



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA EDILE, CIVILE E AMBIENTALE
CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA
CIVILE INDIRIZZO EDILE

RAPPRESENTAZIONE GRAFICA TRIDIMENSIONALE DI EDIFICI
STORICI A SUPPORTO DELLA DIAGNOSTICA E DELLE
VALUTAZIONI DI VULNERABILITA' SISMICA: I CHIOSTRI DEGLI
EREMITANI A PADOVA

RELATORI:

Prof. Ing. Maria Rosa Valluzzi

Prof. Arch. Andrea Giordano

LAUREANDO:

Federico Panarotto

ANNO ACCADEMICO 2012-1013

INDICE

INTRODUZIONE	V
CAPITOLO 1. Analisi storica	1
1.1 Storia dei Chiostri degli Eremitani a Padova.....	1
1.1.1 Rilievo fotografico eseguito negli anni '60.....	23
1.2 Il contesto urbanistico dei Chiostri degli Eremitani.....	30
CAPITOLO 2. Descrizione morfologica	35
2.1 Descrizione dell'esterno dei Chiostri.....	35
2.2 Descrizione dell'interno dei Chiostri.....	42
CAPITOLO 3. Rilievo	53
3.1 Rilievo metrico.....	53
3.2 Rilievo del degrado.....	68
3.3 Rilievo del quadro fessurativo.....	74
CAPITOLO 4. Modello grafico digitale	83
4.1 Programma CAD.....	83
4.1.1 Volte a crociera del Chiostro Maggiore.....	86
4.2 Programma per il render fotografico.....	88
CAPITOLO 5. Vulnerabilità sismica	103
5.1 Modello per l'individuazione della vulnerabilità sismica.....	103
5.1.1 Premessa.....	103
5.1.2 Rischio sismico.....	104
5.1.3 Inserimento nel modello 3D delle informazioni relative al degrado.....	106

5.1.4 Inserimento nel modello 3D delle informazioni relative all'evoluzione storica	112
5.1.4.1 Riapertura del loggiato superiore nel Chiostro Maggiore..	113
5.1.4.2 Ricostruzione dell'ala est del Chiostro Maggiore.....	117
5.1.4.3 Ricostruzione del portico del Chiostro Minore e ricostruzione ala est.....	119
5.1.4.4 Ricostruzione della copertura della sala centrale.....	122
5.1.4. Presenza di canne fumarie.....	124
5.2 Considerazione sul modello delle vulnerabilità.....	126
CAPITOLO 6. Valutazione sulla sicurezza sismica.....	141
6.1 Normativa di riferimento.....	141
6.1.1 Valutazione dei carichi sismici.....	144
6.1.2 Approccio cinematico.....	147
6.1.2.1 Analisi cinematica lineare.....	149
6.1.2.2 Analisi cinematica non lineare.....	150
6.2 Individuazione dei macroelementi e dei relativi meccanismi di collasso..	156
6.2.1 Macroelemento n.1: parete nord della sala centrale fra i due chiostri.....	158
6.2.2 Macroelemento n.2: parete est all'interfaccia fra porzione nuova e porzione originaria.....	163
6.2.3 Macroelemento n.3: cantonale esterno dell'angolo nord-est.....	169
6.2.4 Macroelemento n.4: cantonale nella parete nord.....	172
6.2.5 Macroelemento n.5: parete settentrionale del prospetto ovest....	175
6.2.6 Macroelemento n.6: porzione di parete centrale del prospetto ovest.....	178
6.2.7 Macroelemento n.7: porzione di parete meridionale del prospetto ovest.....	181
6.2.8 Macroelemento n.8: porzione di parete del prospetto nord del chiostro maggiore.....	184

6.2.9 Macroelemento n.9: porzione di parete del prospetto est del chostro maggiore.....	188
6.3 Esempi di verifica dei meccanismi di collasso.....	192
6.3.1 Esempio 1: Macroelemento n1 – Cinematismo n.1: ribaltamento fuori piano del piano primo.....	192
6.2.1 Esempio 2: Macroelemento n.6 – Cinematismo n.1: flessione verticale del piano primo.....	201
CAPITOLO 7. Conclusioni.....	207
Bibliografia.....	209

INTRODUZIONE

La conoscenza della costruzione storica in muratura è un presupposto fondamentale sia ai fini di una attendibile valutazione della sicurezza sismica attuale sia per la scelta di un efficace intervento di miglioramento. Le problematiche sono quelle comuni a tutti gli edifici esistenti, anche se nel caso del patrimonio culturale tutelato, data la sua rilevanza, è ancora più critica l'impossibilità di conoscere i dati caratterizzanti originariamente la fabbrica, le modifiche intercorse nel tempo dovute ai fenomeni di danneggiamento derivanti dalle trasformazioni antropiche, dall'invecchiamento dei materiali e dagli eventi calamitosi; inoltre, l'esecuzione di una completa campagna di indagini può risultare troppo invasiva sulla fabbrica stessa. Si ha pertanto la necessità di affinare tecniche di analisi ed interpretazione dei manufatti storici mediante fasi conoscitive dal diverso grado di attendibilità, anche in relazione al loro impatto.

E' su queste considerazioni che si basa questa tesi di laurea specialistica. Questo lavoro ha lo scopo di percorrere alcune delle fasi del percorso conoscitivo che conduce alla determinazione dello stato di conservazione generale dei Chiostri degli Eremitani a Padova, per la valutazione della vulnerabilità sismica, attraverso l'ausilio della rappresentazione grafica tridimensionale.

Un'accurata conoscenza dell'edificio storico risulta assai importante al fine di determinare lo stato di conservazione attuale; tale scopo può essere raggiunto svolgendo indagini conoscitive che riguardano prevalentemente l'individuazione della storia del manufatto, dei materiali impiegati, della geometria degli elementi strutturali, delle tecniche costruttive e dei fenomeni di dissesto e di degrado. E' doveroso porre in evidenza che edifici di rilievo storico ed artistico, facenti parte di un patrimonio culturale tutelato, vanno trattati con riguardo e rispetto, ponendo particolare attenzione all'organizzazione delle campagne d'indagine e cercando di scegliere tecniche di investigazione non troppo invasive. Risulta quindi fondamentale il lavoro di conoscenza preliminare del manufatto, ricavato da indagini indirette descritte in questo testo. L'edificio in questione risulta abbastanza complesso, presentando una planimetria articolata e elementi aggiunti in epoche successive, tale fatto è usuale per edifici di questo genere che nel corso della storia sono sempre stati soggetti ad accrescimenti, superfetazioni ed ampliamenti planimetrici che hanno determinato la presenza di diverse strutture all'interno dello stesso edificio.

Nella redazione di questo testo è stata data una grande importanza alla realizzazione di modelli informatici al fine di rendere più chiara l'esposizione del lavoro svolto. In

particolare i programmi disponibili attualmente in commercio hanno consentito di ricreare in maniera verosimile la struttura dei chiostri sia per quanto riguarda il modello delle vulnerabilità sia quello del rendering.

La creazione di questi modelli permette di comprendere più facilmente i dati ottenuti anche ai “non addetti ai lavori”, ampliando la possibilità di far conoscere a più persone le tematiche riguardanti i fenomeni sismici.

CAPITOLO 1

ANALISI STORICA

1.1 – STORIA DEI CHIOSTRI DEGLI EREMITANI A PADOVA

L'area conosciuta come degli Eremitani, racchiusa tra via Porciglia e l'Arena romana vide nel corso del XIII secolo la nascita di molti monasteri nell'ambito del generale clima di rinnovamento promosso dai vari Ordini religiosi. Pertanto a partire dal 1219 sorsero la Chiesa dedicata ai santi Filippo e Giacomo e il Monastero doppio di Santa Maria di via Porciglia, il monastero piccolo di San Marco con chiesa e ospedale, il Monastero e la Chiesa di San Bartolomeo, corrispondente alle abitazioni di via Altinate n. 17 e 19, il Monastero di San Bernardino che sorgeva nell'edificio poi riadattato a sede dell'Intendenza delle Finanze, e infine venne costruito il Monastero dei Padri Eremitani di Sant'Agostino. Il notaio Antonio Monterosso ricorda che tali padri officiavano nella Chiesa dei Santi Filippo e Giacomo che esisteva fin dalla prima metà del Duecento e anzi il cronista Pietro Gerardo riporta che in contrada dei SS. Filippo e Giacomo gli Eremitani ebbero in dono dalla città di Padova una casetta (aediculam) ampliata a più riprese fino ad ottenere un complesso edilizio chiamato monasterium Sanctae Mariae de Caritate de Arena.

Va ricordato che negli stessi anni operava a Padova anche l'Ordine degli Eremiti di San Guglielmo che nel 1256 venne fuso proprio con il predetto Ordine degli Eremiti di Sant'Agostino e la loro nuova denominazione fu di Frati Eremitani del monastero di Santa Maria della Carità dell'Arena.

In un documento del 1259 si riporta di un contratto stipulato fra gli Eremitani e Maria, moglie di Giovanni di Zaccaria, che aveva donato nel 1257 le case possedute in prossimità del Monastero, offrendo dunque il terreno su cui sarebbe sorta successivamente la grande Chiesa. Un documento di qualche giorno posteriore riporta che Guideto Grasso, messo del comune di Padova, immetteva in possesso il priore degli Eremitani di un "sedimen" con edifici e appezzamento di terreno adiacente, nella contrada dell'Arena. Dopo alcuni anni trascorsi in situazione di fortuna, finalmente nel 1264, il primo di maggio, in occasione della festa dei SS. Filippo e Giacomo, vennero gettate le fondamenta per la futura cappella in muratura che pur rivelandosi molto presto incapace di

ospitare i fedeli lasciò il suo nome al Monastero che dal 1275 non si sarebbe chiamato più di Santa Maria della Carità dell'Arena ma dei Santi Filippo e Giacomo.

Le donazioni di terreni con edifici da parte del comune di Padova e di Maria, moglie di Giovanni di Zaccaria, offrirono la possibilità agli Eremitani di abbattere le vecchie abitazioni e di ampliare l'area destinata alla Chiesa di S. Filippo e Giacomo (1268) e del nuovo dormitorio dei frati che risultava già in parte costruito nel 1275.

L'avvenimento più interessante è quello documentato da una lapide ancora murata nell'abside verso l'altar maggiore che recita: HEC CAPPELLA FUNDATA FUIT ANNO DOMINI MILLESIMO CC LXIII DIE PRIMA MADII, ovvero giovedì primo maggio 1264 i PP. Eremitani gettarono le fondamenta della cappella in miniatura che soltanto dieci anni dopo sarebbe stata insufficiente e che dal 1275 avrebbe fatto cambiare il nome del convento da S. Maria della Carità all'Arena in SS. Filippo e Giacomo.

Nel 1276 il podestà Roberto de Roberti, con gli anziani del Comune di Padova, decise di far costruire "una conveniens ecclesia" a spese dello stesso Comune, su richiesta dei frati Eremitani. Con l'aprirsi del nuovo secolo (XIV) gli Eremitani apparivano sempre più come protagonisti nella scena documentaria divenendo titolari di lasciti e inoltre erano cominciate le liti con gli Scrovegni che a poca distanza avevano fatto costruire la loro Cappella con campanile, inoltre era oggetto di contesa il terreno con edifici attiguo alle mura dell'Arena di cui gli Eremitani erano proprietari dal 1300. La chiesa venne completata con la famosa copertura a carena di nave rovesciata realizzata da Fra' Giovanni degli Eremitani nel 1306, che già aveva operato con successo a Palazzo della Ragione. Il Monastero venne realizzato a più riprese per opera dei frati e con il concorso economico della città stessa. Le tappe fondamentali furono la costruzione di un nuovo dormitorio a spese dei frati ma con la formale promessa da parte del Comune di sopperire a ogni obbligo contratto come lascia comprendere lo statuto n. 1159 del Comune di Padova in data 29 marzo 1275. Il 22 giugno 1275 il Monastero cambia nome.

Il convento doveva essere comunque una costruzione importante già nel 1281 quando vi si tenne per la prima volta il Capitolo generale dell'Ordine (Portenari, 1623).

Le fasi evolutive del complesso del Monastero comportano la costruzione dell'Ambiente per il Noviziato nel 1418 (con contributo della nobildonna Cattarini Coligi e opera del Rev. P. Bellino Padovano), del refettorio piccolo fabbricato insieme alla libreria vecchia, dell'infermeria, della foresteria, della libreria nuova con un celebrato soffitto e le scaffalature per i famosi codici del convento, del secondo Chiostro nel 1520 (grazie a

Paolo Zabarella, frate eremitano di Sant'Agostino e vescovo di Bari), del primo Chiostro costruito in parte nel 1527 e in parte nel 1535. Infine vennero costruite l'Infermeria e la Foresteria nel 1583 (per opera del rev. P. Giacomo Capponato).

Nel corso del tempo l'opera e le attività del Monastero crebbero (furono ospitati ben cinque capitoli generali della Religione Agostiniana il già citato del 1281 e successivamente nel 1315, nel 1358, nel 1533 e nel 1568) in particolar modo sul fronte educativo culturale, in effetti il complesso poteva vantare la presenza di una notevolissima Biblioteca per lo studio delle scienze, filosofia e teologia, ricca sia per quanto riguardava il patrimonio librario che per quanto concerneva l'allestimento ricordato da Angelo Portenari né "La felicità di Padova" del 1623.

Le piante di Padova non danno indicazioni utili di queste fasi edificatorie; la raffigurazione più antica del complesso dovuta a Giuseppe Viola Zanini che risale al 1599 ma fu pubblicata appena nel 1658:



Fig. [1.1] Pianta di Giuseppe Zanini.



Fig. [1.2] Particolare pianta Zanini.

Riportiamo in merito quanto scritto dal Prosdoscimi nel 1964, anche in relazione alla descrizione del Convento che risulta una delle più accurate.

"Essa (la pianta del Zanini) ne dà una descrizione sommaria, che delinea chiaramente la cappella di S. Nicolò da Tolentino nella piazzetta antistante la facciata della chiesa, sullo stesso allineamento della parete nord della chiesa. Dietro la cappella è un edificio basso di pertinenza del convento, e ancora dietro in aderenza alla parete nord della chiesa si vede chiaramente il tetto piuttosto alto di un altro edificio che pensiamo sia la

vecchia sala capitolare, ora del tutto scomparsa, ma dove i è trovato al suo posto originario un resto di affresco dovuto al pittore riminese che appartiene alla stessa serie staccata nel secolo scorso e portata al Museo Civico che è datata alla prima metà del '300. L'affresco va dall'una all'altra parasta del muro nord della chiesa, muro che costituiva la parete di mezzogiorno della stessa sala capitolare. Poco sopra dell'affresco si notano infine nella stessa parete tre grossi modiglioni in trachite che sorreggevano originariamente la trave detta dormiente cui si appoggiava la falda del tetto di questa grande sala la quale certamente esistente nel '300 ...doveva ancora essere conservata ne l'600 ed essere coperta, se si fa fede a questa piante da un tetto a due falde. L'ala più vecchia del convento che si è rimasta è ora il chiostro nord con gli edifici che gli stanno introno sul lato nord verso il giardino e sul lato ovest verso l'Arena. Il lato sud quello verso il Chiostro, la porzione di fabbricato cioè che sta tra il chiostro nord e quello che è rimasto del chiostro in aderenza alla chiesa, è nella parte inferiore originaria costruzione tra il 200 e il 300 e conserva infatti elementi di questo tempo, ma modificata nel '400, nella parte superiore è probabilmente del '500 o del primo '600. Il lato est verso via Porciglia precedentemente rimaneggiato ad uso del Distretto Militare, fui demolito dal bombardamento dell'11 marzo 1944 che danneggiò in modo gravissimo gli affreschi del Mantegna e che demolì anche quasi interamente il lato di continuazione di questo altro chiostro. Le accurate indagini compiute dall'Ufficio tecnico comunale sotto la direzione dell'ing. Carlo Rigoni hanno messo in evidenza come era in principio questo chiostro costruito pensiamo subito dopo la metà dl '200 e come esso fu sopralzato e gli fu aggiunto o rifatto il portico tra il '400 e il '500. Nella parete nord si è trovata una capriata appartenente al vecchio edificio che era ad un solo piano o meglio aveva un piano terra sufficientemente alto e un primo piano o sottotetto molto basso. Volendo ingrandire l'edificio si innalzò la muratura portante e si creò sopra la nuova doppia falda che copre oltre al nuovo chiostro un piano alto e comodo in cui si sono trovati sotto i rifacimenti recenti tracce di decorazione del '500. Quest'ala così bassa era l'ala nord, certamente la più antica del vecchio convento. In essa si è ritrovata liberata da pareti interne aggiunte una cappellina a pianta rettangolare con volta a botte, che ha nella parete di fondo l'affresco della Madonna e Bimbo..., ai lati dell'affresco sono state trovate due alte finestre stesso tempo. ...L'ala dello stesso chiostro verso l'Arena è chiaramente costruita ancora del '200. Si direbbe dopo di quella che comprende la cappellina e questa potrebbe essere parte del

convento in cui intervenne nel 1275 il Comune di Padova, essa è infatti fino all'origine costruita su due piani, quindi più alta della precedente. La parte verso l'Arena presenta in alto una fila di finestre basse di carattere quattro-cinquecentesco, altre finestre più in basso ad arco possono essere del tardo duecento o del trecento. Subito sotto queste finestre più antiche è una fila di grossi modiglioni in trachite dello stesso tipo di quelli riscontrati nella parete nord della chiesa degli eremitani dove si suppone sia stata la sala capitolare più antica. I modiglioni presentano l'incavo superiore per l'appoggio del dormiente che reggeva le travi di un coperto che a nostro parere non doveva essere altro che il tetto di un porticato molto alto. Non è dato di sapere se questo tetto fosse retto, dall'altra parte, da colonne di pietra o di legno. Nella parte interna dello stesso edificio sulla parete dove era si appoggia il chiostro cinquecentesco, tolti gli intonaci, è apparsa una fila di modiglioni in trachite tagliati a livello della parete quando fu fatto il nuovo chiostro che testimonia l'esistenza anche in questo punto dell'appoggio per un tetto. Si tratta con ogni evidenza di un chiostrino coperto in legno che precedette il chiostro attuale. Non sappiamo neppure per questo se fosse retto da colonne di pietra o di legno; e nemmeno sappiamo per quanto si estendeva, perché i modiglioni sono stati trovati solo su questo lato. All'interno di quest'ala verso l'Arena è al piano terreno una grande sala ora liberata da pareti divisorie. Essa è coperta con travature appoggiate a travi orizzontali rette da modiglioni in trachite secondo un sistema identico a quelli cui si accennato e che può ben risalire alla fine del '200 anche se il solaio è stato evidentemente riparato e rifatto. Questa è l'ala più antica rimasta del vecchio convento. Il chiostro che sappiamo costruito tra la fine del quattro e il principio del cinquecento si venne dunque ad appoggiare alla costruzione preesistente imponendovi la sua simmetria, vennero quindi modificate alcune porte e finestre. Il livello originario del pavimento di questo chiostro è stato ritrovato in più punti ed è alquanto più basso dell'attuale. I saggi condotti lo scorso anno dall'ing. Rigoni portarono alla scoperta sopra il porticato di un elegante loggiato che correva per tutti i due lati verso l'Arena e verso nord. Il loggiato di cui si sono conservate alcune arcate fu chiuso presto forse alla fine del '500 o all'inizio del '600. Le finestre che sostituiscono le arcate hanno carattere ancora cinquecentesco. Di chiostri con loggiato superiore si hanno altri esempi a Padova. L'ala verso la chiesa di questo stesso chiostro è occupato al piano terreno da una grande sala ora liberata dalle strutture esistenti le cui porte di accesso sono state più volte modificate. Anche questa costruzione è in origine

della fine del '200 o del '300 come si è detto ma la sala, coperta a botte e vele è del '400. È stato recuperato il pavimento originario che era stato notevolmente alzato. Si sono trovati nel soffitto due stemmi di carattere quattrocentesco che ci diranno forse se corrisponde al vero l'ipotesi che si può affacciare che questa sia la biblioteca vecchia del convento. Al piano superiore si stanno togliendo le divisioni in stanze ad uso appartamenti di una grande sala coperta da capriate che reggono il tetto che si estende per tutta la larghezza dell'edificio fin sopra il chiostro; essa è stata quindi costruita contemporaneamente più tardi del chiostro ora esistente ed è quindi del '500 o posteriore. Tralasciamo per ora di proporre ipotesi sulla prima sua destinazione se essa cioè fosse una delle celebri sale del convento o se invece ospitasse originariamente celle per i monaci come sembra più probabile. Dal alto verso Via Porciglia del chiostro nord non parliamo perché esso fu ricostruito dopo il bombardamento del 1944 che lo aveva quasi completamente distrutto. Ricordiamo soltanto lo stupendo portale in Pietra di Nanto uno dei più nobili portali rinascimentali di Padova che è databile anche per i suoi caratteri stilistici agli anni attorno al 1500; il festone in foglie di lauro che lo decora si ritrova identico in un portale datato a quegli stessi anni dell'abbazia di Praglia. A giudicare dall'iscrizione (HIC PRUDENS APIUM PETAS OPHELTIS) può essere stato il portale del refettorio. Anche il portico è qui caduto per il bombardamento. Rimangono in situ alcuni frammenti di colonne".

Di seguito riportiamo varie mappe della città di Padova con l'individuazione, nel particolare, del complesso Eremitani dall' inizio del XVII secolo alla metà del XIX secolo.

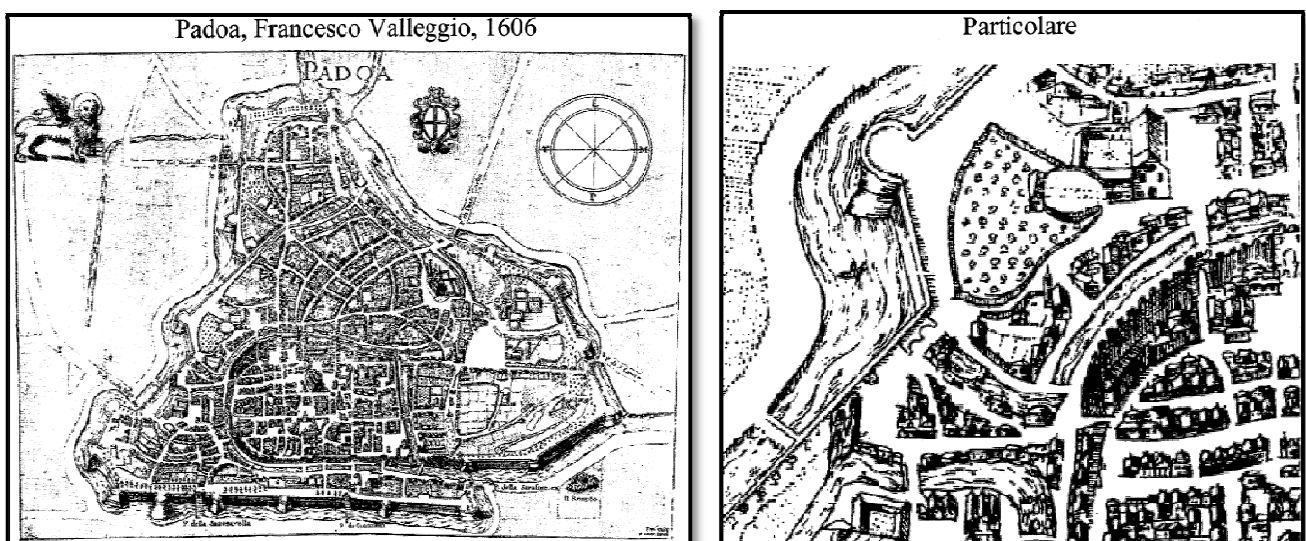


Fig. [1.3 – 1.4] Padoa, Francesco Valleggio, 1606.

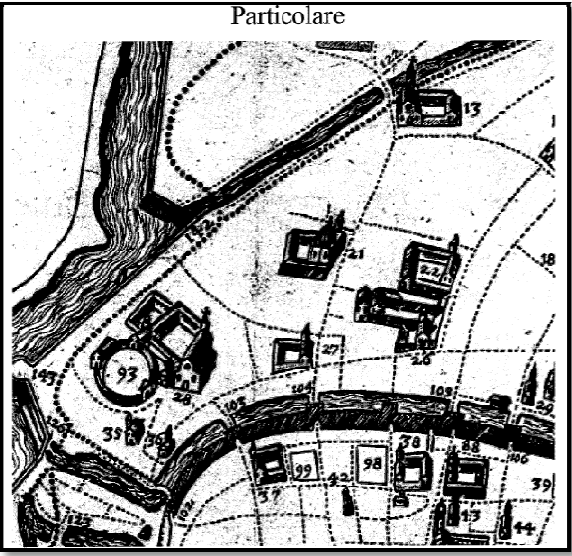


Fig. [1.5 – 1.6] Padova circondata dalle muraglie vecchie, Vincenzo Dotto, 1623.



Fig. [1.7 – 1.8] Padoa, Giacomo Lauro, 1639.

