13.1.2. Analisi dei dati dinamici e identificazione dinamica .....	317
13.2. Analisi strutturale dei macroelementi e cinematismi .....	318
13.3. Modellazione e analisi strutturali .....	322
13.3.1. Analisi strutturali in <i>Straus 7</i> .....	322
13.3.2. Analisi strutturali in <i>Diana TNO</i> .....	325

<b>Conclusioni e sviluppi futuri .....</b>	<b>329</b>
<b>Bibliografia .....</b>	<b>333</b>

ALLEGATO I. Scheda di valutazione della qualità muraria

ALLEGATO II. Schede di valutazione e correlazione della vulnerabilità e del danno ad apparati decorativi fissi e al supporto strutturale

ALLEGATO III. Book di tavole.

## **INTRODUZIONE**

La Cappella degli Scrovegni, capolavoro della pittura italiana del Trecento, da più di settecento anni racchiude al suo interno il ciclo di affreschi realizzato da Giotto di Bondone. Il comune di Padova, acquisito il monumento alla fine dell'Ottocento, si occupa da allora della conservazione del prezioso bene storico - artistico: una commissione tecnico - scientifica istituita negli anni Ottanta svolge regolari campagne diagnostiche al fine di monitorare le condizioni dell'edificio e degli affreschi. Le indagini svolte sino ad oggi si riferiscono alle caratteristiche dell'ambiente interno, alla presenza di umidità nelle murature d'ambito, alle caratteristiche idrogeologiche del terreno e allo stato di salute dei dipinti murali.

Al fine di prevedere interventi di risanamento del ciclo giottesco e di consolidamento della Cappella è necessario avere una buona conoscenza della struttura dell'edificio. La presente tesi fornisce infatti un percorso di analisi puntuali mirate alla conoscenza delle caratteristiche dell'edificio che porta alla redazione di un piano d'indagine laddove si riscontreranno problemi, incongruenze e mancanza di informazioni. Le prove previste saranno non distruttive in quanto la Cappella degli Scrovegni è un bene culturale; si studieranno le potenzialità di dette indagini al fine di chiarire gli aspetti caratterizzanti l'evoluzione storica, gli interventi pregressi e la presenza di danni. Infine sarà brevemente descritto il sistema di monitoraggio, sulla base del modello sperimentale che ne deriva è stato possibile calibrare modelli numerici e analitici e svolgere analisi mirate alla previsione del comportamento strutturale.

La tesi è composta da tre parti principali e da un book di tavole in allegato e si è ritenuto necessario presentare una quarta parte definita come segue.

Nella prima parte è riportata la ricerca storica volta a descrivere le fasi costruttive e, in particolare, gli interventi che hanno interessato la struttura nei secoli.

La seconda parte esamina lo stato di fatto dell'edificio da diversi punti di vista: inizialmente viene redatto un accurato rilievo architettonico ed una rappresentazione tridimensionale grazie alle misurazioni rilevate in sito, successivamente si è ritenuto

opportuno catalogare le immagini effettuate mediante un rilievo fotografico per avere sempre presente l'edificio in tutte le sue parti in quanto non accessibile al pubblico nella sua interezza ma in modo limitato alla sola navata. A seguire viene effettuato il rilievo strutturale analizzando e classificando le tipologie murarie e descrivendo nel dettaglio gli elementi strutturali; segue l'analisi del degrado complessiva di studio del quadro fessurativo, rilievo del danno e individuazione degli elementi vulnerabili.

Lo studio delle fasi costruttive e degli interventi pregressi connessi al rilievo strutturale e all'analisi del degrado permettono di individuare e catalogare gli aspetti problematici che caratterizzano l'edificio.

La terza parte ha l'obiettivo di dare risposte alle molteplici incertezze derivanti dalle indagini conoscitive mediante la redazione di un piano d'indagine costituito da prove non distruttive e, limitatamente ad alcuni ambienti indicati, prove debolmente distruttive. Si esamina lo stato dell'arte e le potenzialità delle indagini, soffermandosi su georadar, tomografia e termografie. Vengono poi esposti le modalità e gli esiti delle indagini termografiche effettuate nel novembre 2014, precedute dallo studio dei risultati ottenuti dalle campagne svolte precedentemente.

La quarta e ultima parte, descrive sinteticamente il sistema di monitoraggio attivo statico e dinamico, espone la modellazione strutturale analitica e numerica e riassume gli esiti delle analisi strutturali svolte su modelli calibrati basandosi sul comportamento reale della struttura e registrate dal sistema di monitoraggio. Il lavoro di tesi fin'ora condotto è infatti base imprescindibile per una corretta analisi e caratterizzazione strutturale dell'edificio, di cui se ne potrà trovare più ampia trattazione nella tesi di laurea magistrale di Fusaro Maria Elena, "Valutazione del comportamento strutturale della Cappella degli Scrovegni mediante modelli analitici e numerici calibrati tramite monitoraggio statico e dinamico", attività svolta parallelamente a quella della presente tesi.

***PARTE I***  
***ANALISI STORICO - CRITICA***



## **1. INQUADRAMENTO**

La Cappella degli Scrovegni, prezioso bene artistico della città patavina, si erge da più di settecento anni affacciandosi sull'antico anfiteatro romano.

Si vuole di seguito fornire un inquadramento urbano con il fine di individuare l'edificio all'interno della città, analizzare la sua relazione con il contesto sia ambientale che cittadino, approfondire lo studio dei piani territoriali, nello specifico del Piano di Assetto Territoriale Intercomunale, ricavando le informazioni maggiormente significative. L'analisi proposta si sviluppa partendo da una scala urbanistica pari a 1:10000 per arrivare, dopo successivi *zoom*, ad inquadrare l'edificio da un punto di vista geograficamente più ravvicinato riportando estratti catastali e del Piano Regolatore Generale.

### **1.1. INSERIMENTO DEL FABBRICATO NEL CONTESTO CITTADINO<sup>1</sup>**

L'edificio si trova nella zona centro-settentrionale del Comune di Padova, alle porte dell'antica città, a stretto contatto con il torrione dell'Arena; più precisamente è collocato all'interno dei giardini dell'Arena, delimitati dalle mura storiche che si affacciano sul canale Piovego. La Cappella degli Scrovegni si trova in un punto strategico ed è facilmente raggiungibile: è sita a metà di Corso Garibaldi, importante via che collega direttamente la stazione ferroviaria sia al centro cittadino. Proseguendo verso sud lungo questo asse viario si incontrano infatti i principali monumenti che caratterizzano, insieme alla Cappella degli Scrovegni, la città: Palazzo Cavalli, il Pedrocchi, il Bo, Palazzo Moroni, Palazzo della Ragione, le Piazze e il Duomo. Seguendo invece il corso del fiume Piovego, verso est, è possibile raggiungere il polo universitario scientifico e quello ospedaliero. La chiesetta è meta del turismo mondiale, fa parte del complesso Arena-Eremitani: sorgono infatti nelle imminenti vicinanze la chiesa, il Museo Civico e i resti dell'anfiteatro romano.

---

<sup>1</sup> Si veda la tav. 1.01 presente nel book di tavole allegato.



Fig. 1.1. Estratto tavola 1.01.

## 1.2. ANALISI DEI PIANI TERRITORIALI

Per meglio comprendere la struttura del territorio comunale si è fatto riferimento al Piano di Assetto Territoriale Intercomunale (P.A.T.I.)<sup>2</sup>, suddiviso in due macro categorie: elaborati di analisi e elaborati di progetto. Viene di seguito riportato un rapporto riguardante le caratteristiche intrinseche significative della zona deducibili dallo studio di suddetta cartografia.

### 1.2.1 Elaborati di analisi<sup>3</sup>

Sia nella carta dell'assetto ambientale naturale, sia nella carta idrogeologica, vengono identificati i corsi d'acqua permanenti, superficiali ed interrati, prospicienti la Cappella degli Scrovegni: il canale Piovego e Naviglio Interno<sup>4</sup>; la carta idrogeologica individua inoltre le



Fig. 1.2. Estratto da Schema canali di Padova esistenti e tominati. Si veda appendice D. Schede iconografiche, n.26.

<sup>2</sup> [www.pianionline.it/elaborati-di-analisi](http://www.pianionline.it/elaborati-di-analisi); [www.pianionline.it/elaborati-di-progetto](http://www.pianionline.it/elaborati-di-progetto), visitati in data 5/11/2014.

<sup>3</sup> Si veda la tav. 1.02 presente nel book di tavole allegato.

<sup>4</sup> Canale tominato nel 1956, in corrispondenza dell'attuale Riviera dei Ponti Romani. Si veda appendice E. Schede iconografiche, n. 27.

diverse profondità della falda freatica, segnalando le diverse aree, nello specifico il sito oggetto di studio presenta una falda freatica a profondità compresa tra 2 e 5 m dal piano campagna. In aggiunta a queste informazioni, la carta geomorfologica indica gli argini principali in superficie, quello quindi del fiume Piovego. Infine la carta litologica fornisce importanti informazioni riguardo la composizione del terreno dell'area, viene classificato come materiale di riporto costituito da materiali alluvionali, fluvio-glaciali, morenici o lacustri a tessitura prevalentemente limo-argillosa.

### 1.2.2 Elaborati di progetto<sup>5</sup>

Analizzando la carta delle fragilità e del rischio ambientale, queste indicano la zona su cui si erige l'edificio rispettivamente come "area con caratteristiche geotecniche genericamente scadenti" e come terreno caratterizzato da permeabilità media. Gli elaborati di progetto non trattano il tema ambientale ma valorizzano l'aspetto storico-culturale, l'area infatti è definita di notevole interesse pubblico e di pregio. Importante è poi la presenza di vicine infrastrutture sovracomunali e di aree attrezzate a parco pubblico, come indicato nella carta delle trasformabilità.

## 1.3. INQUADRAMENTO CARTOGRAFICO<sup>6</sup>

L'analisi è proseguita basandosi sulla Carta Tecnica Regione (C.T.R.)<sup>7</sup> e sugli estratti catastali<sup>8</sup> che nello specifico hanno fornito informazioni riguardo il numero di particella catastale, 14. Viene esaminato poi il Piano Regolatore Generale (P.R.G.)<sup>9</sup> speciale per la zona del centro storico: la tavola B1 si riferisce alle modalità di attuazione nelle unità di piano, mentre la tavola B2 definisce le destinazioni d'uso. Nella prima carta l'edificio è identificato come unità di piano della classe A, modalità di tipo A, restauro scientifico<sup>10</sup>, sito in una zona verde attrezzata a parco; nella seconda viene definito come attrezzatura di interesse comune.

---

<sup>5</sup> Si veda la tav. 1.03 presente nel book di tavole allegato.

<sup>6</sup> Si veda la tav. 1.04 presente nel book di tavole allegato.

<sup>7</sup> [idt.regione.veneto.it/app/metacatalog](http://idt.regione.veneto.it/app/metacatalog), visitato in data 5/11/2014.

<sup>8</sup> [groupware.comune.padova.it/casperwebprg/index.html](http://groupware.comune.padova.it/casperwebprg/index.html), visitato in data 5/11/2014.

<sup>9</sup> [groupware.comune.padova.it/casperwebprg/index.html](http://groupware.comune.padova.it/casperwebprg/index.html), visitato in data 5/11/2014.

<sup>10</sup> Modalità di attuazione degli interventi nelle unità di piano: la classificazione delle unità di piano deriva dall'edificio con più elevato valore culturale presente.

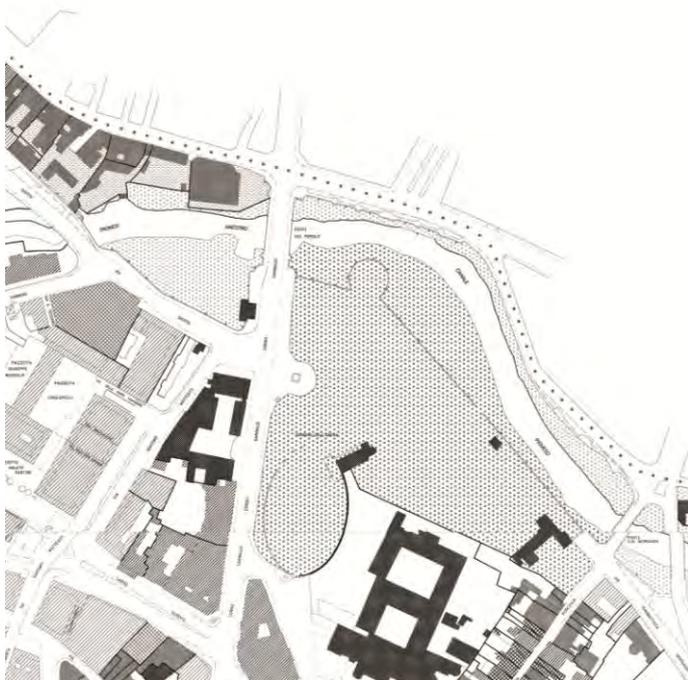


Fig. 1.3. Estratto della tavola B1 del PRG, Modalità di attuazione di piano.



Fig. 1.4. Estratto della tavola B2 del PRG, Destinazioni d'uso.

## 1.4. INQUADRAMENTO SISMICO<sup>11</sup>

### 1.4.1 Rischio sismico

La sismicità è una caratteristica fisica del territorio e indica la frequenza e la forza con cui si manifestano i terremoti. Il rischio sismico comprende sia la probabilità di avvenimento di un evento e sia le conseguenze dello stesso: esprime quindi una valutazione del danno atteso in un dato intervallo di tempo, in base alla sismicità, alle caratteristiche di resistenza delle costruzioni e all'antropizzazione dell'area.

Esso è determinato dalla combinazione di più fattori: pericolosità, vulnerabilità e esposizione del territorio. La pericolosità sismica dipende dalla sismicità del territorio ed è rappresentata dalla frequenza e dalla forza dei terremoti che lo hanno caratterizzato; in particolare misura la probabilità che in una data area e in un certo intervallo di tempo si verifichi un terremoto che superi una certa soglia d'intensità, di magnitudo o di accelerazione di picco. Dipende dal tipo di sisma, dalla distanza dall'epicentro e dalle condizioni geomorfologiche ma non dal costruito; gli studi di pericolosità vengono utilizzati anche nelle analisi di sito per localizzare opere critiche dal punto di vista del rischio, della sicurezza e dell'importanza strategica.

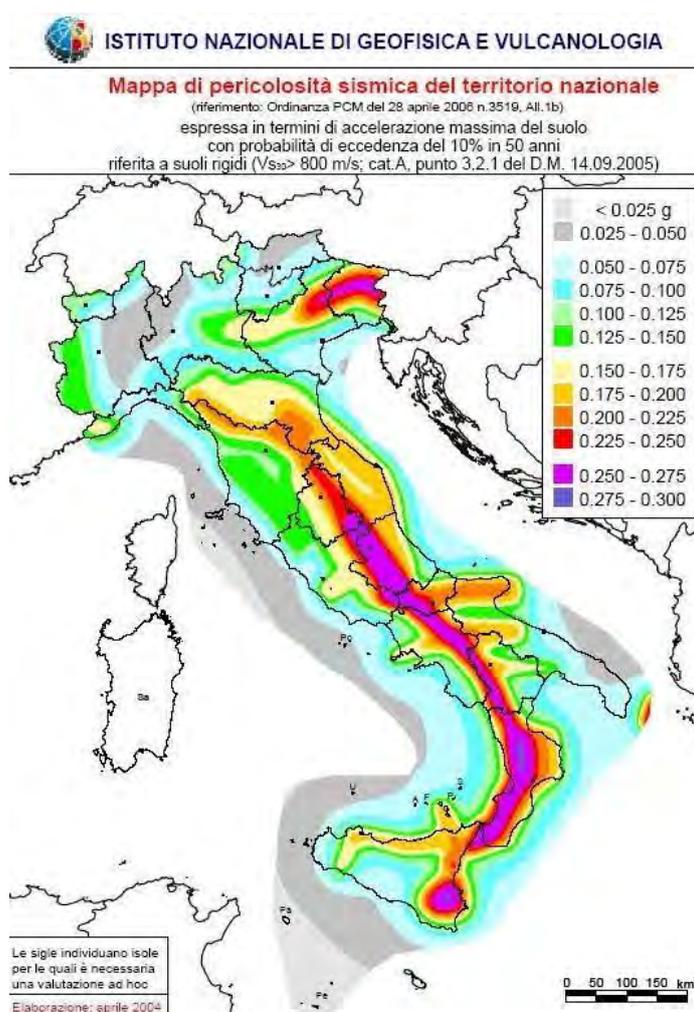


Fig. 1.5. Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale. ([www.protezionecivile.gov.it](http://www.protezionecivile.gov.it))

<sup>11</sup> [www.protezionecivile.gov.it](http://www.protezionecivile.gov.it), visitato in data 5/11/2014.

La vulnerabilità sismica è la propensione di una struttura a subire un danno di un determinato livello, a fronte di un evento sismico di una data intensità. Quanto più un edificio è vulnerabile (per tipologia, progettazione inadeguata, scadente qualità dei materiali e modalità di costruzione, scarsa manutenzione), tanto maggiori saranno le conseguenze. L'esposizione misura l'importanza dell'oggetto esposto al rischio in relazione alle caratteristiche ambientali; individua gli elementi componenti il territorio o la città, il cui stato, comportamento e sviluppo può venire alterato dall'evento sismico (il sistema insediativo, la popolazione, le attività economiche, i monumenti). Importante è dunque considerare anche i fenomeni indotti dal terremoto, oltre ai danni non strutturali degli edifici.

#### 1.4.2 Storia sismica dell'area

Si riporta la storia sismica italiana, del Veneto e nello specifico di Padova, per valutare gli eventi sismici che potrebbero aver interessato il sito e il monumento presi in considerazione. L'Italia è uno dei Paesi a maggior rischio sismico del Mediterraneo, per i frequenti terremoti e per intensità di alcuni di essi; la sismicità è legata alla sua posizione geografica: la penisola si trova nella zona di convergenza tra la zolla africana e quella euroasiatica (Fig. 1.6).

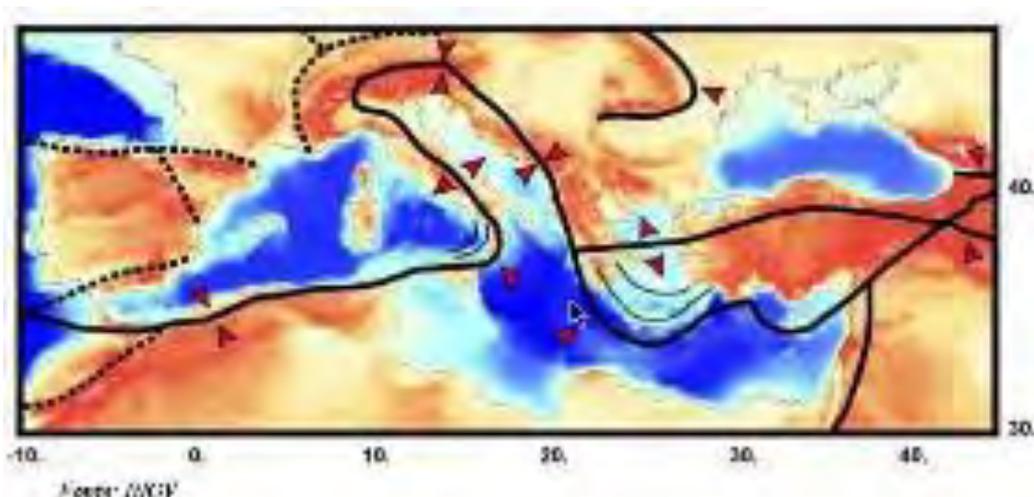


Fig. 1.6. Zona di convergenza tra zolla africana e euroasiatica. ([www.protezionecivile.gov.it](http://www.protezionecivile.gov.it))

L'Italia ha una pericolosità sismica medio-alta (per frequenza e intensità dei fenomeni), una vulnerabilità molto elevata (per fragilità del patrimonio edilizio, infrastrutturale, industriale, produttivo e dei servizi) e un'esposizione altissima (per densità abitativa e

presenza di un patrimonio storico, artistico e monumentale unico al mondo).

Si riporta la mappa di classificazione sismica relativa alla regione Veneto aggiornata a giugno 2012 (Fig. 1.7); Padova è definita dal colore grigio, indice di zona 4: rispetto le altre aree è la meno pericolosa e caratterizzata da rari terremoti, l'accelerazione con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni è  $a_g \leq 0,05$ .

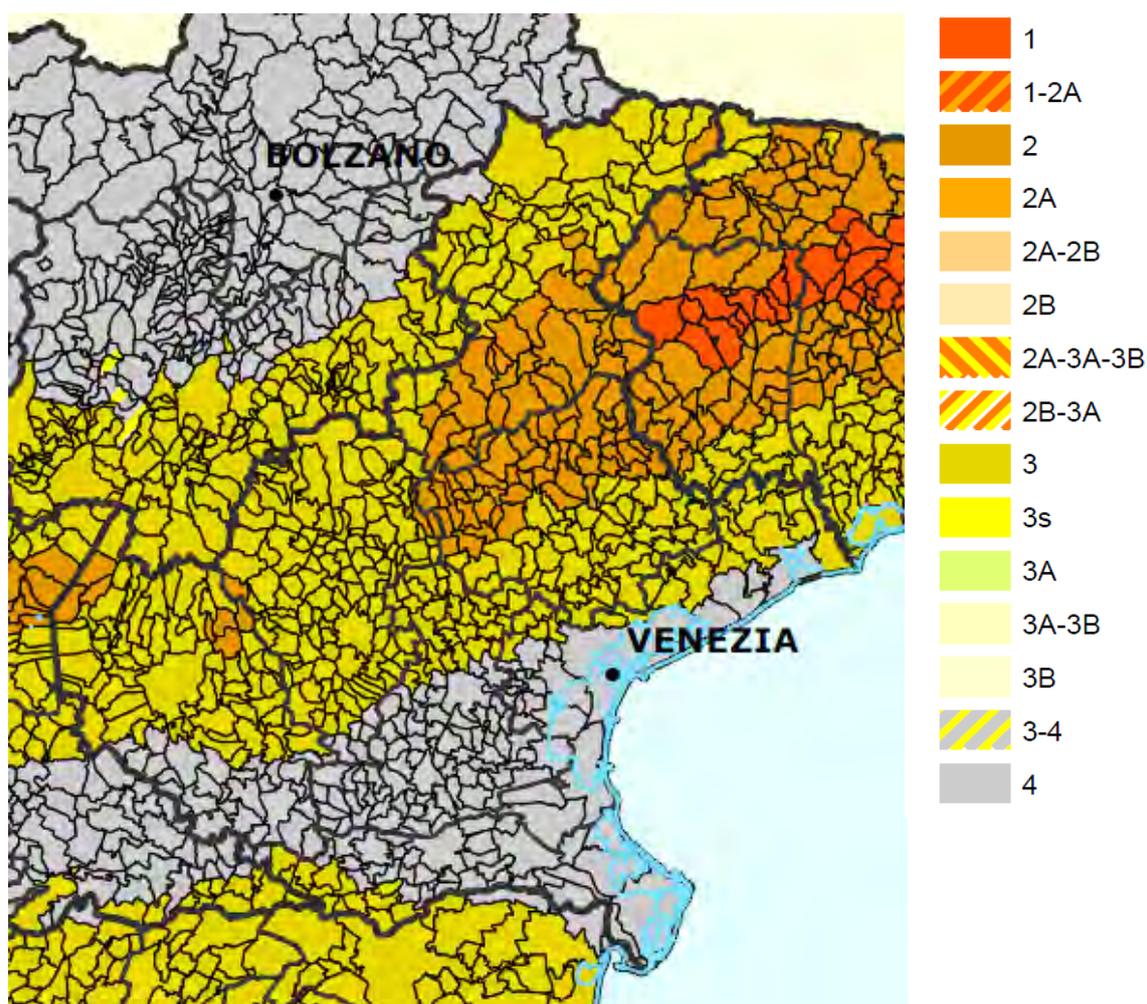


Fig. 1.7. Classificazione sismica relativa alla regione Veneto con definizione delle zone sismiche e relativo livello di pericolosità. ([www.protezionecivile.gov.it](http://www.protezionecivile.gov.it))

## PARTE I. ANALISI STORICO - CRITICA

### Inquadramento

Per quanto riguarda nello specifico la storia sismica della città di Padova<sup>12</sup>, riportiamo in tabella un elenco degli eventi sismici che hanno caratterizzato il territorio dal 1117 d.C. al 2004 (Fig. 1.8). A ciascun evento sono associate:

- intensità percepita nel luogo esaminato I (MCS);
- data;
- ora;
- posizione epicentro Ax;
- Np;
- intensità epicentrale I<sub>0</sub>;
- parametri epicentrali M<sub>w</sub>.

Seismic history of Padova [45.407, 11.876] Total number of earthquakes: 146						
Effects	Earthquake occurred					
I [MCS]	Data	Ora	Ax	Np	I <sub>0</sub>	M <sub>w</sub>
8	3/1/1117	15:15	Veronese	55	9-10	6.69±0.20
6	25/12/1222	12:30	Basso Bresciano	18	7-8	5.84±0.56
5	4/11/1268		Trevigiano	4	7-8	5.35±0.34
7	25/1/1348	15:30	Carinzia	58	9-10	7.02±0.18
5	4/3/1365		Ferrara	4	5	4.79±0.72
5-6	1/9/1485		Padova	4	5	4.30±0.87
5	31/12/1504	04:00	Bolognese	15		
6-7	26/3/1511	14:40	Slovenia	66	9	6.98±0.17
5	28/3/1511	12:15	Slovenia	8		
7	25/2/1695	05:30	Asolano	82	10	6.48±0.18
5	31/3/1717		Padova	1	5	4.30±0.34
4-5	25/5/1780		Ravenna	5	5-6	4.51±0.34
4-5	4/8/1789		Tramonti	5	4-5	4.09±0.34
5	7/6/1794	00:45	Prealpi carniche	19	8-9	6.04±0.57
5	22/10/1796	04:00	Emilia orientale	27	7	5.61±0.36
4-5	12/2/1806		Novellara	28	7	5.19±0.39
4-5	15/7/1811	22:44	Sassuolo	21	6-7	5.25±0.40
4-5	15/6/1836	02:30	Bassano	26	8	5.50±0.32

<sup>12</sup> www.emidius.mi.ingv.it. Evidenziati in rosso i terremoti con epicentro in Padova, in verde invece i terremoti di cui c'è testimonianza storica riferita a dirette conseguenze subite dalla Cappella degli Scrovegni; si veda cap. 2. Analisi storica.

5	29/6/1873	03:58	Bellunese	199	9-10	6.32±0.11
4-5	17/3/1875	23:51	Romagna sud-orientale	144		5.93±0.16
5	26/2/1885	20:48	Scandiano	78	6	5.19±0.15
5-6	29/12/1885		Vittorio Veneto	47	6	5.18±0.19
5-6	30/10/1901	14:49:58	Salò	190	8	5.70±0.10
5	13/1/1909	00:45	Bassa Padana	799	6-7	5.53±0.09
5	27/10/1914	09:22:36	Garfagnana	618	7	5.76±0.09
4-5	7/9/1920	05:55:40	Garfagnana	756	10	6.48±0.09
5	1/1/1926	18:04:06	Slovenia	63	7-8	5.85±0.18
4-5	20/4/1929	01:09:46	Bolognese	109	7	5.34±0.13
5	18/10/1939	03:10:12	Bosco Canaglio	267	9	6.12±0.09
5	30/12/1967	04:19:20	Bassa Padovana	40	6	5.24±0.19
4-5	15/7/1971	01:33:20	Parmense	229	8	5.64±0.09
5-6	6/5/1976	20:00:12	Friuli	770	9-10	6.46±0.09
5	11/9/1976	16:35:02	Friuli	40		5.63±0.09
6	15/9/1976	03:21:19	Friuli	54		5.96±0.15
5	13/9/1989	21:54:01	Pasubio	779	6-7	4.88±0.09
4-5	24/11/2004	22:59:38	Lago di Garda	176	7-8	5.06±0.09

Fig. 1.8. Tabella riassuntiva della storia sismica di Padova. ([www.emidius.mi.ingv.it](http://www.emidius.mi.ingv.it))

Nel seguente grafico (Fig. 1.9) sono invece rappresentati gli eventi caratterizzati da un'intensità  $I > 4-5$  che hanno interessato la città nel corso degli anni; il grafico presenta in ascissa gli anni e in ordinata l'intensità MCS (Mercalli – Cancani - Sieberg).

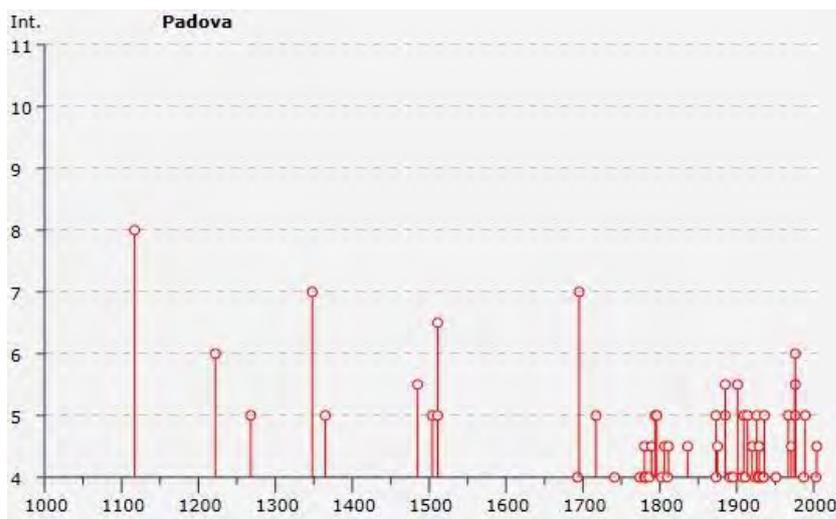


Fig. 1.9. Diagramma della storia sismica di Padova. ([www.emidius.mi.ingv.it](http://www.emidius.mi.ingv.it))

## 2. ANALISI STORICA

La storia del sito in cui si trova la Cappella degli Scrovegni inizia tra il 60 ed il 70 d.C.<sup>1</sup>, periodo in cui fu costruito l'anfiteatro romano, i cui resti oggi sono comunemente denominati Arena. Fino al V secolo d.C.<sup>2</sup> fu sede di spettacoli: seguì un periodo di abbandono derivante dalla decadenza della città<sup>3</sup> a cui concorsero inoltre i terremoti degli anni 1117 e 1222 e alcuni incendi, in particolare quello del 1174<sup>4</sup>. Con la ripresa della città alla fine del XII secolo, anche l'area dell'Arena vide una rinascita, infatti grazie alla sua forma, considerata il luogo adatto ad essere trasformato in sede di abitazioni, venne definitivamente privatizzata con l'acquisto da parte della famiglia Dalesmanini<sup>5</sup>. Questi ultimi restaurarono l'anello murario esistente trasformando gli antichi muri romani in una nuova fortezza più solida per proteggere l'abitazione. Nel Duecento i Padri Eremitani insediarono il loro convento occupando terreni collocati a sud est dell'Arena e destinando parte dei muri romani a convento<sup>6</sup>.

---

<sup>1</sup> «Ma per caratteri costruttivi probabilmente si deve risalire all'età augustea. De Vecchi et al.(2000) hanno sottoposto a datazione, mediante il metodo della termolumiscenza, due mattoni dell'Arena riscontrando datazioni 30 e 60 d.C», V. ILICETO, *Studio del sottosuolo della Cappella degli Scrovegni in Padova*, Relazione al Comune di Padova, Settore Edilizia Monumentale, febbraio 2002, p. 10.

<sup>2</sup> *Ibid.*

<sup>3</sup> Gli scavi realizzati nel 1880, a seguito dell'acquisizione del sito da parte del Comune, hanno portato alla luce monete di età diverse che permettono di ipotizzare i periodi che hanno visto un susseguirsi di opere vandaliche: nel V sec. l'Arena veniva distrutta in modo "selvaggio", nel XI sec. le pietre venivano trafficate come materiale di cava con scopo di lucro; A. TOLOMEI, *La Chiesa di Giotto nell'Arena di Padova*, Relazione al Consiglio Comunale di Antonio Tolomei Assessore, Tipografia alla Minerva dei fratelli Selmin, Padova, 1880, p. 25.

<sup>4</sup> ILICETO, *Studio del sottosuolo*, cit., p. 10.

<sup>5</sup> Si riscontrano problemi nel definire datazioni precise nel periodo precedente all'acquisto da parte della famiglia Scrovegni a causa di un incendio nel 1325 che ha distrutto l'archivio storico del Comune; C. GASPAROTTO, *Giotto in Dante: critica della cronologia tradizionale della Cappella degli Scrovegni*, in «Padova e la sua provincia», Grafiche Erredici, Padova, 1966, pp. 13-14; ILICETO, *Studio del sottosuolo*, cit., p. 10; G. GIOVAGNOLI, *Il palazzo dell'Arena e la Cappella di Giotto (secc. XIV-XIX). Proprietari, preposti, beni*, Cleup Editrice, Padova, 2008, p. 26.

<sup>6</sup> ILICETO, *Studio del sottosuolo*, cit., p. 11; G. BASILE, *Giotto. La Cappella degli Scrovegni*, Electa, Milano, 1992, p. 9.

## 2.1. IL RUOLO DELLA FAMIGLIA SCROVEGNI

### 2.1.1 L'acquisizione del sito

Il 6 Febbraio 1300 il complesso<sup>7</sup>, comprendente l'Arena, la casa signorile - centrale rispetto il complesso - ed edifici minori, venne venduto da Manfredo Dalesmanini<sup>8</sup> per quattromila lire al banchiere Enrico Scrovegni. Questo, dopo aver demolito gli edifici collocati all'interno dell'Arena, edificò un nuovo palazzo di residenza lungo il margine nord dell'anello romano, con facciata concava<sup>9</sup>, e la Cappella<sup>10</sup>.



Fig. 2.1. Particolare della Pianta di Padova Giovanni Valle, il palazzo non è addossato alla Cappella ma sembrerebbe essere presente un collegamento tra i due. Si veda appendice D. Schede iconografiche, n.8.

<sup>7</sup> GASPAROTTO, *Giotto in Dante*, cit., p. 13; C. FRUGONI, *L'affare migliore di Enrico. Giotto e la Cappella degli Scrovegni*, Einaudi, Torino, 2008, p. 30; G. PISANI, *I volti segreti di Giotto. Le rivelazioni della Cappella degli Scrovegni*, Rizzoli, Milano, 2008, p. 13.

<sup>8</sup> KNAPTON, *Dalesmanini, Manfredo*, in *Dizionario Biografico degli Italiani*, vol.31, 1985.

<sup>9</sup> Nella costruzione del palazzo è stata incorporata una parte del muro dell'Arena, A. PROSDOCIMI, *Il Comune di Padova e la Cappella degli Scrovegni nell'Ottocento. Acquisto e restauri agli affreschi*, in «Bollettino del Museo Civico di Padova», numero speciale, annata XLIX, 1, 1960, p.14.

<sup>10</sup> Molti autori affermano che il palazzo dello Scrovegni fosse vicino e non contiguo alla Chiesetta, il collegamento infatti sarebbe stato effettuato non al tempo di Enrico Scrovegni ma successivamente. Gioseffi scrive che «I successori degli Scrovegni [...] desiderano ascoltare messa senza mescolarsi alla gente comune: fanno costruire una cameretta sopra la sacristia e stabiliscono un collegamento con il palazzo [...] mediante passerella su un tratto di muro, visibile del resto nella settecentesca pianta del Valle», D. GIOSEFFI, *Giotto architetto*, Edizioni di Comunità, Milano, 1963, p. 43. Vedi Fig. 2.1.

Jacobus afferma invece che «Le donne di casa Scrovegni, giungendo direttamente alla Chiesa dal palazzo attraverso un passaggio coperto a due piani (la galleria al piano terra sarebbe servita ai componenti maschili della famiglia), assistettero alle funzioni dall'alto, attraverso un'apertura posta sopra la porta nella parete nord, apertura oggi coperta da una griglia di legno. Tuttavia la finestrella squarcia brutalmente un affresco con il corte nuziale della Vergine e non era stata certamente prevista in origine», L. JACOBUS, *Giotto's design of the Arena Chapel, Padua*, in «Apollo», vol. 142 n. 406, 1995; FRUGONI, *L'affare migliore*, cit., p. 11.

Riportiamo alcuni passi dell'atto di compravendita, dal quale si ricavano numerose informazioni relative alla configurazione del complesso prima dell'intervento voluto dallo Scrovegni e la relativa spiegazione<sup>11</sup>:

*Padua, in contrata strate maioris, super domum habitationis... domini Enrici Scrovegni... Pretio librarum quatuor millium denariorum veneto rum parvorum bone et usualis monete... quod precium dominus Manfredus filius q. domini Guezili de Dalesmanini guarentavit... se ibi manualiter habuisse... a domino Enrico filio q. domini Raynaldi Scrovegni de Padua... Pro quo vero precio dedit, vendidit... Arenam muris circumdatam ab omnibus lateribus excepto a latere fratrum heremitorum de Padua cum una domo intus magna murata et solarata coperta cupis cum stupa prope posita in medio ipsius Arene cum loza post ipsam domum, et una alia domo de muro sine solarario cum camino magno et camera et cum alia domo de lignamine coperta de cupis pro stallis ab equis et cum alia domo de lignamine coperta cupis ubi fit coquina non longe a porta que est in medio Arene et cum uno dojone, coperto cupis posito super portam a via et cum alio dojone, murato et solarato coperto cupis cum porta posito super flumen et cum marezana supra flumen posita extra dictam portam et cum vitibus et arboribus fructiferis in ipsa Arena positus et cum muris circa ipsam Arenam positus, que Arena posita est Padue iuxta locum fratrum heremitanorum iura Bagoti et flume [...].*

Dal testo del contratto di vendita si evince che il complesso, al momento, era così articolato: al centro, nell'interno del recinto murato della Arena (Arenam muris circumdatam), che, a difesa del luogo, sfruttava le rovine dell'Anfiteatro di Patavium, si innalzava il palazzo signorile di abitazione (cum una domo intus magna murata et solarata), cui restava affiancato un edificio termale (stufa), mentre sul retro del palazzo, a nord, stava un portico estivo con loggia (loza). Oltre al palazzo principale vi era in Arena una seconda casa in pietra, a un solo piano (sine solarario) e con una camera dotata di un grande camino (cum camino magno et camera). Ben sistemate erano le adiacenze, costruite in legno: le scuderie (stallis ab equis) e, nei pressi dell'ingresso principale del palazzo, l'edificio della cucina (cum alia domo..., ubi fit coquina). Si accedeva all'Arena da due porte turrette (doiones): più bassa era la porta di sud-ovest, rivolta alla città e tuttora in parte conservata; più alta (cum solarario) era il doione di nord-est, aperto sul fiume (il Piovego) e sulla sua ampia gola (marezana), pur essa di proprietà dei Dalesamini, i quali, così godevano di un proprio approdo fluviale. Tutt'attorno agli edifici, entro il recinto dell'Arena, si stendeva un grande verziere, piantato a viti e ad alberi a frutto (et cum vitibus et arboribus fructiferis in

---

<sup>11</sup> GASPAROTTO, *GiOTTO in Dante*, cit., p. 18; FRUGONI, *L'affare migliore*, cit., p. 86.

ipsa Arena): era un vero luogo di riposo e di piacere, ma feudalmente, chiuso e isolato (et cum muris circa ipsam Arenam positus).

Per primo l'abate Gennari<sup>12</sup>, seguito da altri studiosi tra cui Pietro Selvatico Estense<sup>13</sup>, sostenne erroneamente che nel circuito dell'Arena fosse presente sin dal 1278 una chiesa dedicata all'Annunciata interpretando in modo inesatto l'atto d'acquisto Scrovegni-Dalesmanini<sup>14</sup>. Al tempo l'ipotesi fu sostenuta sulla base della lettura di un documento pubblico, in realtà non direttamente collegato all'esistenza della Cappella: «un decreto del podestà Matteo Querini, emanato nel 1278, disponente che il 25 Marzo di ogni anno nella suddetta chiesa si celebrasse degnamente la festa dell'Annunciata con una "Sacra rappresentazione" alla presenza del vescovo, del podestà, delle autorità e del popolo. Tale festa fu confermata nel 1298 dal podestà Ongaro degli Occhi»<sup>15</sup>. Infatti sin da quell'anno a Padova si festeggiavano le quattro feste di Maria, tra cui quella dell'Annunciazione; venivano celebrate in modo itinerante muovendosi in quattro diverse chiese della città tra cui quella dell'Arena: le interpretazioni più recenti, tuttavia, non chiariscono se tali spostamenti avvenissero tra le vie di Padova o se si svolgessero semplicemente all'interno del Duomo in quattro diverse cappelle dedicate alla Vergine<sup>16</sup>. Con la denominazione *chiesa dell'Arena* diversi studiosi<sup>17</sup> hanno indicato una chiesetta preesistente all'interno, a sostegno dell'ipotesi che la Cappella Scrovegni fosse stata costruita in sostituzione ad una preesistenza; con lo stesso appellativo però ci si potrebbe riferire anche ad una cappella minore presente all'interno della vicina chiesa degli Eremitani<sup>18</sup>. Queste

<sup>12</sup> G. GENNARI, *Annali della città di Padova*, Remondini, Bassano, 1804, parte III, p.89; G. FABBRI COLABICH, A. PROSDOCIMI, G. SACCOMANI, *I recenti lavori di restauro alla Cappella degli Scrovegni e le indagini per la sua conservazione*, Società Cooperativa Tipografica, Padova, 1964, p. 30; J. RUSKIN, *Giotto and his works in Padua*, Allen, London, 1856, p. 17.

<sup>13</sup> P. SELVATICO ESTENSE, *Sulla Cappellina degli Scrovegni nell'Arena di Padova e sui freschi di Giotto in essa dipinti*, Minerva, Padova, 1836, pp. 12-13.

<sup>14</sup> Errore riportato anche da Fabbri Colabich, Prosdocimi e Saccomani nel 1964 che scrive «Dall'atto d'acquisto Scrovegni-Dalesmanini risulta che nel recinto dell'Arena oltre alla Chiesa dell'Annunciata esisteva un palazzo», FABBRI COLABICH, PROSDOCIMI, SACCOMANI, *I recenti lavori*, cit., p. 29.

<sup>15</sup> *Ibid.*

<sup>16</sup> GENNARI, *Annali della città*, cit., p.89

<sup>17</sup> *Ibid.*; FABBRI COLABICH, PROSDOCIMI, SACCOMANI, *I recenti lavori*, cit., p. 30; RUSKIN, *Giotto and his works*, cit., p. 17.

<sup>18</sup> «L'equivoco fu causato probabilmente dal fatto che i reverendi frati Eremitani [...] avevano intitolato in un primo momento la propria Chiesa a S. Maria della Carità e soltanto successivamente, nel 1276,

discordanze presenti in letteratura, volte alla conferma delle diverse ipotesi, non sono ad oggi risolte e forse non si arriverà mai ad una definitiva risoluzione. Certo è che l'attuale chiesa fu costruita interamente dagli Scrovegni.

### 2.1.2 L'edificazione dell'oratorio

Sono stati ipotizzati diversi i motivi per i quali Enrico Scrovegni decise di edificare la Cappella; il più noto è quello che vede nell'operazione una volontà di espiare le colpe del padre Reginaldo degli Scrovegni<sup>19</sup>, arricchitosi praticando l'usura<sup>20</sup>; un altro – ipotizzato da Federici<sup>21</sup> – riguarderebbe la possibile appartenenza di Enrico Scrovegni all'Ordine dei Cavalieri Gaudienti<sup>22</sup> per i quali l'avrebbe eretta. Tale proposta però è stata smentita da altri studiosi i quali hanno osservato che tale appartenenza non sarebbe dimostrabile in quanto negli affreschi della Cappella Enrico non sarebbe ritratto con vestiti raffiguranti la croce, simbolo dell'Ordine. Carlo Bellinati<sup>23</sup>, inoltre, ipotizza che con la costruzione della Cappella Enrico avesse tentato di riscattarsi agli occhi della comunità cittadina, avversa al casato, e inoltre, visto il Giubileo del 1300, per manifestare un disinteressato ravvedimento e stacco definitivo dell'attività che in passato aveva identificato la famiglia.

---

avevano dedicato l'intero edificio ai Santi Filippo e Giacomo, riservando il titolo di S. Maria della Carità ad una cappella interna», GIOVAGNOLI, *Il palazzo dell'Arena*, cit., p. 63.

A testimonianza dell'esistenza della Chiesa dedicata a Giacomo e Filippo viene in aiuto Giovanni da Nono (1276-1346) giudice padovano, con la sua opera *Visio Egidij regis Patavie* «[...] in questo luogo che verrà chiamato Arena, verrà costruita una chiesa bellissima in onore della Beata Maria Vergine, e presso questo luogo dei pagani sarà eretto dal comune un bel tempio degli apostoli del Signore nostro Gesù Cristo, Giacomo e Filippo, nel quale risiederanno i frati Eremitani», FRUGONI, *L'affare migliore*, cit., pp. 31-32.

<sup>19</sup> GIOVAGNOLI, *Il palazzo dell'Arena*, cit., p. 63.

<sup>20</sup> Viene collocato da Dante nel settimo cerchio dell'Inferno: «Mentre Dante eternava nel poema divino la infamia del padre, Giotto gareggiava ad immortalare le gloriose ammende del figlio. Enrico si schermiva da una terziana dell'Alighieri con una Chiesa del Giotto», TOLOMEI, *La chiesa di Giotto*, cit., pp. 10-11.

<sup>21</sup> SELVATICO, *Sulla Cappellina*, cit., p. 13; GIOVAGNOLI, *Il palazzo dell'Arena*, cit. 65; FRUGONI, *L'affare migliore*, cit., p. 69.

<sup>22</sup> GIOVAGNOLI, *Il palazzo dell'Arena*, cit., p. 65.

<sup>23</sup> Ivi, p. 67.



Fig. 2.2. Scena della *Dedicazione* nell'affresco del *Giudizio Universale* presente in controfacciata.

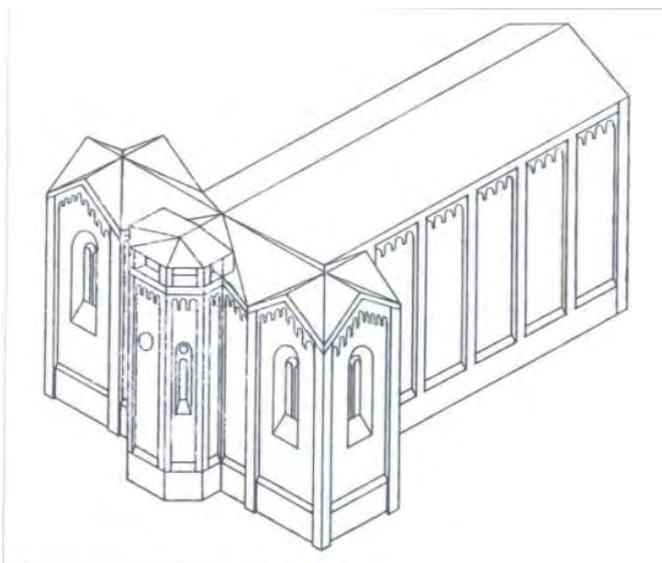


Fig. 2.3. Restituzione schematica del progetto ipotetico realizzata sulla base dell'affresco in Fig. 2.2, GIOSEFFI, *Giotto architetto*, cit., p.175 Fig. 29A.

Il 31 marzo 1302<sup>24</sup> il vescovo Ottobono de' Razzi autorizzò la costruzione di un edificio ecclesiastico modesto ma ambizioso: Enrico Scrovegni aveva infatti chiamato a decorare la sua chiesetta l'illustre maestro Giotto di Bondone, che in quel periodo stava lavorando Santo di Padova, e il famoso scultore Giovanni Pisano<sup>25</sup>; il 25 Marzo 1303<sup>26</sup> l'oratorio fu dedicato a Santa Maria della Carità. Nel corso dei due anni successivi la configurazione architettonica cambiò: venne aggiunta l'abside nella quale fu inserito l'altare maggiore e le tombe di Enrico e della moglie e vennero chiuse alcune finestre per lasciare spazio agli affreschi di Giotto<sup>27</sup>. L'1 marzo 1304<sup>28</sup> papa Benedetto XI concesse a Enrico una speciale indulgenza «per coloro che, ne le debite condizioni, visitassero la chiesa della B. Vergine Maria della Carità nell'Arena di Padova»<sup>29</sup>.

<sup>24</sup> GASPAROTTO, *Giotto in Dante*, cit., p. 15.

<sup>25</sup> PISANI, *I volti segreti*, cit., p. 17.

<sup>26</sup> FRUGONI, *L'affare migliore*, cit., p. 34.

<sup>27</sup> GIOVAGNOLI, *Il palazzo dell'Arena*, cit. 69.

<sup>28</sup> FRUGONI, *L'affare migliore*, cit., p. 38.

<sup>29</sup> Cesira Gasparotto scrive che nel 1920 lo studioso Supino, dopo aver letto il documento papale, suppose che all' 1 marzo 1304 «la capellina fosse ormai aperta al culto», espressione poi divulgata in modo scorretto ritenendo la cappella aperta al pubblico. In realtà l'edificio era destinato ad uso esclusivo da parte della famiglia e di ospiti illustri: l'espressione sopracitata sta in realtà a significare che la

Il 9 gennaio 1305 i frati Eremitani si rivolsero al vescovo Pagano della Torre con un energico reclamo: Giovanni *de Soleis* procuratore legale del convento degli Eremitani presentò una denuncia contro Enrico Scrovegni colpevole di violazione della *carta-licenza vescovile*<sup>30</sup>. La Cappella avrebbe dovuto essere più piccola, con un solo altare e non tre, e priva di quel campanile, che invece era in fase di costruzione, che destava disturbo per il vicino convento degli Eremitani che sentiva lesi i propri diritti<sup>31</sup>. A seguito di questo scontro giudiziario si rinunciò alla costruzione del transetto<sup>32</sup>.

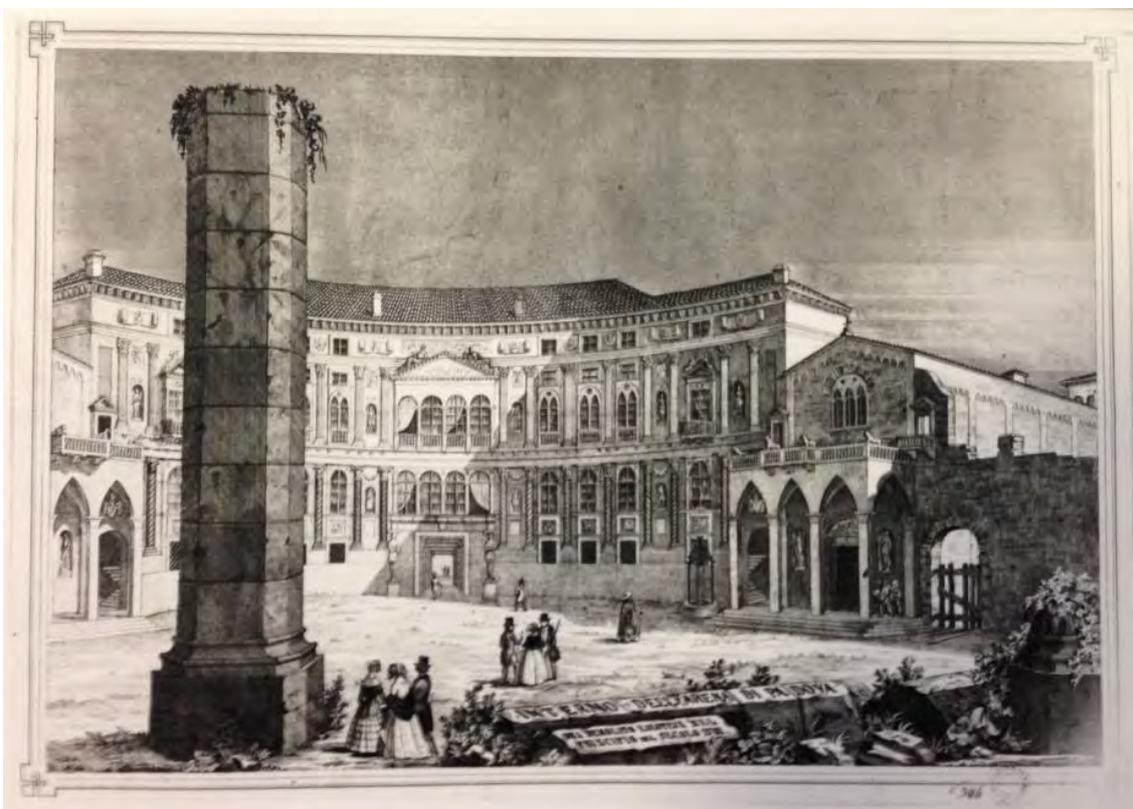


Fig. 2.4. Palazzo Foscari e la Cappella Scrovegni. Si può notare la presenza del portico antistante la Cappella e del palazzo, mera rappresentazione ideale da parte dell'autore in cui sulla sinistra appare anche una cappella identica a quella Scrovegni ed in posizione identica ad essa. Si veda appendice D. Schede iconografiche, n.14.

---

costruzione (della navata) era stata ultimata e che si poteva procedere alla consacrazione della chiesa; GASPAROTTO, *Giotto in Dante*, cit., p. 22.

<sup>30</sup> Ivi, p. 15.

<sup>31</sup> PISANI, *I volti segreti*, cit., p. 17.

<sup>32</sup> Secondo Giuliano Pisani, non regge l'ipotesi che Scrovegni, nella rappresentazione di Giotto, offrisse alla Madonna un modellino diverso da quello effettivamente realizzato essendo per il committente la scena più importante; ciò porterebbe a pensare che il transetto sarebbe stato quindi in effetti costruito ed eliminato in seguito alla conclusione dei lavori. Pisani si chiede quindi se la causa della demolizione possa essere collegata alla denuncia dai frati Eremitani; Ivi, pp. 291-293.

Pertanto il modello della chiesa raffigurato nella scena de *La Dedicazione* collocato in basso a sinistra nell'affresco del *Giudizio Universale* (Fig. 2.2), non dovrebbe corrispondere all'edificio effettivamente realizzato<sup>33</sup>: nell'affresco, contrariamente alla costruzione, è presente un transetto a doppio spiovente e un frontone triangolare a sormontare il portone d'ingresso; il modello viene sorretto da Enrico Scrovegni e da un monaco<sup>34</sup>. Nel modello non è invece riportata la presenza del portico in facciata: confrontando l'affresco con la stampa del 1842 (Fig. 2.4) si vede come in quest'ultima sia presente il portichetto<sup>35</sup>; è molto probabile, quindi, che la sua costruzione sia avvenuta in un momento successivo, probabilmente già nel Trecento: conferma di questa ipotesi proviene dal contenuto del testamento della nipote di Enrico, Maddalena Scrovegni, datato 21 Maggio 1421, nel quale si dispone che il corpo «avanti la chiesa sotto el portego sia sepellido»<sup>36</sup>.

La Cappella degli Scrovegni è tutt'ora riconosciuta per il grande valore artistico e culturale degli affreschi presenti al suo interno, realizzati da Giotto in un periodo compreso tra il 1304 ed il 1310<sup>37</sup>. «Trattasi del più completo, del più puro, del più

<sup>33</sup> FRUGONI, *L'affare migliore*, cit., p. 41.

<sup>34</sup> «Chi sia stato l'architetto ignoriamo. Non Giotto certamente; forse quel fra Giovanni dell'attiguo convento degli Eremitani, celebre architetto», A. MOSCHETTI, *La cappella degli Scrovegni e la Chiesa degli Eremitani a Padova*, fratelli Treves Editori, Milano, 1934, pp. 17-18. Molti studiosi non condividono questa tesi, riconoscendo nel monaco la figura di Altegrado de' Cattanei, canonico della cattedrale, ovvero colui che sembrerebbe avere influenzato Scrovegni nella decisione di innalzare la Cappella e nell'aver organizzato l'incontro decisivo con Giotto; GIOVAGNOLI, *Il palazzo dell'Arena*, cit., p. 65. Infine, senza seguito di alcuno, Gioseffi identifica in Giotto l'architetto dell'edificio studiando le analogie della struttura con edifici fiorentini, terra natia dell'artista, e presenti ad Assisi e Rimini, luoghi in cui il maestro lavorò; analizzò inoltre le rappresentazioni geometriche negli affreschi esaltandone l'ordine tecnico, GIOSEFFI, *Giotto architetto*, cit., pp. 43-54.

<sup>35</sup> Nella stampa il portico e il palazzo appaiono ricostruiti idealmente dall'autore che non descrive l'esatta morfologia degli stessi, PROSDOCIMI, *Il Comune di Padova e la Cappella degli Scrovegni*, cit., p.14.; Gioseffi definisce la riproduzione un «saggio di scenografia romantica», GIOSEFFI, *Giotto architetto*, cit., p. 42.

<sup>36</sup> Chiese di essere sepolta «Ante fores ecclesiae sub porticu» della Chiesa di «Santa Maria De Caritate in Arena Padue», A. MEDIN, *Maddalena degli Scrovegni e le discordie tra i Carraresi e gli Scrovegni*, in «Atti e memorie delle Regia Accademia di Scienze, Lettere ed Arti in Padova», XII, 1895-96, pp. 243-272; FABBRI COLABICH, PROSDOCIMI, SACCOMANI, *I recenti lavori*, cit., p. 31; FRUGONI, *L'affare migliore*, cit., p. 11.

<sup>37</sup> Sono presenti in letteratura diverse ipotesi in merito alla precisa datazione della stesura del ciclo di affreschi, si possono trovare riassunte in GASPAROTTO, *Giotto in Dante*, cit., alle pp. 22 – 27. Una prima ipotesi vede Giotto ad affrescare la scena del *Giudizio Universale* o a conclusione o all'inizio del ciclo, non prima del 1304-05; in secondo luogo è considerata la data del 16 marzo 1304 come termine *post quem* di inizio della decorazione pittorica della chiesa, ovvero a consacrazione avvenuta; una terza ipotizza Giotto coinvolto nella progettazione delle strutture durante l'estate del 1304; la conclusione

conservato tra i monumenti della pittura di Giotto, di quello nel quale egli, coscienza del proprio tempo e mente dell'avvenire, traeva dalla casta poesia del vangelo una inesauribile rilevazione artistica, di quello nel quale egli pure volle creare col pennello la sua *Divina Commedia*»<sup>38</sup>. Il ciclo pittorico, che ricopre interamente le superfici interne dell'edificio è riconosciuto non solo come un capolavoro, ma un caposaldo dell'arte occidentale. Tuttavia Giotto non finì del tutto l'opera, affidò infatti ad un allievo il suo compimento<sup>39</sup>. Gli affreschi - divisi in quaranta scene che raccontano la storia della salvezza illustrando le storie della Vergine seguite da quelle di Cristo - ricoprono completamente le pareti mentre sulla volta a botte, di un intenso blu, brillano più di settecento stelle a otto punte. Il tema della volta stellata viene ripreso anche sulla volta ribassata che caratterizza cripta seminterrata posta sotto la navata stessa e raggiungibile dai gradini esterni sul lato settentrionale. Diverse ipotesi sono state avanzate in merito alla destinazione d'uso di quest'ultima: la prima assegna alla cripta il ruolo di scantinato con il fine di trattenere le infiltrazioni d'acqua<sup>40</sup> causate dalla prossimità del fiume<sup>41</sup>; la seconda ipotizza una funzione di culto in quanto la volta sembra ripetere il cielo stellato della Cappella<sup>42</sup>. Sulla base dell'ipotesi dell'appartenenza del committente alla setta dei Cavalieri Gaudienti, Federici ha ipotizzato che la destinazione della *cripta* fosse quello di refettorio per i cavalieri. Si tratta di una ipotesi rifiutata dalla maggior parte degli storici sia perché non si è certi dell'appartenenza all'ordine di Scrovegni sia per il poco spazio disponibile<sup>43</sup>. La quarta e ultima ipotesi è quella di Bellinati secondo il quale la cripta veniva usata in attesa della costruzione della sacrestia come reliquiario e come luogo d'incontro come se

---

invece viene fatta risalire in una prima ipotesi nel 1309 data di presentazione di Santa Maria della Carità al popolo di Padova, una seconda invece la fa risalire al 1310, questa è la tesi che ha più ampio seguito al giorno d'oggi.

<sup>38</sup> TOLOMEI, *La chiesa di Giotto*, cit., p. 13.

<sup>39</sup> SELVATICO, *Sulla Cappellina*, cit., p. 30.

<sup>40</sup> Era in fatti presente una vasca di raccolta d'acqua capace di riceverla e raccoglierla per poi diramarla verso i punti di necessità, G. ZAMPIERI, *La Cappella degli Scrovegni in Padova. Il sito e l'area archeologica*, Skira, Milano, 2004, p. 71.

<sup>41</sup> Questa ipotesi risulta essere la meno accreditata, Ivi, p. 69.

<sup>42</sup> Ivi, p. 68.

<sup>43</sup> Ivi, p. 69.

fosse un cosiddetto *cenobio*<sup>44</sup>. Il committente, accanto all'opera del più insigne pittore del tempo, volle quella del più insigne scultore, Giovanni Pisano, per ornare l'altare con tre statue e la tomba con la propria immagine; Enrico verrà infatti seppellito in fondo all'abside della Cappella stessa, in un sepolcro a baldacchino.

## 2.2 FAMIGLIA FOSCARI

In seguito alla morte di Enrico Scrovegni, la proprietà del complesso passò al figlio Giacomo Scrovegni al quale verrà confiscata nel 1443<sup>45</sup> da parte del Consiglio dei Dieci per passare a Francesco Capodilista nel 1448<sup>46</sup>; venne poi venduta dallo stesso Francesco che versava in precarie condizioni economiche il 20 Ottobre 1451<sup>47</sup> al patriarca di Aquileia Monsignor Ludovico Trevisan che a sua volta la donò il 27 Dicembre 1462<sup>48</sup> al nipote Alvise Trevisan. Il 17 Giugno 1475<sup>49</sup> la proprietà venne acquistata dai fratelli Alvise e Giovanni Foscari che ristrutturarono il palazzo adeguandolo al gusto rinascimentale<sup>50</sup>; questa situazione è corrispondente a quella che compare nelle piante di fine Cinquecento, le prime a rappresentare la città di Padova<sup>51</sup>. Durante il periodo di proprietà della famiglia Foscari, il complesso fu più volte affittato a terzi, alcune parti dello stesso furono vendute e al contempo altre nuove abitazioni vennero acquistate in aggiunta all'originario complesso; anche la chiesetta fu oggetto di locazione: alla famiglia veniva pagato un affitto per svolgere le celebrazioni<sup>52</sup>.

---

<sup>44</sup> *Ibid.*

<sup>45</sup> PISANI, *I volti segreti*, cit., p. 22.

<sup>46</sup> GIOVAGNOLI, *Il palazzo dell'Arena*, cit., p. 38.

<sup>47</sup> *Ivi*, p. 41; PISANI, *I volti segreti*, cit., p. 22.

<sup>48</sup> *Ivi*, p. 46; *Ibid.*

<sup>49</sup> *Ibid.*

<sup>50</sup> FABBRI COLABICH, PROSDOCIMI, SACCOMANI, *I recenti lavori*, cit., p. 31; ILICETO, *Studio del sottosuolo*, cit., p. 11.

<sup>51</sup> Si veda appendice D. Schede iconografiche, n.1.

<sup>52</sup> GIOVAGNOLI, *Il palazzo dell'Arena*, cit., pp. 46 – 62.

### 2.3 FAMIGLIA GRADENIGO

La situazione rimase immutata sino alla fine del Settecento. Nei primi dell'Ottocento il ramo Foscari si estinse e la proprietà fu ereditata dalla famiglia Gradenigo in seguito al matrimonio tra Pietro Gradenigo e Marta Foscari<sup>53</sup>. Fu questo un periodo in cui la cura degli edifici da parte della famiglia venne meno, sino al crollo del portichetto antistante la Cappella nel 1817<sup>54</sup>. Il 23 Giugno 1817 la Congregazione Municipale di Padova, ordinò ai Gradenigo di provvedere alla ricostruzione del portico per evitare il deperimento degli affreschi interni; alla famiglia che non eseguì l'ingiunzione dell'amministrazione fu ordinato allora di eliminare dalla facciata gli elementi in pietra rimanenti in seguito al crollo del portico per evitare un inutile peso alla parete<sup>55</sup>. I Gradenigo, non considerando il volere del Comune, nel 1827 proseguirono con i lavori di demolizione – non si conosce la data d'inizio – del Palazzo Foscari «onde averne materiali per costruire il tapino casinuccio che ora prende il luogo di quella magnifica mole»<sup>56</sup>. Tale demolizione creò forti preoccupazioni per la stabilità della Cappella in quanto non furono prese le necessarie precauzioni<sup>57</sup> per tutelare le strutture murarie che vi erano contigue; inoltre questo intervento ebbe come conseguenza quella di lasciare esposta alle intemperie e all'umidità la parete settentrionale, con conseguente degrado degli affreschi interni. Più tardi, nel 1829, i Gradenigo arrivarono a scoperciare il tetto della sacrestia per ricavarne materiale da costruzione<sup>58</sup>, in seguito furono costretti dal Comune a provvederne alla ricostruzione; i lavori di demolizione del palazzo sembrerebbero essere terminati nel 1831<sup>59</sup>. A conferma di questo, Pietro

---

<sup>53</sup> Il 16 Agosto 1808 in osservanza del Decreto del 10 Marzo venne pubblicata una lista di chiese da conservare tra cui è presente quella degli Scrovegni in quanto scrigno dei preziosi affreschi di Giotto, la commissione osservò inoltre che l'oratorio non poteva essere adibito a pubblico culto; Ivi, p. 91.

<sup>54</sup> Si ha testimonianza che nel 1817 il portico non esistesse; G. MOSCHINI, *Guida per la città di Padova all'amico delle belle arti*, Alvisopoli, Venezia, 1817.

<sup>55</sup> Direttive presenti in una lettera dell'ingegnere Menin risalente al 9 dicembre 1827, PROSDOCIMI, *Il Comune di Padova e la Cappella degli Scrovegni*, cit., p.10.

<sup>56</sup> P. SELVATICO ESTENSE, *Guida di Padova e dei suoi principali contorni*, Tipografia F. Sacchetto, Padova, 1869, p. 3.

<sup>57</sup> FABBRI COLABICH, PROSDOCIMI, SACCOMANI, *I recenti lavori*, cit., p. 32.

<sup>58</sup> «Fummo assordati da ignominioso martello che atterrava le fabbriche a quello vicine, e vedemmo con raccapriccio scalpelli e leve scassinare e sgretolare l'esterno delle muraglie stesse, su cui stanno coloriti gli stupendi freschi», SELVATICO, *Sulla Cappellina*, cit., p. 10.

<sup>59</sup> Un'ulteriore ipotesi riguardo la demolizione del palazzo deriva dalla lettura di un verbale del 1871 in cui viene riportato: «l'antico palazzo esistente entro l'Arena, fatto demolire dalla famiglia Foscari dopo il

Chevalier, nel 1831, denunciò che il palazzo fosse stato lasciato «miseramente atterrare senza trarne un qualunque disegno» e auspicò che almeno la Cappella potesse sopravvivere dalla «vergognosissima ignoranza» che aveva già portato al crollo dei portici<sup>60</sup>. Nel 1837 viene edificata una nuova e più modesta residenza<sup>61</sup>, anch'essa demolita negli anni successivi per lasciare spazio ai nuovi giardini dell'Arena.

## 2.4 L'INTERVENTO DEL COMUNE DI PADOVA

Nel 1858, dopo la scomparsa della contessa Foscari, il conte Federico Gradenigo mandò una lettera al podestà di Padova Francesco De Lazara dove dichiarò la disponibilità a vendere al Comune la proprietà dell'Arena, non si trovò però un accordo economico<sup>62</sup>. Nonostante la Cappella non fosse ancora di proprietà del Comune, già nel 1867 questo istituì una Commissione, presieduta da Pietro Selvatico, con l'obiettivo di programmare e attuare studi preliminari finalizzati all'intervento di restauro delle murature e delle decorazioni pittoriche, facendo propria la metodologia individuata precedentemente nel 1857 da Giovanni Battista Cavalcaselle, Michele Caffi e Antonio De Mattio. Il metodo proposto prevedeva la rimozione delle cause dell'umidità, risanando il tetto e le murature, reintonacando le murature all'esterno, e rimuovendo quindi le grondaie nelle pareti nord ed est. Nel frattempo, nel 1868, la famiglia proprietaria, che non aveva mai prestato attenzione alla manutenzione della Cappella, stava prendendo accordi per strappare gli affreschi e venderli al Victoria and Albert Museum di Londra<sup>63</sup>. L'operazione fu bloccata dall'intervento del Comune<sup>64</sup>. In seguito, con la sentenza del 1879, la Cappella fu dichiarata «Chiesa Pubblica succursale

---

1834, e sostituito dall'attuale casino»; viene quindi indicata la presenza del palazzo ancora nel 1834.; ZAMPIERI, *La Cappella*, cit., p. 25.

<sup>60</sup> P. CHEVALIER, *Memorie architettoniche sui principali edifici della città di Padova*, Gamba, Padova, 1831, pp. 39 - 40.

<sup>61</sup> La presenza della residenza, per la cui costruzione furono utilizzati materiali di recupero dal Palazzo precedentemente demolito, identificata come "Casa del custode", è certa grazie alla sua registrazione all'interno dell'inventario notarile del 30 Settembre 1880 che assicura come questa sia tenuta in affitto da Francesco Carraro, ovvero il custode della Cappella. Essa è collegata all'oratorio tramite un tratto di muro di cui se ne può vedere ancora oggi una parte. La costruzione verrà poi demolita nel 1906 per la creazione del nuovo giardino pubblico; ZAMPIERI, *La Cappella*, cit., p. 26.

<sup>62</sup> PISANI, *I volti segreti*, cit., p. 24.

<sup>63</sup> *Ibid.*

<sup>64</sup> *Ibid.*; FRUGONI, *L'affare migliore*, cit., p. 7.

alla Parrocchia degli Eremitani e dovette come tale passare in custodia ed amministrazione della Fabbriceria»<sup>65</sup> di quest'ultima. Ai Gradenigo rimase comunque il diritto di patronato: citando Tolemei la chiesa sarebbe rimasta «rinchiusa entro una proprietà privata, con una lesinata servitù di passaggio fra i pruni e le siepi di una rustica ortaglia, offesa da importune ombrie di gelsi e di noci, spettacolo di avara e male scusabile in curia per gli stranieri»<sup>66</sup>. Infine, nel 1880, dopo sessant'anni di trattativa continua, la proprietà della Cappella degli Scrovegni passò al Comune di Padova<sup>67</sup> per mano dell'assessore e sindaco Antonio Tolomei per 54.973 lire<sup>68</sup>, anno che segnò l'inizio di scavi archeologici e indagini conoscitive al fine di avere una maggior conoscenza del sito e garantire la conservazione del complesso – Arena e Cappella – negli anni.



Fig. 2.5. Fotografia che riprende la Cappella degli Scrovegni da un punto di vista esterno all'Arena. Si veda appendice D. Schede iconografiche, n.25.

---

<sup>65</sup> TOLOMEI, *La chiesa di Giotto*, cit., p. 13.

<sup>66</sup> Ivi, pp. 19-20.

<sup>67</sup> Il Comune di Padova «assume "in perpetuo" ogni onere di custodia e manutenzione della Cappella, il diritto di patronato, nonché un onere perpetuo verso la Fabbriceria della vicina parrocchia dei Santi Filippo e Giacomo degli Eremitani», FRUGONI, *L'affare migliore*, cit., p. 10.

<sup>68</sup> PISANI, *I volti segreti*, cit., p. 25.

**APPENDICE A. CRONOLOGIA STORICA**

Viene di seguito proposta una schematizzazione per poter meglio comprendere il complesso e in parte incompleto evolversi dell'edificio e dell'Arena.

<b>60-70 d.C.</b>	Periodo in cui fu costruito l'anfiteatro romano, denominato Arena
<b>V secolo d.C.</b>	Fino a questo secolo fu sede di spettacoli
<b>VI-VII secolo</b>	Periodo in cui l'anfiteatro fu in abbandono: si pensa che già fosse stato distrutto il suo circuito murario interno
<b>IX-X secolo</b>	Tra i documenti risulta che ancora le pietre dell'anfiteatro venissero trafficate come materiale di cava
<b>1117</b>	Terribile terremoto che distrusse gran parte di Padova
<b>1174</b>	Vasto incendio
<b>Fine del XII</b>	Ripresa della città e conseguente rioccupazione del sito dell'Arena che venne trasformata in sede di abitazioni per ricche famiglie e definitivamente privatizzato grazie all'acquisto da parte della famiglia Dalesmanini, questi restaurano l'anello murario esistente, chiusero i fornic trasformando la struttura romana in una fortezza.
<b>1200</b>	In parte l'edificio venne occupato dal convento dei Padri Eremitani
<b>1222</b>	Terribile terremoto che distrusse gran parte di Padova
<b>1278</b>	Alcuni ritengono che fosse già presente una chiesa dedica all'Annunciata all'interno dell'Arena (ipotesi ad oggi considerata errata, un tempo sostenuta da un decreto del podestà)
<b>Dal 1298</b>	Da quell'anno a Padova si iniziò a festeggiare le quattro feste della Vergine tra cui, il 25 marzo, quella dell'Annunciazione

<b>Il ruolo della famiglia Scrovegni</b>	
<b>6 febbraio 1300</b>	Manfredo Dalesmanini vendette a Enrico Scrovegni il complesso comprendente l’Arena, la Casa Grande e tutte le pertinenze; Scrovegni demolì parte delle abitazioni all’interno del muro perimetrale per edificare la sua residenza: un palazzo dalla facciata concava.
<b>31 marzo 1302</b>	Il vescovo Ottobono de’ Razzi autorizzò la costruzione di un edificio ecclesiastico
<b>25 marzo 1303</b>	L’oratorio venne dedicato a Santa Maria della Carità
<b>1 marzo 1304</b>	Papa Benedetto XI concesse a coloro che visitassero la chiesa una speciale indulgenza
<b>1303-05</b>	Cambiò in parte la configurazione architettonica della Cappella: venne aggiunta l’abside e vennero chiuse alcune finestre per permettere a Giotto di affrescare le pareti
<b>1304-10</b>	Probabile periodo in cui la Cappella è stata affresca da Giotto
<b>9 gennaio 1305</b>	I frati Eremitani presentarono una denuncia verso Scrovegni, colpevole di aver realizzato un edificio più grande di quello che avrebbe dovuto essere e priva del campanile
<b>16 marzo 1305</b>	E’ documentato da una delibera il prestito agli Scrovegni degli ornamenti della chiesa di San Marco al fine della successiva consacrazione
<b>25 marzo 1305</b>	Data di consacrazione della Cappella degli Scrovegni a Santa Maria della Carità
<b>1336</b>	Enrico moriva a Venezia (esule, sospettato di parteggiare con lo Scaligero), la sua tomba si trova dietro l’altare maggiore della Cappella stessa

<b>Famiglia Foscari</b>	
<b>XV secolo</b>	La proprietà del complesso dell'Arena cambiò più volte
<b>21 maggio 1421</b>	Nel testamento di Maddalena Scrovegni, nipote di Enrico, fu citata per la prima volta l'esistenza del portico esterno
<b>26 febbraio 1443</b>	Furono confiscati i beni di Giacomo Scrovegni (in precedenza ereditati dal padre Enrico Scrovegni) ad opera del Consiglio dei Dieci
<b>1448</b>	La proprietà del complesso passò a Francesco Capodilista
<b>20 ottobre 1451</b>	La proprietà venne venduta da Francesco Capodilista al Monsignor Ludovico Trivisan (cardinale patriarca di Aquileia)
<b>27 dicembre 1462</b>	Il patriarca di Aquileia donò la proprietà al nipote Alvise Trevisan
<b>17 giugno 1475</b>	La proprietà venne acquistata dai fratelli Alvise e Giovanni Foscari che ristrutturarono il palazzo adattandolo al gusto rinascimentale
<b>12 novembre 1535</b>	Fu redatto un documento che obbligò gli eredi di Francesco Foscari a cedere metà dell'Arena ed una marezana ad essa retrostante e di cinque case lì vicine a Marco Foscari; nella cessione dovrebbe essere compreso il diritto sulla chiesa di Santa Maria della Carità dell'Arena
<b>27 maggio 1567</b>	Ci fu un processo concernente la causa tra Pietro Foscari e i padri Eremitani in materia delle strutture murarie dell'Arena, processo che si chiude con la vittoria di Pietro Foscari il quale aveva costruito al di sopra dei muri dell'Arena
<b>16 novembre 1572</b>	Fu redatto un documento in cui si concedeva a Pietro Foscari il terreno su cui costruire la piazza per il suo palazzo: terreno occupato dalla scuola di "San Nicolò da Tolentino".
<b>26 novembre 1572</b>	Cessione dei suddetti terreni a Pietro Foscari

<b>31 gennaio 1573</b>	Il Vicario Episcopale di Padova concedette a Pietro Foscari la licenza di poter costruire un oratorio sopra il cimitero dei Padri Eremitani
<b>28 novembre 1581</b>	Il testamento di Pietro Foscari ordinò che il Palazzo dell'Arena (con il luspatronato) si conservi in perpetuo alla famiglia Foscari, suo erede sarà Girolamo Foscari
<b>20 agosto 1625</b>	Ci fu un documento che attestava un contratto d'affitto del Palazzo dell'Arena e delle sue pertinenze a Giorgio Lodovico Conte di Levenstan
<b>23 aprile 1637</b>	Documento che attesta un contratto d'affitto del Palazzo dell'Arena all'Abate di San Gregorio Marino Marini
<b>1 maggio 1640</b>	Documento che attesta un contratto d'affitto dell'Arena a Marino Marini
<b>11 novembre 1647</b>	Documento che attesta un contratto d'affitto del Palazzo dell'Arena e delle sue pertinenze da parte di Girolamo Foscari al Principe Don Alvise d'Este

### Famiglia Gradenigo

<b>Primi dell'Ottocento</b>	La proprietà venne ereditata dalla famiglia Gradenigo in seguito al matrimonio tra Pietro Gradenigo e Marta Foscari
<b>10 marzo 1808</b>	Decreto che prevede la stesura di un elenco di chiese da conservare
<b>16 agosto 1808</b>	Venne pubblicata una lista di chiese da conservare tra cui è presente quella degli Scrovegni
<b>1817</b>	Testimonianza che il portichetto quattrocentesco antistante la facciata della Cappella non esisteva più
<b>23 giugno 1817</b>	La Congregazione Municipale di Padova ordinò ai Gradenigo di provvedere alla ricostruzione del portico

<b>1827</b>	La famiglia Gradenigo, anziché intervenire nella ristrutturazione del portico, proseguì con i lavori di demolizione del palazzo Foscari (non si conosce la data di inizio)
<b>1829</b>	I Gradenigo scoperchiano il tetto della sacrestia per ricavare materiale da costruzione, a detta di Selvatico, in seguito furono costretti dal Comune a provvederne alla ricostruzione
<b>1831</b>	Sembrano terminati i lavori di demolizione del palazzo Foscari da parte della famiglia Gradenigo
<b>1837</b>	Venne edificato un nuovo e più modesto edificio al posto del palazzo
<b>1853</b>	Riproduzione degli affreschi su incisioni commentate da Ruskin che manifestò un primo interessamento da Londra
<b>1857</b>	Metodologia individuata per intervenire al restauro dell'edificio e dei suoi affreschi da Giovanni Battista Cavalcaselle, Michele Caffi e Antonio De Mattio: questa prevedeva di rimuovere le cause dell'umidità risanando il tetto e le murature, reintonacare le murature all'esterno, rimuovere le grondaie nelle pareti nord ed est.
<b>1858</b>	Il conte Federico Gradenigo mandò una lettera al podestà di Padova Francesco De Lazara dove dichiarò la disponibilità di vendere al Comune la proprietà dell'Arena, non si trovò però un accordo economico
<b>1867</b>	Il Comune istituì una Commissione, presieduta da Pietro Selvatico, con l'obiettivo di programmare e attuare studi preliminari finalizzati all'intervento di restauro delle murature e delle decorazioni pittoriche, questa Commissione si basò sulle direttive già studiate nel 1857

---

<b>16 gennaio 1868</b>	La Curia Vescovile affermò che l'oratorio dell'Arena fosse pubblico e appartenesse alla chiesa universale
<b>1868</b>	Gradenigo volevano strappare e vendere gli affreschi per trasferirli a Londra, al Victoria and Albert Museum; questa manovra fu bloccata dal Comune
<b>1879</b>	Sentenza che dichiarò la Cappella chiesa pubblica succursale alla parrocchia degli Eremitani

#### Intervento del Comune

<b>1880</b>	Il Comune acquistò dalla famiglia Gradenigo la proprietà per mano dell'assessore e sindaco Antonio Tolomei, per 54.973 lire. Iniziarono gli scavi archeologici e le indagini conoscitive al fine di avere una maggior conoscenza del sito e garantire la conservazione dell'intero complesso
<b>1906</b>	La Casa del Custode verrà demolita per la creazione del nuovo giardino pubblico

## APPENDICE B. CRONOLOGIA STORICA ILLUSTRATA

Viene qui riportata la ricostruzione grafica dell'evoluzione storica dell'area dell'Arena - Eremitani e dell'edificio stesso della Cappella degli Scrovegni al fine di fornire un'interpretazione immediata e lineare dell'evoluzione del complesso. Tutte le schematizzazioni seguiranno la seguente legenda:

-  Nuova Costruzione
-  Demolizione
-  Costruito

60 – 70 d.C.



Fig. B.1. Rappresentazione grafica dell'Arena.



Fig. B.2. Planimetria degli scavi eseguiti dall'anno 1880 al 1907, B. BONETTI, *Studi intorno l'Anfiteatro Romano di Padova*, in «Atti e memorie delle Regia Accademia di Scienze, Lettere ed Arti in Padova», XXXII, Dispensa IV degli *Atti e memorie*, tav. I, 1916.

La costruzione dell'anfiteatro romano, denominato l'Arena di Padova, avvenne tra il 60 ed il 70 d.C.; i volumi sopra illustrati sono stati realizzati basandosi sulla planimetria degli scavi archeologici effettuati nell'area tra il 1880 ed il 1907<sup>1</sup>: si possono infatti individuare le serie di muri che costituivano l'originario anfiteatro.

<sup>1</sup> Si veda appendice E. Anfiteatro patavino: "Planimetria degli scavi eseguiti dall'anno 1880 al 1907".

VI – VII secolo d.C.



Fig. B.3. Rappresentazione grafica dell’Arena e della chiesa dei santi Filippo e Giacomo.

Tra il VI-VII sec. d.C. vennero distrutti due dei circuiti murari dell’Arena, nello specifico quelli interni. La chiesa dei santi Filippo e Giacomo sembrerebbe risalire alla prima metà del Duecento.

Da 1250 ca. sino al 1299

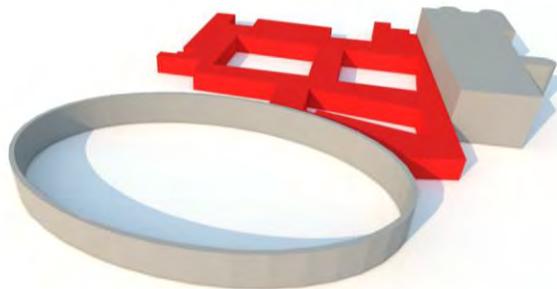


Fig. B.4. Rappresentazione grafica dell’Arena e della chiesa dei santi Filippo e Giacomo e del convento degli Eremitani addossata stessa.

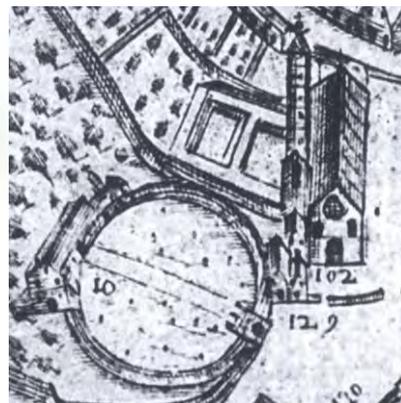


Fig. B.5. Veduta di Padova di Giuseppe Viola, si veda appendice D. Schede iconografiche, n.1.

A partire dalla seconda metà del Duecento iniziarono i lavori di costruzione del monastero degli Eremitani affiancato alla chiesa dei santi Filippo e Giacomo; la prima carta di Padova che riportò tale situazione fu la *Veduta di Padova* di Giuseppe Viola Zanini del 1599.

1300

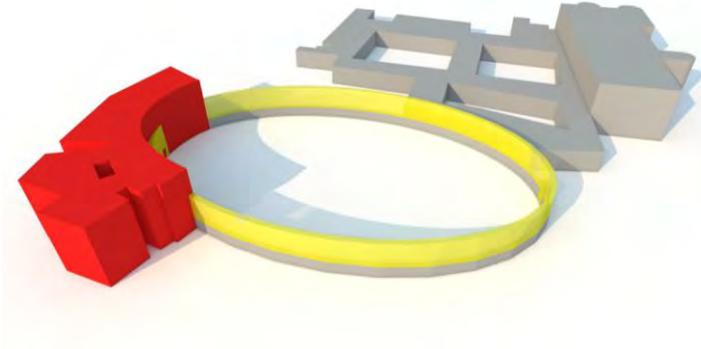


Fig. B.6. Rappresentazione grafica del Palazzo degli Scrovegni.



Fig. B.7. Veduta di Padova ripresa dallo Zanini; si veda appendice D. Schede iconografiche, n.4.

Nei secoli l'Arena vide un grave stato di abbandono, le sue pietre vennero infatti utilizzate anche come materiale da cava. L'area vide una rinascita con l'insediamento della famiglia Dalesmanini che nel secolo XII la trasformò in una fortezza. Il 6 febbraio del 1300 il complesso venne poi venduto a Enrico Scrovegni che edificò la sua residenza: un magnifico palazzo dalla facciata concava.

1302

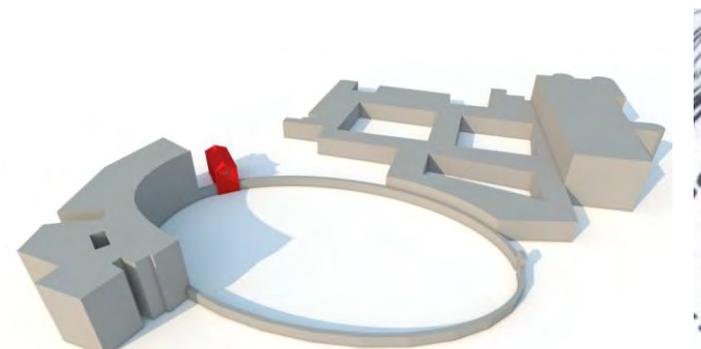


Fig. B.8. Rappresentazione grafica della Cappella degli Scrovegni.



Fig. B.9. Veduta di Padova ripresa da Vincenzo Dotti; si veda appendice D. Schede iconografiche, n.2.

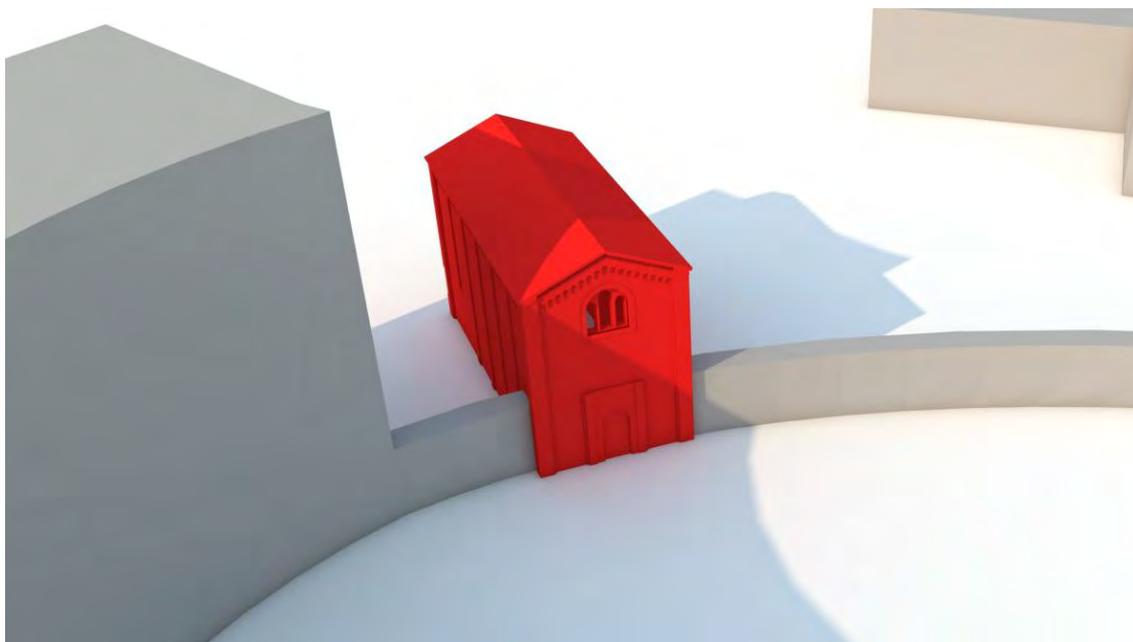


Fig. B.10. Rappresentazione grafica della Cappella degli Scrovegni, inizialmente costituita solo dalla navata.

3 marzo 1302: posa della prima pietra di costruzione della Cappella degli Scrovegni; il corpo di fabbrica primario era quello della sola navata.

Dal 1303



Fig. B.11. Rappresentazione grafica della Cappella Scrovegni.

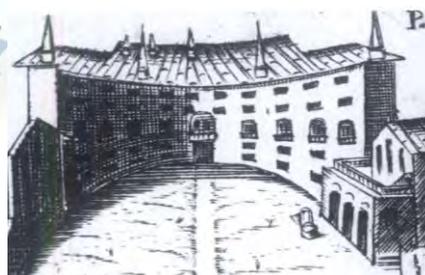


Fig. B.12. *Circus Patavinus*; si veda appendice D. Schede iconografiche, n.5.

Tra il 1303-1305 venne costruita l'abside. In un periodo non preciso tra il 1305 ed il 1421 venne costruito il portico antistante la facciata principale. Venne costruita anche una piccola sacrestia, laterale rispetto la parete di nord-ovest, di cui è noto solamente che l'edificazione sia avvenuta prima del Cinquecento.

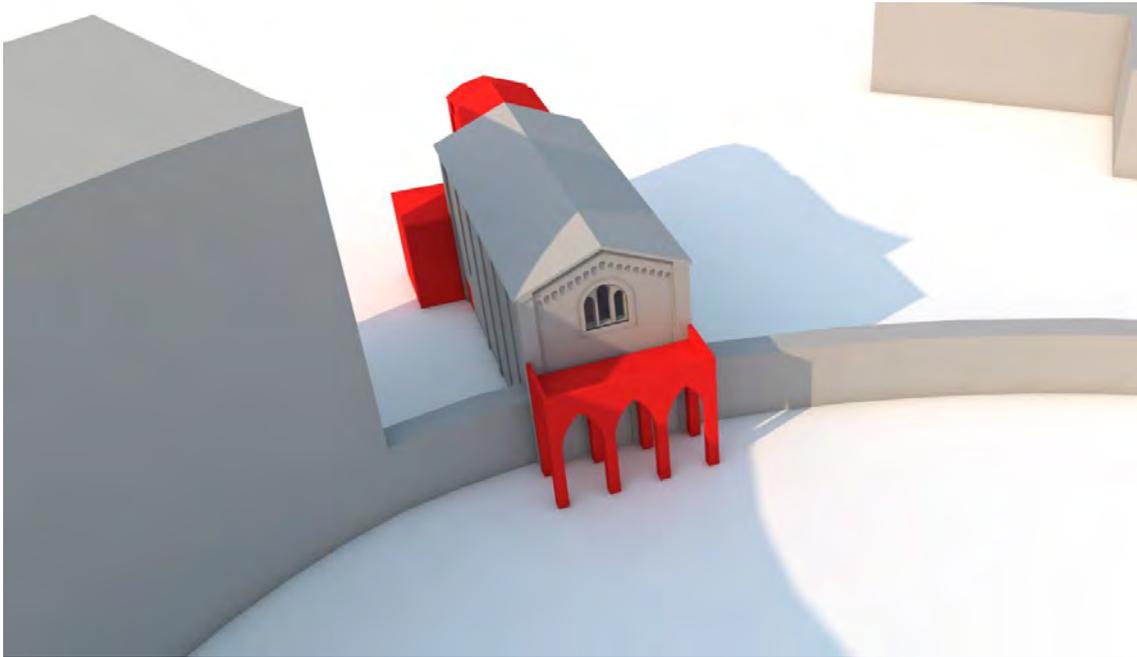


Fig. B.13. Rappresentazione grafica della Cappella degli Scrovegni, costruzione dell'abside, del portico e della piccola sacrestia.

Cinquecento

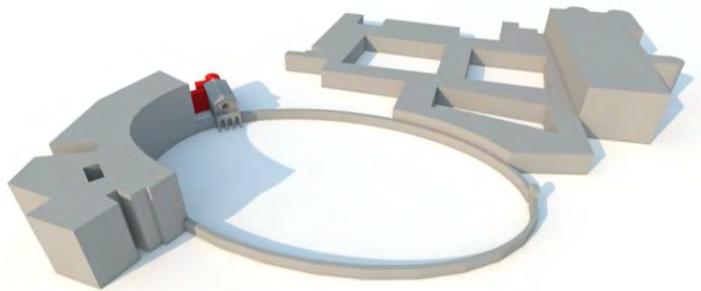


Fig. B.14. Rappresentazione grafica della Cappella Scrovegni.

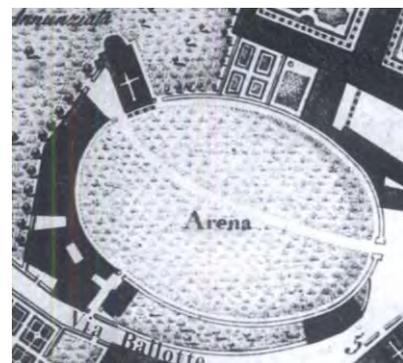


Fig. B.15. Pianta del Valle; si veda appendice D. Schede iconografiche, n.8.

La costruzione della loggia soprastante la sacrestia risale al Cinquecento.

Il collegamento tra il Palazzo e la Cappella fu sicuramente postumo a questo avvenimento poiché l'accesso al collegamento era effettuato proprio tramite la loggia. La pianta di Padova di Giovanni Valle, risalente però al 1784, è l'unica ad illustrare questo collegamento.

1784 - 1815

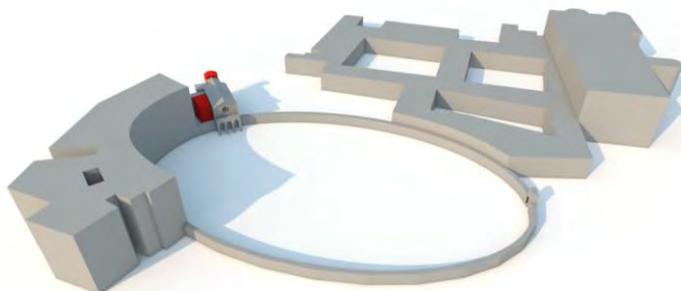


Fig. B.16. Rappresentazione grafica della Cappella Scrovegni.

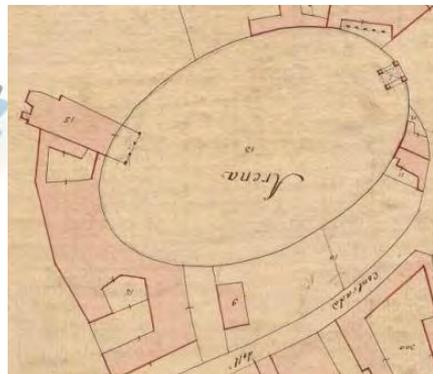


Fig. B.17. Catasto napoleonico; si veda appendice D. Schede iconografiche, n.9.

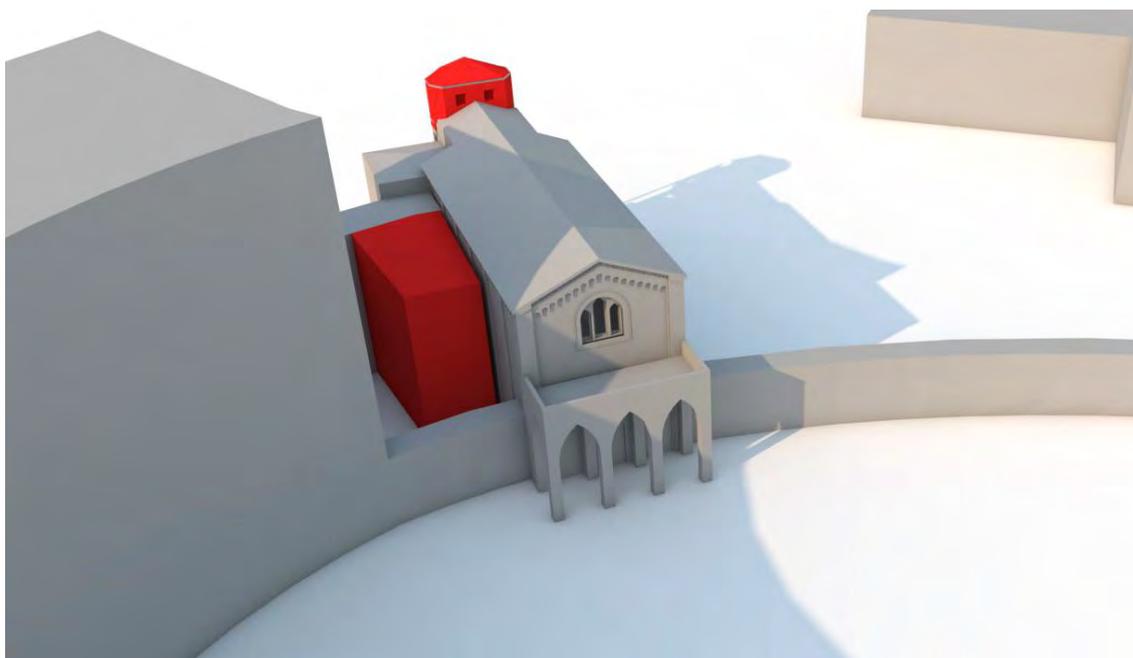


Fig. B.18. Rappresentazione grafica della Cappella degli Scrovegni, costruzione della loggia soprastante la sacrestia e della torretta soprastante l'abside.

Una seconda porzione di collegamento al Palazzo venne edificata a cavallo tra il 1784, quindi dopo la realizzazione della Pianta di Padova da parte di Giovanni Valle, ed il 1815, anno di redazione del catasto Napoleonico in cui si potesse osservare questa nuova porzione. Nel XVIII sec. venne realizzata anche la torretta soprastante l'abside.

1817

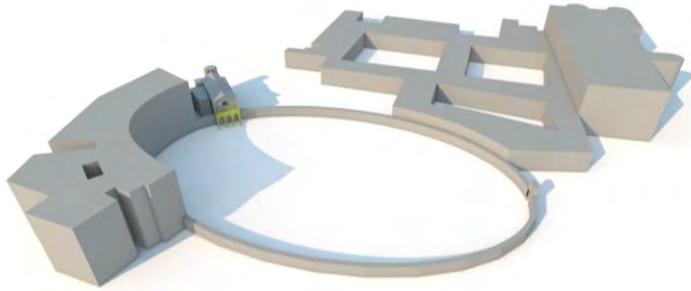


Fig. B.19. Rappresentazione grafica della Cappella Scrovegni.

Il crollo del portico antistante la facciata principale risale al 1817, è infatti ancora visibile nel catasto Napoleonico (Fig. B.18).

1827 - 1834

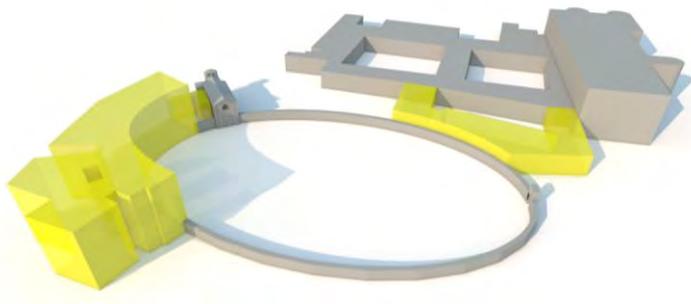


Fig. B.20. Rappresentazione grafica della Cappella Scrovegni.



Fig. B.21. Pianta di Padova di Voltolina; si veda appendice D. Schede iconografiche, n.11.

Tra il 1827 ed il 1834 avvenne la demolizione del Palazzo e delle porzioni direttamente comunicanti con la Cappella.

1831 - 1837

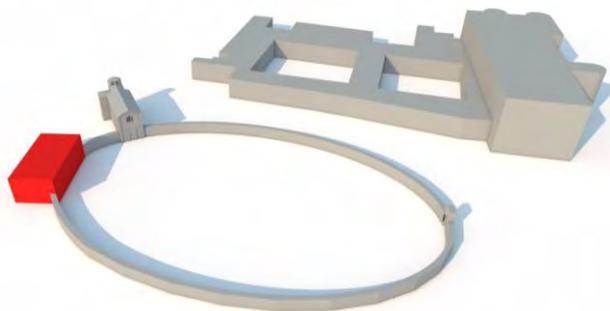


Fig. B.22. Rappresentazione grafica dell'edificazione della *Casa del Custode*.

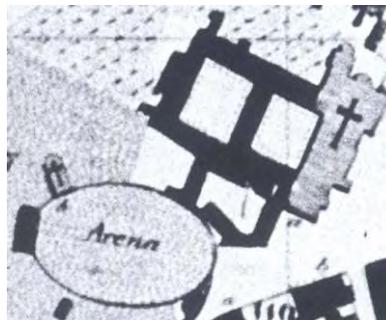


Fig. B.23. Pianta di Padova di D'Avanzi; si veda appendice D. Schede iconografiche, n.12.

Tra il 1831 ed il 1837 avviene la costruzione della *Casa del Custode* in vece del Palazzo ormai demolito di cui in parte ne vengono utilizzati i materiali.

1906

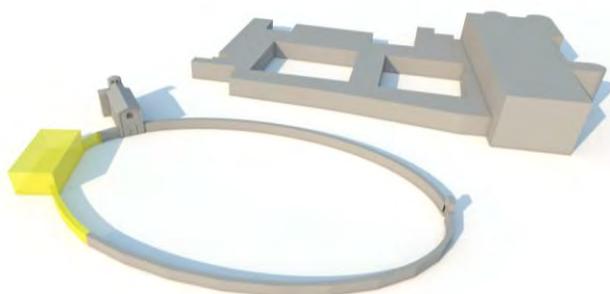


Fig. B.24. Rappresentazione grafica della demolizione della *Casa del Custode*.

Nel 1906 viene demolita la "casa del custode" per la creazione del nuovo giardino pubblico.

Oggi

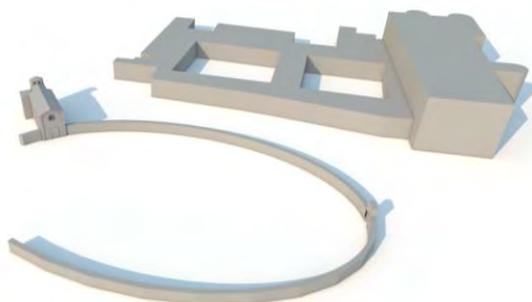


Fig. B.25. Rappresentazione grafica della situazione attuale del complesso Arena – Cappella degli Scrovegni – Chiostro e chiesa degli Eremitani.