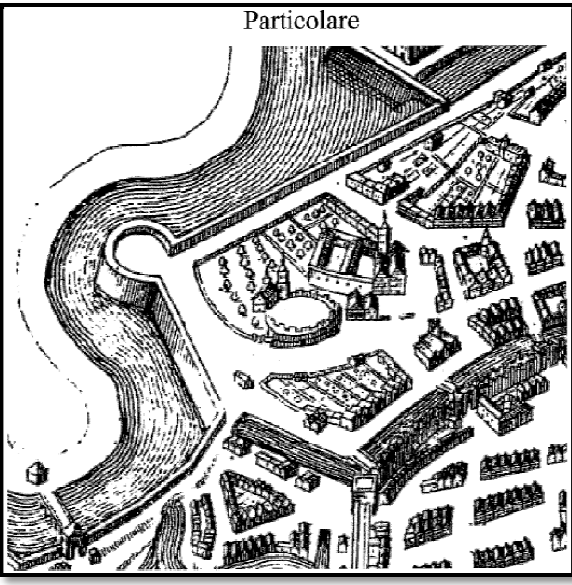


Fig. [1.9 – 1.10] Padoa, 1652.



Fig. [1.11 – 1.12] Padoa, Zanini, 1658.

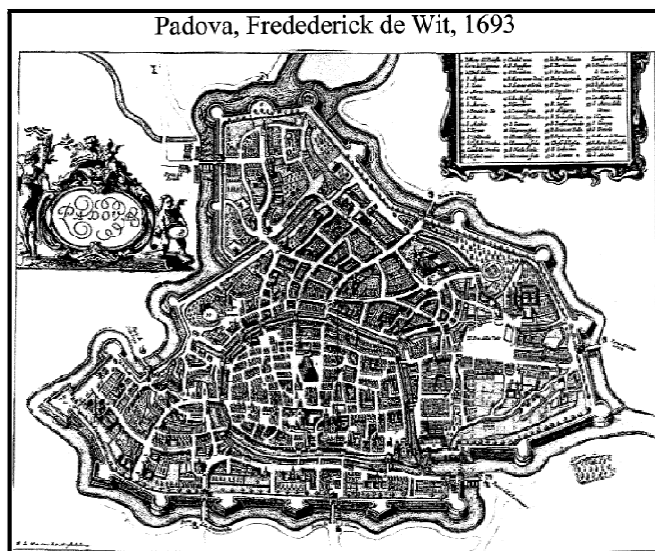
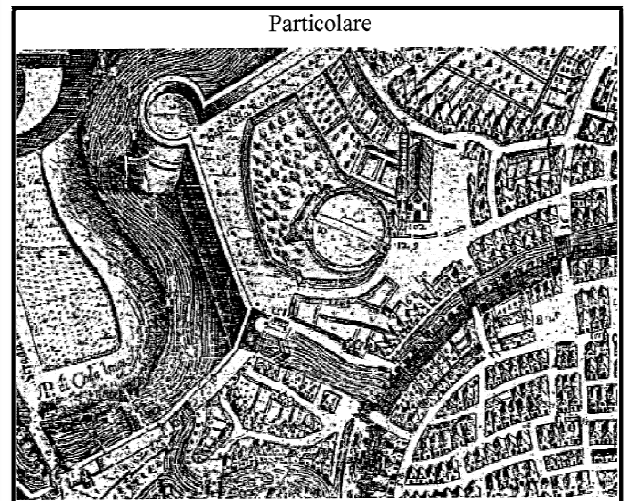


Fig. [1.13 – 1.14] Padova, Fredederick de Wit, 1693.

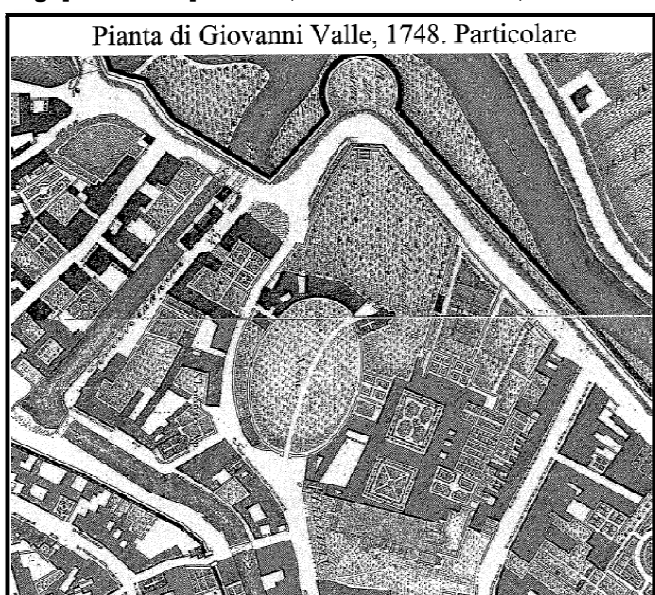


Fig. [1.15 – 1.16] Pianta di Giovanni Valle, 1748, particolare.

La pianta del Valle del 1784 dà un "rilievo piuttosto impreciso della chiesa e del convento (omette l'abside poligonale della sagrestia che con il suo protendersi oltre la fabbrica della chiesa doveva risultare al contrario ben visibile. Solo nel progetto edilizio del 1868 si riscontra la piena identità planimetrica con lo stato attuale".

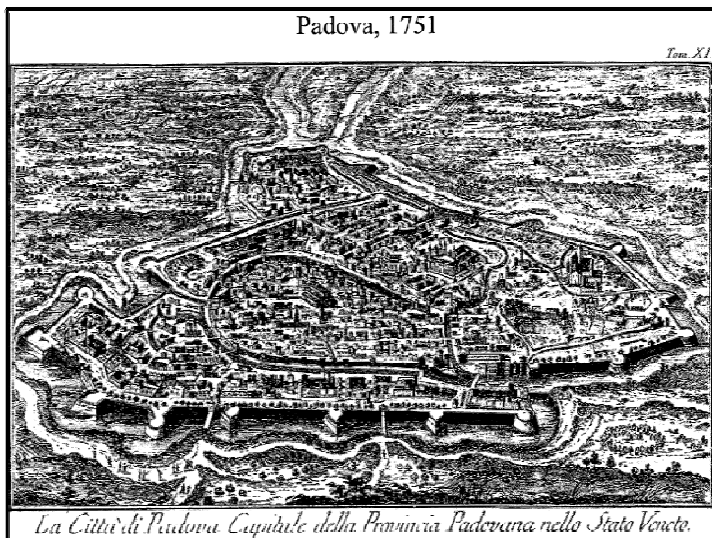


Fig. [1.17 – 1.18] Padova, 1751.

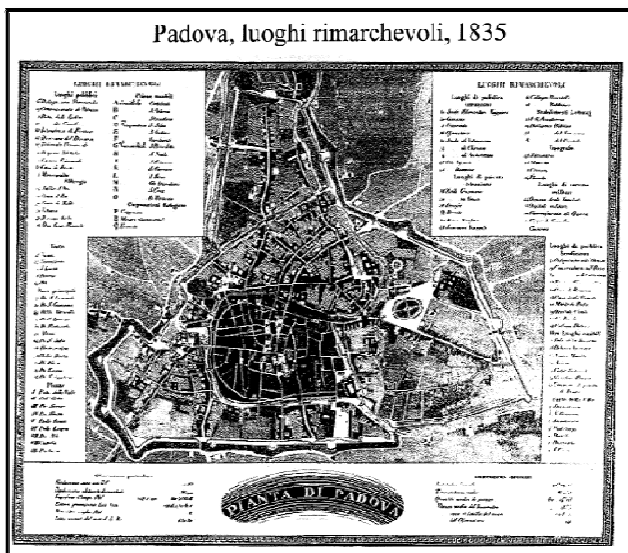
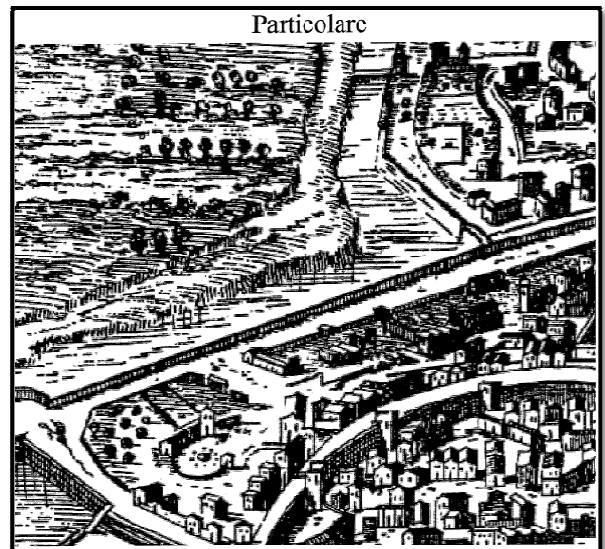


Fig. [1.19 – 1.20] Padova, luoghi rimarchevoli, 1835.

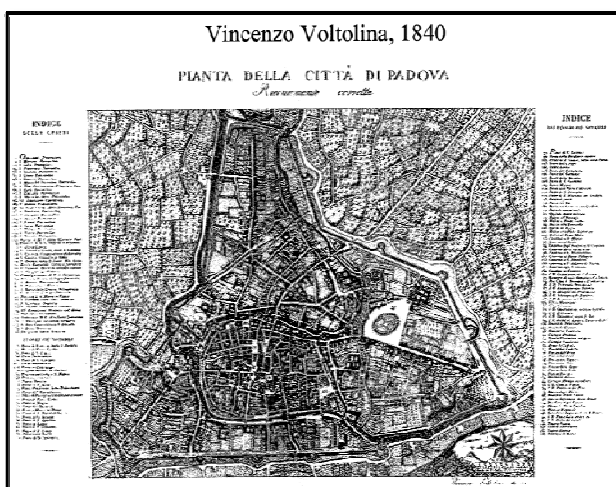
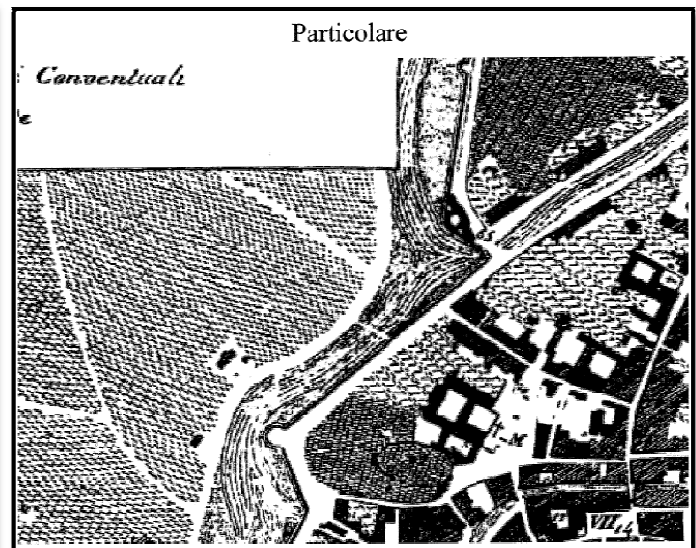


Fig. [1.21 – 1.22] Padova, Vincenzo Volotina, 1840.



Catasti dall'inizio del XIX secolo ai giorni nostri:



Fig. [1.23] Catasto Napoleonico 1811.

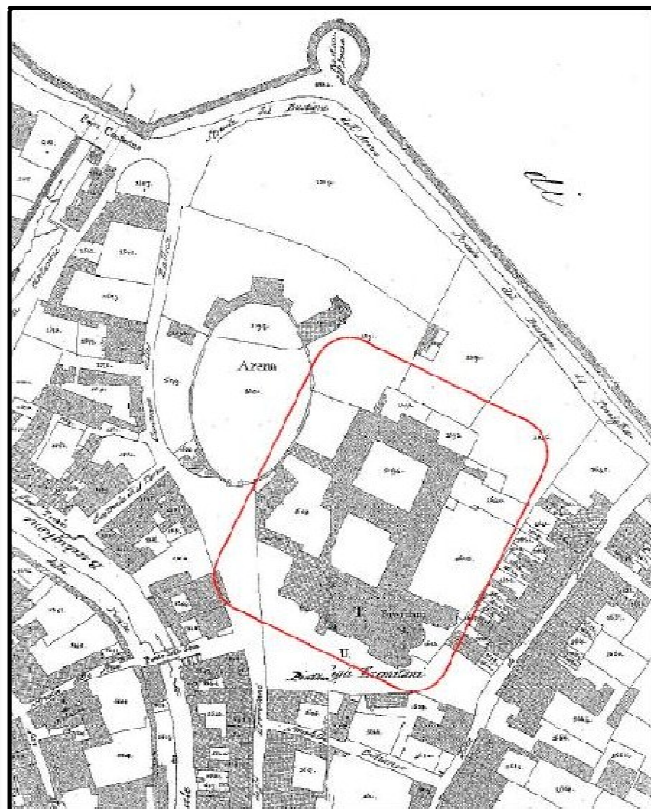


Fig. [1.24] Catasto Austriaco 1838-1846.

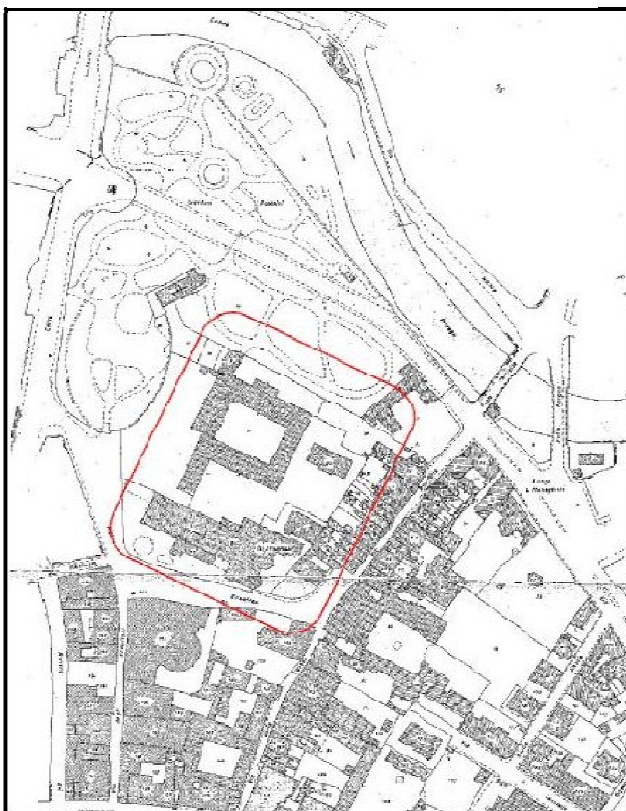


Fig. [1.25] Catasto Austro-Italiano 1811-1889.

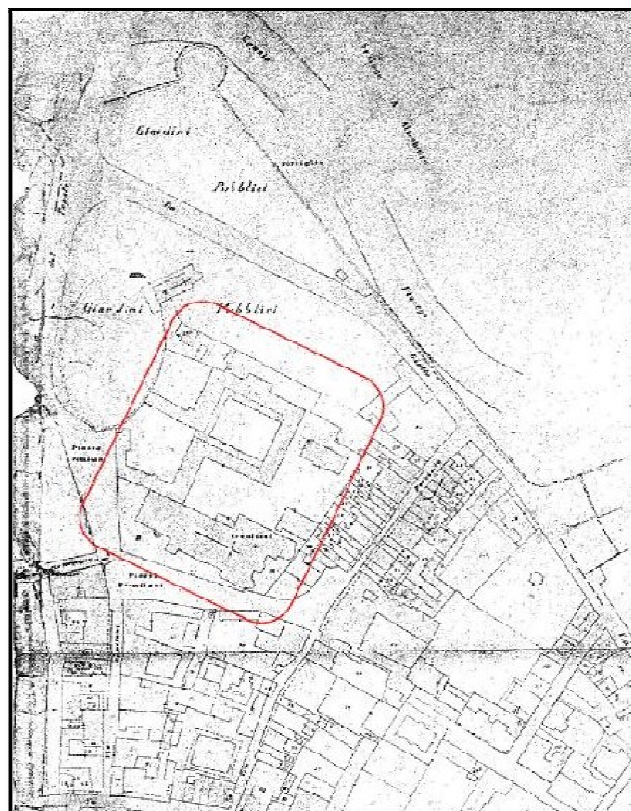


Fig. [1.26] Catasto impianto Italiano 1902.

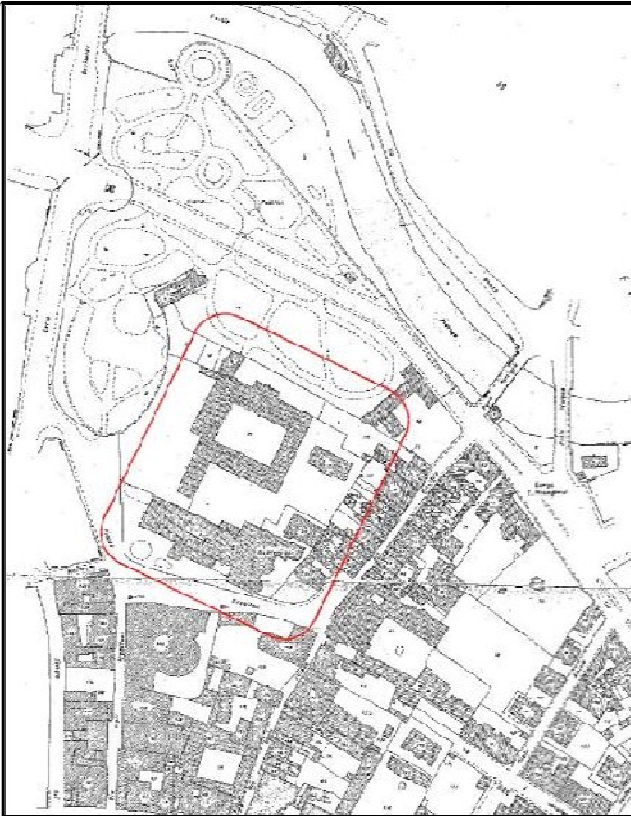


Fig. [1.27] Catasto Italiano 1954.

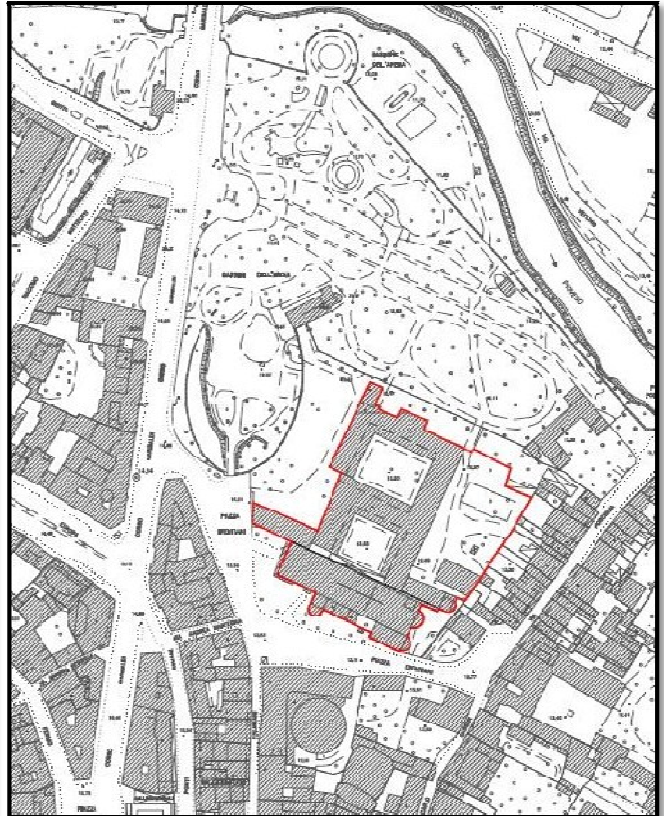


Fig. [1.28] Complesso monumentale degli Eremitani.

Mediante l'utilizzo delle mappe catastali riportate qui sopra si è effettuato uno studio dell'evoluzione delle volumetrie individuando le costruzioni, le trasformazioni e le demolizioni apportate al fabbricato negli ultimi due secoli (planimetria e ricostruzione 3D).

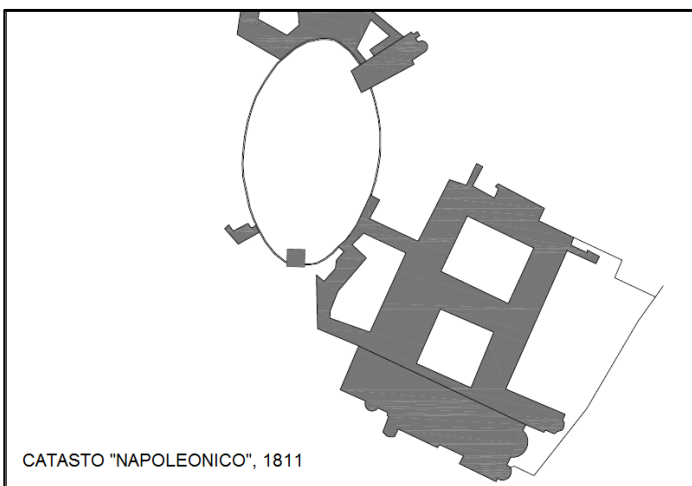
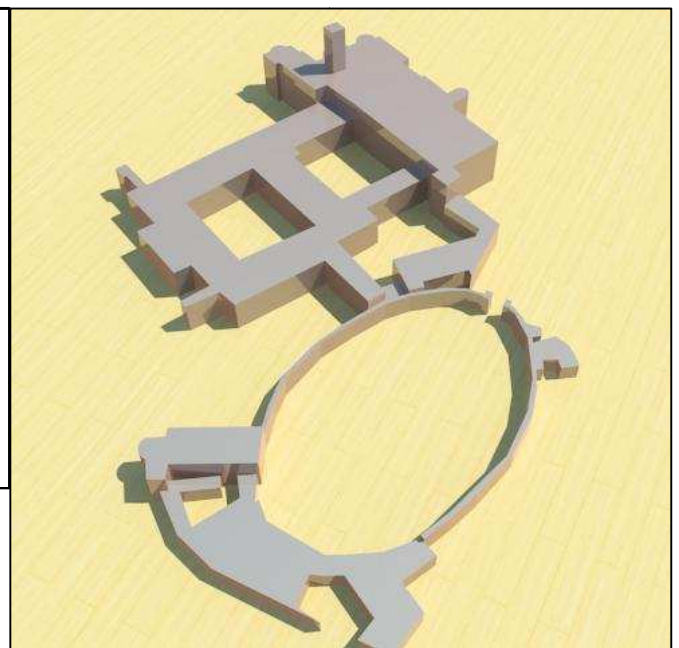


Fig.[1.29 - 1.30] Catasto Napoleonico e ricostruzione 3D.

- LEGENDA
- COSTRUZIONI
 - TRASFORMAZIONI
 - DEMOLIZIONI



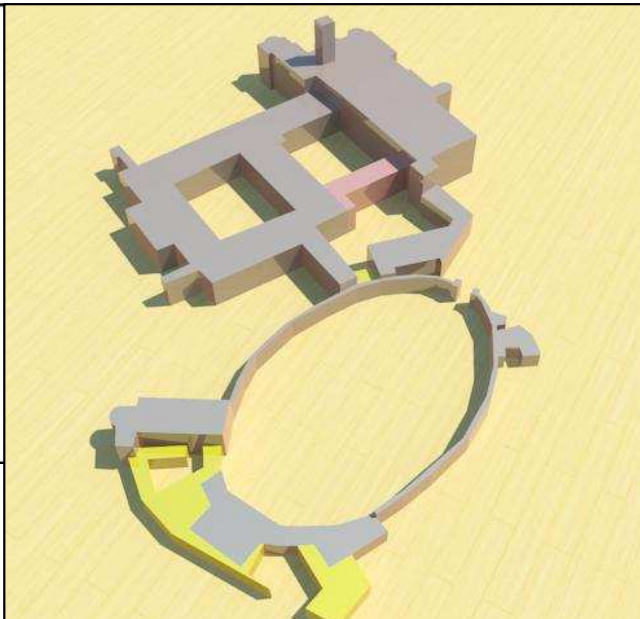
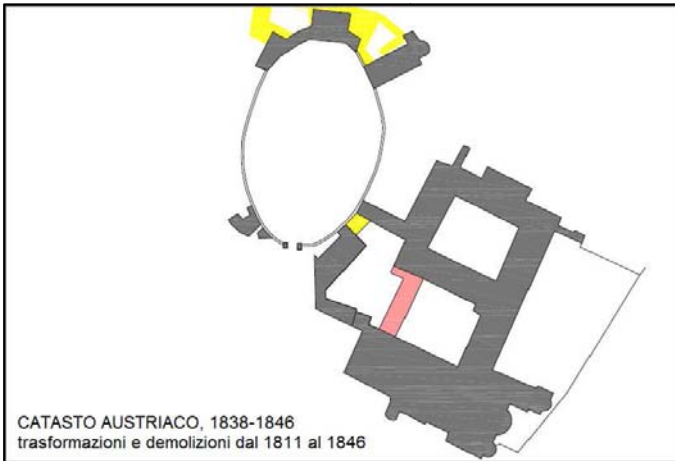


Fig.[1.31 – 1.32] Catasto Austriaco e ricostruzione 3D.