L'immagine soprastante riporta la situazione dell'area oggigiorno.

### 3. I RESTAURI

La storia edilizia più approfondita e documentata relativa alle strutture architettoniche della Cappella degli Scrovegni ha inizio nel 1817 quando venne registrato il crollo del portico antistante la facciata della Cappella e prosegue con la successiva demolizione dell'attiguo Palazzo Foscari-Gradenigo, probabilmente terminata nel 1831: non è infatti possibile ricostruire precisamente le precedenti vicende edilizie riguardanti la Cappella in quanto non documentate o incerte<sup>1</sup>. Un primo interesse da parte del Comune di Padova nei confronti del valore artistico della Cappella si ebbe tra il 1818 e il 1819 con una richiesta da parte del Podestà ai Gradenigo, in cui si chiedeva di acquisire l'oratorio per intervenire ai necessari restauri degli affreschi. La Commissione Bisacco segnalava i guasti provocati alla facciata dal crollo del portico e la mancata risarcitura della breccia d'innesto tra la parete settentrionale della Cappella e l'arco (Figg. 3.1 – 3.2) delle vicine murature del Palazzo Foscari che nel frattempo era stato quasi totalmente demolito<sup>2</sup>.



Fig. 3.1. L'immagine ritrae la situazione del complesso dell' Arena nel 1904 circa: si può vedere evidenziato nel cerchio il muro del Palazzo Foscari (che a sua volta aveva inglobato le murature dell'Arena) che congiunge tramite un arco la Cappella all'allora *Casa del Custode*; ZAMPIERI, *La Cappella degli Scrovegni*, cit., pp. 32-33, Fig. 21.

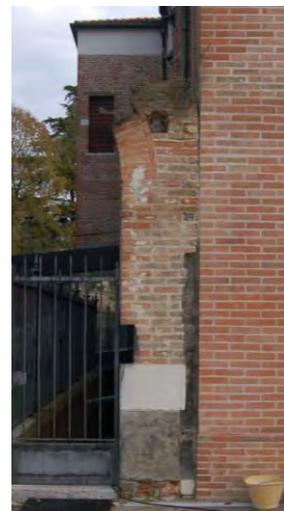


Fig. 3.2. La ripresa fotografica effettuata il 20 novembre 2014, mostra la situazione attuale dell'arco che una volta collegava la Cappella al Palazzo Foscari.

<sup>1</sup> PISANI, *I volti segreti*, cit., pp. 22 – 23; FRUGONI, *L'affare migliore*, cit., p. 6.

<sup>2</sup> E. PEZZETTA, *Interventi di conservazione delle murature*, in «La Cappella degli Scrovegni. Indagini, restauri, interventi», Atti della giornata di studi, 25 febbraio 1998, Comune di Padova, 1998, p. 12.

Nel 1828, Pietro Selvatico, osservò la fessurazione longitudinale in chiave e segnalò inoltre la presenza di una fessura nell'arco trionfale probabilmente causate in seguito alla demolizione del palazzo<sup>3</sup>. Nel 1829, con termine nel 1835, si procedette all'inserimento di due catene nei muri della sacrestia e ad un ripristino della copertura<sup>4</sup>. Dopo la demolizione del Palazzo Foscari-Gradenigo, nel 1837 venne edificata una nuova e più modesta residenza, collegata all'oratorio tramite un tratto di muro in parte ancora oggi visibile; anche questo edificio verrà poi abbattuto nel 1906. L'attenzione da parte dell'Amministrazione riguardo la salvaguardia dell'edificio si fece nel frattempo sempre più pressante e nel 1857 furono avviati i primissimi interventi di restauro e manutenzione in seguito alla segnalata presenza di lesioni createsi tra la volta e la parete di facciata successivamente al crollo del portico, alla demolizione del palazzo e a possibili sollecitazioni provocate da un sisma del 1850 con epicentro nelle Alpi Bellunesi<sup>5</sup>. Nel 1867 si evidenziò poi una grande lesione all'intradosso della volta in corrispondenza della chiave, ma anche fenditure nel muro sia sopra l'arco che nell'abside<sup>6</sup>.

### **3.1. COMMISSIONE DEL 1867 E INTERVENTO DI GUGLIELMO BOTTI**

Come detto nel capitolo precedente già nel 1857 Giovanni Battista Cavalcaselle, Michele Caffi e Antonio De Mattio individuarono una precisa metodologia per eseguire interventi di consolidamento delle murature e risanamento degli affreschi<sup>7</sup>; metodologia alla quale si riferiranno le Commissioni future. Il 14 aprile del 1867 il Comune istituì infatti una Commissione presieduta da Pietro Selvatico, composta dall'ingegner Benvenuti e lo scultore Gradenigo, il quale successivamente richiese la

---

<sup>3</sup> Ivi, p. 30.

<sup>4</sup> C. MODENA, *Aggiornamento sulla statica della Cappella degli Scrovegni*, in «La Cappella degli Scrovegni. Indagini, restauri, interventi», Atti della giornata di studi, 25 febbraio 1998, Comune di Padova, 1998, p. 42.

<sup>5</sup> *Ibid*; S. BORSELLA, *L'architettura, le trasformazioni e i restauri dalle origini alle soglie del XXI secolo* in «Il restauro della Cappella degli Scrovegni. Indagini, progetti, risultati», a cura di BASILE, Ministero per i beni e le Attività Culturali, Skira, Milano, 2003, p. 175.

<sup>6</sup> *Ibid*; *Ibid*.

<sup>7</sup> A. M. SPIAZZI, *La Commissione interdisciplinare e gli interventi per la conservazione della Cappella*, in «Il restauro della Cappella degli Scrovegni. Indagini, progetti, risultati», a cura di BASILE, Ministero per i beni e le Attività Culturali, Skira, Milano, 2003, p. 28.

presenza di Guglielmo Botti. Botti, restauratore toscano, il 2 febbraio 1868<sup>8</sup> inviò alla Commissione una relazione dettagliata in cui si esamina lo stato di conservazione degli affreschi ed i possibili interventi realizzabili sugli stessi; si indicano infine le opere necessarie al risanamento delle strutture murarie dell'edificio. In questo caso si propose: rimozione e riadesione degli intonaci rigonfiati, consolidamento di quelli distaccati (eseguito con grappe di rame per impedire il progressivo rigonfiamento degli intonaci), pulitura delle superfici e consolidamento delle campiture ad azzurrite con colla di pergamena<sup>9</sup>. L'anno successivo Botti venne incaricato per un urgente intervento conservativo sul *Giudizio Universale*; nel 1870<sup>10</sup> la Commissione Provinciale decise di far staccare dallo stesso gli affreschi dell'arcone e ricollocarli dopo il consolidamento dello stesso. Selvatico nel 1870 segnalò «la presenza di una grossa catena in ferro collocata in un tempo non precisato sopra la volta del presbiterio, a 1,50 m dal muro soprastante l'arcone di navata»<sup>11</sup> (Fig. 3.3) posta, sempre a detta del Selvatico, per far fronte alle fessurazioni dovute probabilmente ad un cedimento fondale o ad un errore di costruzione. Nel 1871 venne ulteriormente segnalata una preoccupante fessurazione dello stesso arcone che viene quindi puntellato<sup>12</sup> (Fig. 3.4); nello stesso anno inoltre una perizia descrive come fossero presenti ulteriori «lesioni alla chiave e all'imposta della volta [...], insieme alle altre lesioni minori, macchie, guasti, fori da chiodo od altro»<sup>13</sup>.

---

<sup>8</sup> M. PANIS, *Rilevamento dello stato di conservazione e saggi d'intervento sui dipinti murali della Cappella nei cantieri dell'I.C.R. (1988-92), sintesi dei dati*, in «Il restauro della Cappella degli Scrovegni. Indagini, progetti, risultati», a cura di BASILE, Ministero per i beni e le Attività Culturali, Skira, Milano, 2003, p. 92.

<sup>9</sup> A. M. SPIAZZI, *Giotto a Padova*, in «Bollettino d'Arte», anno XII, Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato, 2005, p. 30.

<sup>10</sup> PANIS, *Rilevamento dello stato di conservazione*, cit., p. 93.

<sup>11</sup> BORSELLA, *L'architettura, le trasformazioni e i restauri*, cit., p. 175.

<sup>12</sup> C. MODENA, *Aspetti costruttivi e strutturali della conservazione della Cappella degli Scrovegni*, in «La Cappella degli Scrovegni a dieci anni dal restauro», Atti della giornata di studi, Centro Culturale Altinate/San Gaetano, Padova, 25 giugno 2012, p. 106.

<sup>13</sup> FABBRI COLABICH, PROSDOCIMI, SACCOMANI, *I recenti lavori*, cit., p. 25.



Fig. 3.3. Nella ripresa fotografica effettuata il 26 gennaio 2015 nell'ambiente soprastante il presbiterio, si può vedere la catena segnalata da Selvatico nel 1870.



Fig. 3.4. Nell'immagine si vede come l'arco trionfale sia puntellato da una struttura lignea a contrastare la pericolosa lesione. Biblioteca Civica di Padova, XXXVI.

L'attività padovana di Botti si concluse nel 1872 quando venne allontanato a causa dell'utilizzo di tecniche d'intervento improprie: usò chiodi di ferro al posto di quelli in rame durante i lavori nell'oratorio di San Giorgio nella chiesa del Santo<sup>14</sup>. Questo modo di operare suscitò polemiche all'interno della Commissione Provinciale e venne sostituito da Antonio Bertolli nei lavori di restauro all'interno della Cappella degli Scrovegni<sup>15</sup>. La Cappella ha inoltre da sempre dovuto convivere con frequenti inondazioni causate dal vicino fiume Piovego: tra il 1857 e il 1880 vennero segnalati costanti allagamenti all'interno della cripta tra i 35 e i 70 cm come riportato nella relazione del 1857 della Commissione Municipale Bisacco, Trevisan e Gradenigo in cui si denuncia la necessità di un intervento volto alla realizzazione di un sistema di raccolta e smaltimento delle acque e un innalzamento della soglia di modo che le acque non potessero penetrare nell'ambiente sotterraneo<sup>16</sup>.

### 3.2. LAVORI CONDOTTI DAL COMUNE: MAESTRI E BERTOLLI

Nel 1880 grazie all'intervento del Comune, divenuto proprietario dell'area<sup>17</sup>, fu possibile studiare in modo maggiormente approfondito il complesso dell'Arena e

<sup>14</sup> PANIS, *Rilevamento dello stato di conservazione*, cit., p. 94.

<sup>15</sup> *Ibid*; BASILE, *Giotto. La Cappella*, cit., pp. 377 – 378.

<sup>16</sup> Nel frattempo, in via provvisoria in attesa dell'intervento, è noto come negli anni Ottanta dell'Ottocento, essendo l'acqua nella cripta una costante, si era tentato di porvi rimedio depositando sul pavimento della stessa grandi quantità di macerie e terra, ZAMPIERI, *La Cappella degli Scrovegni*, cit., p. 79.

<sup>17</sup> MODENA, *Aggiornamento sulla statica*, cit., p. 43.

iniziare quindi le relative attività di restauro, seguite dall'ingegnere comunale Eugenio Maestri; negli stessi anni Antonio Bertolli, che aveva appena sostituito Botti nei lavori, è incaricato del restauro del ciclo affrescato giottesco.

### 3.2.1 Eugenio Maestri

Le ipotesi progettuali di Maestri si fonderanno sul rilievo grafico di Benvenuti e Grasselli del 1871<sup>18</sup>. I primi lavori furono quelli di scavo attorno alla Cappella<sup>19</sup>: l'edificio fu così isolato dal terreno circostante in modo da agevolare il deflusso dell'acqua e liberarne della presenza la cripta e le fondazioni. I successivi interventi furono la rimozione degli intonaci dei sedili in facciata, la reintegrazione delle murature con malte di gesso, la chiusura di buchi e mancanze presenti esternamente nella parete nord e il rifacimento della volta dell'abside<sup>20</sup>. Nella stessa occasione venne studiato il problema dell'umidità nelle murature per capire se fosse la causa principale del deterioramento degli affreschi; queste analisi furono condotte da Pietro Spica e confermarono suddette ipotesi: emerse che le murature di supporto ai dipinti deteriorati presentavano maggiore quantità d'acqua rispetto a quelle degli affreschi in buono stato di conservazione. Nel 1884 terminarono gli interventi di consolidamento della fenditura nel muro presente sopra l'arcone posto tra navata e presbiterio e nell'abside inserendo una catena di ferro all'interno della muratura soprastante l'arcone e riparando quella reggispinta della navata più prossima all'arcone<sup>21</sup>. Nel 1885 venne effettuata la rimozione degli intonaci esterni aggravando così i fenomeni di permeabilità causati dall'umidità e il rifacimento degli intonaci di cornice. Il 1890 fu un anno di grandi piogge continue che produssero piene straordinarie e, nonostante lo sterro effettuato negli anni precedenti, la cripta si ritrovava costantemente allagata<sup>22</sup>;

---

<sup>18</sup> *Ibid.*

<sup>19</sup> Al momento dell'acquisizione la chiesa si presentava infatti in parte sepolta: le finestre della cripta erano oscurate per metà e l'originaria gradinata d'ingresso semicircolare era completamente interrata; FRUGONI, *L'affare migliore*, cit., p. 12.

<sup>20</sup> Nel 1857 la facciata si presenta affrescata e non con i mattoni a vista: ne sono testimonianza delle foto del 1865, gli affreschi infatti vennero demoliti nel 1885; MODENA, *Aggiornamento sulla statica*, cit., pp. 42-43. Si veda appendice D. Schede iconografiche, n.18.

<sup>21</sup> PEZZETTA, *Interventi di conservazione*, cit., p. 14.

<sup>22</sup> La presenza di acqua all'interno della cripta era dovuta anche all'alta permeabilità del terreno e alle fenditure della pavimentazione della stessa che permettevano all'acqua di affluire all'interno; V. DAL

per ovviare al problema si decisero di innalzare due muretti già ivi presenti allo scopo di mantenere asciutto il legname depositato nel cosiddetto *cenobio*<sup>23</sup>.

### 3.2.2 Antonio Bertolli

Nel 1880 il Comune incaricò Antonio Bertolli, restauratore padovano, di redigere una relazione sullo stato di conservazione degli affreschi in seguito al restauro condotto da Botti<sup>24</sup>. L'anno seguente venne incaricato di staccare e riattaccare gli affreschi della volta dell'abside, permettendo l'intervento di consolidamento della struttura muraria eseguito da Maestri. Si dedicò al restauro degli affreschi sino al 1894; in particolare nel 1892 Bertolli eseguì lo stacco dei riquadri maggiormente deteriorati dall'umidità posti sulla parete nord della navata (*Gesù fra i dottori* e *l'Andata al Calvario*), riportandoli su telai di rame dopo aver creato un'intercapedine tra la parete e il supporto in modo da evitare il contatto tra la muratura umida e l'affresco<sup>25</sup>.

### 3.3. LAVORI DI FINE OTTOCENTO - INIZIO NOVECENTO

Alla fine del XIX secolo furono eseguiti interventi di consolidamento non attribuibili con certezza all'ingegnere Maestri o, in modo specifico, ad altri esperti. Tra il 1897-98<sup>26</sup> si procedette alla riparazione della catena della navata prossima alla parete con l'arcone e alla consolidazione della lesione in chiave alla volta a botte della navata stessa, fessurazione osservata e riparata più volte dal 1828<sup>27</sup>. Agli inizi del XX secolo fu dato l'avvio ad una serie di interventi di riparazione: il 13 maggio 1901<sup>28</sup> venne disposta la risarcitura della fessura esistente tra le pareti del presbiterio e dell'abside; l'anno

---

PIAZ, *Vicende della cripta della Cappella degli Scrovegni tra Ottocento e Novecento*, in «La Cappella degli Scrovegni a dieci anni dal restauro», Atti della giornata di studi, Centro Culturale Altinate/San Gaetano, Padova, 25 giugno 2012, p. 90.

<sup>23</sup> *Ibid.*

<sup>24</sup> Presentò al Comune tale relazione il 22 giugno 1880 corredata di sette tavole rappresentanti le pareti della navata e dell'abside. Si veda cap. 4.I rilievi storici.

<sup>25</sup> PANIS, *Rilevamento dello stato di conservazione*, cit., p. 95.

<sup>26</sup> MODENA, *Aggiornamento sulla statica*, cit., p. 30; MODENA, *Aspetti costruttivi e strutturali*, cit., p. 112.

<sup>27</sup> Dal 1828 Selvatico osserva la prima fessurazione in chiave della volta della navata che probabilmente è causata dagli inizi dei lavori di demolizione del Palazzo Foscari-Gradenigo, terminati qualche anno più tardi; BORSELLA, *L'architettura, le trasformazioni e i restauri*, cit., p. 175.

<sup>28</sup> *Ibid.*

seguinte si procedette agli urgenti restauri della sacrestia in stato di preoccupante degrado<sup>29</sup>. Nel 1906, come segnalato precedentemente, venne demolita la *Casa del Custode*<sup>30</sup> che aveva preso il posto di Palazzo Foscari-Gradenigo e con essa quasi interamente il muro che la collegava alla Cappella (Fig. 3.2): questa eliminazione, insieme a quella delle sue adiacenze, fu necessaria in quanto era prevista un'opera di riqualificazione dell'area nell'ottica di un maggior rispetto del monumento che si esplicò nella creazione di un nuovo giardino pubblico atto a celebrare la Cappella di Giotto. Il 1909 fu l'anno in cui avvenne la demolizione del solaio ligneo del locale soprastante il presbiterio sostituito con uno nuovo composto da travi, tavole e tavelle<sup>31</sup>.



Fig. 3.5. Nella ripresa fotografica, eseguita il 24 ottobre 2014, si può notare come, ancora oggi, siano visibili i fori rimasti nel muro dovuti alla presenza un tempo delle travi del solaio ligneo.



Fig. 3.6. Nella ripresa fotografica, eseguita il 24 ottobre 2014, si può notare come, ancora oggi, siano visibili i fori rimasti nel muro dovuti alla presenza un tempo delle travi del solaio ligneo.

### 3.4. PRIMA GUERRA MONDIALE

Durante gli anni della Guerra non vi furono danni alla Cappella grazie alla protezione interna fornita da maggio 1917<sup>32</sup> da una robusta armatura in legno e materassi imbottiti di alghe posti a circa un metro dalle pareti; sul pavimento venne steso uno strato di 60 cm di sabbia per attutire l'eventuale caduta di una bomba (Figg. 3.7 -

<sup>29</sup> *Ibid.*

<sup>30</sup> ZAMPIERI, *La Cappella degli Scrovegni*, cit., p. 26; Si veda appendice D. Schede iconografiche, n. 19.

<sup>31</sup> BORSELLA, *L'architettura, le trasformazioni e i restauri*, cit., p. 175.

<sup>32</sup> FABBRI COLABICH, PROSDOCIMI, SACCOMANI, *I recenti lavori*, cit., p. 25;

[grandeguerra.comune.padova.it/grande-guerra-padova/opere-di-difesa-grande-guerra/](http://grandeguerra.comune.padova.it/grande-guerra-padova/opere-di-difesa-grande-guerra/), visitato in data 29 ottobre 2014.

3.8)<sup>33</sup>. Nel 1920 furono sostituite le vetrate andate distrutte a causa della caduta di una bomba nelle vicinanze.

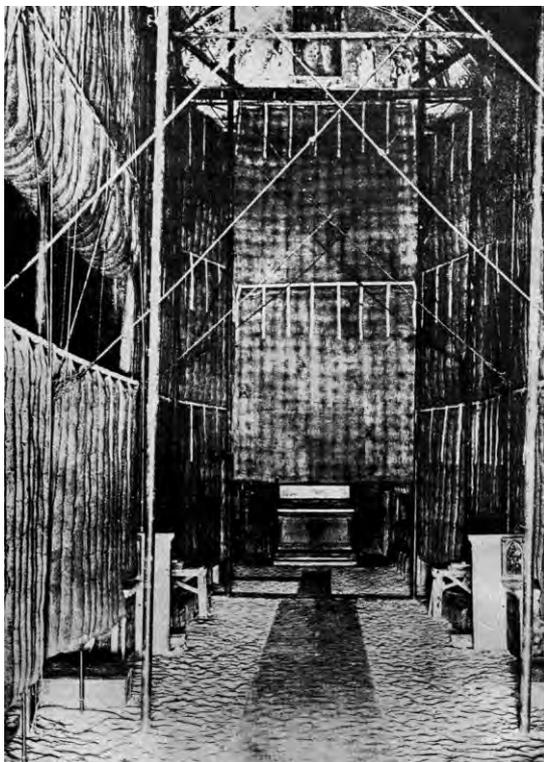


Fig. 3.7. Nell'immagine si possono notare le impalcature in legno a cui sono appesi i materassi protettivi e lo strato di sabbia sul pavimento; [grandeguerra.comune.padova.it/grande-guerra-padova/opere-di-difesa-grande-guerra](http://grandeguerra.comune.padova.it/grande-guerra-padova/opere-di-difesa-grande-guerra).

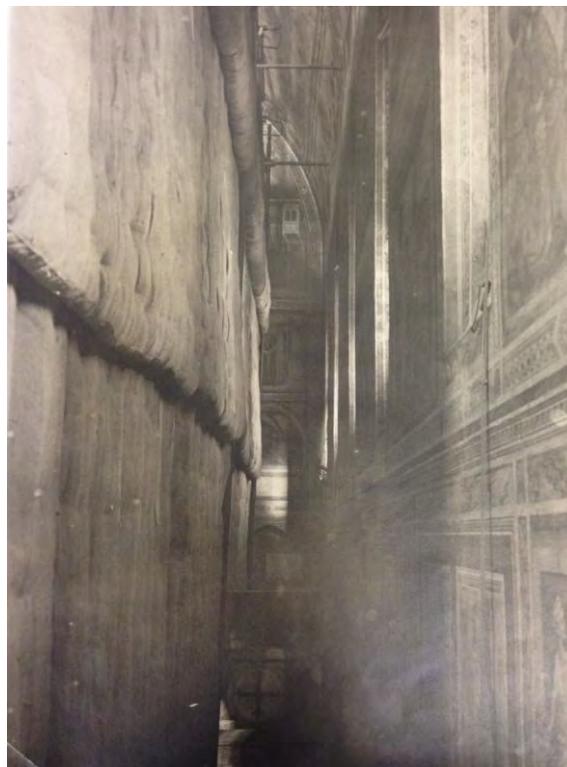


Fig. 3.8. Nell'immagine si possono notare le impalcature in legno a cui sono appesi i materassi protettivi; Biblioteca Civica di Padova, XXXIII.

### 3.5. TRA LE GUERRE

Nel 1936 la Cappella si presentava ancora in parte interrata<sup>34</sup>: la cripta era coperta per tutta l'altezza lungo la parete esposta a nord-est, mentre quella a sud-ovest era stata sterrata dall'intervento precedente al fine di lasciare libere le finestre<sup>35</sup>. Nello stesso anno venne riparata la fessurazione dell'architrave del portone d'ingresso<sup>36</sup>.

Nell'anno successivo al terremoto del Friuli del 18 Ottobre 1936<sup>37</sup>, si eseguirono interventi di consolidamento volti ad arginare i cedimenti del lato sud-est a causa dei

---

<sup>33</sup> SPIAZZI, *Giotto a Padova*, cit., p. 30.

<sup>34</sup> BORSELLA, *L'architettura, le trasformazioni e i restauri*, cit., p. 175.

<sup>35</sup> DAL PIAZ, *Vicende della cripta*, cit., p. 91.

<sup>36</sup> BORSELLA, *L'architettura, le trasformazioni e i restauri*, cit., p. 175.

<sup>37</sup> MODENA, *Aggiornamento sulla statica*, cit., p. 30.

quali si erano manifestate lesioni diagonali in tutta l'altezza. Venne consolidata la volta della cripta nel punto di contatto con la parete sud mediante l'inserimento di tre catene rivestite da travi lignee di incatenamento posizionate trasversalmente tra i muri longitudinali interrati<sup>38</sup>; si procedette inoltre alla riparazione con iniezioni di cemento liquido nella ricorrente fessura presente nell'arco trionfale. Nel 1937 venne portato a termine il lungo restauro della fessura longitudinale della volta, cominciato circa 60 anni prima in seguito all'acquisizione da parte del Comune di Padova, nel 1881, dell'edificio.

### 3.6. SECONDA GUERRA MONDIALE

Lo scoppio del secondo conflitto mondiale risale al 1939, l'anno successivo, nel 1940, si provvide a erigere delle opere di rinforzo interno per aumentare le capacità di resistenza delle pareti soprastanti la cripta e della sua volta, al fine di sostenere le opere provvisorie di protezione antiaerea: il primo intervento fu quello di inserire nell'ex *cenobio* otto setti murari (Fig. 3.9) disposti trasversalmente alle pareti longitudinali, separati superiormente dalla volta a botte ribassata con cartoni catramati, ancora oggi presenti addossati alle pareti laterali e alle volte, con esse ormai oggi probabilmente interagenti (Fig. 3.10)<sup>39</sup>.



Fig. 3.9. Nella ripresa fotografica, eseguita il 20 novembre 2014, si possono vedere i setti realizzati nel periodo bellico e tutt'ora presenti.

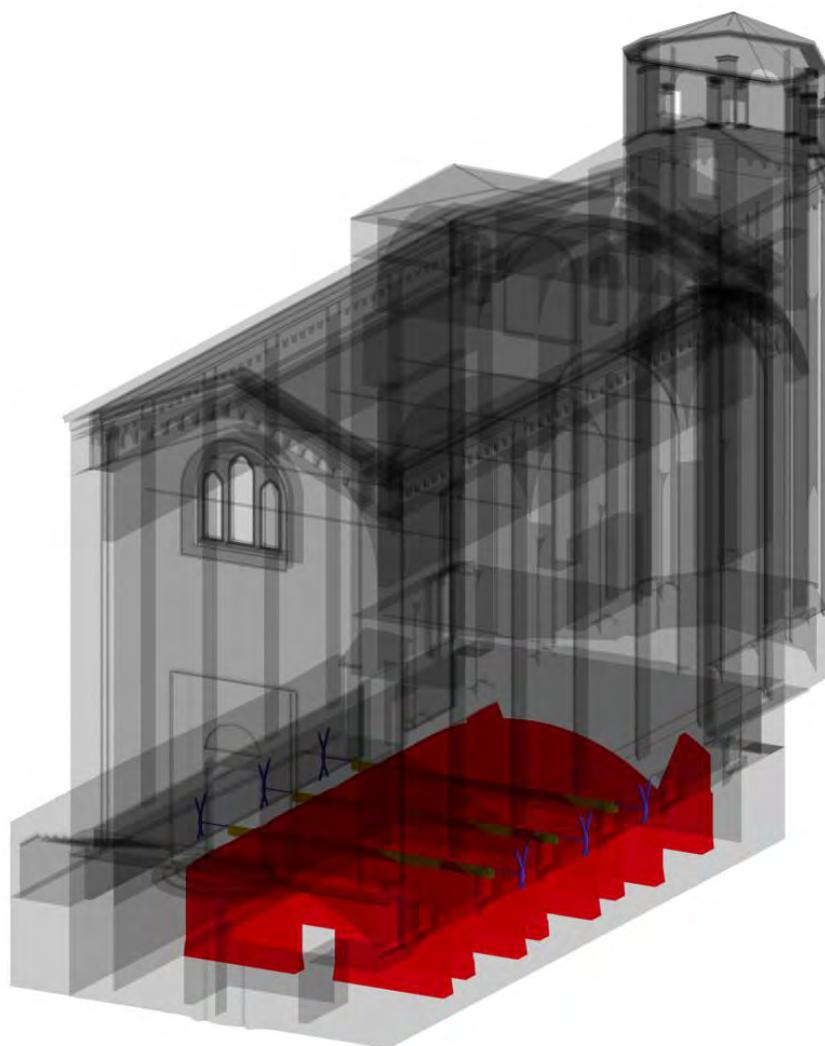


Fig. 3.10. Nella ripresa fotografica, eseguita il 20 novembre 2014, si può notare il cartone catramato tra la volta ed il setto murario.

<sup>38</sup> BORSELLA, *L'architettura, le trasformazioni e i restauri*, cit., p. 176.

<sup>39</sup> MODENA, *Aggiornamento sulla statica*, cit., p. 30; FABBRI COLABICH, PROSDOCIMI, SACCOMANI, *I recenti lavori*, cit., p. 25.

Successivamente si passò al progetto di una robusta volta in cemento armato<sup>40</sup>: una copertura a doppia parete con interposta una camera a scoppio. Il progetto della calotta però non venne portato a termine a causa degli stessi eventi bellici e delle conseguenti difficoltà a reperire i materiali necessari; vennero realizzate le sole opere di fondazione sui lati nord e ovest ancora oggi presenti al di sotto di un sottile strato di terra<sup>41</sup>.



**Fig. 3.11.** Nell'immagine viene rappresentato il consolidamento effettuato nel 1937 alla volta della cripta in seguito al sisma dello stesso anno: nel punto di contatto con le pareti vengono inserite tre catene rivestite da travi lignee posizionate trasversalmente tra i muri longitudinali seminterrati. Inoltre sono illustrate le opere di rinforzo all'interno della cripta realizzate nel 1940 per aumentare la capacità di resistenza della muratura della Cappella: vennero introdotti otto contrafforti disposti trasversalmente alle pareti longitudinali, non a contatto con la volta a botte ribassata e le pareti laterali ma separati da queste con cartoni catramati.

---

<sup>40</sup> SPIAZZI, *Giotto a Padova*, cit., p. 30.

<sup>41</sup> FABBRICOLI, PROSDOCIMI, SACCOMANI, *I recenti lavori*, cit., p. 25.

### 3.7. DOPOGUERRA

In seguito ai bombardamenti, ed in particolare alla bomba caduta nelle vicinanze<sup>42</sup>, nel 1944 la Soprintendenza di Venezia e il Comune di Padova pensarono per la prima volta all'eventualità di rimuovere gli affreschi al fine di proteggerli dal rischio di distruzione, spostandoli in luogo più sicuro, quali appositi rifugi antiatomici; a tal fine venne chiamato a Padova il restauratore Mauro Pelliccioli per verificare l'effettiva fattibilità di questi interventi. La rimozione dell'intero ciclo non fu eseguita in quanto avrebbe comportato la distruzione, o una profonda manomissione, delle strutture murarie; si procedette quindi solo con l'operazione di strappo di quattro medaglioni della volta. Anche quest'ultima comportò diverse difficoltà in quanto la pellicola pittorica e l'intonaco degli affreschi erano ben coese alla struttura, i medaglioni vennero ricollocati al loro posto originari qualche anno dopo, nel 1947<sup>43</sup>.

Nell'immediato dopoguerra venne effettuata una ricognizione sullo stato di salute della Cappella: si poté notare un allargamento della fenditura nella parte sommitale del *Giudizio Universale* che segue lo spigolo di connessione tra la volta e la parete longitudinale sud prolungandosi per tre metri lungo la stessa attraversando diagonalmente gli affreschi del riquadro superiore più vicini al muro di facciata. Si notò inoltre l'allargamento di antiche lesioni della controfacciata vicine alla trifora: data la preoccupante presenza di tali fessure, nel 1949 si procedette all'applicazione di spie per monitorare l'allargamento che si aggravò a partire dal 1956<sup>44</sup>.

---

<sup>42</sup> A causa della bomba hanno subito ingenti danni la Cappella Ovetari, il Distretto Militare e gli edifici di via Porcilia, Ivi, p. 23.

<sup>43</sup> PANIS, *Rilevamento dello stato di conservazione*, cit., pp. 95 – 96.

<sup>44</sup> Nuove spie furono poste sulla lesione nel 1956 e si ruppero l'anno successivo a conferma dell'aggravamento delle fessurazioni, FABBRI COLABICH, PROSDOCIMI, SACCOMANI, *I recenti lavori*, cit., p. 24; MODENA, *Aggiornamento sulla statica*, cit., p. 30; MODENA, *Aspetti costruttivi e strutturali*, cit., p. 112.

### 3.8. INTERVENTI ANNI CINQUANTA

Nel 1957 si procedette all'inserimento di tre catene nella facciata<sup>45</sup> per impedire o limitare la prosecuzione delle lesioni (Figg. 3.12 – 3.13) studiate durante le campagne diagnostiche effettuate nel 1953 e nel 1956 che evidenziarono l'apertura di nuove fessurazioni lungo le linee di chiave e di imposta della volta, l'allargamento di vecchie lesioni nell'abside, nella sacrestia e nella loggia.



Fig. 3.12. La lesione tra volta e parete di facciata rilevata nel 1960 vicino alla stuccatura eseguita nel 1957, FABBRI COLABICH, PROSDOCIMI, SACCOMANI, *I recenti lavori*, cit., Fig. 2.



Fig. 3.13. Le lesioni all'intradosso della chiave della volta aumentate di numero e grandezza nel 1960 rispetto a quelle rilevate nel 1871; FABBRI COLABICH, PROSDOCIMI, SACCOMANI, *I recenti lavori*, cit., Fig. 3.

Le catene, inserite nello spessore della muratura, furono poste nello spazio compreso tra il *bancale* della finestra di facciata e l'architrave della porta d'ingresso<sup>46</sup>.

---

<sup>45</sup> Si veda la tav. 2.17 presente nel book di tavole allegato; MODENA, *Aggiornamento sulla statica*, cit., p. 30; MODENA, *Aspetti costruttivi e strutturali*, cit., pp. 113 - 115.

<sup>46</sup> Per collocare in opera le catene venne escluso l'uso dello scalpello per evitare danni agli affreschi: si procedette quindi al taglio delle murature per l'altezza di un corso di mattoni tranne nei tratti in corrispondenza dei giunti delle catene dove il taglio riguardava due corsi, in conclusione gli affreschi non risentirono di alcun danno; FABBRI COLABICH, PROSDOCIMI, SACCOMANI, *I recenti lavori*, cit., p. 25; MODENA, *Aggiornamento sulla statica*, cit., p. 43.

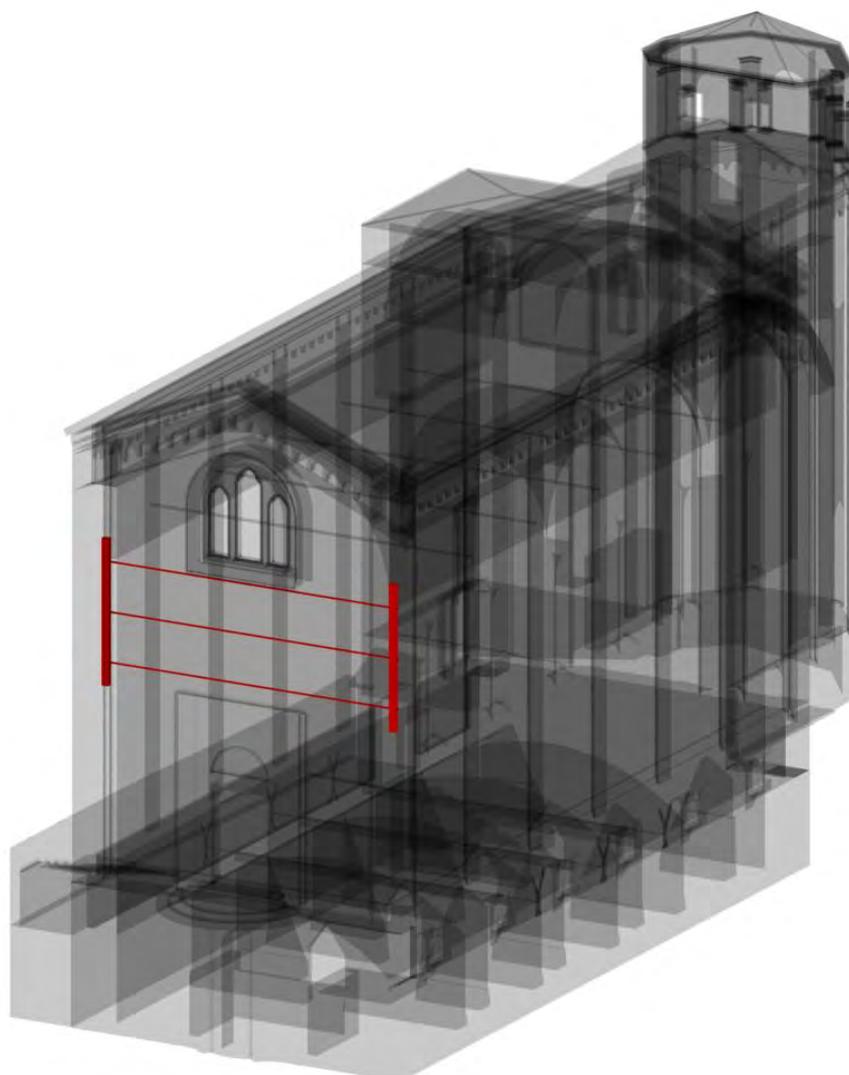


Fig. 3.14. Nell'immagine è raffigurato l'intervento del 1957 alla facciata che, a causa della presenza di pericolose lesioni diagonali, venne consolidata grazie all'inserimento di tre catene metalliche all'interno dello spessore della parete muraria della facciata, site nello spazio compreso tra il portone d'ingresso e la trifora soprastante, al fine di impedire o limitare la prosecuzione delle lesioni evidenziate nelle campagne diagnostiche del 1953 e 1956.

Nello stesso anno si procedette alla risarcitura delle ricorrenti lesioni presenti alla chiave e all'imposta della volta. In occasione dei sopracitati interventi di consolidamento strutturale della facciata, nel 1957 Leonetto Tintori – subentrato a Pelliccioli - venne incaricato di occuparsi del restauro dell'affresco del *Giudizio Universale* presente sulla controfacciata: procedette urgentemente impiegando tre diversi tipi di resine sintetiche, tipologia mai usata prima nel campo del restauro, per migliorare l'adesione degli affreschi ai paramenti murari; negli anni 1961-63 Tintori

verrà incaricato di portare a termine i lavori di restauro sull'intero ciclo giottesco<sup>47</sup>. Successivamente, a otto anni di distanza, nel 1971, verrà lanciato l'allarme dal soprintendente Valcanover<sup>48</sup> riguardo alcuni danni visibili sugli affreschi causati dall'inquinamento che ne accelerò il deterioramento, auspicando un ciclico controllo ed eventuale manutenzione, nei riguardi dell'edificio e dell'ambiente<sup>49</sup>.

### 3.9. INTERVENTI ANNI SESSANTA

A causa dell'aggravarsi delle lesioni delle strutture murarie e per la necessità di provvedere alla sostituzione del gravoso tetto in legno ormai deteriorato, il Comune di Padova, oltre ad alcuni provvedimenti precauzionali, visto l'immenso valore degli affreschi e la delicatezza dei possibili problemi statici, nell'aprile 1962 richiese la partecipazione dell'ingegnere Giorgio Fabbri Colabich, dell'architetto Mario Guidotto, del professore Giovanni Paccagnini e dell'ingegnere Giannantonio Saccomani nella progettazione degli interventi di consolidamento e salvaguardia che avrebbero dovuto interessare l'edificio.

#### 3.9.1 Sostituzione del tetto

Le vecchie lesioni lungo le linee di chiave e di imposta della volta si accentuarono ulteriormente nel 1960 probabilmente a causa della progressiva rottura delle catene presenti in navata e forse anche per le notevoli escursioni della falda freatica conseguenti ai lavori compiuti nel fiume Bacchiglione per estromettere le piene dal centro urbano; nello stesso anno, si evidenziarono ulteriori cedimenti del tetto causati dalla vetustà e da degrado delle strutture lignee. Riguardo alle problematiche della copertura, l'ufficio tecnico del Comune di Padova ipotizzò due progetti: il primo consisteva nella sostituzione del tetto esistente attraverso l'ausilio di capriate di

---

<sup>47</sup> PANIS, *Rilevamento dello stato di conservazione*, cit., p. 97; BASILE, *Giotto. La Cappella*, cit., p. 379.

<sup>48</sup> Dopo i restauri del 1961-1963 due studiosi americani E.V. Sayre e L.J. Maiewsky, pubblicarono i risultati dell'analisi dei campioni del Tintori sulla rivista "Studies in Conservation"; a questo allarme però non venne dato il giusto peso; G. BASILE, *Da Giotto a Padova al cantiere di restauro dei dipinti*, in «Il restauro della Cappella degli Scrovegni. Indagini, progetti, risultati», a cura di BASILE, Ministero per i beni e le Attività Culturali, Skira, Milano, 2003, p. 23.

<sup>49</sup> SPIAZZI, *Giotto a Padova*, cit., p. 34.

cemento armato<sup>50</sup>, la seconda proposta prevedeva leggere capriate metalliche. Entrambe le ipotesi presumevano semplici appoggi agli estremi al di sopra dei muri perimetrali con il triplice vantaggio di eliminare la spinta dei puntoni lignei del tetto sui muri stessi, di liberare la volta a botte dal peso della copertura stessa ed infine di diminuire la spinta della volta sui muri e di conseguenza la riduzione del tiro delle cinque catene in ferro della navata<sup>51</sup>.

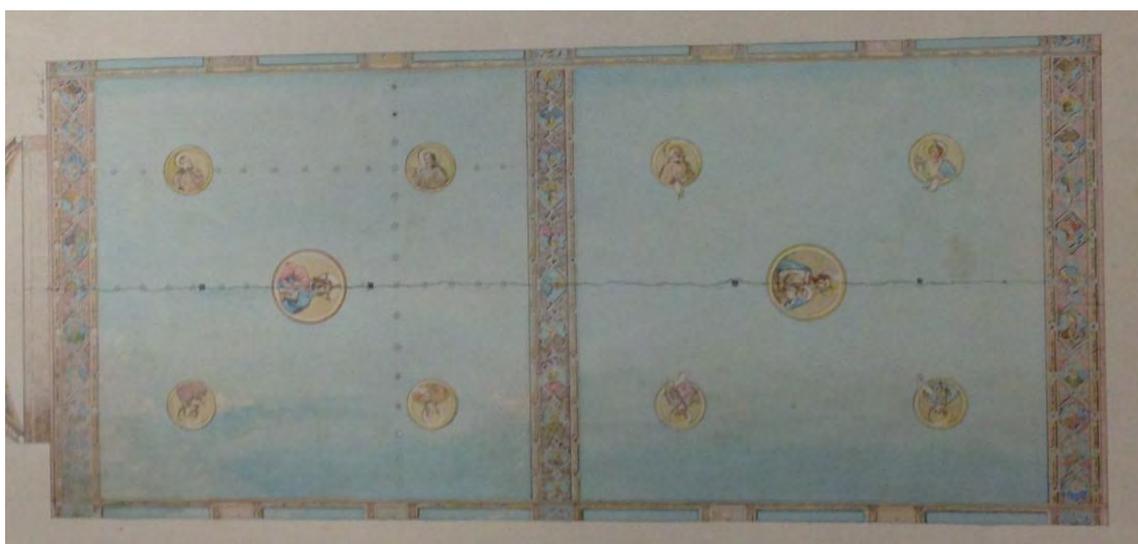


Fig. 3.15. Nella sciografia del Benvenuti e Grasselli risalente al 1871 si può vedere come fosse già stata segnalata la lesione presente in chiave all'intradosso della volta; Biblioteca Civica di Padova, XXXVI, si veda anche cap. 4. I rilievi storici.

Il 20 aprile 1962<sup>52</sup> il Ministero della Pubblica Istruzione si dichiarò favorevole al progetto delle capriate metalliche<sup>53</sup> e nell'estate dello stesso anno venne realizzata una copertura provvisoria protettiva metallica<sup>54</sup> per consentire i lavori (Fig. 3.16).

<sup>50</sup> «[...] capriate di cemento armato piuttosto robuste che avrebbero dovuto sostenere sacchetti di sabbia da collocarvi sopra a protezione del monumento in caso di eventi bellici [...]»; FABBRI COLABICH, PROSDOCIMI, SACCOMANI, *I recenti lavori*, cit., p. 35.

<sup>51</sup> *Ibid.*

<sup>52</sup> Ivi, p. 39.

<sup>53</sup> Si veda le tav. 2.18 presente nel book di tavole allegato; MODENA, *Aggiornamento sulla statica*, cit., p. 43; MODENA, *Aspetti costruttivi e strutturali*, cit., pp. 113 - 115.

<sup>54</sup> Utilizzata anche come braccio metallico al fine di portare a terra il materiale di riporto del vecchio tetto e sollevare le nuove capriate (Fig. 3.12), grazie a tale tettoia è stato possibile raggiungere il sottotetto per controllare la situazione della volta e dei muri d'ambito; Ivi, pp. 40 - 42; si veda le tav. 2.19 presente nel book di tavole allegato.



Fig. 3.16. La tettoia metallica provvisoria a montaggio finito realizzata nell'estate del 1962; FABBRI COLABICH, PROSDOCIMI, SACCOMANI, *I recenti lavori*, cit., Fig. 7.



Fig. 3.17. Effetti del nubifragio del 1963: si nota come si siano sollevate delle lamiere ma anche come trifora e porta d'ingresso siano protette da telai portanti fogli di plastica per evitare l'introduzione di polveri durante i lavori; FABBRI COLABICH, PROSDOCIMI, SACCOMANI, *I recenti lavori*, cit., Fig. 8.

Tale costruzione fu essenziale per la conservazione della Cappella, infatti, il 12 agosto 1963, si ebbe su Padova un violento nubifragio<sup>55</sup> che, tra le varie cose, sollevò alcune lamiere della copertura con alcuni danni alle tegole già poste in opera ma nessuno al monumento e agli affreschi (Fig. 3.15).



Fig. 3.18. La vecchia copertura di legno gravante sulla volta della Cappella; FABBRI COLABICH, PROSDOCIMI, SACCOMANI, *I recenti lavori*, cit., Fig. 21.



Fig. 3.19. Rimozione della copertura in legno, trattino fotografia nel corso dei lavori 1961-63; MODENA, *Aspetti costruttivi e strutturali*, cit., p. 115, Fig. 15.

In sostituzione alle banchine di legno sulle quali poggiavano i vecchi puntoni lignei, fortemente degradate, si decise di gettare un cordolo in cemento armato con il duplice

<sup>55</sup> Ivi, p. 40.

vantaggio di formare un appoggio per l'estremità delle capriate e di costituire una miglior distribuzione dei carichi che scaricano sulle strutture murarie perimetrali attraverso le nuove capriate metalliche<sup>56</sup>.



Fig. 3.20. Il sollevamento di una nuova capriata metallica con il paranco scorrente sulla guida sostenuta dalle incavallature della tettoia provvisoria; FABBRI COLABICH, PROSDOCIMI, SACCOMANI, *I recenti lavori*, cit., Fig. 23.



Fig. 3.21. Una delle nuove capriate poste in opera; FABBRI COLABICH, PROSDOCIMI, SACCOMANI, *I recenti lavori*, cit., Fig. 24.

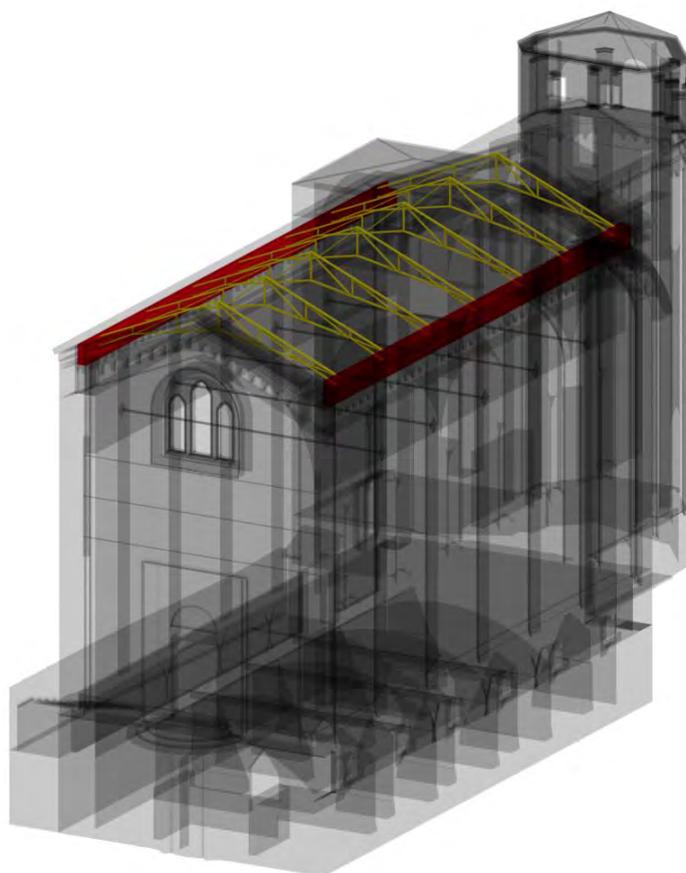


Fig. 3.22. Si vede l'intervento del 1963 alla copertura che consiste nell'introdurre 7 capriate metalliche che scaricano il loro peso e quello della copertura in tavelle, sostenute da terzere, su di un cordolo in c.a. realizzato sopra la muratura storica.

<sup>56</sup> MODENA, *Aggiornamento sulla statica*, cit., p. 30.

### 3.9.2 Sostituzione e riparazione delle catene

Le indagini diagnostiche eseguite nel dicembre 1962 misero in luce una delicata situazione statica: la vecchia lesione lungo l'intradosso alla chiave della volta della navata, si era allargata sino a 17 mm e inoltre nelle sezioni d'imposta, all'altezza delle catene, si notarono aumenti delle lesioni ed effetti di schiacciamento delle malte resi evidenti da scrostature dell'intonaco dipinto (Figg. 3.23 – 3.24). Questi fenomeni indicarono l'inizio della classica forma di rottura della volta nelle sezioni di chiave e d'imposta, e non essendo questa stata assoggettata a nuovi carichi, si pensò che la causa fosse dovuta ad un cedimento o ad un degrado dei sistemi di ancoraggio delle catene o ad una rottura di queste.



Fig. 3.23. Riquadro del *Corteo Nuziale*, sollevamento dell'intonaco attorno alla catena trecentesca; FABBRI COLABICH, PROSDOCIMI, SACCOMANI, *I recenti lavori*, cit., Fig. 9.



Fig. 3.24. In riferimento alla Fig. 3.15 si può vedere il foro in cui era collocata la catena trecentesca posta al limite del riquadro stesso, attorno al foro è visibile l'intonaco; FABBRI COLABICH, PROSDOCIMI, SACCOMANI, *I recenti lavori*, cit., Fig. 11.

In seguito alle indagini sopra descritte, con la delibera del 19 dicembre 1962<sup>57</sup> la Commissione dichiarò di eseguire le impalcature e puntellature (Figg. 3.25 - 3.26) necessarie e avviò una serie esplorazioni dall'esterno sui capichiave delle catene<sup>58</sup> (Figg. 3.27 - 3.28).

<sup>57</sup> FABBRI COLABICH, PROSDOCIMI, SACCOMANI, *I recenti lavori*, cit., p. 44.

<sup>58</sup> Durante l'esplorazione esterna dell'estremità delle catene, il professore Tintori seguì dall'interno il lavoro di scasso, come già detto, in modo da interrompere il lavoro nel caso di visibili danni agli

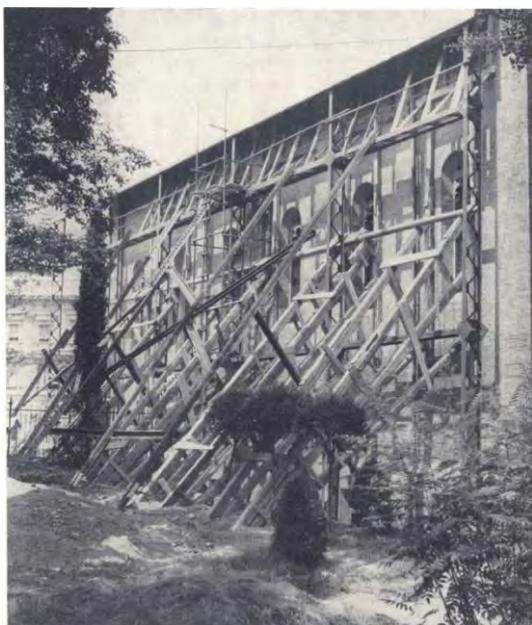


Fig. 3.25. La puntellatura della parete meridionale realizzata all'inizio del 1963; FABBRI COLABICH, PROSDOCIMI, SACCOMANI, *I recenti lavori*, cit., Fig. 14.

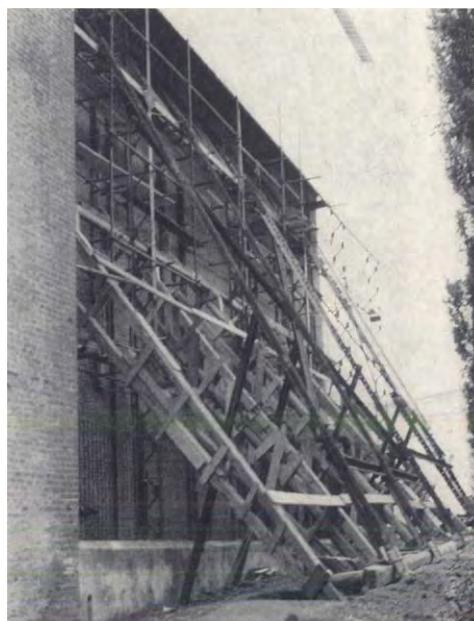


Fig. 3.26. La puntellatura della parete settentrionale, realizzata all'inizio del 1963; FABBRI COLABICH, PROSDOCIMI, SACCOMANI, *I recenti lavori*, cit., Fig. 15.

L'indagine sugli ancoraggi cominciò dalla seconda catena: risultò rotta nella sezione d'attacco con il paletto in seguito alla rotazione dello stesso dovuta al degrado della trave di legno<sup>59</sup>, le superfici di rottura risultarono opache ad indicare che il distacco risalisse a tempi precedenti. Si procedette poi all'analisi, nell'ordine, delle catene 1-3-4-5: le prime tre risultarono allentate così da far pensare che fossero anch'esse spezzate, solo l'ultima, in corrispondenza dell'abside, risultò in tensione anche se l'esistenza di un coprigiunto doppio in prossimità della parete meridionale indicò la rottura e il successivo ripristino risalente al secolo precedente (1897). La constatazione della rottura delle catene fu una conferma delle ipotesi iniziali sulla condizione statica fortemente compromessa e una spiegazione riguardo l'aumento delle lesioni soprattutto per quanto riguarda quelle della volta.

Vennero poi eseguite sulle catene indagini sullo stato di tensione e alcune analisi micrografiche, le quali evidenziarono un non raggiungimento dei requisiti fissati per le prove meccaniche dal Consiglio Nazionale delle Ricerche (C.N.R.) e una bassa

affreschi; le catene, fortunatamente, attraversavano l'intonaco in zone non riccamente decorate (Fig. 3.13).

<sup>59</sup> Si veda le tav. 2.20 presente nel book di tavole allegato.

resistenza meccanica del materiale ferroso che non soddisfò i requisiti preposti, nello specifico il materiale ferroso non raggiungeva i requisiti stabiliti da “Istruzioni per il calcolo, l’esecuzione, la manutenzione delle costruzioni metalliche” emanata dal C.N.R., e per questo motivo non poterono essere rafforzate ma necessariamente sostituite<sup>60</sup>. In seguito a ciò si decise di rinforzare i puntelli metallici nelle pareti longitudinali e di sostituire sia le vecchie catene ancorate sia gli ancoraggi con piastre a costole metalliche poste all’esterno della muratura in sostituzione ai poco efficaci paletti e alla trave in legno deteriorata prima citata la cui sostituzione avrebbe richiesto un lungo e delicato lavoro di scuci cucì accompagnato al distacco di una buona parte di affreschi<sup>61</sup>. Il 10 Giugno 1963 il professor Fabbri Colabich procedette alla posa in tensione delle catene proseguendo per fasi successive, nell’ordine dalla 1 alla 5, non potendole mettere tutte contemporaneamente in tensione<sup>62</sup>.



Fig. 3.27. Il paletto di ancoraggio di una delle catene trecentesche visto dal foro praticato all’esterno della parete; FABBRI COLABICH, PROSDOCIMI, SACCOMANI, *I recenti lavori*, cit., Fig. 12.



Fig. 3.28. L’ancoraggio del paletto di una delle catene trecentesche costituito superiormente da una trave di legno e inferiormente da un blocco di trachite visibili dal foro praticato all’esterno della parete; FABBRI COLABICH, PROSDOCIMI, SACCOMANI, *I recenti lavori*, cit., Fig. 13.

---

<sup>60</sup> FABBRI COLABICH, PROSDOCIMI, SACCOMANI, *I recenti lavori*, cit., p. 51.

<sup>61</sup> MODENA, *Aggiornamento sulla statica*, cit., p. 43.

<sup>62</sup> FABBRI COLABICH, PROSDOCIMI, SACCOMANI, *I recenti lavori*, cit., p. 63.

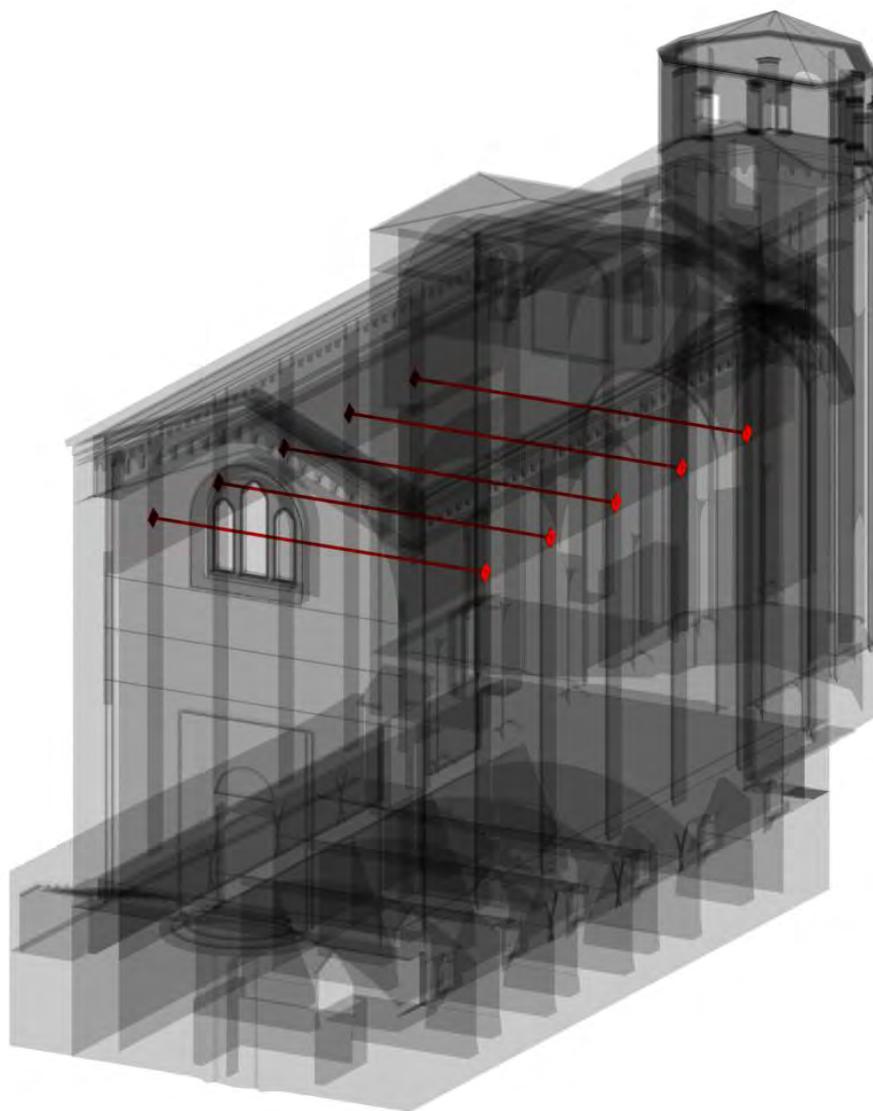


Fig. 3.29. L'immagine evidenzia le catene della navata interessate all'intervento di sostituzione delle stesse e dei relativi ancoraggi.

### 3.9.3 Ultime verifiche e conclusione dei lavori

Alla conclusione degli interventi, nel 1963<sup>63</sup>, si notò come la fessura già stuccata da Tintori nel 1957, si fosse riaperta, segnalata dalla rottura delle spie<sup>64</sup> che vennero quindi sostituite due settimane più tardi. Nella riunione del 1 Luglio 1963<sup>65</sup> la Commissione constatò la scomparsa di acqua dalla cripta a seguito dei lavori compiuti

<sup>63</sup> Ivi, p. 65.

<sup>64</sup> Le stesse spie, applicate già nel 1957, si erano rotte un anno più tardi nel 1958; Ivi, p.24.

<sup>65</sup> Ivi, p. 65.

nel fiume Bacchiglione nel 1962, che comportarono un abbassamento del livello medio della falda<sup>66</sup>. Nel mese precedente venne inoltre chiusa al traffico via Giotto e fortemente limitato quello in Corso Garibaldi a seguito delle registrazioni delle vibrazioni del traffico veicolare dell'area. Infine con il sopralluogo del 18 settembre 1963 la Commissione prese atto della conclusione dei lavori, senza aver recato nessun danno ai preziosi affreschi<sup>67</sup>. Il 6 Ottobre 1963 la Cappella venne riaperta al pubblico<sup>68</sup>.

### 3.10. SISMA DEL FRIULI

A seguito del sisma del 6 Maggio 1976 e delle successive scosse dell' 11 e 15 settembre avvenute in Friuli, si aprono nuove lesioni all'estradosso della volta, si riaprono alcune vecchie fessure e si aggravano ulteriormente quella nell'angolo destro della facciata e quella longitudinale della volta; caddero inoltre piccoli frammenti di affresco nelle zone danneggiate e si verificò una perdita di adesione dell'intonaco lungo le crepe nella controfacciata del *Giudizio Universale*, per un'ampiezza di 15-20 cm da una parte e dall'altra<sup>69</sup>. Questi fatti spinsero quindi il Ministero dei Beni Culturali a coinvolgere per la prima volta l'Istituto Superiore per la Conservazione e il Restauro (ISCR) nel 1976<sup>70</sup>, il cui direttore Giovanni Urbani procederà seguendo un diverso approccio capovolgendo la prassi tradizionale, così come si poté intuire dalle sue parole: «Va perciò ribadito che ogni restauro, indipendentemente dalla qualità dei suoi risultati estetici, si traduce sempre in un rischio aggiuntivo per la futura conservazione dell'opera, a meno che non sia accompagnato, ma ancor meglio preceduto, da tutto quanto occorra per rendere idoneo al fine conservativo l'ambiente di cui l'opera stessa è partecipe. Sulla priorità, rispetto gli interventi di restauro, degli interventi di bonifica ambientale, c'è o dovrebbe esserci da tempo il consenso di tutti»<sup>71</sup>. Intervenero quindi d'urgenza i restauratori dell'ISCR Aldo e Nerina Angelini, sul *Giudizio Universale*

---

<sup>66</sup> *Ibid.*

<sup>67</sup> *Ivi*, p. 66.

<sup>68</sup> *Ibid.*

<sup>69</sup> BORSELLA, *L'architettura, le trasformazioni e i restauri*, cit., p. 176.

<sup>70</sup> SPIAZZI, *Giotto a Padova*, cit., p. 34.

<sup>71</sup> G. URBANI, *Studi sullo stato conservativo della Cappella degli Scrovegni in Padova*, in «Bollettino d'Arte», anno XII, Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato, 2005.

fissando l'intonaco non più adeso, praticando fori entro i quali introdussero tondi d'ottone del diametro di 2mm; a puntellamento di tali tondini vennero utilizzate strisce di plexiglass larghe 2-3 cm e spesse 3-4 mm, permettendo così il fissaggio con le iniezioni di resina. A preoccupare furono anche le condizioni statiche: risultarono infatti rotte le spie poste sull'estradosso della volta nel 1963 che presentò fenditure di 7-10 cm; al fine di riconnettere i mattoni venne realizzata una centina lignea snodabile in cinque pezzi e vennero eseguite limitate risarciture murarie a livello della volta<sup>72</sup>. Infine, l'anno successivo, la fessura longitudinale della volta a botte venne chiusa con la miscela consolidante e vennero introdotte delle grappe<sup>73</sup>.

### 3.11. LE NUOVE INDAGINI: ANNI OTTANTA E NOVANTA

Nel 1982 venne pubblicato un numero monografico di "Bollettino d'arte" dedicato ai risultati della campagna di indagini diagnostiche svolte tra il 1977 e il 1982 sulla Cappella, da parte della Commissione tecnico scientifica istituita dal Comune a cui partecipano la Soprintendenza ai beni storici e artistici del Veneto, la Soprintendenza ai beni ambientali e architettonici del Veneto, il Settore Edilizia monumentale del Comune di Padova, ISCR, studiosi dell'Università di Padova, dell'Istituto Universitario di Architettura di Venezia e altri esperti. Uno dei saggi, *Distribuzione della temperatura superficiale degli affreschi*<sup>74</sup>, riportò gli esiti degli studi condotti in merito agli scambi di calore tra muratura e ambiente: furono evidenziate le tre catene presenti in facciata, il buon funzionamento dell'intercapedine tra volta e tetto e le disomogeneità presenti; questi risultati vennero poi correlati allo studio dei dati microclimatici<sup>75</sup>. Furono inoltre evidenziati gli scambi termici con l'esterno e i diversi gradienti in corrispondenza dei diversi spessori del muro: furono identificate le zone che maggiormente sono a contatto con l'aria esterna e quindi individuate le superfici

<sup>72</sup> MODENA, *Aggiornamento sulla statica*, cit., p. 43.

<sup>73</sup> SPIAZZI, *Giotto a Padova*, cit., p. 34.

<sup>74</sup> G. ACCARDO, *Distribuzione della temperatura superficiale sugli affreschi*, in «Bollettino d'Arte», anno XII, Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato, 2005, pp. 113 - 117.

<sup>75</sup> D. CAMUFFO, P. SCHENAL, *Microclima all'interno della Cappella: scambi termodinamici tra gli affreschi e l'ambiente*, in «Bollettino d'Arte», anno XII, Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato, 2005, pp. 119 - 220.

affrescate più soggette al deterioramento, auspicando sugli stessi interventi di conservazione. Venne analizzata anche la presenza di micropolveri interne<sup>76</sup>, i risultati, correlati alle precedenti indagini, evidenziarono nuovamente il problema dell'inquinamento atmosferico e dichiararono come urgenti una serie di operazioni, auspicando: la revisione degli infissi, la riduzione delle fonti di polvere, la filtrazione-deacidificazione dell'aria dall'esterno e una soluzione razionale per l'accesso dei visitatori. Queste proposte furono realizzate nel 1985, in particolare: l'installazione di contro vetrate lungo la navata per il filtraggio delle lunghezze d'onda UV e IR della luce, la rimozione dalle monofore dei tendaggi in tessuto pieni di polvere, la chiusura del portone e regolamentazione dei flussi turistici (non più di cinquanta visitatori all'ora), l'installazione di un nuovo sistema di illuminazione con lampade a luce fredda in sostituzione delle preesistenti a incandescenza che causavano veloci correnti d'aria cariche di polveri e inquinanti aerei.

Nel 1982 inoltre l'architetto Adriano Verdi, incaricato dal Comune, eseguì un rilievo ed una registrazione dell'andamento planimetrico: durante queste operazioni furono effettuate delle letture del livello di acqua all'interno della cripta correlandolo a quello del Piovego, riscontrando un'ottima rispondenza<sup>77</sup>.

A partire dal 1989 venne eseguita annualmente una campagna di rilievo e indagini per il controllo dello stato conservativo degli affreschi e circoscritti interventi di salvaguardia urgente degli stessi. Nel 1991 si procedette alla coibentazione e revisione del coperto insieme al sistema di smaltimento delle acque meteoriche.

Nel 1996, parallelamente all'installazione e attivazione del sistema di monitoraggio ambientale della Cappella, si avviò una nuova campagna di valutazione e misurazione del grado di capillarità di risalita e umidità all'interno delle murature d'ambito<sup>78</sup>. Più specificatamente vennero eseguiti dei carotaggi sulle pareti nord, sud e ovest della

---

<sup>76</sup> G. BISCONTI, S. DIANA, V. FASSINA, M. MARABELLI, *Indagine sugli inquinanti atmosferici all'interno e all'esterno della Cappella*, in «Bollettino d'Arte», anno XII, Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato, 2005, pp. 69 – 110.

<sup>77</sup> ILICETO, *Studio del sottosuolo*, cit., p. 36.

<sup>78</sup> S. FERRARI, *La conservazione architettonica della Cappella degli Scrovegni, iniziative e proposte della Soprintendenza per i beni architettonici e paesaggistici per le provincie di Venezia, Belluno, Padova e Treviso*, in «La Cappella degli Scrovegni a dieci anni dal restauro», Atti della giornata di studi, Centro Culturale Altinate/San Gaetano, Padova, 25 giugno 2012, p. 33.

Cappella, sia nel *cenobio* che nella zona sottostante gli affreschi. Il contenuto di umidità riscontrato nei paramenti della cripta era compreso tra il 5% e 8,6%: si poté affermare che questo non fosse un valore significativo in riferimento al fatto che queste murature furono state per molto tempo a contatto con l'acqua di falda. Nella navata invece il valore misurato era tra lo 0,6% e 1,5%<sup>79</sup>. Questi dati portarono ad affermare che l'umidità di risalita capillare non avesse effetti sullo stato di conservazione degli affreschi. Nel 2009-2012 vennero effettuate nuove misurazioni che confermarono gli esiti delle verifiche precedenti.

### 3.12. IL CORPO TECNICO ATTREZZATO

Gli studi dedicati al microclima interno dimostrarono come la presenza dei visitatori comprometteva la stabilità delle pellicole pittoriche, introducendo polveri inquinanti nell'edificio. Al fine della conservazione dell'oratorio la soluzione individuata fu quella di realizzare un Corpo Tecnico Attrezzato (CTA), costituito da un padiglione in acciaio e vetro collegato tramite un ingresso laterale (chiuso in passato e riaperto), con la funzione di filtro tra interno e esterno per evitare l'ingresso dell'aria durante le fasi di entrata e uscita dei visitatori grazie ad un sistema di compartimentazione interna. La redazione del progetto di fattibilità risale al 1993, il progetto esecutivo del 1995 e l'avvio del cantiere nel 1998 con la sua conclusione tra il 1999 ed il 2000<sup>80</sup>. Nell'anno successivo venne avviato il monitoraggio del funzionamento del nuovo sistema che evidenziò una migliorata situazione ambientale: ciò permetterà quindi di avviare il restauro dei dipinti negli anni successivi.

<sup>79</sup> BORSELLA, *L'architettura, le trasformazioni e i restauri*, cit., p. 179.

<sup>80</sup> Venne anche avviato un nuovo protocollo per l'ingresso dei visitatori: non più cinquanta per volta ma venticinque; Ivi, pp. 179 – 180; G. MARTINANI, *Il Corpo Tecnico Attrezzato*, in «Il restauro della Cappella degli Scrovegni. Indagini, progetti, risultati», a cura di BASILE, Ministero per i beni e le Attività Culturali, Skira, Milano, 2003, pp. 160 – 163.

### 3.13. NUOVE INDAGINI E CANTIERI MIRATI PER IL RESTAURO DEGLI AFFRESCHI (1989-2002)<sup>81</sup>

Parallelamente alle indagini scientifiche conoscitive, agli interventi di miglioramento delle condizioni ambientali e alla messa in opera della CTA, venne svolta una lunga fase di programmazione per definire il futuro progetto di restauro degli affreschi, diretti dall'Istituto Centrale di Restauro, divisa in due fasi: il primo, dal 1989 al 1994, il secondo dal 1994 al 2001. Quello di inizio anni Novanta consistette in cantieri didattici svolti al fine di studiare le tecniche di esecuzione, gli interventi precedenti e lo stato conservativo di tutti gli affreschi presenti; tali dati vennero registrati in specifiche mappature tematiche. In seguito, nel 1994, iniziò un cantiere di restauro pilota sul riquadro della *Missione dell'arcangelo Gabriele* per individuare la giusta metodologia di intervento, al fine della rimozione dei sali presenti sulle superfici; il restauro all'intero ciclo giottesco iniziò nel mese di luglio 2001 e si conclude il 18 marzo 2002<sup>82</sup>.

### 3.14. LE INDAGINI IDROGEOLOGICHE<sup>83</sup>

A causa della continua presenza di acqua all'interno della cripta e di alcuni problemi riguardanti la statica dell'edificio connessi alle infiltrazioni umide, fu visto necessario uno studio del comportamento geotecnico del suolo nelle zone circostanti la Cappella Scrovegni. Le indagini cominciarono per la prima volta negli anni Cinquanta, all'interno del contesto degli interventi, anche strutturali, per studiare i rapporti della falda con i livelli del canale Piovego e con le forzanti meteorologiche. Una prima campagna geognostica fu attuata nel 1953 con l'esecuzione di quattro sondaggi a 20m di profondità; il dato più interessante riguarda il livello di allora della falda, attorno ai -4,30/-4,50m (considerando come livello zero quello del pavimento della Cappella) ed

---

<sup>81</sup> F. CAPANNA, A. GUGLIELMI, *Note sul restauro dei dipinti murali della Cappella degli Scrovegni*, in «Padova e il suo territorio», XCVII, VII, 2002, pp. 9 - 12.

<sup>82</sup> BORSELLA, *L'architettura, le trasformazioni e i restauri*, cit., p. 180.

<sup>83</sup> ILICETO, *Studio del sottosuolo*, cit.; V. ILICETO, P. MELONI, F. OZZETTO, S. MEZZOCHIN, *Studi idrogeologici e storici sul sottosuolo della Cappella*, in «Il restauro della Cappella degli Scrovegni. Indagini, progetti, risultati», a cura di BASILE, Ministero per i beni e le Attività Culturali, Skira, Milano, 2003, pp. 53 - 68; P. SALANDIN, *La situazione idrogeologica dell'area della Cappella degli Scrovegni*, in «Il restauro della Cappella degli Scrovegni. Indagini, progetti, risultati», a cura di BASILE, Ministero per i beni e le Attività Culturali, Skira, Milano, 2003, pp. 74 - 93.

era derivante da ciò il fatto che l'acqua fosse quasi sempre presente nel cenobio per un'altezza di circa 20 cm; venne inoltre individuata la stratigrafia del terreno che verrà poi confermata dalle indagini eseguite nel 1963. Con queste ultime indagini si riscontrò come il livello di falda fosse salito a -4,23 m così che il cenobio venne invaso dall'acqua per circa 30 cm; si rilevò inoltre la presenza di strati di terreno con scarsa resistenza meccanica e un elevato contenuto d'acqua, al di sotto della zona absidale sul lato sud-est.

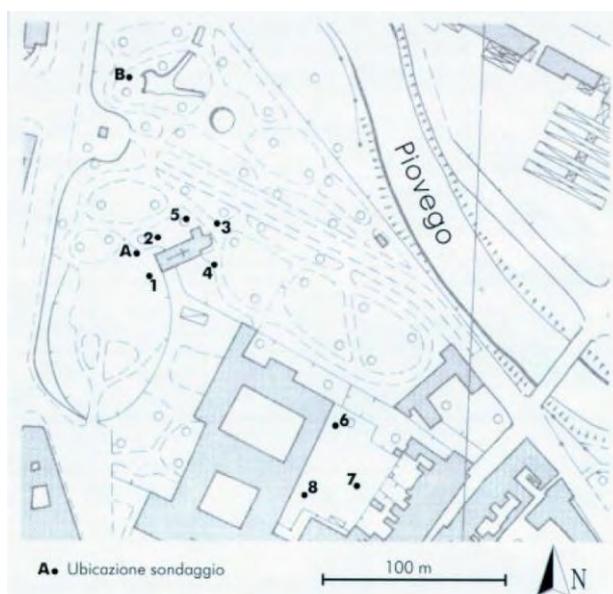


Fig. 3.30. Ubicazione dei sondaggi geognostici eseguiti nell'area della Cappella degli Scrovegni (1996); ILLICETO, *Studio del sottosuolo*, cit., p. 18, Fig. 8.

La successiva campagna di indagini, del 1989, prevede diverse prove penetrometriche e tre sondaggi che questa volta si spinsero fino alla profondità di 30 m e che non vennero però effettuati nelle dirette vicinanze della Cappella, per poter ottenere una visione più ampia, però non correlabili a quelle eseguite 26 anni prima. Un ulteriore sondaggio fu realizzato nel 1996 raggiungendo la profondità di 15 m. Un anno più tardi, a cura del Comune di Padova, venne realizzato un impianto di raccolta e smaltimento delle acque meteoriche e di superficie in accumulo e ristagno nel cenobio. Le indagini geotecniche fin'ora illustrate saranno quelle che il prof. Vittorio Illiceto userà nel 2001 come base di partenza per quelle da lui stesso svolte. Lo scopo della nuova campagna consisteva nel ricostruire la configurazione del sottosuolo dal punto di vista del sondaggio archeologico, stratigrafico e idrogeologico, attraverso l'installazione di trasduttori di pressione in profondità per la misura dei livelli di falda,

registrati ogni otto ore. Dalle indagini geognostiche (topografiche, geofisiche, stratigrafiche) e dallo studio della idrogeologia si evinse che fino alla profondità di 10 m «esiste un importante corpo idrico alloggiato in sabbie di varie granulometrie, passante da limi e limi sabbiosi a sabbia grossolana con ghiaino. [...] si è potuta riconoscere l'unitarietà del corpo idrico presente nel sottosuolo di quest'area. Si è constatato che esso si sviluppa dall'area del fiume Piovego a quella dell'Arena, e che i periodi di morbida del fiume si ripercuotono come innalzamento del livello di falda all'interno del *cenobio*. Ciò costringe ai frequenti inneschi delle pompe che travasano l'acqua, accumulatasi in una apposita vasca ricavata nel settore orientale del *cenobio*, verso l'esterno»<sup>84</sup>. Due anni più tardi, nel 2003, il Comune affidò di nuovo al prof. Illiceto il monitoraggio del sistema di pompaggio sopracitato; nella relazione al Comune "Monitoraggio dei tempi di funzionamento del sistema di pompe della Cappella degli Scrovegni" del 2005 venne riportato il continuo lavoro delle pompe nei due anni di osservazione e per la prima volta venne suggerito come l'innalzamento della falda fosse influenzato in modo significativo anche da eventi pluviometrici intensi. Nel 2011 il Comune di Padova commissionò al dipartimento di Ingegneria Idraulica, Marittima, Ambientale e Geotecnica, uno studio sull'impatto dell'idrologia nell'area dell'Arena in seguito all'abbassamento temporaneo della falda in zona Boschetti, causata dalla possibile costruzione di un nuovo auditorium. Gli esiti redatti dai professori D'Alpaos e Simonini, concordarono con le precedenti assunzioni di Illiceto nell'affermare la presenza di un acquifero, costituito prevalentemente da sabbia, tra i 5 m e i 15 m di profondità; è però diversa l'interpretazione riguardo la presenza dello strato argilloso a 15 m di profondità: gli studi suppongono infatti che questo vada a costituire una barriera idraulica e che di conseguenza gli acquiferi siano due e non uno unico come sopracitato. Tale ipotesi è stata confermata con le prove eseguite nell'estate del 2011: esistono due falde, una più profonda ed una più superficiale. Non è invece possibile quantificare esattamente quanto il contributo diretto delle precipitazioni caratterizzino la dinamica della falda anche se sicuramente possono essere identificate come la causa principale dell'innalzamento di quest'ultima.

---

<sup>84</sup> ILICETO, *Studio del sottosuolo*, cit., p. 43.

**APPENDICE C. CRONOLOGIA DEI RESTAURI**

Viene ora proposta una sintesi, in ordine cronologico, delle vicende relative agli interventi realizzati da ingegneri e restauratori su commissione del Comune di Padova al fine di conservare la Cappella degli Scrovegni. E' stato interessante inseguire nella storia il riproporsi periodico delle stesse lesioni, sono infatti evidenziate nel testo quelle che più hanno destato preoccupazioni negli anni: la fessurazione all'intradosso della volta a botte, la fessurazione nell'arco trionfale e quella in controfacciata, anche la sacrestia e la cripta sono stati oggetto di diversi interventi nel tempo.

<b>1817</b>	Testimonianza che il portichetto quattrocentesco antistante la facciata della Cappella degli Scrovegni fosse crollato
<b>1827</b>	La famiglia Gradenigo, anziché intervenire nella ristrutturazione del portico, proseguì con i lavori di demolizione del Palazzo Foscari (non si conosce la data di inizio) creando forti preoccupazioni per la stabilità della Cappella
<b>1818-1819</b>	Il Podestà richiese ai Gradenigo di poter acquistare l'oratorio al fine di intervenire con il restauro degli affreschi
<b>1828</b>	Selvatico osservò la fessurazione longitudinale in chiave causata probabilmente della demolizione di palazzo Foscari-Gradenigo
	<i>Fessurazione longitudinale all'intradosso della volta a botte</i>
	<i>Fessurazione nell'arco trionfale</i>
<b>1829</b>	I Gradenigo scoperchiarono il tetto della sacrestia per ricavarne materiale da costruzione, furono fermati dall'intervento del Comune
	<i>Interventi che interessano la sacrestia</i>
<b>1831</b>	Terminarono i lavori di demolizione di palazzo Foscari
<b>1829-35</b>	Inserimento di due catene nei muri della sacrestia e ripristino

PARTE I. ANALISI STORICO - CRITICA

Appendice C. Cronologia dei restauri

	della copertura della stessa.
	<i>Interventi che interessano la sacrestia</i>
<b>1837</b>	Fu edificata la <i>Casa del Custode</i> , un nuovo e più modesto edificio al posto del palazzo
<b>1850</b>	Sisma con epicentro nelle Alpi Bellunesi
<b>1857</b>	Primi interventi di restauro e manutenzione per la presenza di segnalate lesioni causate dal crollo del portico e dalla demolizione del palazzo
	<i>Fessurazione longitudinale all'intradosso della volta a botte</i>
	<i>Fessurazione nell'arco trionfale</i>
<b>1857</b>	Giovanni Battista Cavalcaselle, Michele Caffi e Antonio De Mattio individuarono una precisa metodologia per eseguire interventi di consolidamento delle murature e risanamento degli affreschi
<b>1857</b>	Nella relazione della Commissione Municipale, Bisacco, Trevisan e Gradenigo, in seguito alla segnalazione di periodici allagamenti della cripta tra i 35-70 cm, denunciarono la necessità di intervenire nella cripta introducendo un sistema di raccolta e smaltimento delle acque e un innalzamento della soglia di modo che le acque non potessero penetrare nell'ambiente sotterraneo
	<i>Interventi riguardanti la cripta</i>
<b>1857</b>	La facciata si presentava decorata da affreschi
<b>1867</b>	Si evidenziò la riapertura della grande fessurazione nell'intradosso della volta in corrispondenza della chiave e la presenza di fenditure nel muro sopra l'arcone e nell'abside
	<i>Fessurazione longitudinale all'intradosso della volta a botte</i>
	<i>Fessurazione nell'arco trionfale</i>
<b>14 aprile 1867</b>	Il Comune istituì una Commissione, presieduta da Pietro Selvatico, composta da Benvenisti e da Gradenigo (ed in

	seguito Botti) con l'obbiettivo di programmare e attuare studi preliminari finalizzati all'intervento di restauro delle murature e delle decorazioni pittoriche, si basarono inizialmente sulla metodologia elaborata nel 1857 da Cavalcaselle, Caffi e De Mattio
<b>2 febbraio 1868</b>	Botti inviò al Comune una relazione dettagliata riguardo lo stato di conservazione degli affreschi ed i possibili interventi
<b>1869</b>	Botti fu incaricato di intervenire urgentemente per la conservazione del <i>Giudizio Universale</i>
<b>1870</b>	Per rendere possibile l'intervento di consolidazione dell'arco trionfale senza recare danno ai dipinti, Guglielmo Botti staccò porzioni di affresco per poi riposizionarle nella posizione originale dopo l'intervento all'arco
<b>1870</b>	Selvatico segnalò la presenza di una grossa catena di ferro sopra la volta del presbiterio a 1,5 m dal muro soprastante l'arcone di navata probabilmente inserita per far fronte alle fessurazioni dovute ad un cedimento fondale o ad un errore di costruzione
<b>1871</b>	Venne segnalata una preoccupante fessura nella parete dell'arcone che venne puntellato; una perizia dello stesso anno descrive la presenza di lesioni alla chiave e all'imposta della volta insieme a altre minori lesioni
	<i>Fessurazione nell'arco trionfale</i>
	<i>Fessurazione longitudinale all'intradosso della volta a botte</i>
	<i>Fessurazione presente nella controfacciata - Giudizio</i>
<b>1871</b>	Venne realizzato un rilievo architettonico dell'edificio ad opera di Grasselli e Benvenuti
<b>1872</b>	Antonio Bertolli sostituì Guglielmo Botti
<b>1880</b>	Il Comune acquistò il complesso dell'Arena dalla famiglia Gradenigo; iniziò lo studio del sito e delle attività di restauro

<b>1880</b>	Eugenio Maestri iniziò i lavori: per prima un'opera di scavo al fine isolare l'edificio dal terreno circostante, in seguito la rimozione dei sedili in facciata, le reintegrazioni delle murature con malte di gesso, la chiusura di buchi e mancanze presenti nella facciata esterna della parete nord e il rifacimento della volta dell'abside
<b>22 giugno 1880</b>	Bertolli presentò al Comune la relazione richiesta, corredata di sette tavole, sullo stato degli affreschi in seguito all'intervento di Botti
<b>1881</b>	Il Comune incaricò Bertolli dello stacco e riattacco degli affreschi della volta dell'abside per permettere a Maestri l'intervento di consolidamento sulla struttura muraria
<b>1884</b>	Terminarono gli interventi di rafforzamento e di consolidamento statico delle fenditure presenti nel muro sopra l'arcone posto tra navata e presbiterio e nell'abside inserendo una catena di ferro all'interno della muratura soprastante l'arcone e riparando quella reggispinta della navata prossima allo stesso
	<i>Fessurazione nell'arco trionfale</i>
<b>1885</b>	Venne rimossa la decorazione della facciata riducendola a mattoni a vista, aggravando la situazione di permeabilità ai fenomeni di umidità
<b>1890</b>	Fu un anno di grandi piogge con costante presenza di acqua nella cripta, furono allora innalzati due muretti esistenti nella cripta per tenere all'asciutto il legname lì depositato
	<i>Interventi riguardanti la cripta</i>
<b>1892</b>	Furono staccati da Bertolli degli affreschi della parete nord perché troppo danneggiati dall'umidità e poi vennero riportati su telai di rame creando un'intercapedine tra la parete e il supporto

<b>1894</b>	Bertolli terminò il restauro degli affreschi, fu redatta una perizia di spesa dettagliata in base alla quale furono documentate le aree interessate dagli interventi
<b>1897-98</b>	Fu riparata la catena della navata più prossima alla parete dell'arcone
	<i>Interventi e studi relativi alle catene della navata</i>
<b>13 maggio 1901</b>	Venne disposta la risarcitura della fessura esistente tra le pareti del presbiterio e l'abside
<b>1902</b>	Si svolsero urgenti interventi di restauro alla sacrestia, forse della voltina di copertura fortemente degradata
	<i>Interventi che interessano la sacrestia</i>
<b>1905</b>	Si manifestò un'alluvione che sommerse la città
<b>1906</b>	La <i>Casa del Custode</i> fu demolita per rendere possibile la creazione dei nuovi giardini pubblici
<b>1906-07</b>	Iniziarono le prime campagne di scavi
<b>1909</b>	Venne demolito il solaio ligneo del locale soprastante il presbiterio sostituito con uno nuovo composto da travi, tavole e tabelle testimoniato da preventivi di spesa
<b>maggio 1917</b>	Furono eseguiti interventi di protezione quali presidi costituiti da armature in legno e materassi imbottiti di alghe poste a circa un metro dalle pareti e dalla stesura sul pavimento di uno strato di 60 cm di sabbia per attutire l'eventuale caduta di una bomba
<b>1920</b>	Vennero riparate le vetrate della chiesa rotte da una bomba caduta nelle vicinanze
<b>1936</b>	La cripta risultava essere completamente sotterrata lungo la parete nord-est, venne riparato l'architrave della porta d'ingresso che si presentava fessurato
	<i>Interventi riguardanti la cripta</i>
<b>18 ottobre 1936</b>	Sisma in Friuli

<p><b>1937</b></p>	<p>In seguito al sisma vennero svolti diversi interventi: consolidamento alla fondazione nel lato sud est che ha causato fessurazioni diagonali nella parete sud a tutta altezza, consolidamento della volta della cripta in corrispondenza dell'attacco della volta con la parete con l'inserimento di tre catene rivestite da travi di incatenamento tra i muri longitudinali d'ambito del sottosuolo, riparazioni con iniezione di cemento liquido della fessurazione già riparata nell'arco tra navata e presbiterio, venne inoltre portato a termine il restauro della fessura longitudinale nella volta della navata.</p> <p style="text-align: center;"><i>Interventi riguardanti la cripta</i></p> <p style="text-align: center;"><i>Fessurazione nell'arco trionfale</i></p> <p style="text-align: center;"><i>Fessurazione longitudinale all'intradosso della volta a botte</i></p>
<p><b>1940</b></p>	<p>In seguito allo scoppio del secondo conflitto mondiale vennero inseriti nella cripta otto setti murari disposti trasversalmente alle pareti longitudinali per aumentare le capacità di resistenza delle pareti soprastanti, questi setti sono separati dalla volta con cartoni catramati</p> <p style="text-align: center;"><i>Interventi riguardanti la cripta</i></p>
<p><b>1939-1945</b></p>	<p>Fu studiata una protezione del monumento mediante una robusta volta di cemento armato: copertura a forma a doppia parete con interposta camera a scoppio; il progetto fu approvato e finanziato, venne iniziata l'esecuzione delle opere di fondazione sui lati nord e ovest (ancora oggi esistenti sotto un leggero strato di terra)</p>
<p><b>1944</b></p>	<p>Dopo i bombardamenti la Soprintendenza di Venezia e il Comune di Padova presero in considerazione per la prima volta di rimuovere gli affreschi e spostarli in un luogo sicuro, per capire la fattibilità dell'intervento venne chiamato Mauro</p>

	Pelliccioli: vennero staccati solo 4 medaglioni caratterizzanti la volta a botte
<b>dopoguerra</b>	Stima dei danni: allargamento della fenditura che parte dalla sommità del <i>Giudizio Universale</i> seguendo la linea formata dalla volta con la parete perimetrale sud e prolungandosi per più di tre metri su questa parete e attraversandola diagonalmente; si notò inoltre l'allargamento di antiche lesioni della controfacciata in prossimità della trifora presente nella controfacciata
	<i>Fessurazione presente nella controfacciata - Giudizio</i>
<b>1947</b>	Vennero ricollocati, mediante l'utilizzo di reti metalliche, i medaglioni della volta precedentemente staccati da Pelliccioli
<b>1949</b>	Si procedette all'applicazione di spie per monitorare l'allargamento delle lesioni
<b>1953</b>	Campagna diagnostica che studio le lesioni presenti
<b>maggio 1953</b>	Venne eseguita una prima campagna geognostica: 4 sondaggi vennero spinti sino a 20 m di profondità (livello falda -4.30 - 4.50 m dal pavimento interno della Cappella)
<b>1953-1954</b>	Un'apposita Commissione Internazionale per il restauro del ciclo di Giotto, coordinata – sotto l'aspetto operativo – da Cesare Brandi, aveva raccomandato di "condizionare" o comunque rendere idoneo l'ambiente della Cappella prima di effettuare qualsiasi intervento sull'opera
<b>1956</b>	Campagna diagnostica che studio le lesioni presenti: le spie poste a monitorare la lesione si ruppero a conferma dell'allargamento delle stesse e ne furono poste altre
<b>1957</b>	Le spie si ruppero nuovamente
<b>1957</b>	La facciata venne consolidata grazie all'inserimento di tre catene metalliche nello spessore della parete muraria, con

	<p>taglio dei muri; si procedette alla risarcitura della lesione longitudinale della volta interna e imposta della stessa</p> <p><i>Fessurazione longitudinale all'intradosso della volta a botte</i></p> <p><i>Fessurazione presente nella controfacciata - Giudizio</i></p>
<b>1957</b>	Tintori prese il posto di Pelliccioli e restaurò le decorazioni del <i>Giudizio Universale</i>
<b>1961-1963</b>	Leonetto Tintori venne incaricato dal Comune di portare a termine i lavori di restauro all'intero ciclo giottesco, oltre al restauro dell'affresco del <i>Giudizio Universale</i>
<b>1962</b>	Sbarramento del tronco maestro del Bacchiglione e altri lavori idraulici: stabilizzarono con notevole abbassamento del livello medio della falda.
<b>1962</b>	<p>Le vecchie lesioni lungo le linee di chiave e di imposta della volta si accentuarono ulteriormente probabilmente a causa della progressiva rottura delle catene presenti in navata e delle notevoli escursioni della falda freatica conseguenti ai lavori compiuti nel fiume Bacchiglione; si evidenziarono ulteriori cedimenti del tetto causati dalla vetustà e da degrado delle strutture lignee</p> <p><i>Fessurazione longitudinale all'intradosso della volta a botte</i></p>
<b>aprile 1962</b>	Il Comune richiese la partecipazione dell'ing. Giorgio Fabbri Colabich, dell'arch. Mario Guidotto, del prof. Giovanni Paccagnini e dell'ing. Giannantonio Saccomani nella progettazione degli interventi di consolidamento che avrebbero dovuto interessare l'edificio
<b>20 aprile 1962</b>	Il Ministero della Pubblica Istruzione si disse favorevole, tramite una lettera, alle capriate metalliche: i lavori iniziarono subito; suggerì inoltre un controllo dello stato tensionale delle catene
<b>estate 1962</b>	Venne realizzata una copertura provvisoria protettiva

	metallica e l'approntamento delle capriate metalliche
<b>dicembre 1962</b>	La vecchia lesione lungo l'intradosso alla chiave della volta si era allargata di 17 mm, si notarono inoltre aumenti delle lesioni nelle sezioni d'imposta all'altezza delle catene
	<i>Fessurazione longitudinale all'intradosso della volta a botte</i>
<b>19 dicembre 1962 – 26 marzo 63</b>	Vennero svolte indagini diagnostiche: in seguito al posizionamento di puntellature e impalcature si procedette all'esplorazione dall'esterno delle estremità e degli ancoraggi delle catene. Decisero di applicare delle spie "nella forma e nei modi possibili, evitando ogni danni agli affreschi" per seguire e controllare il procedere delle lesioni riscontrate, venne sospesa la demolizione del vecchio tetto e di procedere con l'analisi delle catene
<b>6 aprile 1963</b>	La seconda catena era spezzata all'interno della parete settentrionale nella sezione d'attacco con la parete testimonianza che le catene risalgono al periodo di costruzione dell'oratorio mentre le altre catene (1-3-4) erano allentate così da pensare che fossero rotte dentro la muratura; solo la catena 5 risultava in tensione
<b>18 maggio 1963</b>	Si decise di non eseguire la sostituzione della trave in rovere con cordolo in c.a. poichè avrebbe comportato troppi problemi
<b>10 giugno 1963</b>	Si procedette alla posa in tensione delle catene
<b>11 giugno 1963</b>	Registrazione delle vibrazioni indotte dagli autoveicoli nelle strade vicine, in particolare Via Giotto
<b>1 luglio 1963</b>	La Commissione constatò la scomparsa di acqua dalla cripta a seguito dei lavori compiuti nel fiume Bacchiglione nel 1962
<b>12 agosto 1963</b>	Commissione prese atto della conclusione dei lavori, senza aver recato nessun danno ai preziosi affreschi

PARTE I. ANALISI STORICO - CRITICA

Appendice C. Cronologia dei restauri

<b>18 settembre 1963</b>	La Commissione prese atto della conclusione dei lavori, senza aver recato nessun danno ai preziosi affreschi
<b>6 ottobre 1963</b>	La Cappella venne riaperta al pubblico
<b>1963</b>	Non venne dato peso a dei risultati allarmanti pubblicati da due americani su "Studies in Conservation" da E.V.Sayre e L.J.Maiewsky: analizzando i campioni a loro inviati da Tintori avevano identificato nel fenomeno della solfatazione e quindi nell'inquinamento la causa principale del degrado del ciclo di Giotto (primo a rendere pubblico l'allarme Francesco Valconover solo nel 1971)
<b>1963</b>	Venne eseguita una seconda campagna di indagini geognostiche: prelievo di campioni terreno e misura della falda; le indagini confermarono la stratigrafia analizzata del 1953
<b>1964</b>	Furono confrontate le fessure attuali con quelle del secolo scorso: si vide che non solo si erano allargate nel tempo ma che se ne erano anche formate di nuove
<b>1971</b>	Il Soprintendente Valcanover denunciò i danni presenti sugli affreschi provocati dall'inquinamento che ne accentuò il deterioramento auspicando la climatizzazione e purificazione dell'area
<b>6 maggio 1976 (altre scosse 11 e 15 settembre)</b>	Sisma in Friuli
<b>1976</b>	Conseguenze: si aprono nuove lesioni alle murature e all'estradosso della volta, si riaprono le fenditure nell'angolo destro della facciata, caddero parti di dipinti, si verificò una perdita di adesione dell'intonaco lungo le crepe nella controfacciata del <i>Giudizio Universale</i> , per un'ampiezza di 15-

	<p>20 cm. Fu coinvolto l'ISCR che eseguì un urgente intervento sul <i>Giudizio Universale</i></p> <p><i>Fessurazione longitudinale all'intradosso della volta a botte</i></p> <p><i>Fessurazione presente nella controfacciata - Giudizio</i></p>
<b>1977</b>	<p>Vennero eseguite da Aldo e Nerina Angelini ricuciture murarie a livello estradossale della volta per fissare l'intonaco non più adeso, la volta a botte venne chiusa con una miscela consolidante e mediante l'introduzione di grappe</p>
<b>1977-82</b>	<p>Vennero eseguite una serie di indagini diagnostiche</p>
<b>1978-79</b>	<p>I risultati di una prima serie di indagini scientifiche riguardarono: rilevamenti microclimatici, definizione di livello e tipologia di inquinamento chimico e biologico, misura di temperature e umidità sono cause del degrado e si concluse che inquinamento e umidità innescarono e alimentarono il fenomeno della solfatazione. Si dovette ridurre l'accesso degli inquinanti e del vapore acqueo rendendo la parte interna isolata ed eliminando le forme di degrado</p>
<b>1982</b>	<p>La prima fase di studio fu resa nota con la pubblicazione "<i>Studi sullo stato di conservazione della Cappella degli Scrovegni in Padova</i>" di Giovanni Urbani (direttore ISCR) nel <i>Bollettino d'Arte</i></p>
<b>1982 (integrato 1988-89)</b>	<p>Il Comune commissionò il rilievo ad Adriano Verdi riguardo la correlazione fra il livello del Piovego e quello dell'acqua sul pavimento del cenobio (trovando un'ottima rispondenza)</p>
<b>1985</b>	<p>Si procedette con la regolamentazione dei flussi turistici: non più di 50 persone all'ora, rimozione dalle monofore dei tendaggi in tessuto pieni di polveri, installazione lungo la navata di contro vetrate per il filtraggio di raggi UV e IR. ,sostituzione lampade a incandescenza con lampade a luce</p>

PARTE I. ANALISI STORICO - CRITICA

Appendice C. Cronologia dei restauri

	fredda, chiusura del portone in facciata
<b>1986</b>	Fu installato l'impianto antincendio e il sistema antintrusivo
<b>a partire dal 1989</b>	Si eseguirono annuali campagne di rilievo e indagini per il controllo dello stato conservativo degli affreschi e circoscritti interventi negli stessi
<b>1989-1994</b>	Prima fase prevedeva cantieri didattici per studiare le tecniche di esecuzione, gli interventi precedenti e lo stato conservativo degli affreschi
<b>1989</b>	Successiva campagna di indagini: 3 sondaggi profondi 30m
<b>1990</b>	Venne effettuato un restauro conservativo delle superfici laterizie, lapidee e metalliche del paramento murario esterno di nord-est della sacrestia
<b>1991</b>	Venne eseguita la coibentazione e revisione del coperto e della rete di smaltimento delle acque meteoriche
<b>1992-93</b>	Fu eseguita un'estesa campagna di indagini fisico-chimiche di riconoscimento e diagnosi dei fenomeni di degrado in atto sui paramenti murari esterni d'ambito ed in particolare su quello di facciata. Due campagne termografiche per rilevare la presenza di umidità sulle pareti e sulla volta, o per individuare disomogeneità date dalla presenza di materiali usati in passato per consolidare gli intonaci. Analisi del degrado delle malte in facciata, togliere malte coesive e mettere calce idraulica
<b>1993</b>	Primo progetto di fattibilità della CTA
<b>1994</b>	Si eseguì il restauro del paramento esterno della facciata
<b>1995</b>	Venne redatto il progetto definitivo CTA
<b>1995</b>	Iniziò una campagna di indagini sullo stato di consistenza costruttivo e comportamento di carattere meccanico-strutturale e si avviò un programma degli studi per la verifica

	dei comportamenti termici, termo fluidodinamici e igrometrici
<b>1995-97</b>	Prima campagna di monitoraggio ambientale per la qualità dell'aria e del microclima e per la verifica dei comportamenti termici, termo fluidodinamici e igrometrici
<b>1996</b>	Indagini geognostiche: prove penetrometriche e un sondaggio a -15m, falda a -3m
<b>1996</b>	Installazione e attivazione del sistema di monitoraggio ambientale continuo e interno, nuova campagna di misure del grado di umidità e di capillarità di risalita nelle murature d'ambito
<b>1997</b>	Terremoto Umbria-Marche
<b>1997</b>	Nuova campagna di indagini e monitoraggi per la verifica statica e per l'eventuale rimozione dal cenobio dei setti murari realizzati nel corso dell'ultima guerra al fine del restauro e riuso dello stesso
<b>1997</b>	Venne realizzato un impianto di raccolta e smaltimento delle acque meteoriche e di superficie in accumulo e ristagno nel cenobio a cura del Comune di Padova
<b>1997-98</b>	Monitoraggio con particolare attenzione alle lesioni longitudinali sulla volta della navata (la volta non ha subito interventi di consolidamento statico)
<b>1997-99</b>	Indagini statiche
<b>1998</b>	Avvio cantiere della CTA
<b>1999</b>	Venne riaperta la porta che collegava la Cappella con il Palazzo per fungere da ingresso al CTA
<b>1999-2000</b>	Controlli statici, monitoraggio e verifica dei comportamenti dinamici delle strutture murarie in elevato, di fondazione e dei setti presenti nel seminterrato

PARTE I. ANALISI STORICO - CRITICA

Appendice C. Cronologia dei restauri

<b>2000</b>	Conclusione dei lavori d'installazione della CTA
<b>2000</b>	Nuova campagna di controllo microclimatico e di verifica della qualità del restauro del 1994 del paramento esterno della facciata
<b>luglio 2001</b> <b>18 marzo 2002</b>	Cantiere di restauro degli affreschi
<b>Maggio 2001</b> <b>Febbraio 2002</b>	Indagini svolte da Iliceto: 2 sondaggi a -20m e un carotaggio, andamento della falda uguale nei due piezometri. Ci sono stati episodi in cui il livello di falda è stato superiore al pavimento del cenobio. Campagna di studio idrogeologico del sottosuolo della Cappella per la verifica dell'effettiva correlazione tra le variazioni dei livelli di falda freatica nei giardini dell'Arena e i livelli di piena del vicino Piovego. Sistema di pompe automatiche per il cenobio
<b>2002</b>	Adeguamento di impianti tecnici e installazione del nuovo impianto di illuminazione interna
<b>2002</b>	Nuova campagna di verifica dei parametri ambientali e della qualità dell'aria esterna ed interna alla Cappella
<b>2003</b>	Viene affidato a Iliceto il compito di monitoraggio del sistema di pompaggio
<b>2003-2004</b>	Campagna di monitoraggio dei comportamenti statico dinamici in elevato e in fondazione
<b>2005</b>	Pubblicata da Iliceto la relazione "Monitoraggio dei tempi di funzionamento del sistema di pompe della Cappella degli Scrovegni"
<b>2009</b>	Terremoto in Abruzzo
<b>2009</b>	Controllo del contenuto d'acqua delle murature (come 1996)
<b>2011</b>	Indagini per valutare lo stato di conservazione degli

	affreschi, con fluorescenza X mappatura della concentrazione di zolfo
<b>2011</b>	Il Comune di Padova commissiona al dipartimento di Ingegneria Idraulica, Marittima, Ambientale e Geotecnica, uno studio sull'impatto dell'idrologia nell'area dell'Arena in seguito all'abbassamento temporaneo della falda in zona Boschetti
<b>estate 2011</b>	Prove a confermare l'ipotesi di due acquiferi, confermata la prevalenza della falda nell'area Scrovegni rispetto all'area Boschetti
<b>2012</b>	Terremoto in Emilia
<b>2012</b>	Controllo del contenuto d'acqua delle murature (come 1996)
<b>estate 2013</b>	Installazione del sistema di monitoraggio permanente statico e dinamico
<b>9 agosto 2014</b>	Un fulmine rende non funzionanti alcuni sensori del monitoraggio attivo



#### 4. I RILIEVI STORICI

La principale fortuna della Cappella degli Scrovegni è il fatto che negli anni sia sempre stata oggetto di studio da parte di illustri esperti, sia per quanto riguarda l'analisi del prezioso ciclo giottesco, sia dal punto di vista del rilievo architettonico dello stato di fatto<sup>1</sup>. Il primo documento grafico che illustra gli affreschi è databile tra il 1853 ed il 1860, costituito da xilografie disegnate da Mr. Williams e incise dai fratelli Dalziel, è contenuto a corredo dell'opera di John Ruskin<sup>2</sup> ed è considerato come un punto di partenza per quanto riguarda lo studio della storia iconografica della Cappella. Nel 1871, a seguito di una relazione in cui vengono riscontrati danni sia sulla superficie pittorica che su quella muraria, vennero incaricati di studiare lo stato della Cappella i periti giudiziari Gabriele Benvenuti e Vincenzo Grasselli, per quanto riguarda il rilievo architettonico, Leopoldo Toniolo e Eugenio Caratti, per l'analisi degli affreschi. Ad accompagnare il rilievo sono le foto di C. Naya eseguite in due campagne, la prima nel 1865 ed una successiva nel 1871. Nel 1880 venne incaricato il restauratore Antonio Bertolli di redigere una relazione, corredata di tavole, sullo stato di conservazione degli affreschi; nello stesso periodo venne eseguito un rilievo iconografico completo ad opera di Antonio Borlinetto. Nel 1957, in preparazione ai lavori degli anni Sessanta, viene eseguito un rilievo delle strutture murarie.