LEGENDA

- COSTRUZIONI
- TRASFORMAZIONI
- DEMOLIZIONI

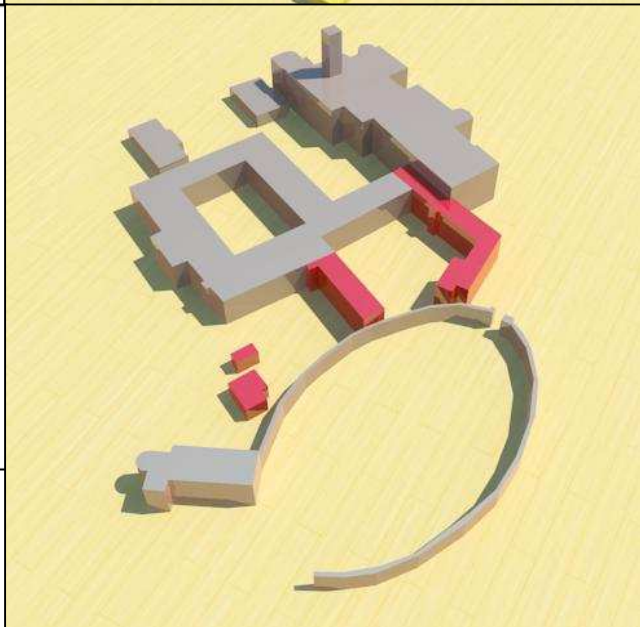
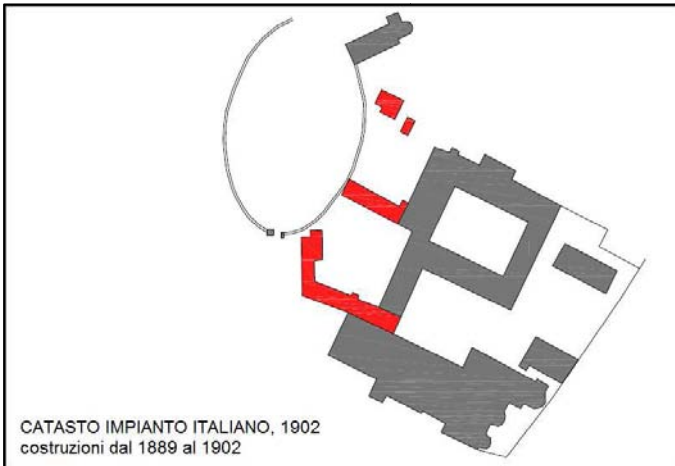


Fig.[1.33 - 1.34] Catasto impianto Italiano e ricostruzione 3D.

LEGENDA

- COSTRUZIONI
- TRASFORMAZIONI
- DEMOLIZIONI

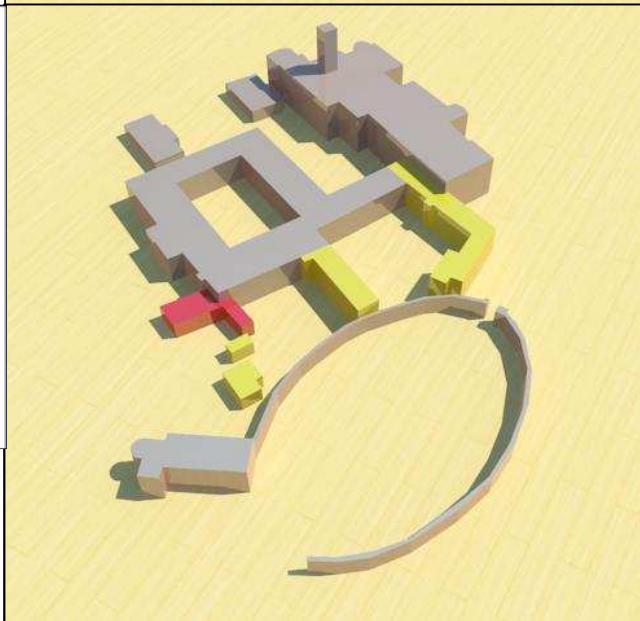
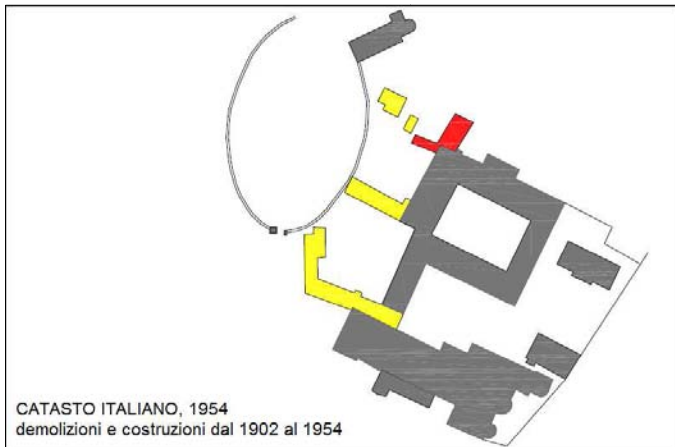


Fig.[1.35 – 1.36] Catasto Italiano e ricostruzione 3D.

LEGENDA

- COSTRUZIONI
- TRASFORMAZIONI
- DEMOLIZIONI

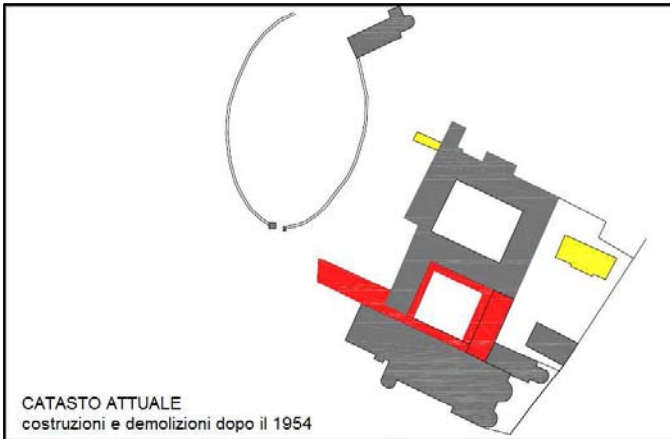


Fig.[1.37- 1.38] Catasto attuale e ricostruzione 3D.

LEGENDA

- COSTRUZIONI
- TRASFORMAZIONI
- DEMOLIZIONI

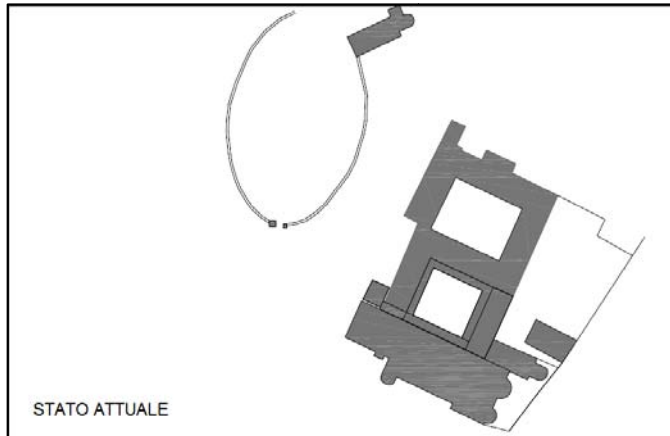
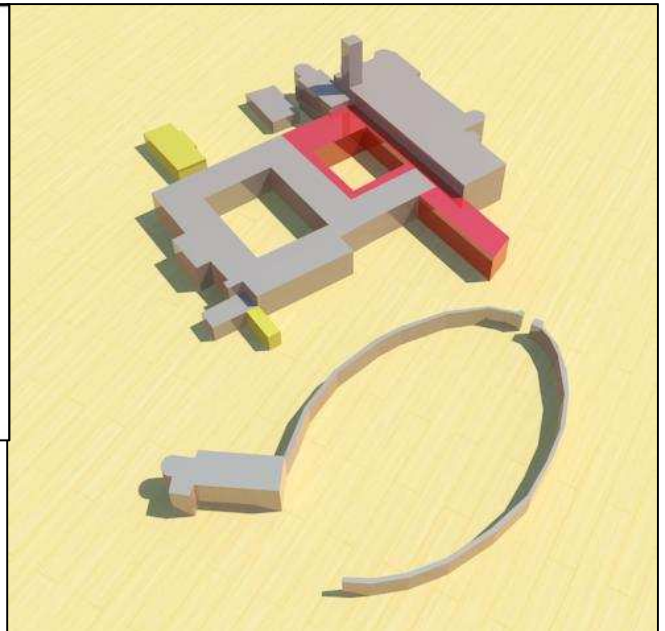
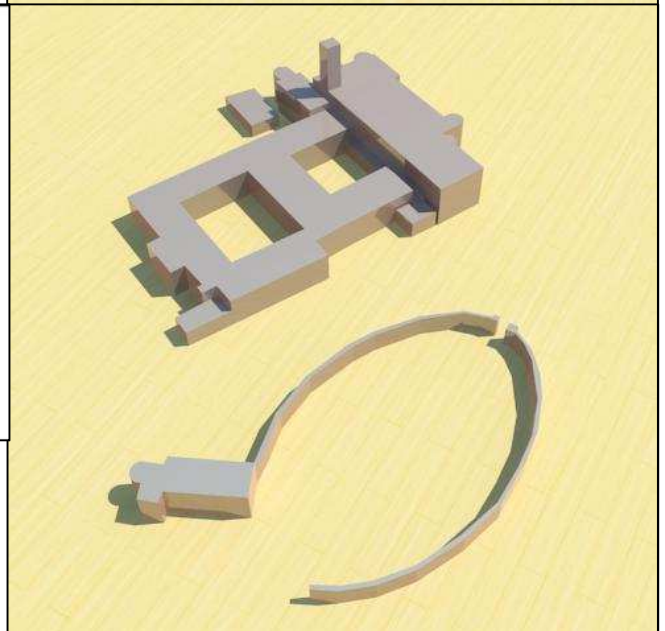


Fig.[1.39 – 1.40] Stato attuale e ricostruzione 3D.

LEGENDA

- COSTRUZIONI
- TRASFORMAZIONI
- DEMOLIZIONI



Il Monastero espletò la sua opera fino a quando nel 1806 non venne soppresso per decreto napoleonico e nonostante nel 1808 la Chiesa fosse stata riaperta i frati non tornarono più. Il complesso che faceva parte della demanializzazione di Napoleone che lo aveva trasformato in caserma, divenne sede del Distretto militare, centro di smistamento, e in quanto tale divenne obiettivo di guerra.

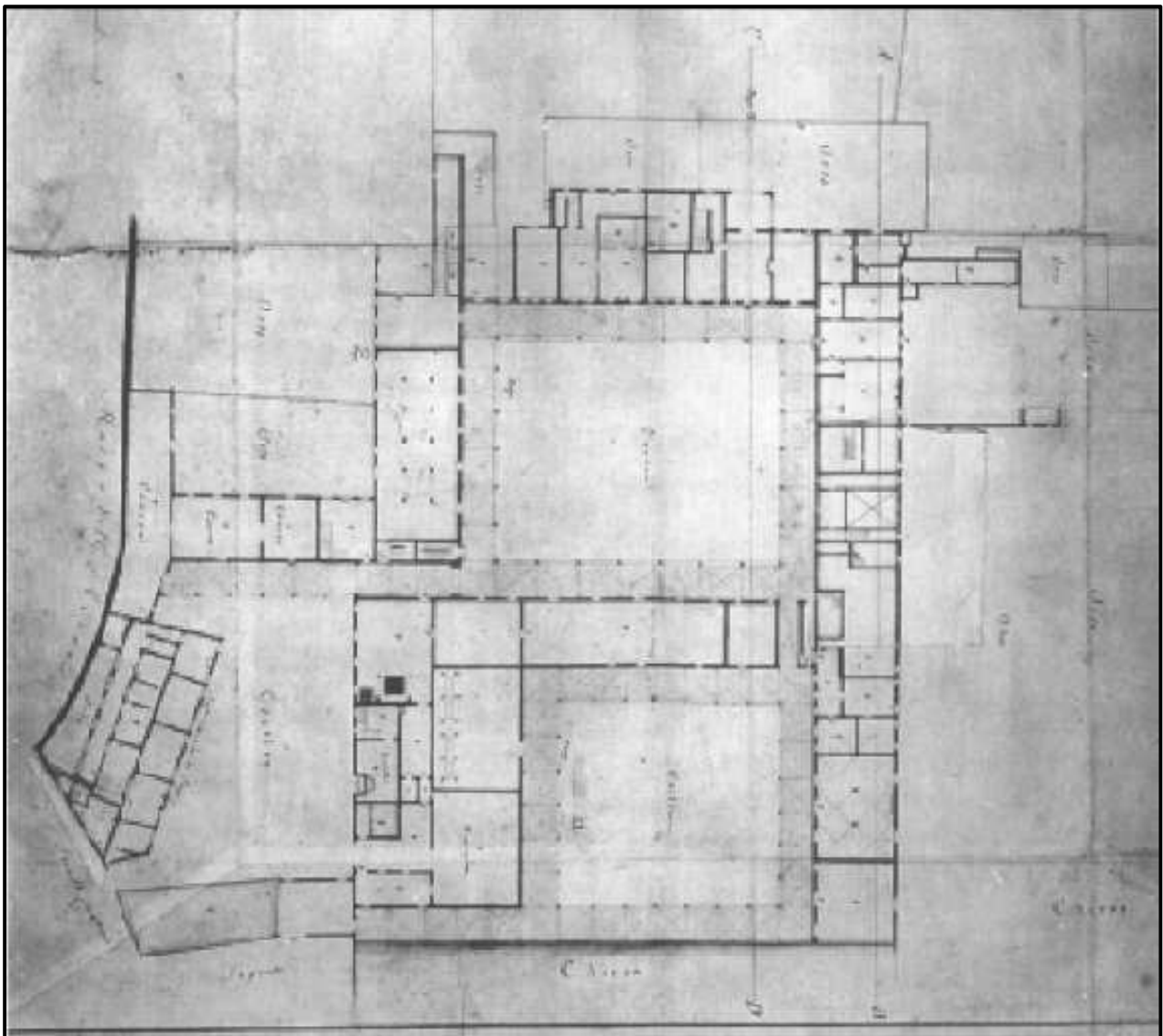


Fig [1.41] Pianta della Caserma agli Eremitani, piano terreno, 1803

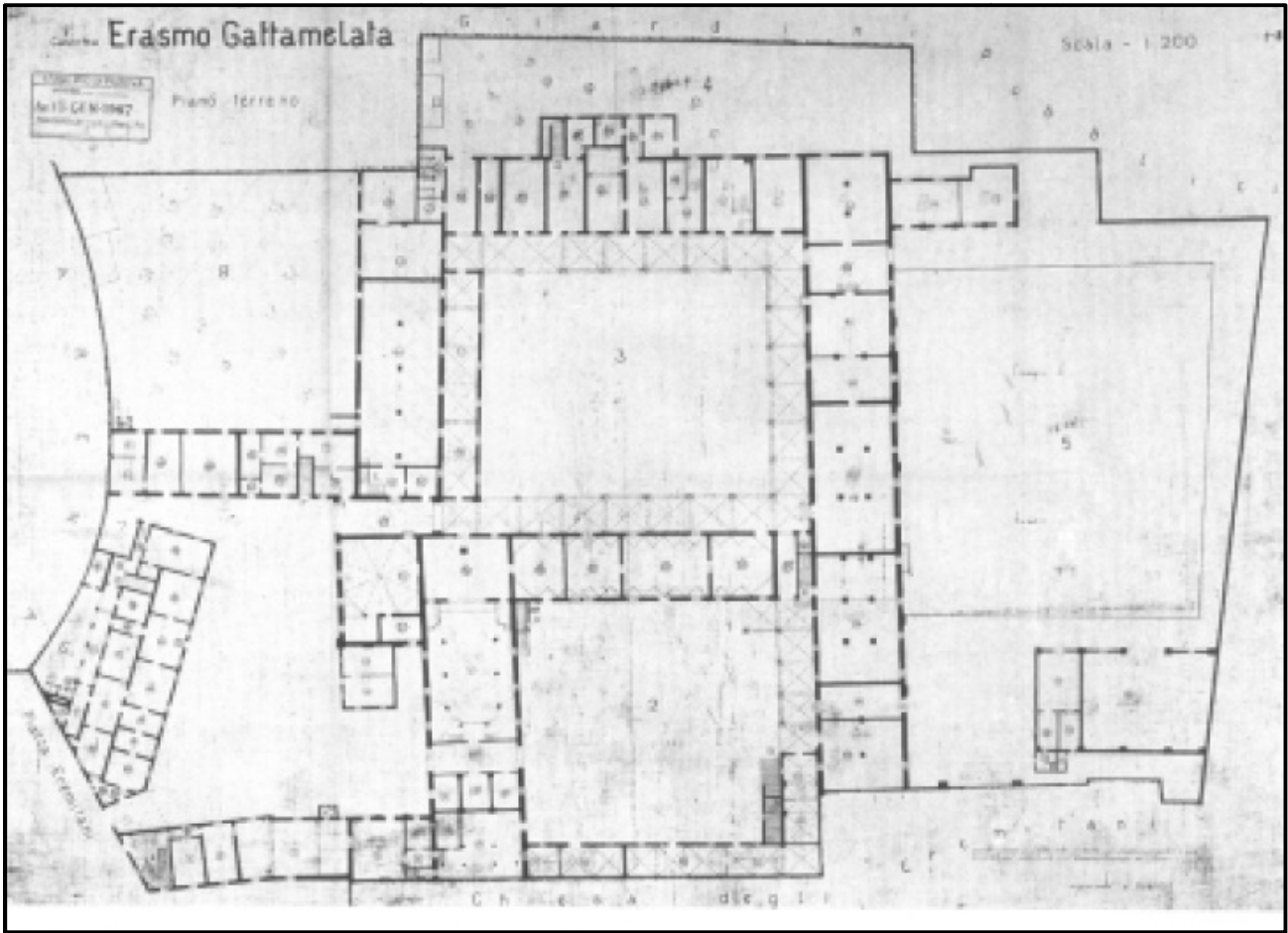


Fig.[1.42] Rilievo del piano terra dell ex Convento degli Eremitani, 1937

L'11 marzo del 1944 un bombardamento raggiunse il complesso che ospitava il distretto militare; la cappella Ovetari e parte dell'Abside della Chiesa degli Eremitani vennero completamente distrutte e con esse gran parte dei preziosi affreschi di Andrea Mantegna e Guariento.

Dei due chiostri del convento è distrutto quasi completamente il braccio orientale e il portico del chiostro minore. Col



Fig. [1.43] Vista della navata della chiesa degli Eremitani dopo il bombardamento

dopoguerra vennero demoliti i fabbricati a nord ovest del convento interessato da una ristrutturazione ad opera del Genio militare. Verso est nello spazio occupato dagli orti dei

frati era stato costruita una palazzina di abitazione poi demolita. Nel convento si costruì una fitta partizione in alloggi in linea serviti da vani scale inseriti agli incroci e alla metà dei bracci superstiti.

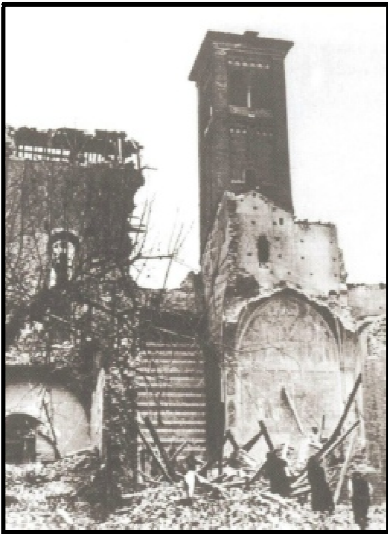


Fig.[1.44] Vista del chiostro dopo il bombardamento

Si era invece demolita, per rendere visibile il muro dell'arena, l'ala su Piazza Eremitani che pure rifatta nell'800, è documentata esistente anche prima della modifica subita dalla facciata della chiesa ad opera di Frà Giovanni Eremitani. Sulla fine degli anni '30 si verificò la necessità di trasferire in una nuova sede più ampia il Museo Civico sistemato prima del 1880 da Camillo Boito e dai Maestri nel chiostro del Convento di Sant'Antonio. Prima dell'ultima guerra già alcuni progetti del PRG indicavano il nuovo Museo nella zona tra l'Arena e la Chiesa degli Eremitani, allora occupata dal distretto militare. Il problema fu seriamente affrontato nel 1950

quando i nuovi concetti espositivi costrinsero a lasciare nei depositi dopo i molti incrementi di opere donate. Altre sedi erano state pensate quali il vecchio ospedale il Castello ma non utilizzabili perché già utilizzati per altre strutture (ospedale il primo, carcere il secondo). Prevalse la vecchia idea del Selvatico di collocare tra "Giotto e Mantegna".



Fig.[1.45] Il complesso degli Eremitani negli anni Cinquanta. Da sinistra a destra: La Cappella degli Scrovegni ed il muro dell'Arena, i chiostri dell'ex convento ed i fabbricati adiacenti che verranno demoliti, compreso l'edificio neogotico su piazza degli Eremitani, la chiesa degli Eremitani.

Il disastroso bombardamento del 1944 e le conseguenti distruzioni, convinsero ad allontanare il distretto militare dal convento. Fu così che dopo lunghe trattative il Comune riuscì ad avere l'uso della Caserma Gattamelata. In quegli anni si pensava a progettare un nuovo complesso edilizio per il museo sull'area dei chiostri ma dopo il 1965 maturò l'idea di conservare e ripristinare i chiostri e l'anno successivo venne indetto un concorso per la nuova sede della pinacoteca con la consulenza dall'architetto Franco Albini. La soluzione architettonica più idonea fu ricercata con un bando nazionale di idee; furono però ammessi alcuni suggerimenti concordati con la Soprintendenza che furono accolti da tutti i concorrenti.

Con gli accordi presi con la Soprintendenza il convento, pur modificato, doveva essere conservato e ripristinato. L'idea fondamentale era quella di destinare l'ex convento in restauro a sede delle collezioni archeologiche e nell'area compresa tra i chiostri e le schiere di case di via Porciglia (7400 mq) realizzare la Pinacoteca. Vinse il progetto avveniristico di Maurizio Sacripanti (...un gran corpo di cristallo a struttura metallica composto da dieci ponti liberi...) che però risultava troppo radicale. Dopo una vivace campagna stampa che aveva difeso le case su Via Porciglia che vennero vincolate dalla Soprintendenza, il Comune affida l'incarico del progetto a Franco Albini.

Nel 1969 venne avviato il progetto Albini, Helg e Piva che contemplava la conservazione del chiostro maggiore, il riuso delle case di via Porciglia e del palazzetto ex OMNI, nuove architetture a ricucire il tutto: di fatto una nuova pinacoteca tra chiostro maggiore e case medievali, il chiostro minore ricostruito, un nuovo edificio d'accesso al museo a quinta laterale della chiesa, recuperando tutto il recuperabile.

La Soprintendenza era già intervenuta con fondi ministeriali al restauro del Chiostro Maggiore ricostruendo la loggia e il quadriportico crollato con il bombardamento. Albini recuperò, dove c'erano, i locali originari; per il resto del convento, trasformato in appartamenti, si recuperarono sulla



Fig.[1.46] F. Albini, F.Helg, A. Piva, progetto del museo civico di Padova, planimetria generale.

base dei rilievi i locali originari, rifacendo i solai con strutture in ferro rette da colonne pure in ferro. I fori delle porte e delle finestre furono riadattati dove possibile agli originari. Il chiostro minore fu ricostruito con una struttura metallica caratterizzata da grandi travoni e colonne binate centrali.



Fig. [1.47] Chiostro minore ricostruito.



Fig. [1.48] Parte centrale della sala al piano primo tra i due chiostri.



18 Fig. [1.49] Sala al piano terra del braccio orientale del chiostro maggiore.

In questo progetto le soluzioni di ristrutturazione e di ricostruzione sono connesse, forse conseguenti, a quelle delle nuove architetture del complesso. La stessa soluzione “a ponte” adottata per il nuovo chiostro, in una delle prime soluzioni, dà forma alla passerella coperta tra il chiostro maggiore e la nuova pinacoteca, il vero e proprio “fulcro del progetto”. Ce lo indica un disegno di studio che contiene anche la suggestione della figura quasi ecclesiale del prospetto sud delle nuove gallerie della pinacoteca con il corpo scale completamente esterno in un prisma ottagonale in cemento. Dietro quel prospetto sono già fissati i dispositivi di pianta e sezione che resteranno costanti tra enormi variazioni planimetriche. Il congegno della pinacoteca è conseguente al progetto museografico che riprende l'idea, già embrionalmente proposta da Albini tre anni prima, di formare un doppio ordine di gallerie: “nella galleria principale ci sarebbe modo di esporre i capolavori, nella galleria secondaria il rimanente materiale già considerato nell'elenco delle opere da esporre e la parte più rappresentativa delle tele e sculture attualmente destinate al deposito.” Gerarchie ed economie di percorso, massima disponibilità di pareti espositive sono problemi risolti secondo lo schema quasi “industriale” a corpi

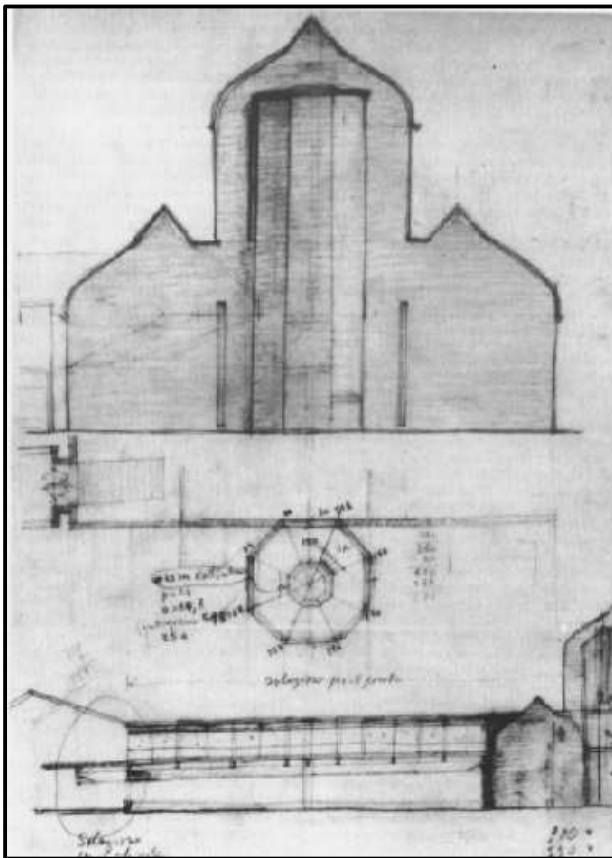


Fig.[1.50] F. Albini, F.Helg, A. Piva, studio per il fronte della nuova pinacoteca del Museo Civico di Padova.