##### 4.1. RILIEVO DEL 1871 – “Chiesa dell'Annunziata, detta dell'Arena”

Le tavole eseguite da Benvenuti e Grasselli nel 1871 sono state di grande aiuto anche per la ricostruzione strutturale della Cappella, oltre che per lo stato di conservazione delle decorazioni. Si riportano quindi di seguito le tavole ad acquerello con i prospetti, le sezioni, piante e proiezioni e le sciografie dell'intera struttura<sup>3</sup>, che si potranno visionare in dimensioni maggiori nel book di tavole allegato<sup>4</sup>.

---

1 S. RANDAZZO, *Storia iconografico-illustrativa della Cappella Scrovegni*, in «Padova e il suo territorio», XVII, 2002, n. 97, pp. 13-15.

2 RUSKIN, *Giotto and his works*, cit., p. 17.

<sup>3</sup> Collocazione: Biblioteca Civica di Padova, RIP XXXVI, da 7382 a 7393.

<sup>4</sup> Si vedano le tav. 3.01 - 3.12 presenti nel book di tavole allegato.



Fig. 4.1. Prospetto della Chiesa dell'Annunziata dell'Arena.



Fig. 4.2. Pianta piano terra della Chiesa.



Fig. 4.3. Sciografia Longitudinale della Chiesa, del coro e del campanile rispiciente il lato interno a destra dell'ingresso.



Fig. 4.4. Sciografia Trasversale rispiciente il Coro.





Fig. 4.7. Proiezione della volta sia della Chiesa che del Coro.



Fig. 4.8. Portone d'ingresso all'Arena, Sezione lungo AB sulla Sagrestia, sezione lungo CD sulla Sagrestia.



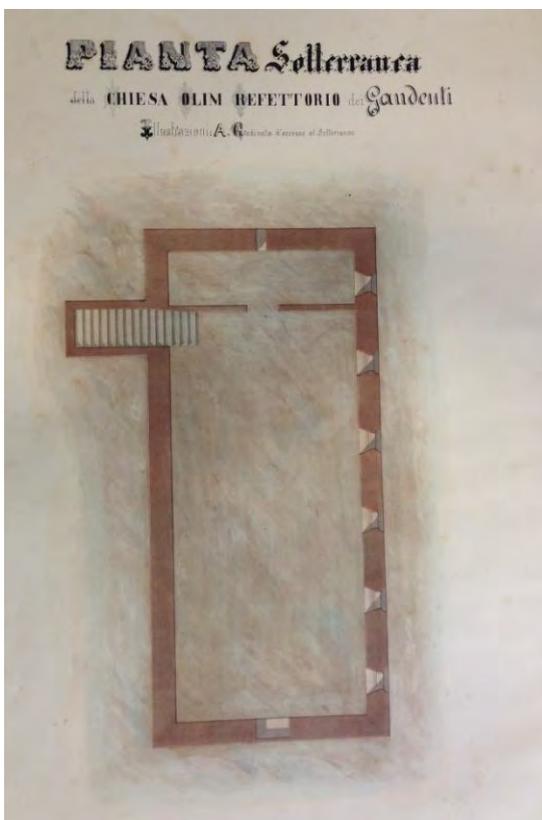
Fig. 4.9. Lato esterno a mezzodì della Chiesa.



Fig. 4.10. Prospetto della Chiesa e del Campanile dal lato di levante.



Fig. 4.11. Lato esterno a tramontana della Chiesa.



4.2.

Fig. 4.12. Pianta sotterranea della Chiesa e refettorio dei Gaudenti.

#### 4.2. RILIEVO DEL 1880 DELLA CONDIZIONE DEGLI INTONACI

In seguito all'acquisizione dell'area da parte del Comune, lo stesso incaricò Antonio Bertolli di redigere una relazione con oggetto lo stato di conservazione degli affreschi. Il saggio di Francesca Capanna e Antonio Guglielmi<sup>5</sup> descrive in modo puntuale le stuccature all'interno della Cappella degli Scrovegni riscontrate dalla studio delle tavole di Bertolli e dall'osservazione diretta, al fine di riassumere la situazione degli affreschi negli anni precedenti il restauro del 2001-2002.

Le lacune presenti si trovavano localizzate nella zona dell'arco trionfale e della volta contigua a essa, nell'abside e nella controfacciata: queste lesioni sono state più volte stuccate precedentemente negli anni.

Viene quindi riportata la relazione stessa e le tavole di analisi ad essa allegate<sup>6</sup>.

*«All'Onorevole Signor Sindaco della Città di Padova.*

*Secondo l'ordine a me diretto in data 30 Aprile con quale la S. V. Ill.ma mi incaricava di esaminare le condizioni degli intonaci dipinti da Giotto nella Cappella degli Scrovegni in Arena, e darne dettagliato rapporto del loro stato di deperimento, perciò il sottoscritto presenta alla S. V. Ill.ma numero otto tavole, in sette delle quali vi è tracciato uno scheletro dei scompartimenti storiati, onde la S. V. Ill.ma possa vedere le località ove guasti si trovano con più facilità, e nell'ottava la pianta della Chiesa per meglio capire la posizione delle pareti. Sopra ogni tavola tracciai delle macchie, della forma dei pezzi staccati d'intonaco, dei pezzi già caduti dello stesso intonaco distinguendo con diversità di colori le parti urgentissime, dalle urgenti, da quelle meno urgenti ecc. I colori sono come segue:*

*Rosso indica mancanza d'intonaco*

*Verde intonaco cadente (urgentissimo)*

*Giallo intonaco cadente (meno urgente)*

*Blu intonaco cadente (senza urgenza)*

*Nero intonaco cadente (le crepature)*

*La croce indica che il pezzo staccato contiene, o parte, o figura intera, o più figure, per cui questi sebbene non urgenti per rispetto all'arte, bisogna ripararli lo stesso.*

*Con perfetta osservanza il sottoscritto ha l'onore di segnarsi devotissimo servo  
Padova, 22 Giugno 1880*

*Antonio Bertolli»*

---

<sup>5</sup> F. CAPANNA, A. GUGLIELMI, *Descrizioni delle grandi stuccature storiche*, in «Il restauro della Cappella degli Scrovegni. Indagini, progetti, risultati», a cura di BASILE, Ministero per i beni e le Attività Culturali, Skira, Milano, 2003, pp. 244 - 250.

<sup>6</sup> Collocazione: Biblioteca Civica di Padova, RIP XXXVI, da 7291 a 7298.

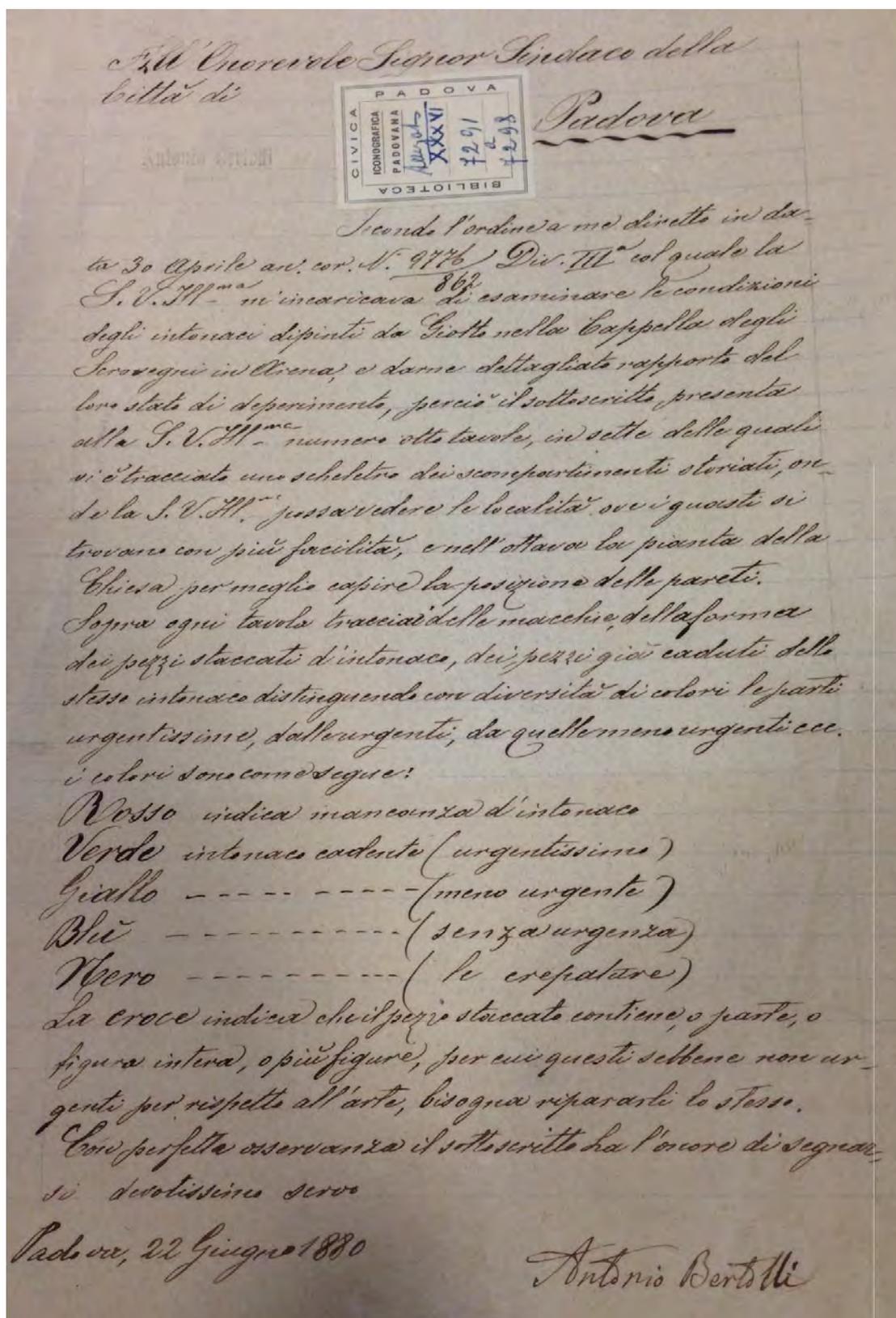


Fig. 4.13. La riproduzione dell'originale della relazione di Antonio Bertolli.

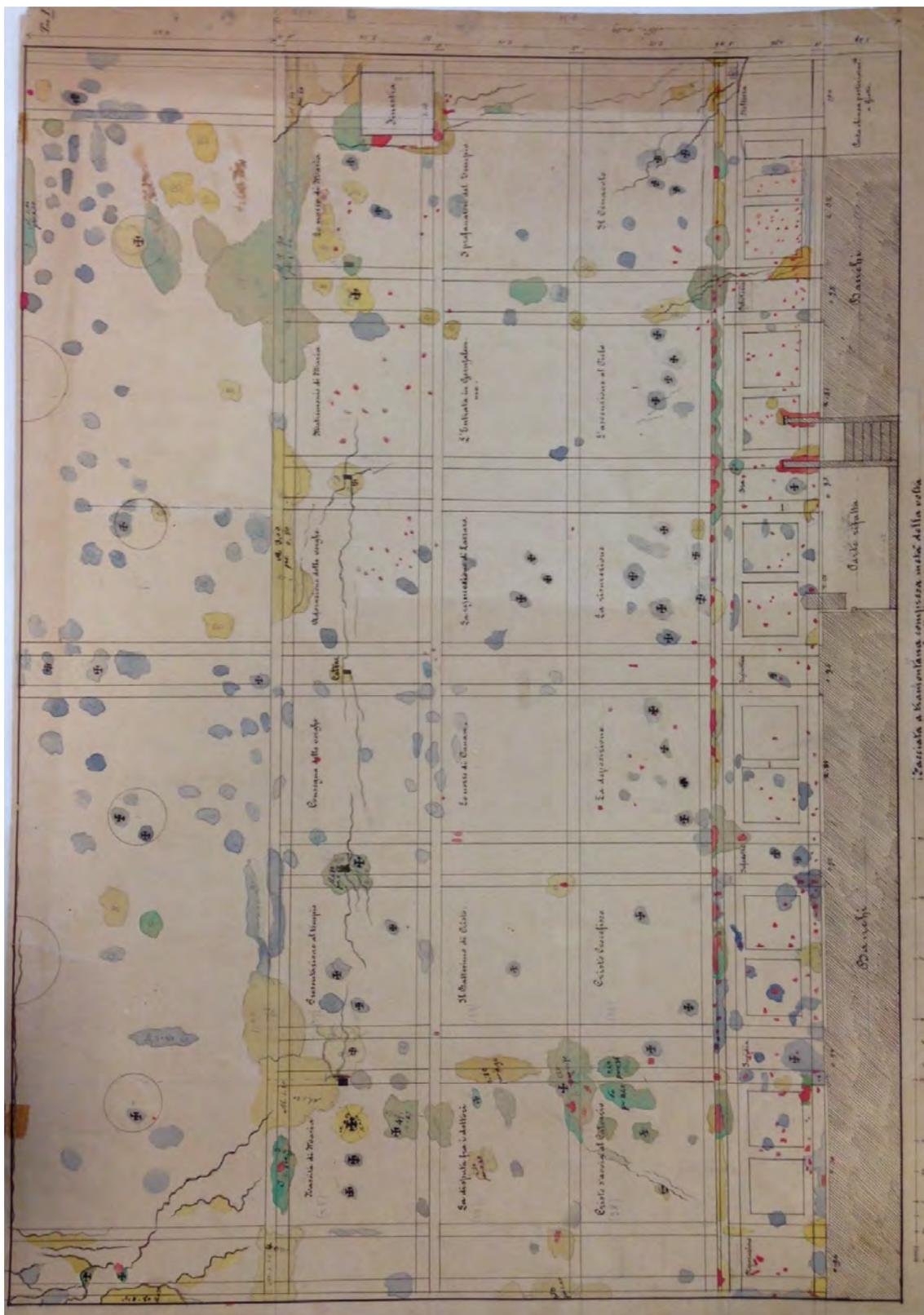


Fig. 4.14. Facciata a tramontana compresa metà della volta.

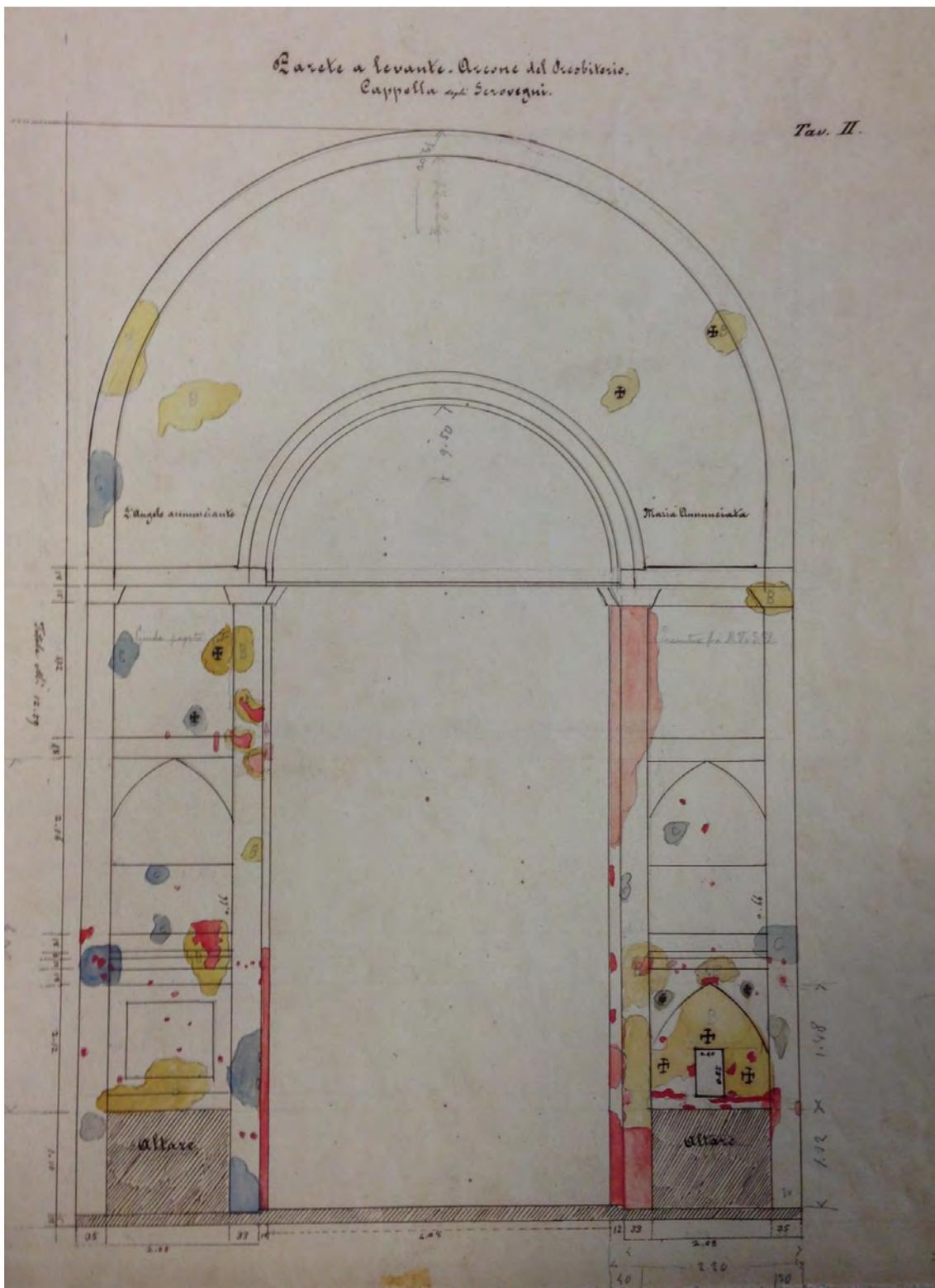


Fig. 4.15. Parete a levante arcone del presbiterio.

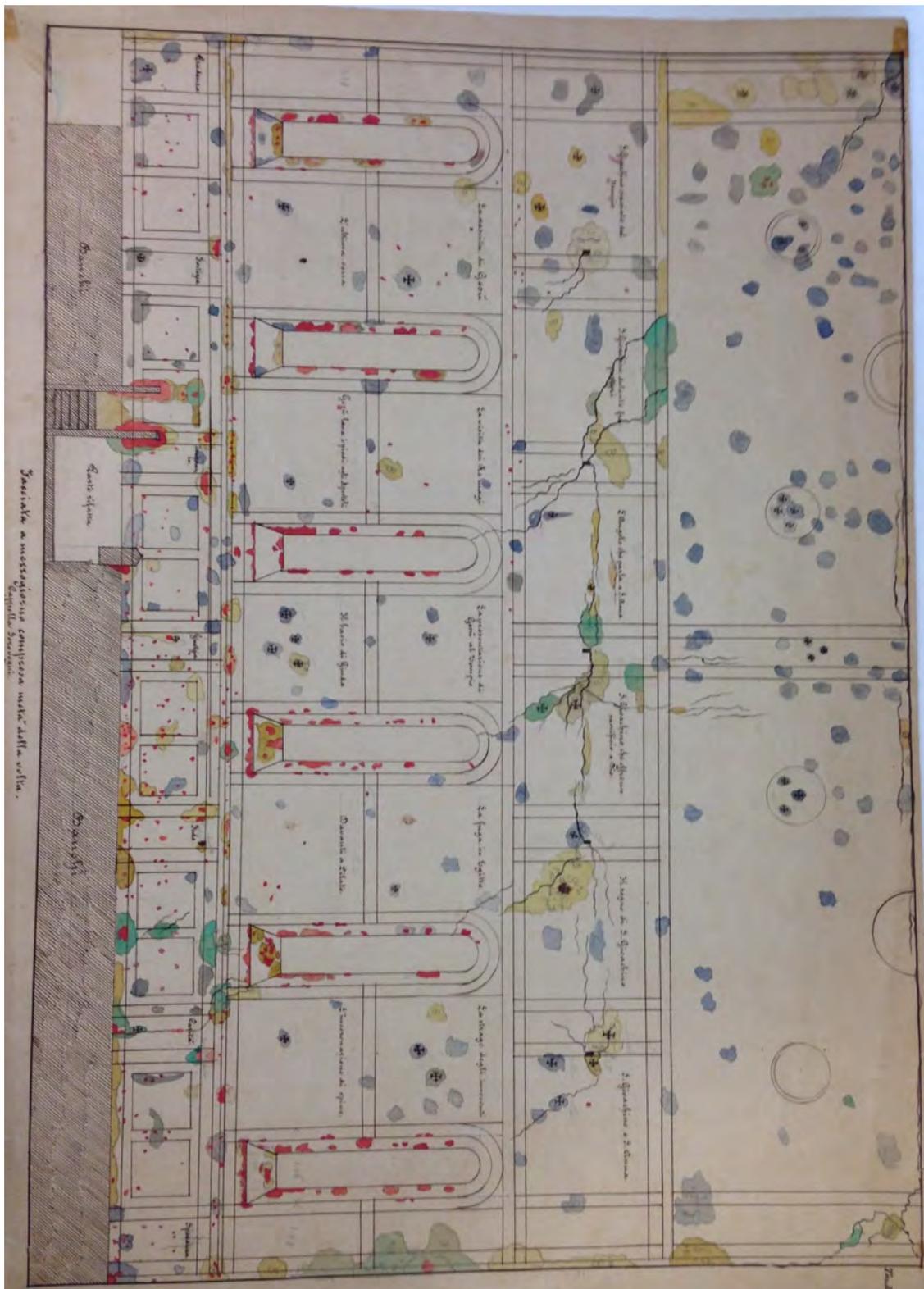


Fig. 4.16. Facciata a mezzogiorno compresa metà della volta.

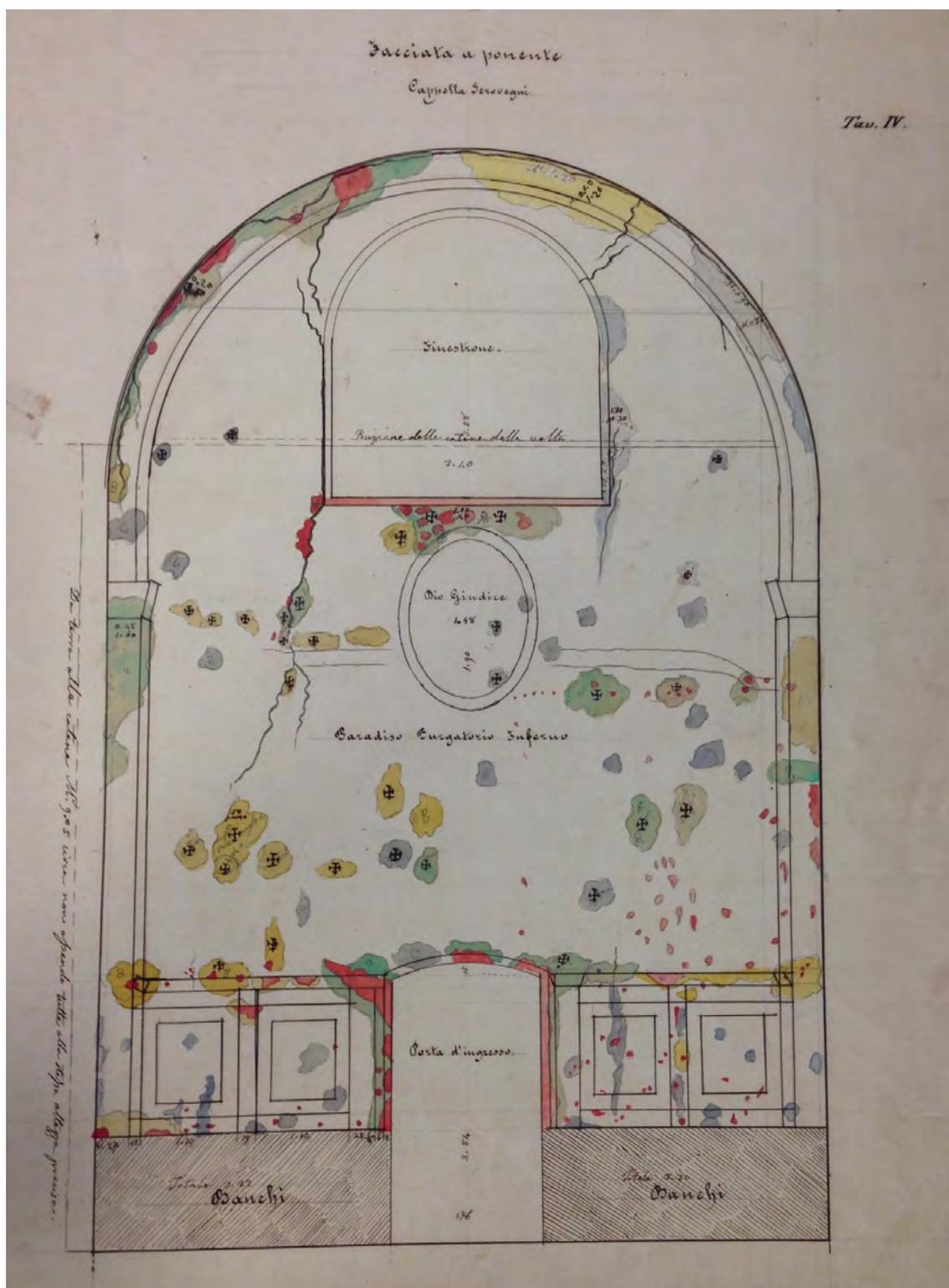


Fig. 4.17. Facciata a ponente.

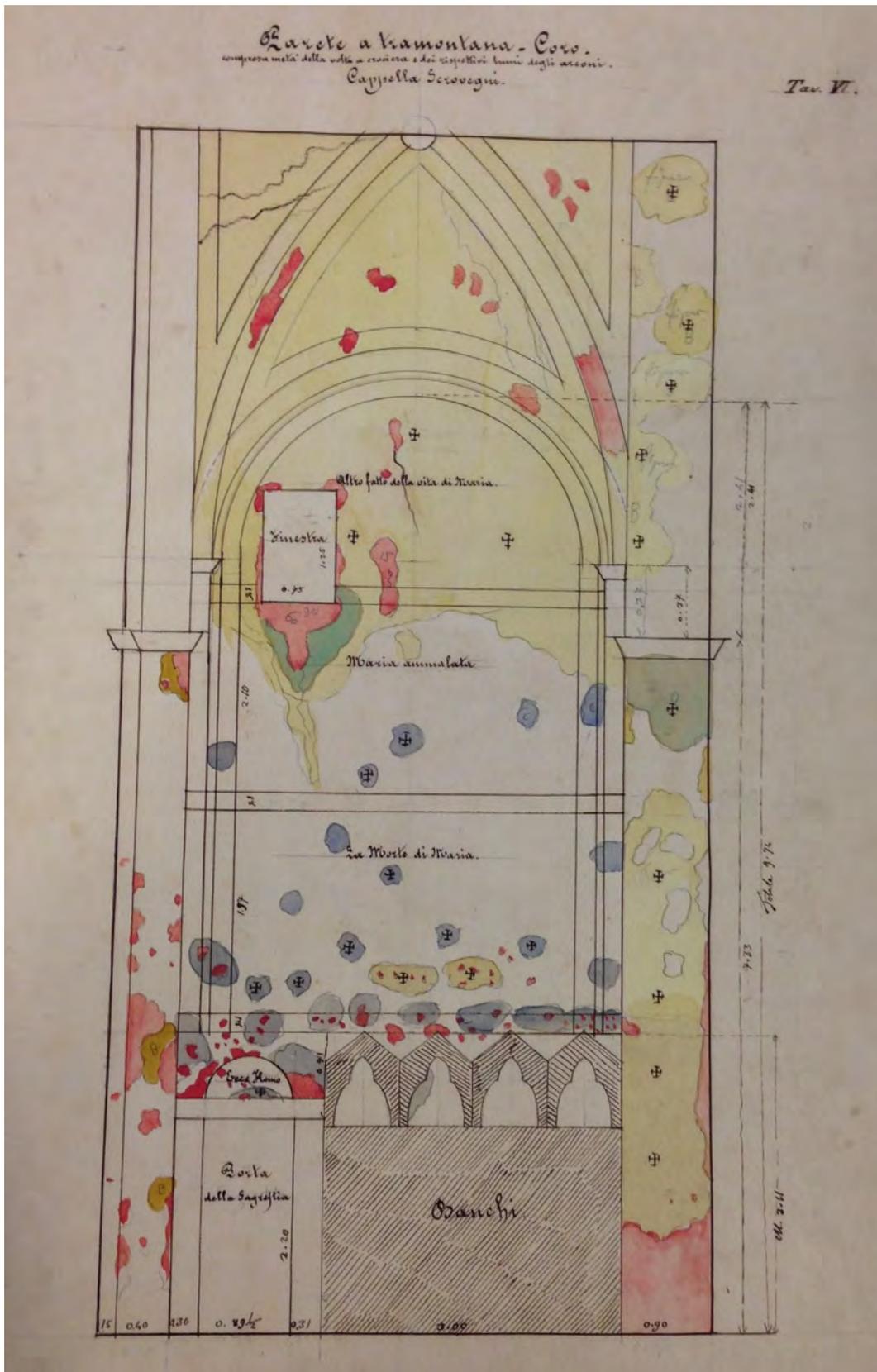


Fig. 4.18. Parete a tramontana, coro. Compresa metà della volta a crociera e i rispettivi lumi degli archi.



Fig. 4.19. Abside.

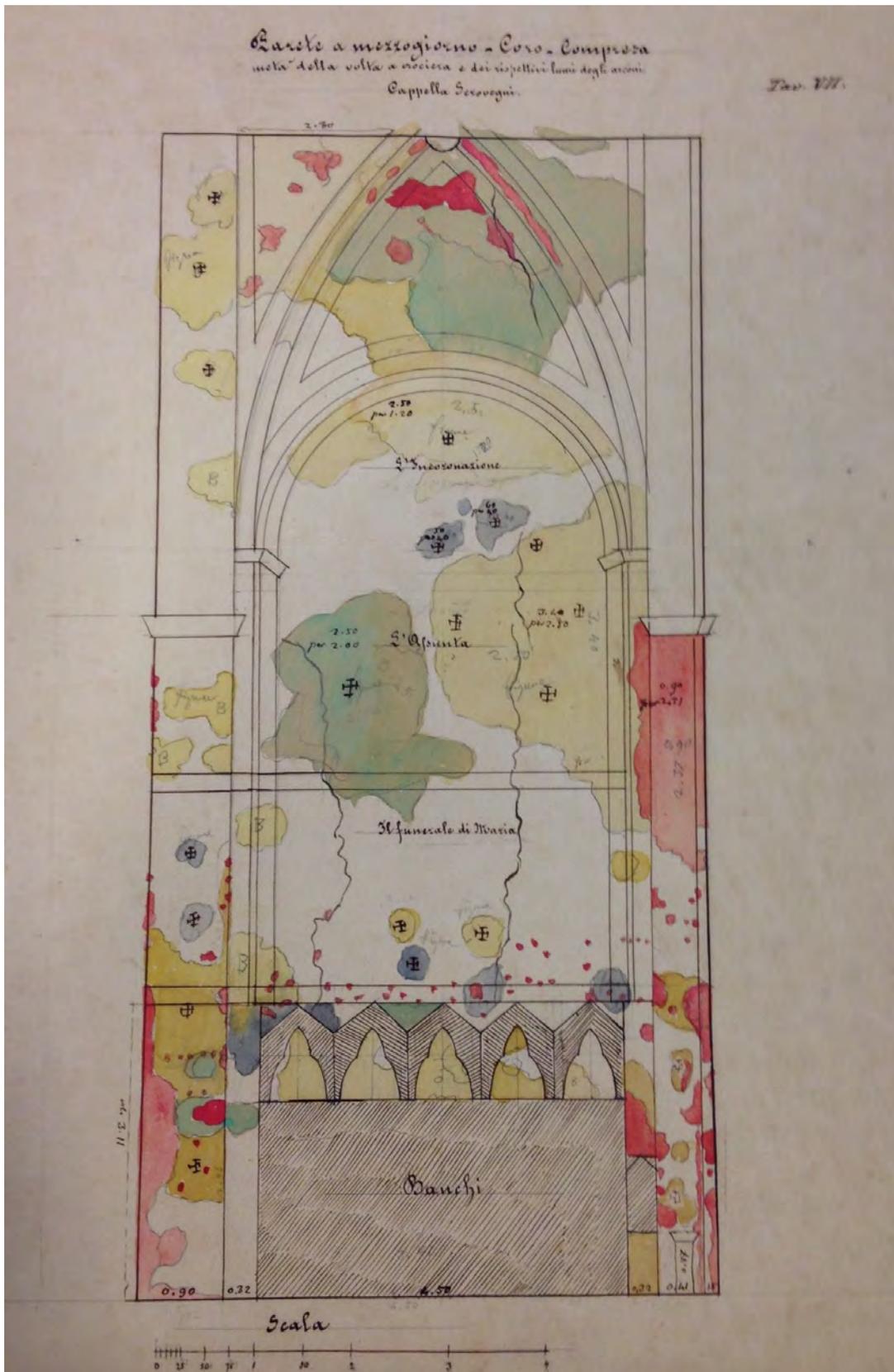


Fig. 4.20. Parete a mezzogiorno, coro. Compresa metà della volta a crociera e dei rispettivi lumi degli arconi.

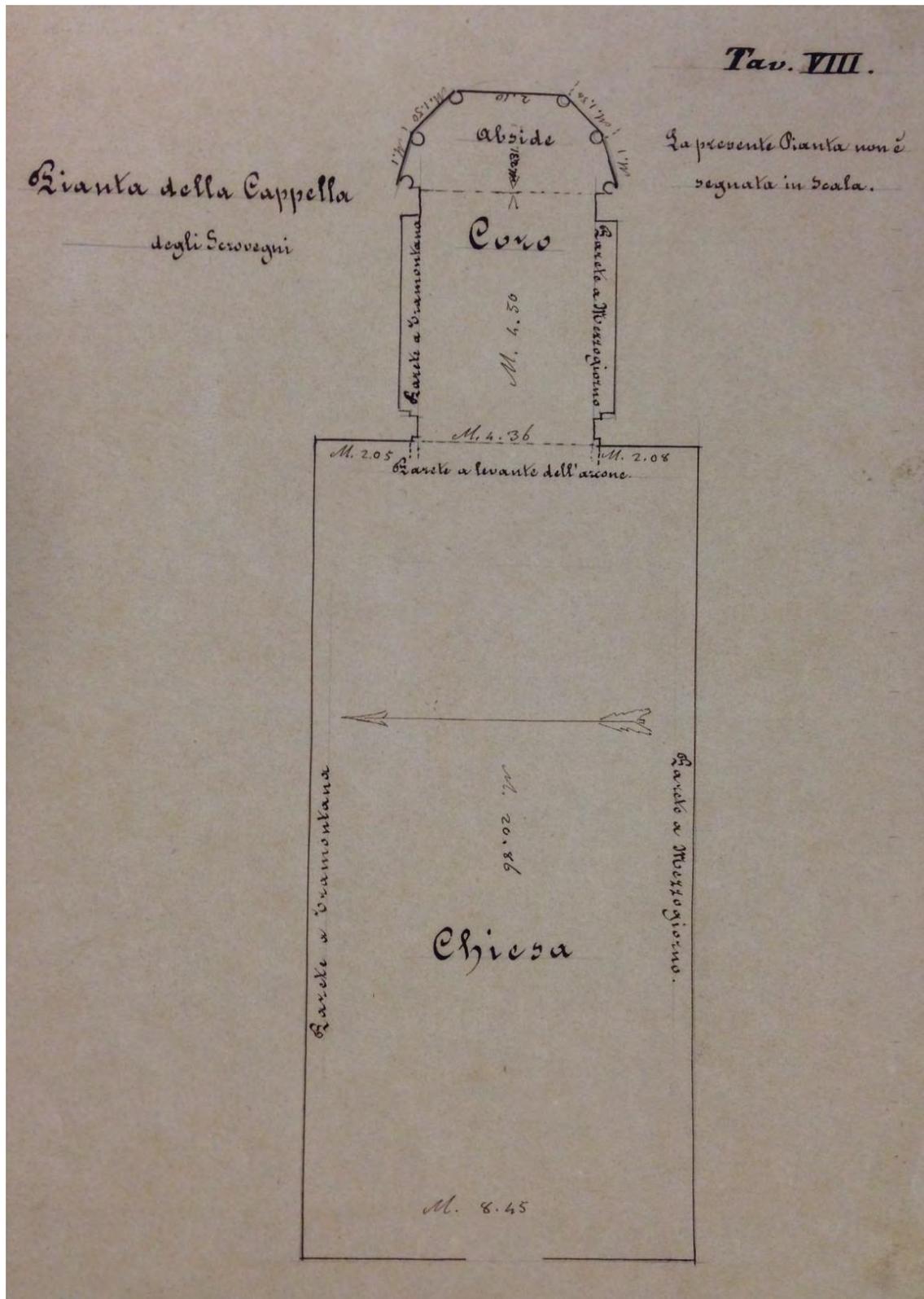


Fig. 4.21. Pianta della Cappella degli Scrovegni.

#### 4.3. RILIEVO DEL 1957-1963 RELATIVO AI LAVORI DEGLI ANNI SESSANTA

In preparazione ai lavori degli anni Sessanta<sup>7</sup>, fu eseguito un lavoro di rilievo delle strutture murarie – disegni di Dino Fanti, Zinchi di Augusto Monticelli di Padova – che viene riportato insieme alle tavole di progetto<sup>8</sup> nel libro *I recenti lavori di restauro alla Cappella degli Scrovegni e le indagini esperite per la sua conservazione* di Fabbri Colabich, Prosdocimi e Saccomani, autori che parteciparono in prima persona alla Commissione comunale della Cappella degli Scrovegni per i lavori di restauro. Si riportano di seguito le sole tavole di rilievo (I-IV) e si rimanda per il dettaglio in dimensioni maggiori al book di tavole allegato<sup>9</sup>.

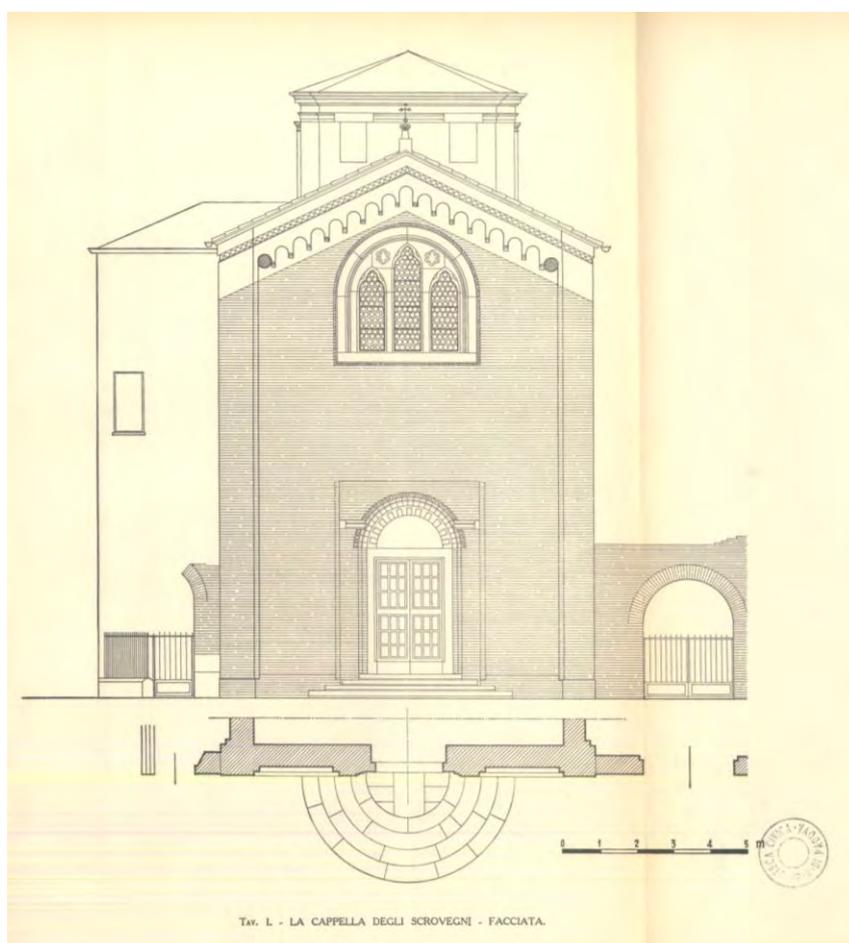


Fig. 4.22. Tav. I, Facciata.

<sup>7</sup> Si veda cap. 3.9. Interventi anni Sessanta.

<sup>8</sup> Si vedano le tav. 1.17 e 1.21 presenti nel book di tavole allegato.

<sup>9</sup> Si vedano le tav. 1.13 e 1.16 presenti nel book di tavole allegato.

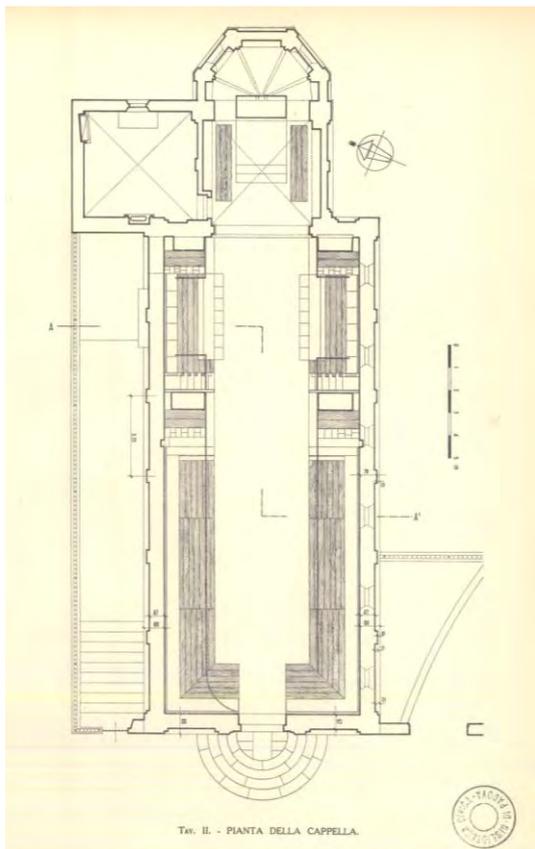


Fig. 4.23. Tav. II, Pianta della Cappella.

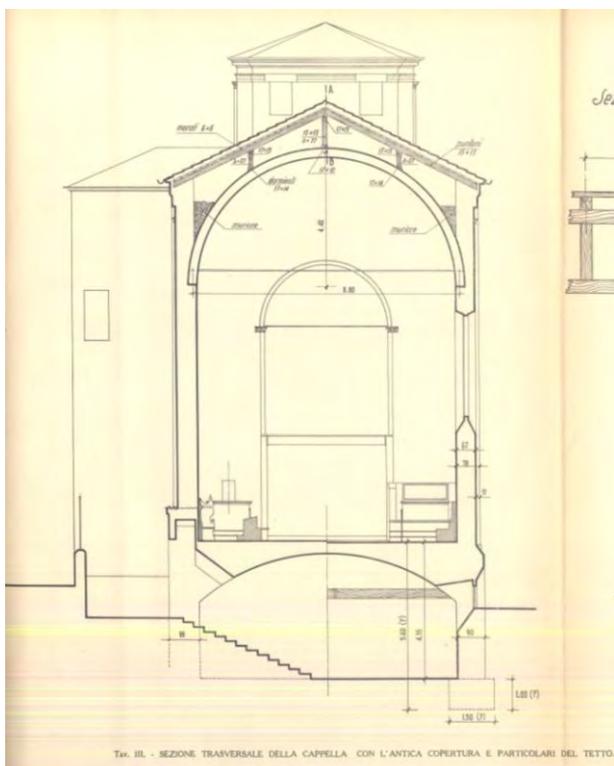


Fig. 4.24. Tav. III a, Sezione trasversale della Cappella con l'antica copertura.

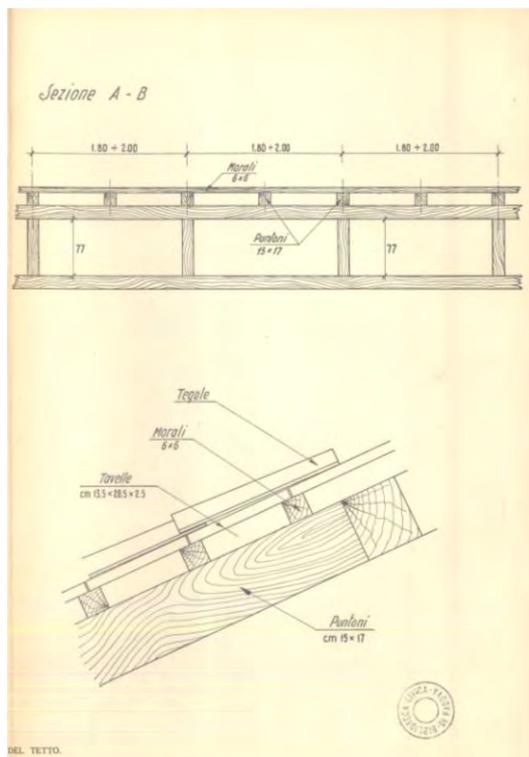


Fig. 4.25. Tav. III b, Sezione A-B con particolare del tetto riferita alla fig. 3.24.

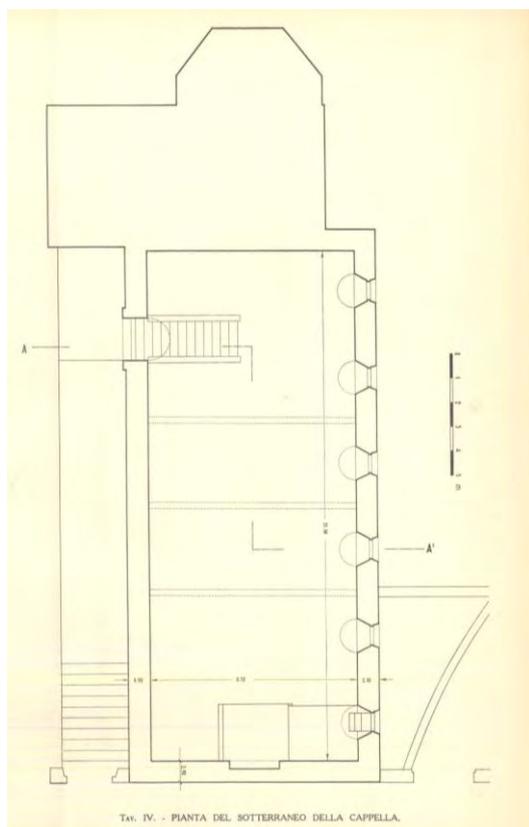
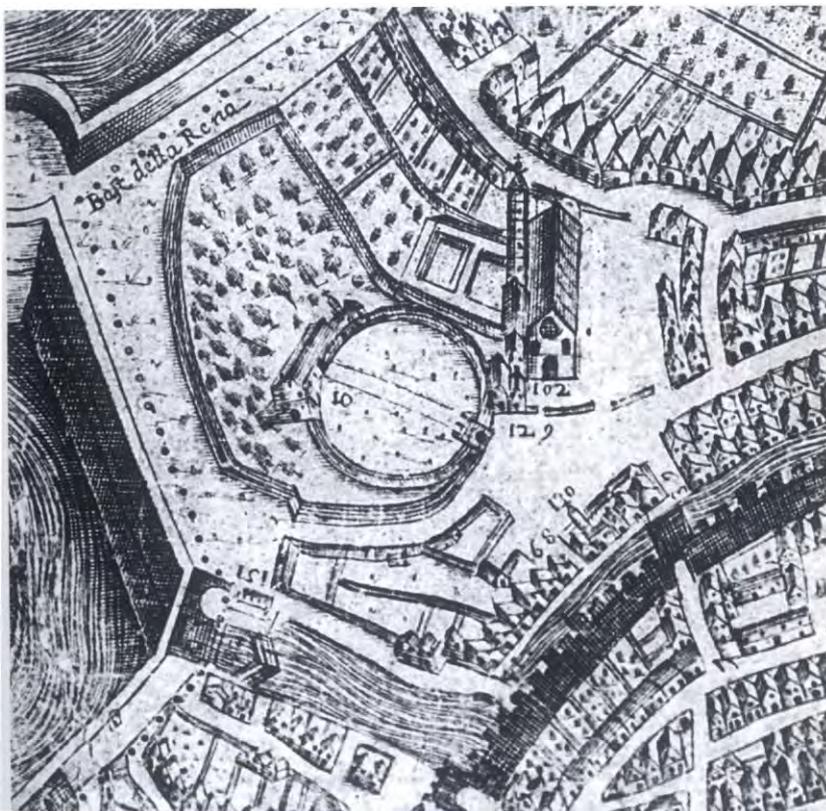
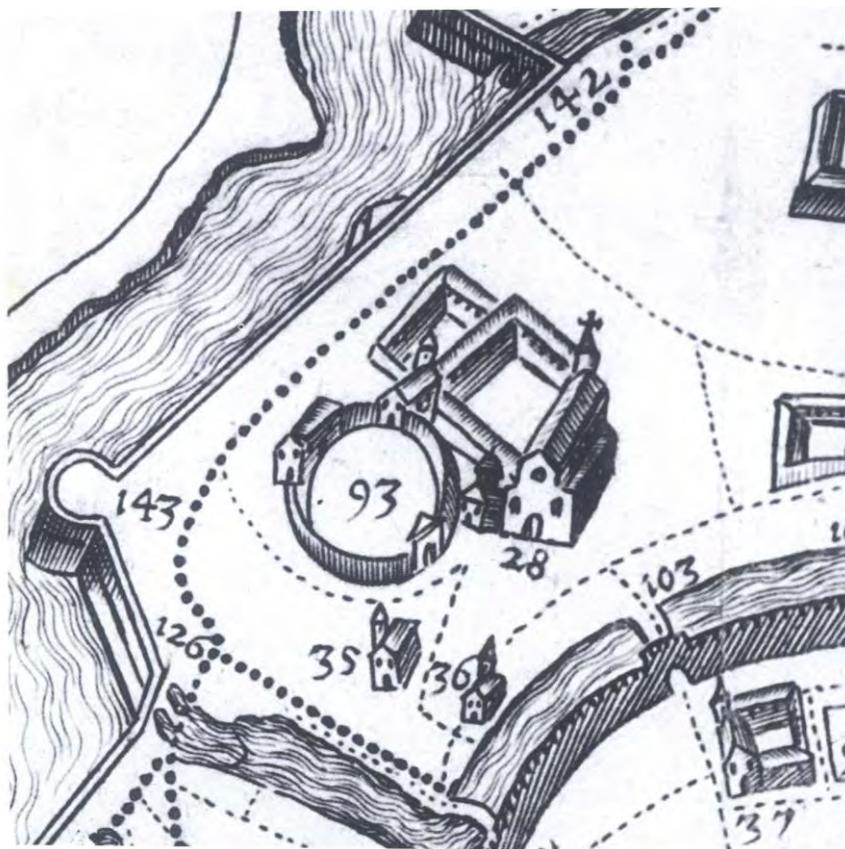


Fig. 4.26. Tav. IV , Pianta del sotterraneo della Cappella.

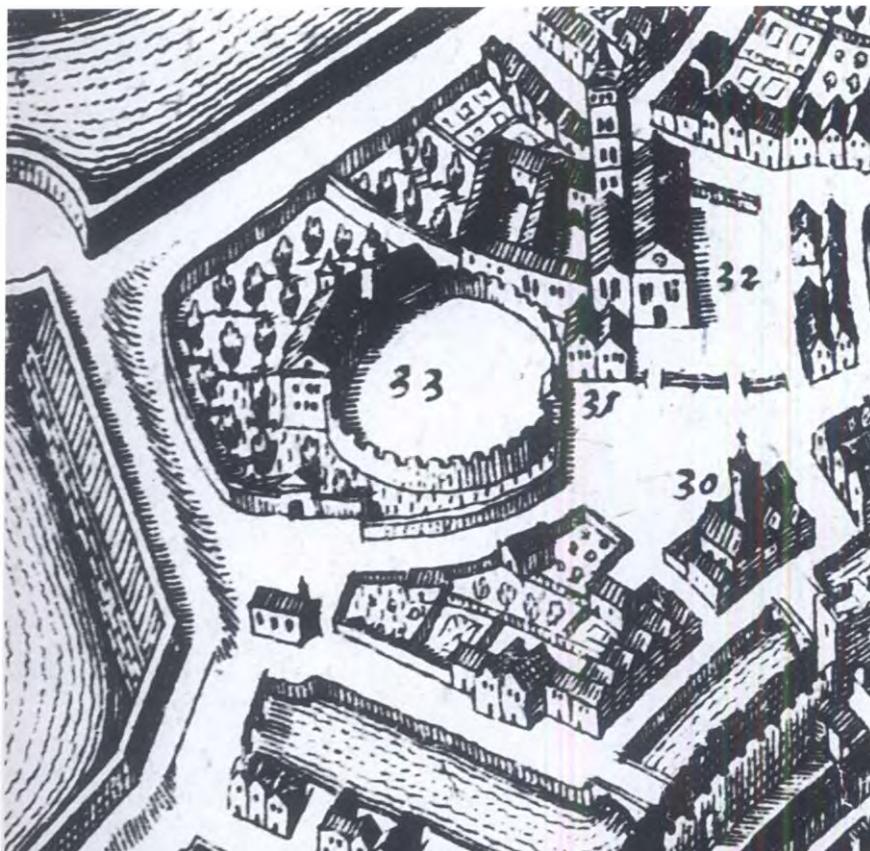
## APPENDICE E. SCHEDE ICONOGRAFICHE



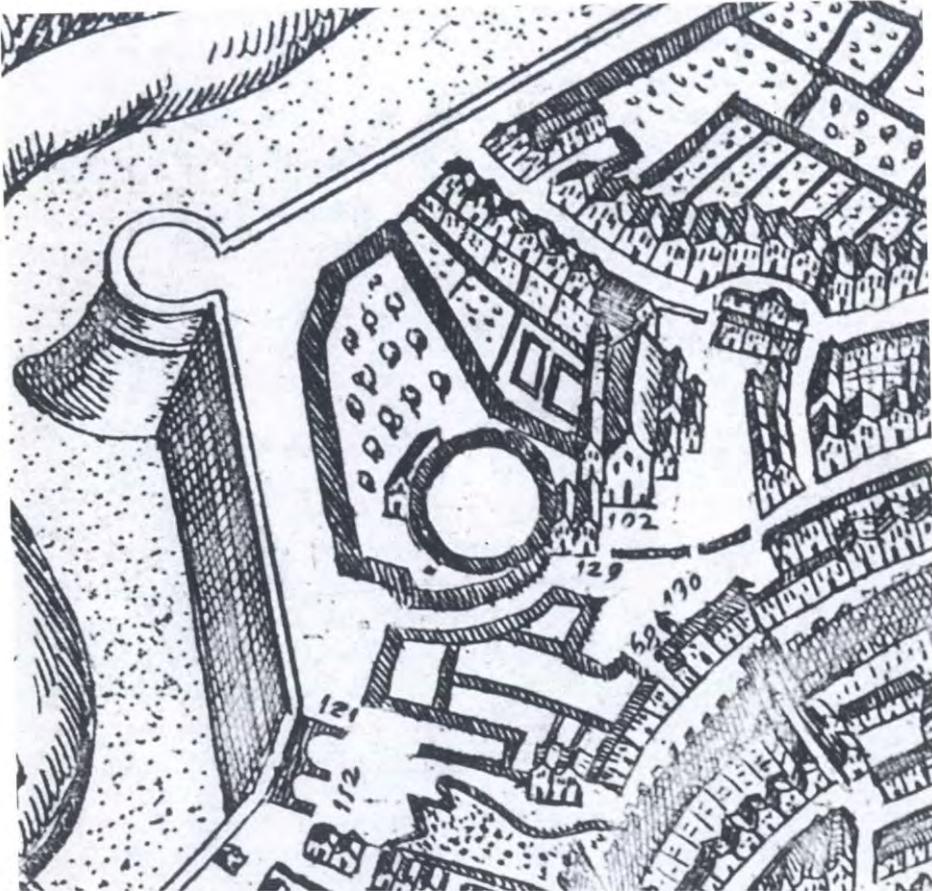
Scheda n. 1
Titolo: [Veduta di Padova, particolare dell'area anfiteatrale]
Tecnica: incisione
Autore: Giuseppe Viola Zanini
Luogo di edizione: Padova
Editore: Matteo Florini
Anno: 1599
Soggetto: Veduta di Padova, più nello specifico dell'area anfiteatrale così come si presentava nell'anno 1599. Si possono notare le mura con i bastioni e al loro interno il nucleo antico della città, mentre gli isolati di minor importanza vengono rappresentati dallo stesso modulo ripetuto. Con più accuratezza è rappresentata una forma ovale che può essere ricondotta all'Arena ed il palazzo ad essa addossato con probabilmente inglobata la forma della Cappella Scrovegni; si può inoltre notare la presenza della Chiesa degli Eremitani.
Bibliografia relativa: M. FLORIMI, <i>Raccolta delle piante di città, Siena, fine XVII sec – inizi XVII sec.</i> , tav. 15; S. GHIRONI, <i>Padova – Pianta e vedute (1449-1865) con saggio di Giuliana Mazzi</i> , Panda Edizioni, Padova, 1985.



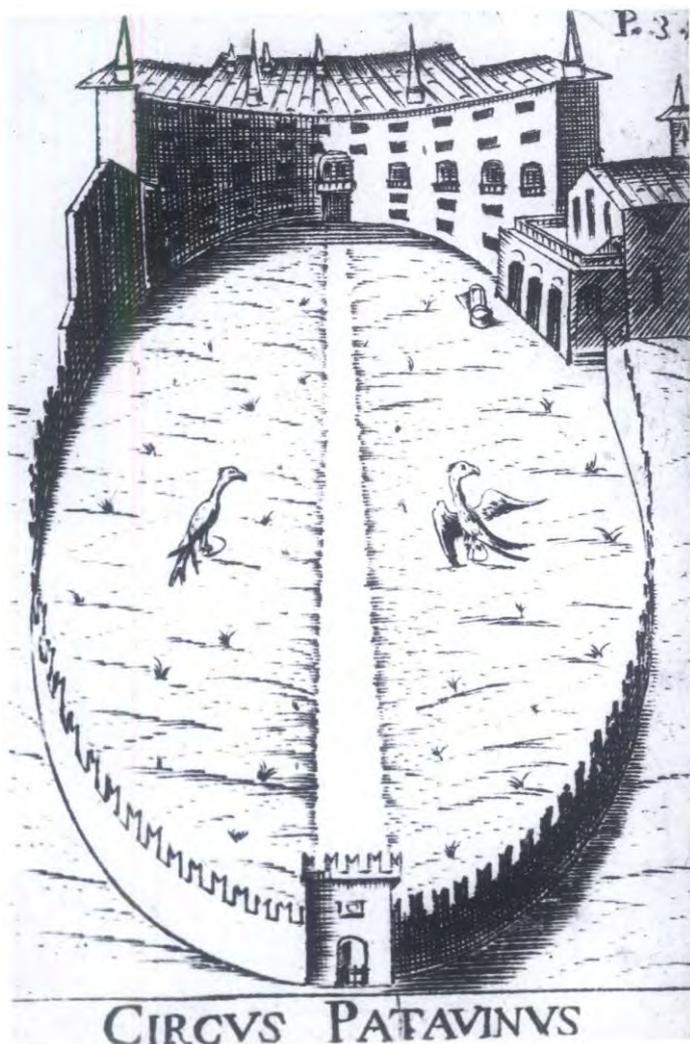
Scheda n. 2
Titolo: [Veduta di Padova particolare dell'area anfiteatrale]
Tecnica: incisione
Autore: Vincenzo Dotto
Luogo di edizione: Padova
Editore: Pietro Paolo Tozzi
Anno: 1623
Soggetto: Veduta di Padova, più nello specifico dell'area anfiteatrale così come si presentava nell'anno 1623. Si possono notare le mura con i loro bastioni, una forma ovale che può essere ricondotta all'Arena ed il palazzo ad essa addossato con probabilmente inglobata la forma della Cappella Scrovegni. Si può inoltre notare la presenza della Chiesa degli Eremitani.
Bibliografia relativa: A. PORTENARI, <i>Della Felicità di Padova. Libri Nove.[...]</i> , Padova, 1623, p. 91; S. GHIRONI, <i>Padova – Piante e vedute (1449-1865) con saggio di Giuliana Mazzi</i> , Padova, Panda Edizioni, 1985.



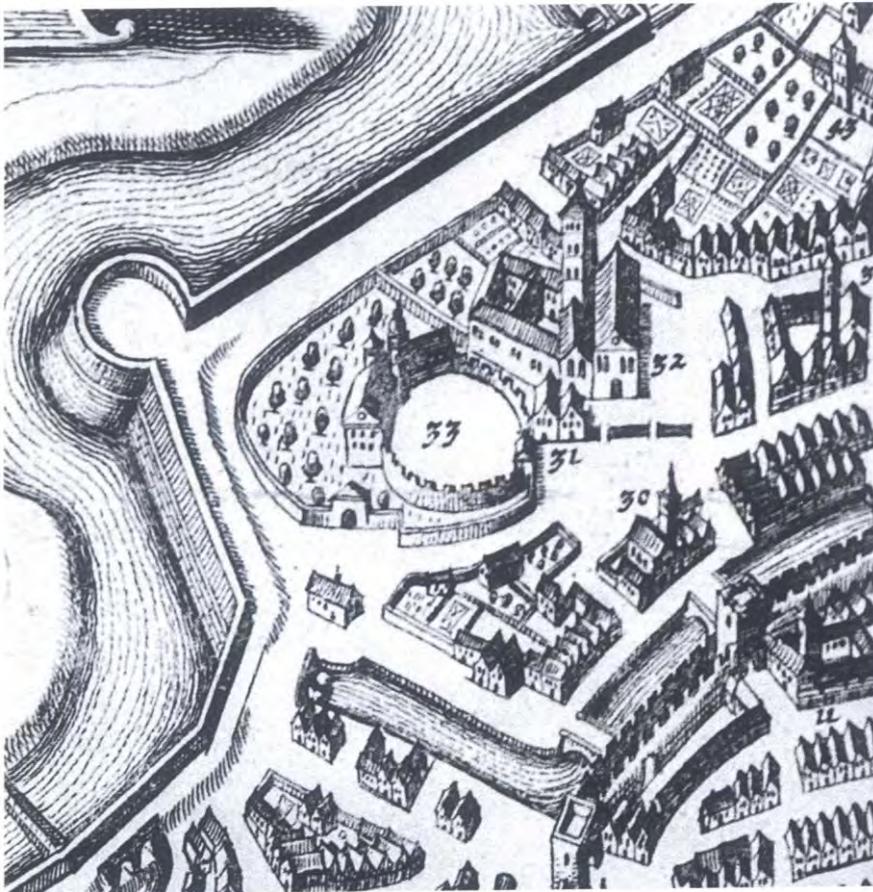
Scheda n. 3
Titolo: [Veduta di Padova particolare dell'area anfiteatrale]
Tecnica: incisione in rame
Autore: Matthaus Merian Sr.
Luogo di edizione: /
Editore: Matthaus Merian Sr.
Anno: 1640
Soggetto: Veduta di Padova, più nello specifico dell'area anfiteatrale così come si presentava nell'anno 1640. Si possono notare le mura con i loro bastioni, una forma ovale che può essere ricondotta all'Arena ed il palazzo ad essa addossato con probabilmente inglobata la forma della Cappella Scrovegni. Si può inoltre notare la presenza della Chiesa degli Eremitani e delle abitazioni sorte nelle vicinanze negli anni precedenti.
Bibliografia relativa: M. ZEILLER, <i>Itinerarium Italiae Novantique [...]</i> , Matthaus Merian, Frankfurt, 1640, p. 63; M. ZEILLER, <i>Thopografia Italiae, das ist: Warhafte und Curiose Beschreibung Italien. Sambt einen Anhang von Konigreich Morea</i> , Eredi di Merian, Frankfurt, 1688, p. 76; S. GHIRONI, <i>Padova – Piante e vedute (1449-1865) con saggio di Giuliana Mazzi</i> , Padova, Panda Edizioni, 1985.



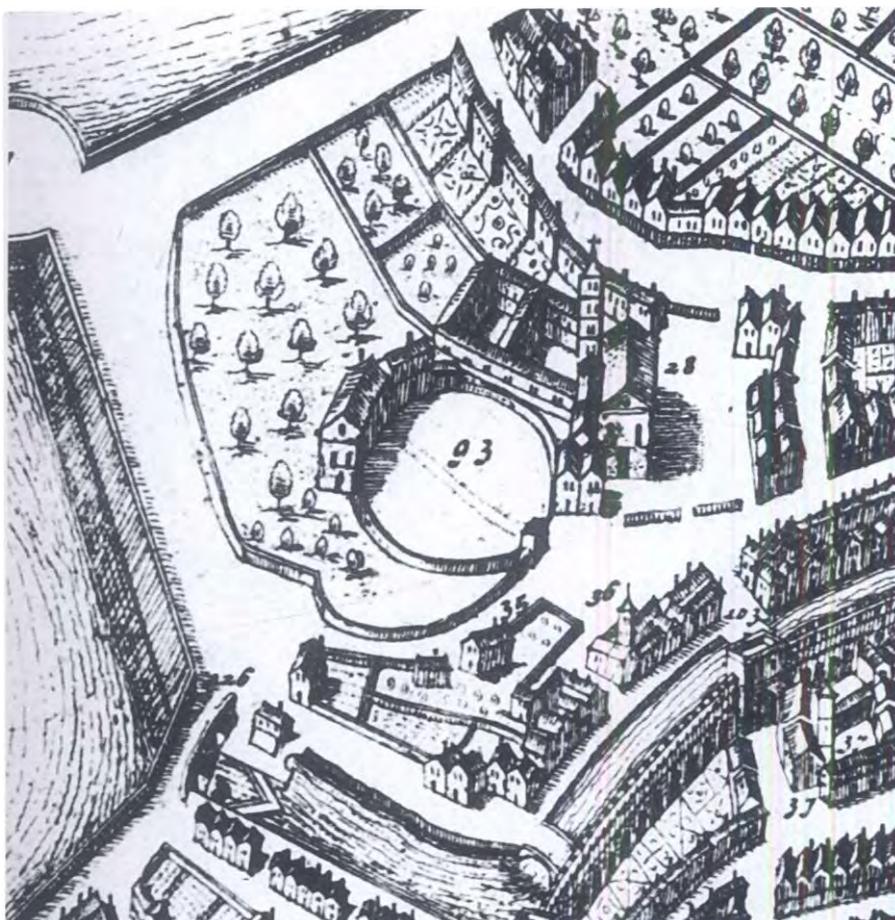
Scheda n. 4
Titolo: [Veduta di Padova ripresa dallo Zanini, particolare dell'area anfiteatrale]
Tecnica: incisione
Autore: Giuseppe Viola Zanini
Luogo di edizione: Padova
Editore: /
Anno: 1658
Soggetto: Veduta di Padova, più nello specifico dell'area anfiteatrale così come si presentava nell'anno 1658. Si possono notare le mura con i loro bastioni, una forma ovale che può essere ricondotta all'Arena ed il palazzo ad essa addossato con probabilmente inglobata la forma della Cappella Scrovegni. Si può inoltre notare la presenza della Chiesa degli Eremitani.
Bibliografia relativa: G. ZAMPIERI, <i>La Cappella degli Scrovegni in Padova: il sito e l'area archeologica</i> , Padova, 2004, fig.3b p.11



Scheda n. 5
Titolo: <i>Circus Patavinus</i>
Tecnica: incisione
Autore: /
Luogo di edizione: Padova
Editore: /
Anno: 1669
Soggetto: Vista del Palazzo Foscari e dell'attigua Cappella Scrovegni ed il portico, dal fronte sud-ovest
Bibliografia relativa: F. SCOTO, <i>Nuovo itinerario d'Italia, con aggiunta, et figure di città, fortezze et altre singolarità degne di memoria di raccolta da Fortunato Musocho</i> , pp 44-45; S. GHIRONI, <i>Padova – Piante e vedute (1449-1865) con saggio di Giuliana Mazzi</i> , Panda Edizioni, Padova, 1985.



Scheda n. 6
Titolo: [Veduta di Padova particolare dell'area anfiteatrale]
Tecnica: incisione
Autore: Wit e Van Der AA
Luogo di edizione: /
Editore: /
Anno: 1693
Soggetto: Veduta di Padova, più nello specifico dell'area anfiteatrale così come si presentava nell'anno 1693. Si possono notare le mura con i loro bastioni, una forma ovale che può essere ricondotta all'Arena ed il palazzo ad essa addossato con probabilmente inglobata la forma della Cappella Scrovegni. Si può inoltre notare la presenza della Chiesa degli Eremitani e delle abitazioni sorte nelle vicinanze negli anni precedenti. La rappresentazione appare molto più dettagliata rispetto alle carte rappresentanti la città, eseguite negli anni precedenti.
Bibliografia relativa: F. DE WIT, <i>Theatrum Praecipuarum Totius Europae Urbium tam ichnographicè quam conspicue Delineatarum</i> , Amsterdam, 1693, tav. 71; P. VAN DER AA, <i>La Galeria Agreeable Du Monde</i> , 1729, XXXII, tav. 3; S. GHIRONI, <i>Padova – Piante e vedute (1449-1865) con saggio di Giuliana Mazzi</i> , Panda Edizioni, Padova, 1985.



Scheda n. 7
Titolo: [Veduta di Padova particolare dell'area anfitraiale]
Tecnica: incisione
Editore: Pierre Mortier
Luogo di edizione: /
Editore: /
Anno: 1704
Soggetto: Veduta di Padova, piÙ nello specifico dell'area anfitraiale cosÌ come si presentava nell'anno 1704. Si possono notare le mura con i loro bastioni, una forma ovale che puÒ essere ricondotta all'Arena ed il palazzo ad essa addossato con probabilmente inglobata la forma della Cappella Scrovegni. Si puÒ inoltre notare la presenza della Chiesa degli Eremitani e delle abitazioni sorte nelle vicinanze negli anni precedenti. La rappresentazione appare molto piÙ dettagliata rispetto alle carte rappresentanti la cittÀ, eseguite negli anni precedenti.
Bibliografia relativa: G. ZAMPIERI, <i>La Cappella degli Scrovegni in Padova: il sito e l'area archeologica</i> , Padova, 2004, fig. 7, p. 17.



Scheda n. 8

Titolo: [Pianta di Padova particolare dell'area anfiteatrale]

Tecnica: incisione in rame

Autore: Giovanni Valle

Incisore: Giovanni Volpato

Luogo di edizione: /

Editore: Giovanni Volpato

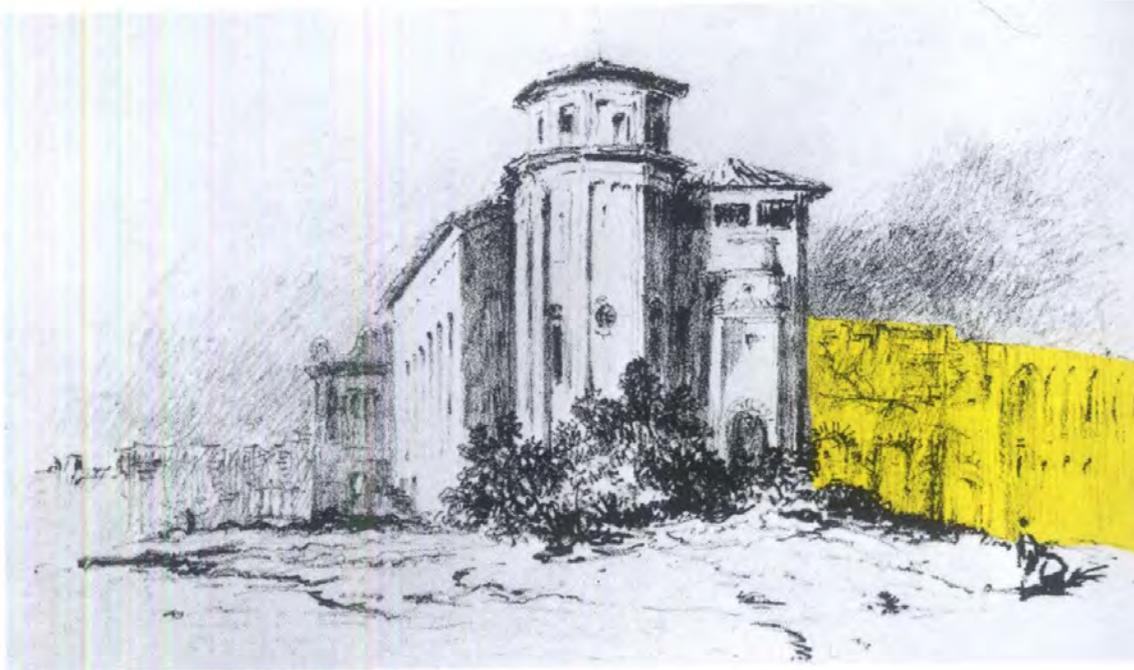
Anno: 1784

Soggetto: La pianta è un particolare della celebre pianta di Giovanni Valle di Padova. Nel ritaglio è rappresentata l'Arena, il Palazzo Foscari e la Cappella Scrovegni. Sono inoltre ben identificati i nomi delle vie e le vicine proprietà. Si può inoltre notare come sembrerebbe essere rappresentato un collegamento tra il Palazzo Foscari e la Cappella.

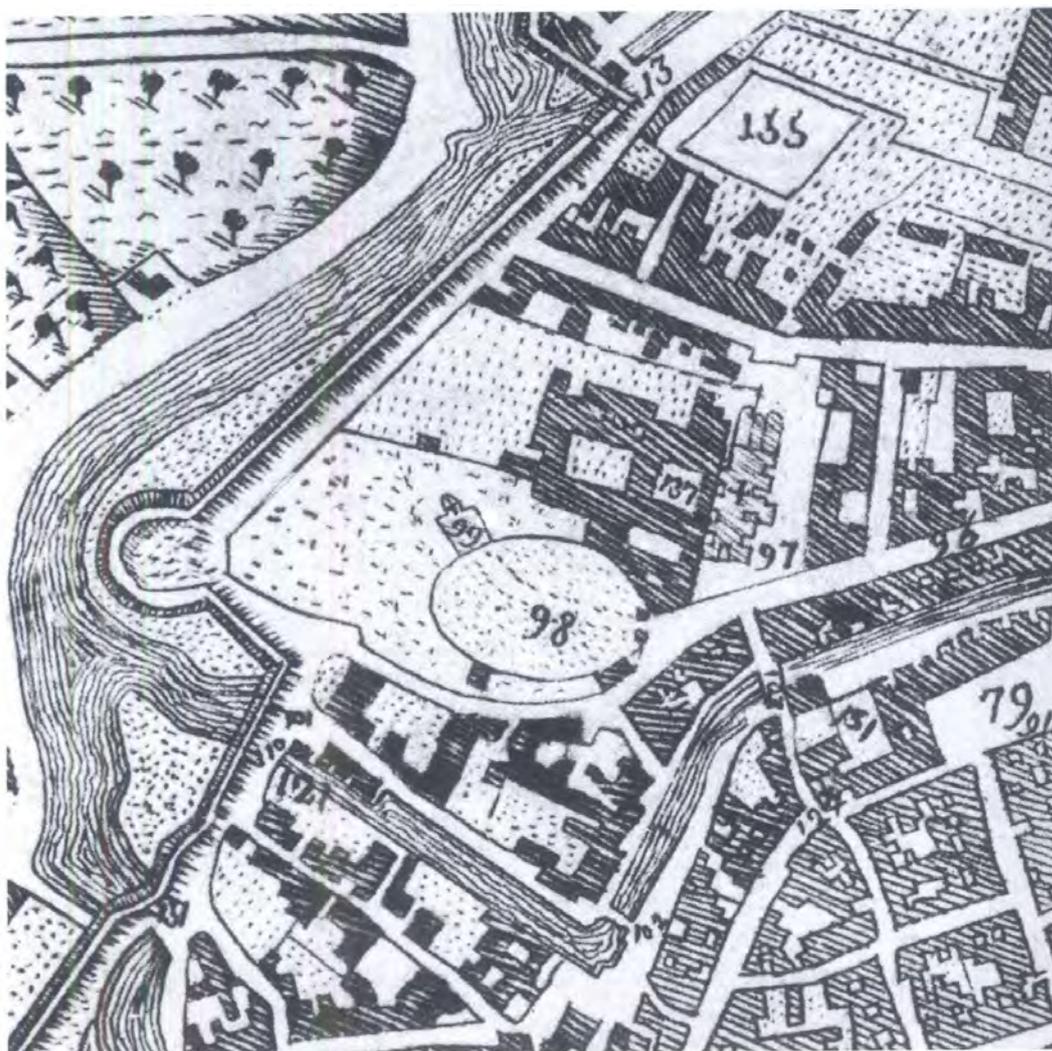
Bibliografia relativa: S. GHIRONI, *Padova – Pianta e vedute (1449-1865) con saggio di Giuliana Mazzi*, Panda Edizioni, Padova, 1985.



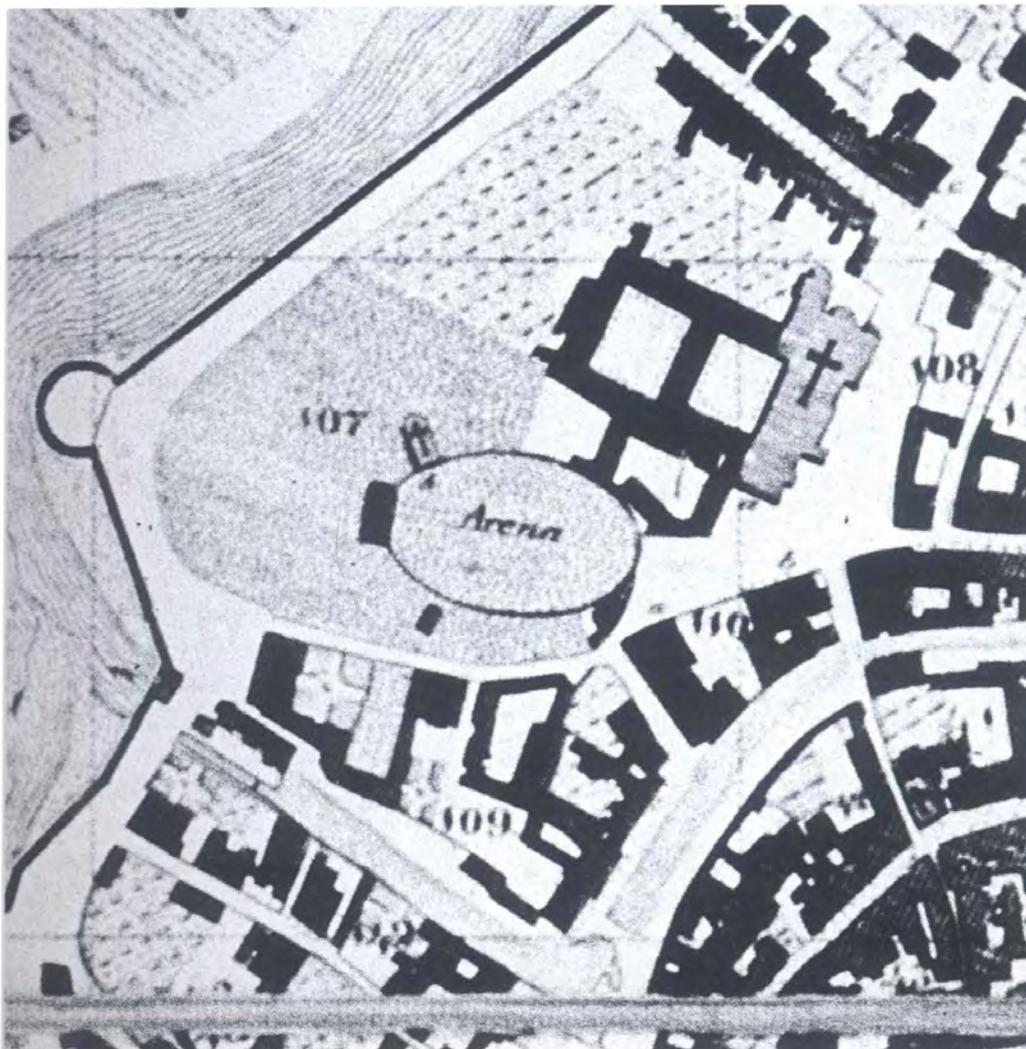
Scheda n. 9
Titolo: <i>Città di Padova, sezione III dell’Arena</i>
Tecnica: /
Autore: /
Luogo: Padova
Editore: /
Anno: 1815
Soggetto: Nel particolare estratto dal mappale catastale si può notare come al tempo esistesse un doppio collegamento tra Palazzo Foscari-Gradenigo e la Cappella degli Scrovegni. Si nota inoltre come fosse ancora presente l’antico portico antistante la facciata della Cappella.
Bibliografia relativa: <i>La città di Padova nel suo Catasto storico 1815 – 1873</i> , a cura di F. FANTINI D’ONOFRIO, Treviso, Canova, 2012.
Collocazione: Catasto storico di Padova, catasto napoleonico censo provvisorio, mappale 3.



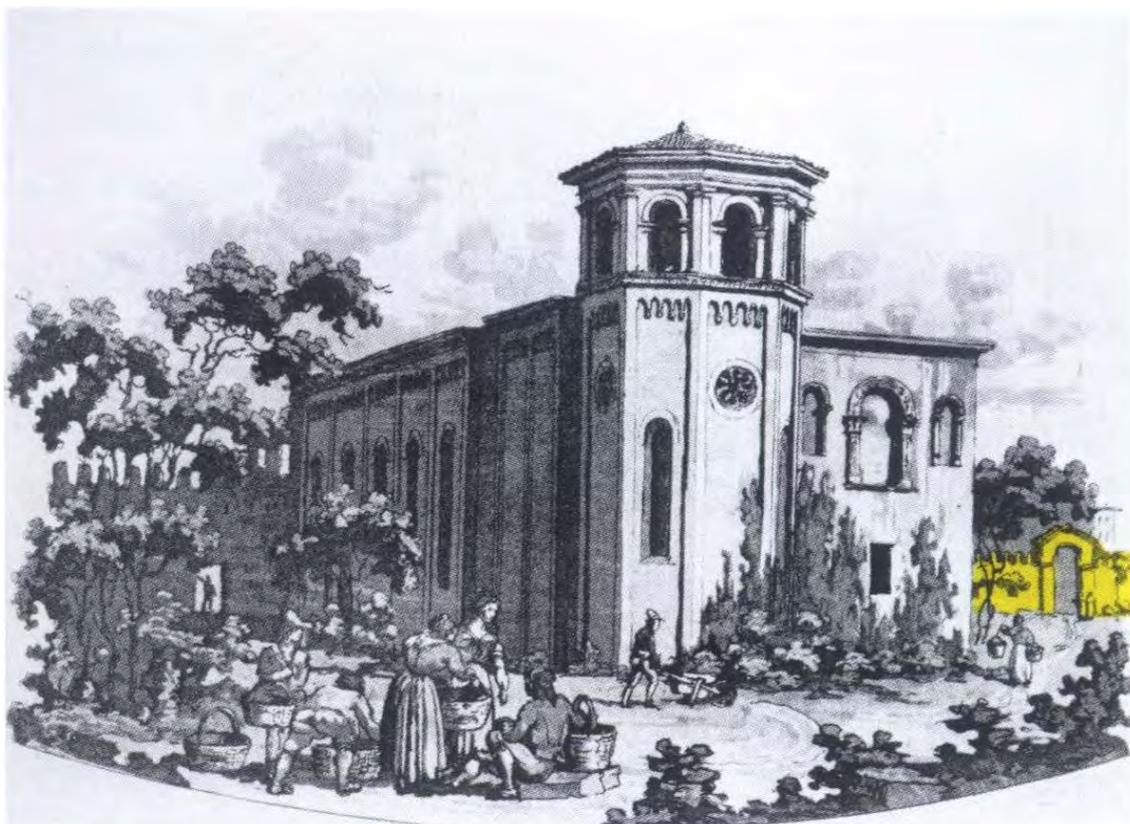
Scheda n. 10
Titolo: [Veduta del retro della Cappella Scrovegni e di Palazzo Foscari]
Tecnica: litografia
Autore: Maria Callcott
Luogo: Padova
Editore: /
Anno: 1827
Soggetto: La litografia rappresenta la Cappella Scrovegni, nello specifico si possono vedere l'abside, la sacrestia e il vicino Palazzo Foscari evidenziato in giallo.
Bibliografia relativa: I. HUECK, Zu Enrico Scrovegnis varänderungen der Arenakapelle, fascicoli 2-3, fig. 2-3, p. 287.



Scheda n. 11
Titolo: [Pianta di Padova particolare dell'area anfiteatrale]
Tecnica: incisione in rame
Autore: Vincenzo Voltolina
Luogo di edizione: /
Editore: /
Anno: 1821-1831
Soggetto: La pianta deriva dalla carte del Valle e riporta la situazione dopo la demolizione del Palazzo Foscari che infatti non compare; si può comunque ancora notare la presenza dell'Arena.
Bibliografia relativa: S. GHIRONI, <i>Padova – Piante e vedute (1449-1865) con saggio di Giuliana Mazzi</i> , Panda Edizioni, Padova, 1985.



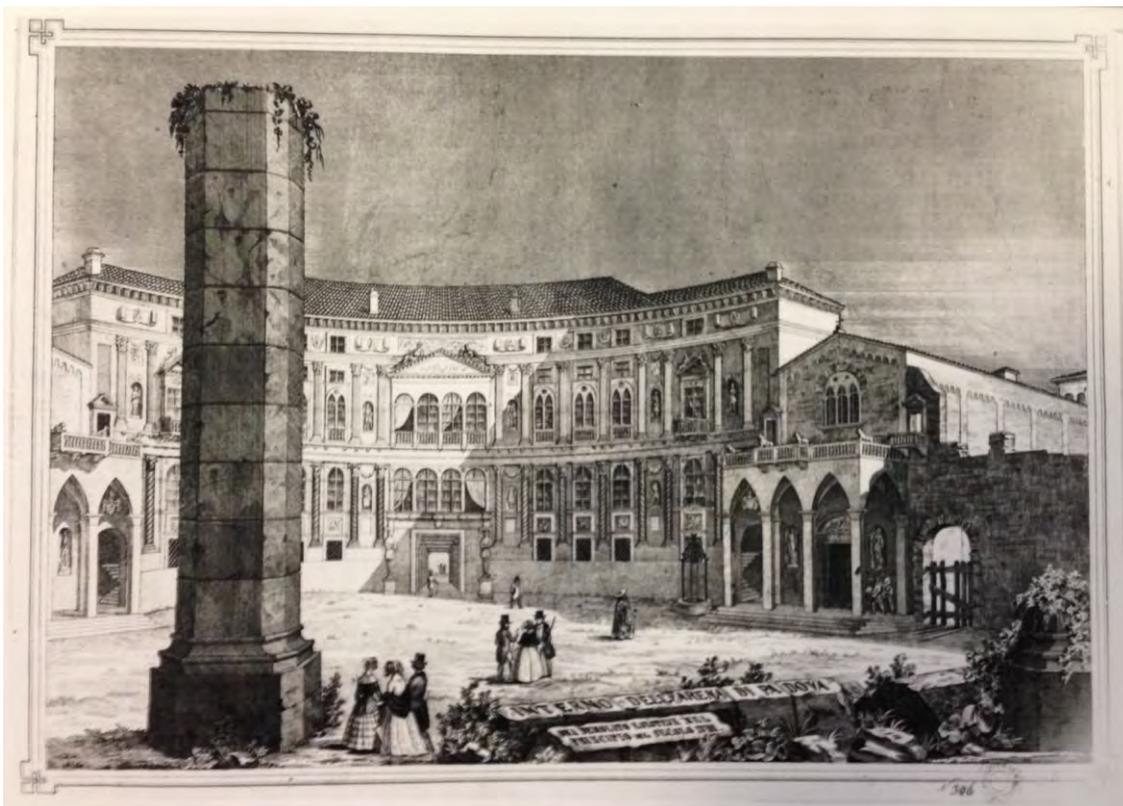
Scheda n. 12
Titolo:[Pianta di Padova particolare dell'area anfiteatrale]
Tecnica: incisione in rame
Autore: Natale D'Avanzi
Luogo di edizione: /
Editore: Antonio Zambeccari
Anno: 1831
Soggetto: La pianta deriva dalla carta del Valle e riporta la situazione dopo la demolizione del Palazzo Foscari: al suo posto compare invece l'abitazione del custode dell'area. Si può comunque ancora notare la presenza dell'Arena.
Bibliografia relativa: S. GHIRONI, <i>Padova – Piante e vedute (1449-1865) con saggio di Giuliana Mazzi</i> , Panda Edizioni, Padova, 1985.



Scheda n. 13
Titolo: [Veduta del retro della Cappella Scrovegni]
Tecnica: /
Autore: /
Luogo: Padova
Editore: /
Anno: 1831
Soggetto: L'immagine rappresenta il fronte retrostante della Cappella. Non compare più il Palazzo Foscari ma è ben visibile, evidenziata in giallo, una struttura muraria, in sua vece.
Bibliografia relativa: P. CHEVALIER, <i>Memorie architettoniche sui principali edifici della Città di Padova</i> , Gamba, Padova, 1831, p.39.



Scheda n. 14
Titolo: [Pianta di Padova particolare dell'area anfiteatrale]
Tecnica: incisione in rame
Autore: Vincenzo Voltolina
Incisore: Vincenzo Voltolina
Luogo: Padova
Editore: Anonimo
Anno: 1840
Soggetto: La pianta deriva dalla carta del Valle, si vede la presenza della Cappella e dell'abitazione del custode, si vede comunque la presenza dell'Arena.
Bibliografia relativa: S. GHIRONI, <i>Padova – Piante e vedute (1449-1865) con saggio di Giuliana Mazzi</i> , Panda Edizioni, Padova, 1985.



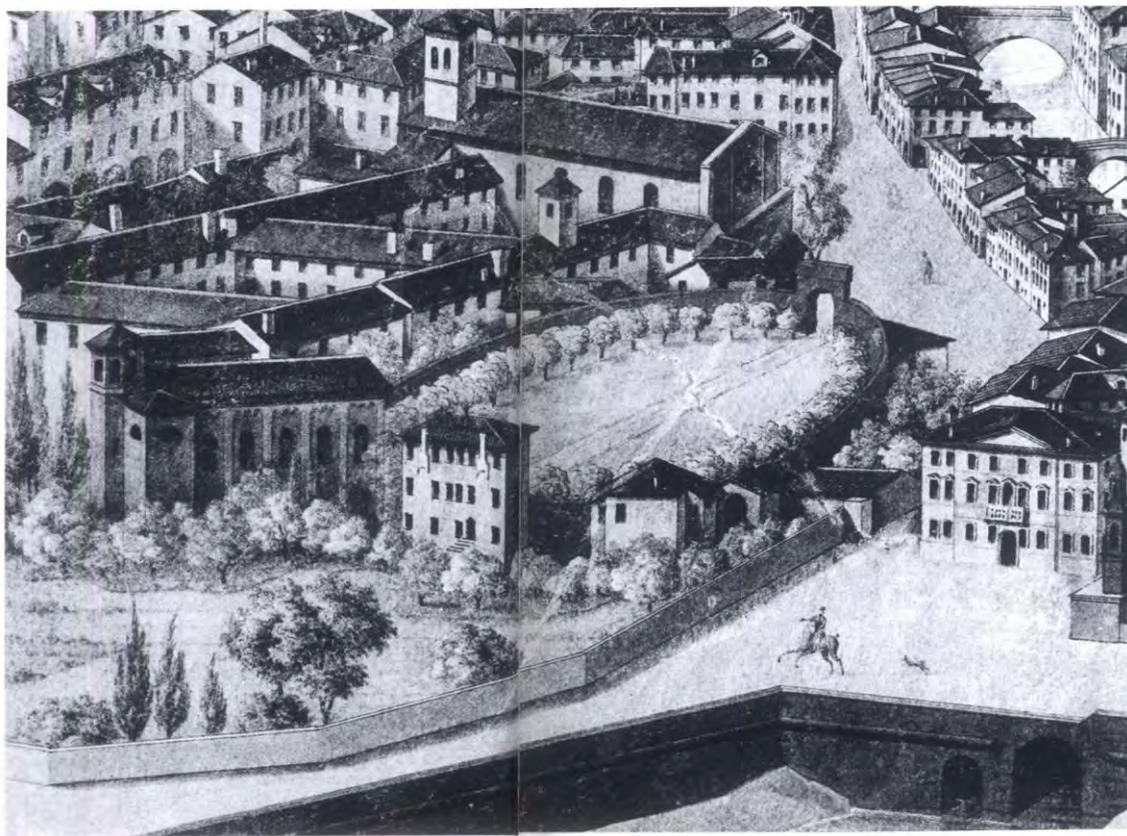
Scheda n. 15
Titolo: <i>Interno dell’Arena di Padova</i>
Tecnica: litografia
Autore: /
Luogo: Padova
Editore: /
Anno: 1842
Soggetto: L’incisione rappresenta una ricostruzione ideale del cortile interno dell’Arena: vengono raffigurati il Palazzo Foscari, la Cappella Scrovegni con il suo portico ed il muro dell’Arena a cui si congiunge. Nell’immagine sulla destra compare anche una Cappella identica a quella Scrovegni ed in posizione simmetrica ad essa: è questa una totale invenzione dell’autore che ha preferito ritrarre una vista ideale e più scenografica dell’area.
Bibliografia relativa: /
Collocazione: Biblioteca Civica di Padova, X1528.



Scheda n. 16
Titolo: <i>IV Città di Padova</i>
Tecnica: /
Autore: /
Luogo: Padova
Editore: /
Anno: 1845
Soggetto: L'immagine presenta la situazione all'anno 1845: non è più esistente il collegamento tra Palazzo Foscari-Gradenigo e la Cappella degli Scrovegni. A unire i due edifici è solamente presente un muro. Non è più rappresentato il portico antistante la Cappella in quanto crollato nel 1817.
Bibliografia relativa: FANTINI D'ONOFRIO, <i>La città di Padova nel suo Catasto storico 1815 – 1873</i> , cit.
Collocazione: Catasto storico di Padova, Catasto Austriaco censo stabile impianto, mappale 4.



Scheda n. 17
Titolo: 4 Padova
Tecnica: /
Autore: /
Luogo: Padova
Editore: /
Anno: 1852
Soggetto: L'immagine presenta la situazione nell'anno 1952: è la stessa rappresentata nel catasto austriaco del 1845.
Bibliografia relativa: FANTINI D'ONOFRIO, <i>La città di Padova nel suo Catasto storico 1815 – 1873</i> , cit.
Collocazione: Catasto storico di Padova, Catasto Austriaco austriaco italiano aggiornamento, mappale 4.



Scheda n. 18

Titolo: [Veduta di Padova a volo d'uccello, particolare dell'area anfiteatrale]

Tecnica:

Autore: Antonio Putti

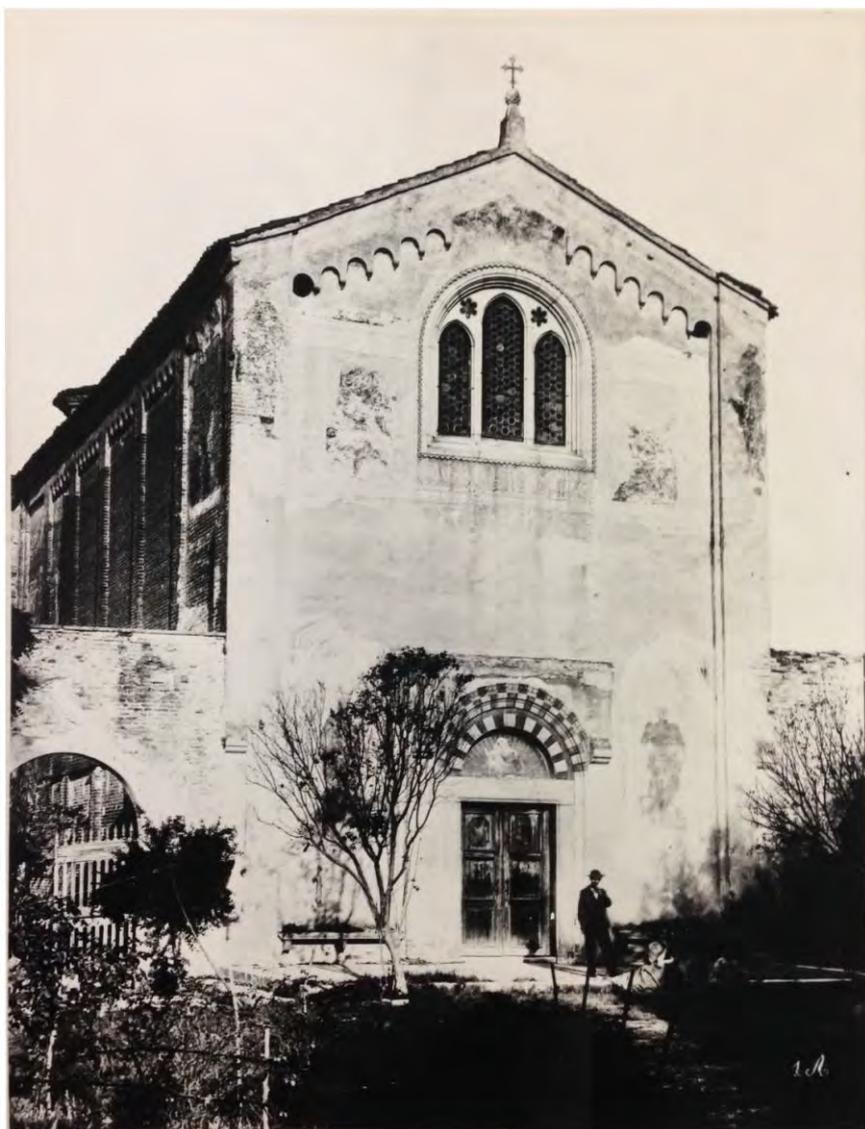
Luogo di edizione: Padova

Editore: /

Anno: 1856

Soggetto: Vista a volo d'uccello dell'area anfiteatrale. Non è più presente il palazzo Foscari: al suo posto sorge la residenza del custode. Compare inoltre la Cappella Scrovegni. La vista è particolare poiché riprende l'area da un punto di vista inusuale, ovvero il retro, e permette per questo di poter conoscere anche l'altro fronte della casa del custode, poco rappresentato.

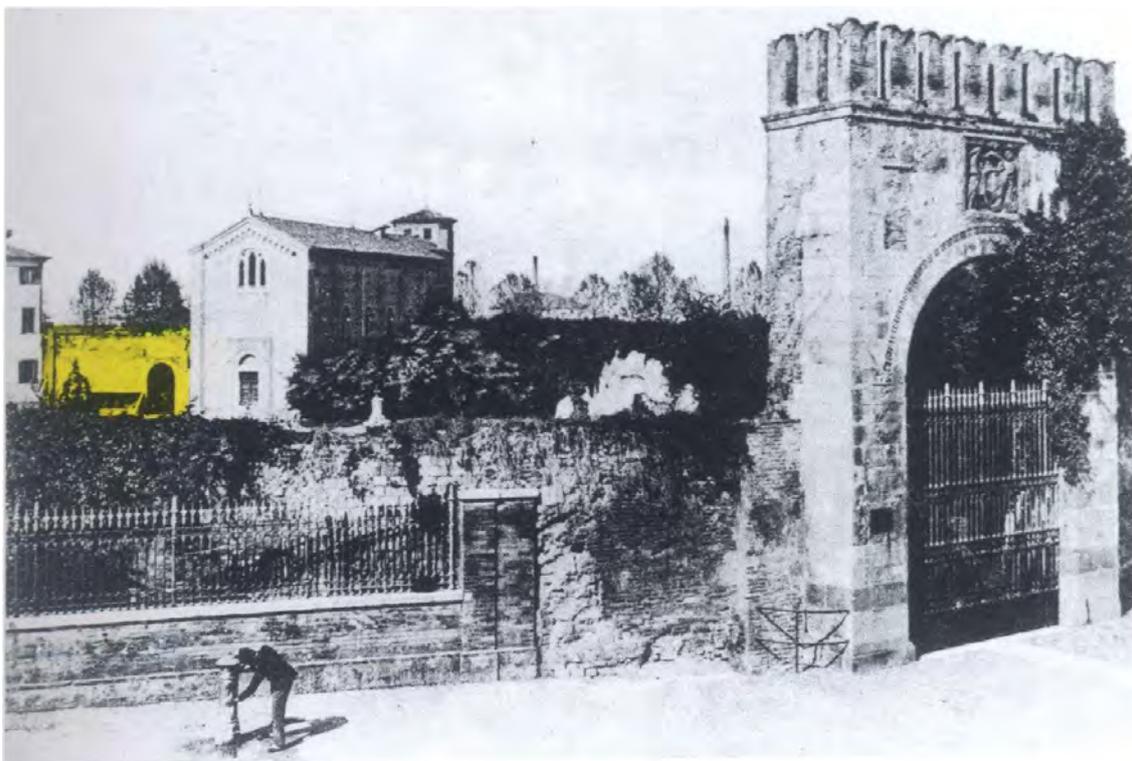
Bibliografia relativa: S. GHIRONI, *Padova – Piante e vedute (1449-1865) con saggio di Giuliana Mazzi*, Panda Edizioni, Padova, 1985.