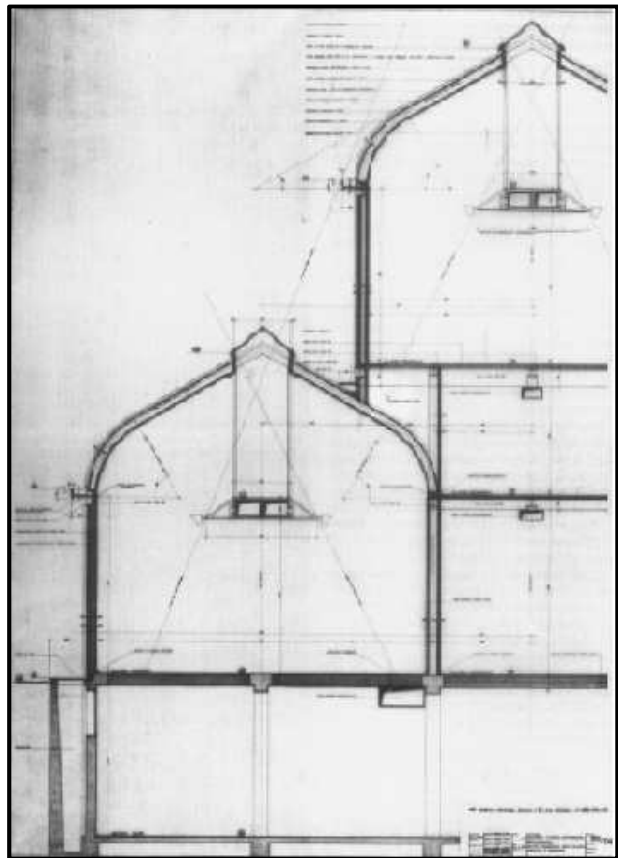


Fig.[1.51] F. Albini, F.Helg, A. Piva, progetto della nuova pinacoteca del Museo Civico di Padova, sezione di una porzione delle gallerie principali e secondarie.

multipli che appartiene agli inizi della letteratura tecnica dei musei piuttosto che ad una tipologia distillata dalle realizzazioni. Da soluzioni da manuale parte anche la definizione della sezione guida “progettata sviluppando uno schema teorico dell’optimum di illuminazione naturale dei dipinti.” Seguendo un’economia di materia in un metodo tipico del disegno industriale, il progetto migliora il dispositivo più avanzato sul problema dell’illuminazione naturale zenitale che mantiene la sorgente fuori dal campo visuale dello spettatore. Il dispositivo di Moya consente di sovrapporre due ordini di gallerie usufruendo delle pareti esterne superiori come schermo riflettente. Perciò l’orientamento planimetrico approssimativamente nord-sud del fabbricato longitudinale ad elementi impilati consente un’illuminazione naturale indiretta delle pareti espositive quasi equivalente sui due lati.

Rifiutato il primo schema planimetrico e decisa da Soprintendenza e Consiglio Superiore la conservazione integrale della schiera di case di origine trecentesca lungo via Porciglia, la nuova pinacoteca deve misurarsi nell’invaso tra case ed ex convento. Le due varianti conclusive collocano la pinacoteca sull’area della demolita palazzina ufficiali, dove previsto dal progetto Sacripanti. La prima riarticola la nuova pinacoteca in sette gallerie parallele principali, quattro al piano terra e tre al primo piano. La seconda e definitiva, in seguito alle indicazioni del Consiglio Superiore delle Antichità e Belle Arti, riduce a cinque le gallerie principali allineandone le testate e aumentando il distacco dalla schiera di casette. L’inserimento di questo nuovo oggetto assesta l’impianto in una chiara distinzione e marginatura tra gli invasi interni al complesso museale ed il giardino pubblico. Le connessioni della pinacoteca al chiostro maggiore ed al palazzetto dell’ex ONMI sono ottenute con la ripetizione dei corpi prismatici in cemento a vista delle scale ottagonali usati proprio come “cerniere”. Il progetto procede nel senso di una chiarezza meccanica basandosi sul montaggio di una piccola gamma di componenti iterate e sembra ricondurre la serialità del progetto

Sacripanti a quello che i detrattori del “progetto Albini” chiameranno un “museo di vecchio tipo”. Un “vecchio tipo” certo ma trasfigurato in oggetto ambiguo, un prototipo di alto artigianato industriale secondo una meditata ed essenziale precisazione tecnologica. Il corpo delle gallerie è costituito da una sequenza longitudinale di telai in acciaio che all’esterno scandiscono la parete rivestita in pietra di Nanto e la copertura in rame. Il rapporto tra intelaiatura portante e muratura, le sottili allusioni figurali

giocate nel rapporto con le tradizioni tecniche sono ancora descrivibili secondo quei caratteri tipici di quello che Tafuri chiama il “design en plein air” di Albini ed Helg.

Queste qualità oggettuali sono anche nella prima versione dell’edificio d’ingresso al museo (mostre temporanee e sala convegni) sul lato sinistro del sagrato della chiesa degli Eremitani. Il nuovo “corpo avanzato” redatto in esecutivo nei primi giorni del ‘70 dà “un comodo e urbanisticamente esatto ingresso a tutto il museo nel punto dove era la porta trecentesca, anzi duecentesca del convento” senza ricorrere ad una vera e propria “facciata”. Il volume edilizio in pietra di Nanto è scandito dall’affiorare dei montanti metallici, articolato dall’elevazione di una testata che varia una semicampata delle gallerie della pinacoteca affacciando ad est un lucernario per la sala conferenze. E’ scavato da una scala esterna che sale lungo il lato del sagrato coprendo l’ingresso e colmando la distanza tra la nuova parete del primo piano ed il muro della chiesa.

L’intento è quello di ricostruire il volume dell’edificio neogotico sorto sullo stesso tracciato di edifici conventuali precedenti; ma si limita (il P.R.G. consentirebbe la ricostruzione completa) ad un’occupazione parziale del vecchio sedime seguendo il tracciato del corpo previsto dal progetto comunale di restauro del 1966. Il nuovo corpo edilizio risolve evidentemente funzioni segnaletiche e prospettiche (anzi pienamente museografiche). “La facciata della chiesa”, dice Franca Helg, “disegnata per uno spazio minimo perde il proprio carattere ed i valori di dettaglio se lo spazio si allarga senza il riparo di alcuna quinta fino a fondere la chiesa con la modesta architettura del complesso monastico adiacente.” Le ragioni del “corpo avanzato” e della nuova pinacoteca di Albini, Helg e Piva non riusciranno a prevalere in una vicenda che vedrà esaurirsi ogni possibilità di realizzazione del progetto. La mancata realizzazione dell’ “avancorpo” sarebbe propriamente un’altra storia che non riguarda solo i problemi di ristrutturazione ma lo stesso riconoscimento collettivo ed istituzionale dell’architettura attuale come nuova tradizione nella città storica. Mentre precise ragioni filologiche esigono la ricostruzione dell’ “avancorpo” si sollevano argomenti avversi al “progetto Albini” ricostruibili solo nella trama aneddotica delle proteste della cosiddetta “opinione pubblica” e delle critiche di alcuni professionisti locali contro i “maestri foresti”. L’essenziale del dibattito è scandito sostanzialmente dalle valutazioni e decisioni degli organi ministeriali di tutela, la Soprintendenza ai Monumenti ed il Consiglio Superiore delle Antichità e Belle Arti. Prima che si contestasse il progetto nella seduta del 13 aprile 1970 del Consiglio Comunale, già a gennaio per il

Soprintendente Renato Padoan “il nuovo volume accanto alla chiesa degli Eremitani (...) deve venir ridimensionato e riveduto nella forma architettonica.”

Il Consiglio Superiore delle Antichità e Belle Arti precisa l'appunto “...suggerendo una revisione del corpo di fabbrica avanzato (...) in modo da trasformare il suo sviluppo volumetrico in sviluppo di superficie che si connetta direttamente alla facciata [della chiesa].” Ridimensionando il progetto nel fronte lungo il sagrato Albin, Helg e Piva sviluppano inizialmente due serie di varianti - una con corpo a



Fig.[1.52] F. Albin, F.Helg, A. Piva, nuovo “corpo avanzato” realizzato negli anni '70 e demolito a fine degli anni '80.

pianta trapezoidale completamente rivestito in pietra di Nanto ed una a pianta rettangolare con finestratura in testata cercando di appaesare” il piccolo edificio con copertura a falde mantenendo la scelta dei materiali e l'idea della scala lungo il sagrato. Ma non si approderà all'esecuzione nemmeno dopo l'approvazione del Consiglio Superiore delle Antichità e Belle Arti di una soluzione “opportunamente ridotta” a cui segue una vicenda di estenuate varianti dell' “avancorpo”. Negli anni '80 l'opposizione più viscerale è quella della Soprintendente Gabrielli Pross che non solo impedisce la realizzazione del corpo d'accesso ma vuole ottenere lo smontaggio del nuovo chiostro minore. Si apre dunque un conflitto tra la Soprintendente ed il Consiglio Superiore che chiede addirittura la ricomposizione completa del margine edilizio del sagrato fino al muro dell'Arena come testimoniato dalla pianta del Valle. Finché al dibattito si sovrappone un finale tragicomico in chiave giudiziaria: il 28 dicembre '87 viene letta la sentenza in cui si dichiara “abusivo l'avancorpo degli Eremitani” e l'ingiunzione di abbattimento di quanto posto in opera verrà revocata solo in appello. Con l'effettivo “smontaggio” di quella struttura (questa volta richiesto dall'Amministrazione Comunale) si realizza recentemente la parte sostanziale del progetto della Soprintendente Gabrielli Pross.

1.1.1 - RILIEVO FOTOGRAFICO ESEGUITO NEGLI ANNI '60.

In questo paragrafo viene mostrato un rilievo fotografico eseguito negli anni precedenti al restauro dei Chiostri degli Eremitani ad opera di Albini, Helg e Piva apportato negli anni '70. Questo documento è stato ritrovato negli archivi comunali di Padova e consiste in immagini riguardanti soprattutto le facciate interne dei due Chiostri. Queste immagini consistono in un prezioso contributo per una corretta lettura dello stato attuale dell'edificio. Infatti ai fini di una corretta individuazione del sistema resistente è importante la ricostruzione della storia costruttiva del bene tutelato, ossia del processo di costruzione e delle successive modificazioni nel tempo del manufatto.

Nel capitolo 5 questo rilievo verrà utilizzato per individuare la successione realizzativa delle diverse porzioni di fabbrica, al fine di individuare le zone di possibile discontinuità e disomogeneità materiale, sia in pianta che in alzato (corpi aggiunti, sopraelevazioni, sostituzioni di orizzontamenti, ecc).

Nelle pagine seguenti viene riportato il rilievo:



Fig.[1.53] Vista della facciata Ovest del Chiostro Maggiore.



Fig.[1.54] Vista della porzione destra della facciata Nord del Chiostro Maggiore.



Fig.[1.55] Vista della facciata Est del Chiostro Maggiore.



Fig.[1.56] Vista della porzione sinistra della facciata Sud del Chiostro Maggiore.



Fig.[1.57] Vista della porzione centrale della facciata Sud del Chiostro Maggiore.



Fig.[1.58] Vista della porzione destra della facciata Sud del Chiostro Maggiore.



Fig.[1.59] Vista della porzione sinistra della facciata Ovest del Chiostro Minore.



Fig.[1.60] Vista della porzione destra della facciata Ovest del Chiostro Minore.



Fig.[1.61] Vista della porzione sinistra della facciata Nord del Chiostro Minore.



Fig.[1.62] Vista della porzione centrale della facciata Nord del Chiostro Minore.



Fig.[1.63] Vista della porzione destra della facciata Nord del Chiostro Minore.



Fig.[1.64] Vista della porzione destra della facciata Ovest dei Chiostri.



Fig.[1.65] Vista da Sud con l'edificio neogotico su piazza degli Eremitani e la chiesa degli Eremitani.

1.2 – IL CONTESTO URBANISTICO DEI CHIOSTRI DEGLI EREMITANI

Il “Complesso Eremitani” si colloca a nord del centro storico della città di Padova in un sito facilmente accessibile in quanto punto d’ incontro delle principali arterie di collegamento viario della città. L’ immediata vicinanza della Cappella degli Scrovegni affrescata da Giotto, la recentissima ricostruzione degli affreschi del Mantegna nella Cappella Ovetari andati perduti durante la Seconda Guerra Mondiale e la sede dei musei civici all’interno dei chiostri rendono il sito meta di turismo.



Fig. [1.66] Vista satellitare della città di Padova con evidenziato il “Complesso Eremitani”.

La chiesa, iniziata nelle forme attuali nel 1276 su precedenti antichissime strutture, è dedicata ai Santi Filippo e Giacomo, ma è tradizionalmente conosciuta come degli Eremitani in quanto l'annesso convento con foresteria, che oggi ospita il Museo Civico agli Eremitani, era meta dei pellegrini di passaggio. Sul fianco della facciata rimangono le tracce della porta d'accesso all'area conventuale, con i segni della campanella di richiamo. L'originale copertura lignea (1306) è attribuita a frate Giovanni degli Eremitani, monaco del convento noto per aver realizzato la grande copertura del Palazzo della Ragione. La chiesa è un tipico esempio di edificio dell'ordine Agostiniano: un'unica grande aula (detta anche a granaio) adatta alla predicazione. Francescano è l'impianto architettonico,

per la semplicità dovuta principalmente al contenimento dei costi di costruzione, ma non mancano accenni gotici. L'edificio, pur avendo subito alcuni cambiamenti nei secoli XIV e XVII e, più recentemente, durante la seconda guerra mondiale, conserva ancora il fascino delle chiese conventuali trecentesche. La facciata, del 1360, si presenta divisa



Fig. [1.67] Chiesa degli Eremitani.

orizzontalmente in due parti: una inferiore in pietra, con portale al centro e quattro archi ciechi ai lati (un particolare tipico dell'architettura padovana del tempo e che serviva per predicare ai fedeli riuniti nel sagrato); una superiore in cotto, di impronta tardo-romantica, con lesene ad archi, un bel rosone centrale e un fastigio ornato da archetti pensili.

Ad ovest dei chiostri verso via Garibaldi si trova l'antico teatro romano di Padova si trova a ovest dei chiostri, volgarmente detto arena perché vi si spargeva la sabbia o arena e perché vi avvenivano i combattimenti dei gladiatori, è circondato da un muro ellittico in blocchi di calcare che costituiva la base delle gradinate che delimitavano l'arena.

Edificato a nord della città intorno al 70 d.C., in età Caludio-Flavia, somigliava all'arena di Nimes e per dimensioni non era di certo inferiore all'Arena di Verona; questo dimostra l'eccezionale floridezza economica di Padova in quel tempo. Giostre e tornei qui allietavano i cittadini al tempo dei re barbari Alarico, Attila, Agilulfo. Se nel Medioevo il teatro non fosse stato demolito e sfruttato



Fig. [1.68] Immagine aerea del teatro romano.

come cava di pietra, anche oggi Padova avrebbe la sua arena. Nel

XIV secolo l'area fu acquistata dalla ricca famiglia degli Scrovegni che vi fece costruire il suo palazzo (demolito nel 1803) e la celebre Cappella. All'ingresso dei Giardini dell'Arena, il monumento in marmo a Giuseppe Garibaldi (opera di Ambrogio Borghi, 1866), che

precedentemente si trovava in piazza Garibaldi; di fronte al monumento il cinquecentesco Palazzo Cavalli, sede del Museo geologico e dell'Istituto di geologia; poco più avanti, il Nuovo museo di Palazzo Zuckermann.

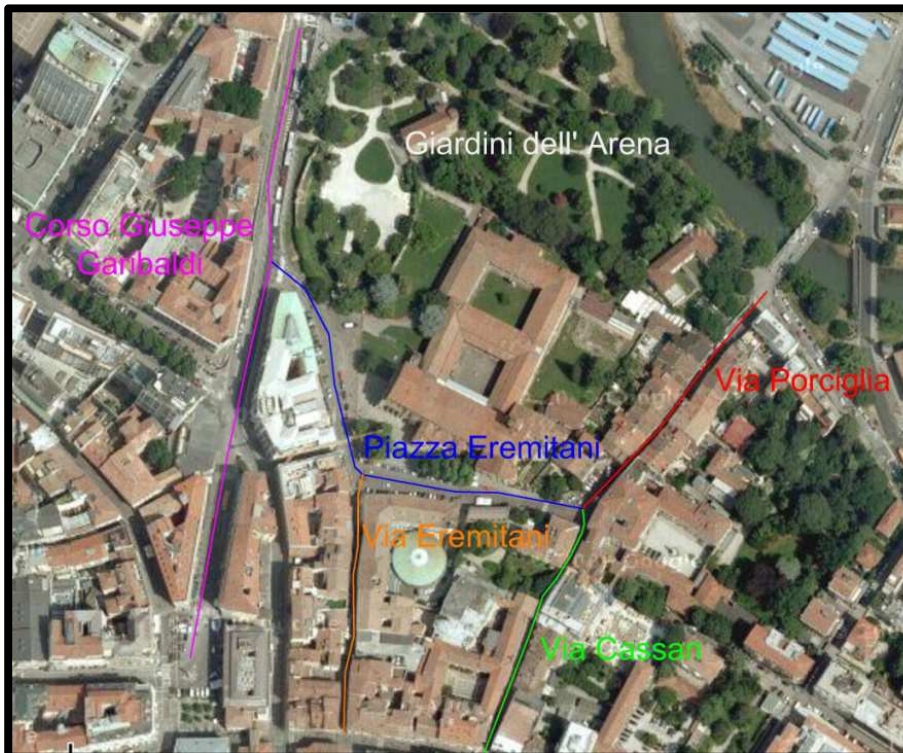


Fig. [1.69] Vista delle principali vie nella zona dei chiostri.

A Nord-Ovest dei chiostri si trova la famosa Cappella degli Scrovegni. Non sono molti i dati documentari finora reperiti sulla Cappella. È noto l'atto di acquisto (6 febbraio 1300) del terreno, comprendente i resti dell'antica arena romana, su cui venne edificata; di conseguenza, conosciamo il nome del proprietario: Enrico Scrovegni. Tuttavia, non esiste alcuna testimonianza che riguardi direttamente la costruzione e la decorazione del monumento, il tempo in cui furono eseguite, l'autore (o gli autori), di esse.

Agevolato forse dal bisogno di liquidità dell'acquirente, Enrico Scrovegni acquista da Manfredo Dalesmanini l'intera Arena, che aveva un grande valore perché comprensiva di un complesso di immobili costituiti da un palazzo con annessi bagni caldi e altri edifici accessori, stalle per cavalli, due torrioni o "dongioni" eretti sulle due porte d'ingresso, rispettivamente verso gli Eremitani e verso il fiume. Da un documento del 1° marzo 1304, un'indulgenza concessa da papa Benedetto XI ai fedeli che avessero visitato la chiesa della Beata Maria Vergine della Carità dell'Arena, si può ragionevolmente desumere che a quella data la Cappella fosse agibile a fini di culto e che pertanto doveva essere stata ultimata almeno nelle sue strutture murarie, mentre l'iscrizione su una lapide ora perduta consentirebbe di fissare la 'dedicazione' dell'edificio al 25 marzo dell'anno precedente

(1303). Al 9 gennaio 1305 risale una vibrata protesta e diffida da parte dei frati agostiniani del vicino monastero degli Eremitani a continuare i lavori in maniera difforme da quanto concesso in origine dal vescovo: gli Eremitani si ritenevano gravemente danneggiati dalla trasformazione di quello che avrebbe dovuto essere un oratorio strettamente privato in una chiesa aperta al pubblico culto e quindi oggettivamente in concorrenza con il loro convento e interpretavano l'erezione di un campanile come l'atto



Fig. [1.70] Cappella degli Scrovegni.

culminante di una subdola manovra. Risulta inoltre che il 16 marzo successivo il Maggior Consiglio di Venezia concesse in prestito a Enrico Scrovegni dei "panni" (si è pensato ad arazzi o a paramenti sacri e tovaglie d'altare) provenienti dalla basilica di San Marco per la consacrazione di "una sua cappella a Padova". Appare del tutto plausibile che la cappella sia quella dell'Arena e, altresì, che la cerimonia abbia avuto luogo in occasione dell'imminente festività dell'Annunciazione (25 marzo), che quell'anno risulta essere stata caratterizzata dallo svolgersi della Sacra Rappresentazione su quel tema nello spiazzo antistante il nuovo edificio.

I Giardini pubblici dell'Arena si trovano a nord dei chiostri, si tratta di un vero esempio di parco pubblico cittadino inserito nel tessuto urbano storico, si estendono per un'area che va da corso Garibaldi a via Porciglia, costeggiando il Tronco Maestro del Bacchiglione che congiunge Brenta e Bacchiglione e che è tuttora navigabile.

Lungo questo lato dei Giardini si erge il Bastione dell'Arena, parte delle mura cittadine. Di fronte al Bastione il vecchio Gasometro e il molo dove arrivavano in città i barconi carichi di carbone.

Si accede ai Giardini sia dalla piazzetta con il monumento di Garibaldi, all'incrocio tra corso del Popolo, via Garibaldi e via Giotto, sia da via Porciglia, nei pressi della stazione delle autocorriere.

All'interno possiamo ammirare i resti dell'Arena, l'antico teatro romano di Padova, edificato intorno al 70 d.C, la Cappella degli Scrovegni, innalzata tra il 1303 e il 1305 e decorata

con gli splendidi affreschi di Giotto e il Complesso degli Eremitani, con il convento, ora sede dei Musei Civici e la Chiesa.

CAPITOLO 2

DESCRIZIONE MORFOLOGICA

2.1 – DESCRIZIONE DELL' ESTERNO DEI CHIOSTRI

Il complesso monastico degli Eremitani con i resti dell'arena romana occupano l'insula nord-est della città entro le mura veneziane in tangenza a corso Garibaldi (l'asse viario aperto nel 1905 che collega il centro alla stazione ferroviaria), sull'area su cui fin dall'inizio del secolo grava il "sogno" di costruire un giardino pubblico a soli 350 metri dal Pedrocchi. "Tra Giotto e Mantegna", tra la cappella degli Scrovegni e la cappella Ovetari è lo slogan con cui da più di un secolo si designa la destinazione del Museo Civico Patavino nella

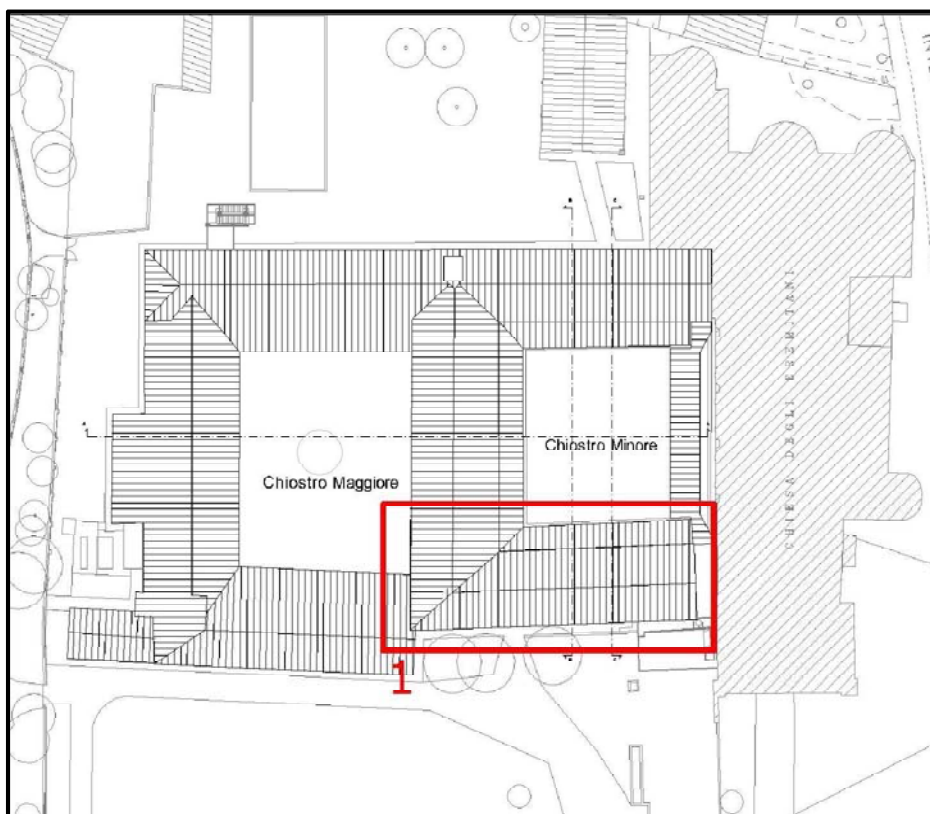


Fig. [2.1] Prospetto principale su piazza eremitani in direzione Ovest, ingresso Museo Civico.

principale area archeologica della città. Il prospetto principale che affaccia su piazza Eremitani si divide in due parti distinte: una, quella accostata alla chiesa (**Fig.[2.1]**) ha paramento in mattoni faccia a vista, è composta da 3 archi di entrata, quello centrale è l'ingresso vero e proprio ai Musei Civici, quello di sinistra porta all' interno del Chiostro maggiore. Il prospetto risulta interrotto da fasce di mattoni che denotano la presenza di



Fig.[2.2] Vista del prospetto Ovest con l'entrata al locale bar.

edifici che un tempo erano addossati al chiostro e successivamente demoliti. Il cornicione è composto da mattoni rivestiti da intonaco pitturato di color beige. Nella parte destra si trova il "cubo" in legno dove all'interno è collocata la rampa di scale che permettono di accedere al locale interrato dove si trova la sala multimediale dei musei.