Scheda n. 19
Titolo: [Facciata della Cappella Scrovegni]
Tecnica: fotografia
Autore: C. Naya
Luogo: Padova
Editore: /
Anno: 1865
Soggetto: L'immagine rappresenta il fronte della Cappella Scrovegni. Si possono ancora notare alcuni resti degli affreschi che una volta decoravano il la facciata.
Bibliografia relativa: /
Collocazione: Biblioteca Civica di Padova, rip XXXIII 2839.



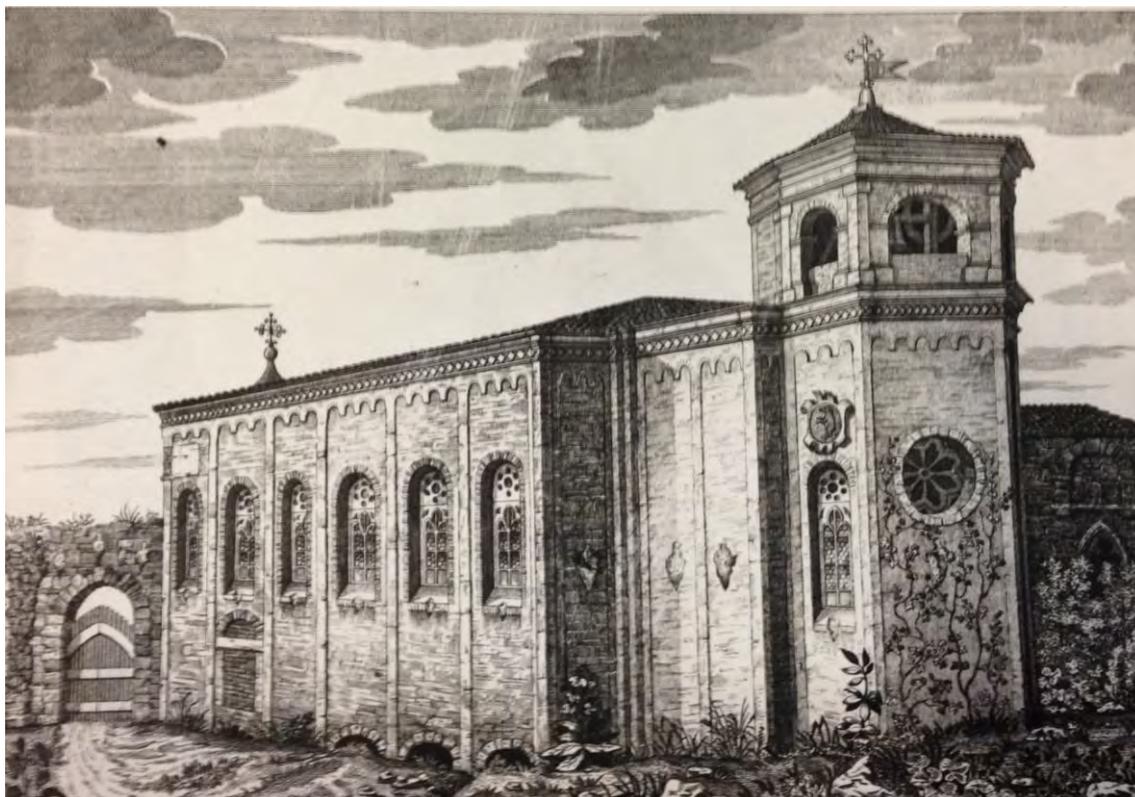
Scheda n. 20
Titolo: [Veduta dell'anfiteatro patavino con la Cappella degli Scrovegni]
Tecnica: fotografia
Autore: Luigi Borlinetto
Luogo di edizione: Padova
Editore: /
Anno: 11 novembre 1827 – 18 agosto 1904
Soggetto: La fotografia riprende l'area anfiteatrale: si possono notare la residenza del custode, la Cappella Scrovegni e le mura che ad essa si appoggiano. Si può inoltre notare il giardino centrale.
Bibliografia relativa: G. ZAMPIERI, <i>La Cappella degli Scrovegni in Padova: il sito e l'area archeologica</i> , Padova, 2004, fig. 21, p.32.



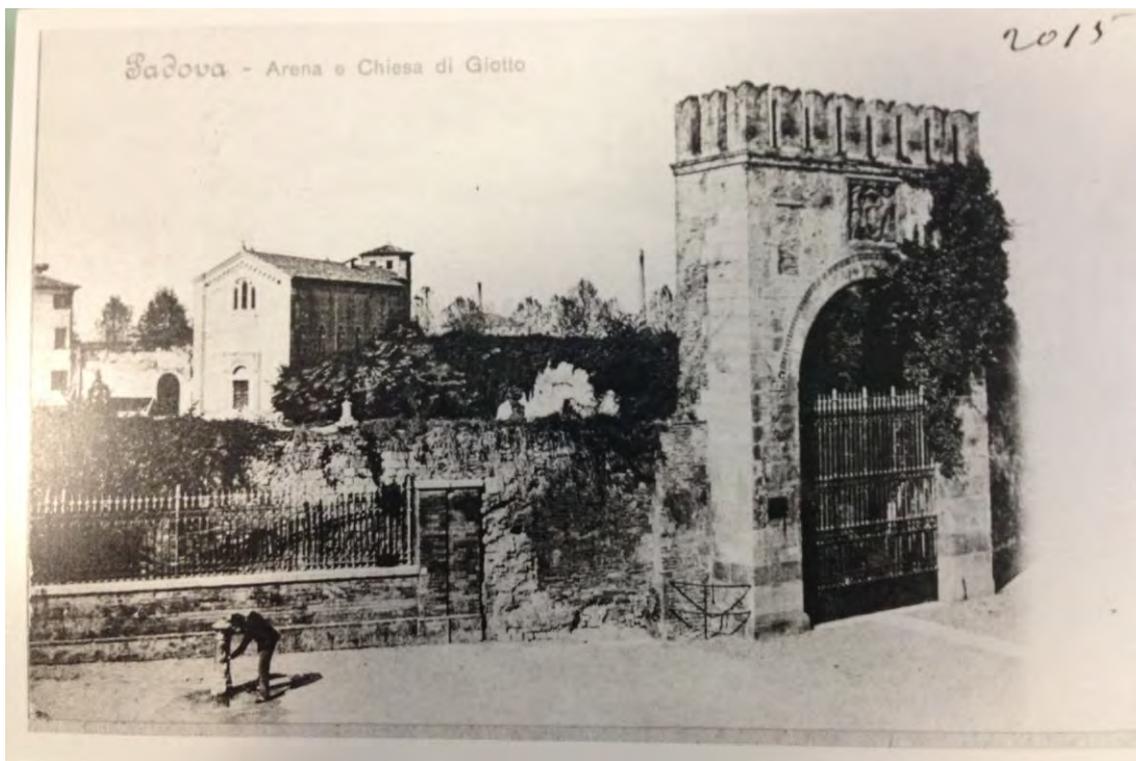
Scheda n. 21
Titolo: [Veduta della Cappella Scrovegni]
Tecnica: fotografia
Autore: /
Luogo: Padova
Editore: /
Anno: /
Soggetto: La fotografia riprende la Cappella Scrovegni, una parte della casa del custode ed il muro che le unisce, da un punto di vista esterno all'Arena, per la precisione dalla Porta Medioevale.
Bibliografia relativa: G. ZAMPIERI, <i>La Cappella degli Scrovegni in Padova: il sito e l'area archeologica</i> , Padova, 2004 , fig. 22, p. 35.



Scheda n. 22
Titolo: <i>Arena di Padova</i>
Tecnica: acquerello
Autore: /
Luogo: Padova
Editore: /
Anno: /
Soggetto: Il dipinto rappresenta l'interno dell'Arena: compaiono il Palazzo Foscari e la Cappella Scrovegni. Si può notare come il muro dell'Arena si congiunge alla Cappella.
Bibliografia relativa: /
Collocazione: Biblioteca Civica di Padova, puv 1390688.



Scheda n. 23
Titolo: [Vista sud-est della Cappella degli Scrovegni]
Tecnica: litografia
Autore: incisore P. Venuti litografo Guelmi disegnatore Buzzacarini
Luogo: Padova
Editore: /
Anno: /
Soggetto: L'immagine rappresenta il fronte sud-est della Cappella Scrovegni. Viene inoltre rappresentato il muro dell'Arena a cui si congiunge. Nella parte destra dell'immagine sembrerebbe essere rappresentato il Palazzo Foscari.
Bibliografia relativa: /
Collocazione: Biblioteca Civica di Padova, XXXIII 2836.



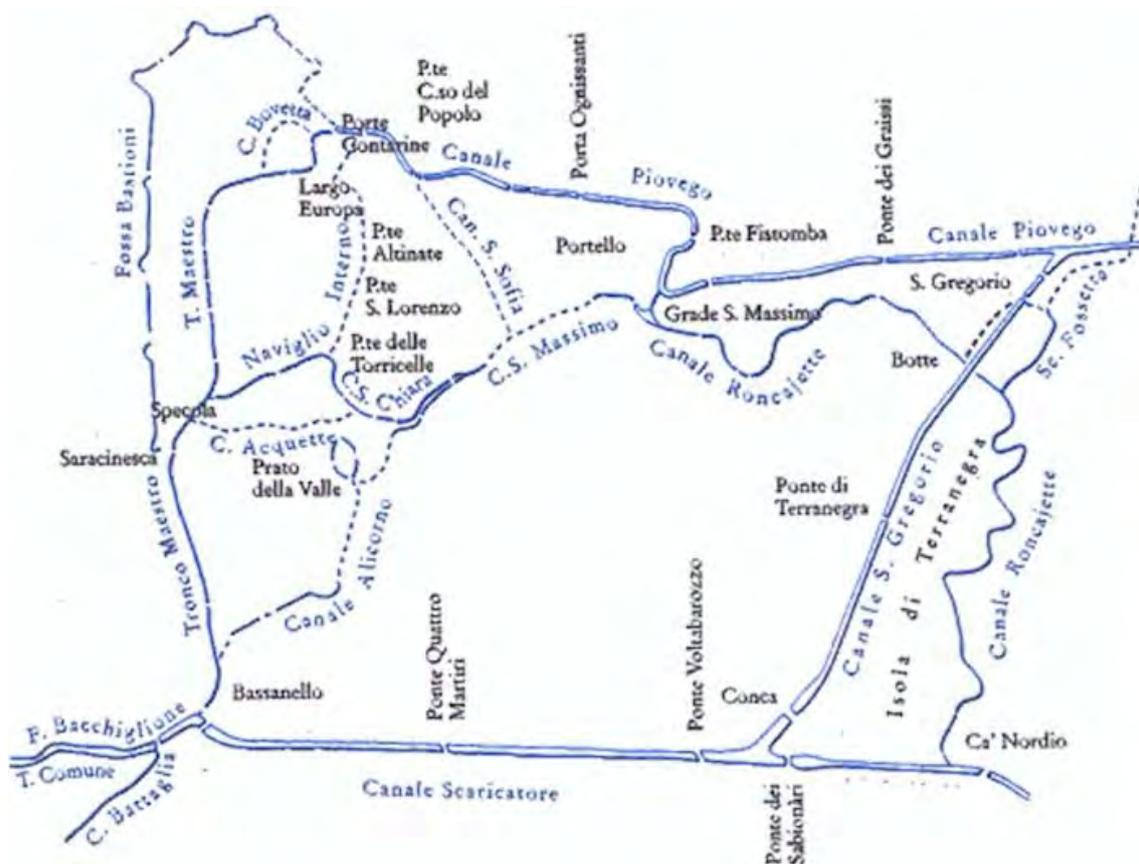
Scheda n. 24
Titolo: <i>Padova, Arena e chiesa di Giotto</i>
Tecnica: fotografia
Autore: /
Luogo: Padova
Editore: /
Anno: /
Soggetto: La fotografia riprende la Cappella Scrovegni, una parte della casa del custode ed il muro che le unisce, da un punto di vista esterno all’Arena, per la precisione dalla Porta Medioevale.
Bibliografia relativa: /
Collocazione: Biblioteca Civica di Padova, X1522.



Scheda n. 25
Titolo: [Vista del complesso dell'Arena dall'esterno]
Tecnica: fotografia
Autore: /
Luogo: Padova
Editore: P. Minotti
Anno: /
Soggetto: La fotografia riprende una parte della casa del custode adiacente la Cappella Scrovegni, da un punto di vista esterno all'Arena, per la precisione dalla Porta Medioevale.
Bibliografia relativa: /
Collocazione: Biblioteca Civica di Padova, X1523.



Scheda n. 26
Titolo: [Corso Garibaldi, Arena e Chiesa degli Scrovegni, veduta esterna]
Tecnica: fotografia
Autore: /
Luogo: Padova
Editore: /
Anno: /
Soggetto: l'immagine riporta una vista della Cappella Scrovegni ripresa al di fuori del circuito dell'Arena. Si può intravedere il giardino pubblico che una volta fronteggiava la chiesa ed una parte di muro che una volta la univa alla residenza del custode.
Bibliografia relativa: /
Collocazione: Biblioteca Civica di Padova, X1525.



Scheda n. 27

Titolo: [Schema canali di Padova, esistenti e tominati]

Tecnica: /

Autore: /

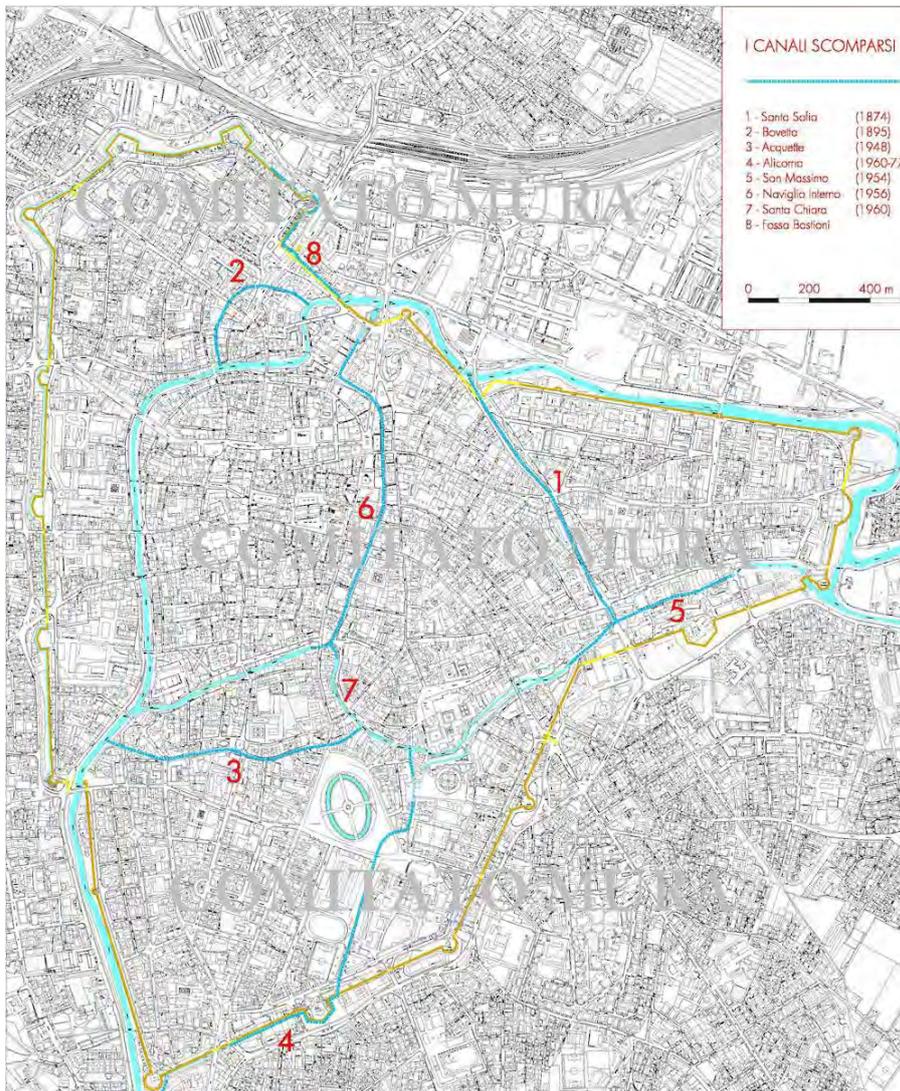
Luogo: /

Editore: /

Anno: /

Soggetto: l'immagine rappresenta lo schema dei canali presenti a Padova, sia quelli in superficie che quelli tominati. Vediamo come il sito oggetto di studio sia caratterizzato fortemente dalla presenza di corsi d'acqua.

Bibliografia relativa: [www.muradipadova.it](http://www.muradipadova.it).



Scheda n. 28
Titolo: [I canali scomparsi]
Tecnica: rilievo fotogrammetrico
Autore: Adriano Verdi
Luogo: /
Editore: /
Anno: /
Soggetto: l'immagine illustra i canali scomparsi nella città di Padova, vediamo come la Cappella degli Scrovegni oltre ad essere nelle strette vicinanze del Canale Piovego si trovava prossima al Naviglio interno, canale tominato nel 1956.
Bibliografia relativa: <a href="http://www.muradipadova.it">www.muradipadova.it</a> .

***PARTE II***

***ANALISI DELLO STATO DI FATTO***



## **5. RILIEVO ARCHITETTONICO E FOTOGRAFICO**

Lo studio dello stato di fatto del monumento è il punto di partenza essenziale del processo conoscitivo, si basa su un'osservazione visiva preliminare dell'edificio seguita dalla redazione di un rilievo architettonico che diventerà la base delle successive analisi. Le riprese fotografiche maggiormente significative della Cappella degli Scrovegni vengono organizzate in un rilievo fotografico, in riferimento al rilievo architettonico, al fine di costituire una panoramica complessiva dei luoghi più rappresentativi dell'edificio.

### **5.1. DESCRIZIONE MORFOLOGICA DEL SITO**

La Cappella degli Scrovegni, edificio in muratura dallo stile romanico-gotico, si affaccia sull'Arena romana che caratterizza la città patavina dal 60-70 d.C. e di questa riprende alcune delle caratteristiche che la contraddistinguono: la facciata della chiesa ne ricalca il muro ellittico esterno, mentre i muri longitudinali dell'oratorio vanno ad impostarsi sulle tracce degli antichi setti radiali, oggi non più visibili, in direzione est-ovest<sup>1</sup>.

Per quanto riguarda la comprensione della struttura dell'anfiteatro ci affidiamo all'analisi della rappresentazione eseguita da Brunelli Bonetti, "Planimetria degli scavi eseguiti dall'anno 1880 al 1907"<sup>2</sup>.

---

<sup>1</sup> Il fatto che la Cappella sia stata costruita al di sopra dei muri dell'Arena trova conferma nell'osservazione approfondita dei muri della cripta in particolare quello di facciata: sono stati qui rinvenuti dei tubi orizzontali e verticali in cotto ed in trachite rispettivamente. La loro destinazione sarebbe ancora ignota, ma data la piccola dimensione dei diametri, si tenderebbe ad escludere il loro utilizzo come solo scolo per l'acqua piovana; ZAMPIERI, *La Cappella*, cit., pp. 74-76.

<sup>2</sup> Si veda appendice E. Anfiteatro patavino: "Planimetria degli scavi eseguiti dall'anno 1880 al 1907".

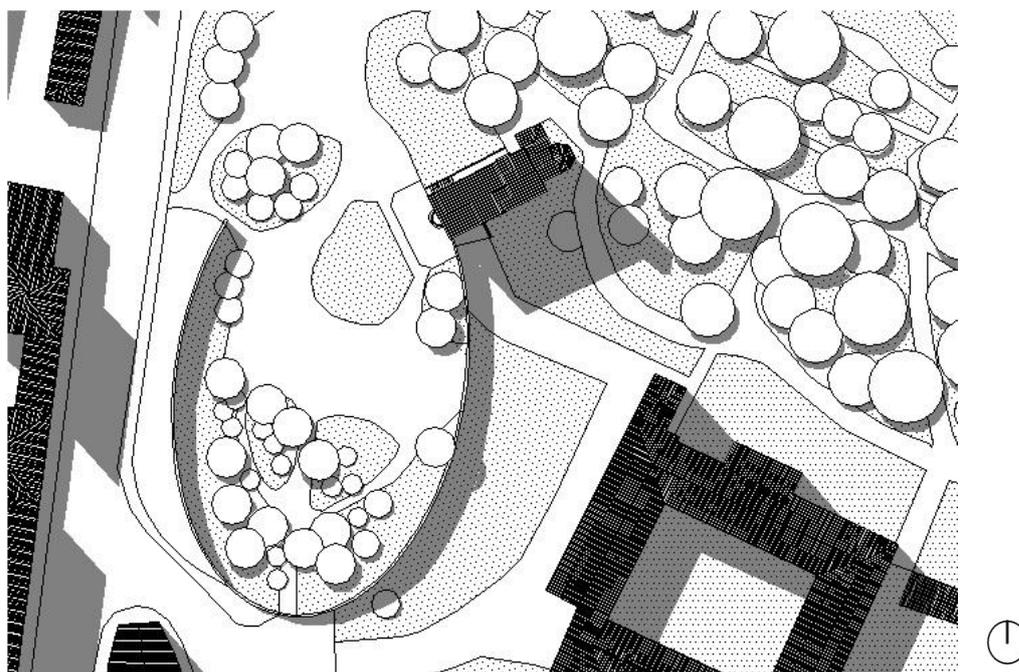


Fig. 5.1. Planivolumetrico, si veda tav. 3.01 presente nel book allegato; scala 1:5000.

## 5.2. RILIEVO ARCHITETTONICO<sup>3</sup>

Il rilievo architettonico si basa inizialmente su file forniti dall'Università di Padova contenenti un rilievo in formato digitale comprendente due piante, i quattro prospetti e due sezioni; a sua volta tale rilievo era stato realizzato riproducendo la rappresentazione cartacea di Grasselli e Benvenisti<sup>4</sup>. Per verificare l'attendibilità del materiale in possesso, sono state controllate delle misure a campione: sono emerse incongruenze confrontando tra loro le riproduzioni presenti nel file, si è notato in modo evidente come ad esempio le misure in lunghezza di pianta, prospetto e sezione discordassero di circa 1m. Al fine di realizzare un rilievo architettonico esaustivo e completo sono stati necessari diversi sopralluoghi volti all'osservazione diretta, alla ripresa fotografica (Fig. 5.2) e a misurazioni in sito attraverso l'uso di strumentazioni basilari quali cordelle metriche (Fig. 5.3) e distanziometri laser.

<sup>3</sup> Il rilievo architettonico è presente in modo esaustivo nelle tavole riprodotte ad una scala pari ad 1:100. Si vedano le tavole presenti nel book allegato: nello specifico le piante nelle tavole 3.02-3.06, i prospetti 3.07-3.10 e le sezioni 3.11-3.15.

<sup>4</sup> Si veda il cap. 4.1. Rilievo del 1871 – “Chiesa dell'Annunziata, detta dell'Arena”.



Fig. 5.2. Ripresa fotografica effettuata il 15 ottobre 2014, la cordella metrica come riferimento per poter risalire alle reali misure del portale.



Fig. 5.3. Misurazione con cordella metrica del capochiave di una delle tre catene presenti nella cripta, fotografia del 15 ottobre 2014.

Il primo sopralluogo è stato effettuato il 15 ottobre 2014, giorno in cui ci è stato possibile rilevare le prime misure campione da confrontare poi con il rilievo fornito: sono state confermate le discordanze già notate; nello stesso giorno abbiamo avuto accesso al sottotetto dell'edificio per osservare il sistema di monitoraggio permanente e attivo ed eseguire riprese fotografiche negli ambienti con particolare attenzione alle capriate metalliche introdotte negli anni Sessanta.

Nel sopralluogo successivo, il 24 ottobre 2014, è stato eseguito il rilievo dell'intero perimetro della Cappella; nei punti in cui non era possibile effettuare un rilievo diretto, come per le finestre e la copertura, è stato effettuato un accurato rilievo fotografico con lo scopo di esaminare successivamente le immagini sfruttando la tecnica della restituzione prospettica per ricavare valori maggiormente vicini a quelli reali.

PARTE II. ANALISI DELLO STATO DI FATTO

Rilievo architettonico e fotografico

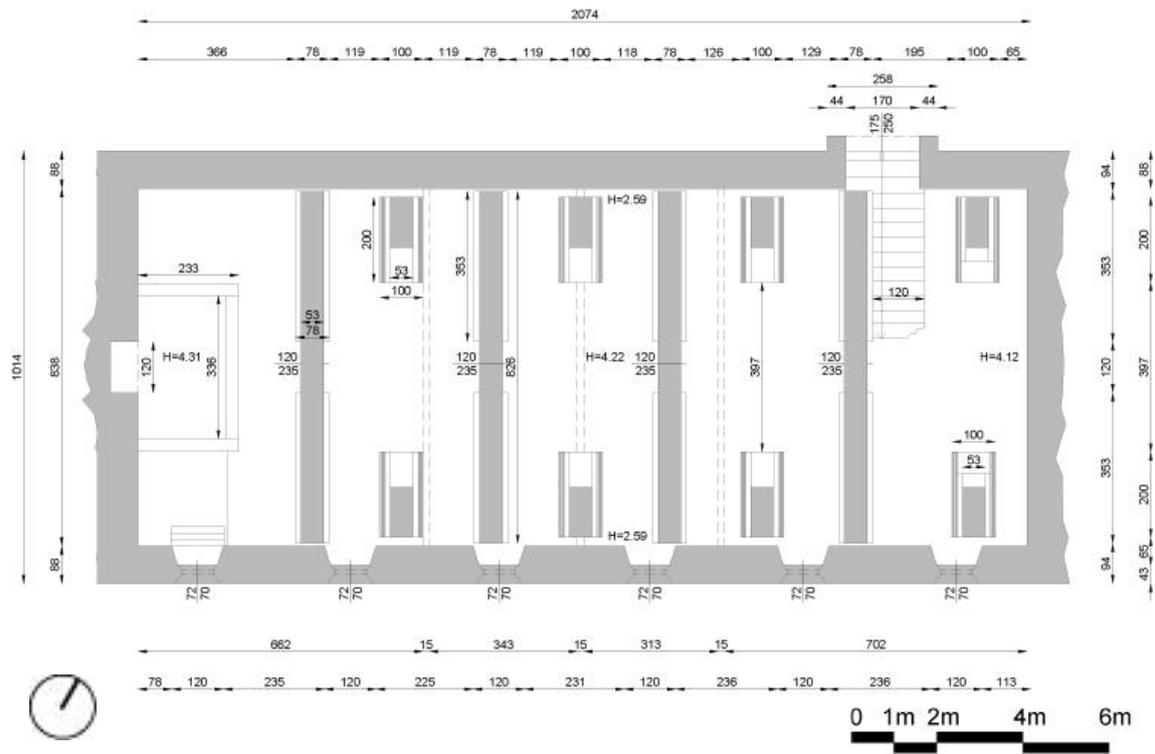


Fig. 5.4. Pianta interrato (-2m), si veda tav. 3.02 presente nel book allegato.

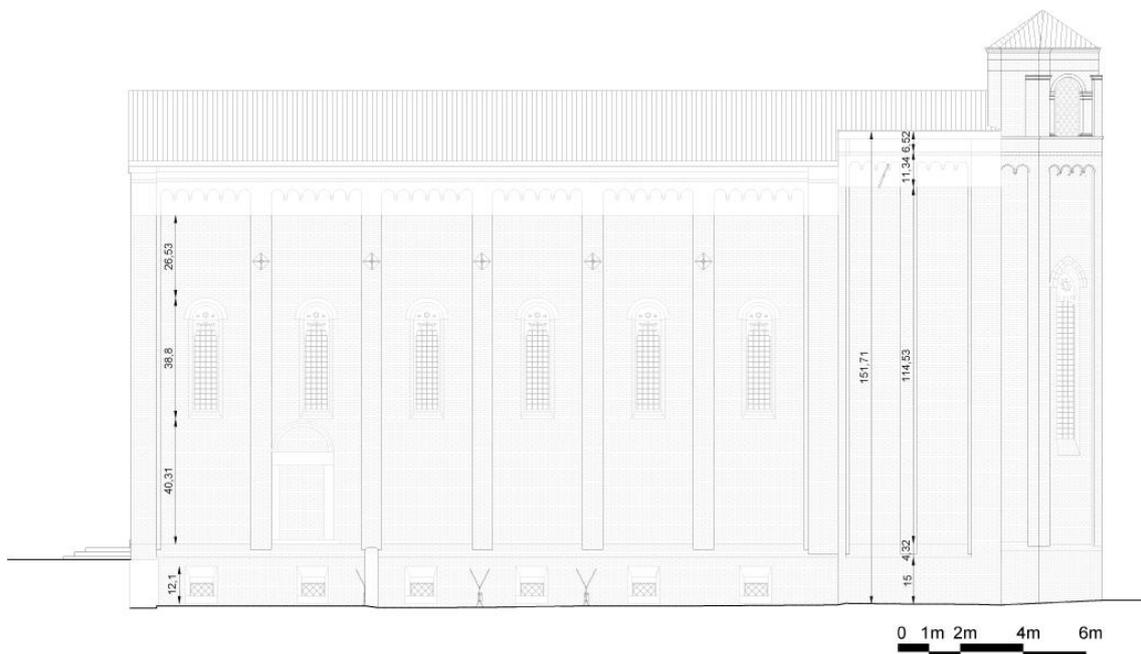


Fig. 5.5. Prospetto sud-est, si veda tav. 3.07 presente nel book allegato.



Fig. 5.6. Prospetto sud-ovest, si veda tav. 3.08 presente nel book allegato.

Fig. 5.7. Prospetto nord-est, si veda tav. 3.10 presente nel book allegato.

Solo nei giorni 19 e 20 novembre 2014, periodo in cui la Cappella degli Scrovegni restava chiusa al pubblico in quanto sottoposta ai periodici controlli e alla manutenzione degli affreschi da parte dell'Istituto Superiore per la Conservazione ed il Restauro (ISCR) di Roma, è stato possibile effettuare misurazioni e rilevamenti interni all'edificio. In questi giorni oltre alle misurazioni interne e alle riprese fotografiche dell'intera navata, è stato possibile accedere ed acquisire informazioni dirette al presbiterio, all'abside, alla sacrestia e alla cripta, luoghi che di consueto restano chiusi al pubblico. Nelle medesime giornate è stata eseguita la campagna termografica esposta e commentata nei capitoli successivi<sup>5</sup>. Infine, un secondo sopralluogo agli ambienti del sottotetto e della loggia, è stato effettuato il 26 gennaio 2015 per rilevare misurazioni nel dettaglio e fotografie maggiormente mirate.

La redazione del rilievo architettonico, grazie al programma *Autodesk Autocad*, è stata svolta da prima modificando le rappresentazioni bidimensionali in possesso; parallelamente è stata eseguita una riproduzione tridimensionale dell'edificio, da cui è stato possibile esportare piante, prospetti, sezioni e orizzontamenti nelle posizioni

<sup>5</sup> Si veda il cap. 12. Indagini termografiche 2014.

ritenute maggiormente significative: quest'ultime saranno la base del rilievo architettonico definitivo e delle successive analisi.

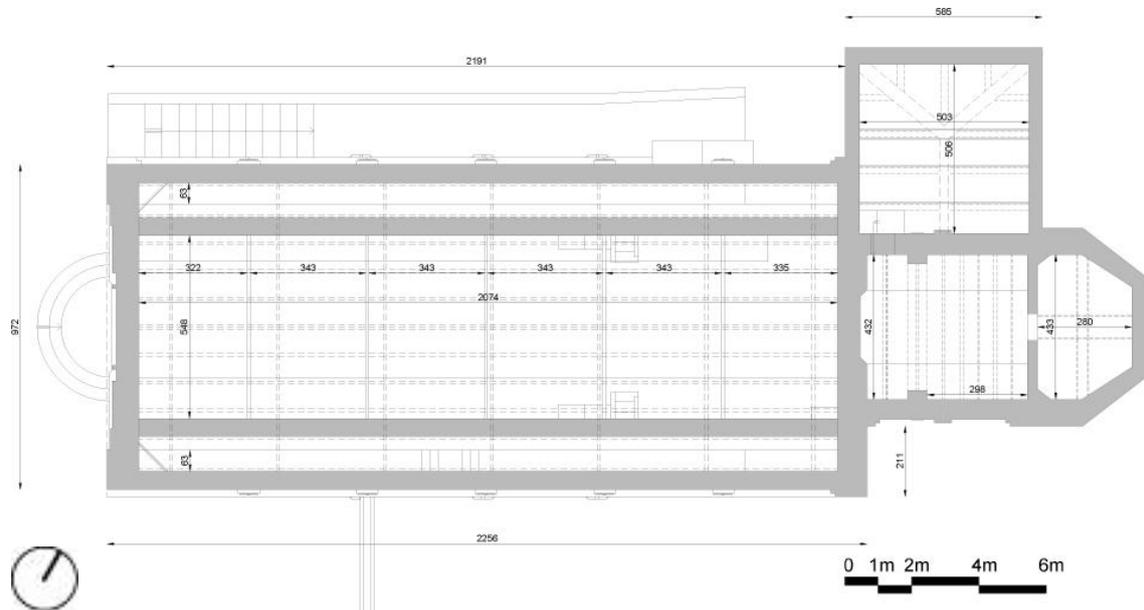


Fig. 5.8. Pianta sottotetti (11,6m), si veda tav. 3.05 presente nel book allegato.

Il rilievo da noi eseguito non presenta discordanze interne in quanto estratto da una rappresentazione tridimensionale complessiva di ogni elemento; si deve però fare attenzione al fatto che le misurazioni, per quanto rilevate con precisione e in modo meticoloso, sono state effettuate con semplici cordelle metriche e distanziometri laser, talvolta ci si è affidati alla tecnica della restituzione prospettica nelle parti non misurabili direttamente a causa della loro altezza o inaccessibilità. Inoltre sono stati effettuati un numero limitato di sopralluoghi dato che l'edificio rimane sempre aperto al pubblico e la maggior parte dei locali non sono accessibili se non previa autorizzazione del Comune di Padova; in merito a tutti questi motivi, si auspica che in futuro venga eseguito un dettagliato ed esaustivo rilievo dell'intero edificio.

Vengono di seguito riportate le rappresentazioni tridimensionali di come si presenta oggi l'edificio.



Fig. 5.9. Vista nord-ovest



Fig. 5.10. Vista sud-est



Fig. 5.11. Vista sud-ovest



Fig. 5.12. Vista nord-est

### 5.2.1 Descrizione morfologica dell'edificio

L'edificio è sviluppato principalmente su due livelli: uno fuori terra, che corrisponde al piano di calpestio pari al livello 0.00 e uno seminterrato, come si può vedere nelle sezioni in Fig. 5.13, l'ambiente della cripta è caratterizzato da una leggera pendenza verso una vasca di raccolta: l'altezza in chiave della volta ribassata infatti passa da -4,66 m a est sino -4,85 m a ovest (Fig. 5.14).

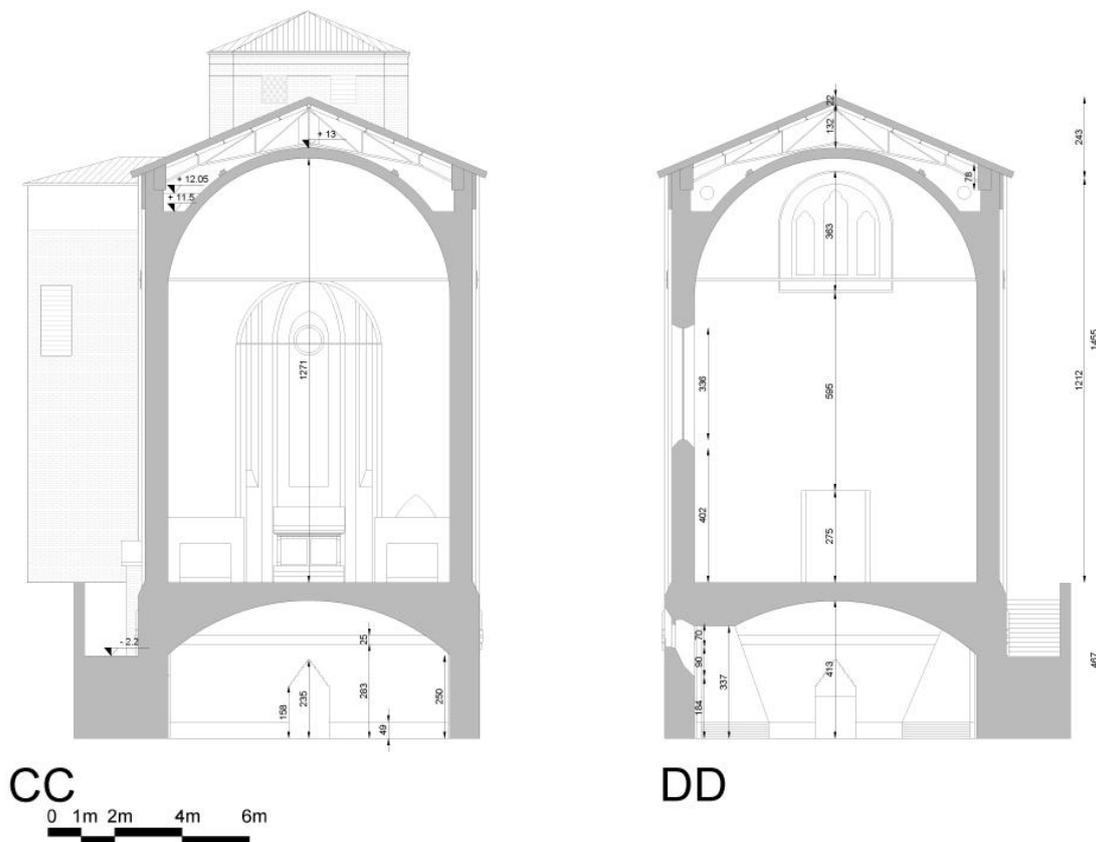


Fig. 5.13. Sezioni CC e DD, si veda tav. 3.14 presente nel book allegato; scala 1:500.

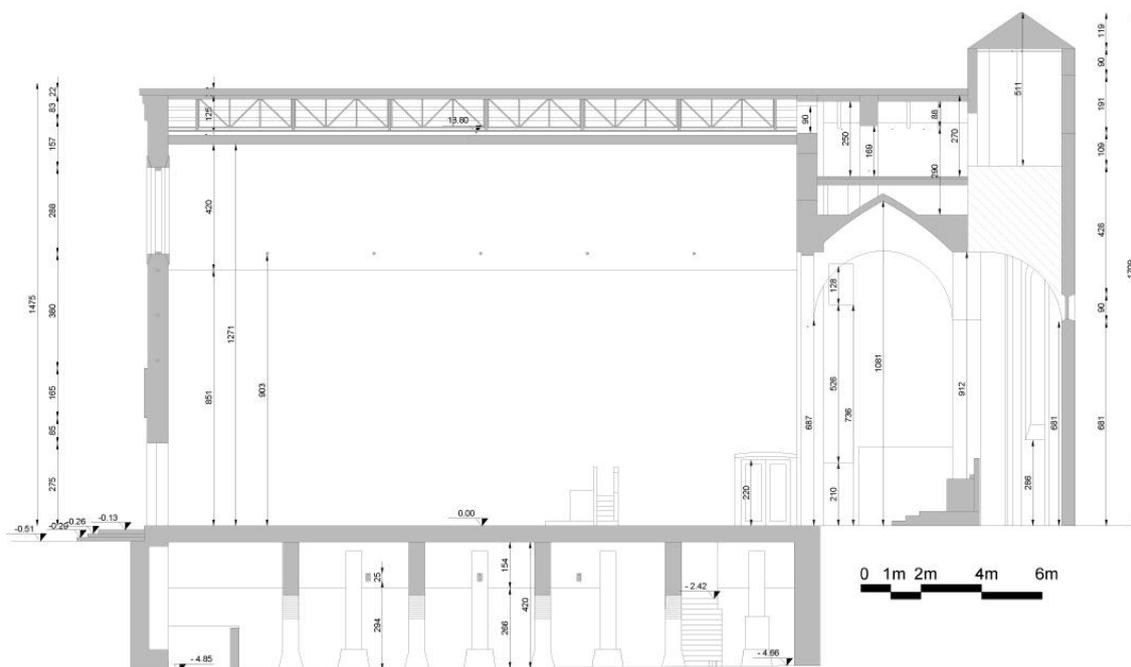


Fig. 5.14. Sezioni AA, si veda tav. 3.12 presente nel book allegato; scala 1:500.

La cripta è di forma rettangolare intervallata da robusti setti murari facenti parte di opere provvisorie realizzate negli anni delle due Guerre e tutt'ora presenti; l'ingresso a questo ambiente avviene dal lato esposto a nord-ovest, una scala di pietra affiancata alla parete percorre la stessa per un tratto della sua lunghezza sino a raggiungere la porta d'accesso alla parte sotterranea.

In Fig. 5.15 è schematizzata la disposizione degli ambienti qui descritta: un ambiente fuori terra (A) si erige sopra a quello interrato, ne riprende le stesse dimensioni e la stessa forma rettangolare; in elevato, adiacenti all'ambiente maggiore, si susseguono due spazi minori, uno quadrato (B) e uno di forma poligonale (C), quest'ultimo sormontato da una torretta. Addossato alla parte nord-est dell'ambiente quadrato è presente un piccolo fabbricato, la sacrestia, sopraelevata nel Cinquecento (D).

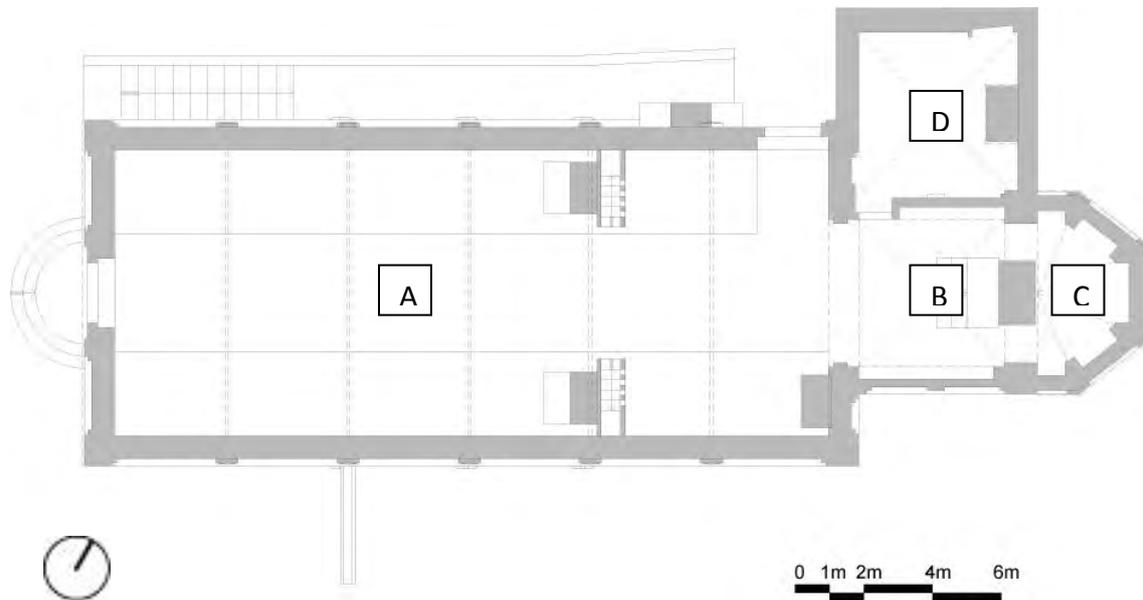


Fig. 5.15. Pianta (1 m), estratto della tav. 3.03 del book allegato. Qui utilizzata come base per la schematizzazione della suddivisione degli ambienti: A) ambiente principale, B) spazio quadrato, C) spazio di forma poligonale, D) piccolo fabbricato.

### 5.2.2 Caratterizzazione funzionale dell'edificio e dei suoi spazi

La Cappella degli Scrovegni è stata nei secoli sede di manifestazioni religiose, sia private che pubbliche, e simbolo di ricchezza della famiglia Scrovegni ospitando la tomba di Enrico all'interno. Oggi, grazie alla sua magnificenza e alle opere di Giotto e di Pisani che la arricchiscono, ha abbandonato il ruolo di luogo di culto diventando monumento meta del turismo anche internazionale. La caratterizzazione funzionale dell'edificio che segue indicherà il ruolo che lo spazio aveva al tempo della sua funzione originale, questo modo di indicare i vari ambienti sarà usato in tutta la trattazione al fine di facilitare la spiegazione. Si farà riferimento agli ambienti chiamandoli in questo modo, anche se non si tratta delle destinazioni d'uso attuali degli spazi: unica navata, presbiterio, abside, sacrestia, loggia, sottotetto praticabile e cripta.



Fig. 5.16. Sezioni GG, si veda tav. 3.17 presente nel book allegato; scala 1:500.

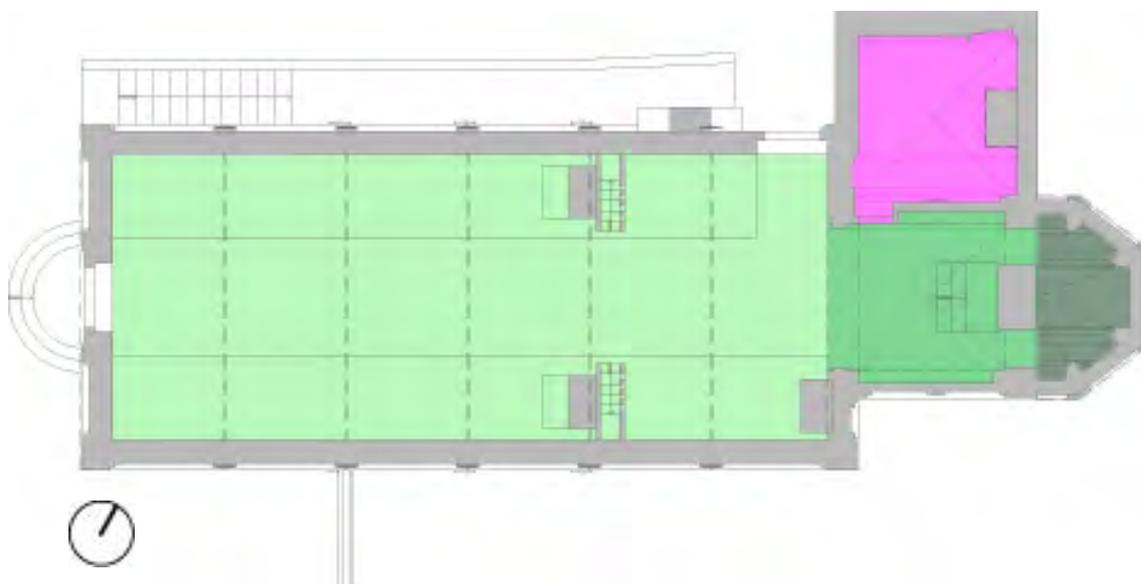


Fig. 5.17. Pianta (1m), si veda tav. 3.17 presente nel book allegato; scala 1:500.

La sola parte accessibile al pubblico è la navata da dove è possibile ammirare gli affreschi del ciclo giottesco, raggiungibile dalla porta sita sulla parete longitudinale affacciata a nord-ovest, dopo aver sostato all'interno del Corpo Tecnico Attrezzato. Dalla navata si osservano gli ambienti che si trovano oltre l'arco trionfale, questi spazi

erano dedicati a presbiterio e abside della chiesa. Sulla parete laterale del presbiterio si trova una porta che connette all'adiacente ambiente, destinato a sacrestia all'interno del quale si trova la statua di Enrico Scrovegni. La loggia, raggiungibile dalla sola porta esterna, si trova sopra la sacrestia e si affaccia sul presbiterio; da questo ambiente è possibile raggiungere il sottotetto attraverso una botola. Lo spazio sottostante, la cripta, essendo a diretto contatto con la falda sottostante, è caratterizzato, durante i periodi piovosi, dalla presenza di acqua e durante il sopralluogo non è stato possibile accedervi.

### 5.3. RILIEVO FOTOGRAFICO<sup>6</sup>

Un rilievo fotografico si è reso utile all'interno dell'inquadratura generale dell'edificio in modo da poter costituire una panoramica complessiva, attraverso l'inserimento di fotografie, dei luoghi più significativi e rappresentativi dello stesso.

#### 5.3.1 Esterni



Fig. 5.18. Nella fotografia, realizzata il 20 novembre 2014, si possono notare la facciata della Cappella degli Scrovegni e un tratto dell'Arena romana. (Si veda cono visivo n.1 tav. 4.03).

---

<sup>6</sup> L'intero rilievo fotografico viene invece riportato, insieme alla planimetria completa di coni visuali, nelle tavole 4.01 - 4.08 del book allegato.

Nella Fig. 5.18 è raffigurata la facciata principale della Cappella degli Scrovegni, rivolta a sud-ovest, costituita quasi interamente da mattoni faccia a vista; non si possono infatti più ammirare gli affreschi che la ricoprivano anche esternamente. E' presente il portone d'ingresso ligneo caratterizzato da elementi in pietra bianca e rossa come gli archetti posti superiormente allo stesso, le cornici delle trifore e le cornici superiori della facciata. Dall'immagine si può notare anche la stretta relazione fra Cappella e Arena: sulla destra, quindi all'angolo sud della facciata, si può vedere come il muro dell'Arena si poggia direttamente all'edificio. All'angolo nord invece si può notare una seconda porzione di muro che però non è possibile determinare se possa essere una ulteriore parte dell'anfiteatro o se una porzione del Palazzo Foscari demolito negli anni Trenta dell'Ottocento. Infine all'apice della facciata, sopra al tetto, si possono notare i resti del supporto in pietra della croce che era lì posizionata prima di essere danneggiata durante un forte temporale nell'estate 2014.

Anche i prospetti restanti seguono le caratteristiche già sopra descritte, sia dal punto di vista dei materiali che dello stile. Per quanto riguarda la struttura si possono notare le lesene ornamentali ed i capochiave delle catene che su di esse insistono. Si possono poi osservare nelle Figg. 5.19 – 5.22 vari tamponamenti<sup>7</sup> e il prospetto nord-est caratterizzato da aperture: sei monofore che vanno a porsi centralmente allo spazio definito dalle sei lesene, inoltre sulla stessa parete si affacciano le sei finestre che permettono l'areazione della parte sotterranea.

---

<sup>7</sup> Nella parete nord-ovest in cui è presente l'accesso all'ambiente interrato si trova la porta che univa la chiesa al Palazzo e che ora è l'accesso alla Cappella. Dopo la demolizione del Palazzo, terminata circa negli anni Trenta dell'Ottocento, la porta è rimasta aperta fino alla fine del secolo; successivamente chiusa fu riaperta solamente nel 1999 con la creazione di un nuovo accesso attraverso un Corpo Tecnico Attrezzato per il controllo microclimatico interno (C.T.A.).



Fig. 5.19. La ripresa fotografica, realizzata il 20 novembre 2014, riporta il prospetto nord-ovest della Cappella. (Si veda cono visivo n.2 tav. 4.03).



Fig. 5.20. La ripresa fotografica, realizzata il 20 novembre 2014, riporta il prospetto sud-est della Cappella. (Si veda cono visivo n.5 tav. 4.03).



Fig. 5.21. La ripresa fotografica, realizzata il 20 novembre 2014, riporta il prospetto nord-est della Cappella. (Si veda come visivo n.3 tav. 4.03).



Fig. 5.22. La ripresa fotografica, realizzata il 20 novembre 2014, riporta il prospetto nord-est della Cappella. (Si veda come visivo n.4 tav. 4.03).

Per quanto riguarda il rilievo fotografico dell'interno dell'edificio, si è deciso di dividerlo in base a tre diversi livelli di pianta: quello a -2 m della cripta, quello a +7 m di navata presbiterio abside loggia e quello a circa +11,6 m, livello del sottotetto.

### 5.3.2 La cripta

Le immagini che riguardano la cripta sono state riprese in una giornata in cui il livello d'acqua nel sotterraneo era piuttosto elevato ed erano quindi presenti delle passerelle che permettevano il passaggio. Nelle immagini sottostanti vengono raffigurati principalmente i setti murari (Fig. 5.24) e le travi in legno cave contenenti tre catene metalliche. Nella Fig. 5.23 si può notare anche la nicchia presente sul fronte sud-ovest (quindi sottostante la facciata) contenente dei fori che sembrerebbero, secondo alcuni storici, essere le tracce di antiche tubazioni romane. Si possono infine osservare la volta stellata a copertura della cripta e le tracce degli affreschi che una volta ornavano anche le pareti.



Fig. 5.23. La ripresa fotografica, realizzata il 20 novembre 2014, raffigura la nicchia della parete sud-ovest con gli annessi fori e le tracce degli affreschi (Si veda cono visivo n.7 tav. 4.01).



Fig. 5.24. La ripresa fotografica, realizzata il 20 novembre 2014, raffigura la serie di setti murari ed una delle travi cave contenente una catena (Si veda cono visivo n.6 tav. 4.01).

### 5.3.3 La navata, presbiterio e abside, la loggia

Per quanto riguarda il rilievo fotografico dei piani superiori e nello specifico quello della navata affrescata da Giotto, si è deciso di fornire di seguito solo delle viste generali, in quanto la trattazione sarà maggiormente dettagliata nelle tavole allegato. Nella Fig. 5.25 si può notare la vista che ritrae la navata ed i relativi affreschi, catene a vista e la volta stellata; nello specifico si può osservare il *Giudizio Universale* dipinto sulla controfacciata della navata. Nella Fig. 5.26 si possono invece osservare gli affreschi che ricoprono interamente le pareti e la volta a botte della loggia.



Fig. 5.25. La ripresa fotografica, realizzata il 20 novembre 2014, offre una vista sulla navata. Sul fondo si può notare il *Giudizio Universale* (Si veda cono visivo n.1 tav. 4.05).



Fig. 5.26. La ripresa fotografica, realizzata il 20 novembre 2014, offre una vista della parete di fondo della loggia e della sua volta (Si veda cono visivo n.5 tav. 4.05).

### 5.3.4 Il sottotetto

Le uniche pareti interne non coperte dagli affreschi sono quelle presenti nel sottotetto ed è così possibile osservare la tessitura della muratura e tutte le problematiche presenti. Nella Fig. 5.27 è possibile osservare le capriate metalliche soprastanti la volta

della navata, si può vedere dall'immagine come sia presente una passerella in legno sospesa al di sopra della volta in modo da non calpestarla, poiché viene utilizzata dagli addetti al controllo delle strutture e del sistema di monitoraggio.



Fig. 5.27. La ripresa fotografica, realizzata il 15 ottobre 2014, offre una vista della serie di capriate presenti nel sottotetto soprastante la volta della navata. (Si veda cono visivo n.1 tav. 4.07).

Per quanto riguarda invece i locali presenti al di sopra del presbiterio, sono costituiti da due ambienti separati da un arco in mattoni pieni trattenuto da una catena (Fig. 5.28). Entrambi i locali presentano altrettante passerelle in legno, aventi la stessa funzione di quelle del sottotetto della navata, poiché al di sotto è presente la volta a crociera del presbiterio. Infine nella Fig. 5.29, è possibile individuare l'accesso al locale della torretta soprastante l'abside, i tiranti in acciaio ed i travetti in calcestruzzo a vista della copertura e, sulla parete di fondo, le tracce delle vecchie travi in legno che costituivano il coperto del locale prima degli interventi e alcune antiche canalette di scolo delle acque piovane. Dall'immagine si può inoltre notare come le murature dei suddetti locali siano piuttosto degradate.



Fig. 5.28. La fotografia, realizzata il 26 gennaio 2015, illustra l'arco in muratura che separa i due locali soprastanti la volta del presbiterio, è possibile osservare anche la relativa catena. (Si veda cono visivo n.2 tav. 4.07).



Fig. 5.29. La fotografia, realizzata il 26 gennaio 2015, mostra il maggiore tra i due locali soprastanti il presbiterio. Sul fondo si può vedere anche l'accesso al locale della torretta dell'abside. (Si veda cono visivo n.3 tav. 4.07).

La torretta soprastante l'abside presenta due finestre completamente tamponate, due parzialmente ed un'altra chiusa solamente da un battente in legno piuttosto degradato. Tramite una scala a pioli è possibile accedere da questo locale al tetto, passando attraverso una delle due finestre non tamponate (Fig. 5.30).

Infine è presente un locale-sottotetto al di

sopra della loggia: è difficilmente raggiungibile visto il precario accesso al di sopra della botola della loggia ma si possono comunque osservare la struttura dei solai ed i tiranti presenti. Un'altra importante osservazione da riferire a proposito di questo locale è la presenza di decorazioni uguali a quelle presenti all'esterno dell'edificio: è quindi questa un'ulteriore conferma della differente fase costruttiva della loggia rispetto ai locali adiacenti.



Fig. 5.30. La ripresa fotografica, realizzata il 26 gennaio 2015, mostra la facciata interna tra torretta e locale soprastante il presbiterio. Si può notare la scala di accesso al tetto e la relativa finestra non tamponata. (Si veda cono visivo n.5 tav. 4.07).



Fig. 5.31. La ripresa fotografica, realizzata il 26 gennaio 2015, mostra il sottotetto della loggia. Si possono osservare le strutture dei solai ed i relativi tiranti. (Si veda cono visivo n.4 tav. 4.07).



Fig. 5.32. La ripresa fotografica, realizzata il 26 gennaio 2015, mostra le decorazioni presenti nel sottotetto della loggia, del tutto uguali a quelle presenti all'esterno dell'edificio. Si può anche notare il capo chiave della catena presente nel sottotetto del locale soprastante il presbiterio. (Si veda cono visivo n.23 tav. 4.08).

**APPENDICE E. ANFITEATRO PATAVINO: “PLANIMETRIA DEGLI SCAVI  
ESEGUITI DALL’ANNO 1880 AL 1907”**

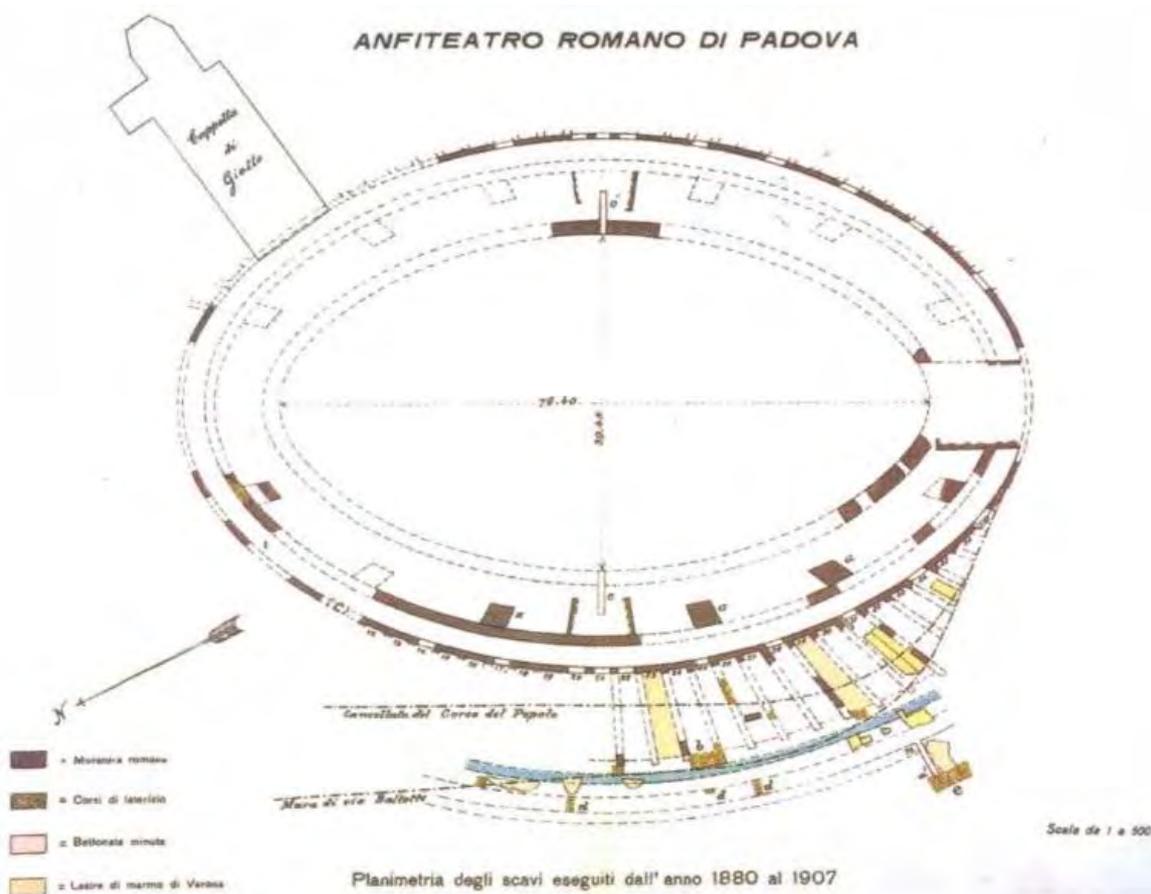


Fig. F.1. B. BONETTI, *Studi intorno l'Anfiteatro Romano di Padova*, in «Atti e memorie delle Regia Accademia di Scienze, Lettere ed Arti in Padova», XXXII, Dispensa IV degli *Atti e memorie*, tav. I, 1916.

La planimetria dell’Arena eseguita in seguito ai lavori di scavo effettuati dall’anno 1880 al 1907, è riportata nel volume di Girolamo Zampieri<sup>1</sup> e nella relazione al comune di Padova di Vittorio Illiceto<sup>2</sup>, accompagnata dalla descrizione qui riportata.

«L’Arena è orientata, secondo il suo asse maggiore, in direzione nord-est/sud-ovest, e misurava, secondo le ricostruzioni di Brunelli Bonetti, all’esterno m 134,26 x 97,31 e 1all’interno m 76,40 x 39,45, formando un’ellissi leggermente schiacciata,

<sup>1</sup> ZAMPIERI, *La Cappella*, cit., p. IV.

<sup>2</sup> ILICETO, *Studio del sottosuolo*, cit., pp. 11.

accorgimento che garantiva una migliore visuale agli spettatori degli ordini privilegiati e che aumentava lo spazio dell'Arena nel senso della lunghezza.

Per quanto riguarda la compressione della struttura dell'anfiteatro, è utile fare riferimento alla planimetria complessiva degli scavi dal 1880 al 1907 del Brunelli Bonetti. Partendo dall'interno dell'anfiteatro e proseguendo verso l'esterno, si possono individuare *cinque muri ellittici: A, B, C, D, E.*

*Il primo muro A* attualmente non è più visibile, ma è solamente intuibile dall'andamento del terreno. Esso apparteneva al podio e lo delimitava lungo il perimetro tranne che in corrispondenza degli ingressi principali sull'asse maggiore.

*Il muro seguente, B,* ancora oggi visibile a tratti, formava con il muro C l'appoggio della volta dell'ambulacro che fungeva da sostegno alla cavea, ad una distanza dal muro C di 2,50 m.

*Il muro C,* ancora oggi in elevato per circa 2/3 dell'ellisse, anche se notevolmente modificato dai tamponamenti medievali e dagli interventi successivi, è conservato per un'altezza media di oltre 4,5 m.

Al di sotto dei muri C e B, ad una profondità di 1,67 m dal corso di mattoni, vi è una platea di costruzione M, costituita da pezzame di pietre e laterizi cementati, larga circa 4,5 m e profonda 3,5 m.

All'esterno del muro C, e impostati su di esso, si dipartono i *muri radiali*, larghi 0,90 m. Essi terminano ad una distanza di 10,55 m da C, dove si trovano tre corsi di laterizio che dovevano supportare il *muro D*, il muro di testa dei radiali. A 2,70 m da questo limite vi sono altri tre corsi di laterizio, segno della presenza di una *serie di pilastri di facciata, E.*

Al di sotto di C ed E vi è un'estesa massicciata M', da mettere in relazione con quella al di sotto di B e C; si tratta di una robusta costruzione che doveva garantire, soprattutto data la breve distanza dall'alveo del *Meduacus*, un adeguato costipamento del terreno e di conseguenza maggiore solidità per il sostegno degli alzati e degli ordini più alti della cavea. Nel corpo di tale massicciata vi è un *cunicolo voltato*, largo 1,20 m e alto 1,50 m, in mattoni romani. Il Brunelli Bonetti, seguito anche dagli studiosi moderni, interpreta lo spazio compreso tra D e E come l'ambulacro più esterno dell'anfiteatro,

cui era legato, al di sotto, per lo smaltimento delle acque, il cunicolo, che seguiva l'andamento dell'ellisse; l'ambulacro doveva aprirsi sul perimetro più esterno di facciata con una serie di 80 arcate [...].

Infine è il caso di segnalare la conservazione per alcuni tratti, come ad esempio al di sotto dell'odierno Corso del Popolo, della galleria perimetrale che correva parallelamente al muro D. Questa galleria di medie dimensioni, circa 1,50 m di altezza e un metro di larghezza, è posizionata appena sotto il pavimento del colonnato esterno (muro E) e, con molta probabilità, fungeva da scolo dell'anfiteatro»<sup>3</sup>.

---

<sup>3</sup> ILICETO, *Studio del sottosuolo*, cit., pp. 11-13.



## 6. RILIEVO COSTRUTTIVO STRUTTURALE

Nel processo di conoscenza dell'edificio, la comprensione della sua struttura gioca un ruolo fondamentale, soprattutto in relazione al prezioso valore del ciclo di affreschi che in questo caso essa contiene. L'identificazione dei materiali e degli elementi strutturali di cui essa si compone sono poi fondamentali per identificare i comportamenti meccanici, sia globali che locali, che la caratterizzano.

La struttura è formata da pareti in muratura portante, mentre gli orizzontamenti principalmente da volte in mattoni pieni e solai misti in laterizio e cemento. Lo studio delle fonti, sia antiche che contemporanee, insieme all'osservazione diretta, ha permesso la costituzione di un rilievo strutturale completo, fatta eccezione per pochi elementi che saranno in seguito indicati.

### 6.1. UNITA' STRUTTURALI

Come si evince dal capitolo 2<sup>1</sup> è noto che la costruzione attuale, non sia quella originaria del 1300: è infatti risalente a quegli anni solo la navata, mentre è postuma la costruzione di presbiterio, abside, sacrestia, loggia e torretta. L'edificio non fa parte di un complesso di aggregati edilizi, è infatti isolato rispetto ad altre costruzioni, fatta eccezione per la presenza dell'Arena romana, sui cui muri la Cappella è stata costruita (Fig. 6.1).

Le Norme Tecniche per le Costruzioni<sup>2</sup> (NTC) presentano lo studio delle Unità Strutturali (US) come fase necessaria per l'analisi di un edificio facente parte di un aggregato edilizio, in



Fig. 6.1. La fotografica, effettuata il 20 novembre 2014, dimostra la stretta relazione tra Cappella e Arena.

<sup>1</sup> Capitolo 2. Analisi storica.

<sup>2</sup> Norme tecniche per le costruzioni, Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008.

particolare modo in relazione al comportamento sismico. Le NTC forniscono una definizione di Unità Strutturale: «L'US dovrà avere continuità da cielo a terra per quanto riguarda il flusso dei carichi verticali e, di norma, sarà delimitata o da spazi aperti, o da giunti strutturali, o da edifici contigui strutturalmente ma, almeno tipologicamente, diversi. Oltre a quanto normalmente previsto per gli edifici non disposti in aggregato, dovranno essere valutati gli effetti di: spinte non contrastate causate da orizzontamenti sfalsati di quota sulle pareti in comune con le US adiacenti, meccanismi locali derivanti da prospetti non allineati, US adiacenti di differente altezza»<sup>3</sup>.

Per quanto riguarda l'edificio in questione si possono identificare tre diverse unità strutturali, in seguito sia all'osservazione diretta, sia in base allo studio delle fasi costruttive storiche e del rilievo architettonico (Fig. 6.2).

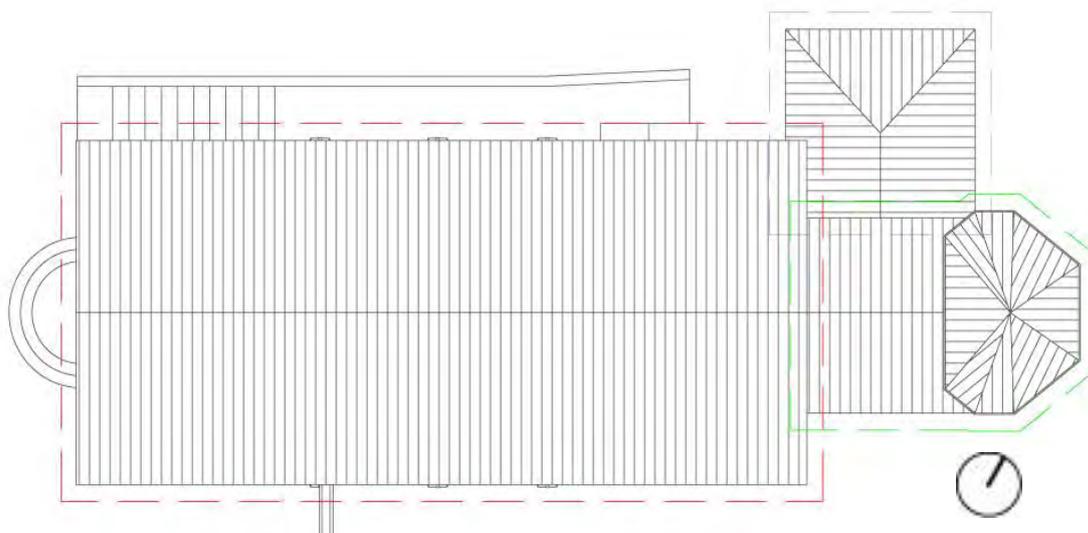


Fig. 6.2. Pianta delle coperture che illustra la composizione delle Unità Strutturali, si veda la tav. 6.01 presente nel book di tavole allegato.

L'unità strutturale n.1 corrisponde al corpo originario, ovvero quello della navata. Per l'individuazione delle altre due US si è fatto principalmente uso delle sezioni architettoniche e delle notizie storiche: come detto in precedenza, la sacrestia ed il presbiterio con l'abside sono stati costruiti successivamente alla navata, e lo si può

---

<sup>3</sup> Capitolo 8.7.1 "Costruzioni in muratura", NTC 2008.

notare anche da uno sfalsamento dei solai in sezione (Fig. 6.3) o da una semplice osservazione diretta (Fig. 6.4).

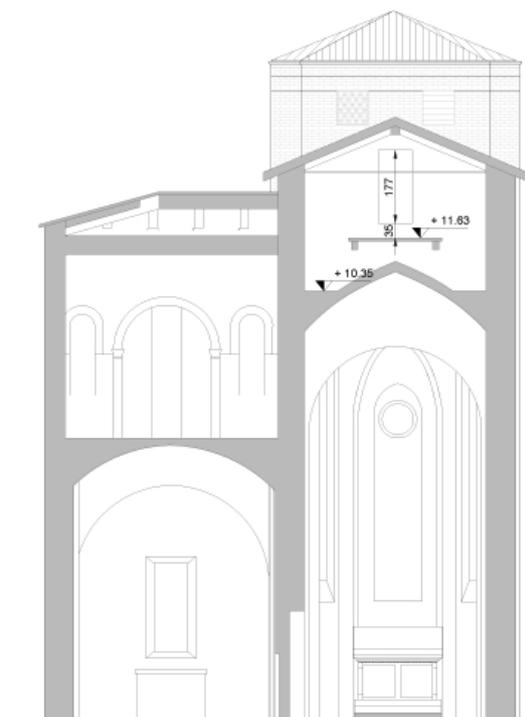


Fig. 6.3. Si veda la tav. 3.15 presente nel book di tavole allegato, sezione GG: si può notare come esista uno sfalsamento dei solai tra la navata (a destra) e la sacrestia/loggia (a sinistra).



Fig. 6.4. Intercapedine presente tra il muro della sacrestia e quello del presbiterio che sembrerebbe sostenere l'ipotesi di due diverse unità strutturali, ripresa fotografica eseguita il 20 novembre 2014.

L'ipotesi di suddivisione delle US dovrà essere confermata da indagini in sito più approfondite che consentano di verificare la presenza di giunti e discontinuità strutturali.

## 6.2. RILIEVO DELLE TIPOLOGIE MURARIE<sup>4</sup>

### 6.2.1 Identificazione delle tipologie murarie

Tutte le pareti sono costituite da una struttura portante in mattoni pieni; la differenziazione tra questi si può effettuare su una base cronologica, ovvero i mattoni pieni della navata sono quelli risalenti alla costruzione originaria del 1300 mentre quelli di presbiterio, abside e sacrestia sono classificabili come di anni successivi, anche se non si conosce la precisa datazione. Anche le strutture della cripta sono costituite da

<sup>4</sup> Si vedano le tav. 6.02 - 6.04 presenti nel book allegato.

## PARTE II. ANALISI DELLO STATO DI FATTO

### Rilievo costruttivo strutturale

---

mattoni pieni; sono inoltre presenti setti murari, anch'essi costituiti da mattoni pieni, facenti parte delle opere provvisorie realizzate per proteggere la Cappella nel 1940 in vista della guerra.



Fig. 6.5. Parete sud-ovest interna della cripta. Al di sotto degli affreschi altamente degradati che una volta ricoprivano interamente le pareti, si può notare la tessitura muraria costituita da mattoni pieni, fotografia eseguita il 20 novembre 2014.

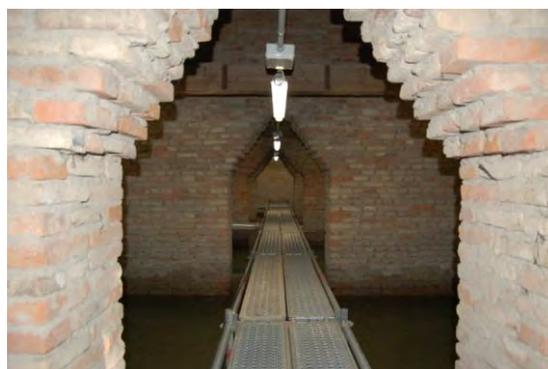


Fig. 6.6. Vista interna alla cripta. Si possono notare le serie di setti murari in mattoni pieni costruiti nel 1940, ripresa fotografica effettuata il 20 novembre 2014.

Sono presenti diversi tamponamenti visibili ad occhio nudo: la porta tamponata sul prospetto di sud-est, quello presente al centro dell'arco trionfale, tre finestre tamponate sul lato nord-est della loggia e nella sopraelevazione della torretta dell'abside. (Figg. 6.7-6.8).



Fig. 6.7. Vista del prospetto sud-est, ripresa fotografica effettuata il 20 novembre 2014. La porta tamponata è ben visibile in quanto incorniciata da pietra bianca.



Fig. 6.8. Vista del prospetto nord-est, ripresa fotografica effettuata il 20 novembre 2014. Sono ben visibili le finestre tamponate in quanto intonacate con colore bianco.

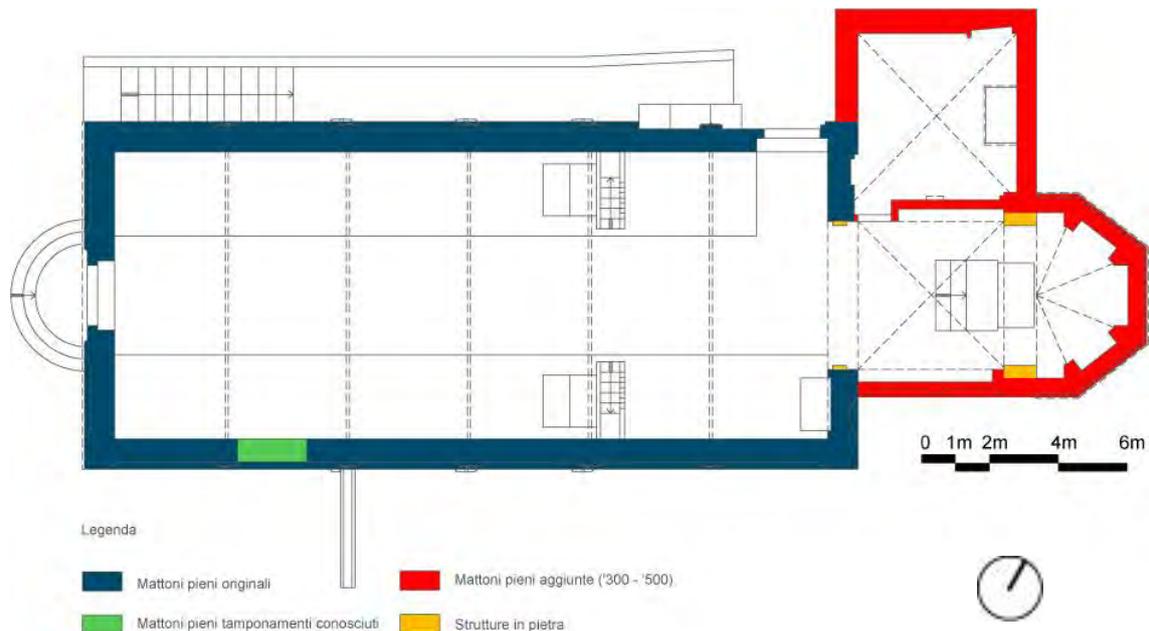


Fig. 6.9. Rilievo delle tipologie murarie, pianta (1m), si veda tav. 5.03 presente nel book allegato.

È invece un'ipotesi quella dell'esistenza di tamponamenti nelle pareti oblique dell'abside. Infine la storia della Cappella riporta come dovrebbero essere presenti nelle pareti della navata altre finestre tamponate non visibili ad occhio nudo: queste sembrerebbero essere state chiuse per offrire a Giotto una superficie da affrescare di maggiori dimensioni<sup>5</sup>. Tali ipotesi possono essere confermate previa indagini termografiche in grado di individuare, attraverso la lettura delle differenti capacità di assorbimento del calore dei diversi materiali, eventuali discontinuità nella tessitura muraria. Sono inoltre presenti due archi monumentali affrescati, ipotizzati in pietra, che dividono rispettivamente la navata dal presbiterio ed il presbiterio dall'abside<sup>6</sup>.

### 6.2.2 Valutazione della qualità muraria

Nell'edificio è stato possibile valutare la qualità della muratura e l'ingranamento in modo diretto nei punti in cui la struttura muraria si trova "a vista", questo avviene nella cripta e nell'accessibile sottotetto mentre nella navata affrescata non è possibile fornire questo tipo di valutazione in quanto interamente affrescata. L'osservazione

<sup>5</sup> Si veda cap. 2. Analisi storica, p. 5.

<sup>6</sup> Anche qui sarebbero auspicabili indagini non distruttive al fine di identificare se gli archi siano interamente o solo in parte realizzati in pietra.

## PARTE II. ANALISI DELLO STATO DI FATTO

### Rilievo costruttivo strutturale

visiva in sito ha permesso di compilare la “*Scheda di I livello per il rilievo della tipologia e della qualità della muratura*”<sup>7</sup> basandosi sulle relative linee guida<sup>8</sup>.

L’analisi, riferita ad una porzione di 1m x 1m di paramento murario e alla sua sezione, consiste nell’assegnazione di punteggi che rappresentano il grado di rispetto dei parametri della regola dell’arte e della direzione dell’azione sollecitante: azioni verticali, ortogonali e orizzontali complanari. I parametri della regola dell’arte valutati sono: orizzontalità dei filari, sfalsamento dei giunti verticali, regolarità degli elementi resistenti, dimensione degli elementi resistenti, qualità della malta, presenza di zeppe, presenza di diatoni. Sommando i punteggi si identifica l’Indice di Qualità (IQ) in grado di classificare numericamente la qualità della muratura.

	CATEGORIA		
	C	B	A
AZIONI VERTICALI	$0 \leq IQ < 3$	$3 \leq IQ < 5,5$	$5,5 \leq IQ < 11$
AZIONI ORTOGONALI	$0 \leq IQ \leq 4,5$	$4,5 < IQ < 7,5$	$7,5 \leq IQ \leq 11$
AZIONI ORIZZONTALI COMPLANARI	$0 \leq IQ \leq 3,5$	$3,5 < IQ < 5,5$	$5,5 \leq IQ < 11$

Tab. 6.1. Scheda di valutazione della qualità muraria.

Oltre alla qualità della muratura, la scheda permette di valutare i legami di adesione e coesione stimando l’ingranamento grazie alla Lunghezza di Minimo Tracciato (LMT). La LMT è la misura della lunghezza dei tracciati e a questa è assegnato un livello di ingranamento: minore è tale valore, maggiore è la vulnerabilità.

LMT	INGRANAMENTO	LIVELLO VULNERABILITA’
100-115 CM (1,1,15)	BASSISSIMO	LIV 1- VULNERABILITA’ ELEVATA
116-130 CM (1,16 – 1,30)	BASSO	LIV 2 – VULNERABILITA’ ACCENTUATA
131-145 CM (1,31 – 1,45)	MEDIO	LIV 3 – VULNERABILITA’ MEDIA
145-160 CM (1,45 – 1,60)	ELEVATO	LIV 4 – VULNERABILITA’ LIMITATA
OLTRE 161 CM (oltre 1,61)	ELEVATISSIMO	LIV 5 – VULNERABILITA’ BASSA

Tab. 6.2. Tabella rappresentante i diversi gradi di ingranamento e quindi livelli di vulnerabilità in relazione all’LMT ottenuto nei paramenti.

LMT	INGRANAMENTO	LIVELLO VULNERABILITA’
100-110 CM	BASSISSIMO	LIV 1- VULNERABILITA’ ELEVATA
111-120 CM	BASSO	LIV 2 – VULNERABILITA’ ACCENTUATA
121-130 CM	MEDIO	LIV 3 – VULNERABILITA’ MEDIA
131-140 CM	ELEVATO	LIV 4 – VULNERABILITA’ LIMITATA
OLTRE 141 CM	ELEVATISSIMO	LIV 5 – VULNERABILITA’ BASSA

Tab. 6.3. Tabella rappresentante i diversi gradi di ingranamento e quindi livelli di vulnerabilità in relazione all’LMT ottenuto nelle sezioni.

<sup>7</sup> Si veda allegato I. Scheda di I livello per il rilievo della tipologia e della qualità della muratura.

<sup>8</sup> L. Binda, A. Borri, G. Cardani, F. Doglioni, *Scheda qualità muraria: relazione finale e linee guida per la compilazione della scheda di valutazione della qualità muraria*, Progetto di ricerca: valutazione e riduzione della vulnerabilità degli edifici in muratura, Marzo 2009.

Infine è possibile attribuire la tipologia di appartenenza della muratura con le sue caratteristiche morfologiche riferendosi alla 11 D1<sup>9</sup>.

La qualità della muratura è stata valutata per:

- a. Contrafforti isolati, cripta
- b. Setti trasversali, cripta
- c. Muratura d'ambito, cripta
- d. Parete dell'arcone, sottotetto
- e. Parete con accesso alla torretta, sottotetto
- f. Parete presbiterio – loggia, sottotetto

Vengono in seguito riportati in tabella gli esiti della valutazione sulla qualità della muratura, previa localizzazione all'interno dell'edificio dei paramenti oggetto di studio.

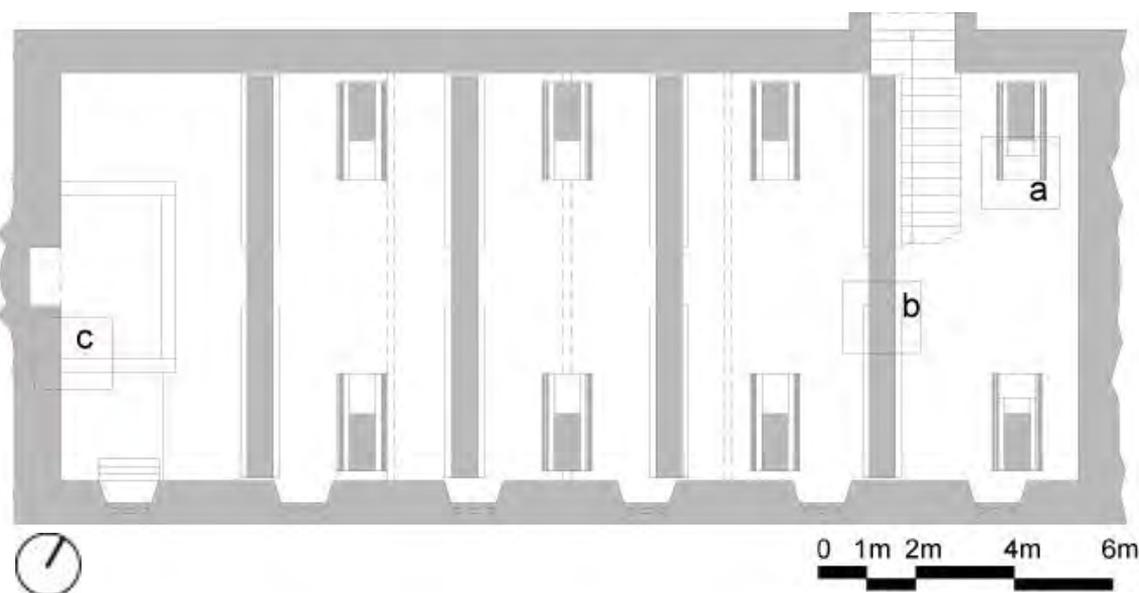
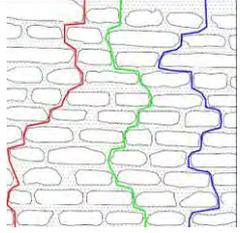
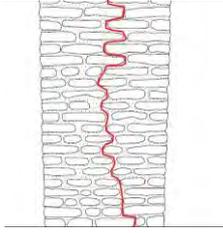
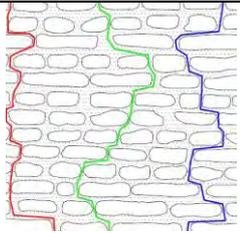
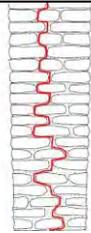


Fig. 6.10. Localizzazione dei paramenti esaminati all'interno della cripta.

<sup>9</sup> Allegato 11D dell'OPCM 3431/05 *Tipologie e relativi parametri meccanici della muratura*, NTC 2008.

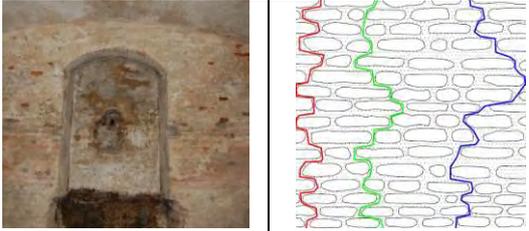
a. Contrafforti isolati			
Paramento		Sezione	
			
Valore di LMT	1,45	Valore di LMT	161
Ingranamento	elevato	Ingranamento	elevatissimo
Liv. di vulnerabilità	Liv 4 - limitata	Liv. di vulnerabilità	Liv 5 - bassa
I.Q. <sup>10</sup>	9 – 9,5 - 9		
Categoria	A		

Tab. 6.4. Valutazioni in merito alla qualità della muratura del paramento a.

b. Setti trasversali			
Paramento		Sezione	
			
Valore di LMT	1,52	Valore di LMT	183
Ingranamento	elevato	Ingranamento	elevatissimo
Liv. di vulnerabilità	Liv 4 - limitata	Liv. di vulnerabilità	Liv 5 - bassa
I.Q.	9 – 9,5 - 9		
Categoria	A		

Tab. 6.5. Valutazioni in merito alla qualità della muratura del paramento b.

<sup>10</sup> Indice di qualità riferito nell'ordine ad azioni verticali, azioni ortogonali e azioni complanari orizzontali.

c. Muratura d'ambito			
Paramento			
	Valore di LMT	176	
	Ingranamento	elevatissimo	
	Liv. di vulnerabilità	Liv 5 - bassa	
I.Q.	5,5 - 5 - 5		
Categoria	A: punteggi falsati in quanto valutando solo il paramento i parametri relativi alla sezione verranno valutati pari a 0, non ad indicare un giudizio negativo ma in quanto ne manca la conoscenza		

Tab. 6.6. Valutazioni in merito alla qualità della muratura del paramento c.

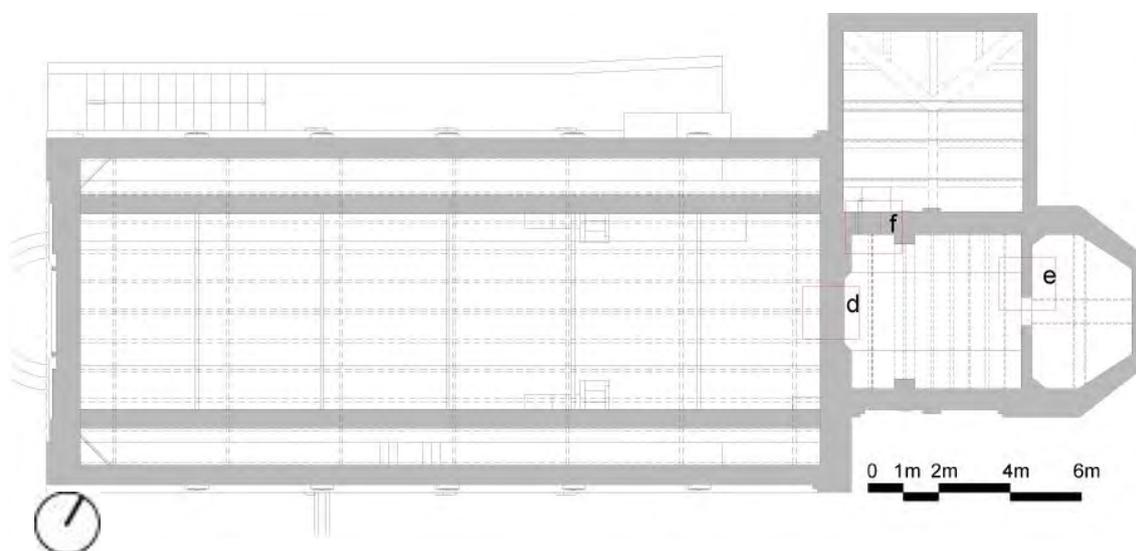
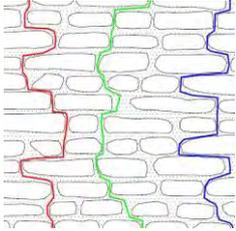
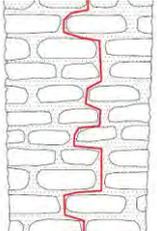
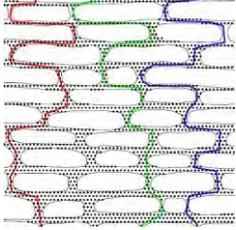


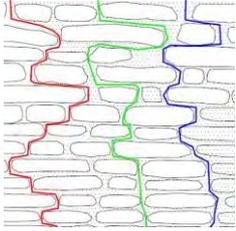
Fig. 6.11. Localizzazione dei paramenti esaminati all'interno del sottotetto.

<b>d. Parete dell'arco</b>			
Paramento		Sezione	
			
Valore di LMT	1,70	Valore di LMT	171
Ingranamento	elevatissimo	Ingranamento	elevatissimo
Liv. di vulnerabilità	Liv 5 - bassa	Liv. di vulnerabilità	Liv 5 - bassa
I.Q.	7,5 – 7,5 – 6,5		
Categoria	A		

Tab. 6.7. Valutazioni in merito alla qualità della muratura del paramento d.

<b>e. Parete con accesso alla parete</b>			
Paramento			
		Valore di LMT	215
		Ingranamento	elevatissimo
		Liv. di vulnerabilità	Liv 5 - bassa
I.Q.	5 – 4,5 – 4,5		
Categoria	A: punteggi falsati in quanto viene valutato solo il paramento		

Tab. 6.8. Valutazioni in merito alla qualità della muratura del paramento e.

f. Parete presbiterio			
Paramento			
		Valore di LMT	192
		Ingranamento	elevatissimo
		Liv. di vulnerabilità	Liv 5 - bassa
I.Q.	4,5 – 5 - 5		
Categoria	A: punteggi falsati in quanto viene valutato solo il paramento		

Tab. 6.9. Valutazioni in merito alla qualità della muratura del paramento f.

In conclusione, l'indice di qualità attribuisce a tutte le murature oggetto di studio la categoria A e l'ingranamento risulta essere elevatissimo. La muratura è quindi di buona qualità, costituita da mattoni pieni e malta di calce.

Bisogna fare attenzione al fatto che questo tipo di analisi non valuta la presenza di lesioni, per questo motivo dichiara la muratura come di buona qualità nonostante la presenza di fessurazioni, in modo particolare in merito alle pareti degli ambienti soprastanti il presbiterio (Figg. 6.12 – 6.13).



Fig. 6.12. Parete del locale soprastante il presbiterio, fotografia del 26 gennaio 2015.



Fig. 6.13. Parete del locale soprastante il presbiterio, fotografia del 26 gennaio 2015.

### 6.3. RILIEVO DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI<sup>11</sup>

#### 6.3.1 Strutture portanti e non portanti

Non sono note le dimensioni ed il tipo di fondazioni, si è invece potuto verificare lo spessore delle murature portanti in mattoni della facciata e delle pareti laterali pari a 67cm<sup>12</sup>; lo spessore aumenta a 78 cm in corrispondenza delle cinque lesene esistenti sia sul prospetto sud-est che in quello di nord-ovest. Le uniche murature che si possono definire sicuramente come non portanti sono quelle dei setti murari presenti nella cripta: sono stati infatti appositamente progettati in modo che sia la volta soprastante che le murature laterali non vi si poggiassero in un normale stato d'esercizio, esiste infatti uno spazio tra le murature d'ambito ed i setti, mentre tra essi e la volta c'è un foglio di cartone catramato (Fig. 6.15 – 6.16). Sono presenti delle strutture in pietra, ovvero quelle dei due archi trionfali di accesso a presbiterio e abside, di cui non è possibile definirne le reali dimensioni in quanto interamente affrescate.

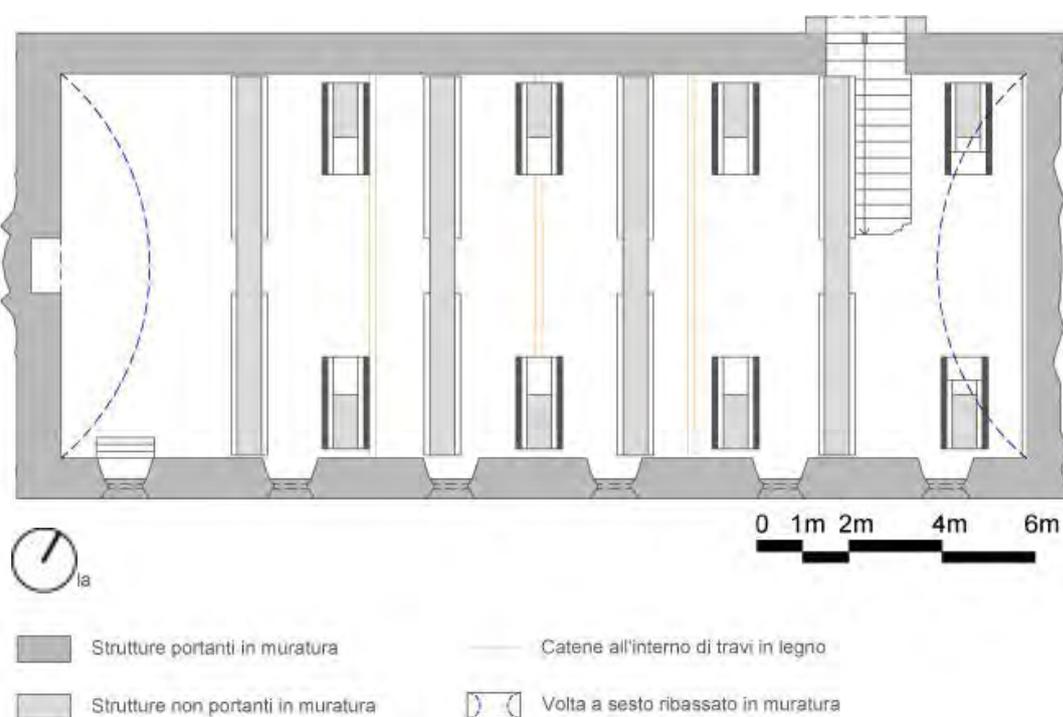


Fig. 6.14. Rilievo degli elementi strutturali, orizzontamento (-2m), si veda tav. 5.05 presente nel book allegato.

<sup>11</sup> Si vedano le tav. 6.05 - 6.08 presenti nel book allegato.

<sup>12</sup> Le dimensioni effettive si sono potute verificare durante i lavori di restauro compiuti negli anni Sessanta, in occasione dei quali è stato effettuato lo smontaggio dei mattoni nelle dirette vicinanze dei capochiave della catene che erano da ispezionare.



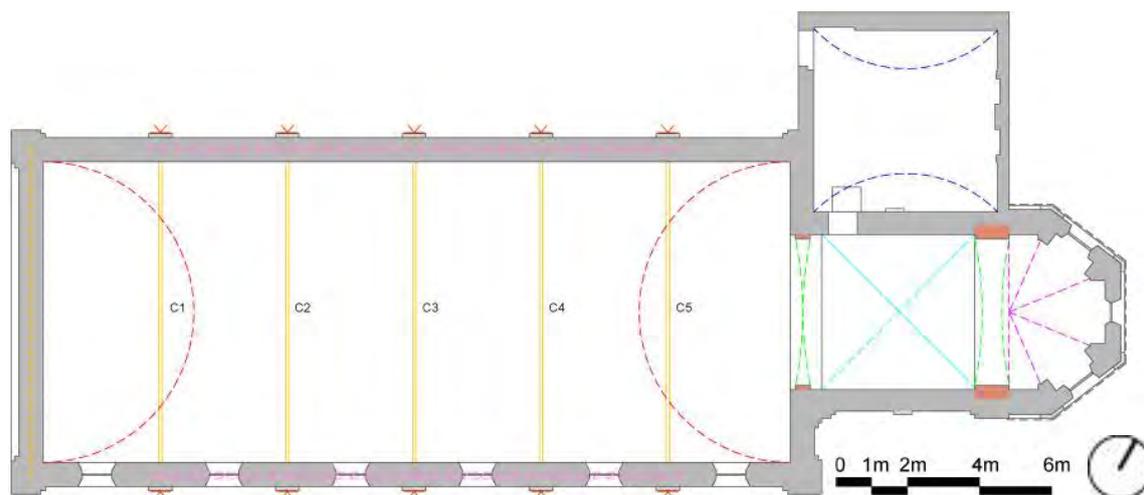
Fig. 6.15. Nella foto, realizzata il 26 gennaio 2015, di sinistra si può vedere come sia i setti che i contrafforti non poggino sulla muratura laterale.



Fig. 6.16. Nella foto, realizzata il 26 gennaio 2015, di destra si può vedere nel dettaglio come il setto non poggi né sulla muratura laterale della cripta, né come non sia a diretto contatto con la volta perché separato dal cartone catramato.

### 6.3.2 Volte, solai e coperture

Le principali strutture orizzontali sono costituite da volte in mattoni pieni. La volta a copertura della navata è a tutto sesto ed è trattenuta da cinque catene, mentre quella della cripta è a sesto ribassato; sono invece volte a crociera, sempre in mattoni pieni, quelle che chiudono il presbiterio (Fig. 6.18) e la sacrestia, mentre la copertura dell'abside è costituita da quattro archi rampanti a tutto sesto disposti a raggiera collegati da cinque piccole volte a vela in mattoni (Fig. 6.19). Per quanto riguarda il solaio della sacrestia, soprastante la volta a crociera, si tratta di una struttura mista di laterizio e c.a.



Legenda

Strutture portanti in muratura	Ancoraggi catene a vista	Volta a sesto ribassato in muratura
Strutture non portanti in muratura	Volta a tutto sesto in muratura	Banchina in rovere
Strutture portanti in pietra	Arco in pietra	
Catene in acciaio a vista	Volta a crociera in muratura	
Catene non a vista	Volta a vela in muratura	

Fig. 6.17. Rilievo degli elementi strutturali, orizzontamento (7m), si veda tav. 5.07 presente nel book allegato.



Fig. 6.18. Vista della volta a crociera soprastante il presbiterio, ripresa fotografia effettuata il 20 novembre 2014.

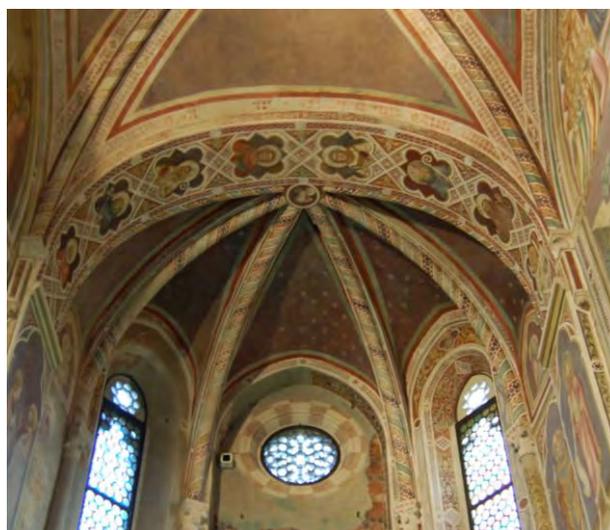


Fig. 6.19. Vista delle volte a vela soprastanti l'abside, ripresa fotografia effettuata il 20 novembre 2014.

Per quanto riguarda le coperture è noto come durante i lavori degli anni Sessanta sia stata sostituita l'originaria copertura in legno<sup>13</sup>: essa era costituita da puntoni in legno

<sup>13</sup> Si veda capitolo 3.9.1. I restauri; i lavori degli anni Sessanta; La sostituzione del tetto.

appoggiati per ciascuna falda in tre punti di cui due costituiti da elementi verticali in legno sostenuti dalla volta muraria (Figg. 6.20 - 6.21). Sopra i puntoni insistevano i morali in legno portanti a loro volta tavelle in cotto ricoperte da tegole. Si trattava quindi di una copertura spingente sui muri laterali che trasmetteva la maggior parte del peso alla sottostante volta muraria.

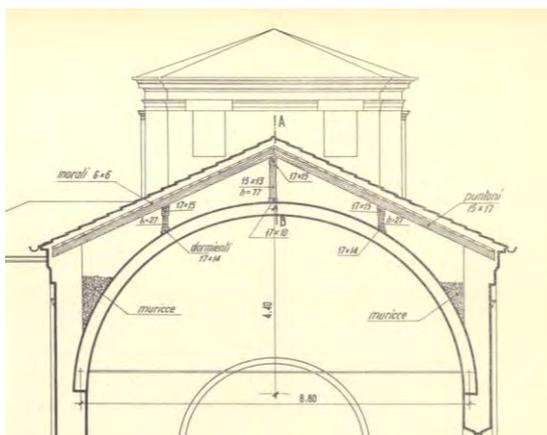


Fig. 6.20. Sezione che illustra la vecchia struttura di copertura in legno; si veda la tav. 2.15 del book allegato.



Fig. 6.21. Fotografia scattata durante i lavori degli anni Sessanta. Si può ancora vedere il vecchio coperto in legno prima che venisse smantellato. FABBRI COLABICH, PROSDOCIMI, SACCOMANI, *I recenti lavori*, cit., Fig. 21.

La nuova copertura, illustrata nella tavola di progetto in Fig. 6.22, è costituita da una capriata metallica di tipo inglese (Fig. 6.23), progettata in modo da poter conservare l'inclinazione di 26° dell'antica copertura e quindi anche la sua estetica; la catena, vista la poca altezza disponibile fra estradosso della volta e colmo del tetto, è formata da due aste inclinate sull'orizzontale. Le capriate sono in tutto sette e hanno una luce di 8,65 m con un interasse di 3,10 m, eccetto per le due di estremità aventi interasse di 0,90 m quella prossima alla facciata e 0,65 m in prossimità dell'arco trionfale. Al posto delle ormai deteriorate banchine in legno che sostenevano le estremità dei puntoni in legno è stato gettato un cordolo in cemento armato (Fig. 6.25) che fornisce l'appoggio alle capriate metalliche; per poter far sì che la componente verticale della reazione sia centrata, l'asse degli appoggi delle capriate coincide con l'asse dei muri sottostanti. Le aste sono costituite da sagomati in acciaio A<sub>q</sub> 42 UNI 743 collegate tra loro con piastre saldate (Fig. 6.24). I puntoni del contorno superiore sono di tipo a 2C composto formati con 2L 70x70x7 + 2L 50x50x5, la catena da 2L 70x70x7 mentre le rimanenti aste da 2L

40x40x4. Il manto di copertura in tavelloni di 100x25x6 cm si poggia su 10 terzere a I NP 10 poste ad interasse di 1m e collegate con bulloni e staffe saldate ai puntoni<sup>14</sup> (Fig. 6.26).

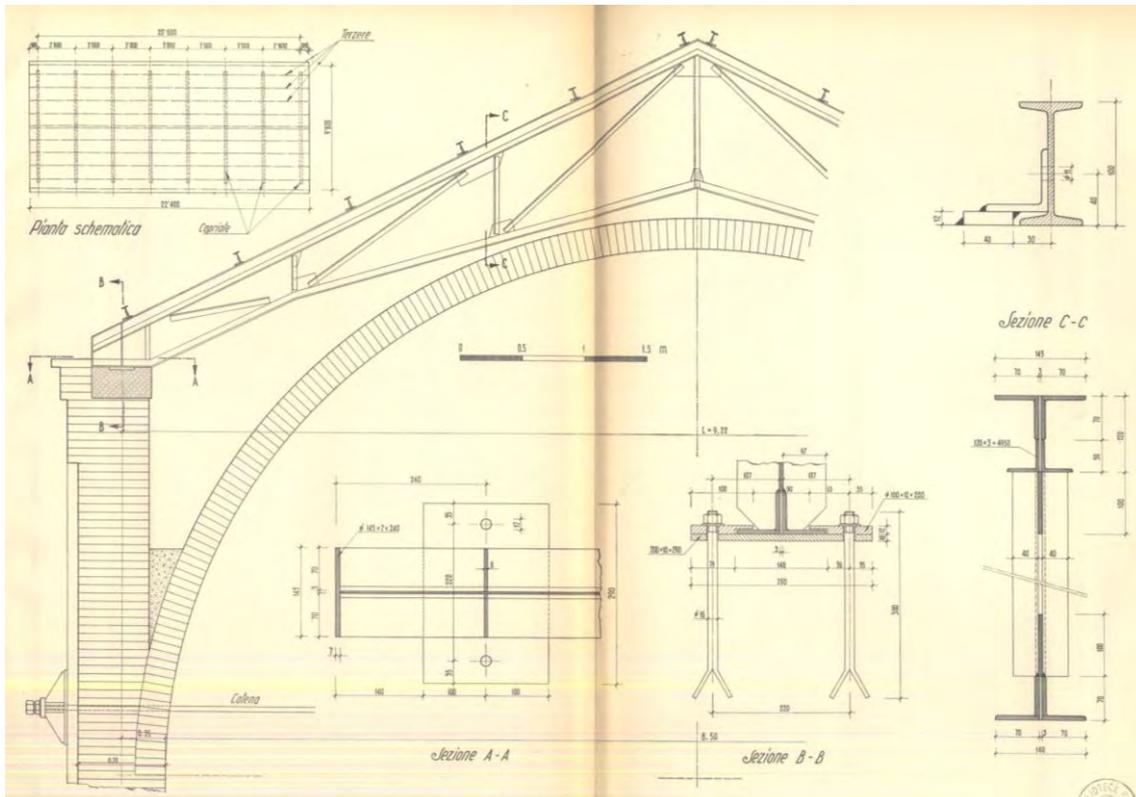


Fig. 6.22. Sezione che illustra il progetto della nuova copertura costituita da capriate in acciaio poggianti su un cordolo in c. a. e relativi dettagli; si veda la tav. 2.18 del book allegato.



Fig. 6.23. La fotografia, realizzata il 15 ottobre 2014, mostra una vista del sottotetto della navata in cui si possono vedere le capriate quasi completamente.



Fig. 6.24. La fotografia, realizzata il 15 ottobre 2014, mostra lo stato attuale delle capriate, le piastre saldate che collegano tra loro le aste. Si possono notare anche le terzere

<sup>14</sup> FABBRI COLABICH, PROSDOCIMI, SACCOMANI, *I recenti lavori*, cit., pp. 37-38.

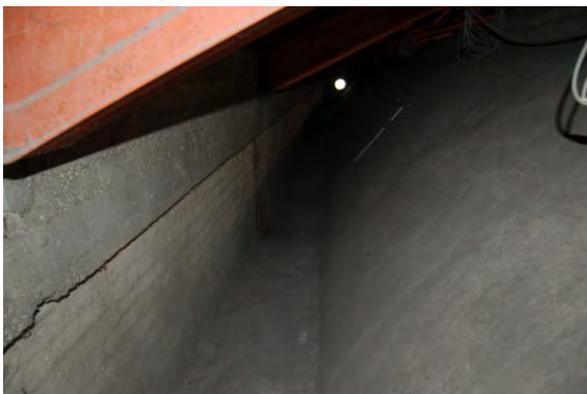


Fig. 6.25. La fotografia, realizzata il 15 ottobre 2014, mostra il cordolo su cui si poggia la serie di capriate. Sulla destra si può notare una parte della volta.



Fig. 6.26. La fotografia, realizzata il 15 ottobre 2014, mostra il collegamento tramite bulloni tra le terzere e i puntoni. Il manto di copertura in tavelloni è posto al di sopra delle terzere.

Per quanto riguarda invece la copertura del locale soprastante il presbiterio, è a due falde con sei travetti e trave di colmo in calcestruzzo, manto di copertura in tavelloni.

Le coperture di loggia e presbiterio sono a due falde con travetti in calcestruzzo, mentre la torretta dell'abside è chiusa da un tetto ottagonale.



Fig. 6.27 - 6.28. Le fotografie, realizzate il 15 ottobre 2014, mostrano la copertura del presbiterio: si possono vedere i travetti in calcestruzzo, la relativa trave di colmo ed i tavelloni che formano il manto di copertura.

Il tetto della loggia è invece a tre falde, costituito da tre travi in calcestruzzo ed undici travetti dello stesso materiale, con manto di copertura sempre in tavelloni. Nella Fig. 6.29 si possono vedere i travetti della falda esposta a nord-est, mentre nella Fig. 6.30 si vedono le due travi diagonali ed i travetti della falda esposta a nord. Si può inoltre notare come si possa anche osservare il solaio soprastante la volta della loggia.



Fig. 6.29. La fotografia, realizzata il 26 gennaio 2015, mostra la struttura del sottotetto della loggia. La ripresa è stata effettuata dalla botola presente al di sopra dell'apertura della volta della loggia.



Fig. 6.30. La fotografia, realizzata il 26 gennaio 2015, mostra la struttura del sottotetto della loggia. La ripresa è stata effettuata dalla botola presente al di sopra dell'apertura della volta della loggia.

### 6.3.3 Catene e tiranti

La posizione di catene e tiranti all'interno dell'edificio si può classificare in quattro macroaree: la cripta, la facciata, la navata ed i sottotetti.

Le catene presenti nella cripta (Figg. 6.31 - 6.32) sono tre e sono inserite all'interno di altrettante travi in legno che non hanno nessuna funzione statica ma semplicemente estetica<sup>15</sup>.



Fig. 6.31. La ripresa fotografica del 15 ottobre 2014 mostra la trave in legno che in questo caso attraversa uno dei setti murari presenti nella cripta.



Fig. 6.32. La fotografia del 15 ottobre 2014 mostra i tre capochiave presenti all'esterno del prospetto di nord-ovest.

Per quanto riguarda le catene della facciata, queste non sono visibili, e nemmeno i loro capochiave, poiché inserite all'interno dello spessore della muratura in occasione dei lavori eseguiti dal Comune di Padova nel 1957. L'inserimento è avvenuto per poter

<sup>15</sup> Il fatto che le catene siano state "rivestite" e quindi coperte dalle travi in legno per ragioni estetiche potrebbe essere di supporto all'ipotesi che la cripta venisse usata con funzioni che non fossero solo di stoccaggio di materiali.

impedire o limitare il proseguimento delle lesioni in facciata: vennero quindi messe in opera tre catene metalliche nella zona compresa tra l'architrave della porta d'ingresso e la base della trifora; le murature vennero tagliate per interi corsi di mattoni per poter inserire le catene, a lavori conclusi i vani praticati in facciata vennero colmati con l'uso dei vecchi mattoni (Fig. 6.33).

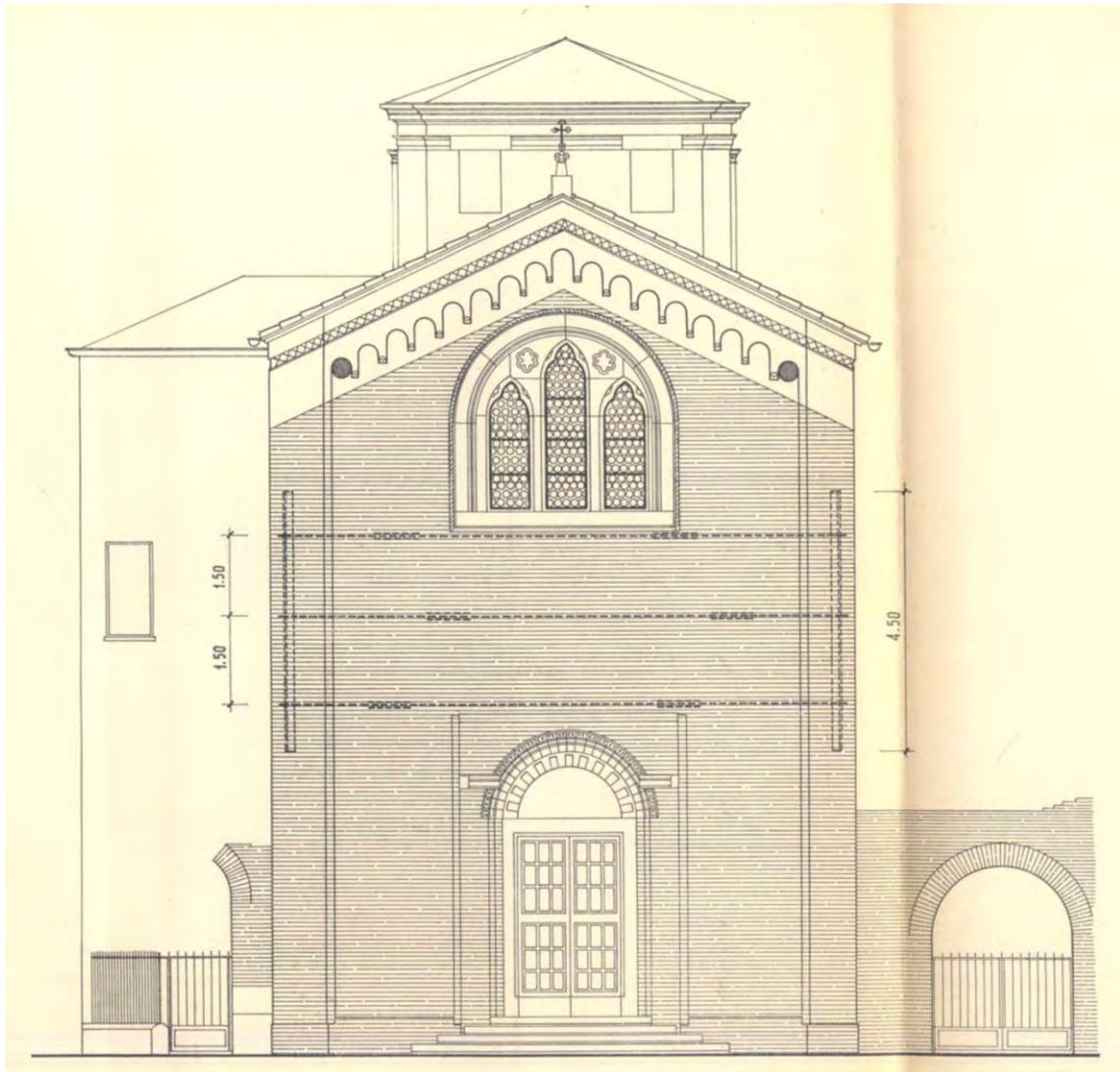


Fig. 6.33. L'estratto della tavola mostra il posizionamento delle tre catene all'interno facciata; si veda la tav. 2.17 del book allegato.

Le indagini effettuate in previsione dei lavori degli anni Sessanta resero evidente una delicata condizione statica, dovuta anche in parte alla rottura di quattro delle cinque catene presenti all'interno della navata e ad un degrado dei materiali di ancoraggio di queste. Il sistema di ancoraggio (Fig. 6.34) era composto da un paletto in legno a cui

era collegata la catena, trattenuta inferiormente da un blocco di trachite e superiormente da una banchina in rovere. Durante i lavori di sostituzione delle catene si è deciso di non rimuovere le grandi travi in legno presenti all'interno delle pareti su cui insistevano le catene poiché, anche se altamente deteriorate, avrebbero richiesto un lungo lavoro di scuci-cuci previo il distacco di una buona parte degli affreschi presenti nella parte superiore della navata; la banchina in rovere è quindi ancora oggi presente all'interno delle murature. Per quanto riguarda invece le nuove catene, poiché si avevano dubbi sulla buona consistenza dell'interno delle murature, si decise per ancoraggi in piastre metalliche nervate di lato 42 cm (Figg. 6.35 - 6.36) che avrebbero interessato una maggior porzione di parete ottenendo una miglior distribuzione di pressione sulle murature; la parte di catena che attraversa la muratura avrebbe dovuto avere sezione circolare ed essere saldata alla sezione rettangolare della catena a vista.

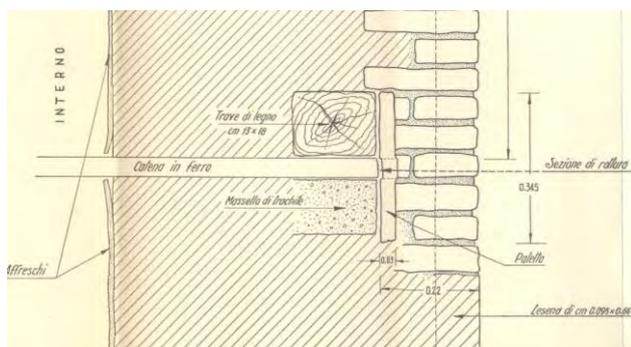


Fig. 6.34. L'estratto della tavola mostra l'ancoraggio delle vecchie catene all'interno della muratura; si veda la tav. 2.20 del book allegato.

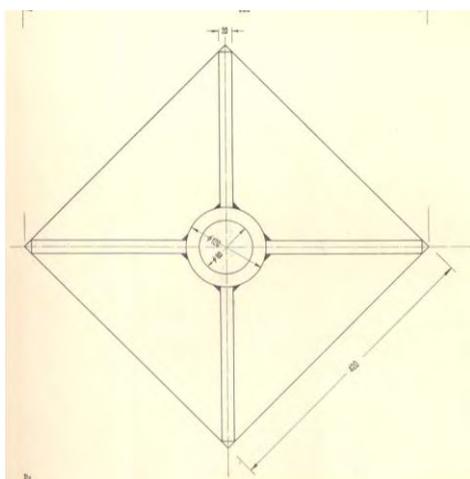


Fig. 6.35. L'estratto della tavola mostra il nuovo ancoraggio a piastra delle catene, si veda la tav. 2.21.



Fig. 6.36. La fotografia, realizzata il 20 novembre 2014, mostra il posizionamento degli ancoraggi disposti centralmente rispetto il punto medio delle lesene.

Le nuove catene hanno una sezione rettangolare di 30 mm di larghezza e 60 mm di altezza e sono in acciaio A<sub>q</sub>42 UNI 743 e hanno un passo di 340 cm.

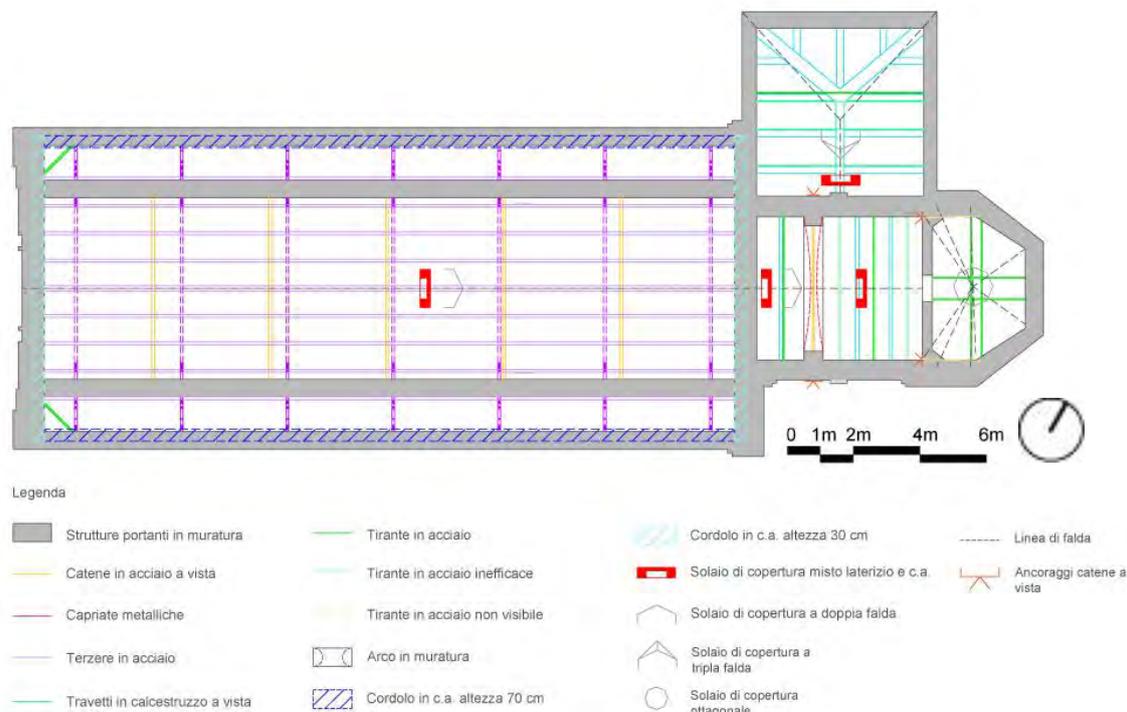


Fig. 6.37. Rilievo degli elementi strutturali, orizzontamento (11.6m), si veda tav. 5.08 presente nel book allegato.

Un'ulteriore catena è presente al di sotto dell'arco trionfale posto tra navata e presbiterio (Fig. 6.38).

Nel locale soprastante il presbiterio è poi presente una settima catena (Fig. 6.39) a proposito della quale non esistono fonti storiche che ne determinino l'anno di messa in posa o l'occasione; se ne possono osservare i capochiave anche nella parte superiore del prospetto di sud-est e nella parete del sottotetto comune tra loggia e locale sopra il presbiterio. Nello stesso locale sono inoltre presenti quattro tiranti in acciaio inseriti in concomitanza dei lavori di sostituzione del tetto con uno nuovo misto laterizio e travetti in c.a.: due di questi tiranti si presentano come inefficaci in quanto appaiono di spessore ridotto e piuttosto imbarcati.



Fig. 6.38. La fotografia del 20 novembre 2014 mostra il posizionamento delle cinque catene della navata e di quella sottostante l'arco trionfale posto tra navata e presbiterio.



Fig. 6.39. La fotografia del 26 gennaio 2015 mostra il locale soprastante il presbiterio: si possono notare alcuni dei tiranti presenti e la catena sottostante l'arcone in muratura.



Fig. 6.40. La fotografia del 26 gennaio 2015 mostra (sulla destra) il capochiave della catena sottostante l'arcone in muratura del locale sopra il presbiterio, presente nel sottotetto della loggia, nella parete in comune con il sopracitato locale.



Fig. 6.41. La fotografia del 20 novembre 2014 mostra il capochiave della catena sottostante l'arcone in muratura del locale sopra il presbiterio, presente esternamente sul prospetto di sud-est.

Sono inoltre presenti due ulteriori capochiave di altrettante catene che sembrerebbero posizionarsi all'interno delle murature tra locale sopra presbiterio e torretta: nelle Figg. 6.42 - 6.43 si può notare in generale la collocazione di questi capochiave, mentre nelle Figg. 6.44 - 6.45 si possono osservare nel particolare.



Fig. 6.42. La fotografia del 26 gennaio 2015 mostra tre dei tiranti presenti nel locale soprastante il presbiterio.



Fig. 6.43. La fotografia del 26 gennaio 2015 mostra come il tirante più a destra appaia sicuramente inefficace rispetto a quello di sinistra.



Fig. 6.44 - 6.45. Nella fotografia di sinistra si può vedere il capo chiave della catena presente all'interno della muratura tra locale sopra il presbiterio e torretta, in questo caso all'angolo con la facciata di nord-est. La foto di destra mostra invece il capo chiave all'angolo con la facciata di sud-est; le fotografie sono state realizzate il 26 gennaio 2015. (Per la collocazione puntuale si veda la tav. 6.17 del book di tavole allegato).

Ulteriori quattro tiranti, di cui non se ne può giudicare l'efficacia o meno, sono presenti all'interno della torretta soprastante l'abside (Fig. 6.46 - 6.47)



Fig. 6.46. La fotografia, realizzata il 26 gennaio 2015, mostra i quattro tiranti presenti all'interno della torretta sopra l'abside.



Fig. 6.47. La fotografia, realizzata il 26 gennaio 2015, mostra il posizionamento dei quattro tiranti rispetto ai lati della torretta, di forma ottagonale.

Per quanto riguarda il sottotetto della loggia, si presentano quattro tiranti, tre dei quali appaiono completamente inefficaci in quanto di diametro ridotto ed imbarcati (Figg. 6.29 - 6.30 e Fig. 6.48).



Fig. 6.48. La fotografia, effettuata il 26 gennaio 2015, mostra il posizionamento dei quattro tiranti del sottotetto della loggia: solo quello sul fondo dell'immagine sembrerebbe essere ancora efficace, al contrario ad esempio di quello in primo piano che è addirittura sorretto da una pila di mattoni.

Sono infine presenti altri otto tiranti (4+4), dei quali non si può giudicare l'efficacia o meno, nel sottotetto della navata, tra la parete di facciata e le due laterali (Figg. 6.49 – 6.50).



**Fig. 6.49.** La fotografia del 26 gennaio 2015 mostra il posizionamento dei quattro tiranti tra la facciata e la parete sud.



**Fig. 6.50.** La fotografia del 26 gennaio 2015 mostra il posizionamento dei quattro tiranti tra la facciata e la parete nord.

## **7. RILIEVO CRITICO DEL DANNO**

Il rilievo critico del danno della Cappella degli Scrovegni è stato effettuato mediante ispezione visiva in sito, e successivamente analizzando le riprese fotografiche eseguite, tra ottobre 2014 e marzo 2015. Questa analisi permette di evidenziare le zone e gli elementi dell'edificio caratterizzati da carenze o difetti, con il fine di studiare e di riuscire a prevederne il comportamento sia locale che globale dal punto di vista sia statico che sismico. L'individuazione preliminare di anomalie e danni pregressi nel manufatto ha dunque l'obiettivo di identificare le possibili modalità di attivazione dei meccanismi di collasso, al fine di progettare con consapevolezza interventi atti ad evitarli. Il rilievo critico si basa sull'attenta osservazione del quadro fessurativo esistente, sullo studio dello stato di degrado dell'intero edificio, sia dovuto ad interventi precedenti sia per un deterioramento fisico e chimico, e sulla successiva rilevazione delle vulnerabilità.

È importante osservare il quadro fessurativo che interessa un edificio in quanto la presenza, la posizione e l'invasività dello stesso fornisce molte informazioni interpretabili; le lesioni potrebbero ad esempio essere causate da azioni di tipo statico o da azioni di tipo dinamico in quanto vie preferenziali per l'attivazione di meccanismi in caso di azione sismica. L'esame dello stato di degrado dell'intero edificio ci permette di approfondire lo stato di conservazione del monumento e di avere un punto di partenza per lo studio delle vulnerabilità, zone in cui la struttura risulta essere debole rispetto ad altre e più propensa quindi a subire danni a fronte di eventi sismici.

Il degrado della Cappella degli Scrovegni non è vistoso e diffuso, ma comunque presente: in quanto importante monumento patavino ha subito restauri negli anni che ne hanno permesso una buona conservazione. Si troveranno quindi tracce di detti restauri, ma anche elementi tamponati che determinano i cambiamenti dell'edificio nel tempo; la presenza di degradi quali alterazioni cromatiche e macchie invece influiscono in modo marginale nelle possibili vulnerabilità strutturali.

La determinazione delle vulnerabilità è stata divisa in due principali sezioni, una prima riguardante le vulnerabilità delle parti strutturali utilizzando come base le *"Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale"*, ed una

seconda che ha per oggetto la vulnerabilità degli elementi non strutturali usufruendo le *“Linee guida per la riduzione della vulnerabilità di elementi non strutturali, arredi e impianti”*. La Cappella degli Scrovegni racchiude gli importanti affreschi eseguiti da Giotto, le statue di Pisano e altri elementi decorativi di grande importanza storico-culturale. Per questo si è proceduto alla compilazione delle schede di secondo livello per la *“Valutazione e correlazione della vulnerabilità e del danno ad apparati decorativi fissi e al supporto strutturale”* basandosi sulle *“Linee guida per la compilazione della scheda di valutazione e correlazione della vulnerabilità e del danno ad apparati decorativi fissi e al supporto strutturale”*.

### 7.1. QUADRO FESSURATIVO

Si è rilevato il quadro delle lesioni analizzando l’edificio in tutte le sue parti, esterne ed interne, evidenziando sulle pareti della navata tre lesioni che caratterizzano l’edificio dall’Ottocento: la lesione che insiste longitudinalmente in chiave alla volta, quella che si trova sull’arco trionfale e quelle site in controfacciata; ora le lesioni si presentano ristilate in seguito all’ultimo restauro del 2001 - 2002.

I prospetti non sono interessati da fessurazioni di tipo passante o profondo ma da lesioni che vanno a concentrarsi nei soli elementi in pietra quali stipiti di porte e cornici di finestre. La facciata, esposta a sud-ovest, è il prospetto maggiormente soggetto a fessurazioni di questo tipo infatti il portone d’ingresso e la trifora soprastante sono definiti da elementi in pietra.



Fig. 7.1. Dettaglio dell’elemento lapideo caratterizzante la trifora che presenta fessurazioni, fotografia effettuata il 20 novembre 2014.



Fig. 7.2. Dettaglio dell’elemento lapideo caratterizzante il portale d’ingresso che presenta fessurazioni, fotografia effettuata il 20 novembre 2014.

## PARTE II. ANALISI DELLO STATO DI FATTO

### Rilievo critico del danno

---

Le uniche fessurazioni presenti nella cripta invece sono localizzate sugli architravi delle finestre (Fig. 7.3) mentre sulla parete trasversale prossima all'ingresso insistono delle cavillature (Fig. 7.4).



Fig. 7.3. Fessura sull'architrave di una finestra, fotografia effettuata il 26 gennaio 2015.



Fig. 7.4. Cavillature, fotografia effettuata il 26 gennaio 2015.

All'interno della navata la parete sud è caratterizzata da una lesione che insiste sulla raffigurazione della Carità (Fig. 7.5), in corrispondenza della tamponatura esterna della quale ne segue la forma (Fig. 7.6); le altre lesioni che insistono sugli affreschi verranno analizzate in seguito nel dettaglio.



Fig. 7.5. Fessurazione sulla Carità, ripresa fotografica eseguita il 20 novembre 2014.



Fig. 7.6. Ripresa fotografica eseguita il 20 novembre 2014, tamponamento in corrispondenza della Carità.

Accedendo all'ambiente soprastante la navata e percorrendolo lateralmente sino alla fine si può osservare la parte superiore della controfacciata, la muratura in questo punto presenta lesioni diagonali non risarcite (Fig. 7.7), lesioni diagonali dello stesso

tipo si riscontrano anche nella parete dell'arco trionfale (Fig. 7.8); nella torretta del campanile infine sono presenti fessurazioni in corrispondenza delle finestre e delle pareti minori.



Fig. 7.7. Fessurazione diagonale nella controfacciata, visibile dal sottotetto, fotografia effettuata il 26 gennaio 2015.



Fig. 7.8. Fessurazione diagonale nell'arcone, visibile dal sottotetto, fotografia effettuata il 26 gennaio 2015.

#### 7.1.1. Fessurazione longitudinale della volta a botte

Una delle lesione che ha preoccupato la statica dell'edificio negli anni è la fessurazione presente in chiave alla volta a botte che ne percorre l'intradosso per tutta la lunghezza della navata.



Fig. 7.9 – 7.10. Fessurazione ristilata sulla volta botte e sul Giudizio, ripresa fotografica eseguita il 20 novembre 2014.

La lesione viene segnalata per la prima volta negli anni Venti dell'Ottocento da Pietro Selvatico, dovuta probabilmente al crollo del portico antistante la facciata nel 1818 e

## PARTE II. ANALISI DELLO STATO DI FATTO

### Rilievo critico del danno

alla demolizione di Palazzo Foscari terminata nel 1831<sup>1</sup>, nonostante negli anni a seguire sia stata più volte risanata, tendeva a ripresentarsi in seguito ai terremoti e a causa dell'eccessivo carico della copertura.

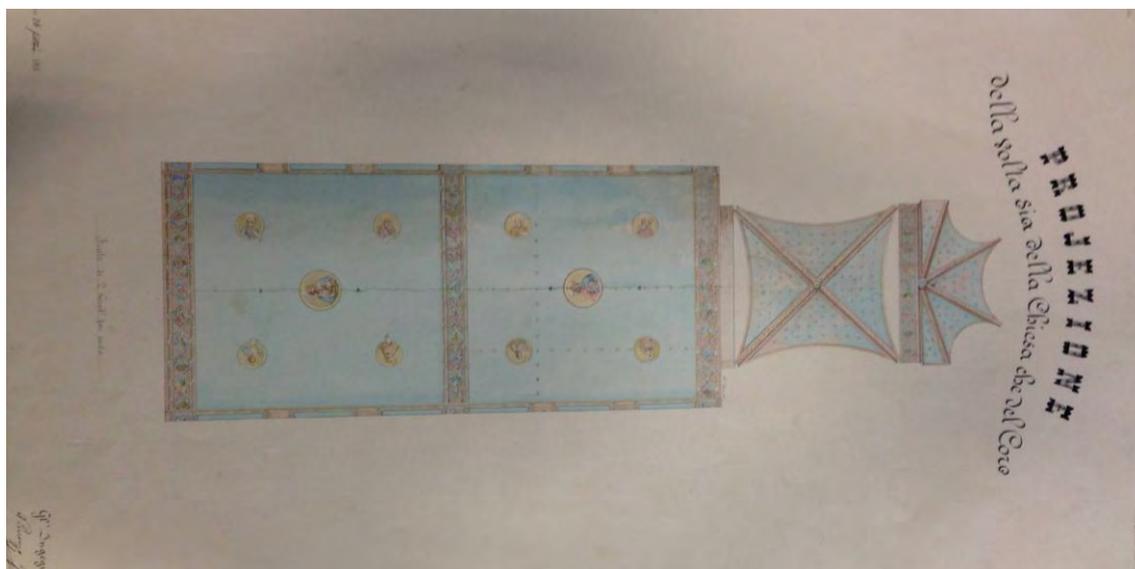


Fig. 7.11. Lesione riportata nel rilievo effettuato Benvenuti e Grasselli nel 1871, Biblioteca Civica di Padova, RIP XXXVI, 7389.

Le diverse vicende che vedono come protagonista la fessurazione sono le seguenti:

1828	segnalata per la prima volta da Pietro Selvatico
1857	consolidamento
1867	riapertura
1871	segnalata nuovamente
1937	viene portato a termine il restauro
1957	risarcitura
1962	si accentua a causa della progressiva rottura delle catene e del peso della copertura lignea
1962	sostituzione delle catene
1963	la volta viene scaricata dal peso della copertura
1976	riapertura in seguito al sisma in Friuli
2013	monitoraggio

<sup>1</sup> PEZZETTA, *Interventi di conservazione*, cit., p. 12.

La volta a botte non è caratterizzata solo da questa lesione ma è percorsa da altre due fessurazioni longitudinali citate molto meno dei testi storici in quanto site all'estradosso della stessa, poste nello specifico ai quarti.

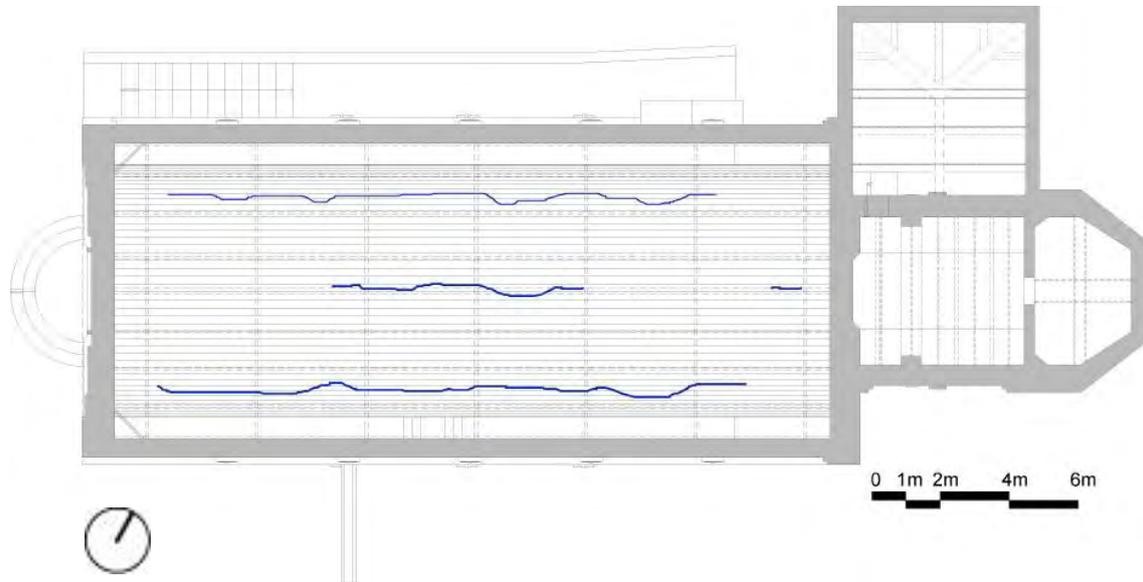


Fig. 7.12. Quadro fessurativo e degrado, pianta sottotetto A, si veda la tav. 6.13 presente nel book di tavole allegato.



Fig. 7.13. Fessurazione all'estradosso della volta a botte, fotografia effettuata il 26 gennaio 2015.



Fig. 7.14. Fessurazione all'estradosso della volta a botte, fotografia effettuata il 26 gennaio 2015.

Il primo intervento volto a consolidare la volta è stato quello di inserimento delle catene nella navata, in data incerta, intervento però inefficace vista la rottura e necessaria sostituzione delle stesse nel 1962. Ad oggi le lesioni site all'estradosso sono interessate controllate in continuo da trasduttori di spostamento grazie al sistema di monitoraggio statico attivo. Si nota inoltre l'esistenza di lesioni orizzontali nelle pareti affrescate della navata in corrispondenza del piano d'imposta della volta

## PARTE II. ANALISI DELLO STATO DI FATTO

### Rilievo critico del danno

---

probabilmente creatasi a causa dello sforzo esercitato nel contrastare la spinta della volta.

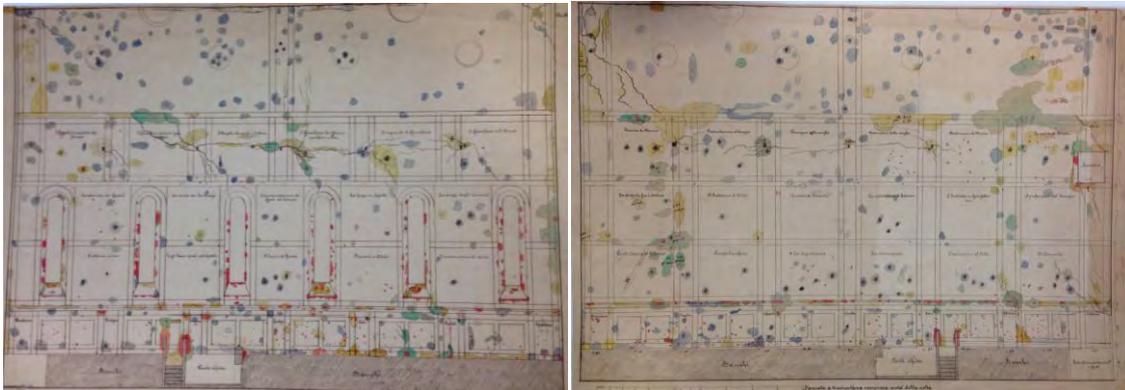


Fig. 7.15. Lesioni sulle pareti longitudinali della navata riportate nella relazione di Bertolli del 1880, Biblioteca Civica di Padova, RIP XXXVI, 7292, 7294.



Fig. 7.16. Quadro fessurativo e degrado, sezione BB, si veda la tav. 6.08 presente nel book di tavole allegato.

### 7.1.2. Analisi statica mediante costruzione grafica dell'arco

Le lesioni longitudinali della volta identificano una configurazione geometrica dell'arco, assimilabile a quello di un arco a tre cerniere, probabilmente dovuta all'ingente carico del tetto ligneo spingente sulla stessa.

L'intervento del 1963 è stato utile in quanto ha permesso di scaricare la volta dal peso della copertura distribuendo i carichi direttamente alle pareti, di seguito viene illustrata la costruzione geometrica della linea delle pressioni dell'arco prima e dopo l'intervento che permette di capire l'origine delle lesioni longitudinali.

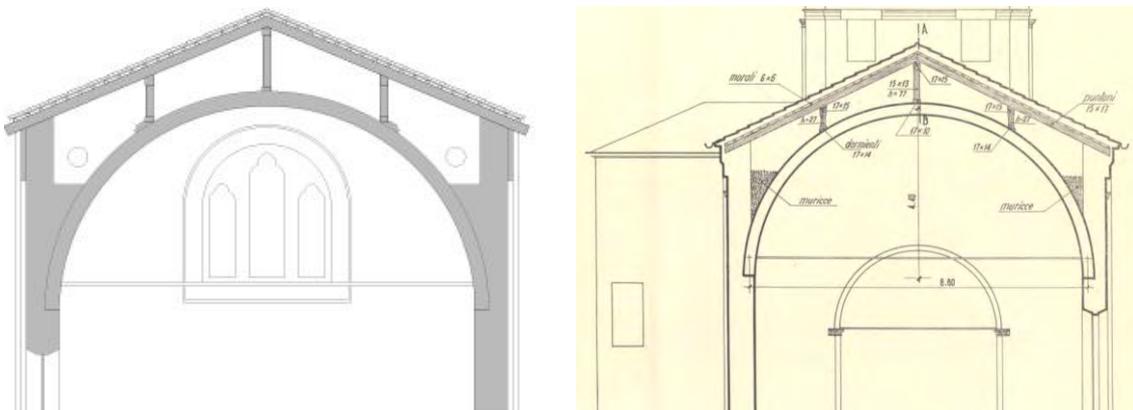


Fig. 7.17. Sezioni che illustrano la vecchia struttura di copertura in legno; per l'immagine di destra si veda la tav. 2.15 del book allegato.

La copertura lignea originale è stata descritta in modo dettagliato nel capitolo precedente; per la seguente analisi è necessario però conoscere il carico del tetto e ci si rifà ai valori stimati dall'ing. Colabich negli anni Sessanta precedenti al progetto della nuova copertura<sup>2</sup>.

L'arco è stato suddiviso in 28 cunei e la densità della muratura considerata, come da normativa, pari a  $18 \text{ kN/m}^3$ ; si tiene conto anche del contributo di carico esercitato dai rinfianchi della volta, divisi in 8 elementi e caratterizzati da una densità pari a  $11 \text{ kN/m}^3$ .

<sup>2</sup> FABBRI COLABICH, PROSDOCIMI, SACCOMANI, *I recenti lavori*, cit., pp. 37-38.

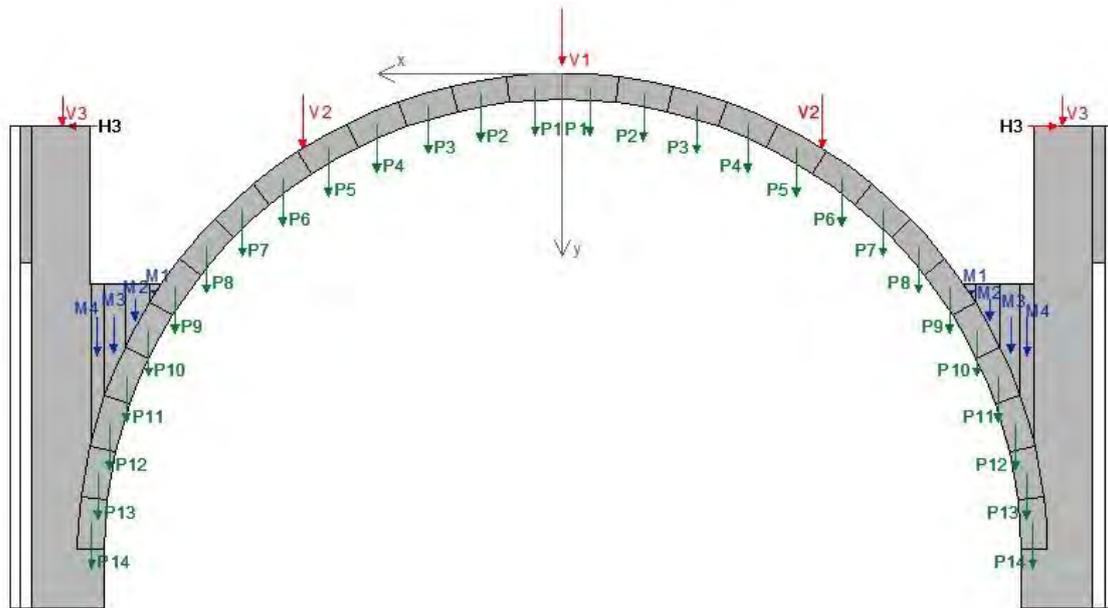


Fig. 7.18. Rappresentazione dell'applicazione del carico della copertura ripartito, della suddivisione dell'arco in 24 conci e dei rinfianchi in 8 con i relativi carichi.

Viene di seguito valutato il contributo di ogni elemento discretizzato.

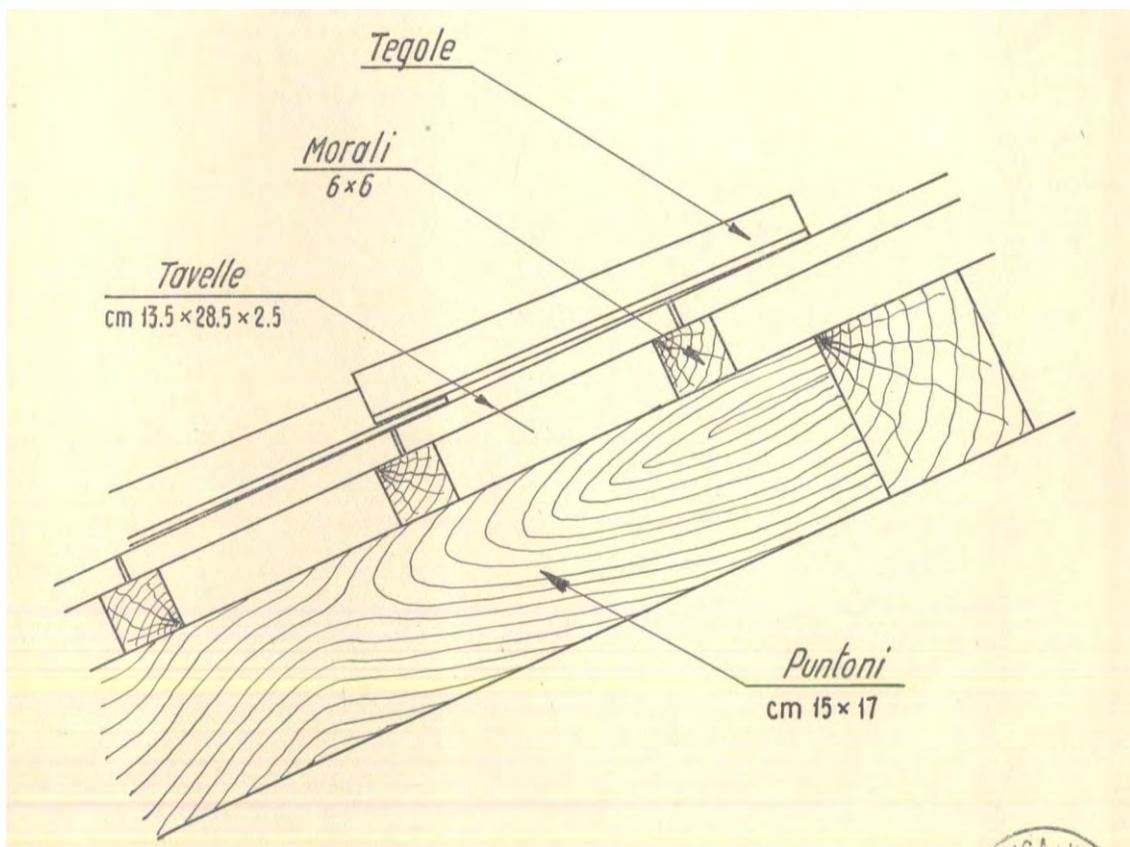


Fig. 7.19. Particolare della copertura, si veda la tav. 2.15 del book allegato.

Carico del tetto		
Tegole	0,65 kN/m <sup>2</sup>	1,3 kN
Seconda orditura	6x6 cm – 1m	0,15 kN
Orditura principale	15x17 cm – 1m	0,31 kN
Peso totale		1,76 kN/m

Tab. 7.1. Carico del tetto.

V1		
V1		5,35
V2		5,11
V3		2,83

Tab. 7.2. Ripartizione del carico.

Carico dell'arco			
	A [m <sup>2</sup> ]	X[cm]	[KN]
P1	0,126513	-25,61	4,55
P2	0,125468	-76,53	4,52
P3	0,125497	-126,43	4,52
P4	0,125675	-174,64	4,52
P5	0,125999	-220,54	4,54
P6	0,126456	-263,51	4,55
P7	0,119304	-301,87	4,29
P8	0,119897	-335,41	4,32
P9	0,119874	-364,99	4,32
P10	0,119887	-390,28	4,32
P11	0,119885	-410,98	4,32
P12	0,119884	-426,87	4,32
P13	0,119488	-437,71	4,30
P14	0,120207	-443,52	4,33

Tab. 7.3. Ripartizione del carico dell'arco sui 14 conci.

Carico dell'arco			
	A [m <sup>2</sup> ]	X[cm]	[KN]
M1	0,008915	-385,28	0,20
M2	0,088895	-402,98	1,96
M3	0,154394	-422,83	3,40
M4	0,163723	-438,22	3,60

Tab. 7.4. Ripartizione del carico dei rinfianchi sui 4 conci.

Definito geometricamente il modello e assegnati i carichi calcolati si procede alla determinazione della linea delle pressioni mediante la costruzione del poligono funicolare di metà arco (espedito possibile in quanto l'arco presenta una configurazione simmetrica) viene così determinata la risultante, il suo punto di applicazione e la linea delle pressioni.

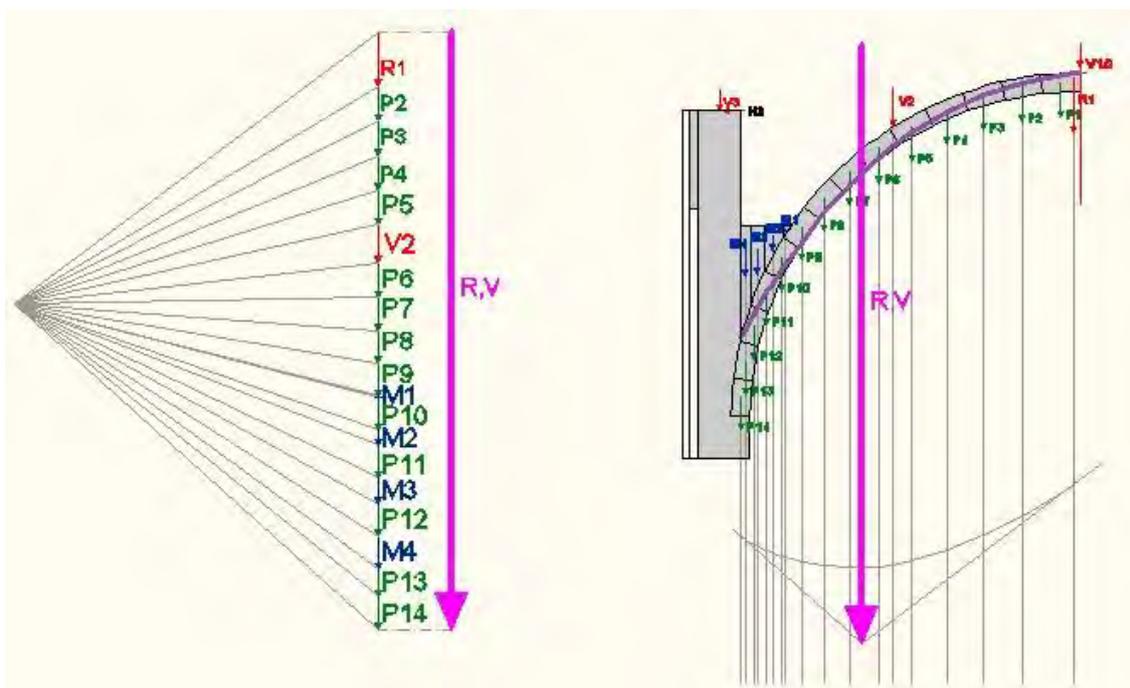


Fig. 7.20. Costruzione geometrica che permette di individuare la risultante dei carichi e la sua posizione, determinando la linea delle pressioni.

Una cerniera si trova nel punto A in quanto è presente una lesione in chiave alla volta all'intradosso e grazie alla curva delle pressioni è tangente il bordo della volta anche nei punti B e C, in corrispondenza delle lesioni visibili all'estradosso, così da definire un totale di tre cerniere sull'arco.

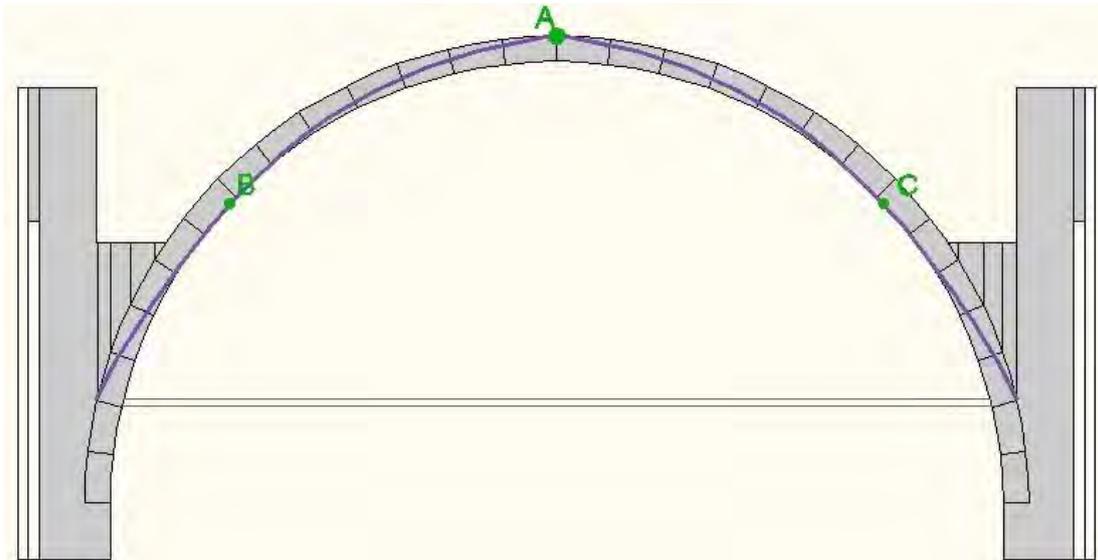


Fig. 7.21. Dall'immagine si vede la linea delle pressioni tangente la curva nei punti A, B e C in cui sviluppa una cerniera; l'inserimento delle catene permette di contrastare la spinta della volta mantenendo stabile l'arco.

A contrastare la spinta della volta sono state inserite, in un periodo incerto, 5 catene che, se efficaci, renderebbero stabile la struttura. Procediamo quindi a questa valutazione confrontando la tensione valutata dall'ing. Colabich<sup>3</sup> con il valore limite di snervamento; considerando una luce pari a 3,55 m si calcola in primo luogo la forza orizzontale:

$$F = 35,48 \text{ kN} \cdot \frac{3,55 \text{ m}}{2 \text{ m}} = 63 \text{ kN}$$

Assumendo una superficie pari a 774 mm<sup>2</sup> la tensione viene valutata pari a:

$$\sigma = \frac{63000 \text{ N}}{774 \text{ mm}^2} = 81,4 \text{ MPa} < 213 \text{ MPa}$$

Viene confrontato il valore calcolato con il limite di snervamento, il primo risulta inferiore a dimostrare la capacità delle catene di contrastare la spinta orizzontale della volta, l'arco risulta quindi essere in condizioni di stabilità. In seguito alle ispezioni ai capochiave delle catene avvenuto 1963, si è potuto constatare che l'ancoraggio si presentava rotto: verificata l'inefficacia delle catene, la spinta della volta poteva essere contrastata dalle sole pareti laterali. A causa della loro snellezza le pareti non riescono ad assorbire la spinta della volta e, tutt'oggi, sono presenti delle lesioni longitudinali in

<sup>3</sup> FABBRI COLABICH, PROSDOCIMI, SACCOMANI, *I recenti lavori*, cit., pp. 57-62.

corrispondenza dell'imposta della volta ad indicare l'inizio della formazione di due ulteriori cerniere in D e E.

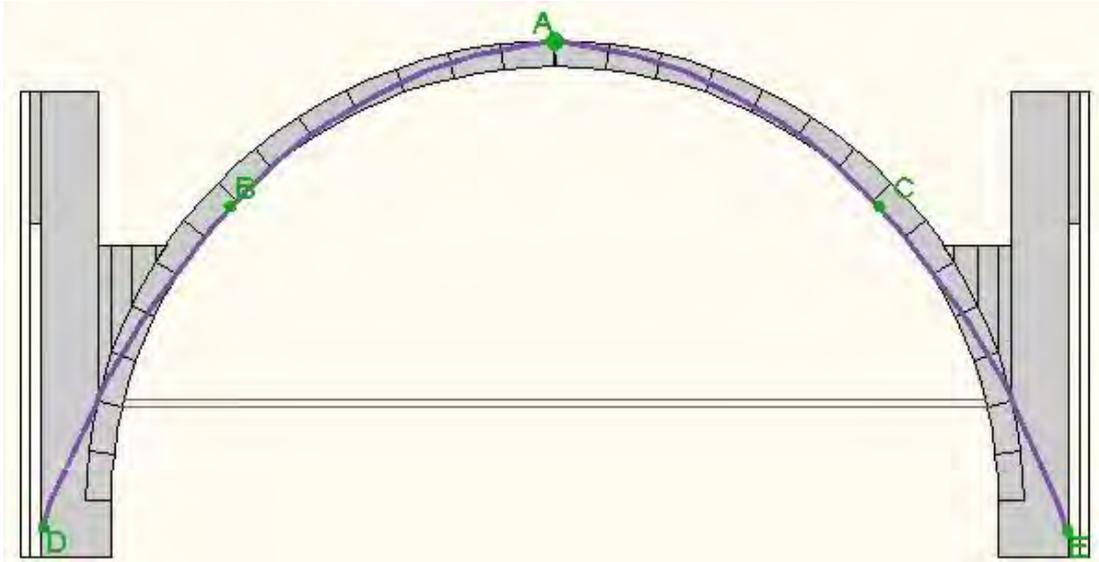


Fig. 7.22. Configurazione della linee delle pressioni considerando la catena non efficace: si sviluppano due ulteriore cerniere in D e E.

Nel 1963, è stata progettata una copertura capace di scaricare il proprio peso verticale sulle pareti laterali grazie all'inserimento di sette capriate metalliche, l'asse degli appoggi delle capriate coincidono infatti con l'asse dei muri sottostanti in modo che la componente verticale della reazione risulti centrata, eliminando quindi le spinte orizzontali, inoltre sono state sostituite le catene della navata.

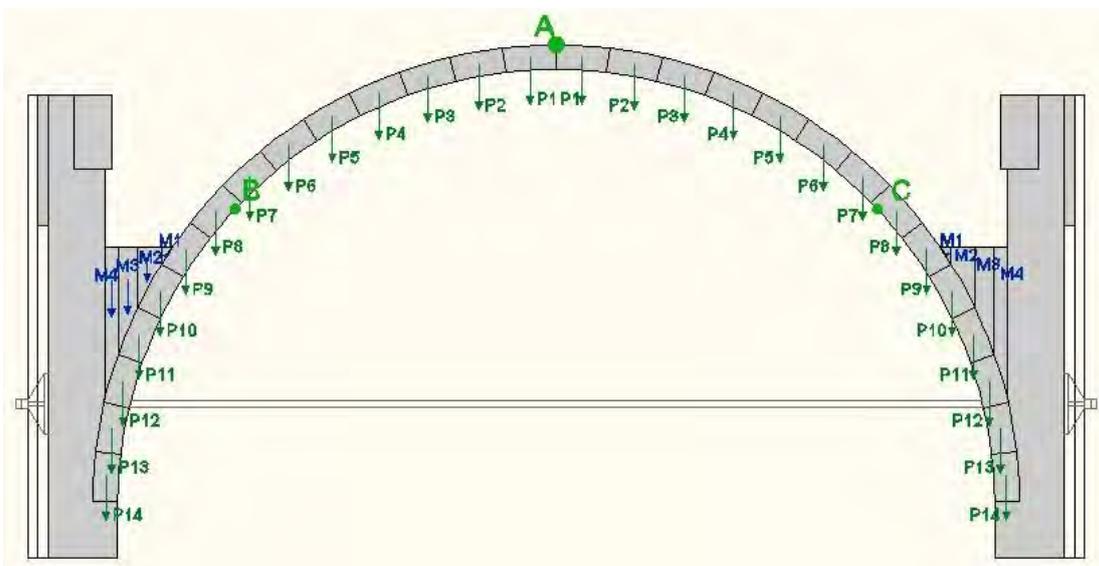


Fig. 7.23. Configurazione della volta in seguito all'intervento di sostituzione della copertura.

Viene ora eseguita nuovamente la costruzione geometrica della linea delle pressioni mediante la costruzione del poligono funicolare senza considerare il contributo ingente di carico dovuto alla copertura e rivalutando la discretizzazione del carico dell'arco.

<b>Carico dell'arco</b>			
	A [m <sup>2</sup> ]	X[cm]	[KN]
P1	0,126513	-25,61	8,0841807
P2	0,125468	-76,53	8,0174052
P3	0,125497	-126,43	8,0192583
P4	0,125675	-174,64	8,0306325
P5	0,125999	-220,54	8,0513361
P6	0,126456	-263,51	8,0805384
P7	0,119304	-301,87	7,6203306
P8	0,119897	-335,41	7,6614183
P9	0,119874	-364,99	7,659986
P10	0,119887	-390,28	7,6607793
P11	0,119885	-410,98	7,6606515
P12	0,119884	-426,87	4,9047723

Tab. 7.5. Ripartizione del carico dell'arco sui conci.

Al momento della sostituzione del tetto però erano già presenti 3 cerniere (A, B, C) che si devono rappresentare inizialmente, la linea delle viene determinata interna alla geometria dell'arco definendolo sicuro.

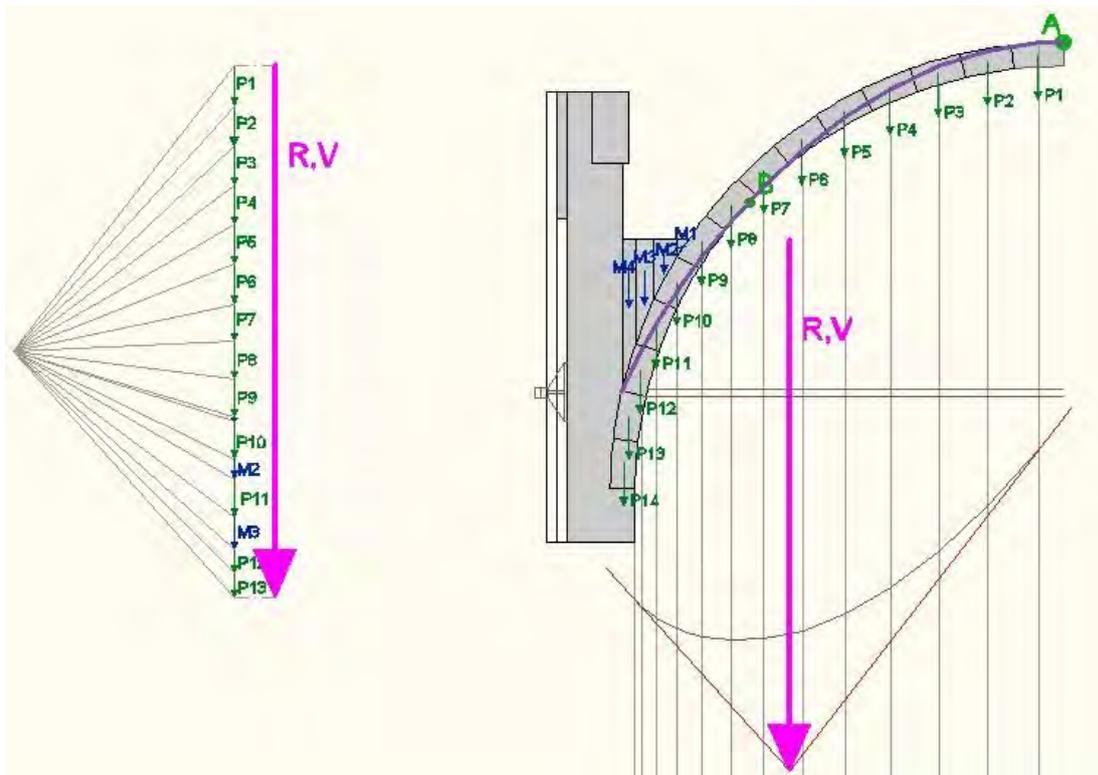


Fig. 7.24. Costruzione geometrica che permette di individuare la risultante dei carichi e la sua posizione, determinando la linea delle pressioni.

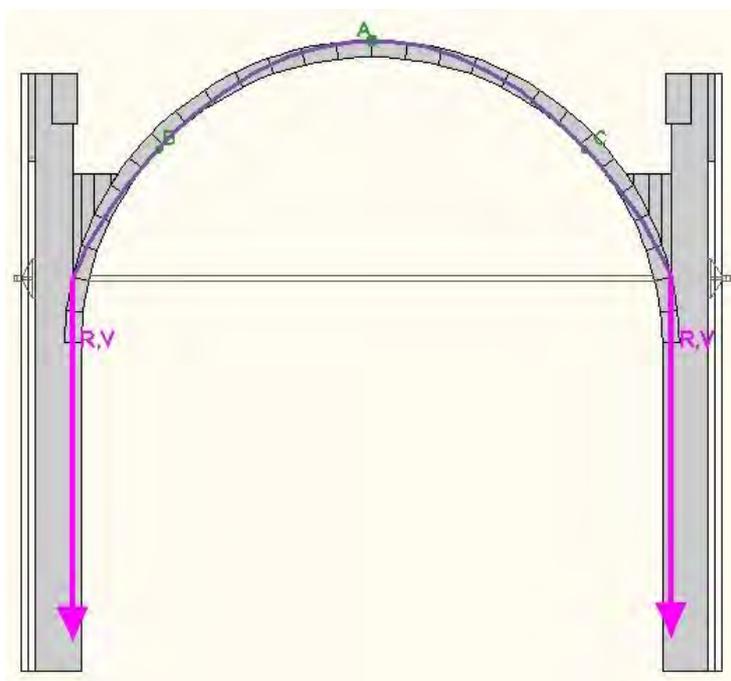


Fig. 7.25. La linea delle pressione è sita internamente all'arco e i carichi verticali vengono distribuiti sulle pareti.

Come in precedenza si potrebbe valutare la tensione delle catene, sarebbe una valutazione aggiuntiva in quanto l'arco si presenta già stabile in seguito alla sostituzione della copertura.

### 7.1.3. Fessurazione nell'arco trionfale

Si osserva poi un'importante fessurazione che insiste sull'arco trionfale, questa risale agli inizi del XIX secolo e, come per la precedente, è stata osservata in seguito al crollo del portico e alla demolizione del Palazzo.



Fig. 7.26. Fessurazione ristilata sull'arcone, ripresa fotografica eseguita il 20 novembre 2014.



Fig. 7.27. Lesione riportata nel rilievo effettuato Benvenuti e Grasselli nel 1871, Biblioteca Civica di Padova, RIP XXXVI, 7385.

1828	segnalata per la prima volta da Pietro Selvatico
1857	consolidamento
1867	riapertura
1871	segnalata nuovamente e puntellata con centina lignea <sup>4</sup>
1884	Inserita catena
1937	riaperta in seguito al sisma in Friuli, riparata con iniezioni di cemento liquido
1957	risarcitura

<sup>4</sup> MODENA, *Aspetti costruttivi e strutturali*, cit., p. 106.

#### 7.1.4. Fessurazione nella controfacciata

Un'ulteriore lesione causata dal crollo del portico in facciata e dalla demolizione del palazzo è quella che interessa l'affresco del *Giudizio Universale* sito nella controfacciata.



Fig. 7.28. Fessurazione ristilata sulla controfacciata, ripresa fotografica eseguita il 20 novembre 2014.



Fig. 7.29. Fessurazione ristilata sulla controfacciata, ripresa fotografica eseguita il 20 novembre 2014.

1828	segnalata per la prima volta da Pietro Selvatico
1871	segnalata nuovamente
Dopoguerra	segnalata
1957	inserimento di tre catene nello spessore dalla muratura di facciata
1976	riaperta in seguito al sisma in Friuli

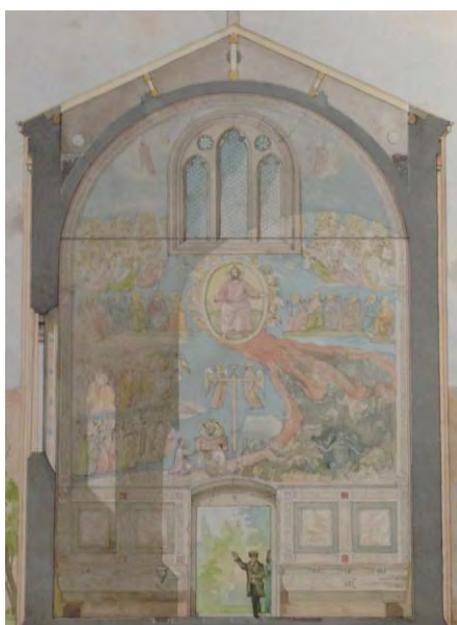


Fig. 7.30. (a sinistra) Lesione riportata nel rilievo effettuato Benvenuti e Grasselli nel 1871, Biblioteca Civica di Padova, RIP XXXVI, 7387.

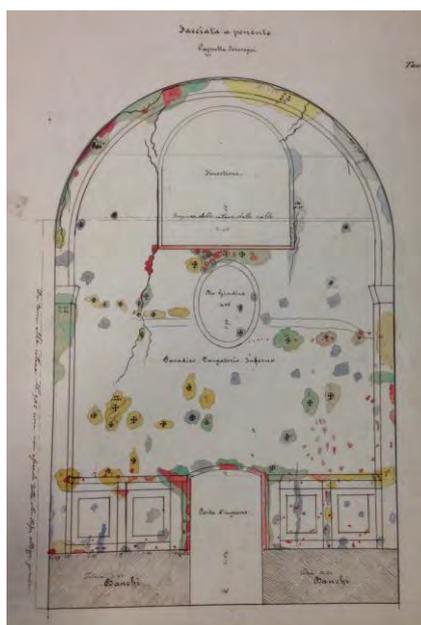


Fig. 7.31. (a destra) Lesioni sulle pareti longitudinali della navata riportate nella relazione di Bertolli del 1880, Biblioteca Civica di Padova, RIP XXXVI, 7295.

## 7.2. ANALISI DEL DEGRADO

Il rilievo del degrado è stato effettuato prima esternamente e successivamente ci si è spostati all'interno dell'edificio, le tavole rappresentative si trovano nel book allegato.

### 7.2.1. Mappatura del degrado esterno<sup>5</sup>

La mappatura del danno è stata rappresentata sui prospetti facendo riferimento alla norma UNI 11182/2006 "Beni culturali. Materiali lapidei naturali ed artificiali. Descrizione della forma di alterazione, termini e definizioni" che sostituisce le "Raccomandazioni Normale 1/88. Alterazioni macroscopiche dei materiali lapidei": la descrizione puntuale dei degradi riscontrati viene riportata nel seguente abaco.

<b>ALTERAZIONE CROMATICA</b> 		
Descrizione: alterazione che si manifesta attraverso la variazione di uno o più parametri che definiscono il colore: tinta, chiarezza, saturazione. Può manifestarsi con morfologie diverse a seconda delle condizioni e può riferirsi a zone ampie o localizzate.	Cause: inquinanti atmosferici, radiazioni solari, assorbimenti differenziato.	
<b>COLATURA</b> 		
Descrizione: traccia ad andamento verticale.	Cause: agenti atmosferici, reazione tra materiali edilizi e atmosfera.	
<b>COLONIZZAZIONE BIOLOGICA</b> 		
Descrizione: presenza riscontrabile macroscopicamente di micro e/o macro organismi.	Cause: accumulo di umidità, attacco di organismi autotrofi.	
<b>DEPOSITO SUPERFICIALE</b> 		
Descrizione: accumulo di materiali estranei di varia natura, quali, ad esempio, polvere, terriccio, guano, ecc. Ha spessore variabile e, generalmente, scarsa coerenza e aderenza al materiale sottostante.	Cause: esposizione, scabrosità e deformazione della superficie, inquinamento atmosferico.	

<sup>5</sup> Si vedano le tav. 7.01-7.06 del book di tavole allegato.

## PARTE II. ANALISI DELLO STATO DI FATTO

### Rilievo critico del danno

<b>DISGREGAZIONE</b>		
Descrizione: decoesione caratterizzata da distacco di granuli o cristalli sotto minime sollecitazioni meccaniche.	Cause: infiltrazioni di acqua e risalita capillare, reazione tra i materiali edilizi e atmosfera, degrado di interfaccia tra laterizi e malte.	
<b>DISTACCO</b>		
Descrizione: soluzione di continuità tra strati superficiali del materiale, sia tra loro che rispetto al substrato, prelude in genere alla caduta degli stessi.	Cause: distacco a causa di agenti atmosferici battenti.	
<b>EROSIONE</b>		
Descrizione: asportazione di materiale dalla superficie dovuta a processi di natura diversa.	Cause: erosione meccanica da pioggia battente, aggressione chimica da inquinanti, formazione di ghiaccio negli strati più superficiali.	
<b>ESFOLIAZIONE</b>		
Descrizione: degradazione che si manifesta con distacco, spesso seguito da caduta, di uno o più strati superficiali fra loro.	Cause: inquinamento atmosferico che aggredisce e disgrega il legante minerale, azione di microrganismi.	
<b>FESSURAZIONE</b>		
Descrizione: degradazione che si manifesta con la formazione di soluzioni di continuità nel materiale e che può implicare lo spostamento reciproco delle parti.	Cause: cicli di gelo-disgelo, dissesto dell'apparato murario di supporto, incompatibilità di tipo fisico-meccanico tra supporto e finitura, presenza di carbonato di calcio, dilatazioni differenziali tra materiali di supporto e finitura.	
<b>MACCHIE</b>		
Descrizione: alterazione che si manifesta con pigmentazione accidentale e localizzata della superficie; è correlata alla presenza di materiale estraneo al substrato.	Cause: ossidazione di elementi metallici, elementi inquinanti, atti di vandalismo.	

<b>PATINA</b>			
Descrizione: alterazione strettamente limitata a quelle modificazioni naturali della superficie dei materiali non collegabili a manifesti fenomeni di degradazione e percepibili come una variazione del colore originario del materiale.	Cause: azioni di microrganismi autotrofi, presenza di umidità o acqua, caratteristiche morfologiche del substrato.		
<b>PATINA BIOLOGICA</b>			
Descrizione: strato sottile, morbido e omogeneo, aderente alla superficie e di evidente natura biologica, di colore variabile, per lo più verde. Costituito per lo più da microrganismi ai quali possono aderire polvere, terriccio, ecc.	Cause: azioni di microrganismi, presenza di umidità e acqua, caratteristiche del substrato.		

Tab. 7.6. Abaco delle tipologie di degradi riscontrati.

Oltre a queste tipologie è stato interessante segnalare come danno le tracce lasciate dalle buche pontaiate chiuse e da altri elementi tamponati in quanto questi vanno ad alterare la percezione visiva dell'osservatore.

Il prospetto che si affaccia a sud-est presenta ampie porzioni di muratura affette da alterazioni cromatiche che si identificano in zone più scure disposte in modo orizzontale, come si può vedere nella Fig. 7.33. Inoltre sono presenti in questa parete le sei finestre che si affacciano sulla navata, definite da materiale lapideo levigato, reso opaco nel tempo a causa della presenza di uno strato di deposito superficiale. A definire superiormente il prospetto è un cornicione, anch'esso in pietra levigata, che risulta alterato ma in modo meno invasivo, in questo caso infatti la superficie è interessata da patina; la stessa patina si osserva anche nelle lastre lapidee che determinano il tamponamento.



Fig. 7.32. Quadro fessurativo e degrado, prospetto sud-est, si veda la tav. 6.01 presente nel book di tavole allegato.



Fig. 7.33. Prospetto sud-est, si vede l'alterazione cromatica che interessa la parete e la distribuzione uniforme delle buche pontate, ripresa fotografica effettuata il 20 novembre 2014.

Le sei finestre della cripta sono invece di materiale lapideo grezzo e alcune parti delle stesse risultano distaccate, come si può vedere nel dettaglio in Fig. 7.34. Altre parti di muratura, in particolare quelle che interessano la base dell'abside, presentano erosione (Fig. 7.35). Sono evidenziate le debolezze caratterizzate dai tamponamenti della porta, tutt'oggi molto percepibile ma della quale non si hanno informazioni riguardo alla sua origine, e delle buche puntaie, tracce che si riscontrano posizionate in modo regolare su tutta la parete.



Fig. 7.34. Elemento distaccato, fotografia del 20 novembre 2014.



Fig. 7.35. Erosione della muratura localizzato ai piedi dell'abside e presbiterio, fotografia del novembre 2014.

Sulla lunetta decorativa della porta d'ingresso insiste del deposito superficiale mentre la presenza di patina biologica, caratterizzata dal colore verde, si riscontra sui due piccoli elementi aggettanti. La muratura che determina superiormente l'ingresso è interessata da colonizzazione biologica e da colatura, come l'apertura soprastante (Fig. 7.36); l'intero prospetto è affetto da alterazione cromatica e nella parte inferiore insistono i fenomeni di erosione e colonizzazione biologica. I resti dell'Arena e del Palazzo Foscari incorniciano la facciata e si mostrano molto deteriorati, sono caratterizzati da erosione e disgregazione. Nel prospetto sud-ovest della sacrestia è presente la porta d'ingresso alla loggia e si riconoscono le tracce tamponate della vecchia scala a pioli tolta prima dell'introduzione della CTA (Fig. 7.37).



Fig. 7.36. Dettaglio dell'arco sopra la porta d'ingresso: presenza di deposito superficiale, patina biologica, colonizzazione biologica e colatura, fotografia del 20 novembre 2014.



Fig. 7.37. Tamponamento delle tracce lasciate dalla scala a pioli, fotografia del 20 novembre 2014.

## PARTE II. ANALISI DELLO STATO DI FATTO

### Rilievo critico del danno

I prospetti rivolti a nord sono quelli che risultano maggiormente danneggiati in quanto sempre in ombra, sono caratterizzati da espansa presenza di patina biologica, colonizzazione biologica e colatura.



#### Legenda

Alterazione cromatica	Deposito superficiale	Patina	Tracce di tamponamenti
Colatura	Erosione	Patina biologica	
Colonizzazione biologica	Esfoliazione	Tracce delle buche puntaie	

**Fig. 7.38. Quadro fessurativo e degrado, prospetto nord-ovest, si veda la tav. 6.04 presente nel book di tavole allegato.**

Il prospetto nord-ovest è in parte affetto da alterazione cromatica e dalle tracce di buche puntaie, ma in modo particolare la muratura si presenta erosa in alcune zone e manifesta tracce di tamponamenti (Fig. 7.39). La parte maggiormente infetta da colonizzazione biologica e colatura è quella inferiore, relativamente alla cripta (Fig. 7.40).



Fig. 7.39. Traccia del tamponamento di un'apertura, fotografia del 20 novembre 2014.



Fig. 7.40. Muratura della cripta caratterizzata da colonizzazione biologica e colatura, fotografia del 20 novembre 2014.

Infine il prospetto nord-est, quello pertinente l'abside e la sacrestia, è affetto in gran parte da alterazione cromatica e la pietra che definisce le finestre è interessata da deposito superficiale. La parte inferiore risulta fortemente colpita da colonizzazione biologica, patina biologica e colatura che si presenta come tracce parallele ad andamento verticale (Figg. 7.41 - 7.42).



Fig. 7.41. Parete della sacrestia: colonizzazione biologica, patina biologica e colatura, ripresa fotografica eseguita il 20 novembre 2014.



Fig. 7.42. Dettaglio dell'abside: colonizzazione biologica, patina biologica e colatura, ripresa fotografica eseguita il 20 novembre 2014.

### 7.2.2. Mappatura del degrado interno<sup>6</sup>

Per quanto riguarda l'analisi del danno interno, questo è stato svolto seguendo un ordine preciso: cripta, navata, presbiterio e abside, sacrestia e loggia, sottotetto. Le tipologie di degrado mappate internamente sono prevalentemente due, fessurazione e lacuna, per completezza viene riportato l'abaco riferito alla voce "lacuna".

<sup>6</sup> Si vedano le tav. 7.07 - 7.14 del book di tavole allegato.

## PARTE II. ANALISI DELLO STATO DI FATTO

### Rilievo critico del danno

LACUNA	
Descrizione: caduta e perdita di parti di un dipinto murale, con messa in luce degli strati di intonaco più interni o del supporto.	Cause: fenomeni di umidità, soluzioni di continuità conseguenti agli stress termici, soluzioni di continuità conseguenti alla presenza di fessurazioni, errori di posa in opera.



Tab. 7.7. Abaco del degrado interno.

La particolarità della cripta è quella di essere per gran parte del tempo caratterizzata dalla presenza di acqua, il livello di questa aumenta nei periodi di piena del canale Piovego o a causa delle precipitazioni. Si osservano quindi macchie di umidità di risalita sulle murature della cripta e sui setti in essa presenti, l'ambiente fertile e umido favorisce la presenza di colonizzazione biologica. In una delle pareti trasversali è presente una nicchia che una volta fungeva da raccoglitore d'acqua, qui la muratura è erosa e caratterizzata da macchie e croste (Fig. 7.43). La volta a botte ribassata e i muri d'ambito presentavano dipinti che ora risultano in parte distaccati mostrando parte della muratura sottostante (Fig. 7.44).



Fig. 7.43. Macchie e croste sulla nicchia.



Fig. 7.44. Dipinti della cripta in parte distaccati.

Gli affreschi della navata, oggetto di restauro negli anni Duemila, presentano lacune ed in mono particolare localizzate sulla volta a botte (Fig. 7.45)

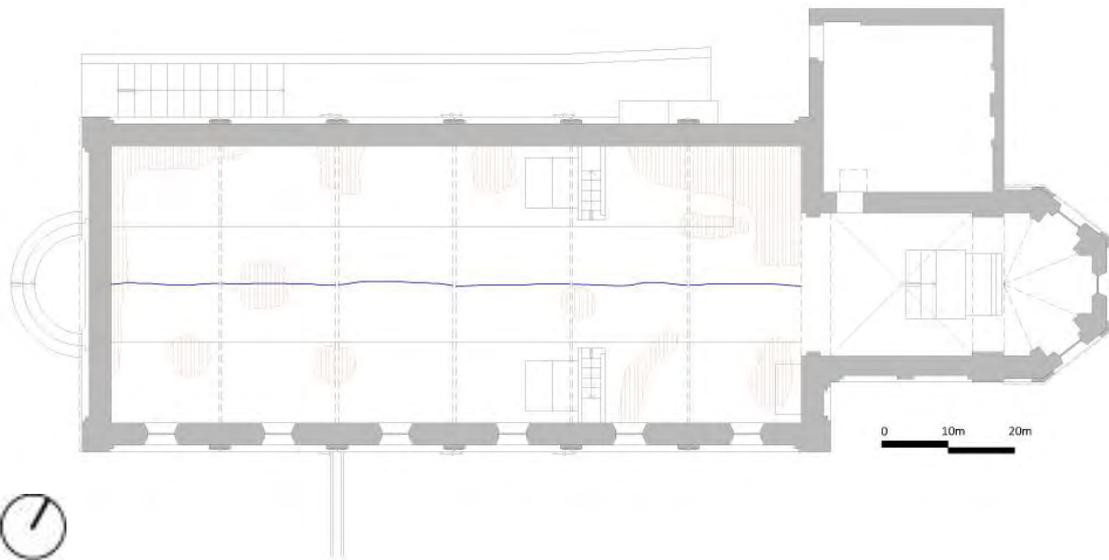


Fig. 7.45. Quadro fessurativo e degrado, orizzontamento (2m), si veda la tav. 6.10 presente nel book di tavole allegato.

Presbiterio e abside sono caratterizzati da lacune (Figg. 7.46 – 7.27), il danno interno alla sacrestia è localizzato sulla volta e anch'esso consiste in lacune (Figg. 7.48 – 7.49).



Fig. 7.46. Lacune negli affreschi, ripresa fotografica eseguita il 20 novembre 2014.



Fig. 7.47. Lacune negli affreschi, ripresa fotografica eseguita il 20 novembre 2014.



Fig. 7.48. Lacune negli affreschi dalla volta della sacrestia, ripresa fotografica eseguita il 20 novembre 2014.

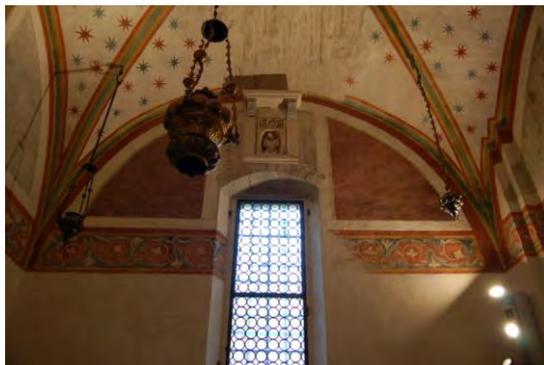


Fig. 7.49. Lacune negli affreschi nella vicinanza della finestra, ripresa fotografica eseguita il 20 novembre 2014.

Sopra al presbiterio e raggiungibile solo esternamente, si trova la loggia: questo ambiente un tempo affrescato presenta oggi molte lacune, sia sulle pareti che sulla volta a botte (Figg. 7.51 – 7.52).



Fig. 7.50. Quadro fessurativo e degrado, sacrestia, sezione GG e HH, si veda la tav. 6.12 presente nel book di tavole allegato.



Fig. 7.51. Lacune negli affreschi dalle pareti della loggia, ripresa fotografica eseguita il 26 gennaio 2015.



Fig. 7.52. Lacune negli affreschi della volta della loggia, ripresa fotografica eseguita il 26 gennaio 2015.

Attraverso un'apertura sulla volta si ha accesso al sottotetto: questo è l'ambiente maggiormente degradato. L'estradosso della volta a botte stellata presenta parti "rattoppate": queste "toppe" sono localizzate in corrispondenza dei medaglioni staccati e poi ricollocati da Pelliccioli<sup>7</sup> (Fig. 7.53). E' presente in particolare una zona maggiormente degradata, in corrispondenza dei gradini, parte che sembra essere realizzata successivamente alla volta stessa, intervento del quale non se ne è trovato traccia nella storia (Figg. 7.54 – 9.55).

<sup>7</sup> Nel 1944 il restauratore Mauro Pelliccioli venne chiamato a Padova, procedette con lo strappo di quattro medaglioni che poi vennero ricollocati nel 1947; PANIS, *Rilevamento dello stato di conservazione*, cit., pp. 95 – 96.



Fig. 7.53. Tracce lasciate in seguito alla ricollocazione dei medaglioni staccati precedentemente, fotografia del 26 gennaio 2015.



Fig. 7.54. Zona degradata, fotografia del 26 gennaio 2015.



Fig. 7.55. Zona degradata, fotografia del 26 gennaio 2015.

Nella tavola 7.14 del book allegato è presente un completo rilievo fotografico del danno degli ambienti che si trovano sopra il presbiterio e l'abside. Vediamo che nel primo locale citato la muratura non è in buono stato, presenta lesioni e stuccature eseguite con malta. Anche la malta stessa si presenta degradata mostrandosi granulosa in alcuni punti ed erosa in altri (Figg. 7.56 – 7.57).



Fig. 7.56. Stuccature e malta degradata, ripresa fotografica effettuata il 26 gennaio 2015.



Fig. 7.57. Lesioni e stuccature con malta, ripresa fotografica effettuata il 26 gennaio 2015.

Nella torretta del campanile si osserva l'uso della malta per risarcire i danni in particolare degli architravi delle finestre e dei tamponamenti (Figg. 7.58 – 7.59).



Fig. 7.58. Malta per risarcire danni sull'architrave delle finestre, ripresa fotografica effettuata il 26 gennaio 2015.



Fig. 7.59. Tamponamenti, ripresa fotografica effettuata il 26 gennaio 2015.

Il sottotetto della loggia non è accessibile ma può essere studiato solo con un'analisi visiva, si osserva che la muratura del solaio non è di buona qualità (Fig. 7.60). La sacrestia e la loggia sono stati realizzati successivamente al resto dell'edificio, sono stati infatti ritrovati nel sottotetto della loggia, sulla parete del presbiterio, gli archi decorativi caratterizzanti la fascia estera superiore della Cappella, questi si presentano disgregati (Fig. 7.61).



Fig. 7.60. Muratura del solaio, fotografia del 26 gennaio 2015.



Fig. 7.61. Archetti decorativi disgregati, fotografia del 26 gennaio 2015.

### **7.2.3. Natura del danno**

La natura del danno può essere di due diversi tipi: dovuta ad un deterioramento fisico – chimico o a interventi precedenti.

Dal punto di vista fisico – chimico, l'aumento di umidità ha gravemente colpito gli affreschi ed ha anche contribuito a causare danni alla superficie muraria: la cristallizzazione dei sali si è riscontrata in diverse zone provocando meccanismi di deterioramento quali efflorescenze. L'infiltrazione dell'acqua piovana dal tetto ha portato ad una perdita di adesione degli affreschi e ad una disgregazione parziale, le zone in cui questo è maggiormente evidente sono l'arcone trionfale e la volta. Il tetto è stato riparato nel 1999 in quanto le pareti mostravano una concentrazione di sali significativa, specialmente nitrati e solfati, rispetto alle altre zone della Cappella esaminate; il fenomeno delle infiltrazioni è cumulativo e il meccanismo di deterioramento progressivo. Il fenomeno dell'umidità caratterizza in modo particolare il locale della cripta, durante l'anno più volte soggetto alla presenza d'acqua che ne copre l'intero pavimento, mostrando sulle pareti i segni della presenza ascendente dell'acqua. Il fenomeno dell'attacco biologico è particolarmente sviluppato nelle parti inferiori della facciata e può essere correlato al contenuto di umidità della parete dovuta al livello del suolo, che contribuisce un ambiente fertile alla colonizzazione biologica.

Dal punto di vista del danno pregresso, negli anni la Cappella degli Scrovegni è stata sottoposta a diverse fasi di alterazioni e d'intervento. La demolizione del palazzo adiacente e del portico antistante la facciata ha portato la stessa parete a rimanere esposta agli agenti atmosferici durante molti decenni. Sono presenti molte risarciture con mattoni non originali, in modo particolare caratterizzanti le pareti nord di loggia e sacrestia.

### **7.3. ANALISI DELLE VULNERABILITA' STRUTTURALI**

Per determinare la vulnerabilità sismica sono state usate come riferimento le *“Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale”* per ricercare gli elementi vulnerabili dal punto di vista strutturale. La vulnerabilità sismica è la valutazione della possibilità che persone, edifici o attività subiscano danni o modificazioni al verificarsi dell'evento sismico. Misura da una parte la perdita o la riduzione di efficienza della struttura, dall'altra la capacità residua a svolgere ed assicurare le funzioni che l'edificio esprime solitamente in condizioni normali. Nel caso degli edifici, la vulnerabilità dipende dai materiali, dalle caratteristiche costruttive e dallo stato di manutenzione. L'analisi della vulnerabilità di un edificio avviene generalmente in seguito all'azione di un sisma: inizialmente si procede alla catalogazione dei danni, poiché il sisma ha già messo in luce gli elementi vulnerabili dell'edificio stesso. Oggi la Cappella degli Scrovegni non si trova in situazione d'emergenza post-sismica e non presenta né danni evidenti, né un ampio quadro fessurativo, quindi si è operato attraverso un'attenta analisi in prospetto, in pianta e in sezione allo scopo di individuare le vulnerabilità tipiche e specifiche del manufatto.

#### **7.3.1. Vulnerabilità in prospetto<sup>8</sup>**

Nei quattro prospetti è stato analizzato l'allineamento delle aperture e la conseguente determinazione dei maschi murari che permette di stabilire se la redistribuzione dei carichi è corretta. Si osserva che le aperture delle pareti sono distribuite in modo regolare favorendo percorsi regolari nella trasmissione degli sforzi.

---

<sup>8</sup> Si vedano le tav. 7.15 -7.18 del book di tavole allegato.

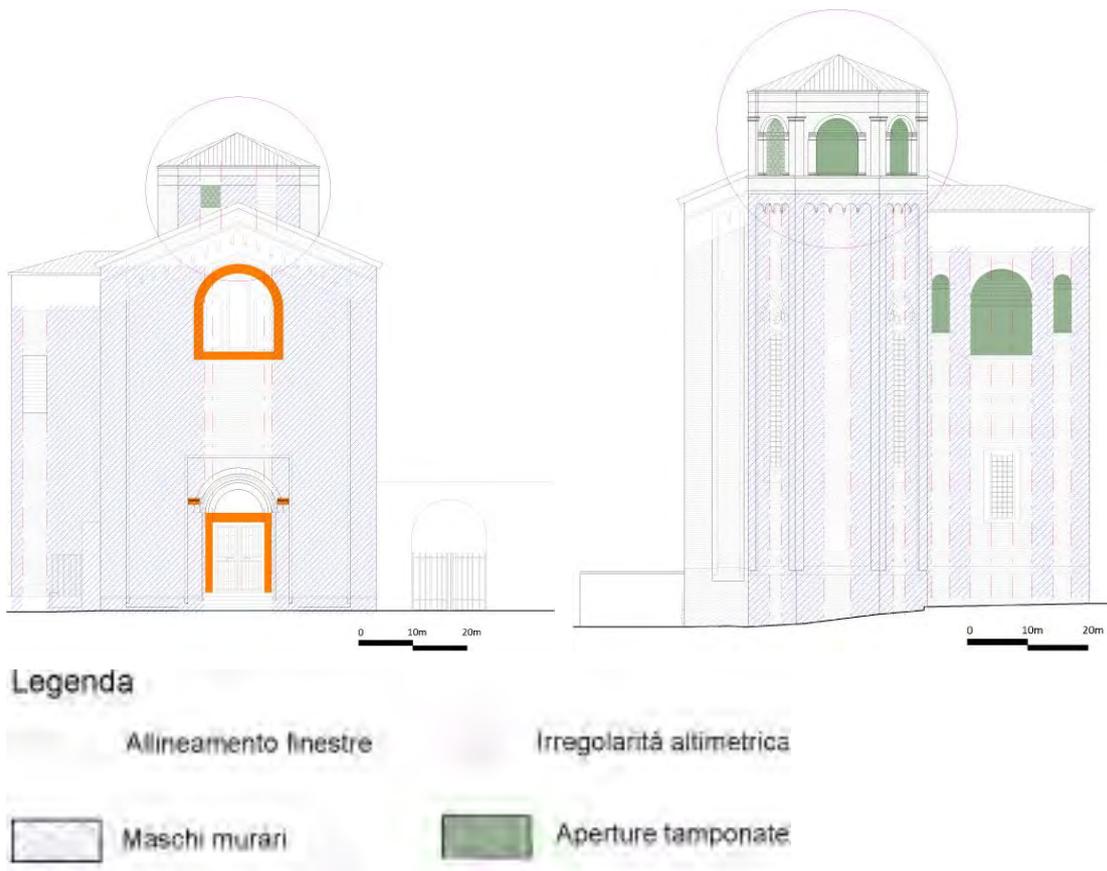


Fig. 7.62. Vulnerabilità, prospetto sud-ovest, si veda la tav. 6.12 presente nel book di tavole allegato.

Fig. 7.63. Vulnerabilità, prospetto nord-est, si veda la tav. 6.12 presente nel book di tavole allegato.

Sono distribuiti regolarmente anche i maschi murari dell'abside, questi però, a differenza dei precedenti, sono molto più snelli a causa della presenza delle finestre e quindi vulnerabili dal punto di vista della stabilità (Fig. 7.64). Per quanto riguarda la sacrestia, questa è stata sopraelevata nel Cinquecento e ciò ha causato, nel prospetto esposto a nord-est, una notevole riduzione dei maschi murari e di conseguenza della resistenza della muratura nel caso di azioni sismiche nel piano. Le aperture della loggia sono state in seguito tamponate in quanto correttamente ritenute elementi deboli (Fig. 7.65). Tutti i tamponamenti evidenziati nei prospetti sono elementi vulnerabili in quanto rappresentano delle discontinuità che potrebbero influenzare il comportamento strutturale dell'edificio. Anche gli elementi in pietra, presenti in facciata, possono essere considerati fortemente vulnerabili in quanto compromettono la sicurezza dell'edificio, soprattutto nel caso in cui presentino fessurazioni. La Cappella degli Scrovegni è caratterizzata dalla presenza della torretta, rialzata nel Settecento,

parte dell'edificio che spicca rispetto al resto e va a determinare una discontinuità altimetrica che, in caso di evento sismico, potrebbe provocare spostamenti relativi delle porzioni più alte, l'evolversi di momenti torsionali aggiuntivi e di martellamenti tra le diverse porzioni della struttura (Fig. 7.66).



Fig. 7.64. Maschi murari e aperture dell'abside, fotografia del 20 novembre 2014.



Fig. 7.65. Tamponamenti delle finestre della loggia rialzata, fotografia del 20 novembre 2014.



Fig. 7.66. Torretta che definisce discontinuità altimetrica, fotografia del 20 novembre 2014.

### 7.3.2. Vulnerabilità in pianta<sup>9</sup>

La Cappella degli Scrovegni è stata realizzata in più fasi: da prima la navata, in seguito presbiterio e abside, in conclusione la sacrestia sopraelevata poi negli anni successivi.

La realizzazione di porzioni di edificio in tempistiche differenti porta ad affrontare il problema della continuità strutturale accentuata dall'utilizzo di materiali dalle caratteristiche meccaniche diverse da quelle presenti in opera.

<sup>9</sup> Vedi tavola 7.19 del book in allegato.



Fig. 7.67. Vulnerabilità, pianta (1m), si veda la tav. 6.19 presente nel book di tavole allegato.

Potrebbero presentare discontinuità causate da un collegamento non corretto le murature del presbiterio (Figg. 7.68 – 7.69) che si posano a quelle della navata e quelle della sacrestia in appoggio al presbiterio e in parte alla navata (Figg. 7.70 – 7.71).



Fig. 7.68. Ammortamento tra pareti della navata e del presbiterio, fotografia del 26 gennaio 2015.



Fig. 7.69. Collegamento tra pareti della navata e del presbiterio, fotografia del 26 gennaio 2015.



**Fig. 7.70.** Ammorsamento tra pareti del presbiterio e della sacrestia, fotografia del 26 gennaio 2015.



**Fig. 7.71.** Ammorsamento tra pareti del presbiterio e della sacrestia, fotografia del 20 novembre 2014.

La Cappella degli Scrovegni è caratterizzata al suo interno da un grande arco trionfale che divide la navata decorata da Giotto dal presbiterio, tale elemento strutturale forse è in pietra, in contrasto con la muratura che costituisce il resto dell'edificio. Anche l'arco che separa il presbiterio dall'abside risulta essere definito da una cornice in pietra; non è possibile determinare l'invasività della presenza della pietra in quanto gli archi risultano intonacati e affrescati. La loggia al di sopra della sacrestia è stata realizzata nel Cinquecento ed è caratterizzata da una copertura pesante in laterocemento, materiale con caratteristiche molto diverse da quelle della muratura in opera. Il tetto della navata è stato oggetto di un importante intervento nel 1963 che vede l'introduzione di un cordolo in cemento armato sopra alla muratura perimetrale originaria dell'edificio: il cordolo risulta essere di 70 cm in corrispondenza delle pareti longitudinali, è invece più snello su quelle trasversali. Rappresenta un elemento vulnerabile anche la presenza di nicchie nello spessore della muratura che compromettono la resistenza strutturale dell'edificio sottoposta ad azioni fuori e nel piano. Sono pertanto state individuate le nicchie presenti per valutare la loro influenza nella riduzione delle caratteristiche meccaniche della sezione muraria; queste si concentrano in particolare nella zona absidale (Fig. 7.72), nel presbiterio (Fig. 7.73) e nella sacrestia (Fig. 7.74).



Fig. 7.72. Nicchia presente nel catino absidale, fotografia del 20 novembre 2014.



Fig. 7.73. Nicchia presente nel presbiterio, fotografia del 20 novembre 2014.



Fig. 7.74. Nicchia presente nella sacrestia, fotografia del 20 novembre 2014.

All'interno della muratura delle pareti longitudinali è presente una trave in legno<sup>10</sup>, elemento vulnerabile in quanto riduce la sezione della muratura resistente.

### 7.3.3. Vulnerabilità in sezione<sup>11</sup>

Anche in sezione sono state individuate le zone in cui la sezione muraria è ridotta a causa della presenza di nicchie, in particolare quella presente nella cripta.

La presenza della volta a botte spingente innestata sulle pareti longitudinali è un elemento fortemente vulnerabile. L'intervento eseguito nel 1963 riguardante la copertura, oltre all'introduzione del cordolo, ha previsto anche l'inserimento di sette capriate in acciaio e la sostituzione del solaio ligneo con un solaio in laterocemento, operazione che avrebbe potuto comportare discontinuità tra le diverse parti. Grazie allo studio in sezione è stato possibile identificare la presenza di un arco nell'ambiente del sottotetto posto sopra il presbiterio che risulta essere in falso.

<sup>10</sup> FABBRI COLABICH, PROSDOCIMI, SACCOMANI, *I recenti lavori*, cit., p. 63.

<sup>11</sup> Vedi tavola 7.20 del book in allegato.



Fig. 7.75. Vulnerabilità, sezione BB, si veda la tav. 6.20 presente nel book di tavole allegato.

#### 7.4. VULNERABILITA' NON STRUTTURALI, ARREDI E IMPIANTI

In seguito allo studio delle vulnerabilità di tipo strutturale, si è passati all'analisi legata alle vulnerabilità non strutturali basandosi sulle *"Linee guida per la riduzione della vulnerabilità non strutturali, arredi e impianti"*, queste forniscono indicazioni e dettagli progettuali per la riduzione della vulnerabilità sismica di elementi non strutturali, cioè quelle parti non dipendenti dalla struttura dell'edificio che, in seguito al loro danneggiamento, potrebbero causare gravi danni all'incolumità delle persone oltre a determinare l'ostruzione delle vie di fuga. Di seguito è analizzata la presenza di questi elementi che potrebbero causare problematiche in ogni ambiente interno della Cappella degli Scrovegni (nell'ordine: cripta, navata, sacrestia e sottotetto) nonostante

l'unico locale accessibile al pubblico sia la navata, limitatamente alla zona centrale. Per quanto riguarda l'esterno, questo è interamente definito da un rivestimento in muratura del quale non si conosce la consistenza e il collegamento: viene ritenuto quindi un elemento vulnerabile.

#### 7.4.1. Cripta

La cripta è caratterizzata dalla presenza di setti, elementi non strutturali posti in opera come presidi nel periodo della guerra; nell'ipotesi in cui non ci sia tutt'oggi un'interazione con la struttura, questi elementi vengono considerati vulnerabilità nel momento in cui vengono sollecitati da azioni fuori dal loro piano. Altri elementi non strutturali che potrebbero essere un pericolo in caso di danneggiamento sono la pesante scalinata d'ingresso in pietra (Fig. 7.76) e la lastra, sempre in pietra, appoggiata alla vasca di raccolta d'acqua che sorregge alcuni scalini lapidei (Fig. 7.77). Rappresentano vulnerabilità gli infissi e le tegole presenti sull'architrave della porta d'ingresso.



Fig. 7.76. Scalinata di pietra d'ingresso, ripresa fotografica del 20 novembre 2014.

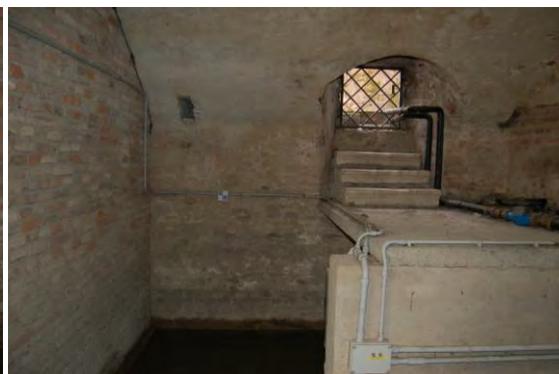


Fig. 7.77. Lastra in pietra e scalini appoggiati su vasca di raccolta, ripresa fotografica del 20 novembre 2014.