Fig.[2.3] Vista del prospetto Ovest, nel particolare l'ingresso ai Musei Civici.



Fig.[2.4] Vista del prospetto Ovest, nel particolare l'entrata al Chiostro Maggiore.

Il secondo prospetto (**Fig.[2.5]**) si trova a nord rispetto al primo ed ha un'inclinazione diversa. Al contrario del primo è intonacato e ha pittura di color beige, presenta un cornicione in mattoni che in questo caso è lasciato a vista.



Fig.[2.5] Prospetto principale che si affaccia sul teatro romano in direzione Ovest.

La serie di aperture su tre piani che scandiscono la facciata sono protette da un vistoso sistema di schermatura del sole. Ancora più a nord allineato al prospetto precedente la facciata continua senza cornicione e le finestre si trovano solamente su due piani e anche esse hanno il medesimo sistema di schermatura del sole. Si trova anche un'apertura ad arco che conduce, dopo un locale di passaggio, al chiostro maggiore. Spostandoci ancora più a nord si trova un edificio che poco ha da spartire con il resto del prospetto, ha una elevazione di un solo piano fuori terra e presenta due aperture, al suo interno si trovano locali di servizio.



Fig.[2.6] Vista da sud del prospetto Ovest.



Fig.[2.7] Vista da nord del prospetto Ovest.



Fig.[2.8] Prospetto Ovest, edificio ad un piano fuori terra, locali di servizio.

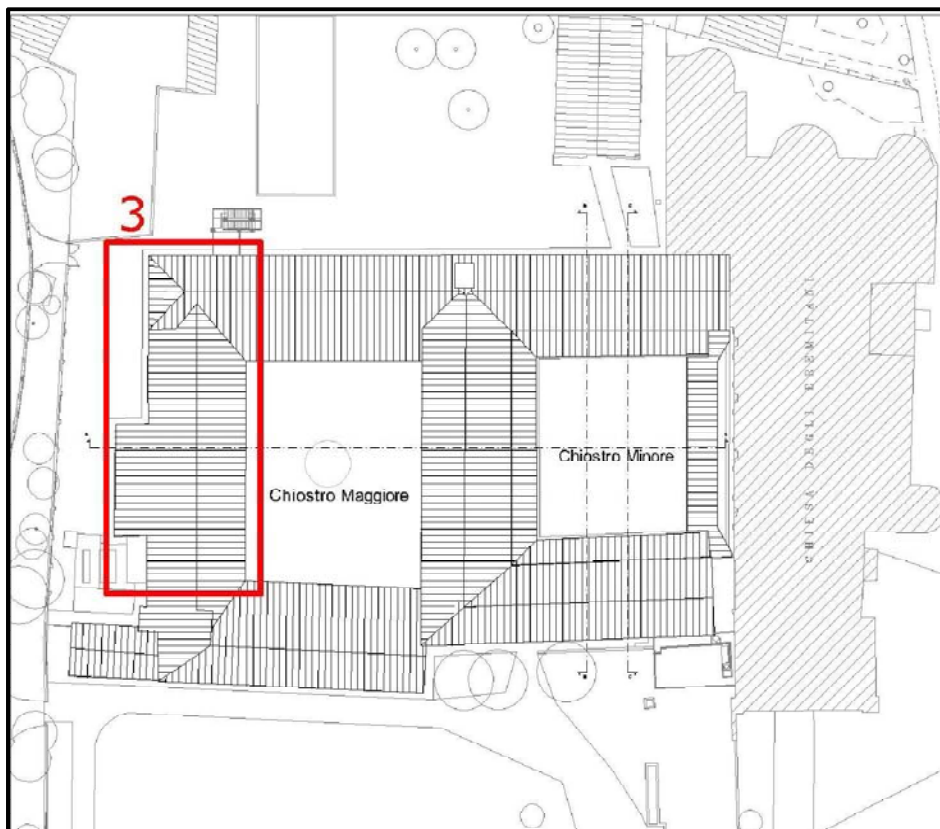


Fig.[2.9] Prospetto Nord che si affaccia sui giardini dell' Arena.

Il prospetto nord (Fig.[2.9]) che da sui giardini pubblici dell'Arena è sicuramente il meno curato, si divide in due parti distinte. La prima, quella orientale, è intonacata e pitturata di color beige come il prospetto precedente, a seconda, occidentale, invece ha paramento in mattoni lasciati a vista. Tutto il prospetto ha un'elevazione di due piani fuori terra, i muri hanno un' inclinazione diversa l'uno rispetto dall' altro ed il corpo centrale ha il fronte



Fig.[2.10] Vista del prospetto Nord.

spostato in avanti rispetto al resto. Questo corpo ha finestre adornate ai lati con blocchi di pietra e alla sommità di esse si trovano degli archi in mattoni che movimentano la facciata. Anche la copertura ha un assetto irregolare con diverse inclinazione delle varie falde. Verso ovest si trovano gli impianti tecnici, un'apertura ad arco che permette di accedere al chiostro maggiore anche da questo versante dei chiostri e il retro dell'edificio ad un piano descritto nel prospetto ovest.



Fig.[2.11] Particolare del prospetto Nord.

Il prospetto est (**Fig.[2.12]**) che dà su via Porciglia è completamente intonacato in pittura di colore beige, su tutto il paramento nella parte inferiore corre un fascia in mattoni mentre nella parte superiore c'è un cornicione composto da elementi decorativi che troviamo anche nella parte orientale del prospetto nord.

L'intero prospetto, che a sud si addossa alla chiesa, viene scandito da finestrate allineate che denotano i due piani fuori terra di cui è composta questa la parte del fabbricato, inoltre si trovano quattro aperture ad arco che hanno funzione di entrata ai due chiostri. Verso nord in corrispondenza ad una di queste si erge una rampa di scale di emergenza con struttura in acciaio. Il cortile che delinea il perimetro è circondato da una muratura in mattoni al suo interno si trova un edificio che funziona da deposito.

Quest' area nel complesso è abbastanza disordinata infatti qua e là si trovano opere che, per ragioni di spazio, non hanno potuto trovare posto nello spazio espositivo all' interno del museo e giace qui abbandonata.

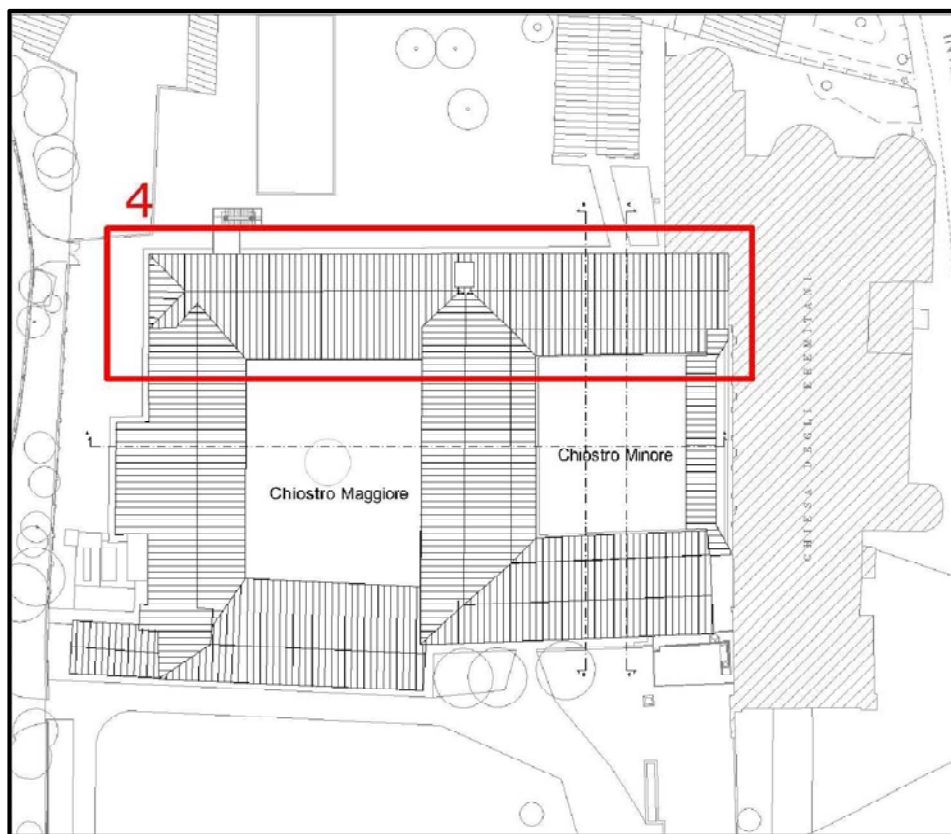


Fig.[2.12] Prospetto Est che si affaccia su via Porciglia.



Fig.[2.13] Particolare del prospetto Est con l' entrata al Chiostro Minore.



Fig.[2.14] Vista da nord del prospetto Est.

2.2 – DESCRIZIONE DELL' INTERNO DEI CHIOSTRI

La parte più conservata del Chiostro Maggiore (**Fig.[2.15]**) dopo gli interventi realizzati riguarda le ali nord e ovest del chiostro maggiore dove si trovavano le porzioni più antiche risalenti al primo insediamento della fine del Duecento e dove, oltre ad affreschi trecenteschi è possibile riconoscere buona parte dell'assetto cinquecentesco dei fabbricati. Si nota in alto loggiato superiore, riaperto dopo gli interventi degli anni settanta, ad arcate su colonnine in pietra di Nanto, chiuso già nel XVII secolo quando si suddivisero i bracci in locali più piccoli. Nel cortile troviamo una fascia perimetrale di pavimentazione in mattoni, usata per lo scolo dell'acqua piovana, che delimita il prato. Nelle altre ali del chiostro maggiore invece si è operato reintegrando l'immagine tradizionale ricostruendo il porticato orientale distrutto dal bombardamento del '44 su nuove fondazioni e su nuovi solai in cemento armato, con nuove colonne in pietra di Aurisina ed anima in acciaio. I muri ricostruiti e gli intradossi delle volte sono stati intonacati mentre le murature originarie sotto il portico nord, ovest e sud sono lasciate nude. Gli interventi effettivamente conservativi sugli elementi della costruzione antica sono limitati.

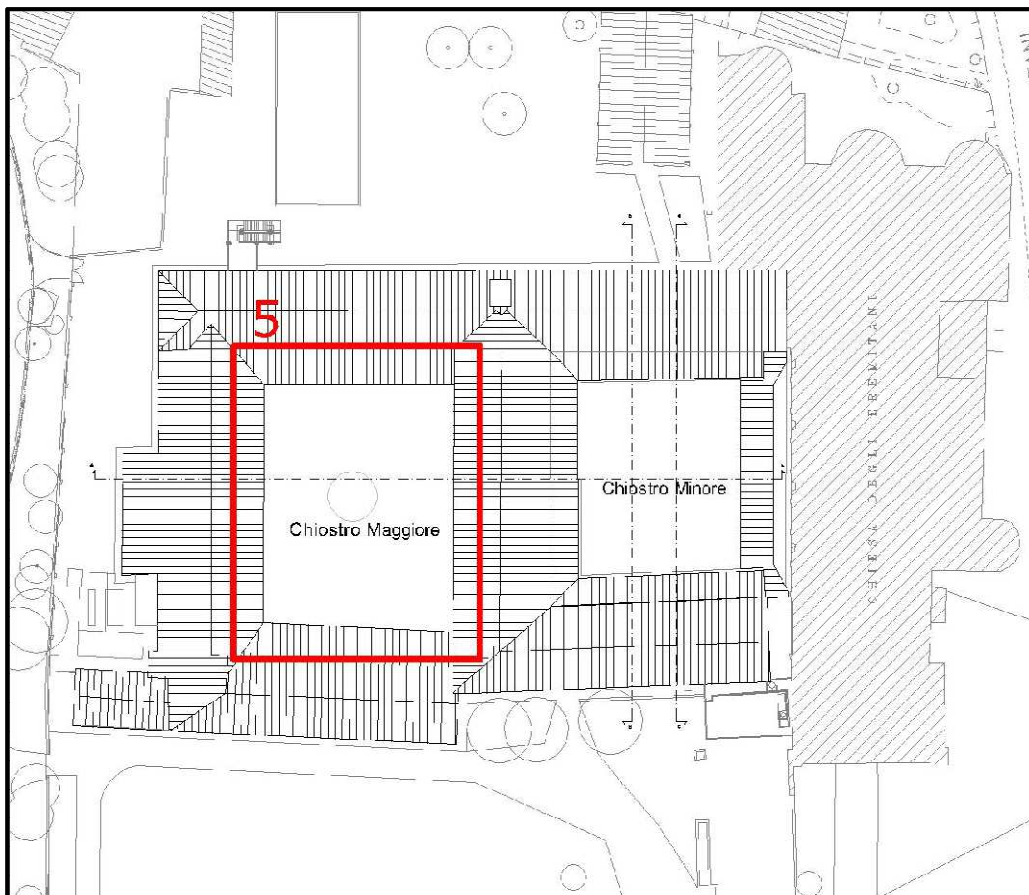


Fig.[2.15] Chiostro Maggiore.

Nelle ali più “conservate” (nord ed ovest) del chiostro maggiore si inseriscono a restauro aperto nel 1970 solo due pezzi iconicamente albiniani secondo i tipi realizzati



Fig.[2.16] Vista d’insieme del Chiostro Maggiore, con particolare del portico Est ricostruito.



Fig.[2.17] Vista del prospetto Nord e Ovest, nel particolare si nota il loggiato superiore riaperto dopo il restauro degli anni '70.



Fig.[2.18] Particolare delle volte a crociera del portico Est.



Fig.[2.19] Nel particolare l'interfaccia di giunzione fra il prospetto Ovest e il prospetto Sud del Chiostro Maggiore.

nei musei genovesi di Palazzo Bianco e Palazzo Rosso: una chiusura a cristalli temperati del loggiato ed una scala elicoidale in metallo a pianta ottagonale parzialmente isolata dalle pareti alla ricerca di agio spaziale e luministico. L'inserimento della scala comporta una nuova correzione del vano già allargato in funzione di una serie di varianti del '69 che prefiguravano una scala a rampe rettilinee simmetriche in sostituzione di una precedente in cemento armato. Si tratta di abolire due aperture ad archi aprendo un arco maggiore la cui traccia li circoscrive.



Fig.[2.20] Scala elicoidale in metallo eseguita nel restauro degli anni '70.

E' un fatto minimo ma sintomatico poiché il Soprintendente accetta l'abolizione di un arco del Seicento e con esso le "correzioni" delle aperture e delle murature in altri ambiti del complesso per smussare l'attrito tra le accidentalità della costruzione e la chiarezza geometrica e tecnologica richiesta dal progetto.



Fig.[2.21] Vista del piano primo sopra il portico Nord del Chiostro Maggiore.



Fig.[2.22] Vista del piano primo sopra il portico Ovest, si nota il loggiato riaperto dopo il restauro degli anni'70.

Le aggiunte murarie, le nuove partizioni, non sono quasi mai vere e proprie ricostruzioni che ripropongono una pianta precedente, un ipotetico “assetto originario”. E’ sostanzialmente una “figura tipologica” quella che conservano, qui interpretata come schema geometrico essenziale. Poche tra le strutture lignee sono quelle recuperate, mentre i soffitti lignei apparenti nell’infilata di salette al piano terra dell’ala nord, sono stati installati sull’intradosso di solette leggere in travetti prefabbricati di cemento armato e tavelloni. Se si eccettuano le tracce di affreschi e una parte delle imbotti delle aperture, i restanti elementi di finitura, intonaci, pavimenti, infissi sono completamente rimpiazzati.



Fig.[2.23] Vista di una delle sale dell’ala Nord del Chiostro maggiore, particolare del soffitto ligneo.

Per Albini, Helg e Piva “recuperare il recuperabile” ha significato anche risolvere la distanza tra le proprie modalità d’intervento e quelle attuate già in buona parte del chiostro maggiore. Un tratto di continuità tra gli interventi viene fissato con l’adozione di materiali “tradizionali” per le finiture, accettata anche per ragioni tecniche: trachite antica dei colli Euganei per scalini, soglie, pavimentazioni esterne e parte di quelle interne; pietra di Nanto per le nuove imbotti, cotto e trachite per pavimenti interni del piano terra e parte di quelli al primo piano.

La nuova partizione trasversale del corpo di fabbrica orientale, determinata in corrispondenza alle testate dei portici da spazi voltati a botte e pavimentati in trachite riprendono in proiezione e materiali le campate del porticato.



Fig.[2.24] Partizione trasversale del corpo di fabbrica orientale voltata a botte.

Altra variante al principio di ricostruire corpi murari sul sedime dei resti, nelle prime planimetrie, sono le vetrate o i setti di altezza ridotta nei tratti mediani delle pareti dell'ala orientale del nuovo chiostro che rispondono anche a precise esigenze espositive. Tutti i solai ricostruiti del piano terra seguono un medesimo dispositivo tecnologico, una struttura d'acciaio verniciato in grigio grafite ed una medesima scansione: il solaio su lamiera grecata è portato da travi ad "I" e caricato a terra da montanti in prossimità delle murature perimetrali. Con questa struttura parallela alle murature perimetrali sono ricostruiti quasi tutti i solai del lato orientale del convento e quello del braccio occidentale del chiostro minore dove si trova la reception, il bookshop, il bar, servizi igienici e locali tecnici quali ascensore.



Fig.[2.25] Lato Orientale dei Chiostri, nel particolare il solaio costituito da una struttura d'acciaio.



Fig.[2.26] Braccio orientale del Chiostro Minore, con la reception, il bookshop e il bar.



Fig.[2.27] Sala al piano primo tra i due chiostri, con vista della struttura in acciaio della copertura.



Fig.[2.28] Sala al piano primo tra i due chiostri, con vista della struttura in acciaio della copertura.

Inflettendo quella stessa struttura metallica è completamente reinventato il porticato del Chiostro Minore (**Fig.[2.29]**). Un oggetto “inconsueto” non tanto per l’espressione della struttura in acciaio in una geometria perentoriamente simmetrica ma per l’exasperazione dell’effetto di leggerezza con cui è sfruttata reggendo ogni loggia vetrata su una trave ad “I” a grande luce appoggiata alle pareti e ad un pilastro centrale binato composto con profili a doppia “I”. L’effetto della figura a ponte è ancora più evidente nella prima versione del progetto dove non compare la sequenza di montanti a ridosso delle pareti perimetrali sotto il “portico”.

“Albini” - spiega Prosdocimi inviando il progetto alla direzione Generale Antichità e Belle Arti - “come era da attendersi ha voluto superare i nostri precostituiti schemi mentali, mettendo l’unico sostegno di ogni lato esattamente al centro dove per lunghissima tradizione andrebbe il vuoto; il rapporto però tra il primo ed il secondo piano è perfettamente ortodosso e assai elegante.” Nella versione realizzata all’asse del pilastro centrale binato non corrisponde più il pieno del serramento del primo piano ma il vuoto della vetrata aggiungendo all’effetto percettivo dell’invaso la componente dinamica dello slittamento dei due piani.

In questo progetto le soluzioni di ristrutturazione e di ricostruzione sono connesse, forse conseguenti, a quelle delle nuove architetture del complesso.

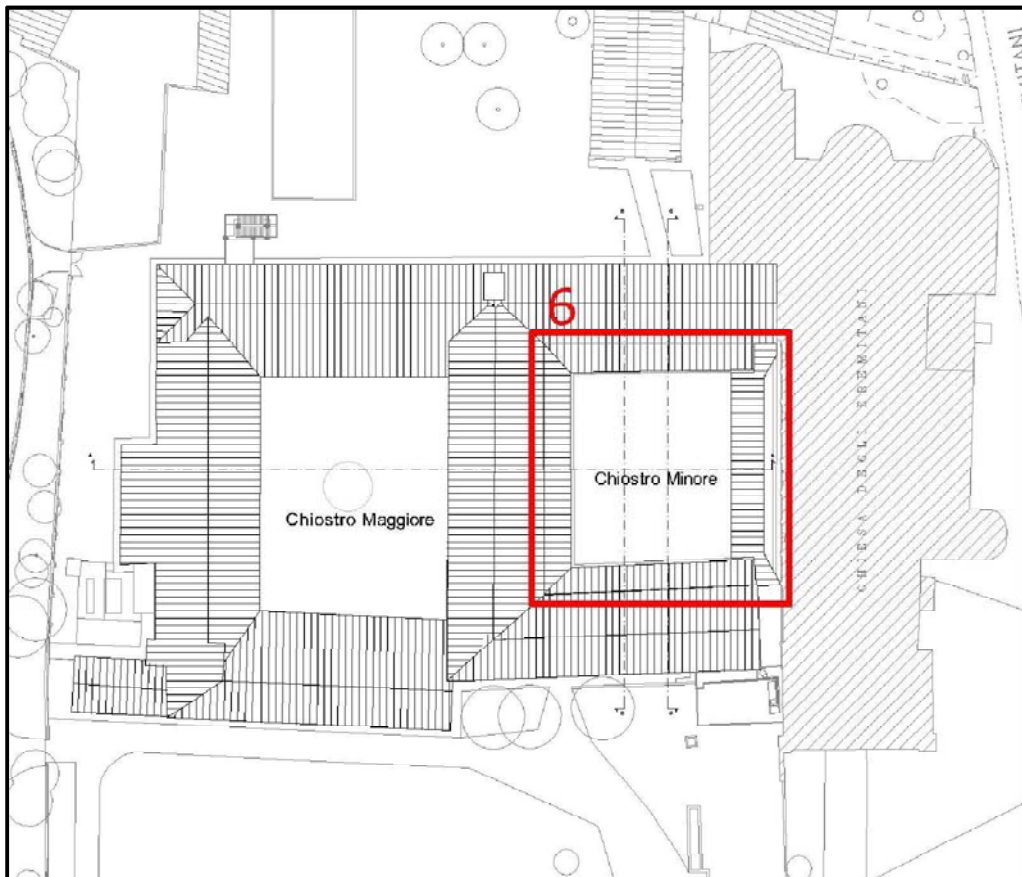


Fig.[2.29] Chiostro Minore.



Fig.[2.30] Vista da Sud-Ovest del Chiostro Minore.



Fig.[2.31] Vista della “passerella” che congiunge il lato est e il lato ovest del Chiostro Minore.



Fig.[2.32] Vista da Sud-Est al primo piano del Chiostro Maggiore.



Fig.[2.33] Vista da Sud-Est del Chiostro Minore.



Fig.[2.34] Vista della rampa di scale nel Chiostro Minore.



Fig.[2.35] Vista dal piano primo della "passerella".

CAPITOLO 3

RILIEVO

In questo capitolo vengono riportati i metodi di rilievo effettuati al fine di individuare la conformazione geometrico-strutturale dei chiostri utile per la creazione dei modelli grafici tridimensionali, affrontato nel capitolo successivo.

Inoltre gli elaborati esposti, quali piante prospetti e sezioni, hanno consentito di portare alla determinazione delle vulnerabilità sismiche esistenti nei Chiostri degli Eremitani. E' stato possibile, in questo modo creare il modello il modello delle vulnerabilità riportato nel capitolo 5.

3.1 – RILIEVO METRICO

Il rilievo metrico dei chiostri degli Eremitani è stato eseguito in ambiente informatico come base della quale poi si sono individuate le altre fasi del rilievo. Sostanzialmente sono state digitalizzate le piante rinvenute dalle quali poi sono stati creati i prospetti e le sezioni relative. In questa fase si è provveduto anche a integrare i dati reperiti svolgendo alcune operazioni di verifica e misura sul luogo.

Non è stato possibile tuttavia realizzare un rilievo metrico completo sia delle murature, solai, coperture che delle volte. Inoltre all' interno dei chiostri è allestito il Museo Civico di Padova quindi le murature hanno spesso delle contropareti per l'allestimento delle esposizioni, questo ha reso ancora più difficile la comprensione dei materiali e in alcuni casi dello stato del degrado. In questi casi sono stati riportati le caratteristiche verosimili presunte, non potendo, per ovvi motivi, eseguire sondaggi.

Una parte fondamentale dello studio riguarda il Chiostro maggiore, i cui portici sono voltati a crociera. Non disponendo di prospetti di tale Chiostro ma volendo comunque dare una rappresentazione esaustiva sia in ambito 2-D che in ambito 3-D, si è proceduto effettuando una ricostruzione degli stessi. Attraverso quindi la sezione A-A, che ci fornisce l'unico prospetto all' interno del Chiostro (Prospetto Ovest), le piante del piano terra e del piano primo e a delle misurazioni sul posto si è effettuato una

rappresentazione che può essere considerata molto vicino alla reale, ma ricordiamo che comunque non deriva da un vero e proprio rilievo diretto.

Riassumiamo qui le principali fasi di ricostruzione di tali prospetti che verranno utilizzati nei capitoli successivi sia per rappresentare il rilievo del degrado sia per la costruzione del modello tridimensionale.

Innanzitutto attraverso le piante **Fig.[3.1 – 3.2]** si è potuto individuare: la posizione delle colonne e la distanza fra esse, la luce delle volte a crociera sia trasversalmente che longitudinalmente e la posizione ed ampiezza delle aperture.

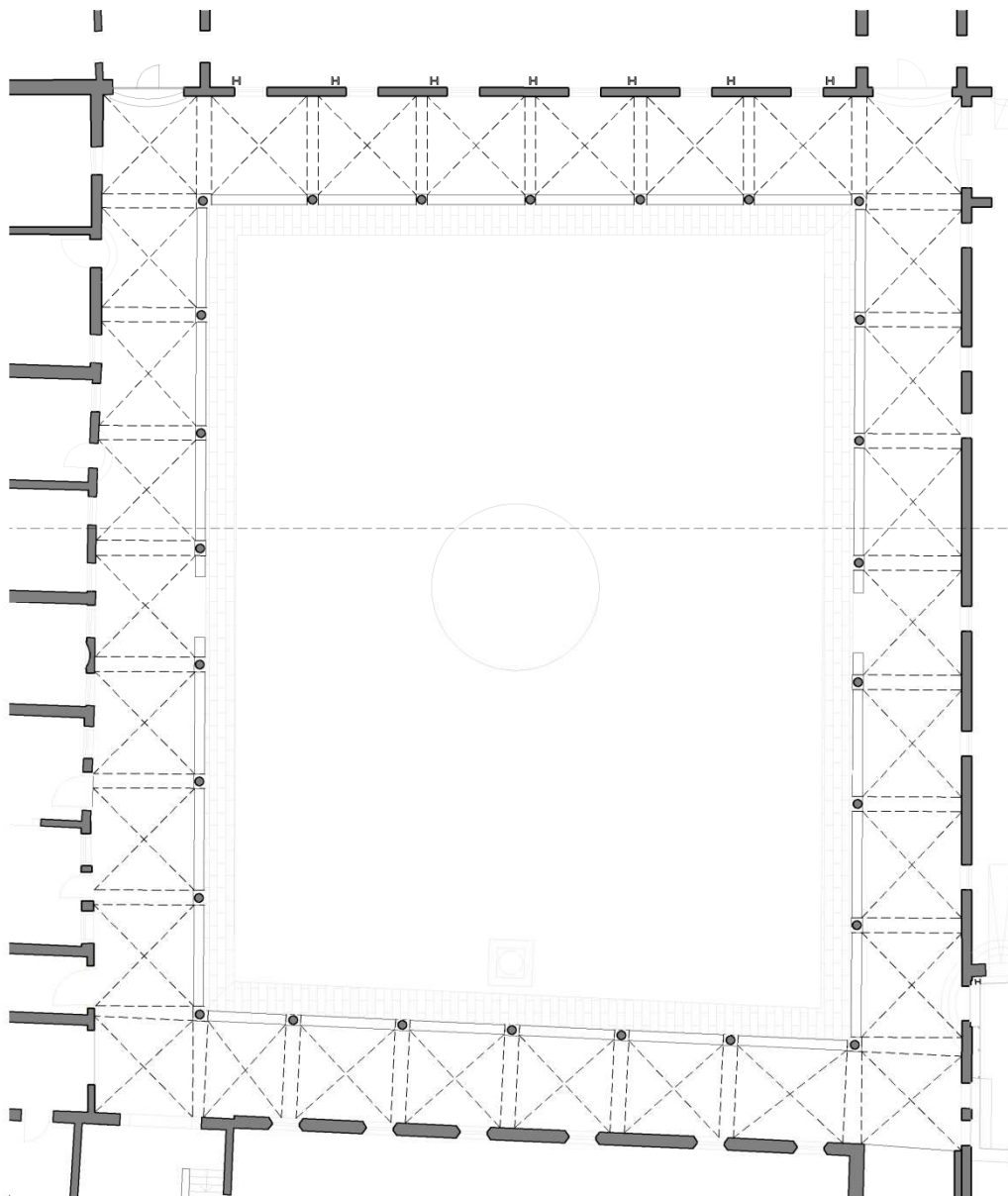


Fig.[3.1] Pianta Piano Terra del Chiostro Maggiore.

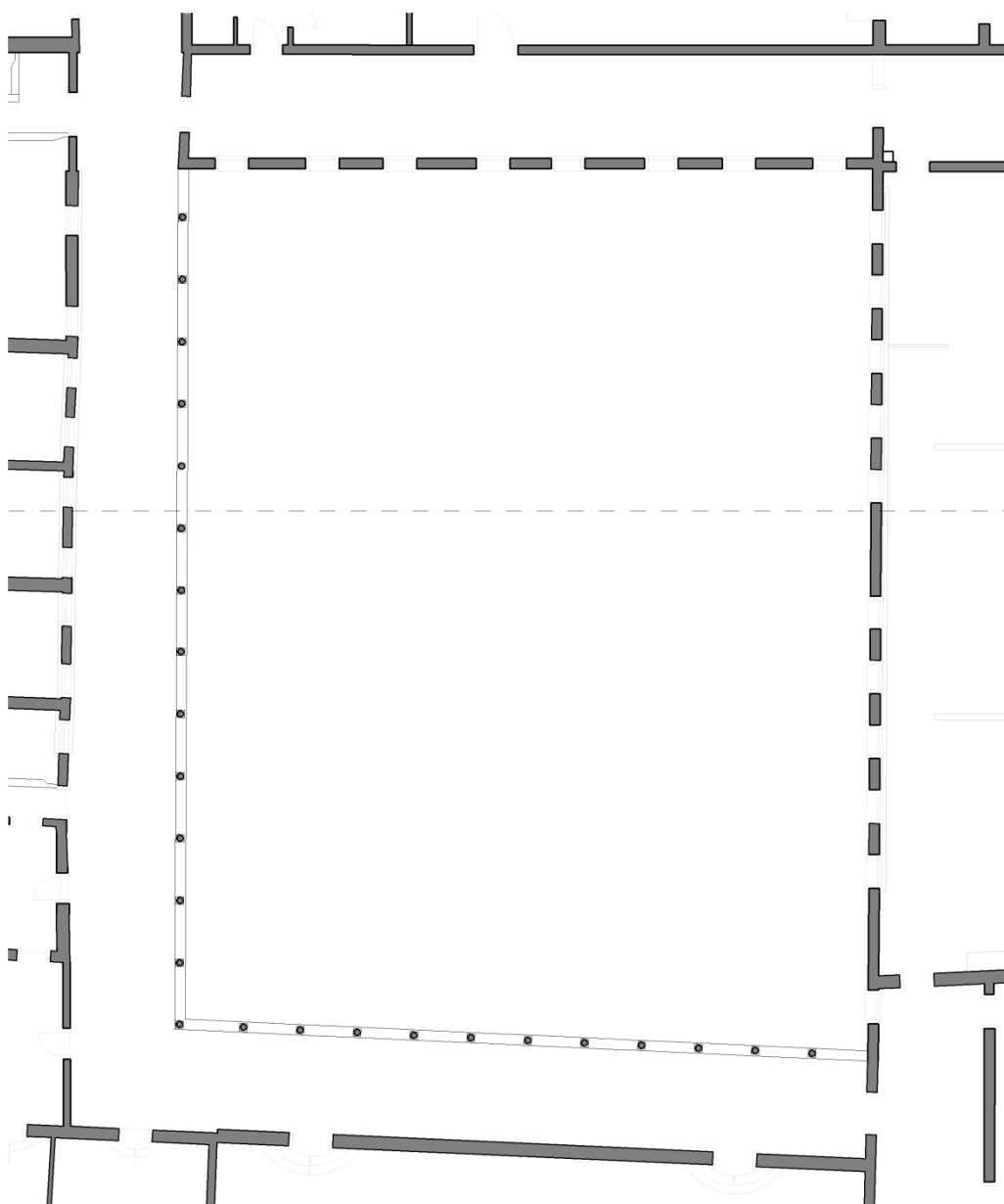
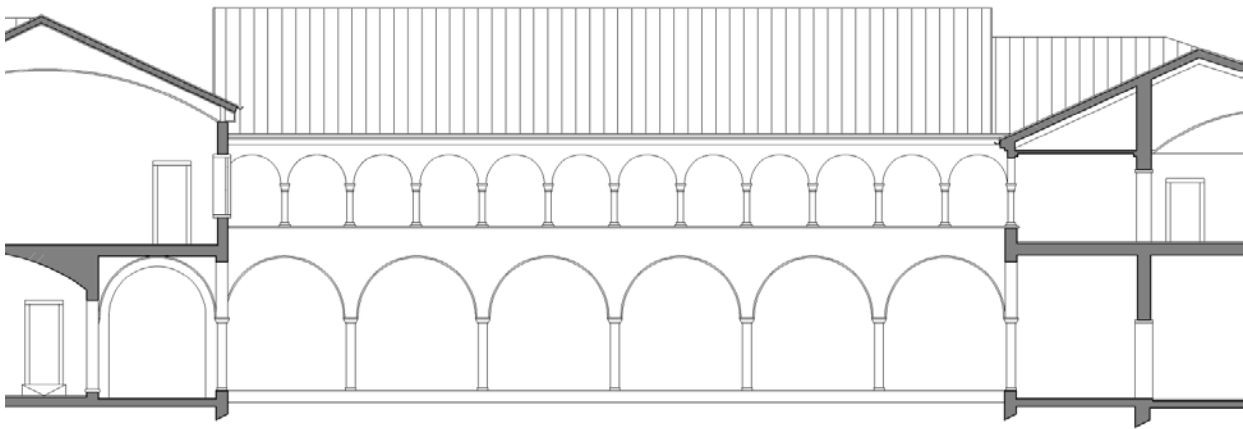


Fig.[3.2] Pianta Piano Primo del Chiostro maggiore.

Poi attraverso l'unica tavola che riporta un prospetto dell'interno del Chiostro Maggiore, la sezione A-A, si sono potute ricavare informazioni utili quali: altezza delle colonne, la quota di partenza del piano terra, le quote dell'intradosso e dell'estradosso del solaio al piano primo, l'ampiezza degli archi che compongono le volte a crociera, l'ampiezza degli "archetti" al primo piano, la quota di partenza del tetto, la quota di colmo del tetto ed alcuni elementi architettonici che compongono il prospetto.



CHIOSTRO MAGGIORE

Fig.[3.3] Sezione A-A con vista del prospetto ovest del Chiostro Maggiore.

Inoltre per integrare tali informazioni si sono effettuate varie misurazioni in sito, per verificare soprattutto che le volte a crociera di cui sono composti i portici del Chiostro Maggiore fossero effettivamente tali. La volta a crociera si presta bene a coprire spazi con pianta quadrata, in quanto essa è generata dall' unione delle porzioni di due semicilindri cavi a base circolare uguali tra loro e con generatrici parallele orizzontali, tagliati secondo le diagonali del quadrato, proiezione sul piano orizzontale dell'ingombro della volta stessa. Essa scarica al meglio le tensioni sulle colonne. Tuttavia la volta a crociera, con particolari accorgimenti, può essere usata anche per coprire spazi a base rettangolare. È questo il caso riscontrato nelle volte presenti nel Chiostro Maggiore. Si è operato quindi come descritto di seguito.

Inizialmente si è verificato se l'arco più corto di cui è composta la volta è effettivamente un semicerchio. Infatti le volte a crociera di cui è costituito il chiostro coprono tutte una base rettangolare quindi composta da un lato corto e un lato lungo perciò l'arco della volta nel lato minore è un semicerchio (nel nostro caso quello trasversale al lato del cortile) mentre nel lato lungo (nel nostro caso quello che si affaccia sul cortile, quindi longitudinale) l'arco è un arco di cerchio che è creato dall'intersezione dei cilindri proiettivi dei due archi. Questa operazione è risultata molto importante nella creazione del modello 3-D della volta descritta nel capitolo 4.



Fig.[3.4] Composizione volta a crociera.

Si è trattato in sostanza di effettuare delle misurazioni utilizzando un misuratore laser di distanze. L'accorgimento è stato quello di suddividere la base dell'arco in cinque equidistanze ed effettuare la misura della luce dalla base alla volta riportando poi i risultati in ambiente digitale, ricostruire il tutto e verificare l'effettività delle volte.

Questi passaggi sono stati poi ripetuti per tutti i lati del chiostro considerato che ognuno è diverso dall'altro per ampiezza ed altezza .

Riportiamo qui alcune immagini riassuntive delle operazioni svolte:



Fig.[3.5] Disposizione di un filo in in direzione della volta.

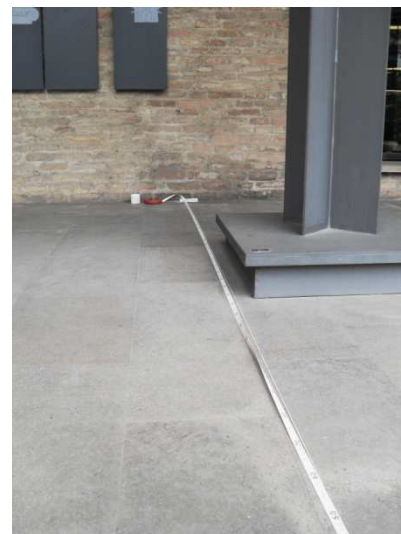


Fig.[3.6] Misura, attraverso cordella metrica, della base della volta.



Fig.[3.7] Suddivisione della base in cinque equidistanze.



Fig.[3.8] Disposizione del distanziatore laser nei cinque punti.



Fig.[3.9 – 3.10] Misura della distanza dalla base all’arco della volta soprastante

Una volta fatte le operazioni descritte in queste immagini si sono portate le distanze in ambiente informatico per verificare che venisse effettivamente composto il semicerchio. Il risultato è riportato in figura seguente:

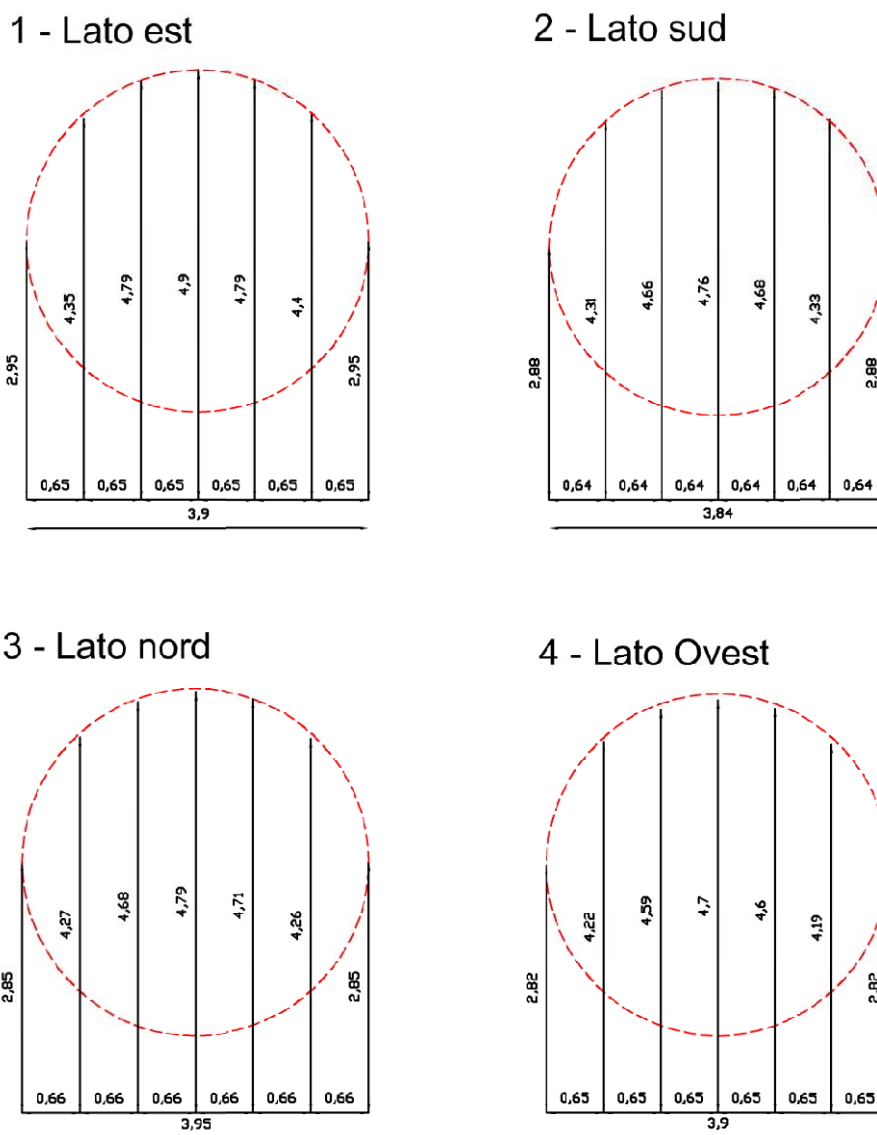


Fig.[3.11] ricostruzione delle volte in ambiente informatico.

Dai risultati appena mostrati si può affermare che effettivamente gli archi trasversali dei portici sono dei semicerchi e la volte composte sono a crociera.

Quindi attraverso questa una ricostruzione si è ricavata l'ampiezza dell'arco longitudinale della volta , informazione utile, che assieme alle altre ha permesso di creare i prospetti interni del Chiostro Maggiore riportati nelle pagine che seguito. Si ribadisce ancora una volta che tranne il prospetto ovest del Chiostro Maggiore essi derivano da una ricostruzione che per quanto accurata non ha la valenza di un rilievo diretto.

Inoltre con la modalità appena descritta si è operato per la ricostruzione dei prospetti interni del chiostro minore ma omettiamo questa parte perché non essendo esso oggetto di studio particolare del lavoro svolto.

Gli elaborati utilizzati nel caso specifico sono:

- Planimetria generale del complesso Eremitani **(Fig.[3.12])**
- Pianta del piano terra dei Chiostri **(Fig.[3.13])**
- Pianta del piano primo dei Chiostri **(Fig.[3.14])**
- N° 3 prospetti (est, ovest, nord) **(Fig.[3.15 – 3.16])**
- Sezione longitudinale dei Chiostri (Sezione A-A) **(Fig.[3.17])**
- Sezione trasversale dei Chiostri (Sezione B-B) **(Fig.[3.17])**
- N° 4 prospetti del Chiostro maggiore (est, ovest, sud, nord) **(Fig.[3.18])**

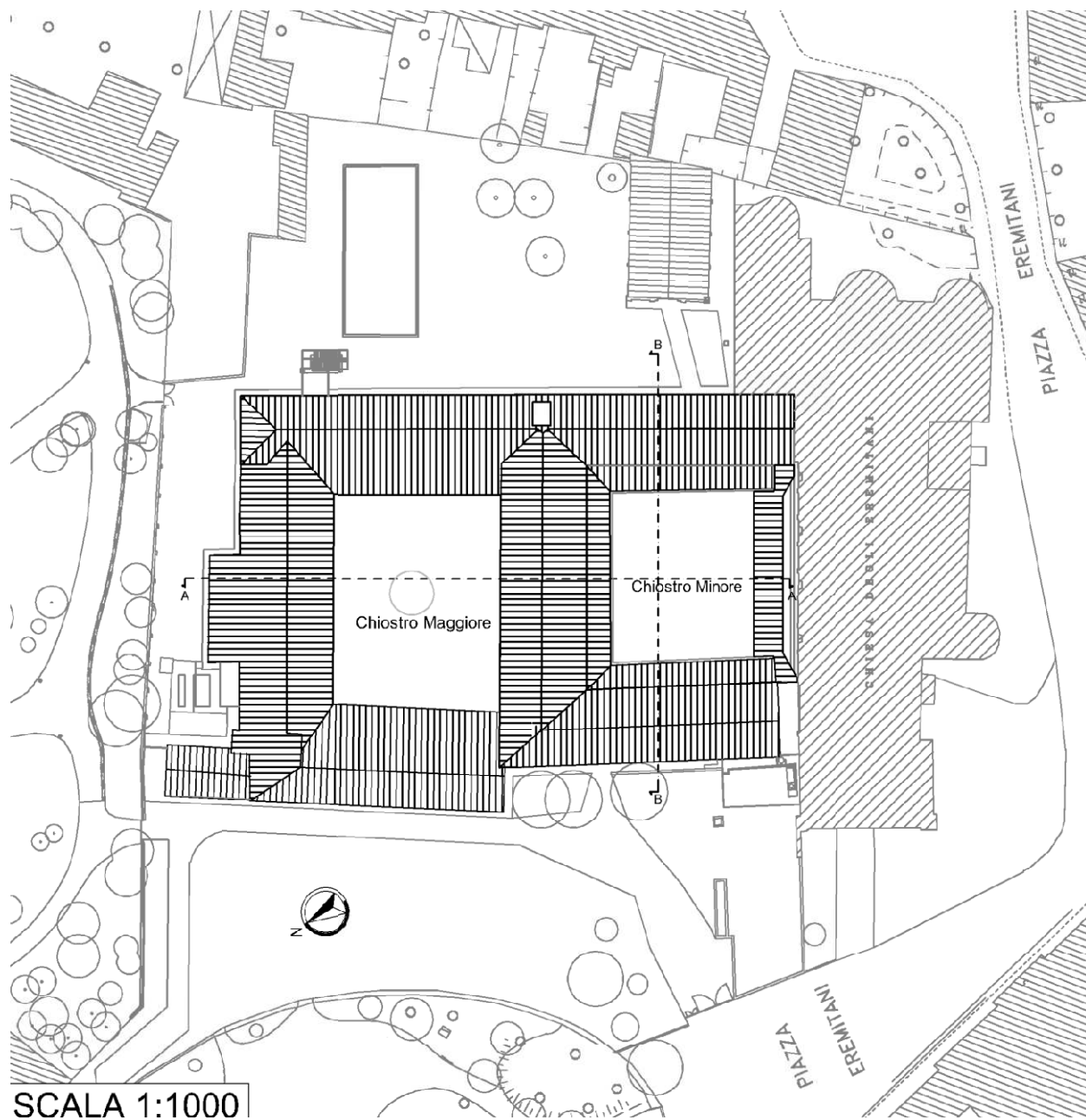


Fig.[3.12] Planimetria generale del Complesso degli Eremitani.

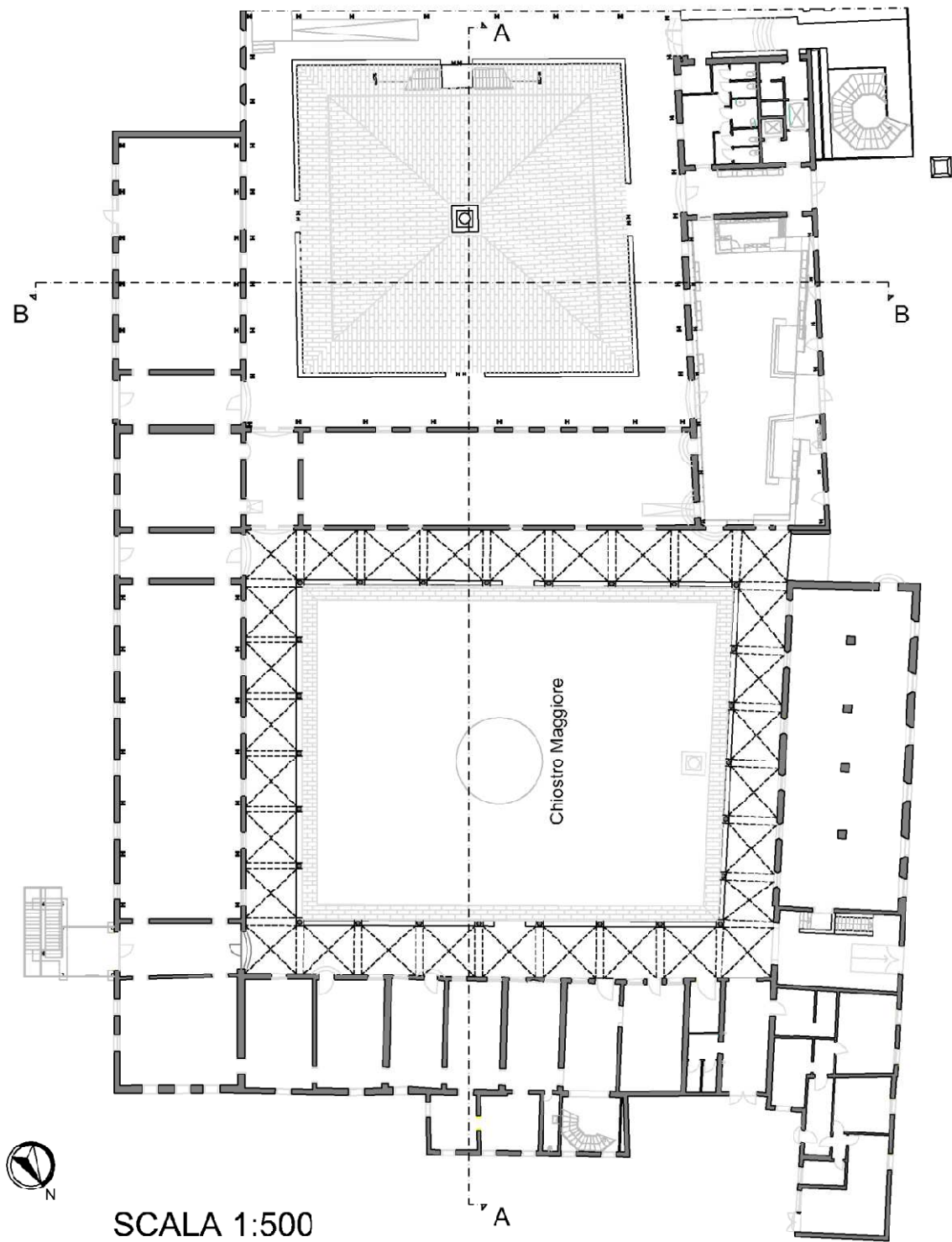


Fig.[3.13] Pianta piano terra dei Chiostri degli Eremitani.