Infine, ulteriori problematiche sono rappresentate dall'illuminazione (Figg. 7.78 – 7.79) in quanto appesa e dalle passerelle, poste dall'ISCR di Roma per garantire l'accesso al locale anche in caso di allagamento, a causa dell'appoggio sul pavimento leggermente in pendenza, in parte eroso o reso poco coeso dall'acqua (Fig. 7.80). I gravi danni che il danneggiamento di questi elementi possono causare sono limitati in quanto il locale è chiuso al pubblico.

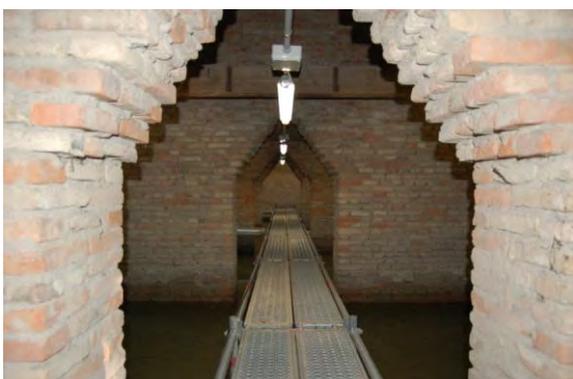


Fig. 7.78. Illuminazione appesa, fotografia del 20 novembre 2014.



Fig. 7.79. Illuminazione appesa, fotografia del 20 novembre 2014.



Fig. 7.80. Passerelle, fotografia del 20 novembre 2014.

#### 7.4.2. Navata

La navata della Cappella degli Scrovegni è l'unica parte dell'edificio accessibile al pubblico che può così ammirare gli affreschi di Giotto; l'accesso è comunque limitato alla sola zona centrale della stessa in quanto lateralmente sono presenti le antiche panche in legno e gli altari, entrambi elementi oltre che di importanza storico – culturale, vulnerabili secondo la nostra analisi (Fig. 7.81). Anche presbiterio e abside non sono accessibili dai visitatori e sono caratterizzati dalla presenza di sedili lignei, altare e elementi lapidei snelli quali statue (Figg. 7.82 – 7.83). Elementi vulnerabili sono inoltre infissi e illuminazione appesa.



Fig. 7.81. Altare e panche lignee, fotografia del 20 novembre 2014.



Fig. 7.82. Elemento appeso nell'abside, fotografia del 20 novembre 2014.



Fig. 7.83. Altare, statue e sedute lignee presenti nell'abside, fotografia del 20 novembre 2014.

### 7.4.3. Sacrestia

Il locale della sacrestia non è accessibile al pubblico ed è caratterizzato dalla presenza di elementi appesi alla volta, di armadiature snelle, di illuminazione e della statua di Enrico all'interno di una nicchia (Figg. 7.84 – 7.86).



Fig. 7.84. Armadiatura e illuminazione, fotografia effettuata il 20 novembre 2014.



Fig. 7.85. Elementi appesi, illuminazione, fotografia del 20 novembre 2014.



Fig. 7.86. Statua di Enrico all'interno della nicchia, fotografia del 20 novembre 2014.

### 7.4.4. Sottotetto

Gli ambienti accessibili del sottotetto non sono aperti al pubblico ma sono riservati agli addetti alla manutenzione e al monitoraggio. Questi locali si raggiungono mediante una serie di scale, alcune di queste appoggiate o lignee e costituiscono un elemento vulnerabile. Si trovano poi oggetti appesi, quali illuminazione e la centralina di controllo del monitoraggio.

## 7.5. GLI STRUMENTI SCHEDOGRAFICI

In seguito all'esperienza maturata con il terremoto del Friuli del 1976, si è sviluppata una metodologia di rilievo che attraverso la compilazione di schede organizzate su diversi livelli di approfondimento permette di catalogare in modo completo e oggettivo il danno causato dal sisma.

### 7.5.1. Scheda di secondo livello

Per lo studio della Cappella degli Scrovegni si potrebbe utilizzare la scheda Chiese di II livello, ma per completezza ci rifacciamo alla scheda di II livello *“Valutazione e correlazione della vulnerabilità e del danno ad apparati decorativi fissi e al supporto*

*strutturale*”: ingloba infatti la scheda Chiese e il fatto che il sito sia di interesse culturale. Questa scheda infatti consente il rilievo approfondito del danno e della vulnerabilità dei beni artistici fissi (nello specifico dipinti murali, mosaici e stucchi) e del relativo supporto, permette di identificare il manufatto e di collegare i beni artistici ai macroelementi strutturali di pertinenza.

La scheda e le *“Linee guida per la compilazione della scheda di valutazione e correlazione della vulnerabilità e del danno ad apparati decorativi fissi e al supporto strutturale”* è stata sviluppata nel settembre 2014 nel progetto PROVACI, acronimo di tecnologie per la PROtezione sismica e la Valorizzazione di Complessi di Interesse culturale che coinvolge istituzioni pubbliche di ricerca e aziende private in Campania, Puglia e Veneto, in particolare l’Università degli Studi di Padova. Lo stesso progetto ha dato vita ad un archivio online *“DataBASES”* (Beni Artistici – Elementi Strutturali) che raccoglie i dati schematizzati nelle schede di valutazione. I dati che costituiscono l’archivio si riferiscono a specifici casi studio, vengono descritte le componenti strutturali e i beni artistici in modo integrato in relazione alla vulnerabilità e al danno. Nel DataBASES sono stati riportati anche le schede redatte in sito in merito alla Cappella degli Scrovegni, le stesse schede vengono riportate in seguito<sup>12</sup> mentre in tabella gli esiti dell’analisi.

Codice id.		Bene artistico				Elemento strutturale			
		Danno		Vulnerabilità		Danno		Vulnerabilità	
A	1	■□	■□□	■□□	■□	■□□	■□□	■□□	
A	2	■□	■□□	■□□	■□	■□□	■□□	■□□	
A	3	■□	■□□	■□□	■□	■□□	■□□	■□□	
A	4	■□	■□□	■□□	■□	■□□	■□□	■□□	
A	5	■□	■□□	■□□	■□	■□□	■□□	■□□	
B	6	■□	■□□	■□□	□□	■□□	■□□	■□□	
C	6	■□	■□□	■□□	□□	■□□	■□□	■□□	
D	7	■□	■□□	■□□	□□	■□□	■□□	■□□	
E	7	■□	■□□	■□□	□□	■□□	■□□	■□□	
D	8	■□	■□□	■□□	□□	■□□	■□□	■□□	

Fig. 7.87. Esiti forniti dalla Scheda.

<sup>12</sup> Vedi allegato II. Schede di valutazione e correlazione della vulnerabilità e del danno ad apparati decorativi fissi e al supporto strutturale.

*PARTE II. ANALISI DELLO STATO DI FATTO*

*Rilievo critico del danno*

---

**APPENDICE F. SCHEMATIZZAZIONE DELLE PROBLEMATICHE RINTRACCIATE**

Viene offerta di seguito una sintesi di tutte le problematiche riscontrate nei capitoli precedenti - dall'analisi dell'evoluzione storica allo studio degli interventi pregressi, dalla determinazione degli elementi strutturali al rilievo del danno – rispetto le quali saranno sviluppate le parti successive al fine di prevedere le modalità che potrebbero servire alla risoluzione dei dubbi ed avere così una completa conoscenza dell'edificio.

<b>Cripta</b>	
Murature d'ambito	Stratigrafia ignota
Volta	Spessore ignoto
Tutta la muratura	Presenza di umidità di risalita
Architrave delle finestre	Fessurazioni
Parete trasversale vicino all'ingresso	Cavillature
Parete trasversale (sotto la facciata)	Presenza di nicchie
Catene	Non si conosce l'efficacia
Travi in legno	Non si conosce lo stato di salute

<b>Navata</b>	
Pareti	Presenza di finestre tamponate per offrire un'ampia superficie affrescabile a Giotto
Pareti longitudinali	Presenza di una trave in rovere nello spessore della muratura (vecchio ancoraggio delle catene)
Parete nord	Fessurazione in corrispondenza della carità e del tamponamento esterno

## PARTE II. ANALISI DELLO STATO DI FATTO

### Appendice F. Schematizzazione delle problematiche rintracciate

Parete nord	Fessurazione longitudinale all'imposta della volta
Parete nord	Fessurazioni diagonali sulle finestre
Parete sud	Fessurazione in corrispondenza degli affreschi riadesi
Controfacciata	Fessurazione sul Giudizio
Controfacciata	Fessurazione diagonale visibile dal sottotetto
Arco trionfale	Fessurazione in corrispondenza dell'apertura tamponata
Arco trionfale	Fessurazione diagonale visibile dal sottotetto monitorata da distanziometri
Arco trionfale	Rivestimento in pietra, materiale con caratteristiche diverse
Volta	Fessurazioni in chiave e ai quarti
Volta	Elemento spingente

<b>Presbiterio</b>	
Arco	Rivestimento in pietra, materiale con caratteristiche diverse
Pareti	Non si conosce il collegamento, storicamente questa zona è edificata successivamente alla costruzione della navata, si vede nel sottotetto che le pareti risultano appoggiate
Pareti	Presenza di nicchie

<b>Abside</b>	
Pareti	Non si conosce il collegamento e non si sa se è stato realizzato successivamente o contemporaneamente al presbiterio

Pareti	Maschi murari snelli
Pareti	Presenza di nicchie

<b>Sacrestia</b>	
Pareti	Maschi murari snelli
Volta	Spessore e composizione ignoti, lacune che permettono di identificare muratura
Pareti	Non si conosce il collegamento, fessurazione in corrispondenza dell'architrave della porta tra corpi di fabbrica
Pareti	Presenza di nicchie

<b>Loggia</b>	
Volta	Spessore e composizione ignoti, lacune che permettono di identificare muratura
Pareti	Non si conosce il collegamento, fessurazione in corrispondenza dell'architrave della porta
Pareti	Elementi strutturali ignoti quali tamponamenti

<b>Sottotetto</b>	
Volta	Zona degrada ignota
Volta	Ignoto l'ammorsamento tra volta e facciata
Pareti del presbiterio	Fessurazioni
Presbiterio	Catene visivamente inefficaci
Presbiterio	Arco in falso

## PARTE II. ANALISI DELLO STATO DI FATTO

### Appendice F. Schematizzazione delle problematiche rintracciate

Torretta	Irregolarità altimetrica
Torretta	Fessurazioni
Torretta	Elementi strutturali ignoti quali tamponamenti
Solaio dell'abside	Zona ignota, sopraelevazione avvenuta in anni successivi rispetto l'intero edificio
Loggia	Catene visivamente inefficaci

<b>Esterno</b>	
Elementi in pietra	Fessurazioni
Parete sud	Elementi strutturali ignoti quali tamponamenti
Parete nord	Presenza di colonizzazione biologica
Facciata	Catene inserite nello spessore della muratura

***PARTE III***  
***INDAGINI DIAGNOSTICHE***



## **8. SICUREZZA STRUTTURALE DELLE COSTRUZIONI STORICHE**

La conservazione degli edifici storici è un argomento che da qualche decennio è protagonista di un intenso dibattito culturale, in modo particolare in rapporto all'uso che vien fatto dell'edificio stesso. Si sta per arrivare ad una presa di posizione secondo la quale conservazione ed uso sono due concetti inscindibili che producono il duplice vantaggio di rafforzare l'identità culturale e parallelamente incrementare la qualità della vita della comunità, ponendo sempre maggior attenzione al mondo tecnico-scientifico<sup>1</sup>.

L'Italia è un contesto a rischio sismico e gli edifici storici, che costituiscono una parte considerevole del patrimonio culturale e monumentale, sono in muratura; il terremoto del Friuli del 1976 ha segnato un punto di svolta per l'ingegneria strutturale italiana, ponendo per la prima volta attenzione alla salvaguardia, strettamente legata al concetto di sicurezza strutturale. Nell'ottica di porre attenzione agli effetti che la conservazione può indurre per garantire una buona sicurezza strutturale, si è vista necessaria l'introduzione di normative tecniche specifiche per le costruzioni esistenti soggette a rischio sismico: sono state pubblicate le nuove normative sismiche e le *Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle Norme Tecniche delle Costruzioni*<sup>2</sup>.

### **8.1 GENERALITA'**

Le costruzioni e le componenti strutturali devono garantire il previsto uso, in modo economicamente sostenibile e con il livello di sicurezza atteso secondo le NTC. La sicurezza strutturale viene generalmente definita in modo semplificato come un processo di verifica e adeguamento: bisogna "verificare" che la struttura sia "adeguata" a prestabiliti livelli di resistenza, in questo caso un edificio è ritenuto

---

<sup>1</sup> C. MODENA, *Aspetti strutturali: normativa in campo nazionale e internazionale*, in «Kermes. La rivista del restauro», XXI, 71, p. 99.

<sup>2</sup> *Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle Norme Tecniche delle Costruzioni*, Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri 12 ottobre 2007, Ministero per i beni e le attività culturali, Dipartimento per i beni culturali e paesaggistici, Direzione generale per i beni architettonici e paesaggistici.

sicuro. Nello specifico le verifiche di sicurezza valutano il superamento di uno stato limite, situazione superata la quale l'edificio non soddisfa le esigenze per le quali era stato progettato. Si fa riferimento allo stato limite ultimo (SLU), il superamento di questo ha carattere irreversibile e implica il collasso; e allo stato limite di esercizio (SLE), che non compromette il collasso ma l'utilizzo previsto dell'opera. Il capitolo 2.3 *Valutazione della sicurezza* delle NTC, definisce il metodo semiprobabilistico agli stati limite come criterio per valutare la sicurezza:

*“Nel metodo semiprobabilistico agli stati limite, la sicurezza strutturale deve essere verificata tramite il confronto tra la resistenza e l'effetto delle azioni. Per la sicurezza strutturale, la resistenza dei materiali e le azioni sono rappresentate dai valori caratteristici,  $R_{ki}$  e  $F_{kj}$  definiti, rispettivamente, come il frattile inferiore delle resistenze e il frattile (superiore o inferiore) delle azioni che minimizzano la sicurezza. [...] La verifica della sicurezza nei riguardi degli stati limite ultimi di resistenza si effettua con il “metodo dei coefficienti parziali” di sicurezza espresso dall'equazione formale:  $R_d \geq E_d$  dove*

*$R_d$  è la resistenza di progetto, valutata in base ai valori di progetto della resistenza dei materiali e ai valori nominali delle grandezze geometriche interessate;*

*$E_d$  è il valore di progetto dell'effetto delle azioni, valutato in base ai valori di progetto  $F_{dj} = F_{kj} \gamma_{Ej}$ .*

*I coefficienti parziali di sicurezza,  $\gamma_{Mi}$  e  $\gamma_{Ej}$ , associati rispettivamente al materiale  $i$ -esimo e all'azione  $j$ -esima, tengono in conto la variabilità delle rispettive grandezze e le incertezze relative alle tolleranze geometriche e alla affidabilità del modello di calcolo.”*

Il modo di approcciarsi alle costruzioni storiche cambia rispetto alla definizione utilizzata nell'ambito delle nuove costruzioni: il concetto di “verifica” viene infatti sostituito con quello di “valutazione” e allo stesso modo è introdotto il termine “miglioramento” in alternativa all’“adeguamento”. L'analisi strutturale delle costruzioni storiche richiede maggiore cautela e gli approcci tradizionali di calcolo utilizzati per la progettazione delle nuove costruzioni non sono applicabili. Inoltre spesso risulta problematico individuare lo schema statico di un edificio che ha subito azioni di sottrazione, aggiunte e sostituzione nei secoli. I risultati non possono ritenersi precisi ma saranno dipendenti da incertezze naturali, ad esempio i carichi applicati e le caratteristiche del terreno, ma anche da fattori indeterminabili, come il

comportamento umano<sup>3</sup>. In particolare, il capitolo 8.3 *Valutazione della sicurezza* delle NTC si riferisce alle costruzioni esistenti e dichiara che:

*“La valutazione della sicurezza e la progettazione degli interventi sulle costruzioni esistenti potranno essere eseguiti con riferimento ai soli SLU; nel caso in cui si effettui la verifica anche nei confronti degli SLE i relativi livelli di prestazione possono essere stabiliti dal Progettista di concerto con il Committente.*

*Le Verifiche agli SLU possono essere eseguite rispetto alla condizione di salvaguardia della vita umana (SLV) o, in alternativa, alla condizione di collasso (SLC). [...] Qualora le circostanze riguardino porzioni limitate della costruzione, la valutazione della sicurezza potrà essere limitata agli elementi interessati e a quelli con essi interagenti, tenendo presente la loro funzione nel complesso strutturale.*

*La valutazione della sicurezza deve permettere di stabilire se:*

- l'uso della costruzione possa continuare senza interventi;*
- l'uso debba essere modificato (declassamento, cambio di destinazione e/o imposizione di limitazioni e/o cautele nell'uso);*
- sia necessario procedere ad aumentare o ripristinare la capacità portante.*

*La valutazione della sicurezza dovrà effettuarsi ogni qual volta si eseguano gli interventi strutturali e dovrà determinare il livello di sicurezza prima e dopo l'intervento. Il Progettista dovrà esplicitare, in un'apposita relazione, i livelli di sicurezza attuali o raggiunti con l'intervento e le eventuali conseguenti limitazioni da imporre nell'uso della costruzione.”*

Queste considerazioni fanno comprendere la necessità di una strumentazione d'analisi specifica nello studio degli edifici storici ma anche un'attenzione da parte dei tecnici coinvolti nel trarre informazioni - riferite al funzionamento strutturale e alle attuali condizioni di sicurezza strutturali - dal vantaggio dato dall'esistenza della costruzione pervenuta oggi con certe caratteristiche.

### **8.1.1 Insegnamenti dalle esperienze italiane**

Negli ultimi decenni, a seguito del sisma del Friuli del 1976, in Italia si è cominciato a prestare attenzione al problema della correlazione tra uso e conservazione del valore storico-artistico del manufatto, indagando in modo particolare sul significato di sicurezza strutturale e sulle modalità di intervento per aumentare o ripristinare la

---

<sup>3</sup> MODENA, *Aspetti strutturali*, cit., p. 101.

resistenza della costruzione. La percezione comune è stata per lungo tempo quella secondo la quale gli edifici storici non sono adatti a sopportare le vibrazioni indotte dai terremoti, in quanto caratterizzati da archi e volte costituiti da legno e muratura. Questo sentore era dovuto ad un approccio errato: i materiali tradizionali, quali legno, muratura e pietra, non erano mai stati considerati precedentemente ai fini della sicurezza strutturale. Non erano infatti presenti in normativa questi tipi di muratura sino al 1989, anno in cui viene per la prima volta pubblicata una norma nazionale applicabile solo alle costruzioni murarie non site in zone sismiche. Non essendoci normativa di riferimento, in seguito al sisma in Friuli, ci si aggrappò al metodo semplicistico di verifica POR proposto dagli esperti dello ZRMK di Lubiana sia per progettare gli interventi di messa in sicurezza e successiva ricostruzione degli edifici, sia per risolvere i problemi strutturali delle tipologie costruttive più complesse. La conseguenza è stata, nell'ottica di dare sempre risposte tecniche anche se sbrigative e non competenti in situazioni di emergenza, redigere documenti ufficiali che prevedevano il trattamento in merito alla sicurezza strutturale di questa tipologia edilizia simile a quello di strutture in c.a. Il terremoto in Friuli ha quindi dato il via a un processo di aggiornamento delle conoscenze delle strutture storiche che trova riscontro nei successivi sviluppi normativi e nella prassi professionale grazie all'introduzione di nuovi metodi d'intervento. In parallelo si sviluppa una frenetica ricerca di nuovi materiali e di tecniche innovative volte al rinforzo degli edifici storici<sup>4</sup>. Derivano da questi anni interventi incompatibili e pesanti come ad esempio: la sostituzione di elementi lignei o voltati con strutture in c.a. sia nei solai che in copertura, l'introduzione di iniezioni di resina e di iniezioni armate e l'utilizzo di ristilature armate e di intonaci armati. L'uso improprio del cemento armato ha causato comportamenti imprevedibili e con effetti disastrosi come si può osservare da ciò che si è verificato in seguito al sisma del 1997 dell'Umbria-Marche, a quello in Abruzzo nel 2009 e a quello recente in Emilia del 2012. In seguito all'esperienza di ciò che questi

---

<sup>4</sup> C. MODENA, F. DA PORTO, M.R. VALLUZZI, *Conservazione del patrimonio architettonico e sicurezza strutturale in zona sismica: insegnamenti dalle recenti esperienze italiane*, in «Materiali e strutture – problemi di conservazione», Università degli studi di Roma “La sapienza», nuova serie, anno I, numero 1-2, 2012, pp. 20-21.

interventi hanno causato, oggi si può affermare che è preferibile una rivalutazione dei materiali e delle tecniche tradizionali per far attenzione a non eseguire interventi che comportino modifiche alle proprietà meccaniche dei materiali e ai comportamenti strutturali, preferendo il recupero dei principi della “regola dell’arte”<sup>5</sup>. Solo dall’osservazione degli effetti dei terremoti passati si è sviluppato il concetto che le esigenze di sicurezza e salvaguardia possono convivere, tanto da essere una imprescindibile per l’altra.

### **8.1.2      Aggiornamento della normativa**

In prima istanza si è cercato di superare il problema di sicurezza/conservazione con l’introduzione nella normativa italiana del D.M. 24/10/1986 *Norme tecniche relative alle costruzioni antisismiche* che da una definizione dell’intervento di miglioramento:

*«l’esecuzione di una o più opere riguardanti i singoli elementi strutturali dell’edificio con lo scopo di conseguire un maggior grado di sicurezza strutturale senza, peraltro, modificarne in maniera sostanziale il comportamento globale».*

Successivamente, nel 1996, viene proposto il D.M. 16/01/1996 *Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche* che, oltre a ripresentare il concetto di miglioramento, indica in quale campo va applicato:

*«tale tipologia d’intervento si applica, in particolare, al caso degli edifici di carattere monumentale [...] in quanto compatibile con le esigenze di tutela e di conservazione del bene culturale».*

Un ordinamento più completo, tecnico e metodico del problema avviene solo dieci anni dopo grazie all’adozione delle specifiche *Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle Norme Tecniche per le Costruzioni*; viene ribadito il concetto di interventi di miglioramento per gli edifici vincolati:

*«Per i beni culturali tutelati è necessario attenersi ad interventi di miglioramento, a riparazioni o ad interventi locali (punto 8.4 delle NTC). Con il termine di miglioramento si deve intendere l’esecuzione di opere in grado di far conseguire all’edificio un maggior*

---

<sup>5</sup> A. GIUFFRÉ, *Leggendo il libro delle antiche architetture. Aspetti statici del restauro*, a cura di C. F. Carocci e C. Tocci, Gangemi Editore, Roma, 2010.

### PARTE III. INDAGINI DIAGNOSTICHE

#### Sicurezza strutturale delle costruzioni storiche

---

*grado di sicurezza ri-spetto alle condizioni attuali, con un livello di protezione sismica non necessariamente uguale a quello previsto per l'adeguamento delle costruzioni. Riparazioni o interventi locali interessano invece porzioni limitate della costruzione, e devono essere soggetti a verifiche locali; nel caso dei beni tutelati è comunque richiesta anche una valutazione della sicurezza complessiva, in forma semplificata, in modo da certificare che non siano peggiorate le condizioni di sicurezza preesistenti».*

Vengono introdotte interessanti novità per la valutazione della sicurezza dei beni culturali: strumenti di calcolo per il livello della sicurezza strutturale che schematizzano il raggiungimento di uno stato limite, indicazioni precise in merito alla scarsa efficacia e pericolosità di alcune tecniche di intervento “pesanti” promuovendo invece l'efficacia di soluzioni “tradizionali”.

*«In questa Direttiva viene proposto un percorso di conoscenza, analisi sismica e progetto degli interventi che considera: le esigenze di conservazione, la volontà di preservare il manufatto dai danni sismici, i requisiti di sicurezza in relazione alla fruizione ed alla funzione svolta.*

*Ribadito quindi che per i beni culturali tutelati è possibile derogare rispetto all'adeguamento, dal punto di vista operativo, una possibile procedura in applicazione ai concetti espressi è la seguente:*

- *valutazione dell'indice di sicurezza sismica (definito al § 2.4) nella situazione attuale (funzionamento accertato): in questa fase si dovrà tenere debitamente conto anche di valutazioni qualitative su situazioni di vulnerabilità riconosciute ma difficilmente quantificabili;*
- *valutazione dell'indice di sicurezza sismica al quale il manufatto può essere portato con interventi compatibili con le esigenze di tutela:*
  - a) se l'indice di sicurezza sismica raggiungibile, che tiene conto della pericolosità del sito, delle caratteristiche del manufatto e della sua destinazione d'uso, è maggiore o uguale ad uno, l'intervento di miglioramento è pienamente soddisfacente anche dal punto di vista della sicurezza, valutata attraverso un procedimento quantitativo;*
  - b) se l'indice di sicurezza sismica raggiungibile è inferiore a quello auspicabile, ovvero sarebbero necessari interventi troppo invasivi, il progettista può giustificare l'intervento ricorrendo anche a valutazioni qualitative, che dovranno essere tradotte in termini quantitativi, adeguatamente giustificati in una relazione esplicativa ad integrazione della relazione di calcolo».*

### 8.1.3 Tecniche d'intervento in normativa

Con riferimento alle costruzioni esistenti, le NTC classificano gli interventi in tre diverse categorie:

*“interventi di adeguamento atti a conseguire i livelli di sicurezza previsti dalle norme  
interventi di miglioramento atti ad aumentare la sicurezza strutturale esistente, pur senza  
raggiungere i livelli richiesti dalla norma  
riparazioni o interventi locali che interessino elementi isolati, o che comunque comportino  
un miglioramento delle condizioni di sicurezza preesistenti.  
Gli interventi di adeguamento e miglioramento devono essere sottoposti a collaudo  
statico.”*

Per i beni di interesse culturali si deve osservare il capitolo 6 delle Linee Guida che si occupa dei *Criteria per il miglioramento sismico e tecniche di intervento*. Ci dice che ponendosi come obiettivo oltre alla conservazione anche l'accertamento del funzionamento strutturale devono essere evitate opere di demolizione-sostituzione e di demolizione-ricostruzione, preferendo interventi che si integrino con la struttura esistente senza trasformarla. Per quanto possibile gli interventi dovranno essere non invasivi e compatibili rispettando la concezione e le tecniche originarie della struttura, scegliendo ad esempio di riparare gli elementi danneggiati piuttosto che sostituirli. Lo stesso capitolo fornisce una suddivisione in categorie degli interventi possibili su edifici in muratura: interventi volti a ridurre le carenze dei collegamenti, volti a ridurre le spinte di archi e volte ed al loro consolidamento, a ridurre l'eccessiva deformabilità dei solai ed al loro consolidamento, interventi in copertura, interventi volti ad incrementare la resistenza degli elementi murari, pilastri e colonne, interventi su elementi non strutturali, interventi in fondazione. Per ognuno di questi vengono indicate le possibili tecniche applicabili.

## 8.2 INDAGINI SPERIMENTALI

La conoscenza del manufatto è un presupposto fondamentale al fine di programmare interventi volti al miglioramento dell'edificio in modo tale che risponda ai requisiti richiesti per garantire nel contempo sicurezza strutturale e conservazione. Si ha la necessità di valutare le caratteristiche costruttive e lo stato di danno preventivamente all'adozione di qualsiasi tecnica di intervento. Per un bene di interesse storico artistico e culturale – quale la Cappella degli Scrovegni - le indagini in sito devono essere il meno possibile distruttive e per questo è bene affinare le tecniche di indagini usuali in quanto l'esecuzione di un'esaustiva campagna di prove sperimentali risulterebbe troppo invasiva per l'edificio storico<sup>6</sup>. Inoltre il percorso di studio dell'esistente potrebbe incontrare ostacoli dovuti alle modifiche apportate negli anni, all'invecchiamento dei materiali e alle calamità naturali, ma anche relative ai costi dell'esecuzione delle indagini. Due documenti di carattere generale e metodologico si interessano della preliminare fase di indagine, uno riferendosi in modo particolare alle ispezioni<sup>7</sup>, l'altro concentrandosi sulle tecniche di indagine possibili<sup>8</sup>. La conoscenza dell'edificio è preliminare anche alla valutazione di vulnerabilità in campo sismico.

La conoscenza di un edificio inizia dall'osservazione visiva, dallo studio dell'evoluzione storica, dall'analisi dei materiali e delle tecniche costruttive e prosegue con l'osservazione del degrado e delle vulnerabilità. Solo successivamente a questo si passa ad un vero e proprio piano di indagine che può prevedere prove svolte in sito o in laboratorio, in base alle finalità delle stesse e alle risorse disponibili. Ci si serve di un piano di indagine nel caso in cui si operi in una situazione di rischio immediato, oppure per indagare in modo dettagliato materiali, struttura e degrado quando non è presente un rischio, e anche per verificare l'efficacia dell'intervento e per il monitoraggio<sup>9</sup>.

---

<sup>6</sup> L. BINDA, A. SAISI, *Il ruolo delle indagini nella diagnostica strutturale*, 2003, p.1.

<sup>7</sup> CEN TC346 *Conservation of cultural property – WG1: "Condition survey of immovable heritage"*; Archivio Soprintendenza per i beni architettonici e paesaggistici per le province di Venezia, Belluno, Padova e Treviso, f. Archivio lavori 1, PD 059/0150.

<sup>8</sup> CEN TC346 *Conservation of cultural property – WG2N 018: "Diagnosis of building structures"*; Archivio Soprintendenza per i beni architettonici e paesaggistici per le province di Venezia, Belluno, Padova e Treviso, f. Archivio lavori 1, PD 059/0150.

<sup>9</sup> BINDA, SAISI, *Il ruolo delle indagini*, cit., p.2.

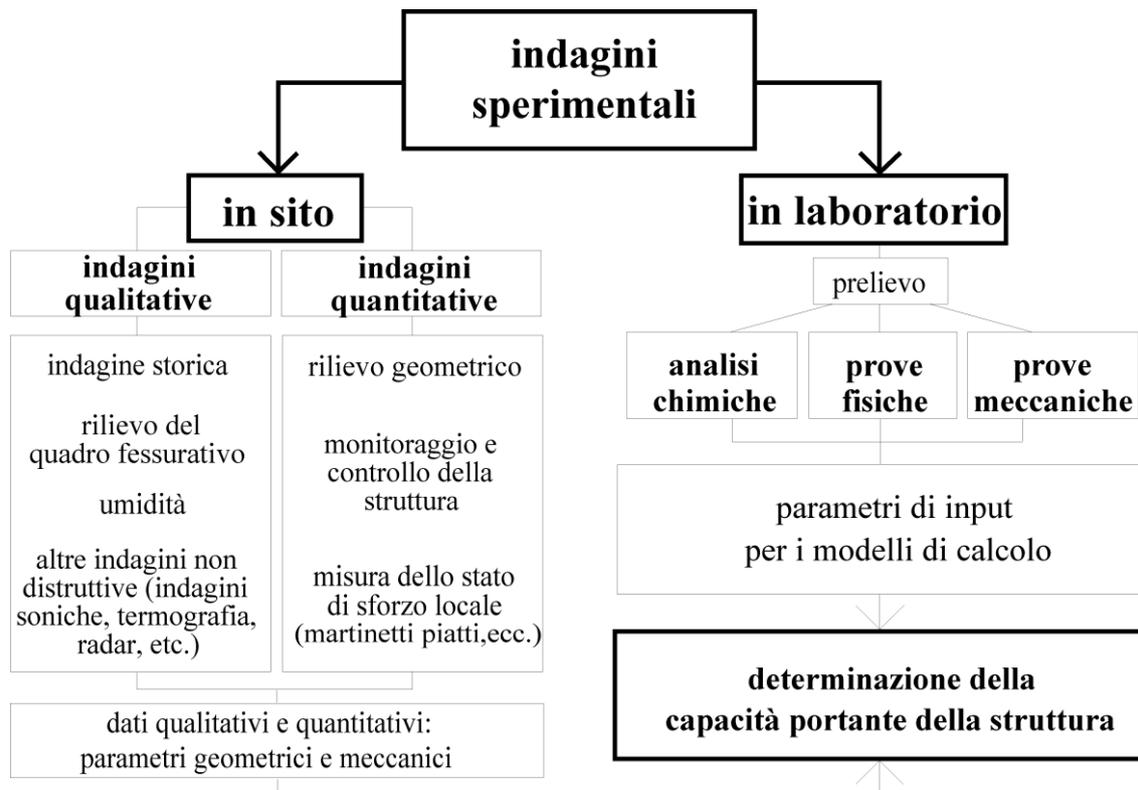


Fig. 8.1. Finalità dell'indagine sperimentale e dell'analisi strutturale. (BINDA, SAISI, *Il ruolo delle indagini*, cit., p.5.)

Nella Fig. 8.1 si vede come le indagini, suddivise in sito e in laboratorio, siano legate a delle specifiche finalità e offrano risultati che possono essere di tipo qualitativo o quantitativo. Si nota come le tecniche diagnostiche non distruttive permettano di valutare l'omogeneità dei parametri meccanici della costruzione, ma non forniscano dati quantitativi attendibili dei loro valori, in quanto essi sono ricavati dalla misura di altre grandezze. Pertanto la possibilità di ottenere informazioni di tipo quantitativo non può tralasciare una perturbazione del manufatto, seppur limitata, operando con indagini distruttive o debolmente distruttive mirate su porzioni ridotte dell'edificio, di cui è però necessario verificare la rappresentatività. Per ridurre l'invasività delle indagini è possibile calibrare le prove non distruttive grazie ad un numero limitato di prove distruttive. Le tipologie di prove possono ulteriormente essere suddivise secondo il livello di invasività: prove distruttive, debolmente distruttive e non distruttive.

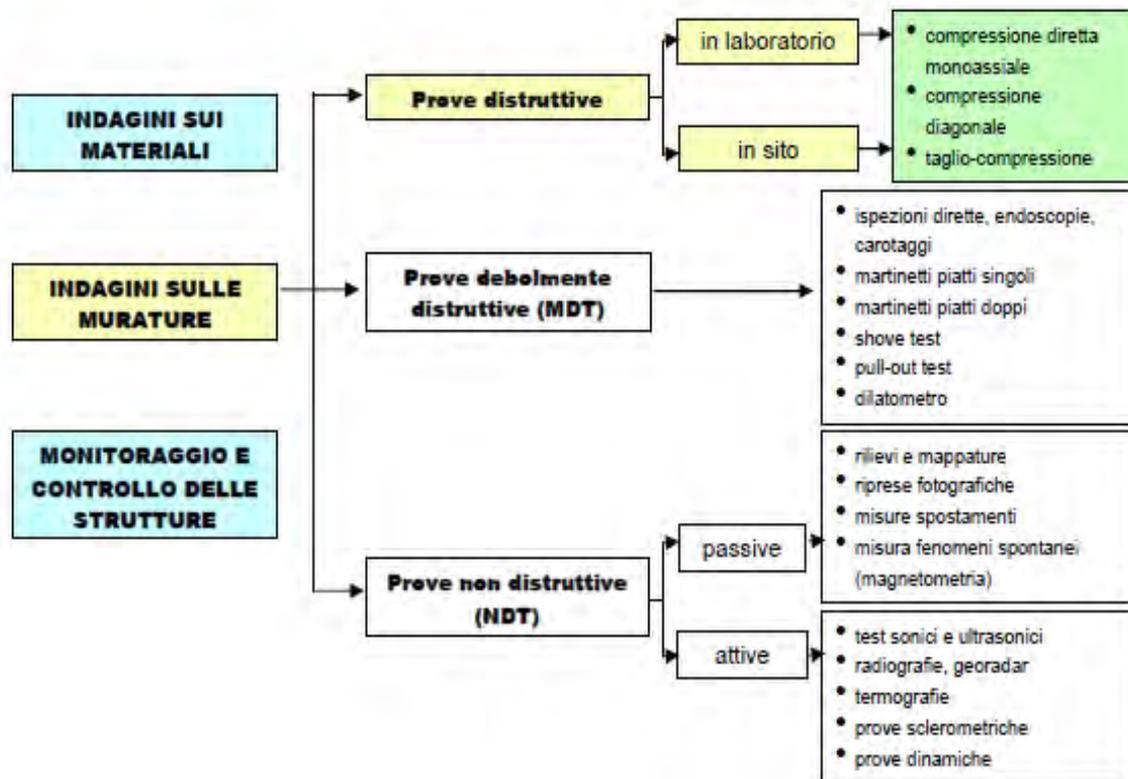


Fig. 8.2. Tecniche d'indagine comunemente impiegate. (MODENA, *Aspetti strutturali*, cit., p. 108.)

### 8.2.1 Prove distruttive

Questa tipologia di prove viene usata solo quando risulta essere indispensabile in quanto molto costosa e di difficile ripetizione a causa della sua distruttività. La situazione migliore per servirsi di questo tipo di indagine è quella di avere a disposizione un pannello murario: questo viene portato a rottura per permettere di condurre prove a compressione, fortemente invasive, che forniscono dati quantitativi esaustivi sulla resistenza meccanica a compressione del pannello considerato:

- prova di compressione diagonale, su un pannello quadrato;
- prova di compressione e taglio, su un pannello rettangolare di altezza doppia rispetto alla larghezza.

### 8.2.2 Prove debolmente distruttive

Sono le indagini più usate in quanto danno risultati in breve tempo e non hanno un costo elevatissimo. Di seguito si riporta una breve descrizione di alcune prove debolmente distruttive.

- **Smontaggi:** eseguibili su limitate porzioni dell'edificio, solitamente non superiori a 1 m<sup>2</sup>, al fine di studiare la costituzione di particolari della struttura;
- **Scarifiche:** eseguibili su limitate porzioni dell'edificio, solitamente non superiori a 1 m<sup>2</sup>, al fine di studiare lo strato di supporto sito al di sotto dell'intonaco;
- **Prelievi di malta** e successive **analisi chimiche;**
- **Carotaggi:** determinano la stratigrafia e la composizione di alcune porzioni di muratura. La distruttività di queste prove dipende dalle dimensioni del foro e dalla modalità con cui viene praticato (ad esempio se non si utilizza dell'acqua per raffreddare il cilindro di metallo rotante, si rischia la dilavazione della malta), si preferisce l'esecuzione mediante un carotatore con testa rotante diamantata in quanto meno invasiva rispetto ai prelievi eseguiti manualmente<sup>10</sup>;
- **Martinetti piatti singoli:** misura lo stato di tensione di compressione all'interno della muratura;
- **Martinetti piatti doppi:** individua informazioni riguardanti le caratteristiche di deformabilità, stato di sforzo e resistenza; è però importante specificare che l'utilizzo di questa prova può rendersi pericoloso se applicato in aree fragili e delicate poiché induce localmente uno stato di compressione prossimo alla rottura.

Le indagini con i martinetti piatti, sia singoli che doppi, sono le uniche prove debolmente distruttive a fornire dei valori caratteristici; le misurazioni saranno tanto più affidabili quanto la muratura si presenti regolare, in particolare nel caso di una tessitura ordinata sarà possibile scalfire solamente il giunto di malta ed inserirvi il martinetto invece che dover procedere ad un taglio della muratura. Inoltre è sempre bene prevedere, antecedentemente all'uso di martinetti, una mappatura della

---

<sup>10</sup> BINDA, SAISI, *Il ruolo delle indagini*, cit., p.8.

muratura tramite prove soniche, sia dirette che indirette in base alle possibilità, soprattutto per valutare la posizione in cui installarli.

### 8.2.3 Prove non distruttive

Nell'analisi di edifici storici sono la tipologia d'indagine da preferire in quanto non danneggiano l'edificio; possiamo suddividere in prove passive ed attive. Tra le tecniche passive più diffuse ci sono: rilievi, riprese fotografiche, misurazioni di spostamenti e di fenomeni spontanei; a far parte delle indagini di tipo attivo: termografie, endoscopie, test sonici e ultrasonici, prove magnetometriche, prove dinamiche, Resistograph e igrometro, georadar e tomografie elettriche. Queste indagini sono utilizzate per individuare vuoti e difetti interni della muratura che ad occhio nudo non sono percepibili.

- **Indagini termografiche:** si basano sulle radiazioni infrarosse che un qualsiasi oggetto è in grado di emanare e permette di indagare su ciò che a occhio nudo non si vede ricercando, ad esempio, la presenza di materiale diverso, di discontinuità o di umidità<sup>11</sup>;
- **Endoscopie:** esaminano la conformazione interna della sezione muraria senza danneggiare il manufatto ma grazie all'inserimento di piccole sonde all'interno di cavità, preferibilmente già esistenti. Sono utili nell'individuazione di cavità nascoste o per riconoscere i diversi materiali non visibili sotto lo strato superficiale; il costo di questa indagine è però elevato;
- **Indagini soniche:** si basano sull'analisi delle onde elastiche che vengono ottenute percuotendo la struttura e sulla rielaborazione delle frequenze soniche e ultrasoniche calcolando il tempo e la velocità dell'attraversamento della muratura da parte di questo impulso. Queste indagini determinano la morfologia della sezione ed in particolare indagano la presenza di difetti intrinseci a questa. Una particolare applicazione di questo tipo di prove è la tomografia, che consiste sostanzialmente in un'indagineonica svolta su ogni

---

<sup>11</sup> Si veda cap. 10. Basi teoriche: indagini termografiche.

lato di un elemento isolato, ad esempio un pilastro, che va a creare una fitta rete di percorsi all'interno del materiale;

- **Le prove magnetometriche:** permettono di localizzare materiali metallici attraverso l'uso del pacometro, basato sul principio dell'induzione magnetica; nello specifico consiste nell'individuazione all'interno di un manufatto della posizione, del diametro e della distanza dalla superficie (copri ferro) delle barre di armatura e delle staffe;
- **Le prove dinamiche:** vengono utilizzate per verificare il comportamento della struttura e la sua integrità controllando la risposta della stessa a vibrazioni ambientali o forzate grazie a sistemi di monitoraggio statici o dinamici;
- **Uso dell'igrometro:** strumento tascabile che permette un'immediata valutazione del contenuto d'acqua all'interno di una struttura su ogni tipo di muratura; ci sono inoltre sistemi per la misura in continuo dei parametri ambientali, adatti per il monitoraggio di ogni tipo di ambiente;
- **Resistograph:** consente di eseguire un'analisi qualitativa della tipologia di legno e di misurare caratteristiche quali la densità; l'analisi fornisce anche informazioni su carie, danni provocati da parassiti, fenditure, sezioni trasversali residue e livelli di densità apparente del legno. La prova si basa sul rilievo della resistenza alla perforazione opposta dal legno l'avanzamento di una sottile punta di acciaio a velocità costante, misurando l'energia impiegata dallo strumento.

Due tipologie di indagini non distruttive sono il georadar (GPR, Ground Penetrating Radar) e la tomografia elettrica (ERT, Electrical Resistivity Tomography), si tratta di metodi geofisici che restituiscono profili del terreno bidimensionale o tridimensionale, entrambe introdotte nel settore della diagnostica recentemente e sottoposti a rapida evoluzione negli anni 1980 e 1990; se ne fornisce una descrizione maggiormente approfondita rispetto le precedenti topologie di indagini non distruttive.

### 8.2.3.1. Indagini GPR

L'indagine GPR<sup>12</sup> è una metodologia di tipo geofisico a riflessione di impulso elettromagnetico per le indagini superficiali ad alta risoluzione che ha subito un rapido sviluppo negli ultimi due decenni. Dagli anni '90 infatti divenne un metodo di indagine standard in geologia, nello studio dell'ambiente ed archeologia, con processori sempre più veloci e di piccole dimensioni. In merito all'ingegneria civile nello specifico si potrebbe usare tale indagine al fine di localizzare sottoservizi di varia natura, per il controllo di disomogeneità strutturali, per l'individuazione di armature nascoste di strutture sepolte, per l'analisi della pavimentazione stradale. Il georadar permette di indagare la geometria degli elementi non visibili al fine di acquisire informazioni su tecniche costruttive, elementi strutturali, armature e difetti; tali informazioni hanno caratteristiche qualitative eccellenti ma quantitative limitate. Questa tipologia d'indagine per molti anni è stata utilizzata in modalità 2D, eseguiva infatti profili lineari dai quali si rilevavano le sezioni bidimensionali degli elementi analizzati; negli ultimi 20 anni è stata introdotta la procedura d'indagine 3D e il conseguente sviluppo dei software specifici per l'elaborazione dei dati e la restituzione dei risultati tridimensionali. Il modello 3D fornisce dati più completi grazie allo studio simultaneo dell'intero volume e non di sole sezioni bidimensionali acquisite lungo linee parallele.

Il georadar è basato sulla misura delle proprietà fisiche (resistività elettrica, permittività dielettrica, polarizzabilità indotta) dei materiali mediante la trasmissione di impulsi elettromagnetici nel terreno; le modalità di propagazione delle onde elettromagnetiche sono strettamente legate alle costanti dielettriche dei materiali, che derivano a loro volta dallo stato fisico degli stessi (densità, porosità, permeabilità, conducibilità), pertanto tutte le interfacce possono essere individuate in modo tanto più certo quanto più alto è il contrasto fisico. Gli impulsi elettromagnetici vengono immessi nel sottosuolo, riflessi e ricevuti da un'antenna trasmittente - ricevente trascinata sulla superficie del materiale da investigare. Il dispositivo è collegato a un

---

<sup>12</sup> L. ZANZI, M. LUALDI, *Recenti progressi nella tecnologia GPR e loro impatto sulle applicazioni per la diagnostica*, in «Il Giornale delle Prove non Distruttive Monitoraggio Diagnostica», 4/2008, p. 47; M. LUALDI, M. GIANINETTO, M. ZANZI, A. SAISI, *Complementarietà delle indagini termografiche e georadar nella diagnostica degli edifici*, in «Atti del 22° Convegno Nazionale G.N.G.T.S.», Roma, 11/2003; G. W. TUCKWELL, *NDT of historic buildings using GPR*, in *Insight*, 9/2005.

registratore grafico che, contemporaneamente al movimento dell'antenna, produce una sezione continua spazio-tempo nella quale si osservano le tracce delle diverse riflessioni e delle anomalie nella risposta, è dunque possibile un'interpretazione preliminare sul campo in vista di una ricostruzione maggiormente accurata di un modello tridimensionale.

#### 8.2.3.2. Indagini ERT

L'ERT<sup>13</sup> è una moderna metodologia d'indagine geofisica frutto dell'evoluzione delle classiche metodologie d'indagine geoelettriche e consiste nel misurare in diversi punti del suolo la resistività apparente, attraverso l'uso di elettrodi. Questa tecnica diagnostica è ampiamente utilizzata per investigare le strutture sepolte e le acque sotterranee, indaga infatti la struttura resistiva del terreno evidenziando i contrasti di resistività elettrica connessi con la natura dei terreni. La prova utilizza un gran numero di elettrodi infissi nel terreno ad una distanza determinata, l'immissione di corrente continua nel terreno e la misura del potenziale si alternano lungo l'allineamento dei dispositivi e ad ogni aumento della spaziatura degli stessi viene realizzato il successivo livello di misura; ad ogni immissione di corrente corrisponde un certo numero di misure di potenziale. Gli elettrodi sono connessi a strumentazioni computerizzate che permettono di acquisire migliaia di misurazioni di resistività elettrica del sottosuolo. Il calcolo della distribuzione delle resistività reali nel sottosuolo passa attraverso la soluzione di un problema inverso in quanto solo alcuni parametri sono direttamente osservabili sperimentalmente mentre altri si possono individuare basandosi sul modello determinato: il rapporto tra la tensione e la corrente immessa, moltiplicato per un coefficiente correttivo, dà la resistività della zona analizzata tra gli elettrodi. Al fine di ricavare sezioni bidimensionali è essenziale l'inversione dei dati geoelettrici di resistività, sono stati proposti diversi algoritmi dedicati per l'elaborazione delle misure di campagna e di recente si è sviluppata l'applicazione della tomografia elettrica 3D

---

<sup>13</sup> R. DEIANA, G. CASSIANI, G.P. DEIDDA, M. MURA, F. SCHIRRU, M.T. PERRI, *Cross-hole electrical resistivity tomography under extreme electrical conductivity conditions*, in « G.N.G.T.S. », 2011, pp. 491-495; R. DEIANA, G. CASSIANI, A. KEMNA, A. VILLA, V. BRUNO, A. BAGLIANI, *An experiment of non-invasive characterization of the vadose zone via water injection and cross-hole time-lapse geophysical monitoring*, in «Near Surface Geophysics», 2007, pp. 183-194.

che permette una dettagliata analisi tridimensionale del terreno. L'accuratezza dei risultati di questa prova non distruttiva dipende fortemente dalla precisione con la quale viene svolta l'inversione, che dipende a sua volta da una corretta stima e trattamento dei dati e degli errori del modello. Errori del modello possono essere determinati dall'approssimazione che spesso non tiene conto del conseguente impatto che avrà nei risultati finali. L'ERT è uno dei metodi elettrici in corrente continua più diffuso nei campi d'applicazione dei beni culturali e dell'ingegneria in generale.

## **9.PIANO D'INDAGINE**

Nel processo di conoscenza dell'edificio, una fase fondamentale è quella in cui si sintetizzano i dati fin'ora raccolti in un unico piano d'indagine che permetta una maggiore comprensione e consapevolezza dell'edificio e delle sue principali criticità, inoltre la trattazione che segue si svolge a fronte di campagne termografiche pregresse<sup>1</sup>. Nel caso specifico della Cappella degli Scrovegni, nei secoli sono state diverse le indagini condotte e negli ultimi cinquanta anni sono state effettuate alcune campagne, sia per quanto riguarda un monitoraggio delle strutture, sia in merito alle condizioni ambientali interne ed esterne. A ciò si aggiunge anche il fatto che non siano mai state condotte delle indagini con i nuovi metodi che oggi il campo della ricerca e del restauro offrono, se non appunto per piccole porzioni di edificio o per singoli elementi.

Il piano d'indagine che viene quindi di seguito proposto, vuole avere lo scopo di fornire e, se possibile, migliorare la qualità delle informazioni già esistenti e offrirne di nuove ove invece scarseggiassero o fossero inesistenti; tutto ciò sarà inoltre utile nella realizzazione di un veritiero e calibrato modello di comportamento della struttura, potendo introdurre dati fondamentali quali i reali parametri di deformazione e resistenza dei materiali.

### **9.1 TIPOLOGIA DI INDAGINI PREVISTE**

Trattandosi di un edificio storico e avente anche un forte valore artistico e culturale non sarà ovviamente possibile prevedere delle prove distruttive che rischino di minare, non solo l'integrità del prezioso patrimonio racchiuso all'interno, ma anche quello della struttura muraria. Verranno quindi utilizzate tecniche non distruttive o al massimo debolmente distruttive. Il limite di questa tipologia di indagini è che i dati forniti sono di tipo qualitativo e non sono in grado di fornire valori caratteristici. Bisogna infine svolgere un'ultima analisi per quanto riguarda il numero ed il posizionamento delle

---

<sup>1</sup> L'analisi dei risultati delle campagne termografiche pregresse, con maggior riferimento a quelle del 2013, è illustrata nei capitoli successivi; si veda cap. 11. Analisi delle termografie pregresse.

indagini, anche in base alla loro tipologia; sarà quindi ovvio come la quantità ed il tipo di prove prevedibili per i locali interni di navata, presbiterio ed abside saranno molto inferiori e totalmente non distruttive rispetto a quelle ipotizzabili per locali come la cripta o ancor più per il sottotetto che hanno un minor valore storico-artistico rispetto alla navata interamente ricoperta dal ciclo affrescato da Giotto.

Si vedrà come le prove debolmente distruttive si concentrino principalmente nei locali della cripta e dei sottotetti, fatta eccezione per alcune prove che vengono collocate all'esterno dei muri della navata e della sacrestia; si prevedono carotaggi, martinetti singoli e doppi. Le prove non distruttive sono quelle che trovano maggior applicazione ed in particolare le indagini termografiche: lo scopo è quello di eseguirne di più mirate rispetto alle problematiche evidenziate nel 2013 e accostarle ad una completa mappatura interna ed esterna, questo sarà possibile anche grazie all'acquisizione da parte dell'Università di Padova di una nuova macchina termografica che potrà quindi essere impiegata in questo frangente. Le altre principali indagini non distruttive che saranno previste sono: le prove soniche, georadar e le tomografie elettriche. Sono poi state inserite prove dinamiche al fine di valutare l'effettiva efficacia di catene e tiranti e altre prove come prelievi di malta, indagini endoscopiche e rimozione d'intonaco.

## **9.2 PIANIFICAZIONE DEL PIANO D'INDAGINE**

Si riporta di seguito una precisa localizzazione delle prove ipotizzate con la relativa motivazione. Prima di procedere è inoltre importante precisare come sia stato impossibile prevedere delle indagini conoscitive relative alla tipologia e lo stato delle fondazioni, in quanto questo prevedrebbe una rimozione dello strato di terra circostante la Cappella e ne potrebbero derivare delle problematiche dal punto di vista statico per essa.

### 9.2.1 Pianta piano interrato (-2) ,cripta<sup>2</sup>

In generale è stato possibile prevedere, per quanto riguarda i locali della cripta, numerose prove, sia debolmente distruttive che non, in quanto la tessitura della muratura esposta e il minor pregio artistico ne davano la concreta possibilità.

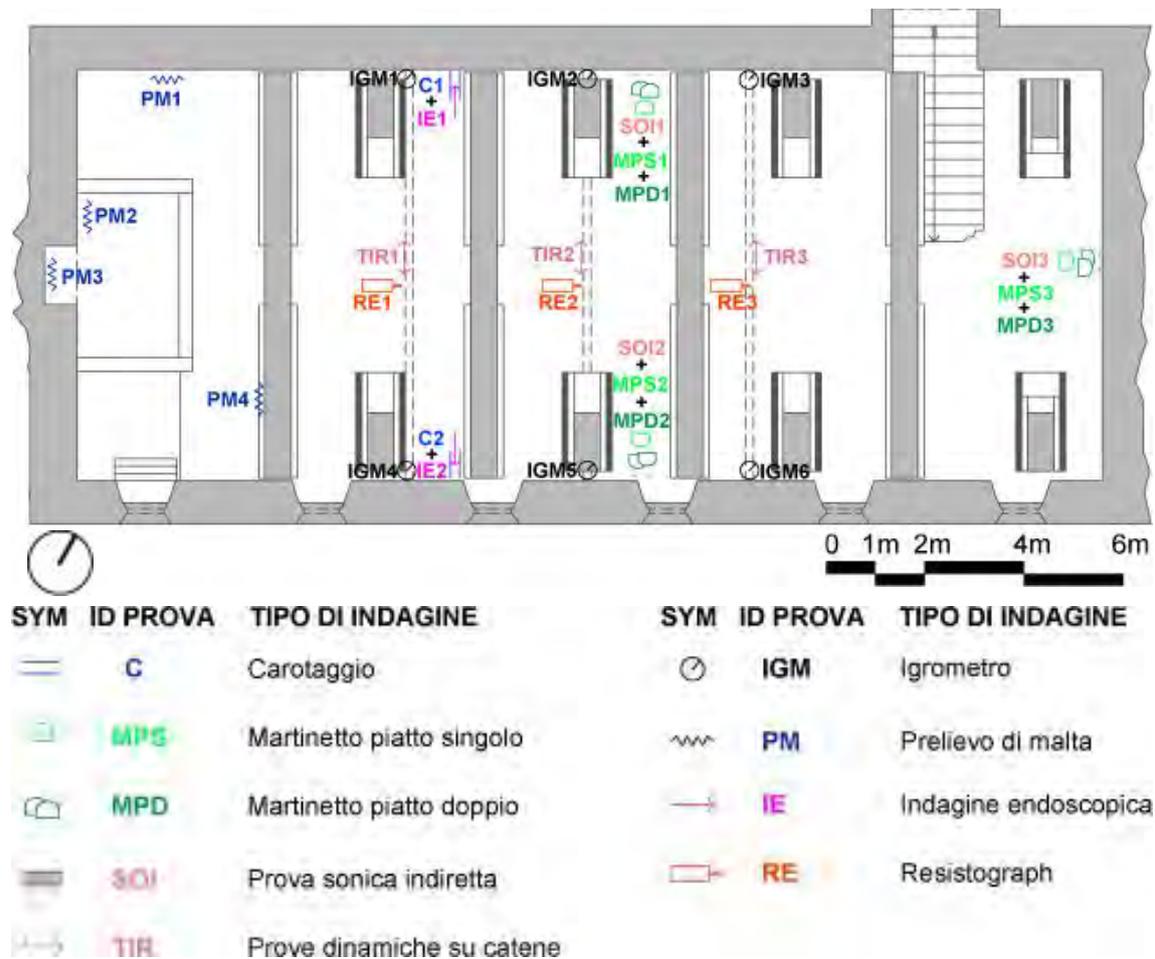


Fig. 9.1. Localizzazione delle prove nel locale della cripta, pianta interrato (-2m), si veda la tav. 8.01 presente nel book di tavole allegato.

Le indagini non distruttive e debolmente distruttive proposte all'interno della cripta sono riportate in legenda, segue ora una trattazione sulle stesse maggiormente approfondita.

- Si dispone l'esecuzione di carotaggi del paramento murario d'ambito della cripta e conseguente indagine endoscopica nel foro praticato in quanto non è possibile definire lo spessore e la stratigrafia della muratura essendo contro-terra senza uno scavo del terreno circostante.

<sup>2</sup> Si vedano le tav. 8.01, 8.08 - 8.09 del di tavole book allegato.

- Vengono poi previsti martinetti piatti singoli e doppi per indagare lo stato tensionale della muratura posizionati in basso rispetto al paramento murario in modo da avere al di sopra la maggior quantità possibile di carico, l'esatto posizionamento delle indagini deriva da un preliminare mappaggio eseguito mediante prove soniche indirette. Solitamente l'uso dei martinetti è preferibile all'esterno per il grande uso di acqua e olio che ne può derivare e che in generale solitamente sporcherebbero molto i locali interni, ma vista la situazione della cripta nella quale è spesso presente dell'acqua e una conseguente fanghiglia, l'applicazione di martinetti all'interno non desta preoccupazione.



Fig. 9.2. Nell'immagine, effettuata il 20 novembre 2014, mostra una delle travi in legno che rivestono le catene metalliche presenti all'interno della cripta e le pareti della cripta la cui tessitura muraria è ben esposta.



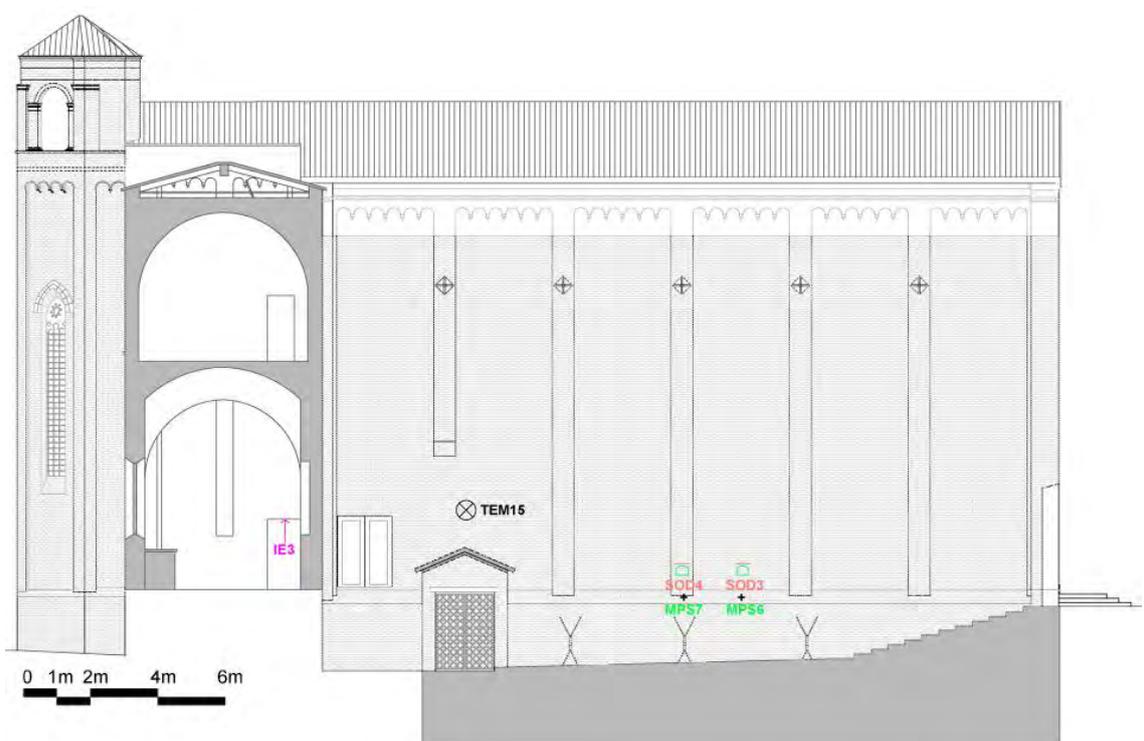
Fig. 9.3. Nell'immagine, effettuata il 20 novembre 2014, si vede la zona vicino alla pompa idraulica maggiormente caratterizzata da elevato tasso di umidità all'interno della muratura.

- Le prove dinamiche sulle catene della cripta, che ricordiamo essere rivestite completamente da travi in legno, saranno possibili se e solo se si evidenzierà – attraverso l'uso di igrometri e Resistograph - una condizione di degrado del rivestimento che ne permetterà quindi una rimozione e la conseguente possibilità di applicazione degli accelerometri; in caso contrario si è deciso di non prevedere alcuna indagine in merito proprio per non eseguire una rimozione delle stesse (Fig. 9.2).
- Visto l'alto tasso di umidità presente all'interno della muratura, si è deciso di prevedere alcuni prelievi di malta, in particolare la zona ipotizzata è quella vicino alla vasca della pompa idraulica, parte in cui tale danno si presenta in

modo maggiormente invasivo (Fig. 9.3). Si è inoltre previsto di eseguire prelievi di malta ogni qual volta venga eseguita una tipologia di prova, come martinetti piatti o carotaggi, che ne richieda la rimozione.

### 9.2.2 Pianta 1m<sup>3</sup>

Nei locali interni le pareti si presentano completamente affrescate e le prove eseguibili devono essere il meno possibile invasive, per questo si prevedono sono indagini non distruttive; esternamente invece vengono previste limitate indagini debolmente distruttive.



SYM	ID PROVA	TIPO DI INDAGINE	SYM	ID PROVA	TIPO DI INDAGINE
	MC	Micro-carotaggio		TEM	Termografie mirate
	MPS	Martinetto piatto singolo		IE	Indagine endoscopica
	SOD	Prova sonica diretta			
	SOD	Prova sonica indiretta			

Fig. 9.4. Localizzazione delle prove esternamente all'edificio, sezione EE, si veda la tav. 8.10 presente nel book di tavole allegato.

<sup>3</sup> Si vedano le tav. 8.02, 8.08 - 8.10 del book di tavole allegato.

Di seguito viene fornita una descrizione delle prove previste, analizzando dapprima quelle riferite al perimetro esterno della Cappella per poi passare all'interno.

- Si prevedono prove soniche di tipo diretto, da precedersi all'utilizzo dei martinetti piatti, per mappare la muratura e poterli in seguito collocare nella giusta posizione.
- Si indicano martinetti singoli al fine di definire lo stato tensionale della struttura, in questo caso vista l'alta regolarità della muratura non sarà necessario un taglio di essa ma solo una rimozione della malta nella parte interessata ed una sua relativa analisi. Si evita l'uso di martinetti piatti doppi poiché potrebbero comportare un pericolo di danneggiamento causando uno stato tensionale interno alla muratura, prossimo alla rottura.
- Viene indicata inoltre un'indagine termografica mirata nell'area soprastante, la porta della cripta, in cui sembrerebbe, in base al diverso colore dei giunti di malta, essere stata tamponata, probabilmente anticamente un passaggio o una porta (Fig. 9.5).
- Viene posizionata un'indagine endoscopica nella sacrestia (Fig. 9.4) effettuata attraverso l'inserimento di un endoscopio nella fessura di grandi dimensioni visibile al di sopra della porta, tra i paramenti murari di sacrestia e presbiterio per indagare a proposito delle connessioni tra i due: sembrerebbe infatti che le murature siano semplicemente appoggiate (Fig. 9.6).



Fig. 9.5. Nell'immagine, effettuata il 20 novembre 2014, si può vedere la traccia di un'apertura tamponata.



Fig. 9.6. Nell'immagine, effettuata il 20 novembre 2014, si può vedere la fessura tra la parete del presbiterio e quella della sacrestia.

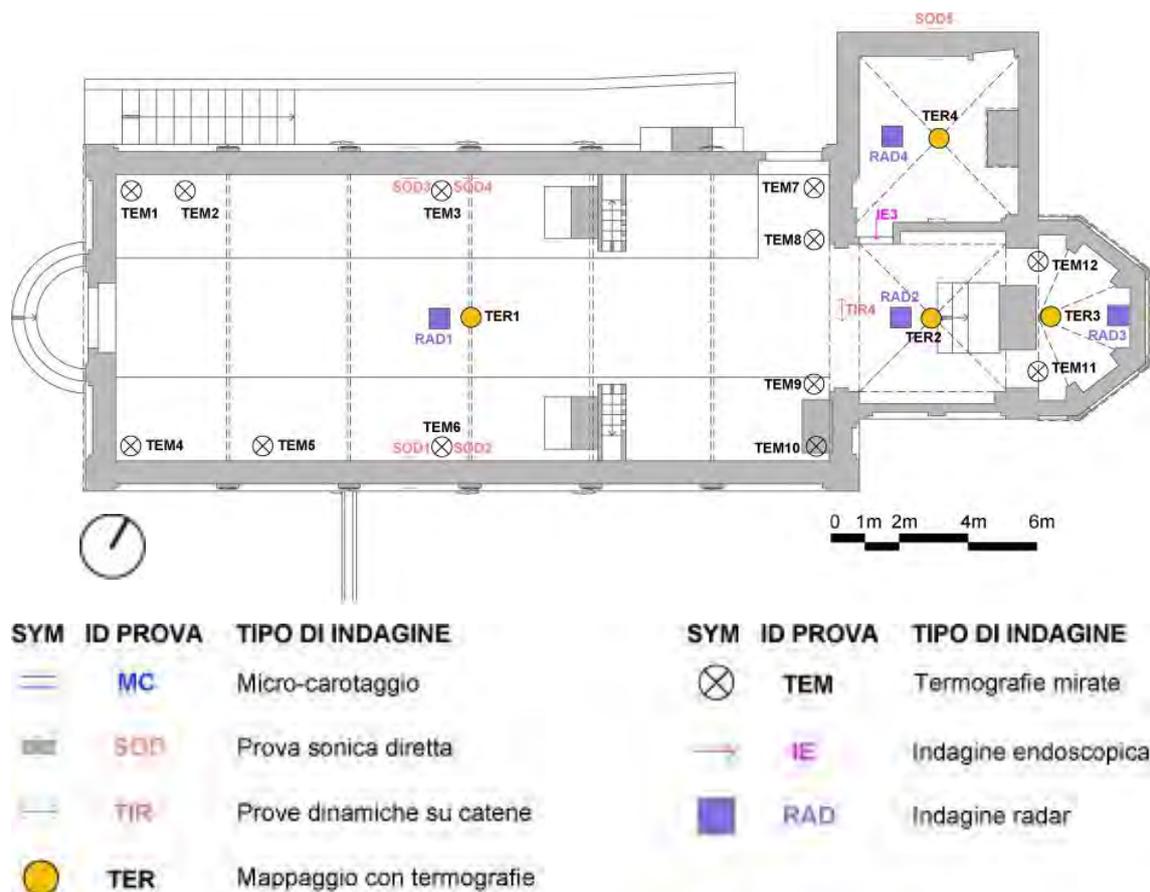


Fig. 9.7. Localizzazione delle prove all'interno dell'edificio, pianta (1 m), si veda la tav. 8.02 presente nel book di tavole allegato.

- Viene indicata un'intera mappatura attraverso l'uso delle termografie di navata, presbiterio, abside e sacrestia in quanto alcune porzioni non venivano interamente riprese nella precedente campagna e le impostazioni della termocamera in alcuni casi sembrerebbero non essere state ottimali, inoltre è una tipologia di indagine relativamente a costo zero dal momento che l'Università di Padova è in possesso di una propria termocamera. In seguito allo studio dei fotogrammi relativi alle campagne pregresse ed in particolar modo a quella del 2013<sup>4</sup>, si consigliano prove termografiche mirate per valutare ad esempio: il collegamento tra navata, abside e presbiterio, l'area in cui sono stati staccati ed in seguito riadesi gli affreschi di *Gesù tra i dottori* e *l'Andata al calvario*, l'area in cui è stata individuata una porzione regolare-rettangolare sottostante gli affreschi a temperatura inferiore rispetto alla

<sup>4</sup> Si veda cap. 11. Analisi delle termografie pregresse.

restante muratura (Fig. 9.8), l'affresco della *Carità*<sup>5</sup>, la struttura nascosta rettangolare sottostante gli affreschi (Fig. 9.9), la struttura in pietra dell'arco trionfale e di quello che individua presbiterio e abside.

- Si prevedono prove radar eseguite sopra ai pavimenti della navata per poter determinare la struttura della sottostante volta muraria della cripta, e sui pavimenti di presbiterio, abside e sacrestia per determinare l'integrità di eventuali strutture sottostanti.
- Infine, un'indagine dinamica valuta l'efficacia della catena dell'arcone mentre non verranno analizzate le cinque catene della navata in quanto indagate recentemente<sup>6</sup>.

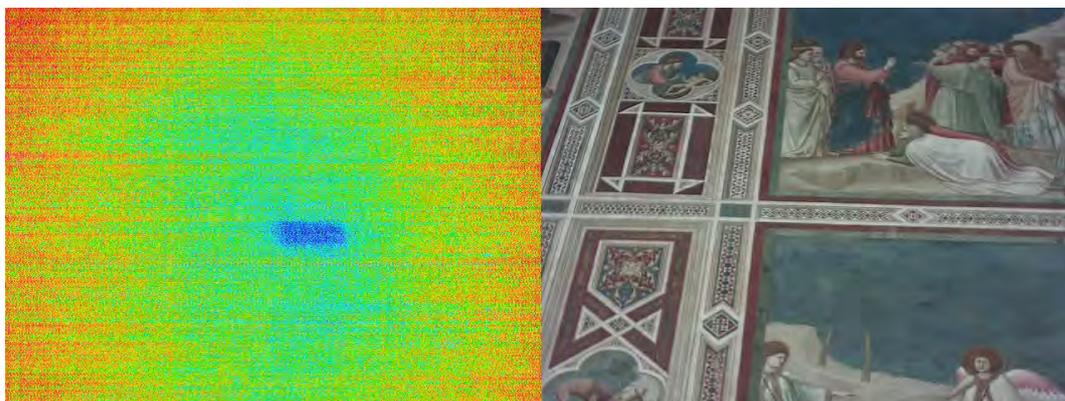


Fig. 9.8. Immagine relativa alla campagna termografica eseguita nel 2013.



Fig. 9.9. Immagine relativa alla campagna termografica eseguita nel 2013.

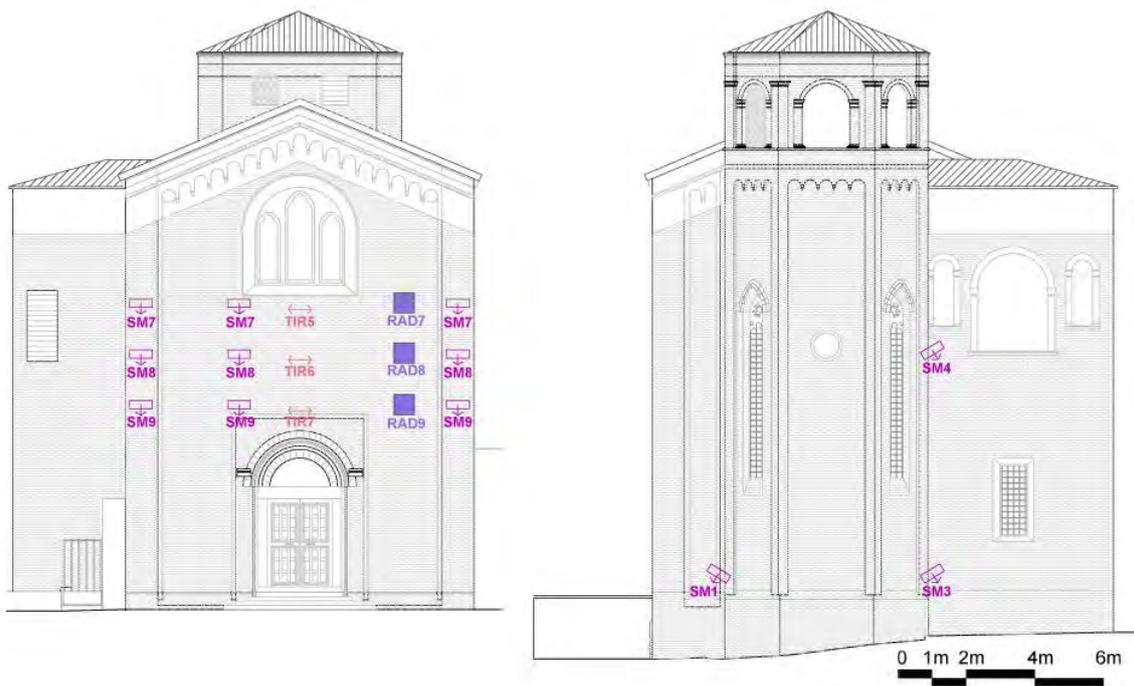
---

<sup>5</sup> Si osservò infatti una lesione che sembrerebbe assumere l'andamento del tamponamento sottostante gli affreschi e visibile esternamente, l'indagine avrebbe esito positivo se si individuasse un andamento della temperatura costante nei pressi della lesione, ed inferiore al resto della parete, perché segnalerebbe come causa della lesione stessa un cattivo collegamento tra tamponamento e parete.

<sup>6</sup> La campagna di indagine che ha visto le prove dinamiche delle suddette catene della navata si è svolta nel 2001.

### 9.2.3 Pianta 7m<sup>7</sup>

Vengono previste anche in questo caso solo indagini non distruttive nei locali interni mentre esternamente si prevedono anche prove debolmente distruttive, analizziamo prima quest'ultime ed in seguito quelle site internamente.



SYM	ID PROVA	TIPO DI INDAGINE
	SM	Smontaggio
	TIR	Verifica tiro catene
	RAD	Indagine radar

Fig. 9.10. Localizzazione delle prove all'esterno dell'edificio, prospetti nord-ovest e sud-est, si veda la tav. 8.06 presente nel book di tavole allegato.

- Sono previsti smontaggi del rivestimento murario in mattoni faccia a vista al fine di indagare i collegamenti tra i corpi per capire se c'è continuità strutturale tra le due murature portanti.
- Vengono localizzate in facciata specifiche prove radar atte a definire l'esatto posizione delle tre catene site nello spessore della muratura, individuate sarà necessario eseguire il taglio della muratura ed il relativo smontaggio per poter esporre le catene alle prove dinamiche di tiro attraverso l'uso di accelerometri.

<sup>7</sup> Si vedano anche le tavole 8.03, 8.05 - 8.07 e 8.10 del book allegato.

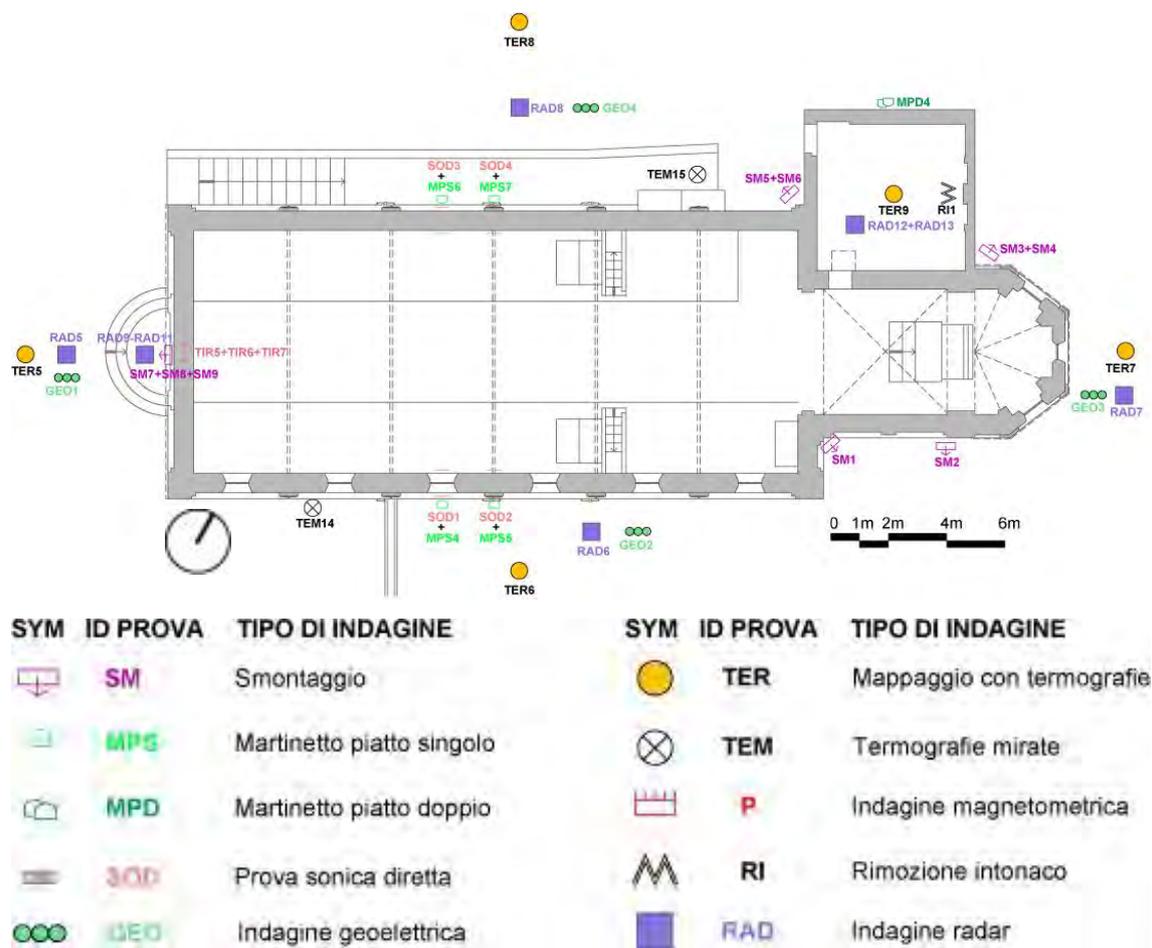
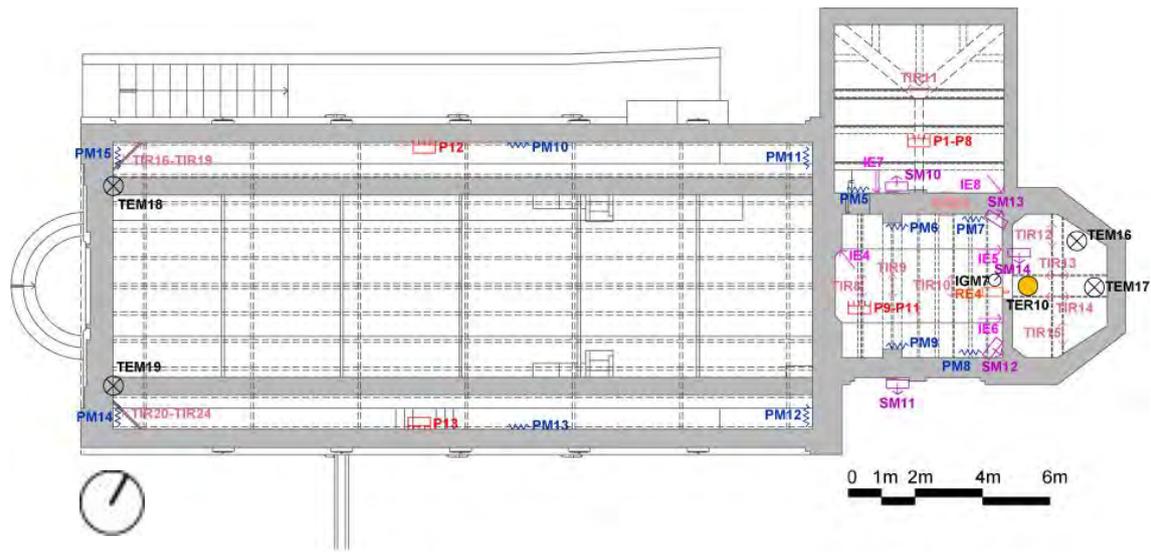


Fig. 9.11. Localizzazione delle prove all'interno dell'edificio, pianta (7 m), si veda la tav. 8.03 presente nel book di tavole allegato.

- Il mappaggio termografico non è limitato all'interno della Cappella ma è esteso alle pareti esterne, non rilevate nel 2013, per individuare eventuali problematiche o strutture nascoste all'interno della muratura.
- Vengono poi indicate prove geoelettriche e prove georadar per una verifica dell'omogeneità del terreno circostante la Cappella in vista di un futuro studio statico al fine di evidenziare eventuali anomalie che possano aiutare nella lettura di cedimenti differenziali e/o lesioni in determinati settori.
- Internamente, negli ambienti di sacrestia e loggia, vengono posizionate prove radar al fine di verificare l'integrità delle strutture delle volte ed inoltre, data la presenza di tamponamenti intonacati che chiudono le aperture della parete della loggia, si propone una rimozione dell'intonaco per conoscere la tipologia della muratura ed il collegamento tra tamponamenti e struttura portante.

9.2.1 Pianta 11,6m<sup>8</sup>

I locali del sottotetto sono quelli che si presentano maggiormente degradati, è possibile eseguire un numero maggiore di prove rispetto agli altri ambienti interni in quanto non sono caratterizzati da affreschi dei quali garantire il valore artistico.



SYM	ID PROVA	TIPO DI INDAGINE	SYM	ID PROVA	TIPO DI INDAGINE
	SM	Smontaggio		TER	Mappaggio con termografie
	IGM	Igrometro		TEM	Termografie mirate
	IE	Indagine endoscopica		P	Indagine magnetometrica
	SOD	Prova sonora diretta		PM	Prelievo di malta
	TIR	Prove dinamiche su catene		RE	Resistograph

Fig. 9.12. Localizzazione delle prove all'interno dell'edificio, pianta (11,6 m), si veda la tav. 8.04 presente nel book di tavole allegato.

Le indagini proposte nei locali del sottotetto sono riportate in legenda, segue ora una descrizione delle stesse.

- Si prevedono smontaggi della muratura per verificare lo stato delle catene ed in particolare in merito a quella del sottotetto (Fig. 9.13) e alle catene delle quali affiorano in superficie due capochiave agli angoli del locale sopra il presbiterio

<sup>8</sup> Si vedano le tav. 8.04, 8.08 - 8.09 del book di tavole allegato.

e della torretta (Fig. 9.14). Un ulteriore smontaggio viene proposto nella zona sottostante la torretta della ignoriamo struttura, composizione e integrità.



Fig. 9.13. Nell'immagine, eseguita il 26 gennaio 2015, si può vedere il capochiave della catena che sottende l'arco del locale soprastante il presbiterio: esso si trova nel sottotetto della loggia.



Fig. 9.14. Nell'immagine, del 26 gennaio 2015, si può vedere il capochiave di una catena all'interno del muro che si frappone tra il locale soprastante il presbiterio e la torretta.

- Lo stato di conservazione dell'architrave in legno del passaggio tra locale sopra il presbiterio e la torretta viene indagato tramite igrometro e Resistograph.
- Viene previsto l'inserimento di un sondino endoscopico all'interno delle fessurazioni esistenti: quella presente al di sopra della navata ed il paramento ad essa appoggiato per capire se tra essi esista una connessione (Fig. 9.15), le lesioni della muratura tra il locale al di sopra del presbiterio e la torretta per indagarne la profondità (Fig. 9.16), ed infine tra la muratura del sottotetto della loggia e quello del sottotetto del locale sopra il presbiterio (Fig. 9.17).



Fig. 9.15. Nell'immagine del 26 gennaio 2015 si può vedere il paramento murario appoggiato sulla muratura del sottotetto della navata.



Fig. 9.16. Nell'immagine del 26 gennaio 2015 si può vedere una delle estese fessure della parete che separa il locale sopra il presbiterio e la torretta.



Fig. 9.17. Nell'immagine del 26 gennaio 2015 si può vedere come il sottotetto della loggia sembrerebbe essere appoggiato alla parete esterna del locale sopra il presbiterio.

- Nel sottotetto sono presenti diversi tiranti e catene, si è deciso di eseguire prove dinamiche solo su quelli che appaiono visivamente in tiro vista l'evidente condizione di inefficacia dei restanti. Si prevedono quindi prove dinamiche relative a: i due tiranti e la catena dell'arco presenti nel locale sopra il presbiterio (Fig. 9.18), il tirante nel sottotetto della loggia che appare visivamente come l'unico a mantenere la sua funzione (Fig. 9.19), i quattro tiranti presenti nella torretta (Fig. 9.20) ed infine i tiranti nel sottotetto della navata e che collegano la facciata alle pareti laterali (Fig. 9.21).



Fig. 9.18. Nell'immagine del 26 gennaio 2015 si possono vedere la catena dell'arco del locale sopra il presbiterio, uno dei tiranti evidentemente non in tiro e uno dei tiranti sui quali si vogliono svolgere le prove.



Fig. 9.19. Nella fotografia, eseguita il 26 gennaio 2015, si può chiaramente vedere come la maggior parte dei tiranti presenti nel sottotetto soprastante la loggia, siano inefficaci e non in tiro, fatta eccezione per l'ultimo tirante presente in fondo a sinistra che parrebbe essere rettilineo e che necessita quindi di una prova di tiro.



Fig. 9.20. Nell'immagine del 26 gennaio 2015 si possono vedere i quattro tiranti presenti nella torretta.



Fig. 9.21. Nell'immagine del 26 gennaio 2015 si possono vedere i quattro tiranti nel sottotetto della navata, che collegano la facciata alla pareti laterale. Altrettanti quattro tiranti sono posti in posizione simmetrica nell'altro lato della facciata. Si può vedere come essi si innestano nel cordolo per quanto riguarda il collegamento con la parete laterale.

- Sono poi previste indagini termografiche: una mappatura della torretta intonacata e prove mirate all'attacco tra volta e parete di facciata per capire se sia presente un collegamento o meno tra le due.
- Vengono indicate indagini magnetometriche tramite pacometro per individuare la presenza o meno di armature all'interno degli elementi in calcestruzzo presenti all'interno del sottotetto della loggia (Fig. 9.22), del locale soprastante il presbiterio (Fig. 9.23) e del cordolo (Fig. 9.24).



Fig. 9.22. Nell'immagine del 26 gennaio 2015 si possono vedere le travi ed i travetti in calcestruzzo del sottotetto della loggia.



Fig. 9.23. Nell'immagine del 26 gennaio 2015 si possono vedere i travetti in calcestruzzo del sottotetto del locale soprastante il presbiterio.



Fig. 9.24. Nell'immagine del 26 gennaio 2015 si può vedere il cordolo del sottotetto della navata.

Sono sempre consigliati prelievi di malta laddove essa si presenta visivamente più degradata, fatta esclusione per quella della muratura sottostante il cordolo in calcestruzzo che sembrerebbe essere in buone condizioni ma di cui si è comunque deciso di testarne la qualità vista l'importanza del paramento in questione.

## **10. BASI TEORICHE: INDAGINI TERMOGRAFICHE**

La termografia è un tipo di indagine non distruttiva che rivela le radiazioni infrarosse emesse da una superficie riscaldata di un oggetto in un certo tempo. Si basa sull'energia trasmessa dalla superficie in funzione della temperatura della stessa, condizionata a sua volta dalla conducibilità termica e dal calore specifico, indici della capacità del materiale di trasmettere calore. La termografia sfrutta il fatto che materiali diversi, sotto l'azione di sollecitazioni termiche, assumeranno diverse temperature a causa degli effetti dei differenti valori dei suddetti parametri. Un sistema termografico è costituito da una termocamera collegata ad un sistema di elaborazione e registrazione delle immagini che saranno poi rielaborate grazie a sempre più aggiornati software specifici.

### **10.1. STATO DELL'ARTE**

#### **10.1.1 Cenni storici**

Uno dei primi dispositivi utilizzati per produrre immagini termografiche risale al 1929 ed è l'evaporografo di Kzerny<sup>1</sup> in grado di indagare il campo dell'infrarosso studiando l'evaporazione di un film sottile di olio su di una membrana scura. Dopo più di trent'anni è stata commercializzata da FLIR Systems, nel 1965<sup>2</sup>, la prima termocamera ad infrarossi: questo dispositivo era basato su un sensore immerso nell'azoto liquido ed era costituito da un sistema di prismi che ruotando producevano immagini definite da poche linee. Le tecnologie si sono molto evolute negli anni e si è passati da sistemi grandi ed ingombranti a termocamere di piccole dimensioni: sistemi compatti con videocamere e fotocamere digitali integrate (Fig. 10.1). La scena del mercato degli apparecchi termografici sul finire degli anni Novanta era in grande fermento e ne è derivata la necessità di fornire una regolamentazione dello stesso, attraverso un

---

<sup>1</sup> E. GRINZATO, *Controllare è necessario, il controllo termico è utile: introduzione della termografia IR, potenzialità e limiti*, in «Il Giornale delle Prove non Distruttive Monitoraggio Diagnostica», 4/2008, p. 23.

<sup>2</sup> *Manuale di termografia ad infrarossi per il mercato delle costruzioni e delle energie rinnovabili*, FLIR System, 2011, p. 4.

sistema di certificazione dei dispositivi ad infrarossi, supportata dell'ASNT, società americana per i test non distruttivi e ad altri organismi europei<sup>3</sup>.



Fig. 10.1. Esempi delle prime apparecchiature utilizzate negli anni Sessanta; le termocamere hanno attraversato una profonda evoluzione negli ultimi 50 anni, FLIR System è da sempre un pioniere della termografia ad infrarossi, che ha portato sul mercato le più avanzate termocamere. *Manuale di termografia*, cit., p. 4.

### 10.1.2 Potenzialità nell'edilizia

Le grandi potenzialità offerte dalla termografia hanno permesso il suo sviluppo in diversi settori: dall'edilizia all'ingegneria dei materiali, dal monitoraggio ambientale all'elettronica, dall'industria alimentare a quella dei trasporti, dal campo medico a quello energetico. In particolar modo il settore nel quale ha avuto una maggior applicazione questa metodologia d'indagine è stato quello delle costruzioni, grazie alla possibilità di acquisire informazioni non rilevabili con altri strumenti in quanto applicata a vaste porzioni di muratura senza la necessità di un contatto diretto con il manufatto. L'analisi termografica è applicata a manufatti artistici ed architettonici: inizialmente le termocamere erano utilizzate per mappare difetti della muratura come ponti termici, perdite d'aria e macchie di umidità. Viene sfruttato il principio secondo cui ogni materiale emette energia sotto forma di radiazioni elettromagnetiche ed è caratterizzato dalla diversa capacità di trattenere il calore: l'analisi termografica permette di individuare i diversi componenti in base alle differenze tra conducibilità e calore specifico. Oggigiorno, consci dell'importanza dell'energia come bene limitato e della grande richiesta di essa soprattutto nel campo edile, che da solo rappresenta una domanda pari al 40% in Europa<sup>4</sup>, questa tecnica sta trovando un nuovo impulso grazie a tutte le richieste di edifici a basso consumo e di manutenzione predittiva. Alla luce di

---

<sup>3</sup> E. GRINZATO, V. VAVILOV, T. KAUPPIEN, *Quantitative infrared thermography in buildings*, in «Journal of Energy and Buildings», Elsevier, vol.29, 1998, p. 1.

<sup>4</sup> *Manuale di termografia*, cit., p. 5.

questi dati, la Commissione Europea ha visto necessario dare una regolamentazione ai rendimenti energetici degli edifici; è stato quindi reso obbligatorio per alcuni paesi europei un Attestato di Certificazione Energetica (EPC, Energy Performance Certificate).

Le principali applicazioni delle termografie nello studio degli edifici sono:

- visualizzazione delle perdite energetiche;
- rilevamento di carenze o difetti nell'isolamento;
- individuazione delle infiltrazioni d'aria;
- rilevamento della presenza di umidità nell'isolamento, nei tetti e nei muri, internamente ed esternamente;
- individuazione della presenza di muffe e di aree scarsamente isolate;
- individuazione di ponti termici;
- individuazione di infiltrazioni d'acqua nei tetti;
- rilevamento di rottura nei tubi di acqua calda;
- monitoraggio del processo di asciugatura degli edifici;
- monitoraggio dell'essiccazione delle costruzioni;
- individuazioni di guasti nella linea di alimentazione e nel riscaldamento centralizzato;
- rilevamento di guasti elettrici.

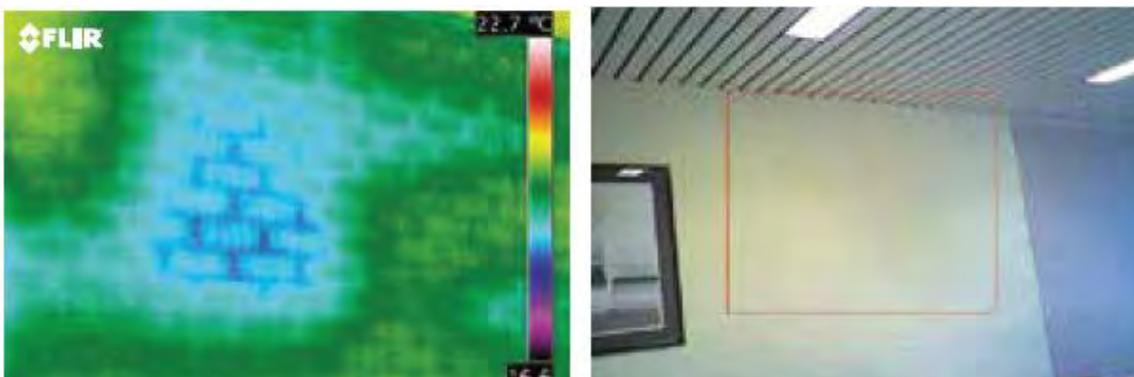


Fig. 10.2. Isolamento mancante in parti della parete. *Manuale di termografia*, cit., p. 16.

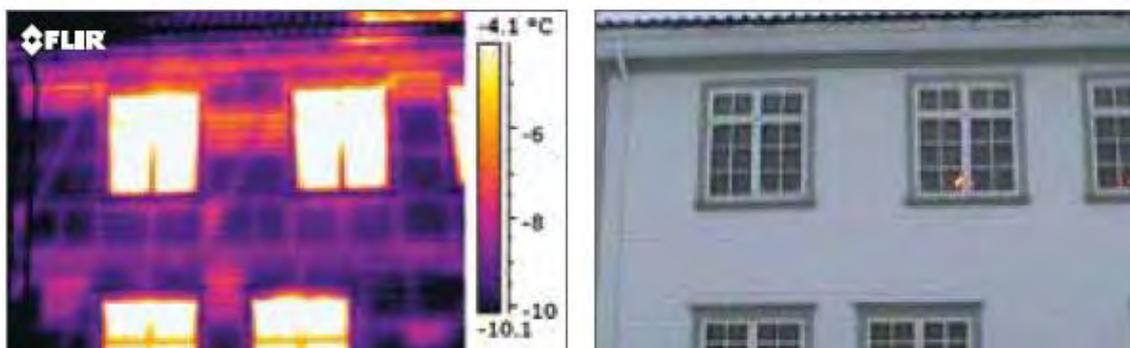


Fig. 10.3. Costruzione a telaio. Mancano molte sezioni di isolamento, come evidenziato dai colori più caldi. *Manuale di termografia*, cit., p. 5.

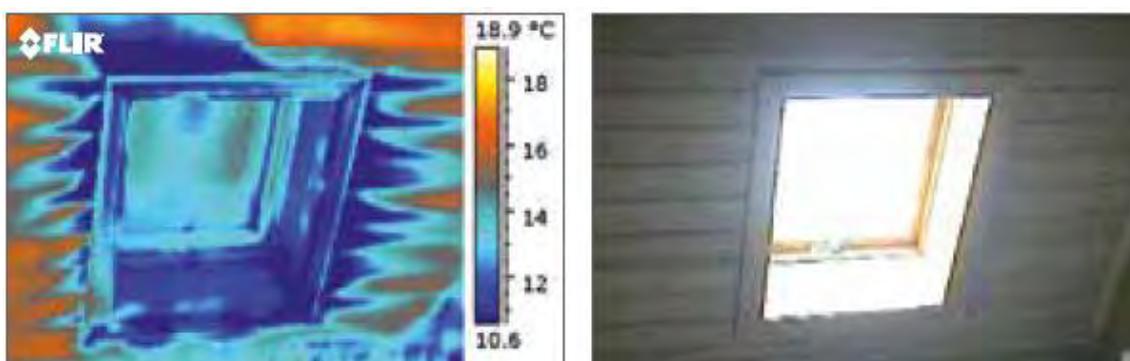


Fig. 10.4. L'immagine mostra fughe d'aria tra il soffitto e la finestra. *Manuale di termografia*, cit., p. 17.

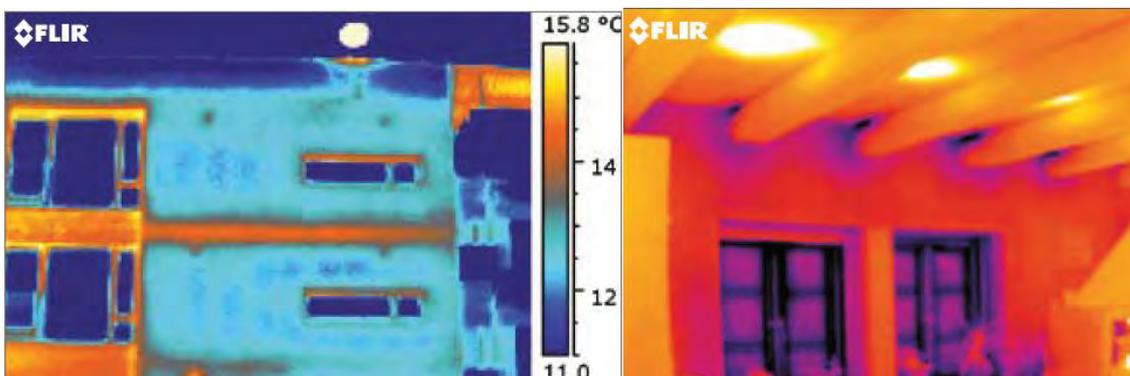


Fig. 10.5. Le immagini evidenziano alcuni ponti termici. *Manuale di termografia*, cit., p. 19.

## 10.2. LA TERMOCAMERA ED IL SUO FUNZIONAMENTO

L'utilizzo di una termocamera è intuitivo, si tratta infatti semplicemente di puntare – riprendere – localizzare. Una termocamera registra le intensità della radiazione infrarossa prodotta dagli oggetti e la converte in un'immagine termica visibile: tale energia emessa dagli oggetti viene infatti fatta convergere dai componenti ottici verso

un detector all'infrarosso, che invia le informazioni al sensore elettronico per l'elaborazione dell'immagine direttamente nel mirino oppure sullo schermo di un monitor (Fig. 10.6). Ogni oggetto con temperatura sopra lo zero assoluto ( $-273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) emette raggi infrarossi ma l'occhio umano percepisce solo la radiazione elettromagnetica che va a costituire lo spettro della luce visibile, mentre le altre forme di radiazioni elettromagnetiche, tra cui gli infrarossi, sono invisibili; la radiazione infrarossa è situata nella parte tra la banda del visibile e quella delle microonde (Fig. 10.7).

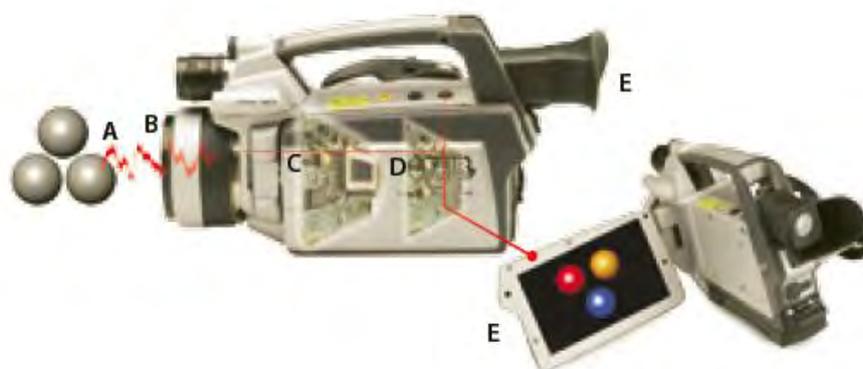


Fig. 10.6. Schematizzazione del metodo in cui vengono acquisiti i dati. *Manuale di termografia*, cit., p. 9.

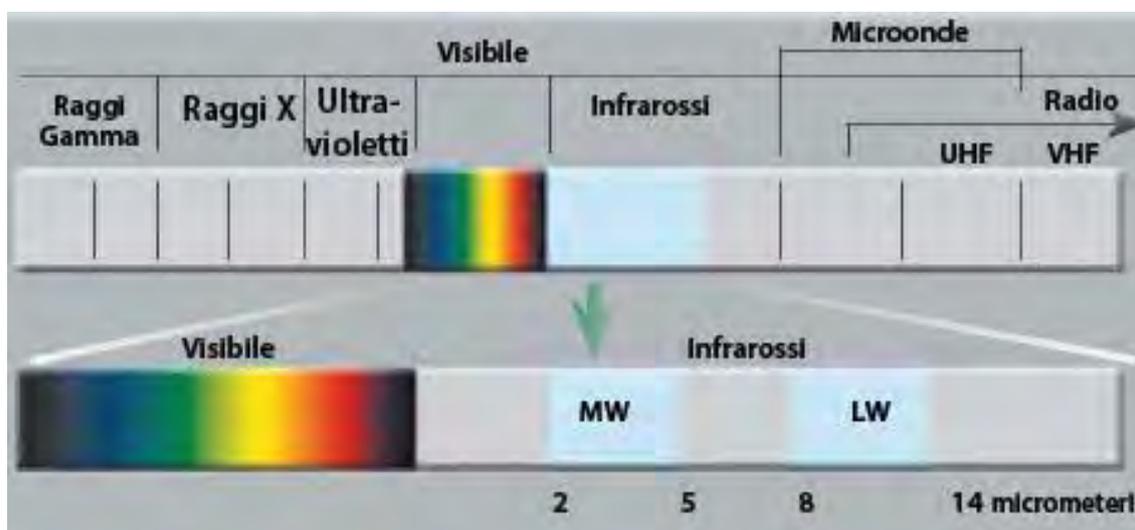


Fig. 10.7. Lo spettro elettromagnetico. *Manuale di termografia*, cit., p. 9.

Il calore, ovvero la radiazione termica, è la principale fonte della radiazione infrarossa: qualsiasi oggetto emette tali radiazioni invisibili all'occhio ma percepibili come calore

dalle terminazioni nervose della nostra pelle<sup>5</sup>. La termocamera è inoltre in grado di registrare i valori della temperatura dall'immagine radiometrica prodotta in seguito all'elaborazione dei dati delle radiazioni infrarosse emesse sottoforma di energia; per l'analisi dei suddetti dati si usufruisce dell'apporto di algoritmi complessi.

#### 10.2.1. Caratteristiche della radiazione infrarossa<sup>6</sup>

La radiazione infrarossa registrata dalla termocamera è composta da raggi a onda lunga emessi, riflessi e trasmessi, provenienti dagli oggetti che si trovano nel campo visivo della ripresa termografica. Le grandezze dunque che caratterizzano tali radiazioni sono: emissività, riflessione e trasmissione.