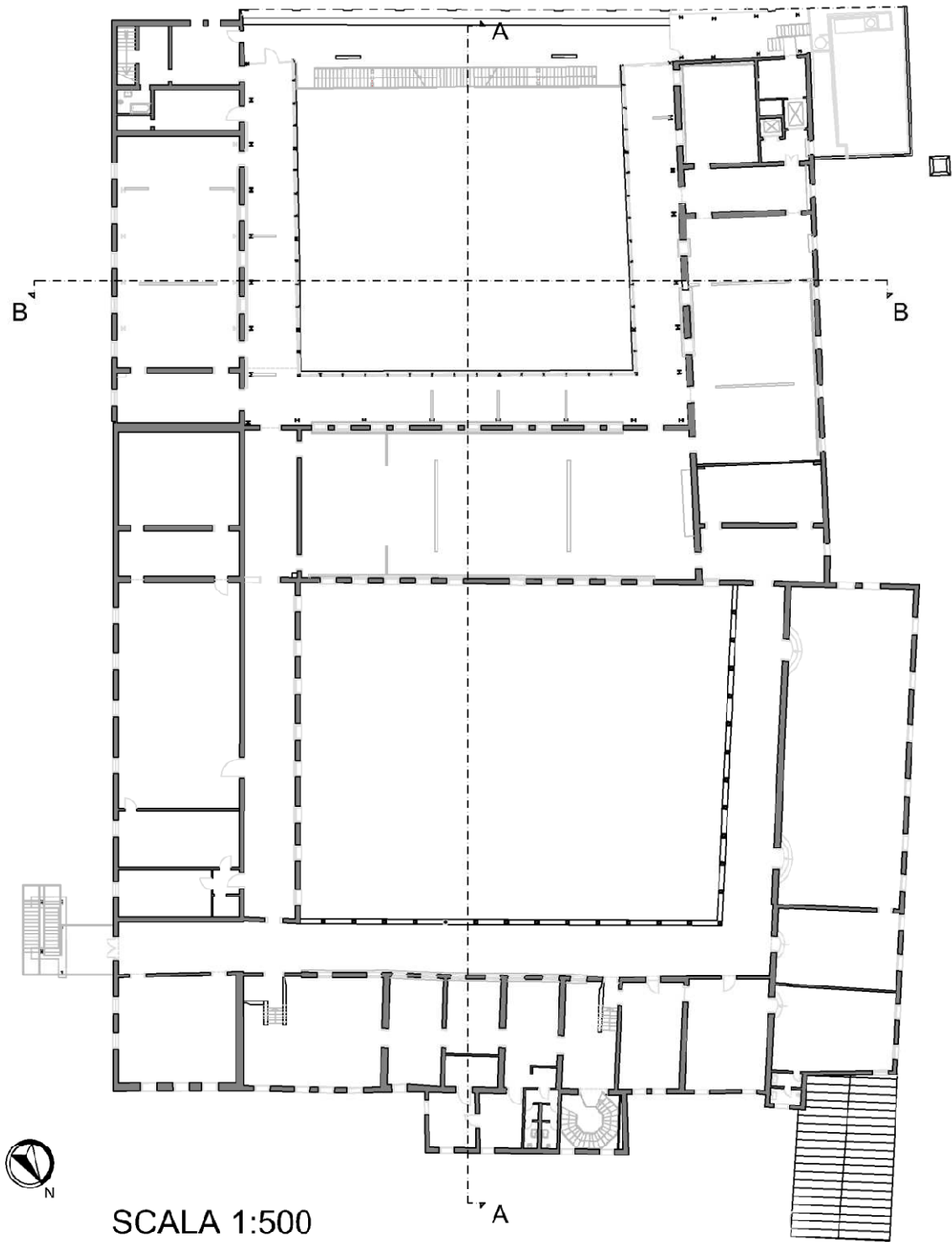
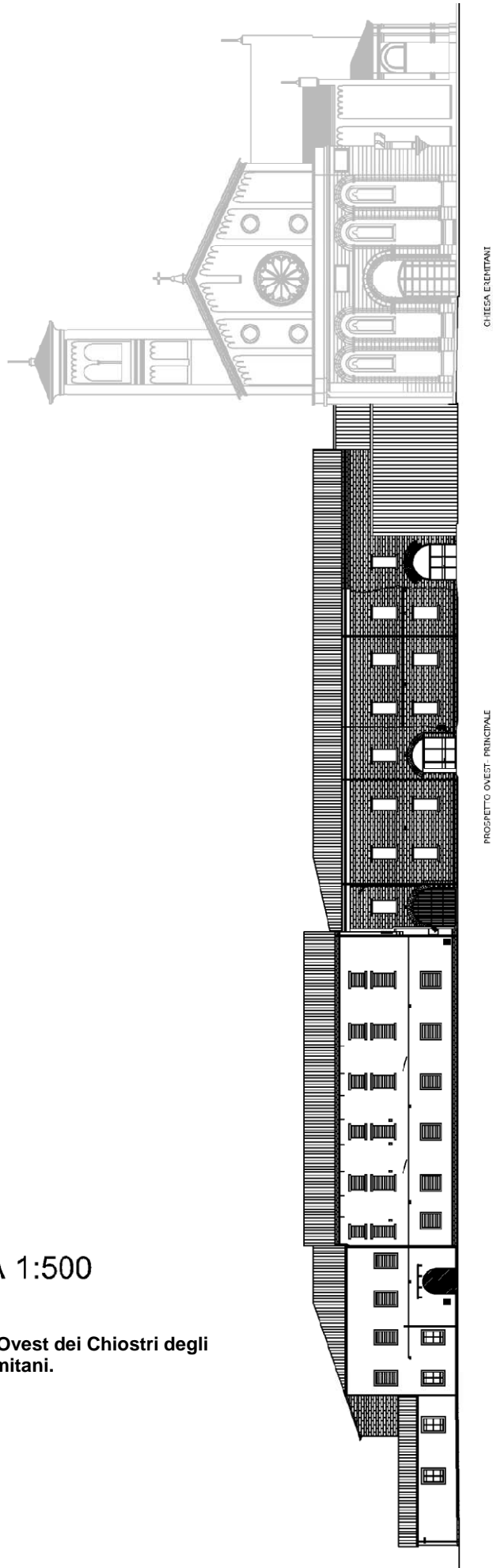
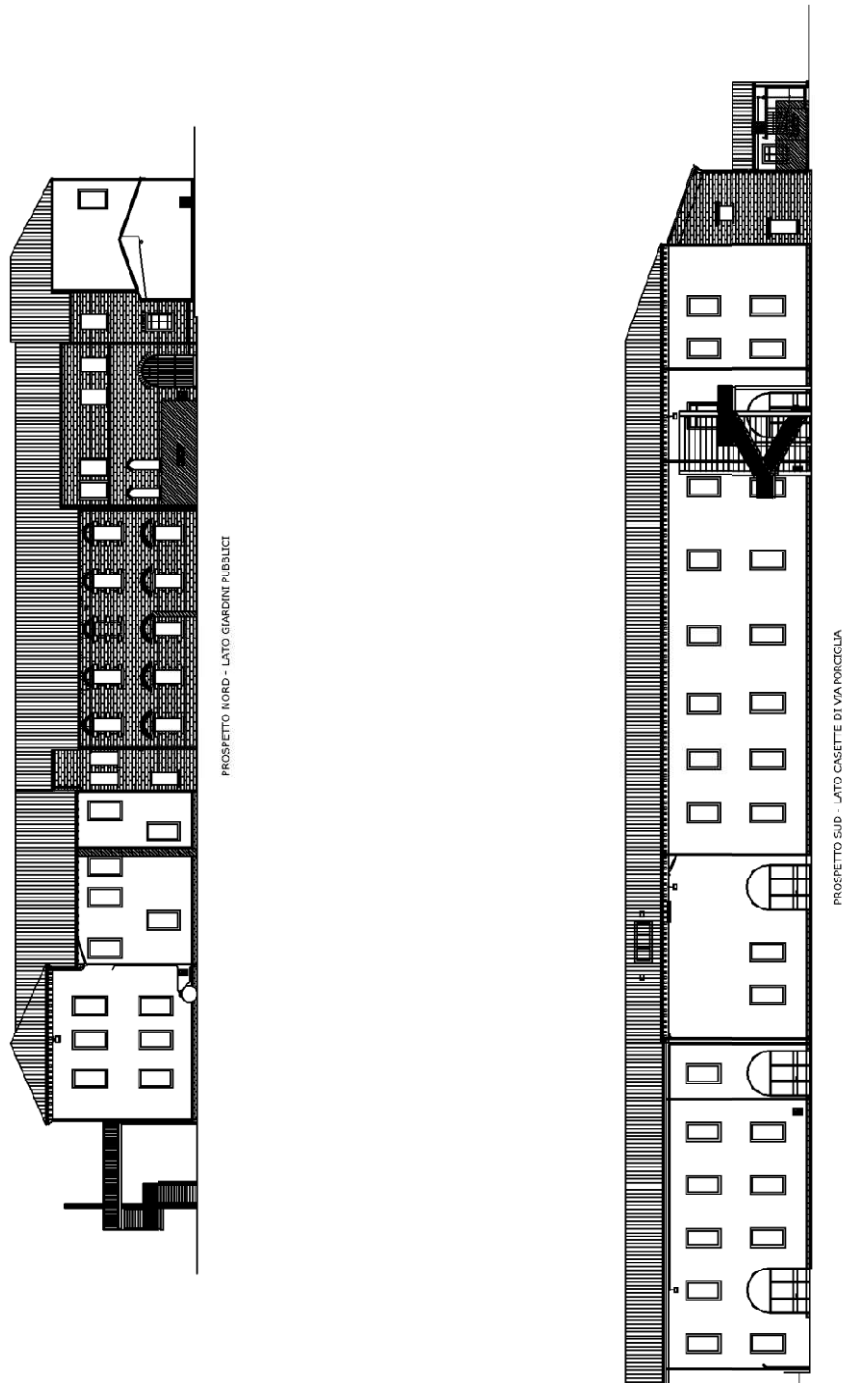


Fig.[3.14] Pianta piano primo dei Chiostri degli Eremitani.



SCALA 1:500

Fig.[3.15] Prospetto Ovest dei Chiostrini degli Eremitani.



SCALA 1:500

Fig.[3.16] Prospetti Nord ed Est dei Chiostri degli Eremitani.

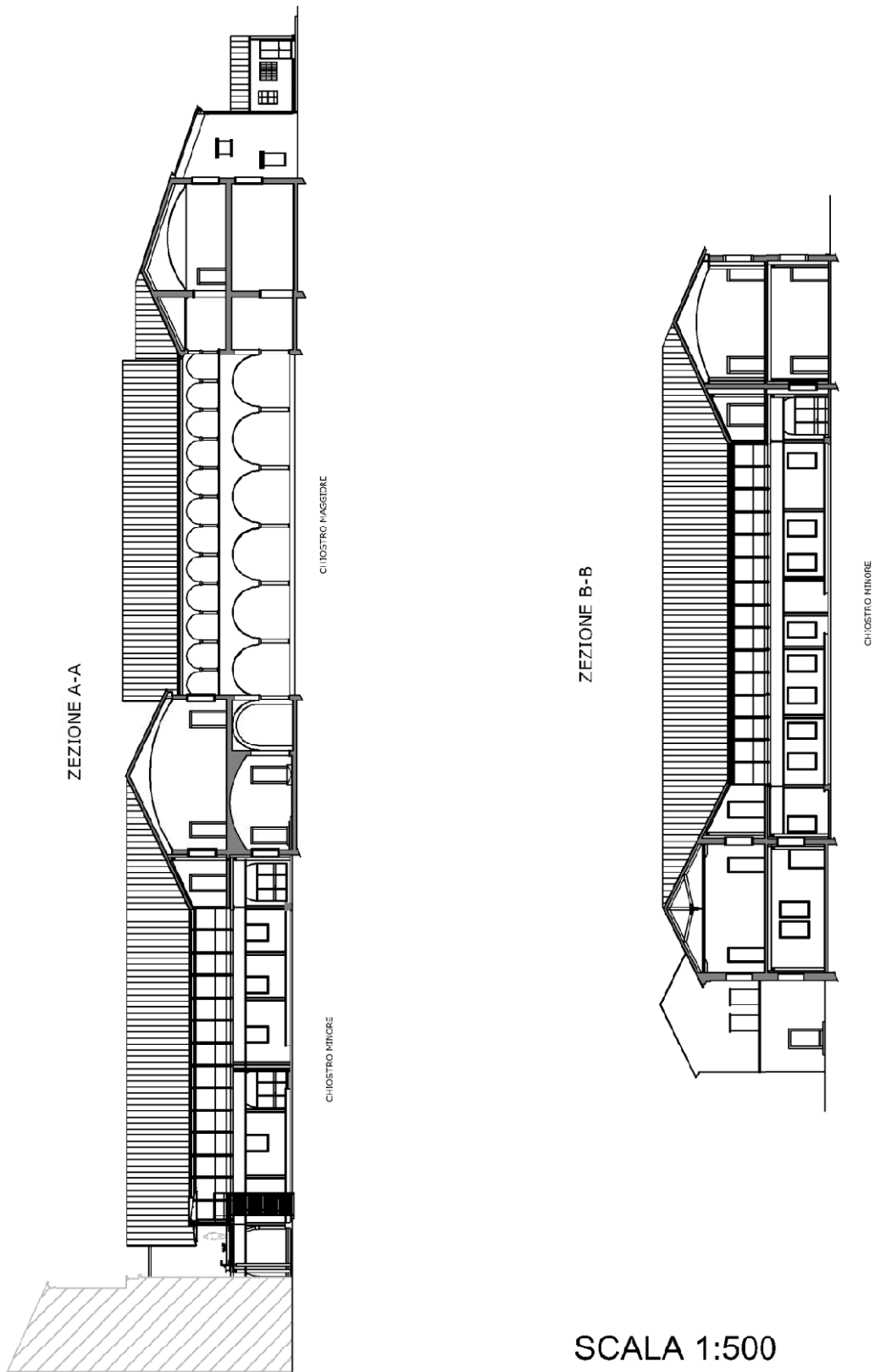


Fig.[3.17] Sezione A-A e Sezione B-B dei Chiostri degli Eremitani.

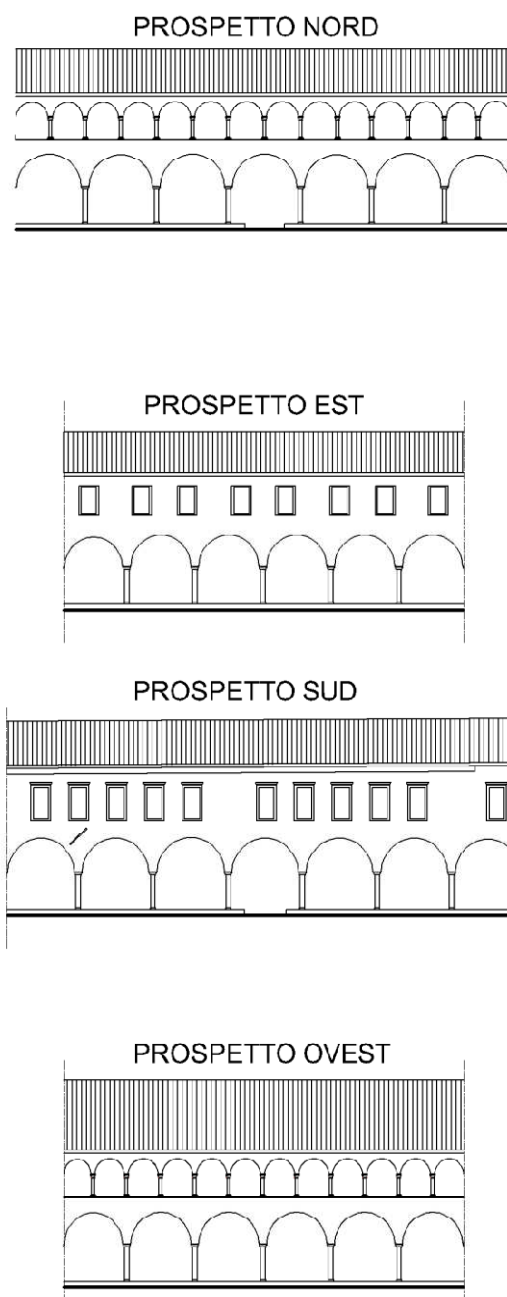


Fig.[3.18] Prospetti del Chiostro Maggiore.

3.2 – RILIEVO DEL DEGRADO

Il rilievo del degrado riportato nelle **Fig. [3.19 – 3.20 - 3.21 – 3.22]** è stato eseguito mediante un controllo visivo delle parti componenti dei chiostri, i risultati riportati hanno permesso di conoscere alcuni fatti utili per comprendere il comportamento strutturale dell'edificio.

Il degrado dei Chiostri degli Eremitani non è vistoso e diffuso ma è comunque presente, come ci si poteva aspettare da un edificio così antico e che ha subito diversi stravolgimenti nella sua storia.













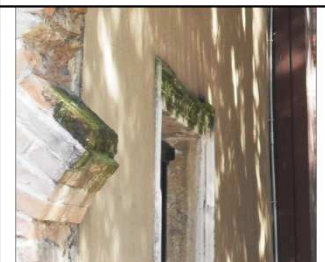
Tali degradi possono essere presi come punto di studio per l'individuazione delle vulnerabilità specifiche dell'edificio interpretando le deformazioni e individuandone le cause, è tuttavia da sottolineare che la presenza di degradi quali alterazioni cromatiche, macchie ecc. influiscono in maniera marginale nelle possibili vulnerabilità delle porzioni di struttura.

Come detto quindi i chiostri presentano poche forme di degrado localizzate, che possono essere individuate attraverso le "Raccomandazioni NorMal – 1/88. Alterazioni macroscopiche dei materiali lapidei" riportate in **Tab [3.1]**.

I casi più rilevanti riguardano la presenza di patina biologica, troviamo maggiormente questo tipo di degrado nei materiali lapidei delle aperture ed è maggiormente visibile nei prospetti che meno vedono la luce del sole infatti derivano per lo più dalla presenza di microrganismi e la risalita dell'umidità. Un' altro elemento importante riscontrato è la presenza di macchie soprattutto all'interno del chiostro maggiore, tale degrado è comunque spesso riconducibile ad aspetti biologici. Altre alterazioni importanti riguardano l'esfoliazione e il distacco dell'intonaco, degradi fra loro simili, che interessano soprattutto le pareti del prospetto orientale e maggiormente a livello del piano terra che lasciano intravedere il paramento sottostante in mattoni. Altri degradi riscontrati riguardano fenomeni di efflorescenza, di erosione e la presenza in alcuni punti di vegetazione. Tutti fenomeni per lo più sporadici.

Tuttavia questi tipi di degrado, al contrario del quadro fessurativo descritto nel paragrafo successivo, come detto in precedenza, non va ad influenzare il comportamento sismico dell'edificio e potrebbe essere risolto attraverso interventi manutentivi.

Tab. [3.1] Abaco dei degradi.

<p>DISTACCO DELL'INTONACO</p> <p>Descrizione: Soluzioni di continuità tra strati superficiali del materiale, sia tra loro che rispetto al substrato; prelude in genere alla caduta degli strati stessi. Il termine si usa in particolare per gli intonaci e i mosaici. Nel caso di materiali lapidei naturali le parti distaccate assumono spesso forme specifiche in funzione delle caratteristiche strutturali e tessiture, e si preferiscono allora voci quali crosta, scagliatura, esfoliazione.</p> <p>Cause: - presenza di formazioni saline; - fenomeni di umidità ascendente; - errori di posa in opera e l'utilizzo di malte poco idonee; - perdite localizzate degli impianti di smaltimento delle acque; - stress termici in prossimità dell'innesto di elementi metallici.</p>		
<p>EFFLORESCENZA</p> <p>Descrizione: Formazione di sostanze, generalmente di colore biancastro e di aspetto polvirento e filamentoso, sulla superficie del manufatto. Nel caso di efflorescenze saline, la cristallizzazione può avvenire anche all'interno del materiale provocando spesso il distacco delle parti più superficiali; il fenomeno prende allora il nome di cripto efflorescenza o sub-florescenza</p> <p>Cause: - Umidità di risalita capillare, da condensazione, da perdite localizzate di impianti; - Presenza di solfati; - azioni del vento (che accelera l'evaporazione dell'acqua); - sostanze aggiunte in trattamenti restaurativi; - degrado di interfaccia tra laterizi e malte.</p>		
<p>EROSIONE</p> <p>Descrizione: Asportazione di materiale dalla superficie dovuta a processi di natura diversa. Quando sono note le cause del degrado, possono essere utilizzati termini come erosione per abrasione o erosione per corrosione (cause meccaniche) , erosione per corrosione (cause chimiche e biologiche) , erosione per usura (cause antropiche) .</p> <p>Cause: - Erosione meccanica da pioggia battente; - Aggressione chimica da inquinanti; - Formazione di ghiaccio negli strati più superficiali.</p>		
<p>ESFOLIAZIONE</p> <p>Descrizione: Degradazione che si manifesta con distacco, spesso seguito da caduta, di uno o più strati superficiali subparalleli fra loro (sfoglie) .</p> <p>Cause: - Inquinamento atmosferico che che aggredisce e disgrega il legante minerale.</p>		
<p>MACCHIA</p> <p>Descrizione: Alterazione che si manifesta con pigmentazione accidentale e localizzata della superficie; è correlata alla presenza di materiale estraneo al substrato.</p> <p>Cause: - Ossidazione di elementi metallici; - Elementi inquinanti; - Atti di vandalismo.</p>		
<p>PATINA BIOLOGICA</p> <p>Descrizione: Strato sottile, morbido e omogeneo, aderente alla superficie e di evidente natura biologica, di colore variabile, per lo più verde. La patina biologica è costituita prevalentemente da microrganismi cui possono aderire polvere, terriccio, ecc.</p> <p>Cause: - Azione di microrganismi; - Presenza di umidità o acqua; - Caratteristiche morfologiche del substrato.</p>		
<p>PRESENZA DI VEGETAZIONE</p> <p>Descrizione: Locuzione impiegata quando vi sono licheni, muschi e piante.</p> <p>Cause: - Accumuli di umidità; - Attacco di organismi autotrofi.</p>		

Le tipologie di degradi rilevate nei Chiostri degli Eremitani sono le seguenti:

DISTACCO DELL'INTONACO	
EFFLORESCENZA	
EROSIONE	
ESFOLIAZIONE	
MACCHIA	
PATINA BIOLOGICA	
PRESENZA DI VEGETAZIONE	



Fig.[3.19] Facciata ovest dei Chiostri degli Eremitani.