L'emissività ( $\epsilon$ ) è l'indice della capacità di un materiale di emettere raggi infrarossi:

- $\epsilon$  varia in base alle proprietà superficiali, al materiale e alla temperatura dell'oggetto di misura;
- emissività massima:  $\epsilon = 1$  (100%).  $\epsilon = 1$  non si verifica mai nella realtà;
- corpi reali:  $\epsilon < 1$ , perché i corpi reali non solo emettono, ma anche riflettono e trasmettono le radiazioni;
- $\epsilon$  può essere impostata manualmente nella termocamera.

Il fattore di riflessione ( $\rho$ ) misura invece la capacità di un materiale di riflettere i raggi infrarossi.

- $\rho$  dipende dalle proprietà superficiali, dalla temperatura e dal tipo di materiale;
- in generale, le superfici lisce e lucide riflettono più delle superfici ruvide e opache fatte dello stesso materiale;
- la temperatura riflessa può essere impostata manualmente nella termocamera.

Il fattore di trasmissione ( $\tau$ ) indica la misura della capacità di un materiale di lasciar passare i raggi infrarossi dove  $\tau$  dipende dal tipo e dallo spessore del materiale.

I raggi infrarossi registrati dalla termocamera sono composti:

- dalla radiazione emessa dall'oggetto analizzato;
- dalla riflessione della temperatura ambientale;

---

<sup>5</sup> *Manuale di termografia*, cit., p. 9.

<sup>6</sup> AUER D., *Guida tascabile sulla termografia*, Testo AG, 2008.

- dalla trasmissione della radiazione.

Secondo la legge di Kirchhoff sulla radiazione si assume che la somma di queste parti sia sempre 1 (100%):  $\epsilon + \rho + \tau = 1$ .

Poiché la trasmissione raramente è rilevante nella pratica, la trasmissione  $\tau$  è omessa e la formula  $\epsilon + \rho + \tau = 1$  è semplificata in  $\epsilon + \rho = 1$ .

Per la termografia questo significa che quanto minore è l'emissività:

- tanto maggiore è la quota di raggi infrarossi riflessi;
- tanto più difficile è effettuare una misura precisa della temperatura;
- tanto più importante è che la compensazione della temperatura riflessa sia impostata correttamente.

### **10.3. POTENZIALITA' DELLA TERMOGRAFIA**

La termografia è comunemente considerata come un metodo qualitativo che viene utilizzato primariamente per indicare variazioni di resistenza termica su muri o tetti. Tutti i processi fisici e chimici si degradano in calore e si può quindi utilizzare la temperatura superficiale per valutare l'omogeneità dei materiali e le prestazioni dei sistemi nell'ottica della salvaguardia dell'ambiente, del patrimonio culturale e della salute. Nel campo della conservazione, la termovisione è usata di base per osservare le caratteristiche degli elementi strutturali non visibili ad occhio nudo. Le informazioni fornite dai test termografici possono rivelare la geometria dei componenti della muratura e la presenza di difetti quali discontinuità, distacchi e mancanza di materiali. Nel campo della salvaguardia dei Beni Culturali la termografia è un indispensabile strumento atto ad indagare in modo non invasivo l'edificio in quanto non produce su di esso effetti nocivi: infatti la termocamera non prevede un contatto diretto con l'oggetto in esame, che potrebbe portare inoltre ad una interferenza nelle misurazioni. Il fine dello svolgimento di indagini è quello di migliorare la conoscenza di un edificio, soprattutto in vista del delineamento di un piano di interventi atti alla conservazione dello stesso; è importante quindi fornire un quadro dello stato di fatto: si procede con una preliminare indagine visiva per passare poi ad un'analisi strutturale e ad una

valutazione del danno pregresso. La termografia può sostenere e migliorare le informazioni apportate dalle analisi suddette fornendo dei dati che possono confermare le trasformazioni documentate dalla ricerca storica e rivelare la presenza di elementi nascosti che i dispositivi normali usati per l'indagine. Ottimi risultati si ottengono dunque da questo tipo di indagine, sia dal punto di vista ispettivo che da quello preventivo; è possibile inoltre abbinare a questa altre tipologie di prove. Si possono svolgere infatti altre indagini contemporaneamente a quelle termografiche, come ad esempio lo studio del microclima<sup>7</sup>, o posteriormente in modo maggiormente mirato, in base alle indicazioni che derivano dalle indagini pregresse. Un altro importante beneficio è quello di ridurre, se non evitare, i rischi di eseguire test difficili e costosi magari in errate posizioni<sup>8</sup>.

### 10.3.1 Principi fondamentali

Al fine di effettuare un'analisi corretta, fondamentale è che un flusso di calore attraversi l'edificio, in modo che si produca una distribuzione della temperatura sulla superficie tale da essere rilevata con la termocamera. L'approccio principale della termografia nell'analizzare i dati termici è di interpretare la funzione della temperatura superficiale rispetto ai tempi di raffreddamento per le aree selezionate precedentemente riscaldate in modo naturale o forzato. Esistono infatti due tipi di indagini termografiche: un'indagine passiva in cui il flusso di calore è generato dalle naturali condizioni al contorno, come ad esempio l'irraggiamento solare; una attiva in cui la fonte di calore è applicata artificialmente. Questo significa che l'andamento della temperatura sulla parete, registrato dalla termografia, dovrebbe essere visto come una funzione dello spazio e del tempo. Nel caso di analisi passiva, ci sarà molta più libertà nel definire la funzione, se attiva invece la funzione del riscaldamento sarà circa periodica; in una giornata di sole la funzione potrebbe essere approssimata con la funzione seno<sup>9</sup>. La difficoltà nell'applicare questa prova è di ottenere la condizione

---

<sup>7</sup> GRINZATO E., BISON P.G., MARINETTI S., *Monitoring of ancient buildings by the thermal method*, in «Journal of Cultural Heritage», Elsevier, vol.3, 2002, p. 21.

<sup>8</sup> L. BINDA, L. CANTIN, M. CUCCHI, *Thermovision: applications in conservation field to detect hidden characteristics of building structures*, eleventh NAMC, June 5-8 2011, p.7.

<sup>9</sup> GRINZATO, VAVILOV, KAUPPIEN, *Quantitative infrared thermography*, cit., p. 2.

particolare in cui i materiali all'interno della struttura raggiungano una temperatura uniforme che, in seguito, può essere restituita da emissione superficiale, all'ambiente. Solo in questo caso, durante la fase di raffreddamento, la distribuzione della temperatura sulla superficie esterna dei materiali sarà significativa per identificare le caratteristiche di materiali ed elementi che sono circa a 3-6 centimetri dalla superficie esterna di solito ricoperta di intonaci o affreschi. La registrazione delle immagini deve avvenire durante la fase di raffreddamento, quando la radiazione solare non è più presente o dopo la rimozione del fonte di riscaldamento, così che i risultati siano rilevabili. Differenze nella distribuzione della temperatura su un'area precedentemente riscaldata in maniera uniforme possono essere collegate a significative informazioni sulla composizione e la presenza di difetti nelle strutture edifici di tradizionali. Nell'edilizia storica la termovisione ricerca ed è in grado di illustrare<sup>10</sup>:

- le caratteristiche della struttura in muratura sita dietro a superfici intonacate o affrescate (Fig. 10.8);
- la presenza di delaminazioni dell'intonaco;
- distaccamenti delle lastre di pietra di rivestimento (Fig. 10.9);
- la presenza di difetti come disomogeneità o mancanza di materiale in prossimità della superficie, vuoto o cavità;
- la presenza di inclusioni di materiale;
- evidenziare la presenza di tracce riferibili a anomalie o modifiche;
- indagare in merito all'organizzazione degli elementi del telaio di strutture di legno, come pavimenti, archi o volte.

---

<sup>10</sup> BINDA, CANTIN, CUCCHI, *Thermovision: applications in conservation*, cit., p.3.



Fig. 10.8. Indagini sulla struttura della muratura della parete sud del castello di Brivio in Lombardia; è percepibile la struttura muraria sotto lo strato di intonaco. Si vede infatti come l'area coperta dall'intonaco percepibile dall'immagine reale abbia una struttura muraria rilevata nel termogramma caratterizzata da blocchi di pietra di grandezza inferiore rispetto a quella sottostante; questo è indice di come questa sia riferibile ad una fase di costruzione successiva. BINDA, CANTIN, CUCCHI, *Thermovision: applications in conservation*, cit., p.5, Fig. 3.



Fig. 10.9. E' possibile rilevare la presenza di distacchi e difetti sotto la superficie di lastre di rivestimento in pietra del palazzo del primo ministro albanese a Tirana. La presenza di aria sotto le pietre è indicata da una concentrazione di temperature più elevate, la differenza tra queste caratterizza le zone distaccate da quelle ancora attaccate (differenza di circa 5°C). BINDA, CANTIN, CUCCHI, *Thermovision: applications in conservation*, cit., p.8, Fig. 7.

La proprietà dei materiali di emettere radiazioni elettromagnetiche è strettamente collegata alla loro conduttività termica e la loro capacità di riscaldamento: la prima determina la capacità di un materiale di trasmettere calore, mentre la seconda definisce l'atteggiamento a contenerlo. La resistenza termica locale  $R = l/\lambda$  è il parametro più importante di un materiale che riguarda direttamente i flussi di calore che colpiscono il rivestimento murario in regime stazionario: è inversamente proporzionale alla conduttività termica  $\lambda$  e direttamente proporzionale allo spessore del componente  $l^{11}$ . Pertanto, ogni struttura dell'edificio composta da diversi materiali (come i sistemi storici in muratura), dopo essere stata riscaldata, presenterà una diversa distribuzione delle temperature a causa della sua diversa capacità di

<sup>11</sup> GRINZATO, VAVILOV, KAUPPIEN, *Quantitative infrared thermography*, cit., p. 2.

trasmissione e trattenimento del calore. Grazie a questa proprietà dei materiali, oltre alla diversa tipologia costitutiva, è possibile individuare i difetti insiti nella muratura: la temperatura di tali discontinuità si presenta pari alla superficie circostante prima che questa sia surriscaldata, a seguito dello stimolo termico essi si rivelano grazie alla differente capacità termica o alla diffusività del volume difettato che può modificare localmente l'imposto flusso di calore. Ad esempio è possibile individuare aree umide all'interno della muratura attraverso il riscaldamento della superficie stessa grazie alla capacità dell'acqua di sviluppare calore, inoltre in generale un contenuto d'acqua maggiore migliora la conducibilità termica – in seguito a un'inferiore resistenza termica verificatasi in presenza di ponti termici- e fa sì che il difetto sia facilmente identificabile (Fig. 10.10).

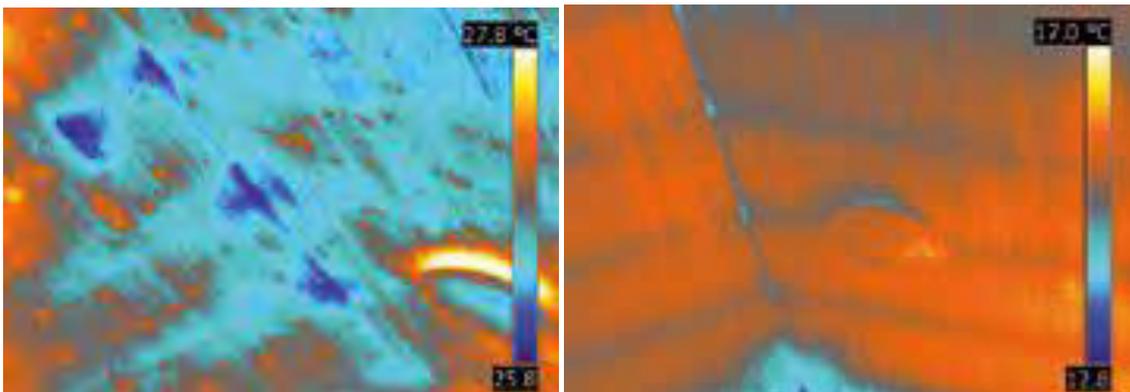


Fig. 10.10. Immagini ad infrarossi relative allo stesso soffitto. Nell'immagine a sinistra la temperatura della stanza è stata modificata dal riscaldamento e ciò rende chiaramente visibile la presenza di umidità. *Manuale di termografia*, cit., p. 18.

### 10.3.2 Metodologia operativa

Gli edifici sono soggetti a condizioni al contorno continuamente variabili, risulta quindi importante considerare la latitudine in cui ci si trova quando si decide in che stagione, ed in particolare in quale momento della giornata, svolgere le prove. Ad esempio programmare un'indagine in regioni ad alta latitudine come la Finlandia e la Russia<sup>12</sup> in cui la bassa irradiazione solare limita i periodi in cui svolgere le prove (e di conseguenza le modalità, attiva e passiva) è da considerare molto diversamente rispetto alla programmazione di un piano d'indagine a basse latitudini. Bisogna inoltre prestare attenzione all'esposizione dell'edificio in quanto i cicli di luce e ombra vanno a

<sup>12</sup> GRINZATO, VAVILOV, KAUPPIEN, *Quantitative infrared thermography*, cit., p. 2.

influenzare gli esiti dell'indagine (Fig. 10.11); in caso di precipitazioni atmosferiche o forte vento le riprese sono sconsigliate.

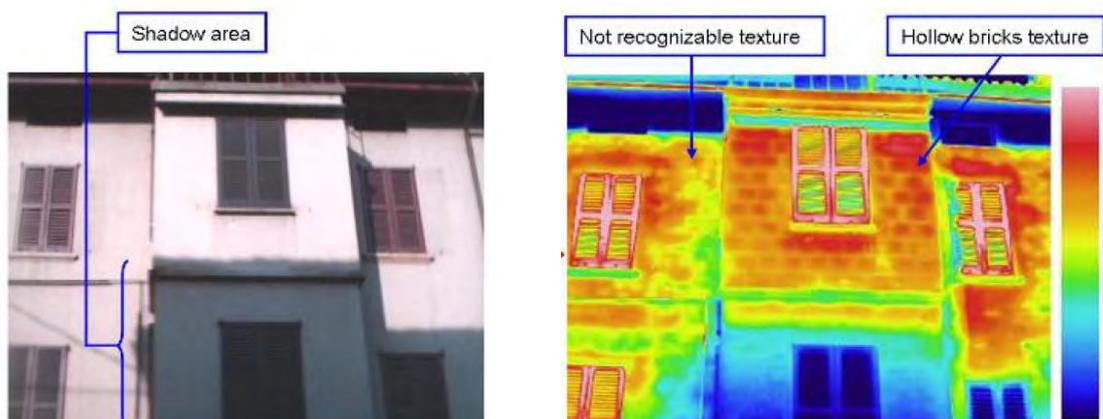


Fig. 10.11. Dall'immagine termografica si può notare come non sia riconoscibile, a causa dello spessore dell'intonaco e della distanza dell'operatore, la tessitura muraria della parte arretrata a differenza di quella centrale, avanzata rispetto il resto dell'edificio. Si nota anche come la parte centrale inferiore risulti di un colore completamente diverso dalle superfici vicine, a causa della sua posizione in ombra che va a falsare le misurazioni della temperatura. BINDA, CANTIN, CUCCHI, *Thermovision: applications in conservation*, cit., p.5, Fig. 4.

Un'analisi visiva preliminare e uno specifico *knocking-test*<sup>13</sup> sono utili per un'indagine preventiva e per un successivo confronto tra immagini termografiche e reali. L'attrezzatura utilizzata deve essere adeguata e l'operatore deve saperla usare nel modo corretto: va fatta attenzione alla risoluzione della termocamera e alla giusta impostazione del valore di emissività sulla stessa per assicurare successivamente una giusta lettura della temperatura; auspicabile è il fatto che la termocamera sia mantenuta perpendicolare alla superficie in tutte le riprese e che si presti attenzione alla distanza dall'edificio. Importante è infatti scegliere il giusto angolo di inquadramento che potrebbe influenzare negativamente i risultati della termografia, in modo particolare per gli edifici di notevole altezza. Altri elementi da considerare sono le dimensioni e la morfologia: il trattamento superficiale delle murature ed il colore delle stesse influenzano i risultati del termogramma; inoltre materiali lucidi – in particolare il vetro di porte e finestre – possono portare ad un'errata lettura della temperatura. L'indagine svolta su un'ampia superficie richiede la ripresa di numerosi termogrammi e la conseguente mappatura precisa degli stessi. Nello specifico, in caso di prova attiva, quindi con fonte di calore artificiale, si deve prestare attenzione a

<sup>13</sup> GRINZATO, BISON, MARINETTI, *Monitoring of ancient buildings*, cit., p. 24.

diversi fattori: primo tra tutti la scelta di una fonte di riscaldamento ben controllabile poiché la quantità di energia deve essere determinata con il fine di raggiungere un segnale termico chiaramente distinguibile dal rumore di fondo, ma non troppo elevato in modo da non danneggiare i componenti edili sensibili<sup>14</sup>. Secondo punto cruciale è la scelta del tempo di riscaldamento e la durata della registrazione della temperatura. Un altro problema quando si applica una forma di riscaldamento artificiale è la distribuzione dell'energia irregolare che potrebbe seriamente falsare i risultati dell'ispezione. La superficie oggetto d'indagine deve essere esclusa dal diretto riscaldamento circa sei ore prima della scansione mentre la temperatura e l'umidità relativa vengono registrate per almeno ventiquattro ore prima di effettuare le riprese, per poi essere nuovamente ricontrollate durante le stesse. Per ottenere infine un buon risultato nell'individuazione dei difetti è utile registrare la temperatura dell'area "sana" per poter poi effettuare un successivo confronto.

### 10.3.3 Dati di output

L'immagine restituita dalla termocamera, visibile attraverso calibrate scale di colore o toni di grigio, è costituita da una matrice bidimensionale di punti di misura molto densa: ogni pixel dell'immagine radiometrica corrisponde in effetti ad una misurazione di temperatura dove ogni colore o tono di grigio corrisponde ad un intervallo di temperatura nell'ordine della frazione di grado. Queste immagini vengono poi implementate mediante un'elaborazione digitale, grazie a software a base algoritmi di compensazione e correzione delle matrici. La precisione è nell'ordine del centesimo di grado, i risultati sono anche migliori rispetto a quelli ottenibili da rilevazioni fatte con sensori termometrici tradizionali: si possono infatti realizzare, grazie alle nuove apparecchiature ad elevata risoluzione spaziale, visioni microscopiche di piccoli particolari e corrette visualizzazioni da grandi distanze; è possibile la scansione in tempo reale di oggetti in movimento così come di fenomeni termici transitori<sup>15</sup>. I software disponibili sono sempre più perfezionati ed efficienti per elaborare i dati e redigere un rapporto contenente i risultati.

---

<sup>14</sup> GRINZATO, VAVILOV, KAUPPIEN, *Quantitative infrared thermography*, cit., p. 3.

<sup>15</sup> GRINZATO, *Controllare è necessario*, cit., p. 24.

### 10.3.4 Interpretazione dei termogrammi

Per leggere in modo corretto un termogramma bisogna saperlo filtrare rispetto alle componenti non significative, azione non sempre semplice poiché la distribuzione delle temperature segue sempre le condizioni ambientali che influenzano così i risultati.

A monte di una buona interpretazione ci deve essere una conoscenza delle proprietà termiche dei diversi materiali, in particolare è quindi importante conoscere parametri fondamentali come conducibilità e emissività: ad esempio i metalli si scaldano molto più velocemente rispetto ai materiali isolanti. Climatizzazione e illuminazione artificiale possono inoltre influire sulla restituzione delle immagini termografiche: creano infatti dei flussi di calore, rispettivamente più freddi o più caldi, che possono così alterare la misurazione delle temperature reali. Analizzando le temperature di un termogramma, si possono riscontrare diverse informazioni: temperature ricorrenti vanno ad indicare aree caratterizzate principalmente dalle stesse problematiche; fessurazioni su cui è riscontrabile la stessa temperatura superficiale di quella dell'aria esterna sono definibili come totalmente passanti per tutto lo spessore della muratura (Fig. 10.12)<sup>16</sup>.

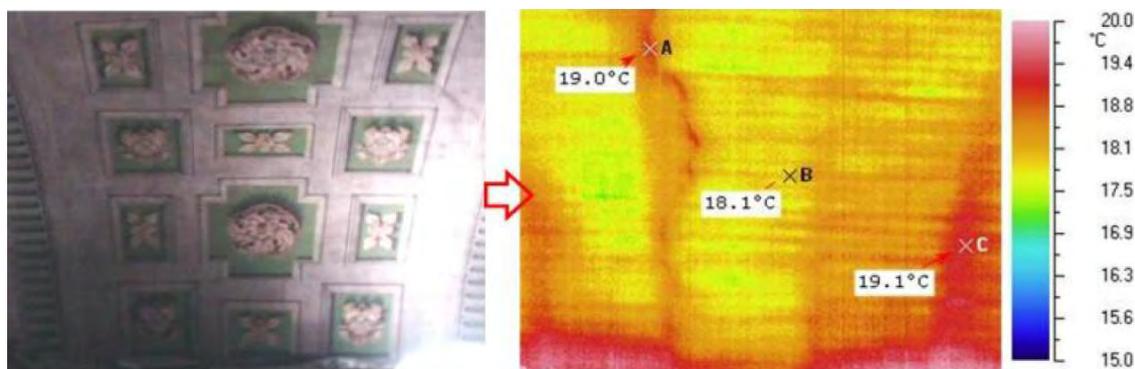


Fig. 10.12. Termogramma all'intradosso di una volta che mostra delle fessurazioni passanti non visibili ad occhio nudo. BINDA, CANTIN, CUCCHI, *Thermovision: applications in conservation*, cit., p.10, Fig. 12.

<sup>16</sup> BINDA, CANTIN, CUCCHI, *Thermovision: applications in conservation*, cit., p.10.

## **11. ANALISI DELLE INDAGINI TERMOGRAFICHE PREGRESSE**

La trattazione che segue è dedicata all'analisi delle indagini termografiche svolte all'interno e all'esterno della Cappella degli Scrovegni; verranno analizzati in primo luogo i fotogrammi relativi alla campagna del 1977-78, successivamente quelli del 2001 e in conclusione quelli del 2013. L'obbiettivo è quello di integrare queste osservazioni con le informazioni dedotte dall'analisi dello stato di fatto al fine di redigere un piano d'indagine completo<sup>1</sup>, che permetta una conoscenza approfondita dell'edificio e delle trasformazioni subite nei secoli.

### **11.1. INDAGINI TERMOGRAFICHE 1977-1978**

Nel 1982 viene pubblicato il "Bollettino d'arte" (serie speciale n.2) che contiene i risultati della campagna di indagini diagnostiche svolte tra il 1977 e il 1982<sup>2</sup> da parte della Commissione tecnico scientifica istituita dal Comune di Padova a cui partecipano: la Soprintendenza ai beni storici e artistici del Veneto, la Soprintendenza ai beni ambientali e architettonici del Veneto, il Settore Edilizia monumentale del Comune di Padova, l'Istituto Superiore per la Conservazione e il Restauro (ISCR), studiosi dell'Università di Padova, dell'Istituto Universitario di Architettura di Venezia e altri esperti.

In particolare la campagna termografica ha evidenziato gli scambi termici con l'esterno e i diversi gradienti in corrispondenza dei diversi spessori del muro. Vengono effettuati diversi termogrammi con tecnica passiva<sup>3</sup>: all'interno ed all'esterno della Cappella, durante l'estate 1977 e l'inverno 1978, rispetto alle diverse esposizioni e a diversi momenti della giornata.

#### **11.1.1 Periodo invernale, interno**

Nella tavola XXIII b (Fig. 11.1) si può notare come non sia da trascurare il contributo che l'illuminazione artificiale a incandescenza apporta alla distribuzione della temperatura superficiale nel caso della volta, situazione invece trascurabile nel resto

---

<sup>1</sup> Si veda il capitolo 9. Piano d'indagine.

<sup>2</sup> ACCARDO, *Distribuzione della temperatura*, cit., pp. 113-117.

<sup>3</sup> GRINZATO, *Controllare è necessario*, cit., p. 25.

### PARTE III. INDAGINI DIAGNOSTICHE

#### Analisi delle indagini termografiche pregresse

dell'abside. Nel periodo estivo l'andamento della distribuzione non varia grazie al potere coibente della muratura e alla schermatura da parte degli alberi. La tavola XXV d (Fig. 11.2) evidenzia la presenza di un'intercapedine d'aria (colore verde) tra la volta ed il tetto avente funzione isolante rispetto l'esterno: è possibile distinguere i due diversi livelli isotermici.



Fig. 11.1. Tav. XXIII b, zona absidale, esposizione N-E, ACCARDO, *Distribuzione della temperatura*, cit.

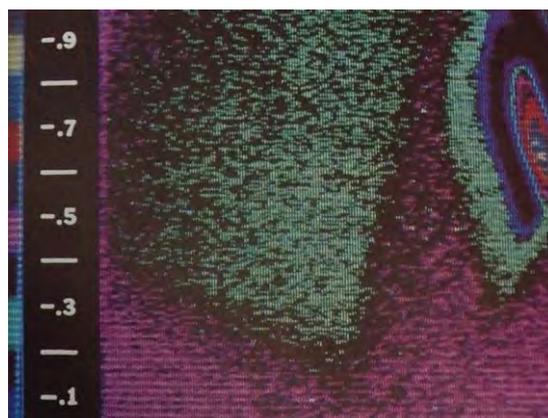


Fig. 11.2. Tav. XXV d, imposta di giunzione della volta con la parete laterale, esposizione S-E, ACCARDO, *Distribuzione della temperatura*, cit.

Vengono messe a confronto due diverse serie di termogrammi della porta d'ingresso (Fig. 11.3); nella colonna di sinistra i dati registrati il 31 gennaio alle ore 16.00, in quella di destra quelli della mattina del 1 febbraio. Si evidenzia un comportamento simmetrico rispetto ai due momenti della giornata: nelle prime ore del giorno la porta è più fredda del muro, mentre nel pomeriggio è riscaldata dalla radiazione solare e la temperatura aumenta di circa 5°C rispetto al muro, invertendo così il gradiente termico. Il portone d'ingresso risulta quindi essere la zona di massimo scambio termico e contribuisce ad influenzare i cicli ed il

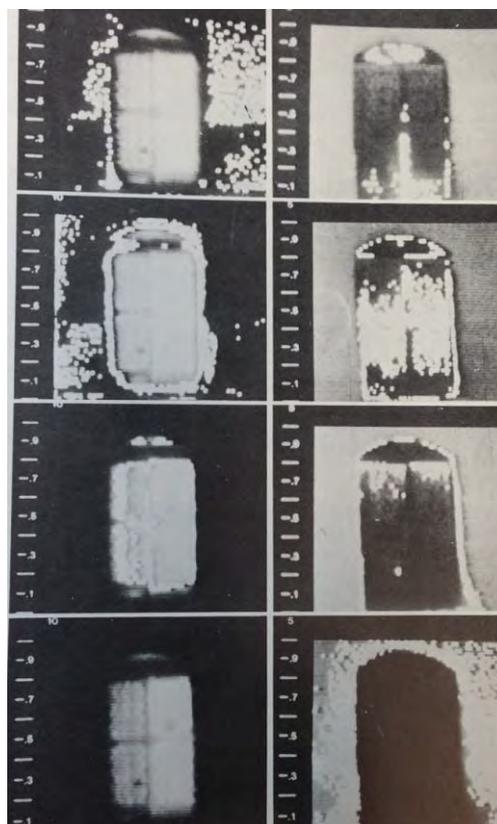


Fig. 11.3. Tav. XXVI, porta, esposizione S-O, ACCARDO, *Distribuzione della temperatura*, cit.

microclima anche nei giorni in cui rimane chiusa.

Nella sottostante immagine termografica (Fig. 11.5), eseguita nella fascia orizzontale del *Giudizio Universale* soprastante la porta d'ingresso (Fig. 11.4), è possibile individuare i diversi spessori della muratura presenti in facciata, in prossimità del portale ed alle estremità della stessa. Gli spessori maggiori sono caratterizzati da macchie scure più fredde mentre quelli minori da macchie chiare più calde.



Fig. 11.4. Tav. XXVII c, *Giudizio Universale*, esposizione S-O, ACCARDO, *Distribuzione della temperatura*.



Fig. 11.5. Tav. XXVII a, *Giudizio Universale*, esposizione S-O, ACCARDO, si possono notare i diversi spessori della muratura sottostante gli affreschi, *Distribuzione della temperatura*.

Il termogramma successivo (Fig. 11.6) interessa uno dei due affreschi staccati da Antonio Bertolli nel 1892<sup>4</sup>: è ben individuato il diverso comportamento termico tra il supporto e la superficie confinante. E' importante notare come zone isoterme diverse possano corrispondere a differenti caratteristiche di assorbimento ed emissione dei materiali utilizzati, effetto provocato dall'illuminazione artificiale (Fig. 11.7).

<sup>4</sup> Durante i restauri che interessano gli affreschi della Cappella, Antonio Bertolli decise per lo stacco di due di questi: *Gesù fra i dottori* e *l'Andata al Calvario*, riportandoli poi su telai di rame dopo aver creato un'intercapedine tra la parete e il supporto in modo da evitare il contatto tra la muratura umida e l'affresco. Si veda capitolo 3. I restauri.

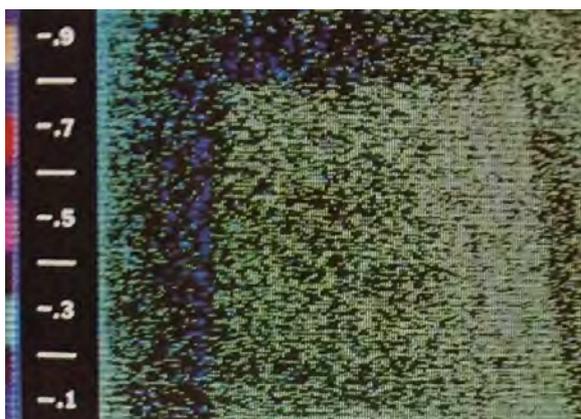


Fig. 13.6. Tav. XXVIII b; *Gesù tra i dottori*, esposizione N-O, ACCARDO, *Distribuzione della temperatura*.

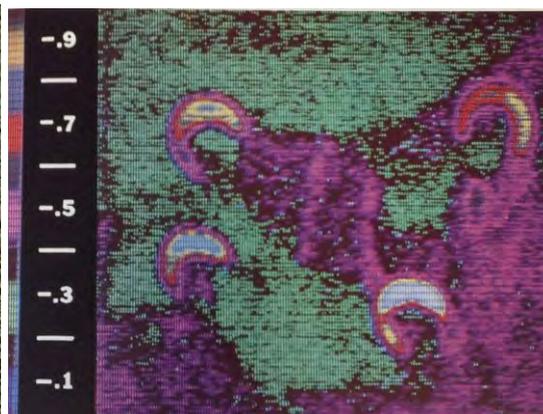


Fig. 13.7. Tav. XIX a; *La deposizione*, esposizione N-O, ACCARDO, *Distribuzione della temperatura*.

### 11.1.2 Periodo invernale, esterno

Nelle immagini che seguono sono raffigurate le pareti esposte a meridione, ovvero quelle che subiscono il maggior irradiazione durante la giornata. In particolare, sul lato sud-est (Fig. 11.8), in prossimità della zona vicino allo spigolo sud, si raggiungono temperature maggiori di 10°C rispetto al resto della stessa superficie. Le differenze sono dovute alla schermatura esercitata dagli alberi che in certi periodi della giornata definiscono così all'interno una zona più calda anteriormente ed una posteriore più fredda. In facciata si possono notare alcuni particolari (Fig. 11.9): le catene in ferro, identificate dal colore giallo, inserite all'interno del muro nello spazio compreso tra il portale e la trifora; l'intercapedine d'aria ottenuta tra la volta ed il tetto è di colore rosso rimanendo più freddo a causa della funzione isolante esercitata dalla cavità; i due fori per il ricambio dell'aria sono individuati da due cerchi viola.



Fig. 11.8. Tav. XXXII b; esposizione S e S-O, ACCARDO, *Distribuzione della temperatura*.

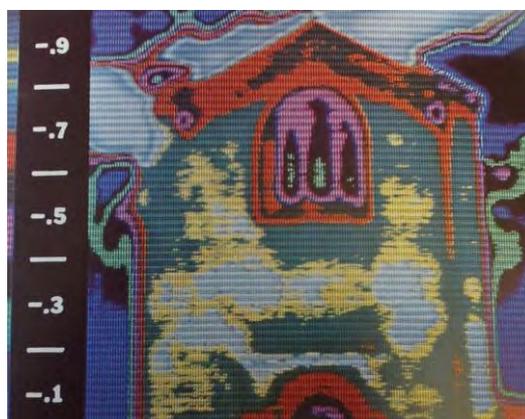


Fig. 11.9. Tav. XXXIII b; facciata, esposizione O, ACCARDO, *Distribuzione della temperatura*.

### 11.1.3 Periodo estivo, interno

L'affresco nella figura 11.10 risulta riscaldato a causa dell'irraggiamento solare diretto che attraversa la trifora della controfacciata. La distribuzione termica riportata nell'immagine di destra evidenzia il cammino percorso dall'aria identificato da zone fredde (Fig. 11.11).

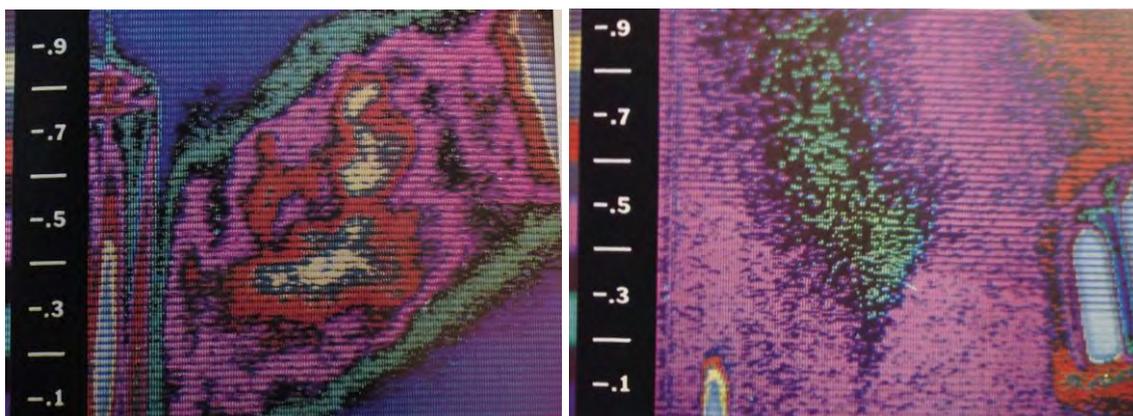


Fig. 11.10 - 11.11. Tav. XXXVI b; *Fuga in Egitto*, esposizione S e S-E, ACCARDO, *Distribuzione della temperatura*.

### 11.1.4 Periodo estivo, esterno

Nel termogramma (Fig. 11.12) è rappresentata la distribuzione termica della facciata nella fase di raffreddamento ed è possibile individuare le stesse condizioni caratterizzanti il periodo invernale: lo spigolo sud risulta infatti essere quello più caldo mentre quello ovest resta il più freddo (nonostante sia stato irradiato per ultimo).

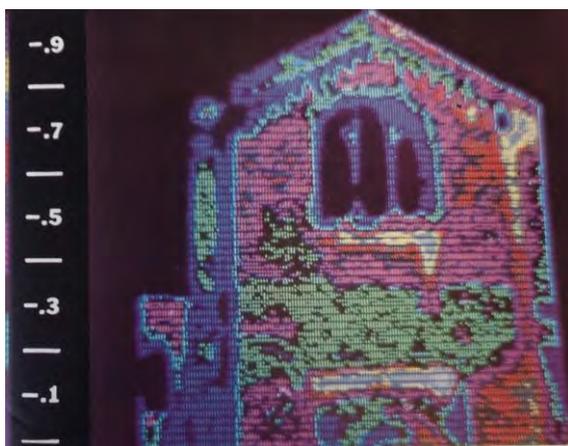


Fig. 11.12. Tav. XLII; facciata, esposizione O, ACCARDO, *Distribuzione della temperatura*.

## 11.2. INDAGINI TERMOGRAFICHE 2001<sup>5</sup>

Nel febbraio 2001 vengono effettuate le nuove riprese termografiche, in una giornata soleggiata, a seguito dei lavori di restauro al ciclo pittorico terminati nello stesso anno. In particolare per l'analisi è stato utilizzato un metodo di combinazione tra CFD (*Computation Fluid Dynamic*, fluidodinamica computazionale) e la termografia, che permette di ottenere informazioni utili riguardo i flussi d'aria interni e le previsioni riguardo le strategie da adottare nella regolazione del numero di visitatori che possono accedere nello stesso momento. Dal punto di vista operativo, la termocamera è stata posta al di sopra di un'asta per poter permettere una ripresa perpendicolare alla superficie in modo da non ottenere, a causa della distorsione prospettica, un'immagine sfalsata rispetto a quella reale (Fig. 11.13).

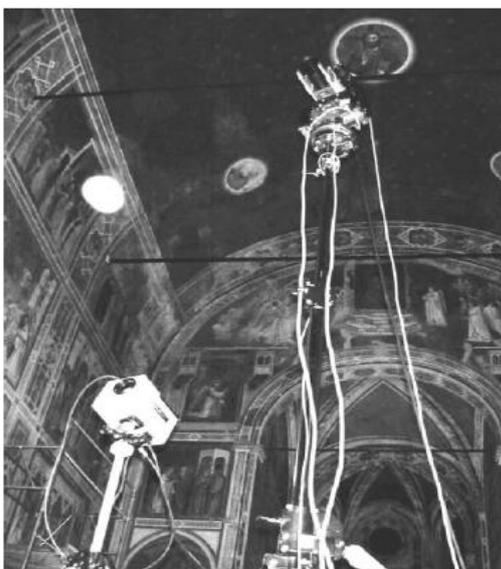


Fig. 11.13. L'immagine mostra due termocamere rette da due aste, intente a eseguire dei termogrammi della Cappella, GRINZATO, BRESSAN, MARINETTI, *Monitoring of the Scrovegni Chapel*, cit. p.166, Fig. 1.

Il primo risultato ottenuto durante questa seconda campagna alla Cappella, riguarda il ritrovamento di una vecchia apertura tamponata, non si sa in quale epoca, tra la volta e la parete sud (Fig. 11.14), assolutamente invisibile ad occhio nudo: la termografia è stata in grado di identificare questa traccia grazie al materiale che contorna l'apertura, il quale produce un'impronta più fredda sulla superficie a causa alle sue diverse proprietà emissive rispetto a questa.

---

<sup>5</sup> E. GRINZATO, C. BRESSAN, S. MARINETTI, P.G. BISON, C. BONACINA, *Monitoring of the Scrovegni Chapel by IR Thermography: Giotto at Infrared* in «Infrared Physics & Technology 43», 2002, pp. 165-169.

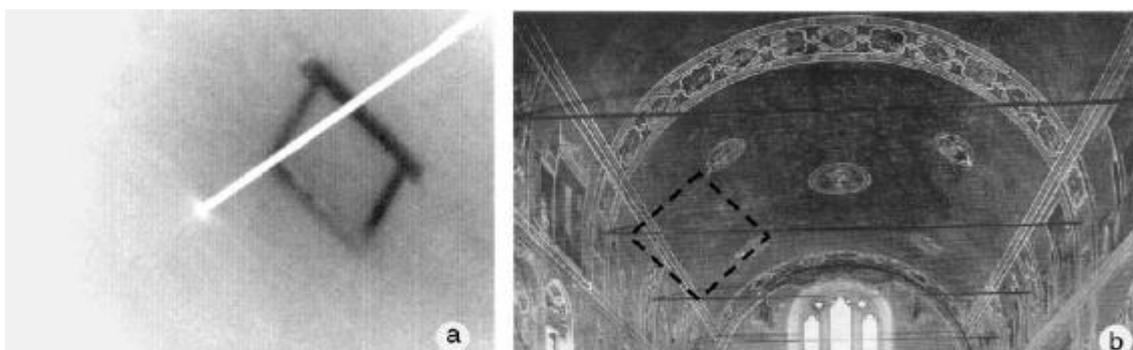


Fig. 11.14. Il termogramma (a) mostra la struttura nascosta posizionata tra la volta e la parete sud (b), GRINZATO, BRESSAN, MARINETTI, *Monitoring of the Scrovegni Chapel*, cit. p.167, Fig. 3.

Altre informazioni molto importanti, sono quelle ottenute riguardo la profondità delle lesioni esistenti, che hanno permesso di capire se queste fossero solo superficiali, e quindi del rivestimento, o se passanti lo spessore del mattone o addirittura dell'intero supporto murario. Questa valutazione è stata eseguita utilizzando i dati della temperatura superficiale misurati grazie all'immagine termografica e le differenti temperature di un flusso d'aria trasferito sulla stessa superficie su cui è stata eseguita la termografia. Un esempio dell'applicazione di questo metodo è quello della figura 11.15: il termogramma è stato rielaborato enfatizzando la visibilità della lesione (a), e sono stati riportati i due profili delle temperature (b) che corrispondono al monitoraggio della superficie orizzontale e l'andamento verticale dell'aria, con un  $\Delta T$  pari a  $0,5^{\circ}\text{C}$ . Questi dati sono stati poi combinati con la temperatura dell'aria esterna in modo da poter valutare se la fessura in esame fosse passante o meno.

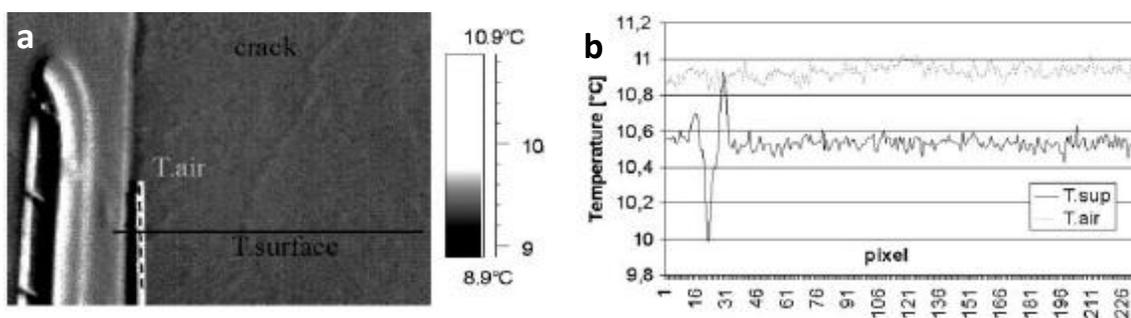


Fig. 11.15. Il termogramma (a) mostra la fessura apparsa sulla superficie del *Giudizio Universale*, nella parte sinistra. L'asta verticale presente a sinistra permette il continuo monitoraggio della temperatura dell'aria. I profili (b) della temperatura dell'aria e della superficie corrispondono alle linee rappresentate nella figura "a"; le variazioni repentine del grafico dei profili sono reputabili alle variazioni sul muro della temperatura superficiale (curva inferiore) dovute alla presenza dell'angolo e dell'asta verticale, GRINZATO, BRESSAN, MARINETTI, *Monitoring of the Scrovegni Chapel*, cit. p.167, Fig. 4.

Le successive immagini termografiche riguardano peculiarità proprie del ciclo di affreschi: la prima è quella riguardante i due dipinti staccati e riattaccati tramite intelaiatura in rame, di cui se ne era già trovata traccia nelle indagini termografiche degli anni Settanta. Un'altra particolarità è quella riguardante i tre medaglioni della volta staccati nel 1944 e riattaccati con reti metalliche nel 1947 dal restauratore Mauro Pelliccioli<sup>6</sup>. Infine è stata riscontrata una piccola mancanza di aderenza sulla parete nord, due metri sotto i riquadri *Ingiustizia* e *Infedeltà*, con un'area di circa 1mq. In fase di post produzione sono stati poi correlati i dati delle termografie con quelli del monitoraggio delle condizioni microclimatiche delle superfici: questa

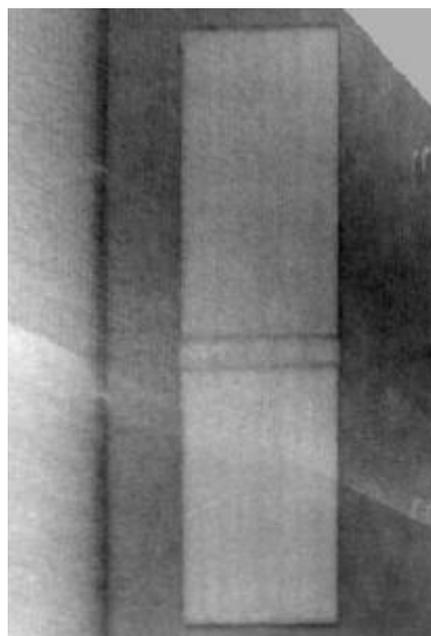


Fig. 11.16. Il termogramma è riferito ai due dipinti, *L'andata al calvario* e *Gesù tra i dottori*, staccati e riattaccati nel 1892, GRINZATO, BRESSAN, MARINETTI, *Monitoring of the Scrovegni Chapel*, cit. p.168, Fig. 5a.

analisi è importante per la conservazione del monumento e la termografia è molto utile per questo scopo, in modo particolare per la distribuzione interna del calore, dei flussi d'aria. Un punto importante è poi l'identificazione dei ponti termici dove le temperature delle superfici a livello più basso possono consentire al vapore acqueo, generato dai visitatori, di condensare sulla superficie. Il rischio di condensazione è maggiore se i punti freddi sono vicini a una finestra da cui l'umidità può entrare.

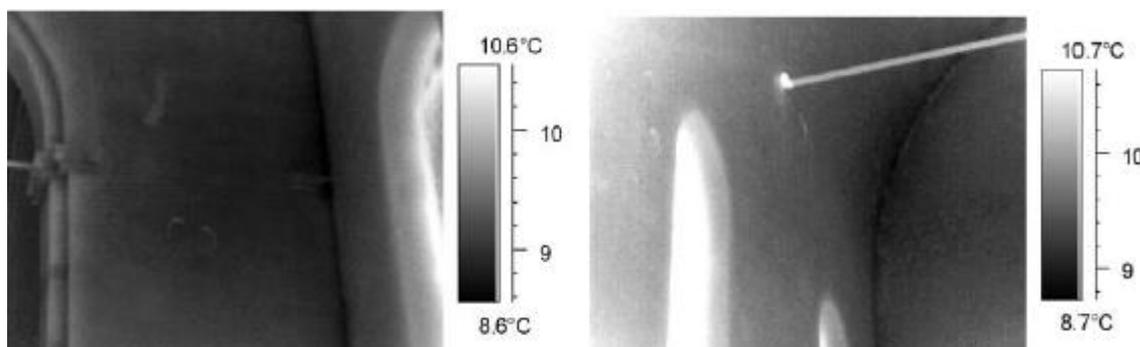


Fig. 11.17. I termogrammi illustrano i ponti termici dell'angolo di nord-est vicino all'abside e nell'angolo di sud-est della volta. GRINZATO, BRESSAN, MARINETTI, *Monitoring of the Scrovegni Chapel*, cit. p.168, Fig. 6.

<sup>6</sup> Vedi capitolo 3.7.

La termografia è uno strumento potente per lo studio della fluidodinamica anche a basse velocità: l'approccio qui seguito è il continuo mappaggio della temperatura della superficie. In questa campagna, eseguita a seguito dei lavori di restauro, sono state riscontrate poche infiltrazioni di aria provenienti da porte o finestre. La temperatura della superficie è stata usata direttamente e indirettamente per monitorare e predire un possibile rischio per l'integrità del monumento.

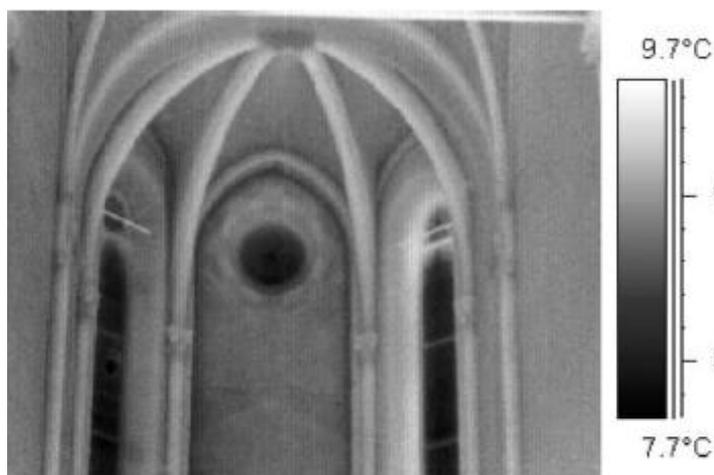


Fig. 11.18. Termogramma che illustra le variazioni di temperatura, nell'abside, in prossimità di finestre, GRINZATO, BRESSAN, MARINETTI, *Monitoring of the Scrovegni Chapel*, cit. p.169, Fig. 8.

### 11.3. INDAGINI TERMOGRAFICHE 2013

In seguito alle riprese termografiche eseguite nel novembre 2013 all'interno della Cappella degli Scrovegni, sono state da noi rielaborate tali immagini attraverso il programma InfReC Analyzer NS9500; abbiamo poi effettuato un lavoro di mappatura delle stesse al fine di poter restituire un'immagine termografica complessiva, costituita da singoli termogrammi e dalle relative fotografie<sup>7</sup>.

Riportiamo nel dettaglio alcune criticità individuate e le proposte di indagini mirate in previsione di una nuova campagna di riprese termografiche prevista per novembre 2014 con lo scopo di migliorare le informazioni in modo maggiormente dettagliato e di eseguire nuovi studi in corrispondenza delle criticità evidenziate da questa analisi e dall'esame degli interventi pregressi eseguiti sull'edificio, grazie anche all'ausilio di una nuova termocamera e ulteriori strumentazioni.

<sup>7</sup> Vedi tavole da 9.01 a 9.17 presenti nel book allegato.

11.3.1 Parete Nord

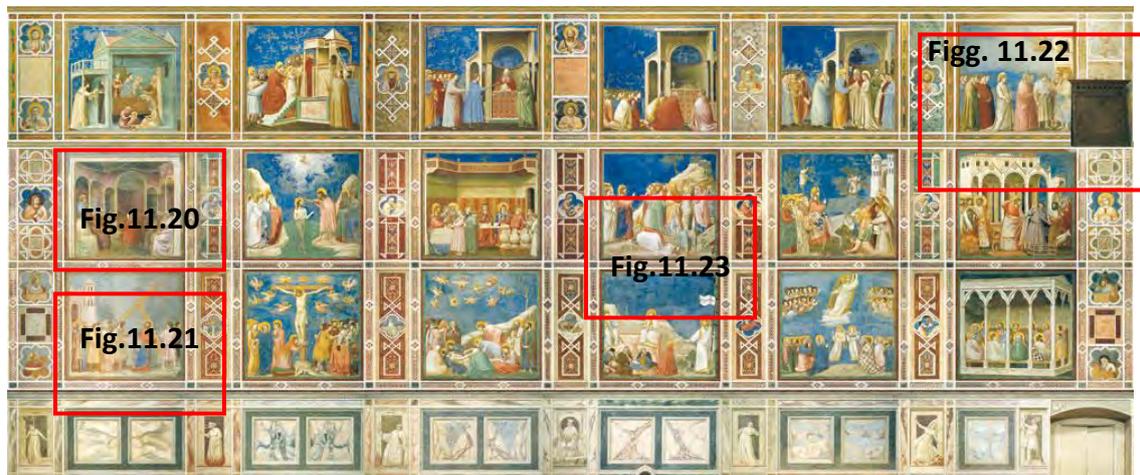


Fig. 11.19. Parete Nord, indicazione delle parti che nel paragrafo saranno analizzate nel dettaglio.

La parete nord si presenta completamente affrescata e le immagini termografiche più significative si localizzano in tre aree.

Nell'area più prossima al *Giudizio Universale* i termogrammi (Figg. 11.20 – 11.21) raffigurano le tracce dei supporti in rame con i quali sono stati riposizionati alla parete nel 1892 da Antonio Bertolli gli affreschi di *l'Andata al calvario* e *Gesù fra i dottori*. È evidenziato il contorno di colore blu tra l'affresco e il supporto murario: la termografia ha identificato questa traccia più fredda derivante dall'intercapedine d'aria. Nell'immagine termografica non si vede il supporto in rame, che dovrebbe risultare più caldo rispetto al resto dell'immagine, si ipotizza che questo sia completamente coperto dagli affreschi.



Fig. 11.20. Img. 42, tavola "parete nord", immagini della campagna termografica del novembre 2013.

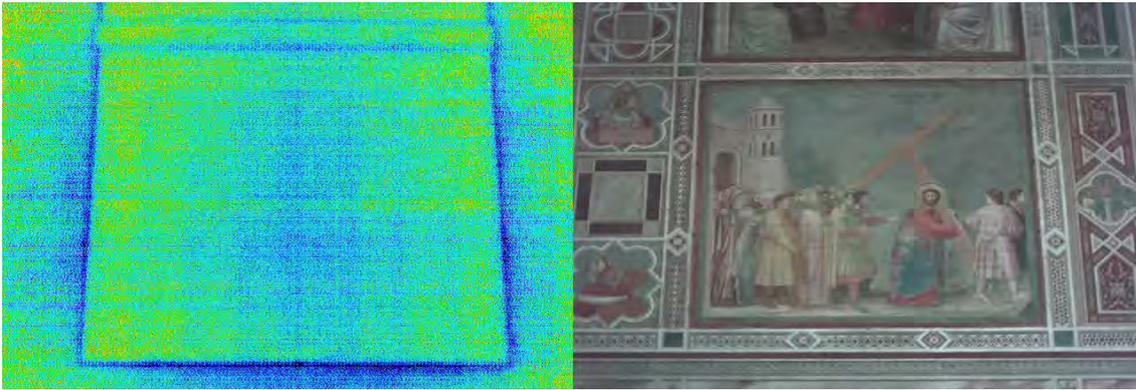


Fig. 11.21. Img. 43, tavola "parete nord", immagini della campagna termografica del novembre 2013.

Spostandosi verso l'arco trionfale si individuano una macchia circolare di colore blu non visibile ad occhio nudo, sulla natura dello stesso si potrebbero fare alcune ipotesi: una diversità di materiale o un'irregolarità del supporto - pareti d'ambito o volta - sottostante gli affreschi, non se ne conosce infatti la perfetta localizzazione in quanto la ripresa è stata effettuata dal basso verso l'alto (Fig. 11.22).

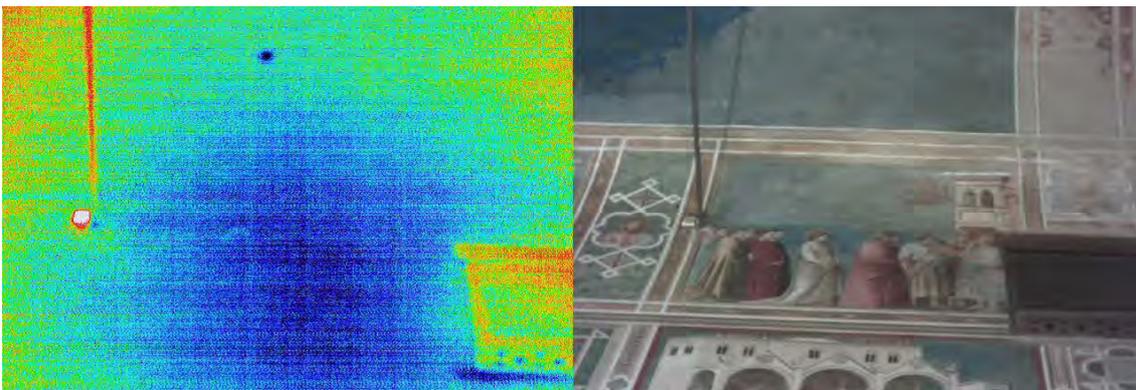


Fig. 11.22. Img. 222, tavola "parete nord", immagini della campagna termografica del novembre 2013.

È evidenziata centralmente rispetto alla parete una zona rettangolare più fredda, non visibile ad occhio nudo: data la sua particolare forme si potrebbe ipotizzare che sia la traccia lasciata da una buca pontata tamponata con materiale diverso.

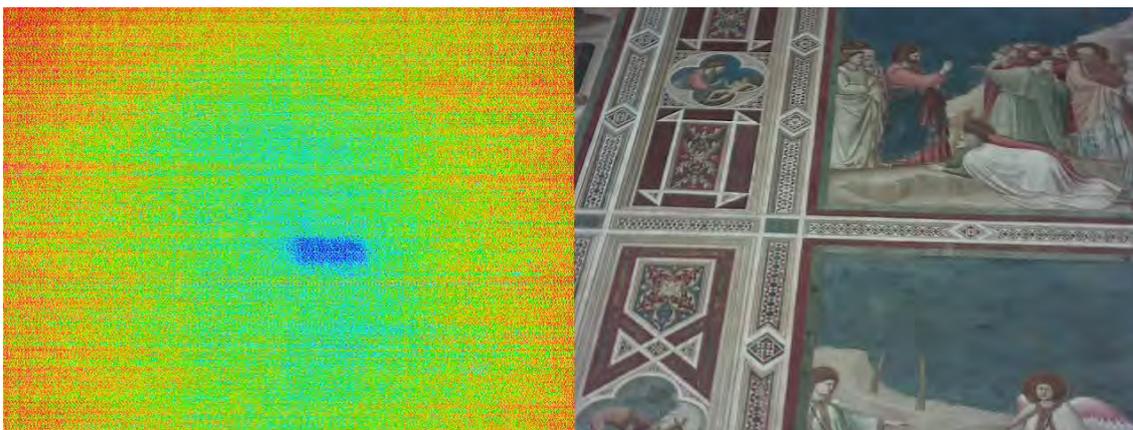


Fig. 11.23. Img. 140, tavola "parete nord", immagini della campagna termografica del novembre 2013.

### 11.3.2 Volta

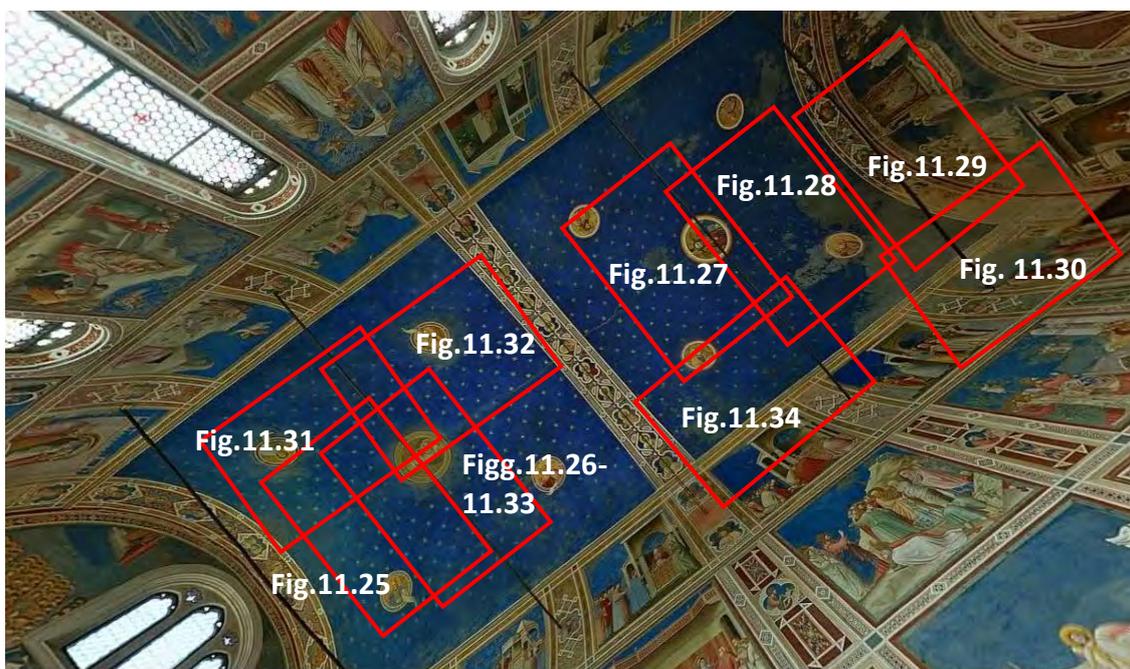


Fig. 11.24. Volta, indicazione delle parti che nel paragrafo saranno analizzate nel dettaglio.

Si possono notare, indicate dal colore rosso, le cinque catene, mentre non si ha un riscontro diretto delle fessurazioni presenti e visibili anche ad occhio nudo nella volta a botte. Dall'analisi della volta si riscontrano disomogeneità di diverso tipo, sono infatti presenti veri e propri fori evidenziati dal colore blu e visibili anche ad occhio nudo: alcuni presenti per agganciare le catene (Figg. 11.25 – 11.26), altri che sembrerebbero non funzionare da ancoraggio (Figg. 11.27 – 11.29).

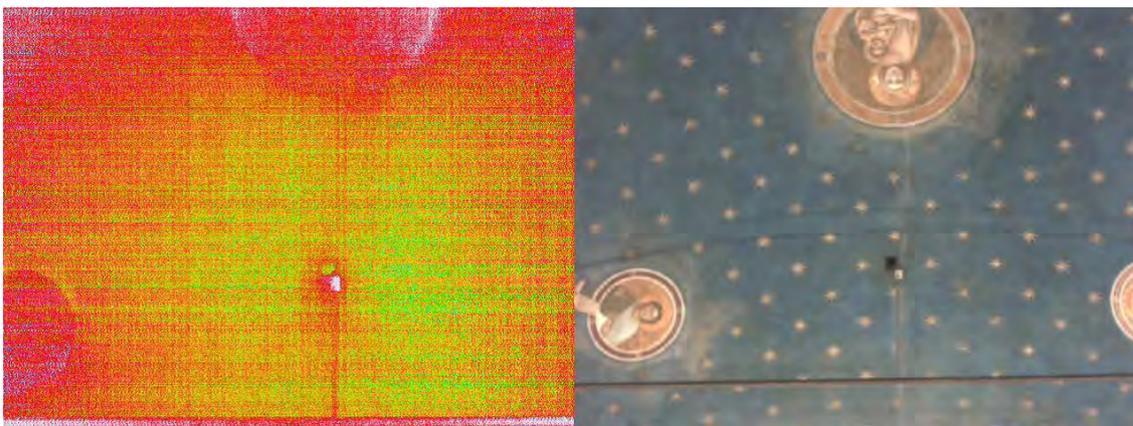


Fig. 11.25. Img. 103, tavola "volta", immagini della campagna termografica del novembre 2013.

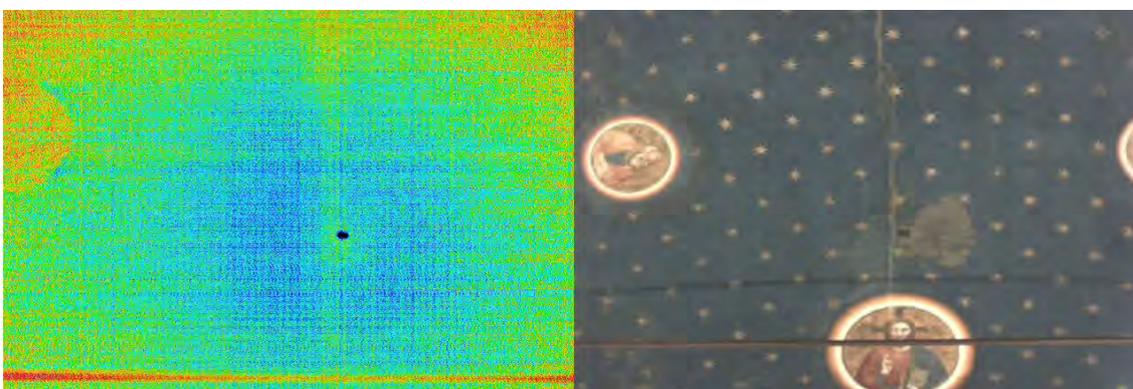


Fig. 11.26. Img. 104, tavola "volta", immagini della campagna termografica del novembre 2013.

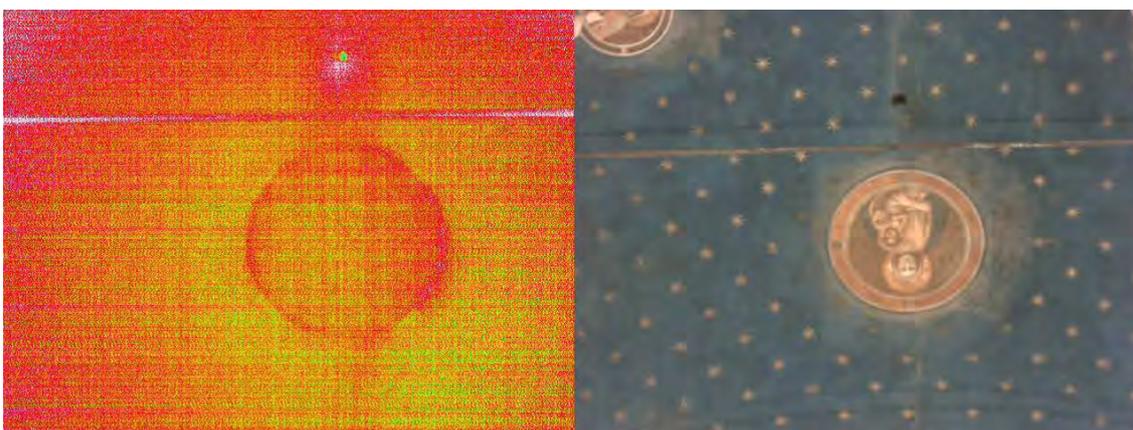


Fig. 11.27. Img. 109, tavola "volta", immagini della campagna termografica del novembre 2013.

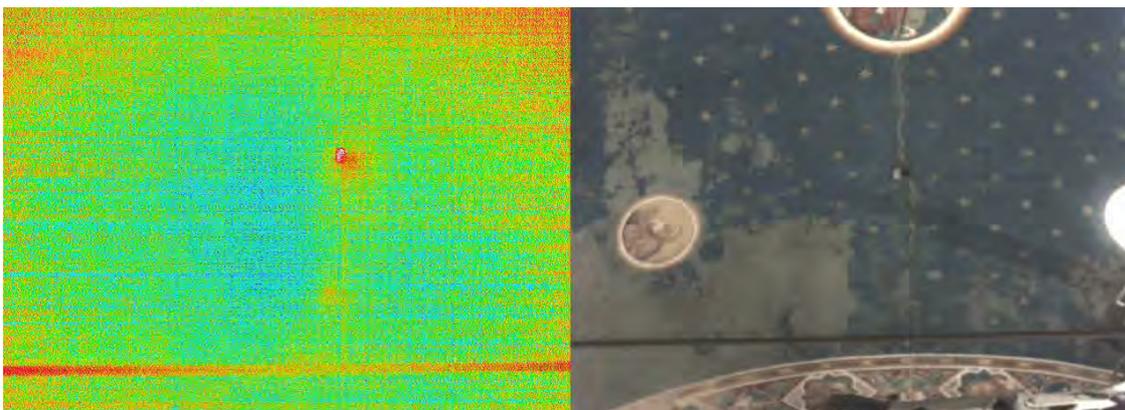


Fig. 11.28. Img. 112, tavola "volta", immagini della campagna termografica del novembre 2013.

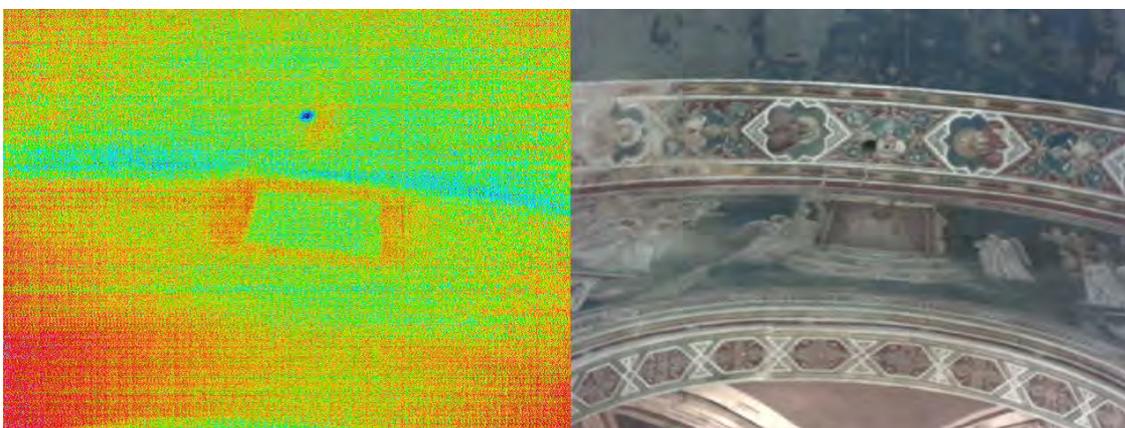


Fig. 11.29. Img. 229, tavola "volta", immagini della campagna termografica del novembre 2013.

Si nota inoltre nella termografia in Fig. 11.30 una macchia di colore blu, della stessa tipologia di quella della Fig. 11.22 e per cui proponiamo le stesse ipotesi: è infatti visibile solo tramite termografia e non ad occhio nudo termografica.

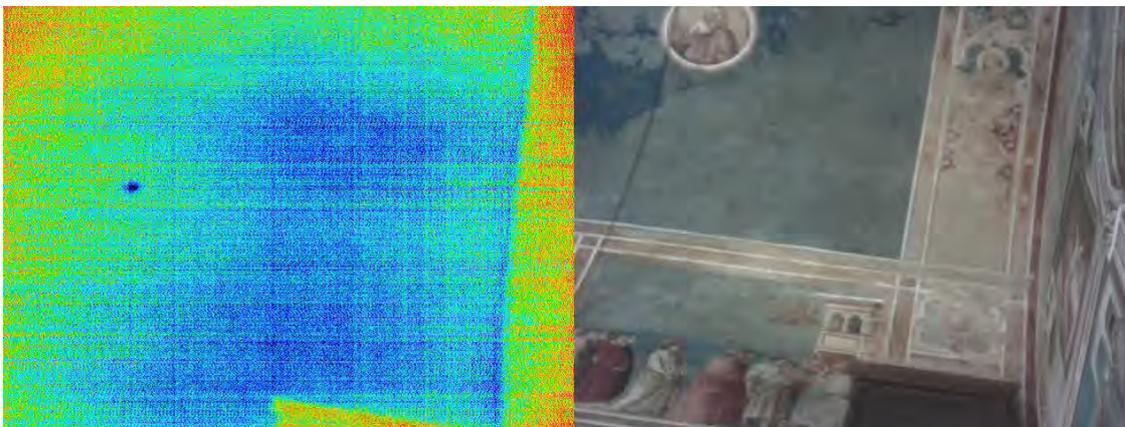


Fig. 11.30. Img. 231, tavola "volta", immagini della campagna termografica del novembre 2013.

Si possono infine notare nelle Fig. 11.31 - 11.34 le tracce dei medaglioni staccati e riattaccati. Dalle indagini del 2001 erano emerse le tracce di solamente tre medaglioni riadesi: in questa campagna invece se ne individua una nuova portando quindi il numero a quattro, come sostenuto da Pelliccioli<sup>8</sup>.

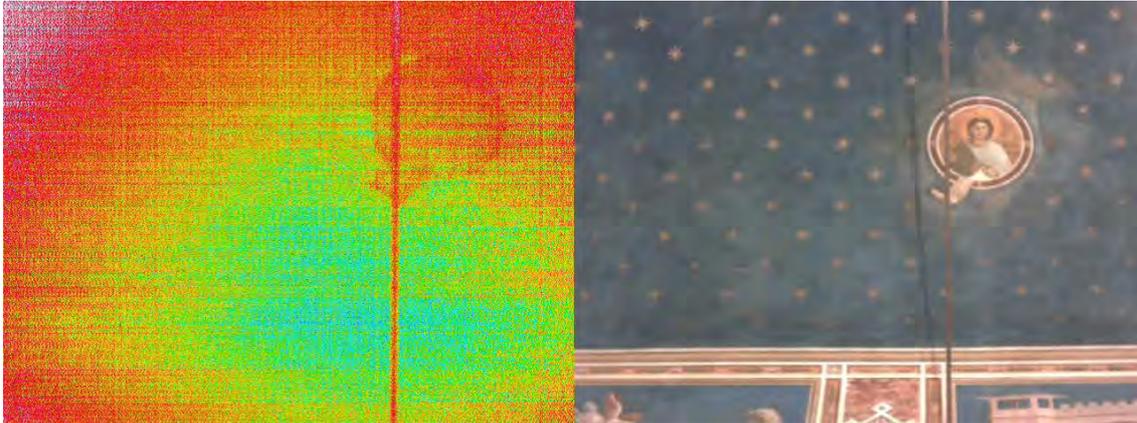


Fig. 11.31. Img. 327, tavola "volta", immagini della campagna termografica del novembre 2013.

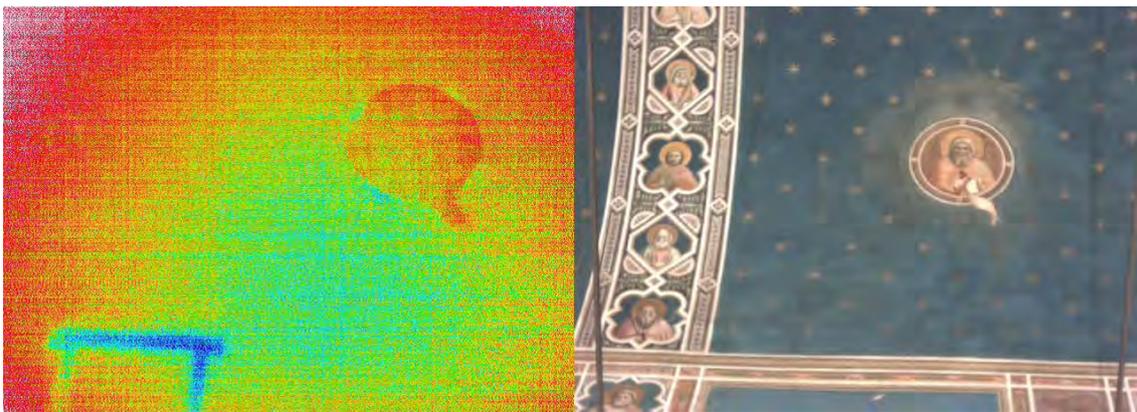


Fig. 11.32. Img. 97, tavola "volta", immagini della campagna termografica del novembre 2013.

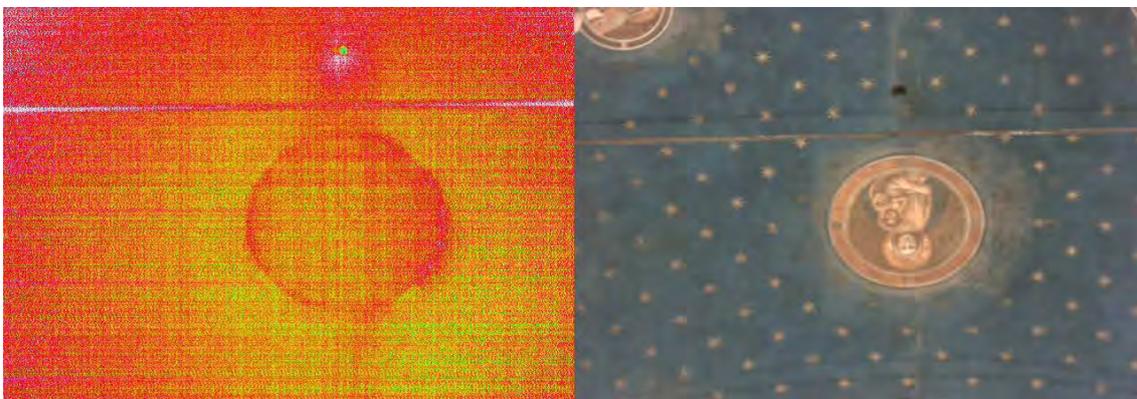


Fig. 11.33. Img. 104, tavola "volta", immagini della campagna termografica del novembre 2013.

---

<sup>8</sup> BASILE, *Il restauro*, 2003.

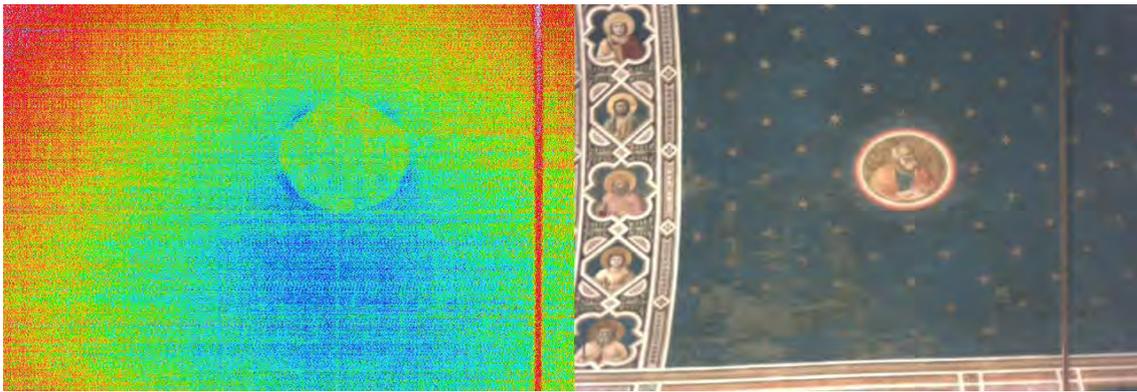


Fig. 11.34. Img. 90, tavola "volta", immagini della campagna termografica del novembre 2013.

### 11.3.3 Arco Trionfale

Si evidenzia al di sopra dell'arco trionfale il tamponamento presente nella sommità dello stesso, caratterizzato dal contorno di colore rosso. Nello studio degli interventi precedenti non è emerso il periodo in cui tale tamponamento è stato eseguito, documentata è invece una finestra in legno sita in quel punto negli anni precedenti.



Fig. 11.35. Arco Trionfale, indicazione delle parti che nel paragrafo saranno analizzate nel dettaglio.



Fig. 11.36. Nell'immagine l'arco trionfale risulta puntellato: analizzando le vicende storiche l'arcone risulta puntellato a causa di una preoccupante fessurazione nel 1871. Nell'immagine si possono anche vedere chiaramente la grande fessura che interessa l'area e la finestrella centrale chiusa da un battente in legno a sua volta dipinto. Biblioteca Civica di Padova, XXXVI.

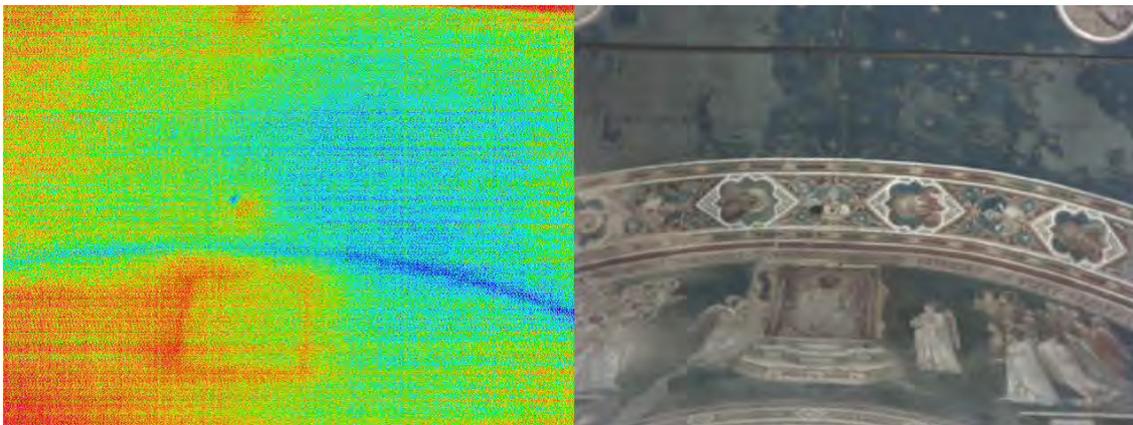


Fig. 11.37. Img. 57, tavola "arco", immagini della campagna termografica del novembre 2013.

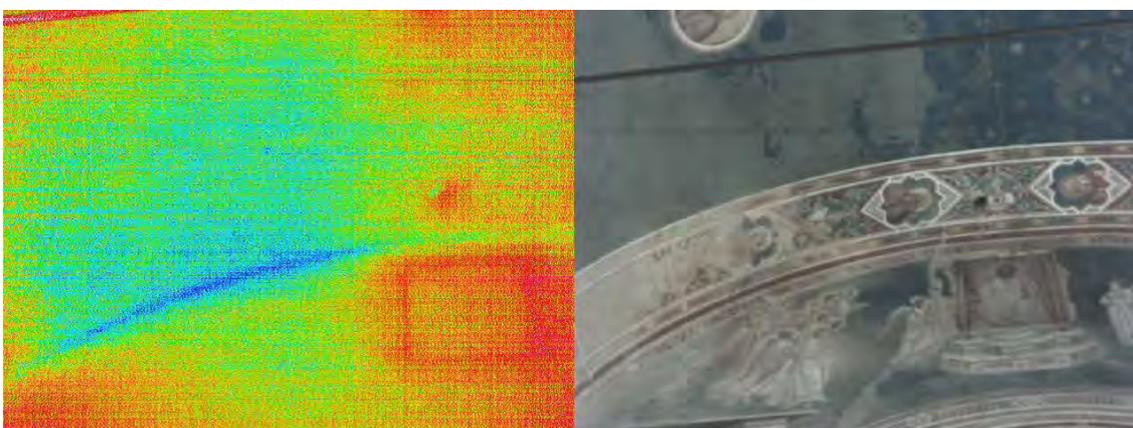


Fig. 11.38. Img. 58, tavola "arco", immagini della campagna termografica del novembre 2013.

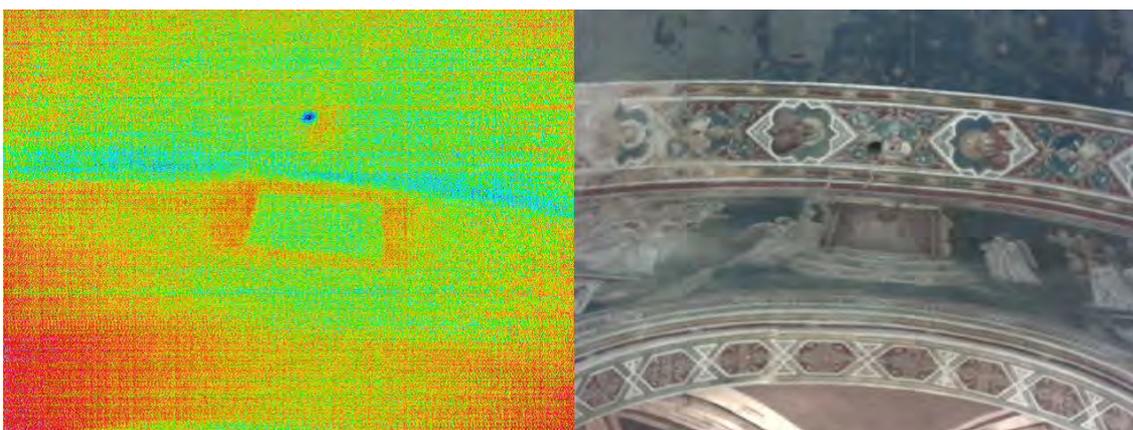


Fig. 11.39. Img. 229, tavola "arco", immagini della campagna termografica del novembre 2013.

### 11.3.4 Controfacciata

È visibile, definita dal colore blu, l'intercapedine presente in corrispondenza del portone e delle trifore; contrariamente non si trova traccia delle tre catene interne alla muratura site sotto gli affreschi.

Fig. 11.40. Controfacciata, indicazione delle parti che nel paragrafo saranno analizzate nel dettaglio.

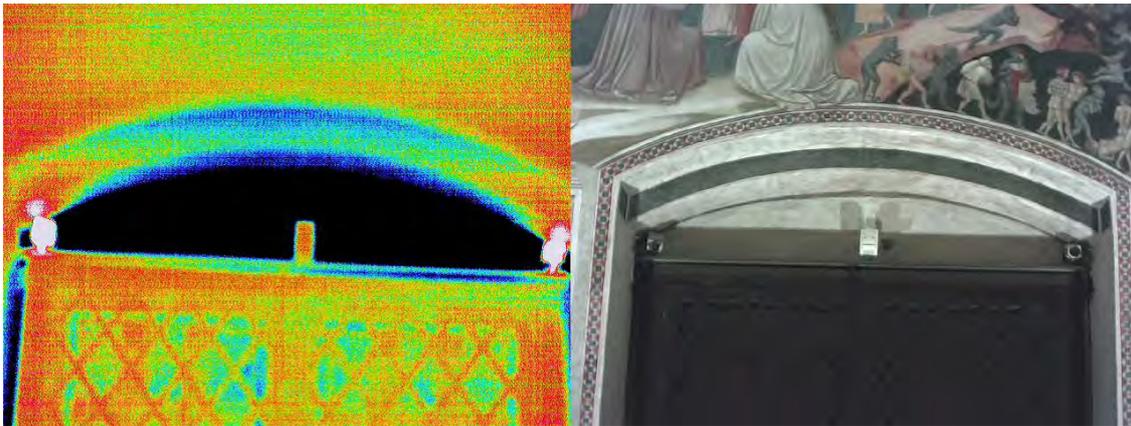


Fig. 11.41. Img. 304, tavola "Giudizio", immagini della campagna termografica del novembre 2013.

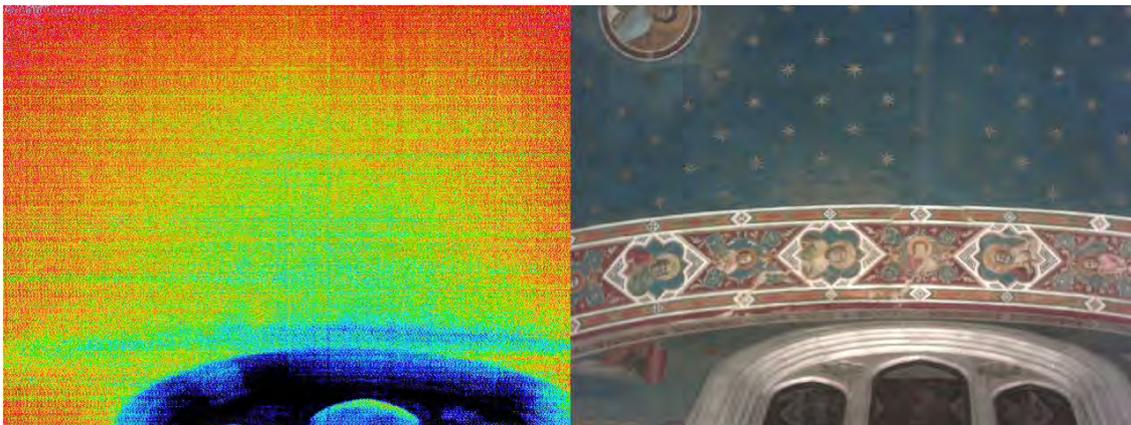


Fig. 11.42. Img. 326, tavola "Giudizio", immagini della campagna termografica del novembre 2013.

### 11.3.5 Collegamenti

Il collegamento tra la volta a botte e le pareti longitudinali sembrerebbe ben realizzato in quanto non caratterizzato da fasce fredde che avrebbero indicato disomogeneità, contrariamente, le pareti trasversali non risultano ben collegate sia alla volta, sia alle pareti longitudinali, come si può vedere dai ponti termici illustrati nelle immagini riportate in seguito. Nei termogrammi riportati a inizio capitolo è evidente l'intercapedine presente tra tetto e volta: questo non viene riscontrato ora in seguito alla coibentazione del tetto realizzata nel 1996 e all'esecuzione della CTA.

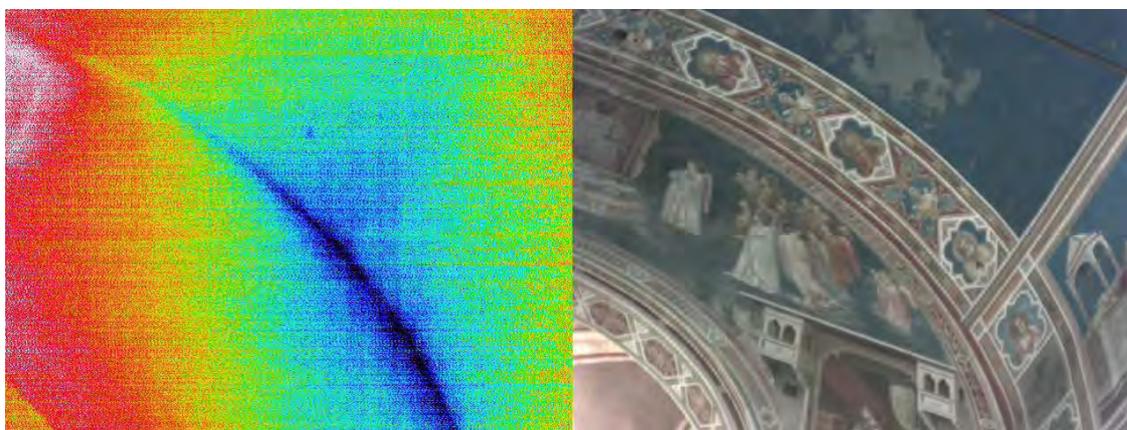


Fig. 11.43. Img. 63, tavola "Arco", immagini della campagna termografica del novembre 2013.

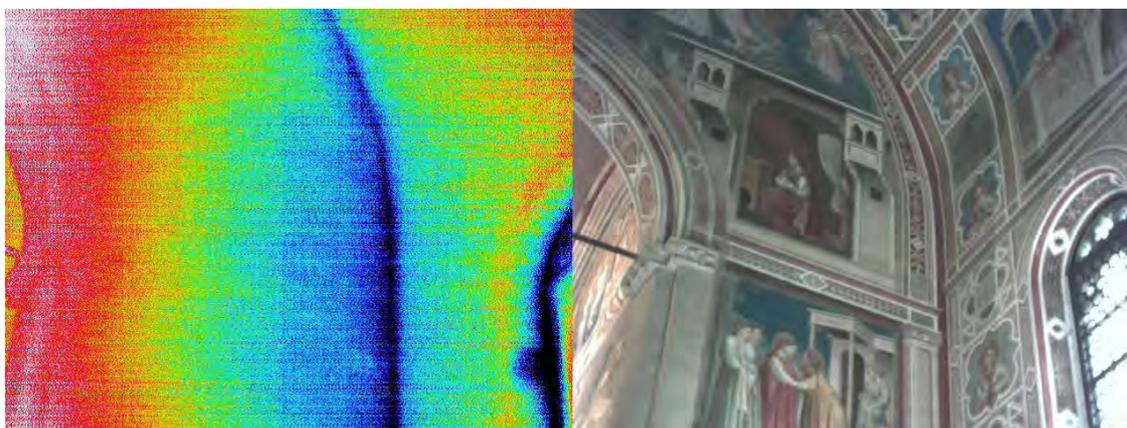


Fig. 11.44. Img. 64, tavola "Arco", immagini della campagna termografica del novembre 2013.

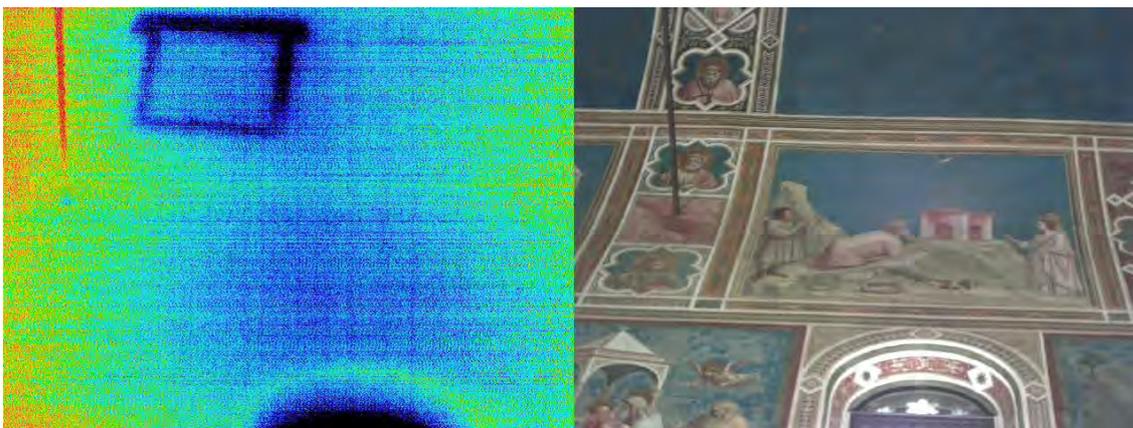


Fig. 11.45. Img.71, tavola "Arco", immagini della campagna termografica del novembre 2013.

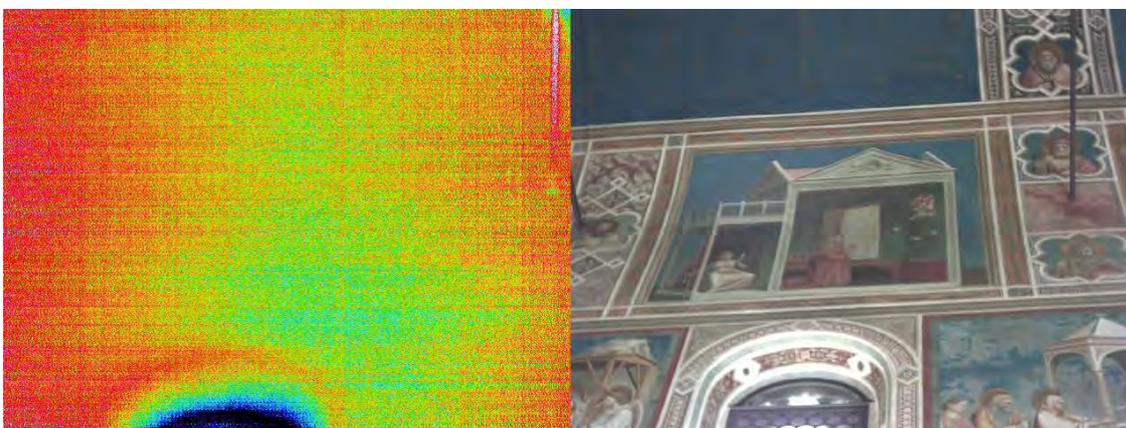


Fig. 11.46. Img. 69L, tavola "Arco", immagini della campagna termografica del novembre 2013.

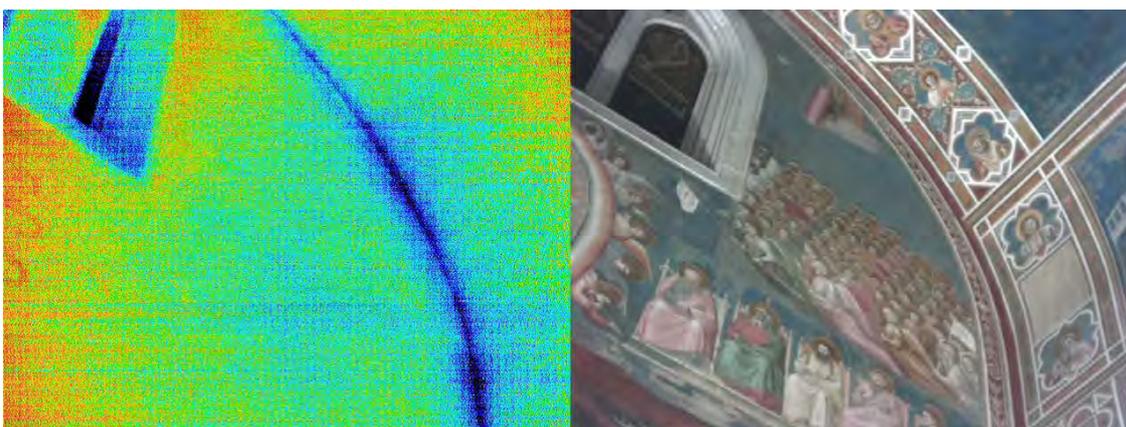


Fig. 11.47. Img. 322, tavola "Arco", immagini della campagna termografica del novembre 2013.

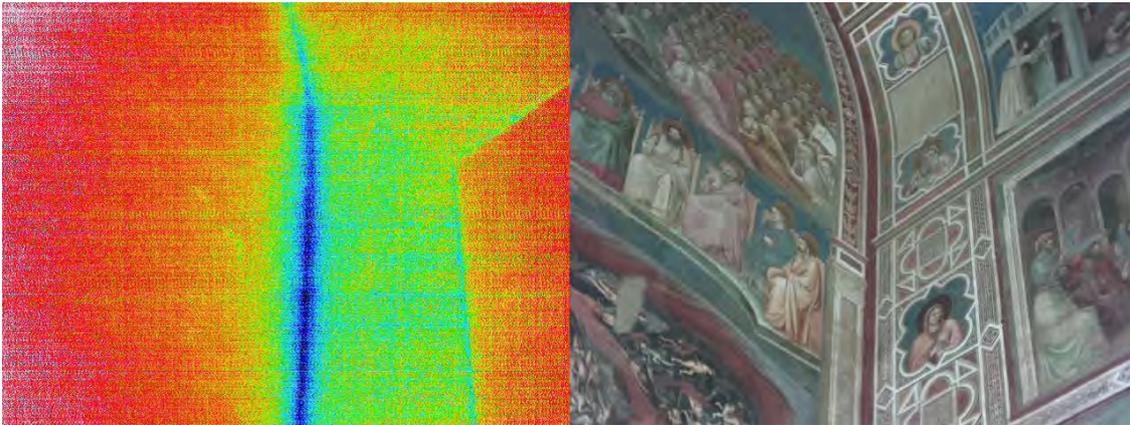


Fig. 11.48. Img.309, tavola "Arco", immagini della campagna termografica del novembre 2013.



Fig. 11.49. Img.229, tavola "Arco", immagini della campagna termografica del novembre 2013.

### 11.3.6 Parete Sud

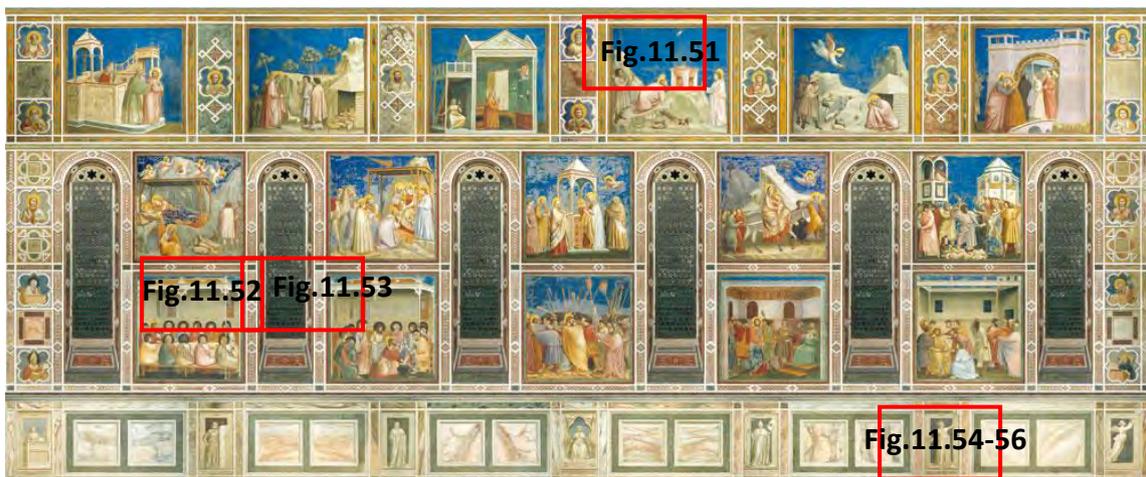


Fig. 11.50. Parete Sud, indicazione delle parti che nel paragrafo saranno analizzate nel dettaglio.

Parete caratterizzata dalla presenza delle sei finestre e dalle fasce fredde che vanno a crearsi in corrispondenza delle stesse. Particolare è la traccia di una possibile finestra

quadrata individuata da una macchia più fredda blu: nella fascia soprastante le finestre, localizzata a metà navata sopra l'ancoraggio della catena centrale, in prossimità dell'appoggio della volta a botte sulla parete.

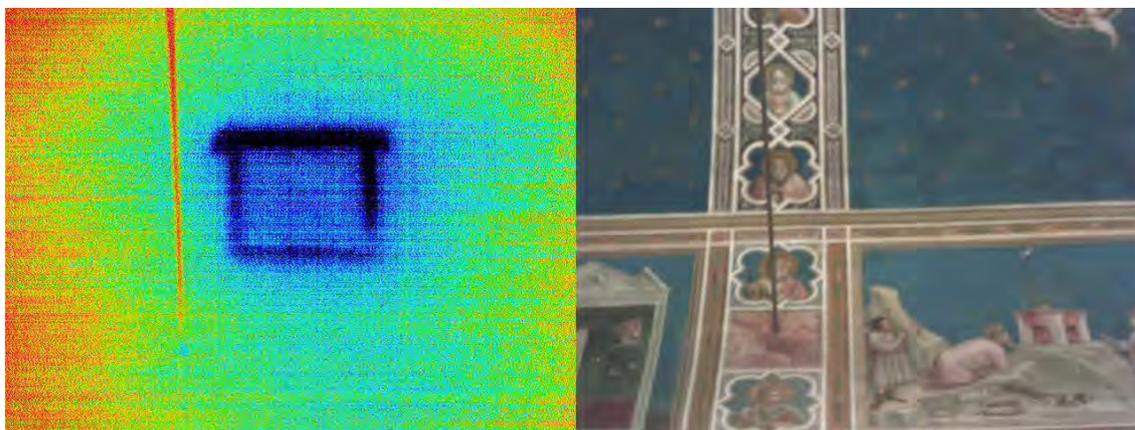


Fig. 11.51. Img. 26, tavola "parete sud", immagini della campagna termografica del novembre 2013.

Vengono quindi da noi formulate delle ipotesi atte ad identificare origine e funzione in merito alla traccia raffigurata: potrebbe trattarsi di una finestra chiusa in seguito alla costruzione della Cappella, infatti negli anni 1303 - 1305, prima dell'arrivo di Giotto a Padova, viene documentato<sup>9</sup> il tamponamento di alcune finestre al fine di fornire al pittore l'intera parete da affrescare. Vengono citate "alcune finestre" ma nell'intero lavoro di mappatura delle termografie questa è l'unica rintracciata.

Nelle Fig. 11.52 – 11.53, per quanto riguarda le immagini termografiche che riportano da due angolazioni diverse lo stesso soggetto, si può invece notare una macchia di forma circolare di colore verde che potrebbe rappresentare un foro nella muratura al di sotto degli affreschi, non è infatti visibile ad occhio nudo, o un diverso materiale usato in quel punto per dipingere la parete.

---

<sup>9</sup> GIOVAGNOLI, Il palazzo dell'Arena, cit.

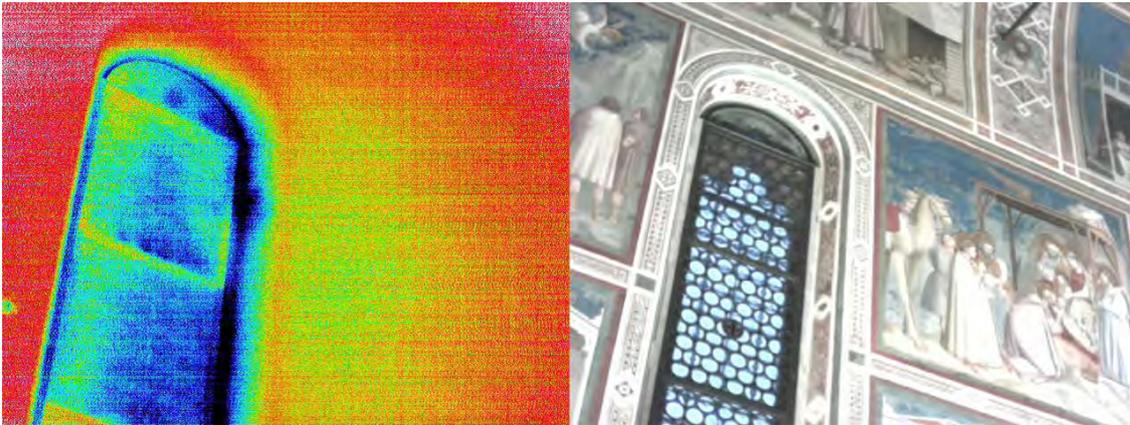


Fig. 11.52. Img. 213, tavola "parete sud", immagini della campagna termografica del novembre 2013.

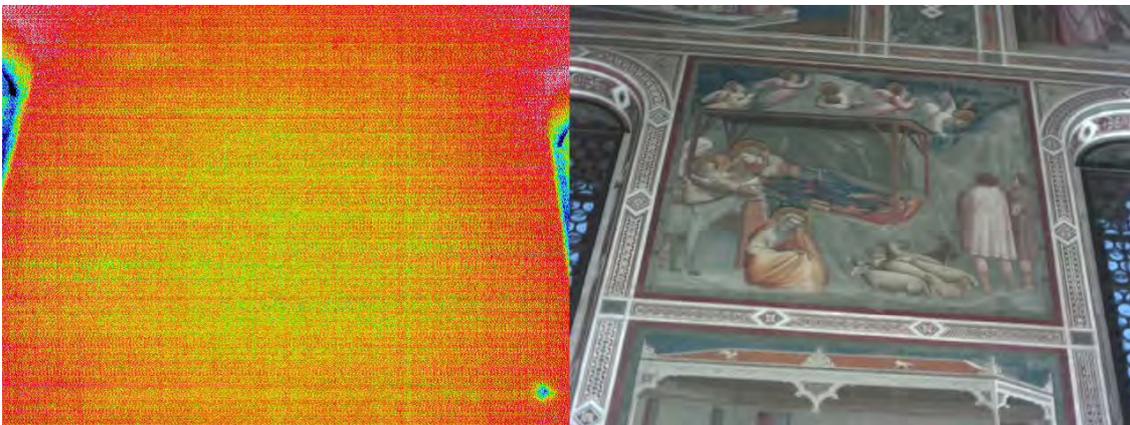


Fig. 11.53. Img. 214, tavola "parete sud", immagini della campagna termografica del novembre 2013.

Nella Fig. 11.54 si può individuare una lesione in corrispondenza del tamponamento esterno, in corrispondenza della *Carità*, di cui non se ne trova traccia nella storia documentata.

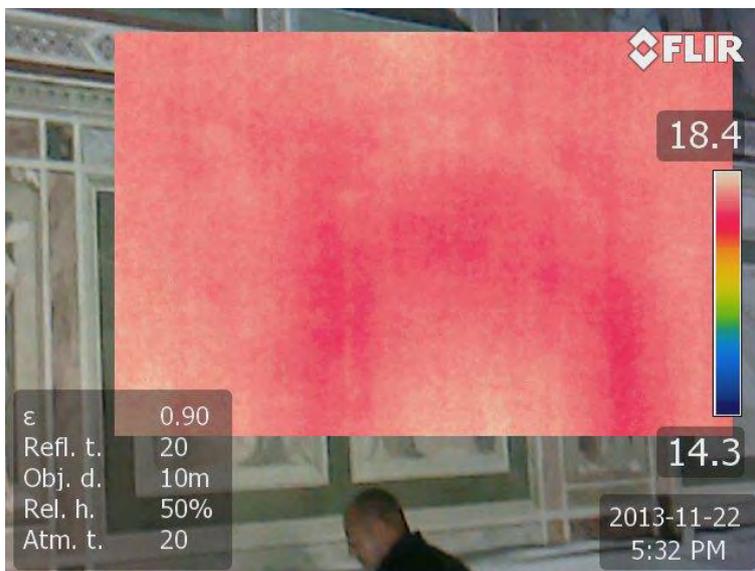


Fig. 11.54. (sinistra)  
Termogramma in corrispondenza  
del tamponamento in prossimità  
del riquadro della *Carità*.



Fig. 11.55. (in basso a sinistra) Area in cui è stato eseguito il termogramma in Fig. 14.54, internamente all'edificio.



Fig. 11.56. (in basso a destra) Area in cui è stato eseguito il termogramma in Fig. 11.54, esternamente all'edificio.

### 11.3.7 Osservazioni conclusive

L'analisi appena svolta delle indagini pregresse ed in particolare la rielaborazione dei fotogrammi rilevati nel novembre 2013 permette di prevedere ulteriori prove termografiche lì dove ce ne fosse bisogno, infatti il piano d'indagine è stato redatto considerando tali esiti<sup>10</sup>.

In vista della campagna d'indagini prevista per novembre 2014, si auspica una completa mappatura termografica esterna, essendo l'ultima risalente al 1977-78, e interna negli ambienti non ancora investigati. Si consiglia poi un controllo di tutti gli angoli per verificare se esista un collegamento di tipo strutturale e un esame delle lesioni che non si riscontrano sulle termografie effettuate; in entrambi i casi se la prova individuasse un andamento della temperatura costante nei pressi della lesione, inferiore al resto della parete, segnalerebbe un cattivo collegamento tra le parti.

<sup>10</sup> Si veda il cap. 9. Piano d'indagine.

Vengono previste anche indagini mirate per migliorare la qualità dei fotogrammi già ripresi, in particolare:

- parete sud - volta: struttura nascosta di forma regolare della quale non c'è traccia nella storia, l'obbiettivo è di comprenderne la natura e la consistenza;
- parete sud - volta, macchie circolari non visibili ad occhio nudo
- parete nord, zona rettangolare più fredda che, data la sua forma regolare, potrebbe identificare una traccia lasciata dalle buche puntaie. Se così fosse si dovrebbero riscontrare le stesse tracce poste alla medesima altezza disposte nelle pareti longitudinali, nell'intera lunghezza delle stesse.

Nel capitolo successivo verranno riportati gli esiti delle indagini svolte nel novembre 2014 dove è stato possibile indagare in merito a quanto appena disposto.

## 12. INDAGINI TERMOGRAFICHE 2014

In seguito alla redazione di un accurato piano d'indagine è stato possibile effettuare le prove termografiche programmate. La campagna termografica alla Cappella degli Scrovegni è stata da noi svolta nei pomeriggi del 19 e 20 novembre 2014, sia all'interno che all'esterno. È stata utilizzata una termocamera FLIR 7620bx e i termogrammi che verranno di seguito illustrati sono stati rielaborati con il programma FLIR tools.

### 12.1. INTERNO

Vengono di seguito esposti gli esiti delle indagini svolte all'interno dell'edificio: fotogrammi mirati nella navata e nuove riprese per presbiterio, abside e sacrestia.

#### 12.1.1 Parete Nord

Come già visto grazie alle precedenti indagini termografiche, si possono ben notare i due riquadri che identificano gli affreschi staccati e ricollocati su supporti di rame da Antonio Bertolli nel 1892. (Fig. 12.1)



Fig. 12.1. Img. 824, immagine della campagna termografica del novembre 2014.



Fig. 12.2. Immagine reale associata.

Si nota una discontinuità (Fig. 12.3) caratterizzata da una differenza di temperatura di 0,5°C, di forma rettangolare, già riscontrata nelle precedenti indagini. Era precedentemente stato ipotizzato che fosse la traccia della presenza di buche puntaie, con queste indagini ci è possibile smentire tale ipotesi in quanto, analizzando l'intera superficie interna, alla medesima altezza, non sono state ritrovate altre impronte simili; le buche puntaie avrebbero infatti dovuto presentare una distribuzione regolare.

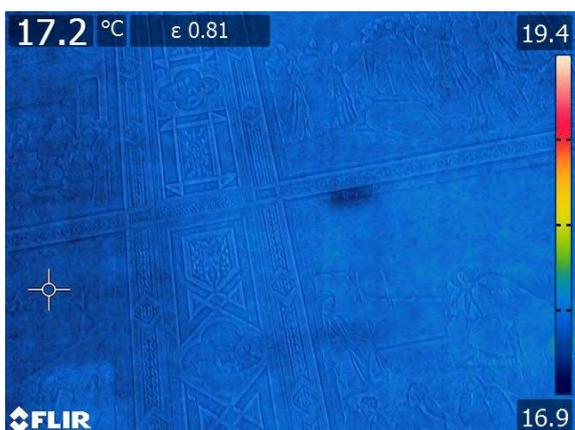


Fig. 12.3. Img. 830, immagine della campagna termografica del novembre 2014.



Fig. 12.4. Immagine reale associata.

### 12.1.2 Volta

Analizzando i fori che si erano presi in esame durante la rielaborazione delle indagini del 2013, sia quello nella parete sud che quelli nella volta non sono stati riscontrati in questa campagna, probabilmente perché le indagini non sono state eseguite ad un'adeguata distanza e il gradiente termico non era sufficiente per riscontrare queste piccole disomogeneità.

Esiti più felici ha portato invece l'osservazione dei medaglioni, ricercando quelli staccati e successivamente riadesi da Pelliccioli alla fine degli anni Quaranta. A conferma delle indagini svolte nel 2013, si può affermare che i medaglioni in oggetto siano 4, uno in più rispetto a quelli identificati nel 2001. Nella Fig. 12.8 si nota che i medaglioni rimossi sono rappresentati in modo diverso rispetto da quelli che non sono stati oggetto di tale operazione. In modo particolare nelle successive immagini termografiche (Figg. 12.5 - 12.7) si riscontra la presenza di una rete, supporto utilizzato da Pelliccioli nella riposizione dei medaglioni sulla volta stellata.

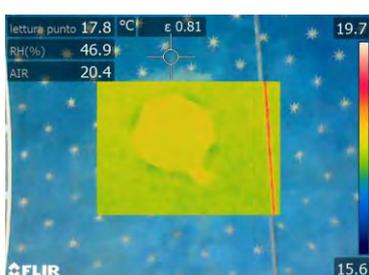


Fig. 12.5. Img. 879, immagine della campagna termografica del novembre 2014.

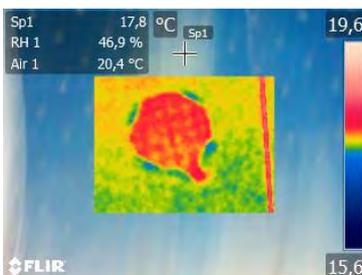


Fig. 12.6. Img. 879mod, immagine della campagna termografica del novembre 2014.



Fig. 12.7. Immagine reale associata.



Fig. 12.5. Img. 829, immagine della campagna termografica del novembre 2014.



Fig. 12.6. Immagine reale associata.

### 12.1.3 Arco Trionfale

A conferma delle precedenti indagini, è chiaramente visibile il tamponamento nella parte superiore dell'arco trionfale identificato da un colore diverso rispetto il resto della superficie muraria (differenza di temperatura pari a 0,5°C) (Fig. 12.10).



Fig. 12.10. Img. 901, immagine termografica.



Fig. 12.11. Immagine reale associata.

### 12.1.4 Collegamenti

I collegamenti tra la volta a botte e le pareti longitudinali (Figg. 12.18, 12.20, 12.22), arcone (Fig. 12.12) e controfacciata (Fig. 12.14), sono evidenziati da linee di colore più freddo che indicano una dispersione termica dovuta probabilmente a discontinuità; così come il collegamento tra la parete del presbiterio e la sua voltina a crociera (Fig. 12.16).

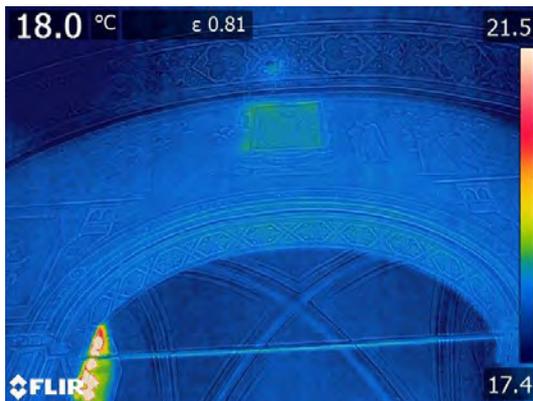


Fig. 12.12. Img. 832, immagine della campagna termografica del novembre 2014.

Fig. 12.13. Immagine reale associata.



Fig. 12.14. Img. 817, immagine della campagna termografica del novembre 2014.

Fig. 12.15. Immagine reale associata.



Fig. 12.16. Img. 909, immagine della campagna termografica del novembre 2014.

Fig. 12.17. Immagine reale associata.

Lo stesso lo si può notare negli spigoli tra pareti trasversali e longitudinali.



Fig. 12.18. Img. 798, immagine della campagna termografica del novembre 2014.



Fig. 12.19. Immagine reale associata.



Fig. 12.20. Img. 822, immagine della campagna termografica del novembre 2014.

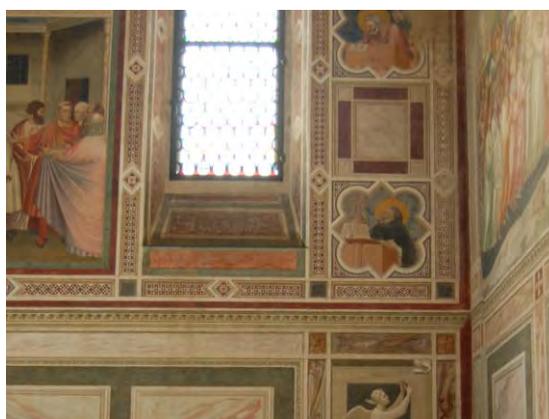


Fig. 12.21. Immagine reale associata.

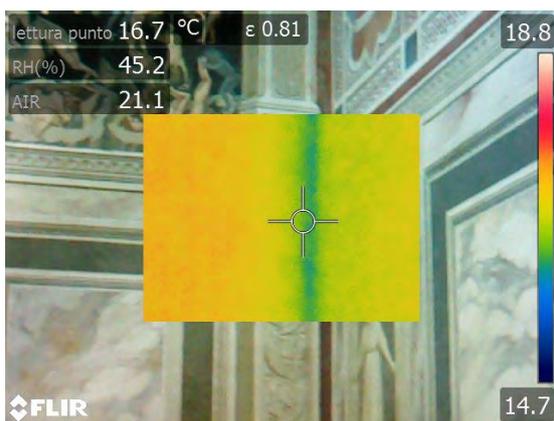


Fig. 12.22. Img. 900, immagine della campagna termografica del novembre 2014.



Fig. 12.23. Immagine reale associata.

### 12.1.5 Abside

La ripresa svolta all'interno dell'abside, e in particolare sullo spicchio centrale che comprende il rosone (Fig. 12.24), evidenzia in quest'area una omogenea superficie a temperatura inferiore rispetto alle altre: ci potrebbero essere molte ipotesi sulla

306

natura di questo elemento, ad esempio, data la sua forma regolare potrebbe trattarsi di un tamponamento o, semplicemente, dello spessore ridotto della muratura.

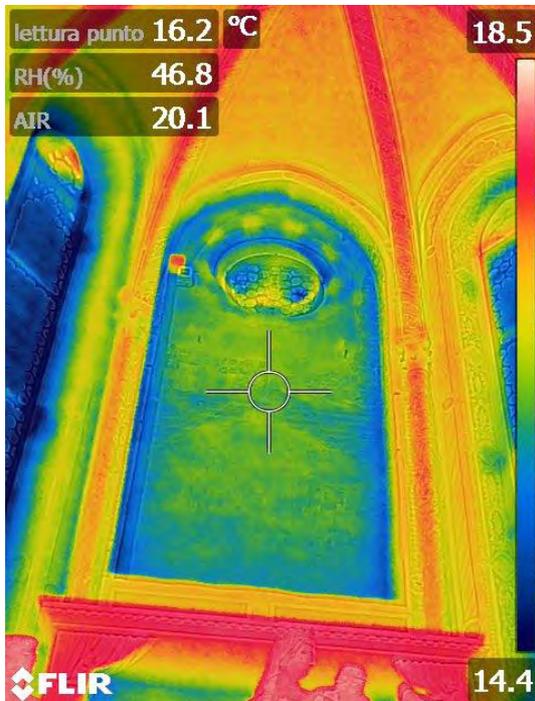


Fig. 12.24. Img. 910, immagine della campagna termografica del novembre 2014.

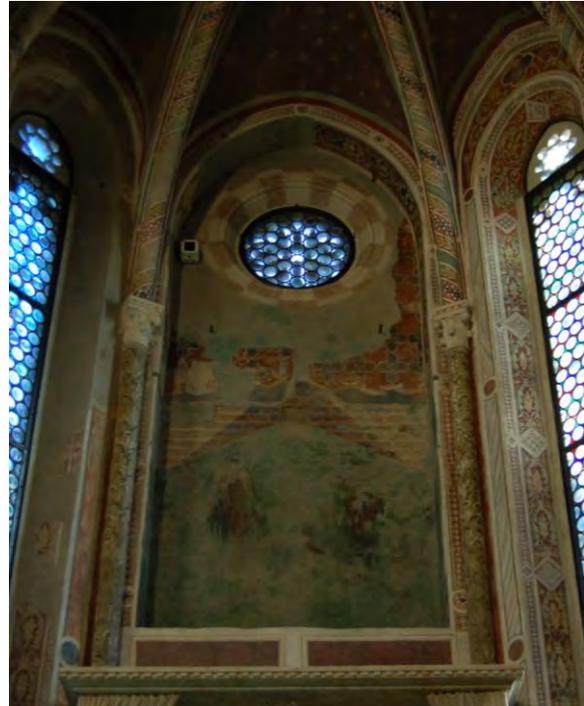


Fig. 12.25. Immagine reale associata.

### 12.1.6 Lesioni

Le lesioni osservabili ad occhio nudo non sono visibili dalla termocamera, probabilmente perché le indagini non sono state eseguite ad un'adeguata distanza e il gradiente termico non era sufficiente per riscontrare queste piccole disomogeneità, nonostante queste in parte ancora aperte (e monitorate) in parte risanate con l'introduzione di altro materiale.

### 12.1.7 Parete Sud

Nella parete sud, in corrispondenza della volta a botte, viene individuato nuovamente il riquadro caratterizzato da una colorazione molto diversa dal supporto (Fig. 12.26). Analizzando in modo specifico l'immagine, si riscontra una differenza di temperatura pari a circa 1,5°C. Non è stata possibile un'indagine maggiormente approfondita come auspicato in seguito allo studio delle immagini relative alla campagna dell'anno precedente, ma semplici riprese da terra.

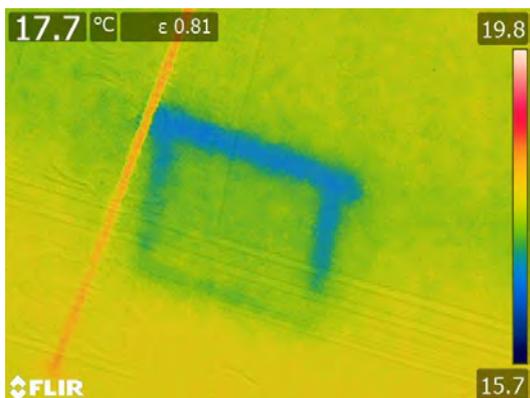


Fig. 12.26. Img. 831, immagine della campagna termografica del novembre 2014.



Fig. 12.27. Immagine reale associata.

E' stato però possibile accedere al sottotetto e si è visto che, nell'intorno dell'esatto punto in cui è stata evidenziata questa peculiarità, è presente una traccia di tamponatura all'estradosso della volta, valorizzata anche dalla presenza di alcuni scalini: non si riescono comunque a definire maggiori informazioni in merito alla natura e all'uso di questo elemento.



Fig. 12.28 – 12.30. Le fotografie del 26 gennaio 2015 evidenziano la presenza di scalini nel sottotetto in corrispondenza di una parte rettangolare che sembrerebbe essere stata tamponata, in corrispondenza del punto in cui si è riscontrata la problematica con l'indagine termografica.

Come riscontrabile ad occhio nudo, a conferma delle precedenti indagini, nella prima campata della parete sud è presente un tamponamento: la termografia evidenzia una differenza di calore pari a 6°C; di questa apertura non se ne trova traccia nella storia, inoltre è situata nel lato con le finestre, quello quindi che non comunicava con il palazzo Scrovegni. Internamente, in corrispondenza di questa, c'è una lesione che segue l'andamento del tamponamento e percorre centralmente dall'alto verso il basso

il riquadro della carità, tale lesione era già stata riscontrata nel 1871, infatti è presente nelle sciografie di Benvenuti e Grasselli (Fig. 12.31).



Fig. 12.31. Sciografia del 1871, si intravede la lesione al di sopra del riquadro della carità, avente un andamento che segue quello del tamponamento esterno.

Nei termogrammi seguenti si può intravedere la forma del tamponamento contraddistinta da un colore blu.

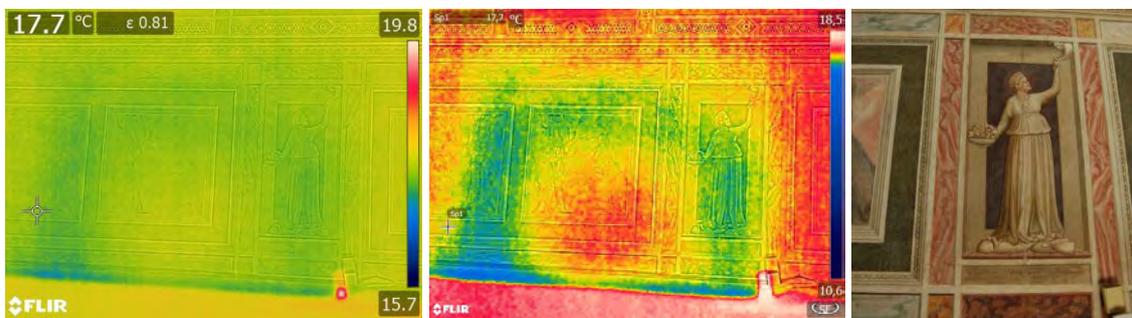


Fig. 12.32. Img. 823, immagine della campagna termografica del novembre 2014.

Fig. 12.33. Img. 823mod, immagine della campagna termografica del novembre 2014.

Fig. 12.34. Immagine reale associata.

## 12.2. ESTERNO

### 12.2.1 Facciata

Si intravedono in facciata due delle tre catene inserite nei lavori degli anni Sessanta; il termogramma mostra i diversi materiali presenti, già evidenti ad occhio nudo. La ripresa essendo esterna è particolarmente influenzata dalle caratteristiche ambientali:

nell'immagine termografica la presenza del cielo molto più freddo caratterizza il gradiente alzandolo (Fig. 12.32), non permettendo misurazioni precise; diversamente quando il cielo non viene inglobato nella ripresa si ottengono migliori risultati (Fig. 12.34).



Fig. 12.35. Img. 838, immagine della campagna termografica del novembre 2014.



Fig. 12.36. Immagine reale associata.

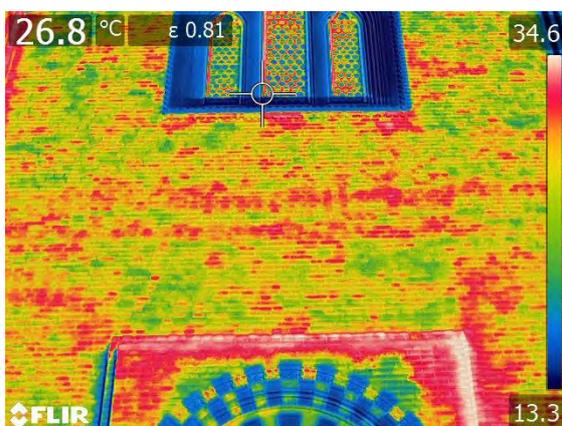


Fig. 12.37. Img. 841, immagine della campagna termografica del novembre 2014.



Fig. 12.38. Immagine reale associata.

### 12.2.2 Retro

I termogrammi non sono molto significativi, difficile era infatti eseguire le riprese di questa parte dell'edificio a causa della presenza della CTA, degli alberi che fungono da schermo e della diversificata esposizione: cause per cui l'edificio fosse in parti completamente in ombra, in altre completamente irraggiato. Si vede, come riscontrabile anche ad occhio nudo, la differenza di materiali che caratterizzano l'edificio e i tamponamenti nelle aperture del piano superiore della sacrestia, in

particolare quello di dimensioni maggiori caratterizzato da un blu più intenso nella parte centrale in quanto internamente è di spessore di maggiore in quel punto. (Figg. 12.39, 12.41).

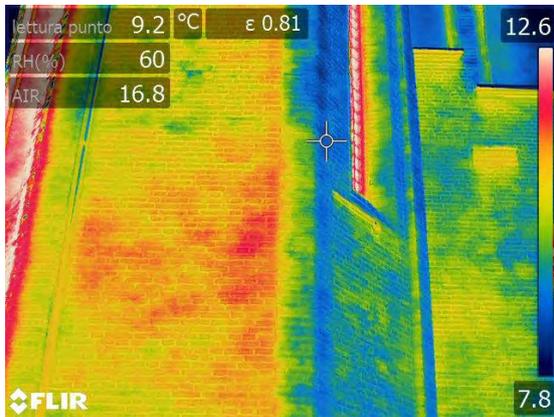


Fig. 12.39. Img. 806, immagine della campagna termografica del novembre 2014. Fig. 12.40. Immagine reale associata.

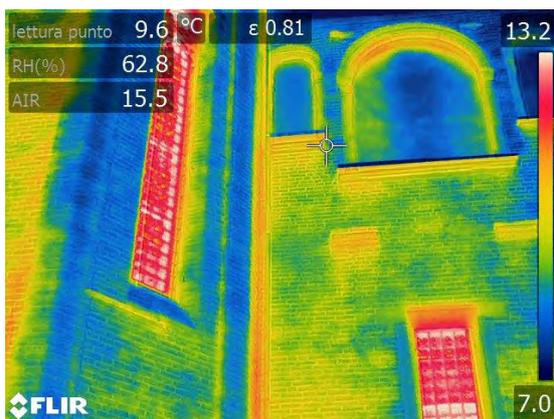


Fig. 12.41. Img. 807, immagine della campagna termografica del novembre 2014. Fig. 12.42. Immagine reale associata.

### 12.2.3 Parete Nord

Si vedono sulla prima parasta a partire dalla facciata due coppie di mattoni caratterizzati da un colore diverso e che differiscono per circa 1,5°C, indice che probabilmente gli elementi in laterizio presentano caratteristiche diverse, forse riconducibili a scuci cucì eseguiti nei vari restauri (Fig. 12.43). Nella prima campata, a partire dalla facciata, si è riscontrata subito la presenza di due macchie di forma irregolare e di colore blu (Figg. 12.46 - 12.47); ad una successiva analisi osservando

l'area globalmente si nota un riquadro caratterizzato da un colore blu più scuro (Figg. 12.48 - 12.49).

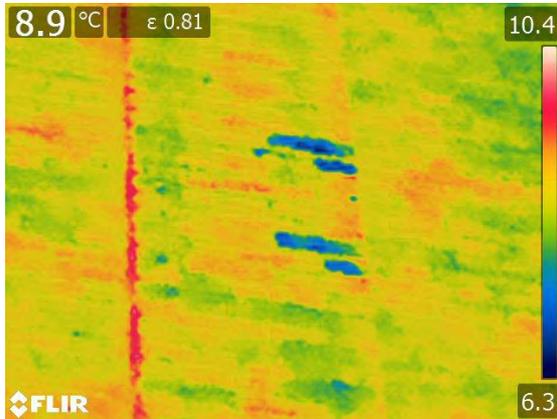


Fig. 12.43. Img. 856, immagine della campagna termografica del novembre 2014.

Fig. 12.44. Immagine reale associata.

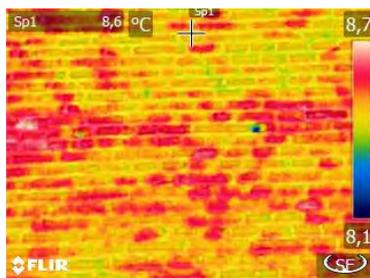
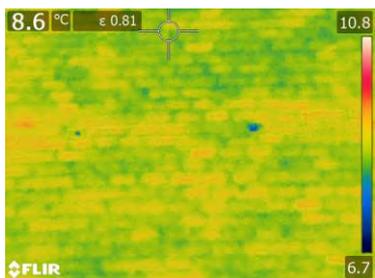


Fig. 12.45. Img. 861, immagine della campagna termografica del novembre 2014.

Fig. 12.46. Img. 861mod, immagine della campagna termografica del novembre 2014.

Fig. 12.47. Immagine reale associata.

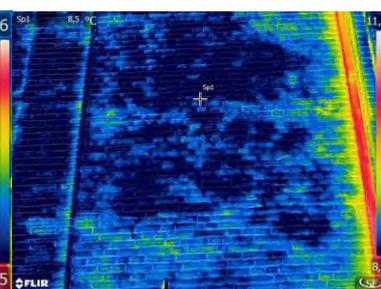
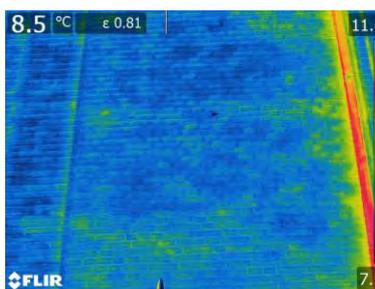


Fig. 12.48. Img. 860, immagine della campagna termografica del novembre 2014.

Fig. 12.49. Img. 860mod, immagine della campagna termografica del novembre 2014.

Fig. 12.450. Immagine reale associata.

***PARTE IV***  
***COMPORAMENTO STRUTTURALE***



### **13. ANALISI STRUTTURALI BASATE SU MODELLI CALIBRATI**

Le analisi strutturali hanno permesso di definire un quadro completo dello stato di salute della struttura dell'edificio al fine di valutare la sicurezza e definire in seguito le modalità di intervento atte alla sua corretta conservazione e valorizzazione, con particolare attenzione al ciclo di affreschi giottesco. La Cappella degli Scrovegni è caratterizzata dalla presenza di un sistema di monitoraggio statico e dinamico attivo che permette di controllare in continuo il comportamento della struttura e di indagare l'insorgenza di possibili stati di danneggiamento. Nel campo dei beni culturali il sistema di monitoraggio potrebbe essere una soluzione alternativa all'intervento, a vantaggio della conservazione. I dati sperimentali rilevati, opportunamente rielaborati, saranno utilizzati per la definizione e calibrazione di modelli numerici e analitici. Grazie a tali modelli calibrati sarà possibile svolgere analisi e verifiche in merito al comportamento strutturale, valutando la risposta della struttura sia in normali condizioni di esercizio, sia nel caso di sollecitazioni sismiche. La trattazione seguente si limiterà ad illustrare le considerazioni principali e gli esiti maggiormente significativi in merito allo studio del comportamento strutturale dell'edificio, per un'argomentazione approfondita si veda la tesi di laurea magistrale "Valutazione del comportamento strutturale della Cappella degli Scrovegni mediante modelli analitici e numerici calibrati tramite monitoraggio statico e dinamico", di Maria Elena Fusaro.

#### **13.1. SISTEMA DI MONITORAGGIO STRUTTURALE ATTIVO**

Il sistema di monitoraggio per il controllo della Cappella degli Scrovegni è di tipo misto, permette quindi il monitoraggio continuo sia del comportamento statico che di quello dinamico della struttura; è costituito da:

- n. 8 trasduttori di spostamento per esaminare le variazioni di ampiezza delle lesioni;
- n. 2 inclinometri per il controllo del fuori piombo e della variazione di inclinazione delle pareti;

## PARTE IV. COMPORTAMENTO STRUTTURALE

### Analisi strutturali basate su modelli calibrati

- n. 2 sensori di temperatura e umidità relativa per l'osservazione dei parametri ambientali;
- n. 8 accelerometri piezometrici.

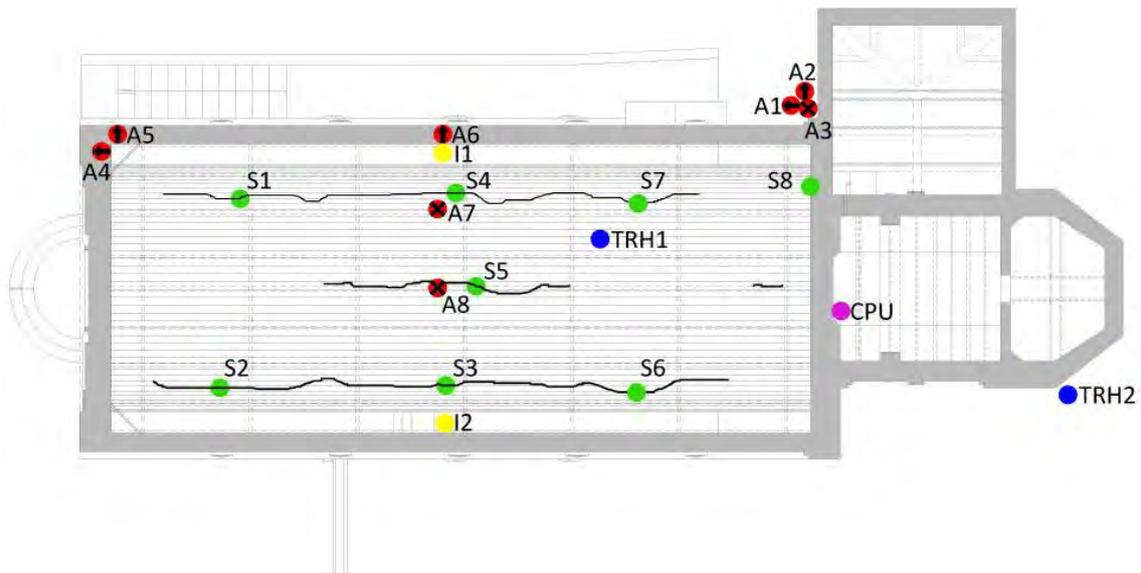


Fig. 13.1. Layout del sistema di monitoraggio, rappresentazione in pianta.

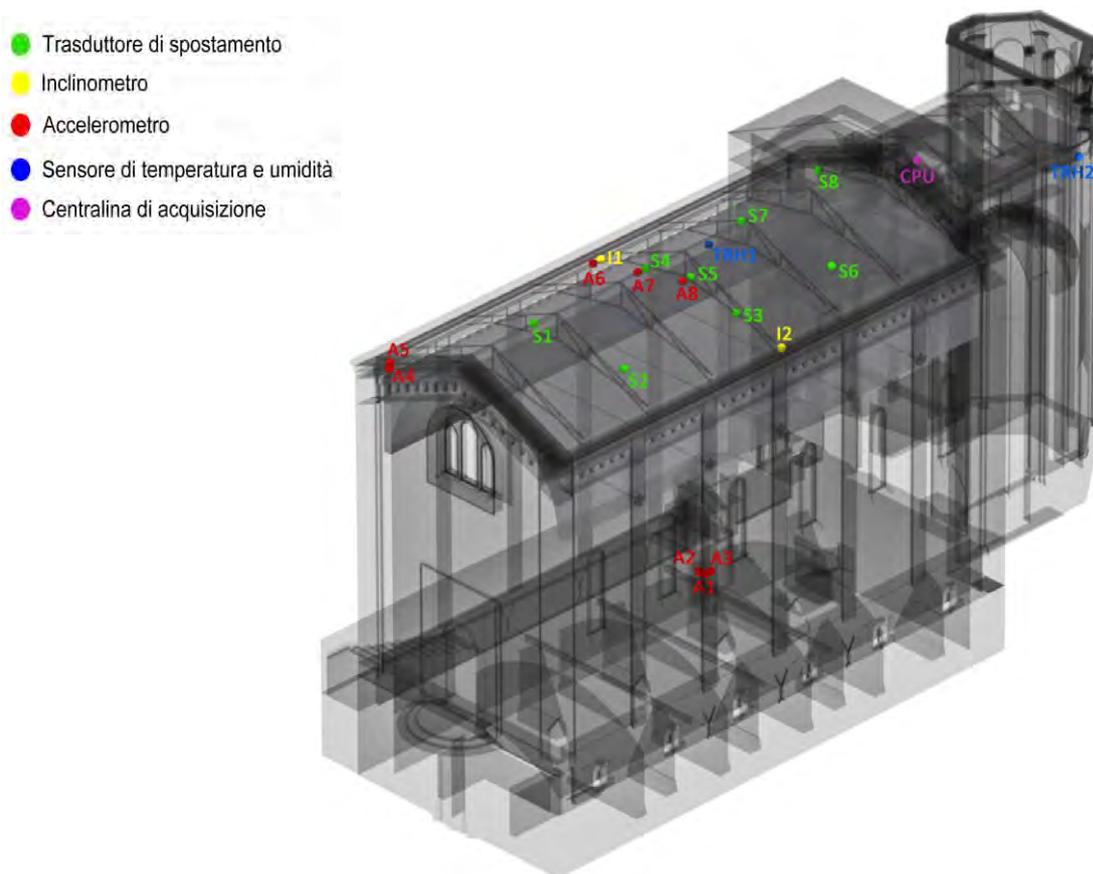


Fig. 13.2. Layout del sistema di monitoraggio, rappresentazione tridimensionale.

I dati rilevati dal sistema di monitoraggio si riferiscono al periodo compreso tra il 21 ottobre 2013 e il 25 febbraio 2015, è importante considerare la caduta di un fulmine il 9 agosto 2014 che ha colpito la croce in sommità all'edificio causando un immediato blocco del sistema, per questo si riscontreranno anomalie nell'analisi dei dati.

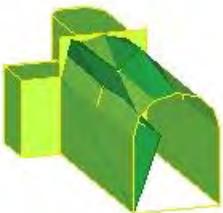
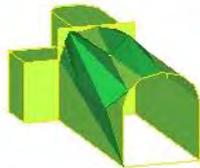
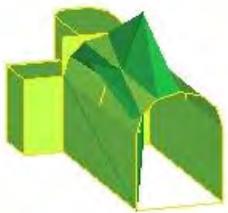
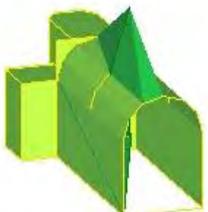
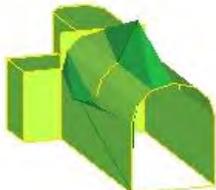
#### **13.1.1. Analisi dei dati statici**

Dall'analisi dei dati rilevati dal monitoraggio strutturale statico si osserva che le variazioni registrate sono direttamente correlabili a quelle della temperatura, interna in modo particolare: alle stagioni calde corrisponde un'apertura delle lesioni e nei periodi in cui la temperatura si abbassa le fessurazioni tendono a chiudersi. L'influenza dei fattori ambientali nel comportamento delle lesioni potrebbe mascherare un danno strutturale, per questo è stato necessario eliminare tale contributo termico utilizzando il linguaggio di programmazione *MATLAB* che implementa modelli statistici autoregressivi (*ARX*). Si è determinato che non è presente un danneggiamento infatti è emerso che eliminando la temperatura l'andamento delle lesioni si mantiene costante.

#### **13.1.2. Analisi dei dati dinamici e identificazione dinamica**

Lo studio dei dati dinamici indica una correlazione tra le frequenze e la temperatura, seppur minore rispetto alla precedente. Eliminando l'influenza del fattore ambientale si vede come non sia presente un danno strutturale.

Grazie alle registrazioni fornite dal monitoraggio strutturale dinamico è stato possibile eseguire l'identificazione dei parametri modali, ovvero le frequenze naturali e le forme modali associate basandosi sulla tecnica dell'OMA utilizzando il software *ARTEMISExtractor 4.0*. Si riportano di seguito i sei modi di vibrare individuati.

Modo 1(2,54 Hz - 2,53 Hz)	Modo 2 (4,15 Hz - 4,16 Hz)	Modo 3 (4,88 Hz – 4,90 Hz)
		
Modo4(6,64 Hz – 6,65 Hz)	Modo 5 (7,18 Hz – 7,17 Hz)	Modo 6 (9,52 Hz – 9,52 Hz)
		

Tab. 13.1. Schematizzazioni grafiche dei sei modi di vibrare individuati.

### 13.2. ANALISI STRUTTURALE DEI MACROELEMENTI E CINEMATISMI

In seguito all'approfondita analisi conoscitiva svolta e alla constatazione che non è presente un danneggiamento strutturale, si è passati all'analisi dei possibili meccanismi di collasso sismico. La normativa italiana, per quanto riguarda le costruzioni esistenti in muratura, prevede una distinzione fra meccanismi di collasso locali e meccanismi d'insieme, prescrivendo una valutazione della sicurezza nei confronti di entrambe le tipologie. Nel caso di edifici storici però, a causa delle scarse connessioni esistenti, la struttura sarà assimilata ad un insieme di elementi definibili come indipendenti; inoltre in tali costruzioni la condizione di crisi non si raggiunge per il superamento della resistenza dei materiali ma per la perdita della condizione di equilibrio. In linea con la Circolare di applicazione delle NTC, le verifiche dei meccanismi locali di danno e di collasso - nel piano e fuori piano - si possono svolgere tramite l'analisi limite dell'equilibrio che si basa su di un approccio cinematico.

Per quanto riguarda lo studio della Cappella degli Scrovegni, trattandosi di una chiesa, si è deciso di utilizzare la *Scheda per il rilievo del danno ai beni culturali – Chiese* – 318

*Modello A-DC.* In primo luogo sono stati individuati i macroelementi e i meccanismi suddividendoli in quelli maggiormente probabili in quanto identificati da lesioni che ne indicano un principio di attivazione e in meccanismi possibili e ipotizzabili caratterizzati da molti elementi vulnerabili.

MACROELEMENTO	n.	MECCANISMO	Rif <sup>1</sup>	
Facciata	1.1	Ribaltamento	1	Possibile e ipotizzabile
	1.2	Meccanismi nella sommità	2	Probabile
	1.3	Meccanismi nel piano	3	Probabile
Arcone	2.1	Archi trionfali	13	Probabile
Pareti laterali (sud) (sud) (nord) (presbiterio)	3.1	Risposta trasversale dell'aula	5	Probabile
	3.2	Meccanismi di taglio	6	Probabile
	3.3	Risposta trasversale dell'aula	5	Possibile e ipotizzabile
	3.4	Risposta trasversale dell'aula	5	Possibile e ipotizzabile
Abside	4.1	Ribaltamento	16	Possibile e ipotizzabile
	4.2	Meccanismi di taglio	17	Possibile e ipotizzabile
Elemento di copertura	5.1	Elementi di copertura: aula	19	Probabile
Cappelle (sacrestia)	6.1	Ribaltamento	22	Possibile e ipotizzabile
	6.2	Meccanismi di taglio	23	Possibile e ipotizzabile
Iterazioni irregolarità piano altimetriche	7.1	Iterazioni in prossimità di irregolarità	25	Possibile e ipotizzabile
Cella campanaria	8.1	Cella campanaria	28	Probabile
Setti della cripta	9.1	Ribaltamento		Possibile e ipotizzabile

Tab.13.2. Identificazione dei principali macroelementi e dei relativi cinematismi.

<sup>1</sup> Riferimento alla tipologia di meccanismi esposta nella Scheda Chiese.

In secondo luogo sono state individuate e studiate le configurazioni maggiormente gravose in relazione alla necessità di conservazione degli importanti affreschi giotteschi contenuti nella Cappella.

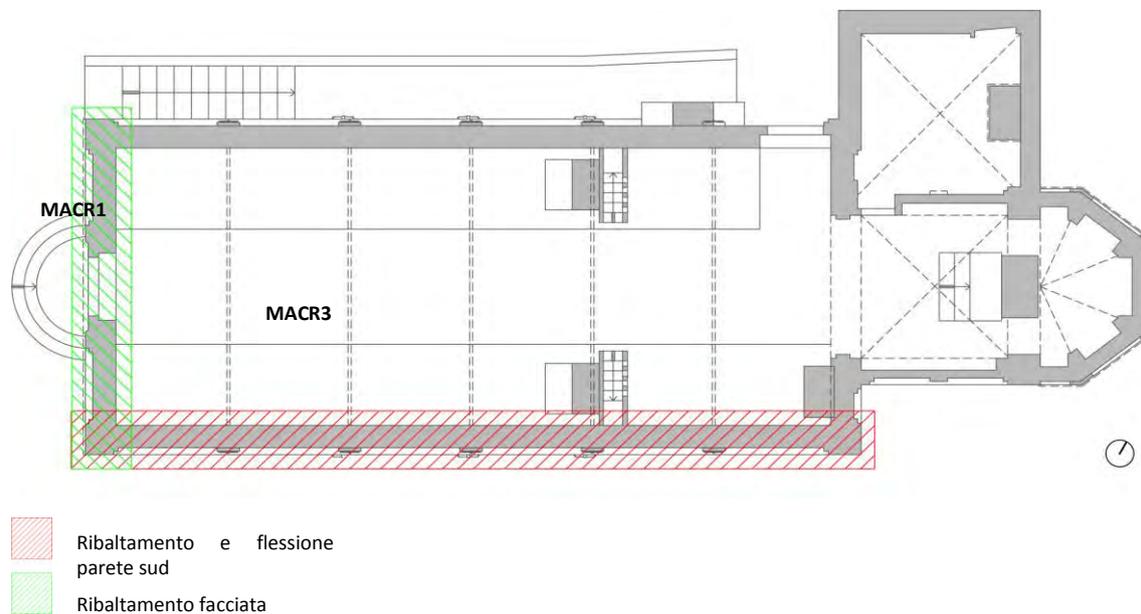
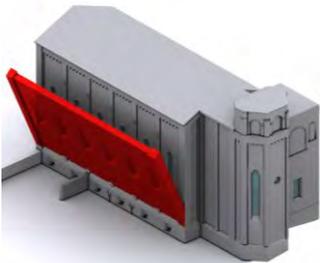
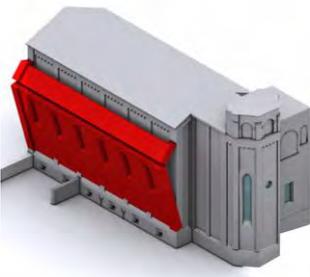


Fig. 13.3. Individuazione dei macroelementi e dei cinematismi oggetto di studio.

La scelta dei valori caratteristici del sito è stata effettuata secondo le norme contenute nel capitolo 3 *Azioni sulle costruzioni* delle Norme Tecniche per le Costruzioni, D.M. 14 gennaio 2008; l'individuazione delle caratteristiche meccaniche invece è stata effettuata in relazione ad un Livello di Conoscenza LC1, con Fattore di Confidenza  $FC=1,35$  e l'analisi limite viene svolta per lo stato limite di salvaguardia della vita (SLV). Si riportano i risultati delle verifiche effettuate, con la sigla NV si indicano quei meccanismi per i quali la spinta orizzontale della volta è stata considerata come totalmente assorbita dalle catene presenti in navata.

MACR.	MECCANISMO		SLV LINEARE	SLV NON LINEARE
1	1.1 Ribaltamento della facciata		NON VERIFICATO 184%	VERIFICATO 150%
3	3.1 Risposta trasversale dell'aula- ribaltamento sud		NON VERIFICATO 160%	/
	3.1NV Risposta trasversale dell'aula- ribaltamento sud		NON VERIFICATO 165%	VERIFICATO 150%
	3.1 Risposta trasversale dell'aula- flessione sud		NON VERIFICATO 847%	/
	3.1 NV Risposta trasversale dell'aula- flessione sud		VERIFICATO 177%	/

Tab.13.3. Identificazione dei principali macroelementi e dei relativi cinematismi. I meccanismi evidenziati sono quelli considerati come più probabili in quanto si osservano lesioni che li identificano e che si sono riproposte negli anni.

### 13.3. MODELLAZIONE E ANALISI STRUTTURALI

Sono state effettuate due diverse modellazioni numeriche agli elementi finiti sfruttando i software *Straus 7* e *Diana TNO*, sui modelli calibrati grazie al confronto diretto con il comportamento del modello sperimentale è stato possibile svolgere analisi strutturali.

#### 13.3.1. Analisi strutturali in *Straus 7*

Inizialmente vengono svolte analisi di tipo statico che hanno permesso la rilevazione della distribuzione dei valori di tensione e di deformazione della struttura in condizioni d'esercizio. Si riportano le rappresentazioni grafiche delle principali tensioni che caratterizzano la struttura: la quasi totalità della stessa risulta essere sottoposta ad una tensione di compressione media di 0,45 MPa, mentre l'elemento che raggiunge i maggiori valori è il cordolo. La volta è invece caratterizzata da sforzi di trazione nei punti che caratterizzano l'arco a tre cerniere: le basi e la chiave.

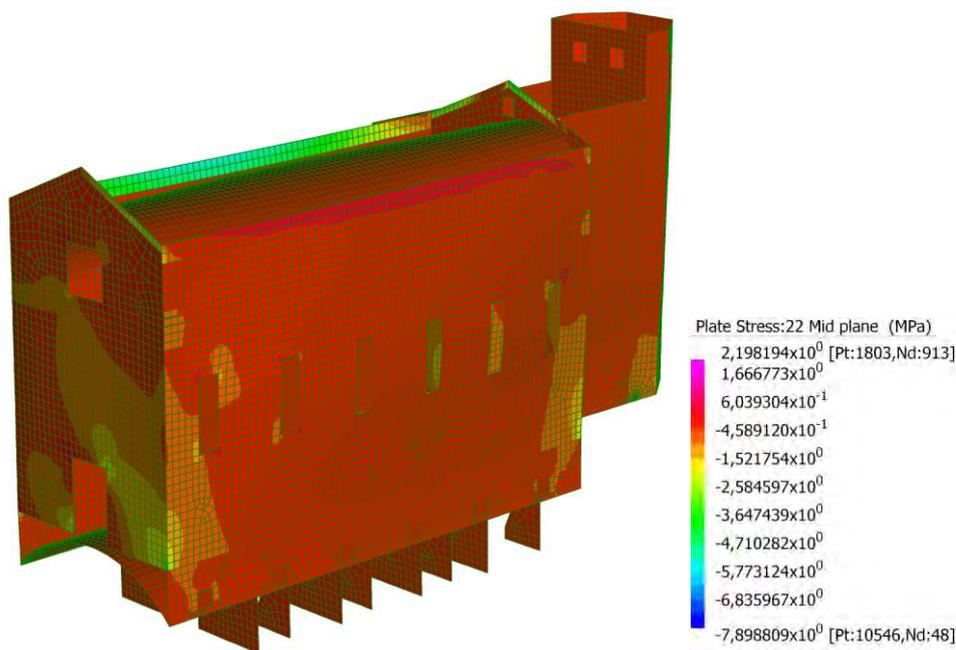
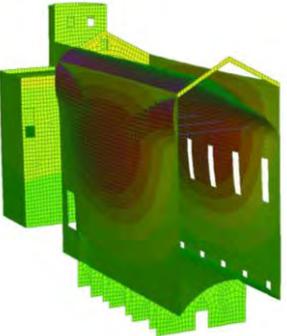
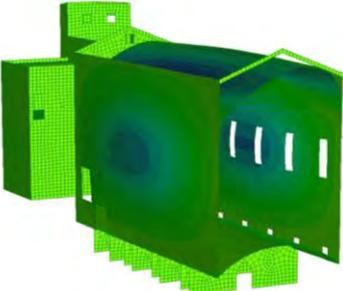
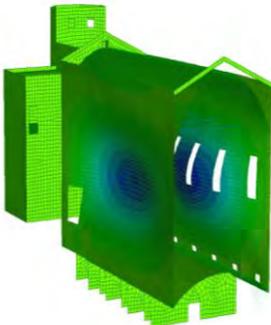
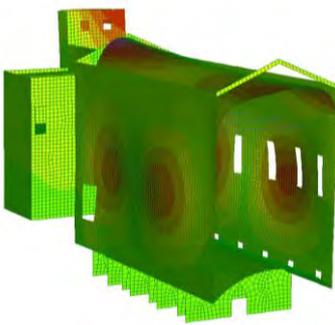
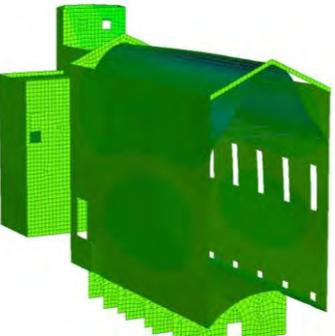
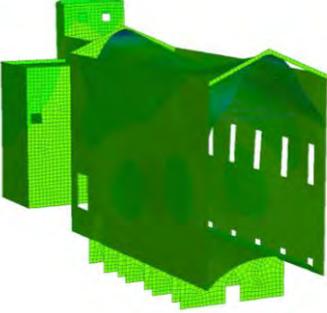


Fig. 13.4. Si possono vedere le tensioni principali su facciata e il prospetto sud, il retro ed il prospetto nord. A lato è inoltre riportata la legenda.

Il modello viene in seguito esaminato dal punto di vista dinamico, le *Natural Frequency Analysis* forniscono i dati relativi le frequenze e i modi propri di vibrare dell'edificio.

E' possibile associare le principali forme modali identificate a quelle sperimentali: sono osservabili leggere differenze tra i valori delle frequenze.

Modo 1(2,31 Hz)	Modo 2 (3,687 Hz)	Modo 3 (4,856 Hz)
		
Modo4(6,484 Hz)	Modo 5 (6,716 Hz)	Modo 6 (9,45 Hz)
		

Tab. 13.4. Illustrazione delle forme modali del modello numerico.

In seguito all'analisi di sensitività dei parametri di modulo elastico e densità della muratura perimetrale e della volta si è potuti giungere ai valori che portano alla calibrazione del modello. La bontà del modello così ottenuto è stata valutata mediante un confronto in frequenza (calcolo dell'errore medio) e dell'indice di MAC (Modal Assurance Criterion), un valore di MAC pari ad 1 indica una perfetta correlazione tra i due modelli, più il valore dell'indice tende allo zero e più si abbassa il grado di correlazione tra i due; è definito come:

$$MAC(\Phi_{iA}, \Phi_{jB}) = \frac{|\{\Phi A\}_i^T \{\Phi B\}_j|^2}{\{\Phi A\}_i^T * \{\Phi A\}_j + \{\Phi B\}_i^T * \{\Phi B\}_j}$$

Si riporta quindi il confronto tra il modello sperimentale e quello numerico calibrato in termini di frequenze e valori dell'indice di MAC.

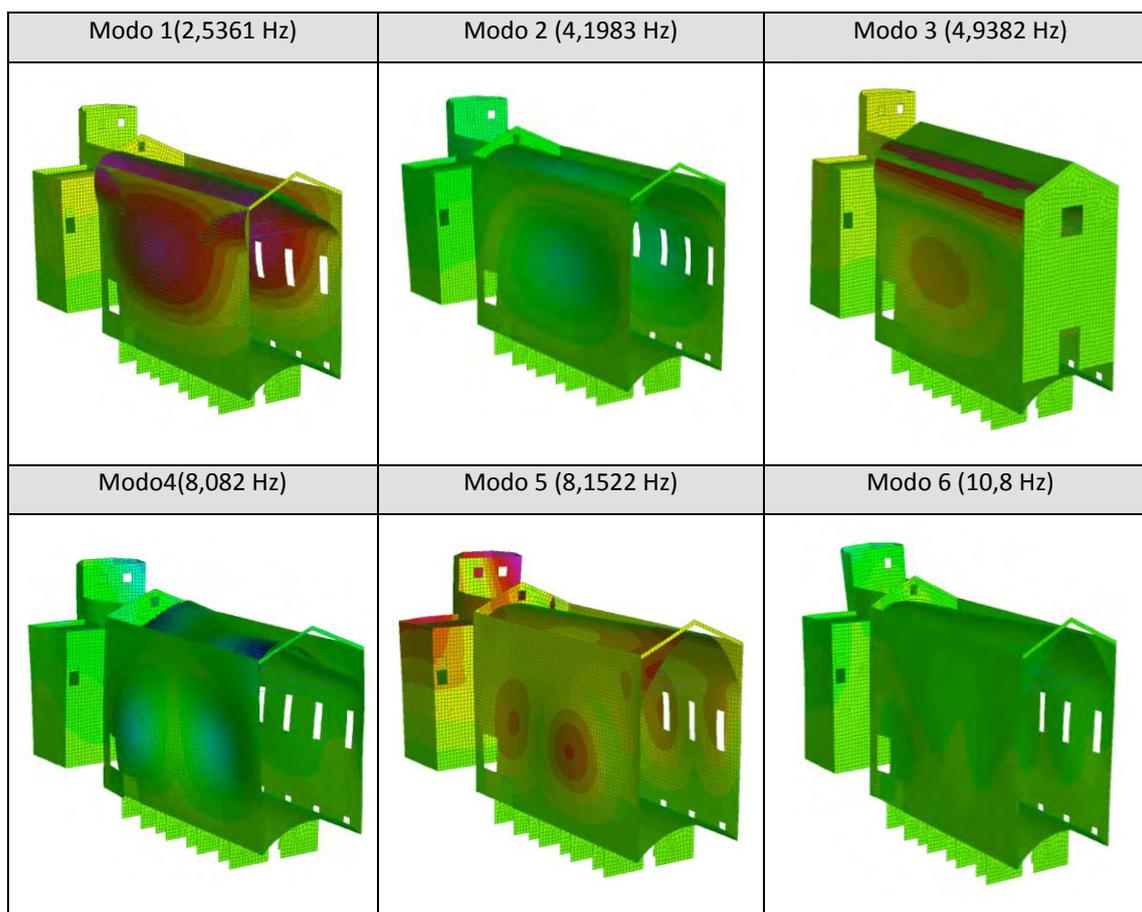
## PARTE IV. COMPORTAMENTO STRUTTURALE

### Analisi strutturali basate su modelli calibrati

Modo	$f^{EXP}$ [Hz]	$f^{FEM}$ [Hz]	Errore medio [%]	MAC [[ $\psi^{EXP}$ ], [ $\psi^{FEM}$ ]]
1	2,529	2,5361	0,28	0,74
2	4,159	4,1983	0,94	0,74
3	4,899	4,9382	0,8	0,7
4	6,651	8,082	21,5	0,92
5	7,166	8,1522	13,7	0,76
6	9,519	10,8	12,9	0,79

Tab. 13.5. Confronto delle frequenze e valutazione dell'errore medio e indice del MAC del modello calibrato.

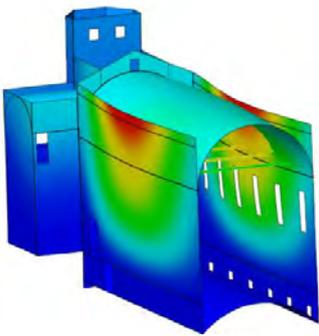
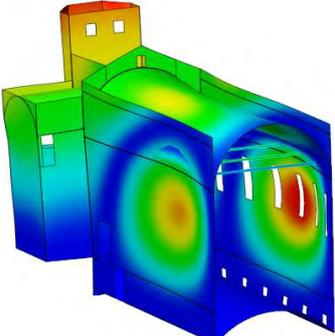
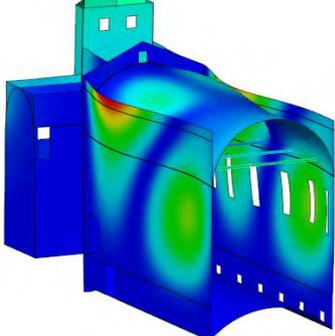
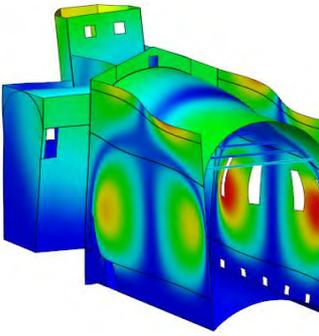
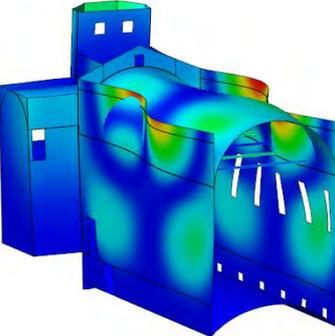
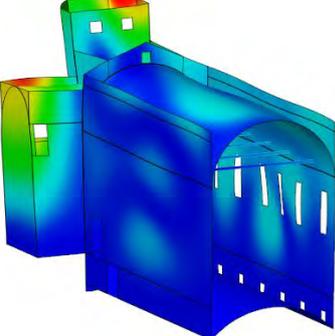
Si riporta quindi di seguito il confronto tra le forme modali sperimentali e quelle del modello numerico calibrato.



Tab. 13.6. Rappresentazione delle forme modali del modello *Straus* calibrato.

### 13.3.2. Analisi strutturali in Diana TNO

In seguito alla valutazione della bontà del modello calibrato è stato possibile utilizzare le stesse caratteristiche meccaniche per la modellazione in ambiente *Diana TNO* che ha permesso di implementare il comportamento non lineare del materiale e della geometria. In primo luogo si sono individuate anche in questo caso le forme modali maggiormente caratteristiche e le relative frequenze.

Modo 1 (2,623 Hz)	Modo 2 (4,044 Hz)	Modo 3 (4,788 Hz)
		
Modo 4 (6,531 Hz)	Modo 5 (7,26 Hz)	Modo 6 (9,45 Hz)
		

Tab. 13.7. Rappresentazione grafica delle forme modali del modello *Diana*.

Per avere una conferma della corrispondenza tra i due modelli è stato effettuato un confronto tra le frequenze e le forme modali, sia tra i due modelli numerici che tra il modello sperimentale e quello calibrato e analizzato in *Diana TNO*.

Modo	$f$ Straus [Hz]	$f$ Diana [Hz]	Errore medio [%]	$F$ EXP [Hz]	$f$ Diana [Hz]	Errore medio [%]
1	2,5361	2,623	3,3	2,529	2,623	3,5
2	4,1983	4,044	3,67	4,159	4,044	2,7
3	4,9382	4,788	0,8	4,899	4,788	2,26
4	8,082	6,531	19,18	6,651	6,531	1,79
5	8,1522	7,263	10,9	7,166	7,263	1,34
6	10,8	9,45	12,54	9,519	9,45	0,76

Tab. 13.8. Relazione tra le frequenze del modello *Straus* e del modello *Diana*.

Infine, tramite l'analisi di *pushover*, analisi statica non lineare che tiene conto delle proprietà fisiche e geometriche non lineari, è stato possibile determinare i possibili danneggiamenti della struttura e le curve di capacità, in seguito all'applicazione di carichi gravitazionali ed un sistema di forze statiche orizzontali crescenti monotone lungo la direzione dell'azione sismica considerata. Sono state studiate le curve di capacità in diversi punti della struttura e confrontate tra loro, sino ad individuare quella maggiormente gravosa: emerge come la condizione di carico sismico più gravosa sia quella perpendicolare alle murature longitudinale della Cappella.

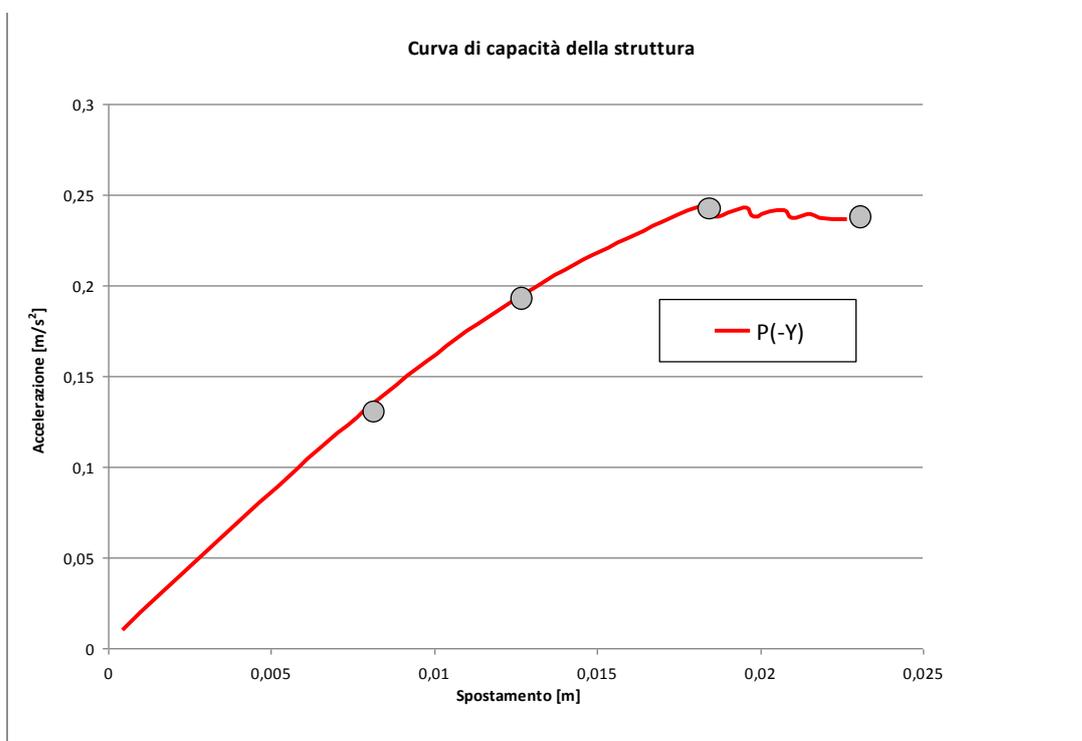


Fig. 13.5. Rappresentazione della curva di capacità della struttura.

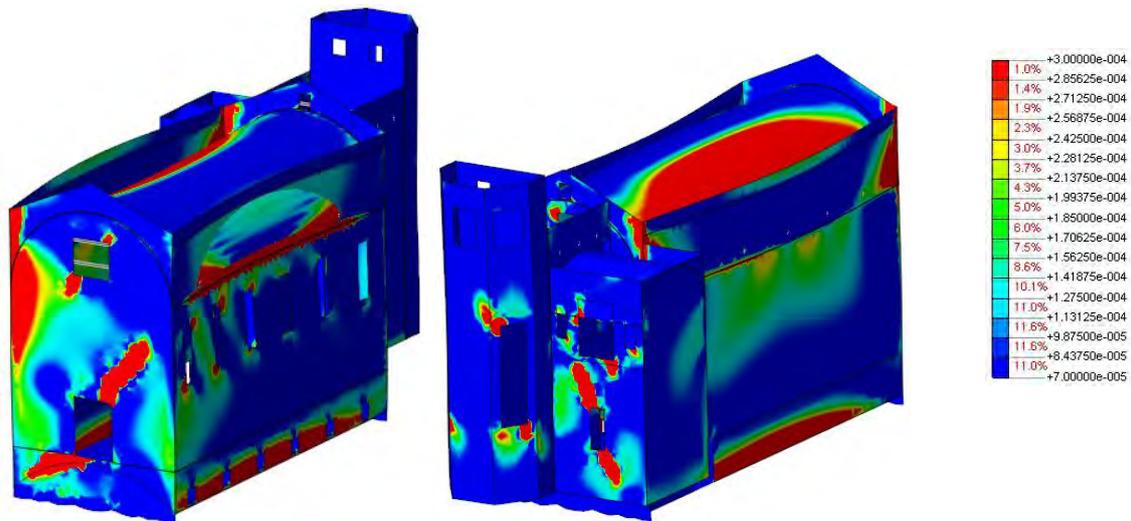


Fig. 13.6. Rappresentazione dei possibili danneggiamenti della struttura.

Nella rappresentazione dei possibili danneggiamenti della struttura si può notare come in alcuni casi ci sia corrispondenza tra i meccanismi calcolati nell'analisi locale cinematica e le lesioni realmente presenti.



## **CONCLUSIONI E SVILUPPI FUTURI**

Il processo conoscitivo e di analisi seguito nella presente tesi ha permesso di catalogare e analizzare il danno e il quadro fessurativo relazionandoli alle vicende storiche e agli interventi di restauro. Molti aspetti caratterizzanti l'edificio restano però dubbi e incogniti, è stato redatto un piano d'indagine atto a risolvere tali problematiche sfruttando le potenzialità delle prove non distruttive. Le indagini termografiche effettuate permettono di esaminare lo stato della muratura e gli elementi nascosti al di sotto dagli affreschi, evidenziando inoltre le tracce dei vecchi restauri ed introducendo ulteriori domande.

In primo luogo è stata realizzata una ricerca di carattere storico - critico per studiare le fasi costruttive dell'edificio, è infatti importante conoscere se l'edificazione della chiesa sia avvenuta in un'unica fase costruttiva o se sia il risultato dell'aggiunta di parti in tempi differenti. Nonostante si abbiano a disposizione in letteratura molti testi che trattano della Cappella degli Scrovegni non si è riusciti a delineare un'evoluzione precisa dell'edificio, ma solo rielaborare la più probabile e maggiormente condivisa, per diversi motivi: la maggior parte degli autori si sofferma allo studio del ciclo giottesco ammirando il grande pittore fiorentino ma trascurando l'edificio; non si hanno fonti certe sulle vicende trecentesche relativamente all'architetto della Cappella degli Scrovegni e alle fondazioni della stessa ignorando se si tratti di un'edificio ex novo o edificato su di una preesistenza, manca poi una trattazione del tema nel periodo che va dalla metà del Quattrocento agli inizi dell'Ottocento. In seguito sono stati studiati gli interventi di restauro osservandone le modalità e l'efficacia nel tempo, valutando se possano aver inciso sul degrado presente, si è visto ad esempio come il danno pregresso della volta a botte si riattivava nel momento in cui l'azione di contenimento delle catene veniva meno in seguito alla rottura degli ancoraggi delle stesse.

In secondo luogo, si è vista necessaria la redazione di un nuovo rilievo architettonico in quanto in quello esistente sono presenti delle imprecisioni e delle totali mancanze, soprattutto per quanto riguarda gli ambienti dei sottotetti, in cui non sono mai stati rilevati interi elementi strutturali.

L'analisi poi ha previsto l'identificazione degli elementi strutturali e delle tipologie murarie rilevate introducendo ulteriori dubbi quali ad esempio: lo spessore e la composizione ignota delle murature d'ambito della cripta e delle volte, la presenza di un pesante arco in muratura in falso nel locale soprastante il presbiterio e la presenza di tiranti e catene visivamente inefficaci. Il passo successivo è stato quello di mappare il degrado previa osservazione visiva in sito e di correlare tali aspetti alle loro cause riscontrate nella storia o nell'analisi strutturale. Inizialmente si è fatta attenzione al quadro fessurativo caratterizzato da lesioni che negli anni hanno continuato ad aprirsi valutandone le cause e gli interventi svolti a contenere tale danno; è stato poi possibile mappare il degrado constatando che la navata caratterizzata dagli affreschi di Giotto è stata la parte dell'edificio maggiormente sottoposta a interventi di consolidamento e restauro negli anni in quanto di grande importanza artistico – culturale. Il degrado si concentra infatti nei locali interni alla cripta, caratterizzata dalla presenza di acqua sul pavimento che provoca il fenomeno della risalita capillare e di erosione sulle pareti e sui contrafforti in muratura, e nel sottotetto del presbiterio e dell'abside interessato da lesioni e dalla compensazione delle lacune con malta. Infine sono state rilevate le vulnerabilità, zone cioè in cui la struttura risulta essere debole rispetto ad altre, come ad esempio in corrispondenza delle nicchie che riducono la sezione muraria e del mancato collegamento tra le parti dell'edificio ma anche in presenza di materiali diversi come per i tamponamenti, per il cordolo in c.a., per solai in laterocemento e per l'eventuale presenza di pesanti archi in pietra.

La Cappella degli Scrovegni deve il suo pregio al ciclo giottesco ed è quindi importante relazionare il danno e la vulnerabilità dei beni artistici con quelle del relativo supporto, identificato come macroelemento strutturale, combinandone gli effetti reciproci; al fine di pianificare la conservazione dell'edificio e del manufatto è stata redatta la scheda di II livello *"Valutazione e correlazione della vulnerabilità e del danno ad apparati decorativi fissi e al supporto strutturale"* che si può trovare nell'archivio online "DataBASES" (Beni Artistici – Elementi Strutturali).

In terza e ultima istanza, in seguito alla catalogazione delle problematiche individuate precedentemente, sono state programmate indagini puntali mirate ad ottenere

risposte ad ogni incertezza, esiti delle quali si potranno utilizzare per determinare in modo maggiormente preciso eventuali modelli numerici volti all'analisi strutturale. Si è visto come sia possibile, grazie alle sole indagini non distruttive, giungere ad un'esaustiva conoscenza del manufatto: oggi giorno ormai tali prove stanno prendendo piede sempre di più nell'ingegneria e nell'edilizia.

Le sole indagini che è stato possibile svolgere sono state quelle termografiche, prove caratterizzate da una semplice strumentazione e da un funzionamento intuitivo che hanno permesso di analizzare le caratteristiche della struttura in muratura delle pareti affrescate e non visibili ad occhio nudo, la presenza di difetti e discontinuità e l'esistenza di umidità e di evidenziare zone più fredde rappresentative di un cattivo collegamento tra le parti.

Infine viene proposta una breve illustrazione del sistema di monitoraggio strutturale esistente, dell'analisi dei relativi dati e delle modellazioni strutturali numeriche costituite.

La tesi mostra come questo tipo di approccio permetta la precisa definizione delle incertezze e delle modalità per risolverle, dimostrata dall'esperienza fatta con le indagini termografiche. Una buona conoscenza dell'intera struttura dell'edificio è necessaria al fine di prevedere interventi di risanamento del ciclo giottesco e di consolidamento della Cappella degli Scrovegni, per questo motivo è necessario sciogliere i problemi irrisolti procedendo all'esecuzione delle prove diagnostiche espresse nel piano e ricercando costantemente aggiornamenti in merito allo sviluppo delle varie tipologie per poter usufruire di indagine all'avanguardia.



## **BIBLIOGRAFIA**

La bibliografia relativa alla Cappella degli Scrovegni potrebbe definirsi smisurata: dividiamo due filoni proponendo prima la bibliografia storico-critica strettamente legata alle vicende dell'edificio e successivamente la bibliografia tecnico-scientifica, entrambe presentate seguendo l'ordine alfabetico in riferimento al cognome dell'autore.

### **BIBLIOGRAFIA STORICO - CRITICA**

ACCARDO G., CAMUFFO D., FERRARI G., *A micrometreological studio the air inside the Scrovegni Chapel in Padua: results after the first two experimental campaigns*, in «Atti del terzo Congresso Internazionale: deterioramento e conservazione della pietra», fondazione Gini, Venezia, 24-27 ottobre 1979, Università degli studi di Padova, 1982, pp. 665-676.

*Attività di tutela e valorizzazione dei beni culturali, museali e architettonici in Padova dal 1989 al 1998*, a cura di BORSELLA S., Alde Edizioni, Padova, 1998.

BASILE G., *Giotto. La Cappella degli Scrovegni*, Electa, Milano, 1992.

BASILE G., *L'intervento sugli affreschi di Giotto agli Scrovegni*, in «Padova e il suo territorio», XVII, 2002, n. 97, pp. 6-8.

BAXANDALL M., *Giotto e gli umanisti. Gli umanisti osservatori della pittura in Italia e la scoperta della composizione pittorica 1350-1450*, Jaka Book, Milano, 1994.

BELLINATI C., *La Cappella di Giotto all'Arena (1300-1306): studio storico-cronologico su nuovi documenti*, Tipografia del Seminario di Padova, Padova, 1967.

BELLINATI C., *Un inventario di beni mobili e immobili della cappella degli Scrovegni all'Arena (1476)*, in "Medioevo e Rinascimento veneto con altri studi in onore di Lino Lazzarini", in «Dal Duecento al Quattrocento», Antenore, Padova, 1979, pp. 471-497.

BELLINATI C., *Giotto 1300-1305. Padua Felix. Atlante iconografico della Cappella di Giotto*, Vianello Libri, Treviso, 1997.

BELLINATI C., *Nuovi studi sulla Cappella di Giotto all'Arena di Padova (25 marzo 1303-2003)*, in «Quaderni dell'Archivio Vescovile e della Biblioteca Capitolare di Padova», 2, Il Poligrafo, Padova, 2003.

*Bollettino d'Arte "Giotto a Padova"*, serie speciale, 2, anno LXIII, Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato, 1982.

*Bollettino d'Arte*, anno XII, Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato, 2005.

BORSELLA S., *I recenti cantieri di restauro presso la Cappella degli Scrovegni*, in «Bollettino del Museo Civico di Padova», XCIV, 2005, pp. 99-124.

BRANDI C., *Relazione sul restauro del Giudizio Universale di Giotto nella Cappella degli Scrovegni a Padova*, manoscritto, Istituto Centrale per il Restauro, 1958.

BRONTO G., ZONTA G., *La facoltà teologica dell'Università di Padova, Parte I (secoli XIV e XV)*, Tipografia del Seminario di Padova, Padova, 1922.

BONETTI B., *Studi intorno l'Anfiteatro Romano di Padova*, in «Atti e memorie delle Regia Accademia di Scienze, Lettere ed Arti in Padova», 1916.

CAMUFFO D., *Microclimate for Cultural Heritage*, Elsevier, Amsterdam, 1998.

CAPANNA F., GUGLIELMI A., *Note sul restauro dei dipinti murali della Cappella degli Scrovegni*, in «Padova e il suo territorio», XVII, 2002, n. 97, pp. 9-12.

*Carte Foscari sull'Arena di Padova: la "Casa Grande" e la Cappella degli Scrovegni*, a cura di BORDIGNON FAVERO E., La Malcontenta, Venezia, 1988.

CESSI F., *La Cappella degli Scrovegni*, Editoriale Arsuna, Firenze, 1978.

CHEVALIER P., *Memorie architettoniche sui principali edifici della città di Padova*, Gamba, Padova, 1831.

COSTA S., *La Cappella di Giotto e il Cenobio, un gigante con i piedi d'argilla*, Amissi del Piovego e Legambiente, Padova, 2009.

D'ALPAOS L., SALANDIN P., SIMONINI P., *Studio finalizzato alla definizione degli scenari di carattere idraulico e geotecnico relativi alla realizzazione del nuovo auditorium di Padova*, Dipartimento di Ingegneria Idraulica, Marittima, Geotecnica e Ambientale, 2011.

DATEI C., DA DEPPO L., SALANDIN P., *Sistemazioni dei corsi d'acqua*, VII Ed., Edizioni Progetto, Padova, 2012.

DE WIT F., *Theatrum Praecipuarum Totis Europae Urbium tam ichnographicè quam conspicue Delineatarum*, Amsterdam, 1693, tav. 71; P. VAN DER AA, *La Galeria Agreeable Du Monde*, 1729.

FABBRI COLABICH G., PROSDOCIMI A., SACCOMANI G., *I recenti lavori di restauro alla Cappella degli Scrovegni e le indagini esperite per la sua conservazione*, Società Cooperativa Tipografica, Padova, 1964.

FABRIS G., *La cronaca di Giovanni da Nono, Visio Egidii regis Patavie*, in «Bollettino del Museo Civico di Padova», VIII (1932), IX (1933), X-XI (1934-39).

FABRIS G., *Cronache e cronisti padovani*, Rebellato, Padova, 1977.

FASSINA V., STEVAN A.G., *Influenza dell'ambiente sui fenomeni di alterazione dei dipinti murali*, in «Le pitture murali», a cura dell'Opificio delle Pietre Dure e Laboratori di restauro, Centro Di, Firenze, 1990.

FEDERICI D.M., *Istoria de' Cavalieri Gaudienti*, N. Coleti, Venezia, 1787.

FILIPPI M., *L'ambiente per la conservazione delle opere d'arte*, vol. 6, CDA, 1996.

FLORES D'ARCAIS F., *Giotto*, Motta Editore, Milano, 1995.

FLORIMI M., *Raccolta delle piante di città*, Siena, fine XVII sec – inizi XVII sec.

FRUGONI C., *L'affare migliore di Enrico. Giotto e la Cappella degli Scrovegni*, Einaudi, Torino, 2008.

GALLETTO P., *Antonio Tolomei. Biografia a ricordo della sua opera a salvezza del Giotto degli Scrovegni*, Battagin, Treviso, 1998.

GASPAROTTO C., *Giotto in Dante: critica della cronologia tradizionale della Cappella degli Scrovegni*, in «Padova e la sua provincia», Grafiche Erredici, Padova, 1966.

GENNARI G., *Annali della città di Padova*, Remondini, Bassano, 1804.

GENNARO L., *Cappella degli Scrovegni. Elaborazione dei dati relativi ai livelli di falda freatica e del canale Piovego nel periodo 2003-2009*, Analisi dei dati piezometrici relativi ai livelli della falda freatica a del canale Piovego per il periodo 15 dicembre - 21 giugno 2010, Rapporto Tecnico, Comune di Padova, Edilizia Monumentale, 2010.

GHIRARDINI G., *Intorno agli scavi dell'Anfiteatro di Padova*, in «Notizie degli scavi di Antichità», 1881.

GHIRONI S., *Padova - Piante e vedute (1449-1865) con saggio di Giuliana Mazzi*, Panda Edizioni, Padova, 1985.

GIOSEFFI D., *Giotto architetto*, Edizioni di Comunità, Milano, 1963.

*Giotto a Padova non è in pericolo - Ma l'acqua minaccia gli Scrovegni*, in «Il Sole 24 Ore», 4 marzo 2012.

*Giotto e il suo tempo*, a cura di SGARBI V., Motta, Milano, 2000.

*Giotto e la Cappella degli Scrovegni dopo i recenti restauri*, «Atti del convegno internazionale di studi, 21-23 novembre 2002», ed Skira, Milano, 2002.

*Giotto. Gli affreschi della Cappella degli Scrovegni a Padova*, a cura di BASILE G., Istituto Centrale per il Restauro, Skira, Milano, 2002.

GIOVAGNOLI G., *Il palazzo dell'Arena e la Cappella di Giotto*(secc. XIV-XIX). *Proprietari, preposti, beni*, Cleup Editrice, Padova, 2008.

HUECK I., *Zu Enrico Scrovegnis varänderungen der Arenakapelle*.

HYDE J.K., *Padova nell'età di Dante. Storia sociale di una città-stato italiana*, LINT, Trieste, 1985.

ILICETO V., *Studio del sottosuolo della Cappella degli Scrovegni in Padova*, Relazione al Comune di Padova, Settore Edilizia Monumentale, febbraio 2002.

ILICETO V., *Monitoraggio dei tempi di funzionamento del sistema di pompe della Cappella degli Scrovegni*, Rapporto Tecnico, Comune di Padova, Settore Edilizia Monumentale, 2005.

*Il restauro della Cappella degli Scrovegni. Indagini, progetti, risultati*, a cura di BASILE G., Ministero per i beni e le Attività Culturali, Skira, Milano, 2003.

Imit Studi e Ricerche Ambientali, *Studio dei processi diffusivi e dei ricambi d'aria all'interno della Cappella degli Scrovegni in Padova*, Rapporto al Comune di Padova, ottobre 1995.

JACOBUS L., *Giotto's design of the Arena Chapel, Padua*, in «Apollo», vol. 142 n. 406, 1995.

KNAPTON, Dalesmanini, Manfredo, in *Dizionario Biografico degli Italiani*, vol.31, 1985.

*La Cappella degli Scrovegni a Padova*, a cura di BANZATO D., BASILE G., FLORES D'ARCAIS F., SPIAZZI A.M., Panini (Mirabilia Italiae, XIII), Modena, 2005.

*La Cappella degli Scrovegni a dieci anni dal restauro*, Atti della giornata di studi, Centro Culturale Altinate/San Gaetano, Padova, 25 giugno 2012.

*La Cappella degli Scrovegni. Indagini, restauri, interventi*, Atti della giornata di studi, 25 febbraio 1998, Comune di Padova, 1998.

MEDIN A., *Maddalena degli Scrovegni e le discordie tra i Carraresi e gli Scrovegni*, in «Atti e memorie delle Regia Accademia di Scienze, Lettere ed Arti in Padova», XII, 1895-96, pp. 243-272.

MOSCHETTI A., *La Cappella degli Scrovegni e gli affreschi di Giotto in essa dipinti*, F.lli Alinari, Firenze, 1904.

MOSCHETTI A., *Questioni cronologiche giottesche*, in «Atti e memorie delle Regia Accademia di Scienze, Lettere ed Arti in Padova», XXXVII, (1920-21), pp. 181-191.

MOSCHETTI A., *La cappella degli Scrovegni e la Chiesa degli Eremitani a Padova*, , fratelli Treves Editori, Milano, 1934.

MOSCHINI G., *Guida per la città di Padova all'amico delle belle arti*, Alvisopoli, Venezia, 1817.

*Per l'inaugurazione della sagrestia degli Eremitani in Padova, 30 marzo 1971*, a cura di BERTOLAZZO D., Tipografia Antoniana, Padova, 1971.

PISANI G., *I volti segreti di Giotto. Le rivelazioni della Cappella degli Scrovegni*, Rizzoli, Milano, 2008.

*Presentazione alla Stampa Italiana ed Estera dei più recenti risultati del restauro dei dipinti murali di Giotto nella Cappella degli Scrovegni a Padova*, a cura di BASILE G., in «Atti del convegno di Padova del 18 gennaio 2002», Mibac-ICR, Roma, 2002.

PORTENARI A., *Della Felicità di Padova. Libri Nove.[...]*, Padova, 1623.

PROSDOCIMI A., *Il Comune di Padova e la Cappella degli Scrovegni nell'Ottocento. Acquisto e restauri agli affreschi*, in «Bollettino del Museo Civico di Padova», numero speciale, annata XLIX, 1, 1960.

PUPPI L., *Vicende ottocentesche della Cappella degli Scrovegni*, in «Arte Veneta», XV, 1961.

RANDAZZO S., *Storia iconografico-illustrativa della Cappella Scrovegni*, in «Padova e il suo territorio», XVII, 2002, n. 97, pp. 13-15.

*Restauro dei dipinti murali di Giotto nella Cappella degli Scrovegni a Padova*, a cura di BASILE G., atti del convegno di Padova del 12 giugno 2001, Mibac- ICR, Roma, 2001.

RONCHI O., *Un documento inedito del 9 gennaio 1305 intorno alla Cappella degli Scrovegni*, in «Atti e memorie delle Regia Accademia di Scienze, Lettere ed Arti in Padova», LII, 1935/36, pp. 205-211.

ROSSETTI G.B., *Descrizione delle pitture, sculture e architetture di Padova*, Tipografia del Seminario di Padova, Padova, 1765.

RUSKIN J., *Giotto and his works in Padua*, Allen, London, 1856.

SCARDEONE B., *De antiquitate urbis Patavii et claris civibus Patavinis*, ex officina Nicolai Episcopii junioris, Basilea, 1560.

SCHLEGEL, *Zum Bildprogramm der Arena Kapelle*, in «Zeitschrift für Kunstgeschichte», XX, 1957.

SCOTO F., *Nuovo itinerario d'Italia, con aggiunta, et figure di città, fortezze et altre singolarità degne di memoria di raccolta da Fortunato Musocho*.

SELVATICO ESTENSE P., *Sulla Cappellina degli Scrovegni nell'Arena di Padova e sui freschi di Giotto in essa dipinti*, Minerva, Padova, 1836.

SELVATICO ESTENSE P., *Guida di Padova e dei suoi principali contorni*, Tipografia F. Sacchetto, Padova, 1869.

SEMENZATO C., *La Cappella degli Scrovegni*, Martello, Padova, 1983.

SPIAZZI A.M., *La Cappella degli Scrovegni a Padova*, Electa, Milano, 1991.

SPIAZZA A.M., *Per la difesa degli affreschi di Giotto*, in «Padova e il suo territorio», XVII, 2002, n. 97, pp. 21-22.

SYNCRO, *La Cappella degli Scrovegni – Padova – Monitoraggio continuo dei parametri ambientali*, Rapporto al Comune di Padova, novembre 1993.

SYNCRO, Advanced Engineering Consulting, *La Cappella degli Scrovegni – Misura dei parametri fisici ambientali*, rapporti al comune di Padova, marzo 1997.

SYNCRO Advanced Engineering Consulting, *La Cappella degli Scrovegni – Misura dei parametri fisici ambientali*, rapporti al comune di Padova, gennaio 2002.

THOMSON G., *The museum environment*, Butterworth-Heinemann, 1986.

TOLOMEI A., *La chiesa Di Giotto nell’Arena di Padova*, Relazione al Consiglio Comunale di Antonio Tolomei Assessore, Tipografia alla Minerva dei fratelli Selmin, Padova, 1880.

TOLOMEI A., *La Cappella degli Scrovegni e l’Arena di Padova*, Tipografia alla Minerva dei fratelli Selmin, Padova, 1881.

URBANI G., *Applicazione della termovisione nel campo della conservazione delle opere d’arte*, in «Problemi di conservazione», Compositori, Bologna, 1973, pp 317-327.

URBANI G., *Studio sulla stato di conservazione della Cappella degli Scrovegni di Padova*, in «Bolettino d'Arte», Roma, 1978.

VALCANOVER F., *Le cause del rapido deterioramento degli affreschi della Cappella degli Scrovegni negli ultimi vent’anni*, in «Giotto e il suo tempo, atti del Congresso internazionale per la celebrazione del VII centenario della nascita di Giotto», Firenze, 1971.

ZAMPIERI G., *La Cappella degli Scrovegni in Padova. Il sito e l’area archeologica*, Skira, Milano, 2004.

ZEILLER M., *Itinerarium Italiae Novantique [...]*, Matthaus Merian, Frankfurt, 1640.

ZEILLER M., *Thopografia Italiae, das ist: Warhafte und Curiose Beschreibung Italien. Sambi einen Anhang von Konigreich Morea*, Eredi di Merian, Frankfurt, 1688.

## **BIBLIOGRAFIA TECNICO - SCIENTIFICA**

AUER D., *Guida tascabile sulla termografia*, Testo AG, 2008.

ACCARDO G., *Distribuzione della temperatura superficiale sugli affreschi*, in «Bollettino d'arte "Giotto a Padova"», serie speciale 2, annoLXIII, Istituto Poligrafico dello Stato, 1982, pp. 113 – 117.

BERTANI D., DASSU G., GIAMBELLI G., *La termografia infrarossa e il suo impiego nel campo della conservazione*, in «Atti del convegno sul restauro delle opere d'arte», Firenze novembre 1976, Polistampa, Firenze, 1981, pp 107-117.

BINDA L., BORRI A., CARDANI G., DOGLIONI F., *Scheda qualità muraria: relazione finale e linee guida per la compilazione della scheda di valutazione della qualità muraria*, Progetto di ricerca: valutazione e riduzione della vulnerabilità degli edifici in muratura, Marzo 2009.

BINDA L., CANTIN L., CUCCHI M., *Thermovision: applications in conservation field to detect ridde characteristics of bulding structures*, eleventh NAMC, june 5 – 8 2001.

BINDA L., MODENA C., CASARIN F., LORENZONI F., CANTINI L., MUNDA L., *Emergency actions and investigations on Cultural Heritage after the l'Aquila earthquake: the case of the Spanish Fortress*, in «Bulletin of Earthquake Engineering», vol. 9, 2010, pp. 105 - 138.

BINDA L., SAISI A., ANZANI A., TIRABOSCHI C., *Progetto di indagini per la diagnosi e metodi per il controllo dell'intervento*, in «Progettare il Restauro», Libreria Cortina Ed., Padova 1999: 108-172.

BINDA L., SAISI A., *Il ruolo delle indagini nella diagnostica strutturale*, 2003.

BRINCKER R., VENTURA C., ANDERSEN P., *Damping estimation by frequency domain decomposition*, in «Proceedings of the IMAC 19, International Modal Analysis Conference», Kissimmee, FL, USA, 2001.

BRINCKER R., ZHANG L., ANDERSEN P., *Modal identification from ambient responses using frequency domain decomposition*, in «Proceedings of the IMAC 18, International Modal Analysis Conference», San Antonio, USA, 2000.

BSI, *Mechanical vibration and shock-performance parameters for condition monitoring of structures*, British Standards Organisation, 2004.

CASARIN F., *Structural assessment and seismic vulnerability analysis of a complex historical building*, Ph.D. Thesis, University of Padova, Italy, 2006.

CASARIN F., MODENA C., AOKI T., DA PORTO F., LORENZONI F., *Structural Health Monitoring of historical buildings: preventive and post-earthquake controls*, 2011.

CASARIN F., VALLUZZI M.R., DA PORTO F., MODENA C., *Structural monitoring for the evaluation of the dynamic response of historical monuments*, RILEM Symposium on On Site Assessment of Concrete, Masonry and Timber Structures - SACoMaTiS 2008.

CESINI G., GORI F., GUATTARI G., LUCARINI G., *Rilevazione termografica di difetti nei dipinti*, in «La Termotecnica», XXXIII, 1979, pp. 643-650.

CHIARUGI A., FORABOSCHI P., *Monitoraggio ed identificazione strutturale*, in «Monitoraggio delle strutture dell'ingegneria civile», a cura di MALERBA P.G.

DALGLEISH W. A., RAINER J. H., *Measurements of wind induced displacements and accelerations of a 57-storey building in Toronto*, in «Proc. 3rd Colloquium On industrial Aerodynamics, Aachen, Building Aerodynamics», Canada, pt. 2, 1978, pp. 67-78.

DEIANA R., CASSIANI G., DEIDDA G.P., MURA M., SCHIRRU F., PERRI M.T., *Cross-hole electrical resistivity tomography under extreme electrical conductivity conditions*, in «G.N.G.T.S.», 2011, pp. 491- 495.

DEIANA R., CASSIANI G., KEMNA A., VILLA A., BRUNO V., BAGLIANI A., *An experiment of non-invasive characterization of the vadose zone via water injection and cross-hole time-lapse geophysical monitoring*, in «Near Surface Geophysics», 2007, pp. 183-194.

DOLCE M., *Il monitoraggio sismico del Dipartimento della Protezione Civile (2) - L'Osservatorio Sismico delle Strutture*, in «Progettazione sismica», n.1, 2012, pp. 81-85.

DYKE S. J., BERNAL D., BECK J., VENTURA C., *Experimental phase 2 of the structural health monitoring benchmark problem*, in «Proc. ASCE Engineering Mechanics Conference», WA, 2003.

EWINS D.J., *Modal Testing, Theory, Practice and Application*, Second Edition, Research Studies Press LTD, Baldock, Hertfordshire, England, 2000.

GIUFFRE' A., *Leggendo il libro delle antiche architetture. Aspetti statici del restauro*, a cura di C. F. Carocci e C. Tocci, Gangemi Editore, Roma, 2010.

GRINZATO E., VAVILOV V., KAUPPIEN T., *Quantitative infrared thermography in buildings*, in «Journal of Energy and Buildings», Elsevier, vol.29, 1998, pp. 1-9.

GRINZATO E., BISON P.G., MARINETTI S., *Monitoring of ancient buildings by the thermal method*, in «Journal of Cultural Heritage», Elsevier, vol.3, 2002, pp.21-29.

GRINZATO E., BRESSAN C., MARINETTI S., BISON P.G., BONACINA C., *Monitoring of the Scrovegni Chapel by IR Thermography: Giotto at Infrared*, in «Journal of Infrared physics and technology», Elsevier, vol.43, 2002, pp.165-169.

GRINZATO E., *Controllare è necessario, il controllo termico è utile: introduzione della termografia IR, potenzialità e limiti*, in «Il Giornale delle Prove non Distruttive Monitoraggio Diagnostica», 4/2008, pp. 23-29.

JAISHI B, REN W-X, ZONG Z-H, MASKE P.N, *Dynamic and seismic performance of old multi-tiered temples in Nepal*, Engineering Structures, Elsevier, Volume 25, Number 14, December 2003, pp. 1827 – 1839.

KULLAA J., *Eliminating environmental or operational influences in structural health monitoring using the missing data analysis*, Journal of Intelligent Material Systems and Structures, vol. 20, 2009, pp. 1381 – 1390.

LITTLER J. D., ELLIS B. R., *Interim findings from full-scale measurements at Hume Point*, J. Wind Eng. Ind. Aerodyn. 36, 1990, pp. 1181–1190.

LJUNG L., *System Identification: Theory for the User*, Second edition, Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, USA, 1999.

LORENZONI F., *Integrated methodologies based on structural health monitoring for the protection of the protection of cultural heritage buildings*, Ph.D. Thesis, University of Padova, Italy, 2013.

LUALDI M., GIANINETTO M., ZANZI M., SAISI A., *Complementarietà delle indagini termografiche e georadar nella diagnostica degli edifici*, in «Atti del 22° Convegno Nazionale G.N.G.T.S.», Roma, 11/2003.

MAGUIRE J. R., *Condition monitoring of structures: a briefing note for clients and authors*, in «Proc. Institution of Civil Engineers, Structures and Buildings 134», 1999, pp. 279 – 280.

MAIA N.M., SILVA J.M., *Theoretical and Experimental Modal Analysis*, Research Studies Press LTD, England, 1997.

*Manuale di termografia ad infrarossi per il mercato delle costruzioni e delle energie rinnovabili*, FLIR System, 2011.

*MATLAB User Manual*, Version 7.10.0.499 (R2010a), The MathWorks, USA, 2010.

MODENA C., *Aspetti strutturali: normativa in campo nazionale e internazionale*, in «Kermes. La rivista del restauro», XXI, 71, 2008, pp.99-108.

MODENA C., CASARIN F., *Monitoraggio di edifici storici: controlli preventivi e post evento sismico*, in «Il monitoraggio delle strutture nella prevenzione del rischio sismico», Roma 21/01/2011, pp.29-33.

MODENA C., CASARIN F., VALLUZZI M. R., DA PORTO F., *Structural monitoring for the evaluation of the dynamic response of historical monuments*, Masonry and Timber Structures, Publisher RILEM Publications, 2008.

MODENA C., DA PORTO F., VALLUZZI M.R., *Conservazione del patrimonio architettonico e sicurezza strutturale in zona sismica: insegnamenti dalle recenti esperienze italiane*, in «Materiali e strutture – problemi di conservazione», Università degli studi di Roma “La sapienza», nuova serie, anno I, numero 1-2, 2012, pp. 17.28.

MODENA C., FRANCHETTI P., ZONTA D., MENGA R., PIZZIGALLI E., RAVASIO F., MUTI M., MELONI R., BORDONE G., *Static and Dynamic Analyses of Maniace Castle in Siracusa-Sicily*, Proc. 3rd Int. Seminar on Structural Analysis of Historical Constructions, Guimarães, Portugal, 2001.

MUFTI A., *Guidelines for structural health monitoring*, in «ISIS Design Manual No. 2.», Canada, 2001.

PEETERS B., *System identification and damage detection in civil engineering*, Ph.D. Thesis, Katholieke Universiteit, Leuven, Belgium, 2000.

PEETERS B., DE ROECK G., *One Year Monitoring Of The Z24-Bridge: Environmental Influences Versus Damage Events*, In «Proceedings Of Imac 18, The International Modal Analysis Conference», San Antonio, Texas, Usa, February 2000, pp. 1570 – 576.

RAMOS L.F., CASARIN F., ALGERI C., LOURENCO P.B., MODENA C., *Investigation techniques carried out on the Qutb Minar*, Seminar on Structural Analysis of Historical Constructions, New Delhi, India, 2006.

RUCKER W., ROHRMANN R.G., HILLE F., *Guidelines for monitoring and assessment - a SAMCO initiative as a basis for international standardization*, in «Proc. SHMII-2, structural health monitoring and intelligent infrastructures, vol. 2», London, 2006, pp. 1671–1676.

VANLANDUIT S., PARLOO E., CAUBERGHE B., GUILLAUME P., VERBOVEN P., *A robust singular value decomposition for damage detection under changing operational conditions and structural uncertainties*, Journal of Sound and Vibration, 2005, pp. 1033 - 1050.

VAN OVERSCHEE P., DE MOOR B., *Subspace Identification for Linear Systems: Theory - Implementation – Applications*, Dordrecht, the Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1996.

VIOLA E., *Fondamenti di dinamica e vibrazione delle strutture*, Pitagora, Bologna.

ZANZI L., LUALDI M., *Recenti progressi nella tecnologia GPR e loro impatto sulle applicazioni per la diagnostica*, in «Il Giornale delle Prove non Distruttive Monitoraggio Diagnostica», 4/2008, pp. 47-53.

## ***NORMATIVA DI RIFERIMENTO***

CEN TC346 *Conservation of cultural property – WG1: “Condition survey of immovable heritage”*; Archivio Soprintendenza per i beni architettonici e paesaggistici per le province di Venezia, Belluno, Padova e Treviso, f. Archivio lavori 1, PD 059/0150.

CEN TC346 *Conservation of cultural property – WG2N 018: “Diagnosis of building structures”*; Archivio Soprintendenza per i beni architettonici e paesaggistici per le province di Venezia, Belluno, Padova e Treviso, f. Archivio lavori 1, PD 059/0150.

Circolare 2 febbraio 2009, n. 617, *Istruzioni per l’applicazione delle “Norme Tecniche per le Costruzioni”* di cui al D. M. 14/01/2008.

Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri, 12 ottobre 2007, *Valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle norme tecniche per le costruzioni*, in G.U., n.24 del 29 gennaio 2008.

*Eurocodice 8 – Progettazione delle strutture per la resistenza sismica - UNI EN 1998-1: 2005 Parte 1: Regole generali, azioni sismiche e regole per gli edifici.*

ISO 13822 *Bases for design of structures- Assessment of existing structures – Annex I* (informative) Historic Structures.

*Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle Norme Tecniche delle Costruzioni*, Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri 12 ottobre 2007, Ministero per i beni e le attività culturali, Dipartimento per i beni culturali e paesaggistici, Direzione generale per i beni architettonici e paesaggistici.

*Linee guida per la riduzione della vulnerabilità di elementi non strutturali, arredi e impianti*, Dipartimento della Protezione Civile, giugno 2009.

*Linee Guida per la riparazione e il rafforzamento di elementi strutturali, tamponature e partizioni*, DPC-ReLUIIS, agosto 2009.

*Linee Guida per la riparazione e il rafforzamento di elementi strutturali, tamponature e partizioni*, DPC-ReLUIIS, agosto 2009.

*Norme tecniche relative alle costruzioni antisismiche*, Decreto Ministeriale 24 ottobre 1986.

*Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche*, Decreto Ministeriale 16 gennaio 1996.

*Norme tecniche per le costruzioni*, Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008.

UNI 10829, *Beni di interesse storico artistico – condizioni ambientali per la conservazione – misure ed analisi*, luglio 1999.

## **SITOGRAFIA**

[www.archiviodistato.provincia.padova.it](http://www.archiviodistato.provincia.padova.it)

[www.idt.regione.veneto.it](http://www.idt.regione.veneto.it).

[www.muradipadova.it](http://www.muradipadova.it)

[www.padovanet.it](http://www.padovanet.it).

[www.pianionline.provincia.padova.it](http://www.pianionline.provincia.padova.it)

[www.treccani.it/enciclopedia/manfredo-dalesmanini\\_dizionario-biografico](http://www.treccani.it/enciclopedia/manfredo-dalesmanini_dizionario-biografico).

[www.treccani.it/enciclopedia/enrico-scrovegni\\_dizionario-biografico](http://www.treccani.it/enciclopedia/enrico-scrovegni_dizionario-biografico).

[www.treccani.it/enciclopedia/giotto-di-bondone\\_dizionario-biografico](http://www.treccani.it/enciclopedia/giotto-di-bondone_dizionario-biografico).

[www.treccani.it/enciclopedia/giovanni-pisano\\_dizionario-biografico](http://www.treccani.it/enciclopedia/giovanni-pisano_dizionario-biografico).