DISTACCO DELL'INTONACO	
EFFLORESCENZA	
EROSIONE	
ESFOLIAZIONE	
MACCHIA	
PATINA BIOLOGICA	
PRESENZA DI VEGETAZIONE	

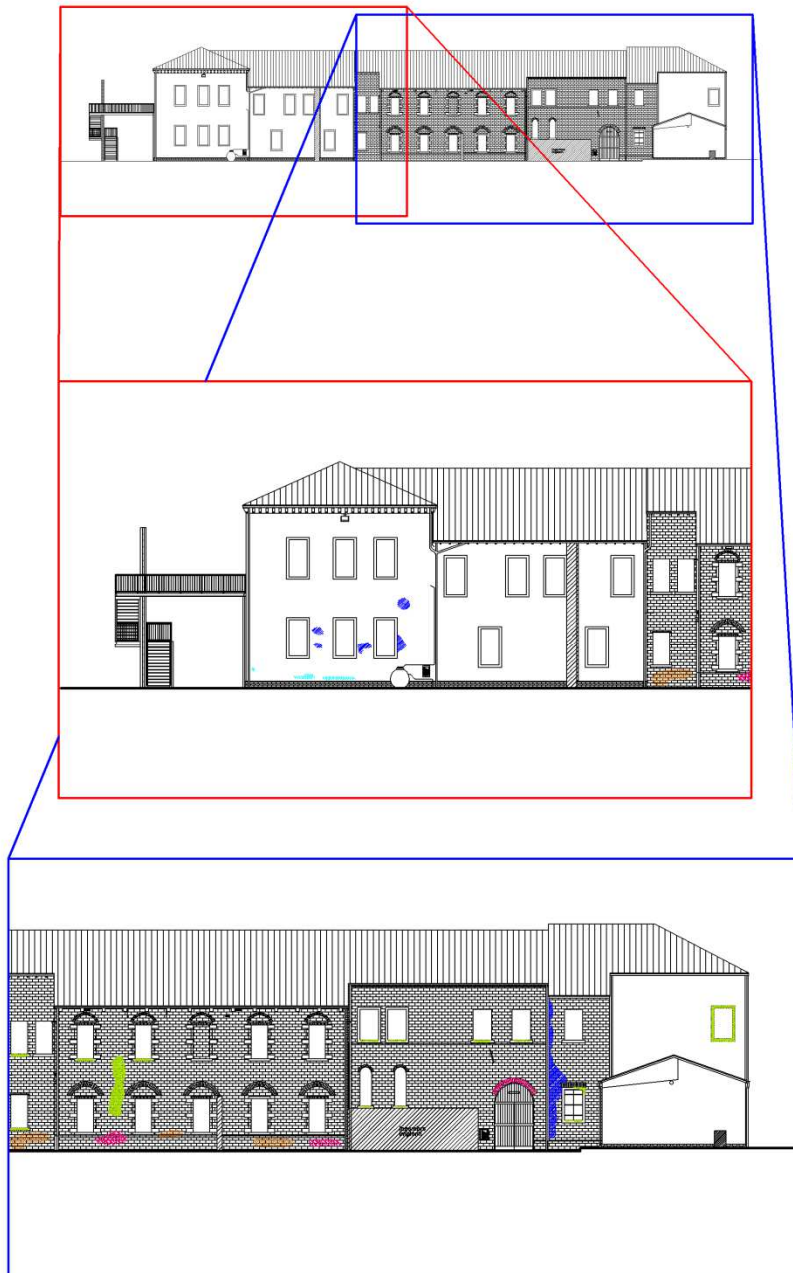


Fig.[3.20] Facciata nord dei Chiostri degli Eremitani.

DISTACCO DELL'INTONACO	
EFFLORESCENZA	
EROSIONE	
ESFOLIAZIONE	
MACCHIA	
PATINA BIOLOGICA	
PRESENZA DI VEGETAZIONE	

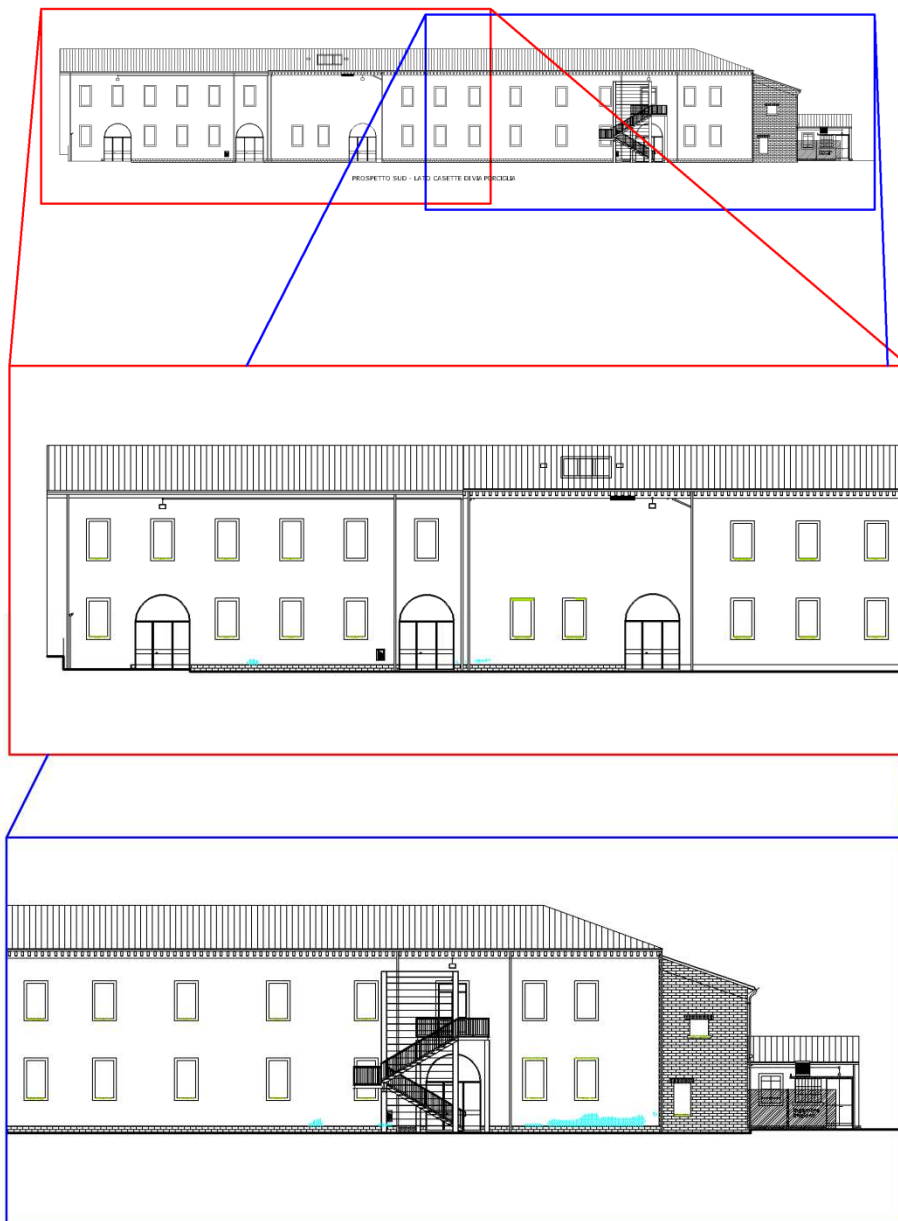


Fig.[3.21] Facciata est dei Chiostri degli Eremitani.

DISTACCO DELL'INTONACO	
EFFLORESCENZA	
EROSIONE	
ESFOLIAZIONE	
MACCHIA	
PATINA BIOLOGICA	
PRESENZA DI VEGETAZIONE	

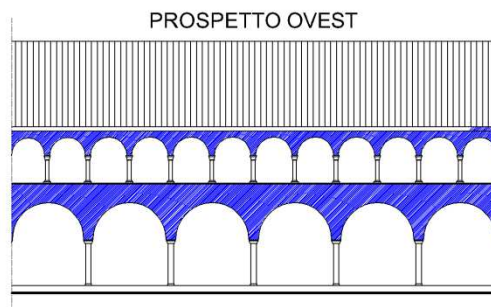
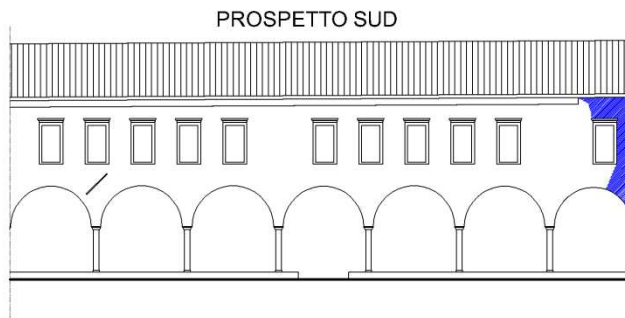
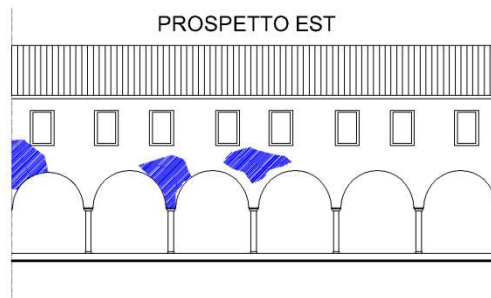
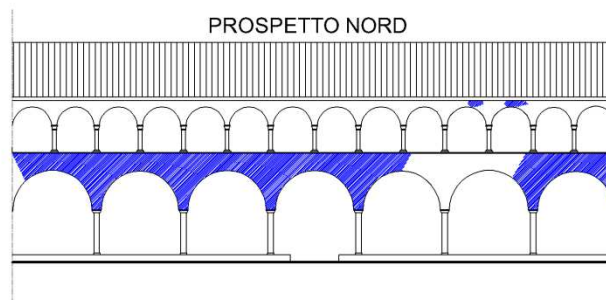


Fig.[3.22] Facciate all'interno del Chiostro Maggiore.

3.3 – RILIEVO DEL QUADRO FESSURATIVO

Il quadro fessurativo è stato rilevato all'interno e all' esterno dei chiostri. Purtroppo come accennato in precedenza all'interno dei chiostri sono allestite delle mostre, infatti ricordiamo che i Chiostri degli Eremitani sono sede dei Musei Civici di Padova, per questo motivo il rilievo delle fessurazioni all'interno del chiostro è risultato difficoltoso per la presenza di contropareti in alcune zone dell'edificio. Dove è stato possibile osservare le murature all'interno dei chiostri si è tuttavia riscontrato un buono stato delle stesse, ma questo fattore potrebbe essere ingannevole, perciò si dovrebbe operare tramite delle indagini più approfondite. Ed inoltre per motivi di sicurezza non si è ricevuto il permesso di ispezionare le coperture, fattore anche questo che genera un certo grado di incertezza.

All'esterno del chiostro sono state ispezionate tutte le murature, sia i tre prospetti esterni (est, nord, ovest) che i quattro prospetti interni dei due chiostri. Il quadro fessurativo del chiostro minore dopo il restauro degli anni '70, con l'edificazione della struttura in acciaio di cui è composto, risulta di difficile comprensione. Infatti tale struttura che è scollegata dal resto dell'edificio non permette di avere una visione d'insieme dei prospetti, perciò lo studio si è concentrato soprattutto sul Chiostro Maggiore. La rappresentazione di queste informazioni di tale chiostro è stata fatta utilizzando i prospetti descritti nel paragrafo del "rilievo metrico". Il rilievo del quadro fessurativo è stato realizzato seguendo una precisa procedura operativa ed utilizzando strumenti semplici, ma fondamentali. Le fasi preliminari hanno previsto un'attenta ispezione visuale degli elementi strutturali dei chiostri. Questa operazione ha consentito di acquistare informazioni generali sullo stato di danno dell'edificio e di focalizzare i punti principali su cui approfondire il rilievo. Al fine di eseguire un lavoro preciso e per creare opportuni riferimenti, la rilevazione delle fessure in sito è stata realizzata con l'aiuto di un supporto grafico, costituito da piante, sezioni e prospetti.

Successivamente si è utilizzato il rilievo fotografico effettuato in cantiere, attraverso queste immagini, inoltre, si sono creati dei fotopiani delle pareti dei chiostri. Tale operazione è risultata complicata per i vari ostacoli trovati sul posto che non hanno reso possibile, in alcuni casi, di effettuare l' immagine fotografica perpendicolarmente alla pareti. Un esempio degli "ostacoli" trovati è l'albero che si trova al centro del

Chiostro Maggiore. Di seguito sono riportate le ricostruzioni dei prospetti del chiostro effettuati attraverso una sovrapposizione delle immagini ricavate dal rilievo fotografico.



Fig.[3.23] Fotopiano del prospetto Ovest, parte meridionale.



Fig.[3.24] Fotopiano del prospetto Ovest, parte settentrionale.



Fig.[3.25] Fotopiano del prospetto Nord.



Fig.[3.26] Fotopiano del prospetto Est.



Fig.[3.27] Fotopiano del prospetto Ovest del Chiostro Maggiore.



Fig.[3.28] Fotopiano del prospetto Nord del Chiostro Maggiore.



Fig.[3.29] Fotopiano del prospetto Est del Chiostro Maggiore.



Fig.[3.30] Fotopiano del prospetto Sud del Chiostro Maggiore.



Fig.[3.31] Fotopiano del prospetto Ovest del Chiostro Minore.



Fig.[3.32] Fotopiano del prospetto Nord del Chiostro Minore.



Fig.[3.33] Fotopiano del prospetto Est del Chiostro Minore.









Fig.[3.34] Fotopiano del prospetto Sud del Chiostro Minore.

Successivamente alle operazioni descritte il quadro fessurativo rilevato è stato riportato nei prospetti, distinguendo in rosso le fessurazioni di media entità, in arancione quelle più lievi e in verde le fessurazioni ristilate. Inoltre oltre che le fessurazioni si sono riportati i tamponamenti di aperture preesistenti e i presidi antisismici individuati nei chiostri. Questi ultimi consistono soprattutto in tiranti e nelle catene delle volte nel Chiostro Maggiore. Nelle **Fig.[3.35 – 3.36 – 3.37 – 3.38]** è riportato il quadro fessurativo dei Chiostri degli Eremitani.

LESIONE MEDIA	
LESIONE LIEVE	
LESIONE RISTILATA	
APERTURE TAMPONATE	
TIRANTI	
CATENE	



Fig.[3.35] Facciata ovest dei Chiostrini degli Eremitani.

LESIONE MEDIA	
LESIONE LIEVE	
LESIONE RISTILATA	
APERTURE TAMPONATE	
TIRANTI	
CATENE	

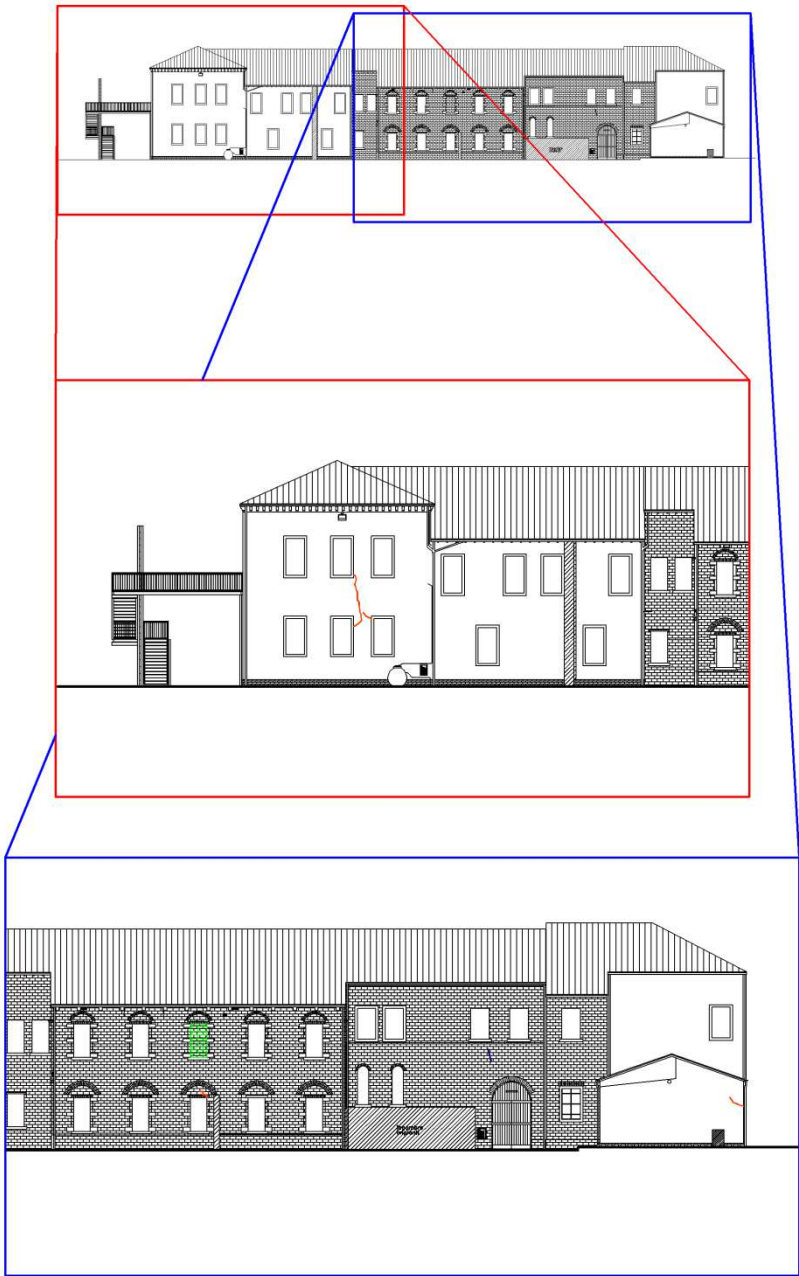


Fig.[3.36] Facciata nord dei Chiostri degli Eremitani.

LESIONE MEDIA	
LESIONE LIEVE	
LESIONE RISTILATA	
APERTURE TAMPONATE	
TIRANTI	
CATENE	

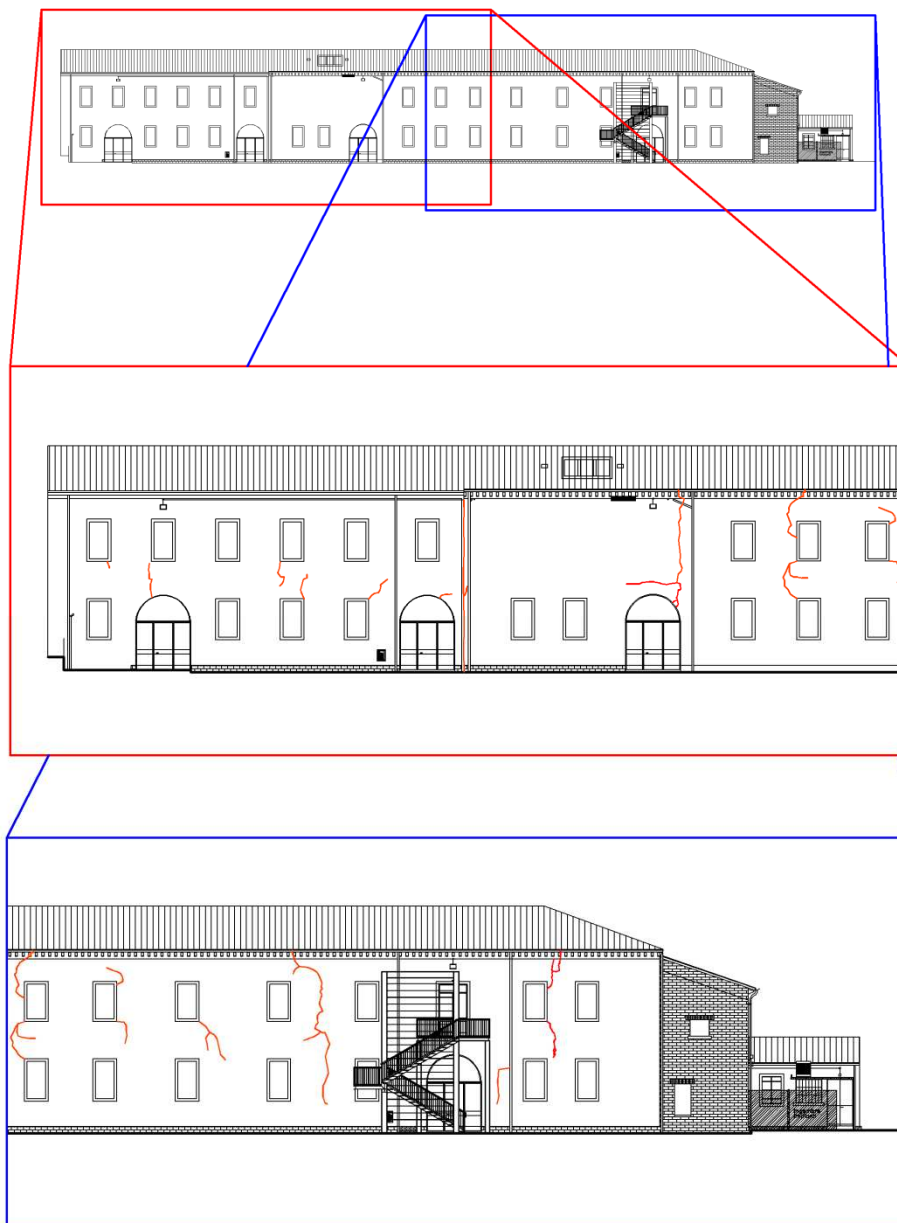


Fig.[3.37] Facciata est dei Chiostri degli Eremitani.

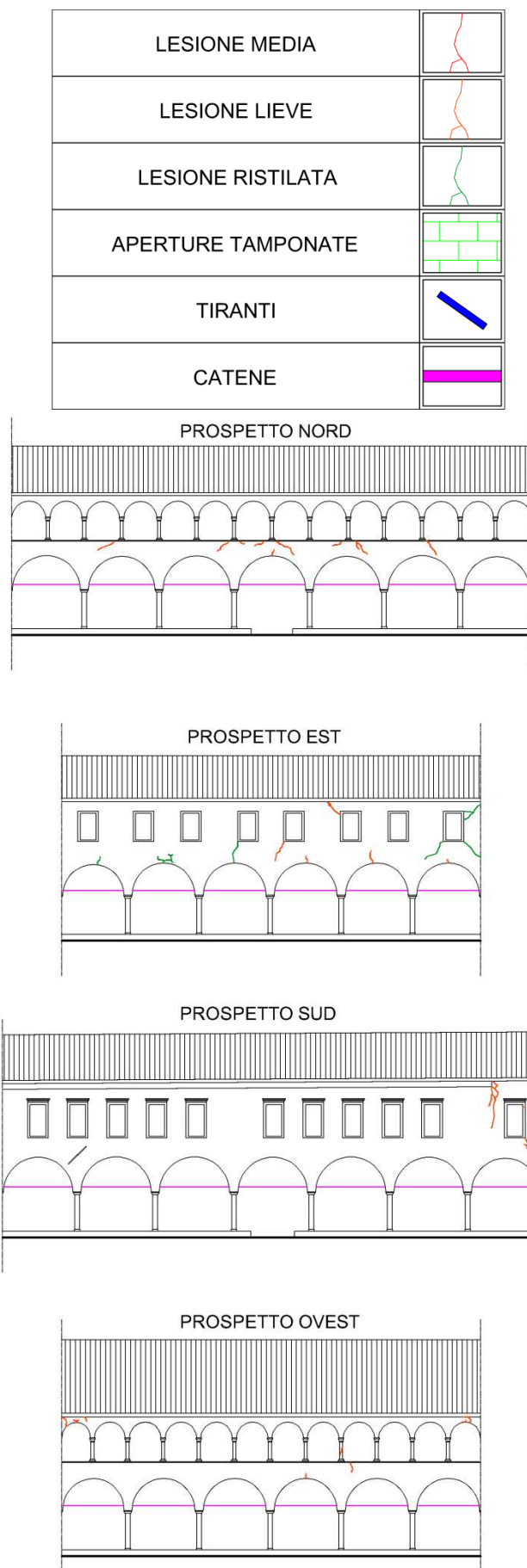


Fig.[3.38] Facciate all'interno del Chiostro Maggiore.

CAPITOLO 4

MODELLO GRAFICO DIGITALE

In questo capitolo si sono volute evidenziare le differenti riproposizioni effettuate con i vari programmi informatici. In particolare si vuole risaltare come diversi metodi di visualizzazione consentono di evidenziare o meno determinati particolari ritenuti a priori interessanti, cioè in funzione dell'obbiettivo che si vuole raggiungere si devono utilizzare programmi differenti. I programmi utilizzati per la rappresentazione dei Chiostri degli Eremitani sono:

- Programma Cad per la creazione di elementi 2D, quali piante prospetti e sezioni; e di elementi 3D, modello complessivo della chiesa e del contesto, utilizzato anche nel capitolo 5 per l'individuazione delle vulnerabilità sismiche.
- Programma per il render fotografico.

La spiegazione delle procedure eseguite e dei pregi e difetti dei programmi sopraelencati viene riportata nei prossimi paragrafi.

4.1 – PROGRAMMA CAD

Come primo passo dello studio dei Chiostri degli Eremitani si sono dovute creare le piante, i prospetti e le sezioni dell'edificio per poter comprendere gli effettivi rapporti fra spazi e le problematiche esistenti (ad esempio riguardanti il degrado). Si è quindi utilizzato il programma "Autodesk Autocad 2011".

Terminata la riproposizione bidimensionale si è creato un modello tridimensionale "assemblando le piante con i prospetti e sezioni e facendo uso della documentazione fotografica per modellare i dettagli più complessi.

In particolare grande importanza è stata data alla genesi delle volte a crociera di cui è composto il chiostro maggiore in quanto di maggior pregio architettonico e pur apparendo semplice e chiara a prima vista, nasconde una precisa e non sempre scontata costruzione geometrica. (Vedi paragrafo successivo 4.1.1). Nel complesso quindi "Autocad" essendo un programma per il disegno tecnico consente di creare

elementi 2D precisissimi e in poco tempo data la facilità dei comandi e di immissione delle misure. Permette inoltre di creare modelli 3D molto accurati a patto di avere acquisito una certa dimestichezza con le viste prospettiche e ortogonali. Il problema riscontrato in questo programma è la mancanza di un motore di rendering capace di creare immagini a livello professionale. Per questo motivo tale operazione è stata fatta importando il modello in “Autodesk Revit Architecture 2011”.

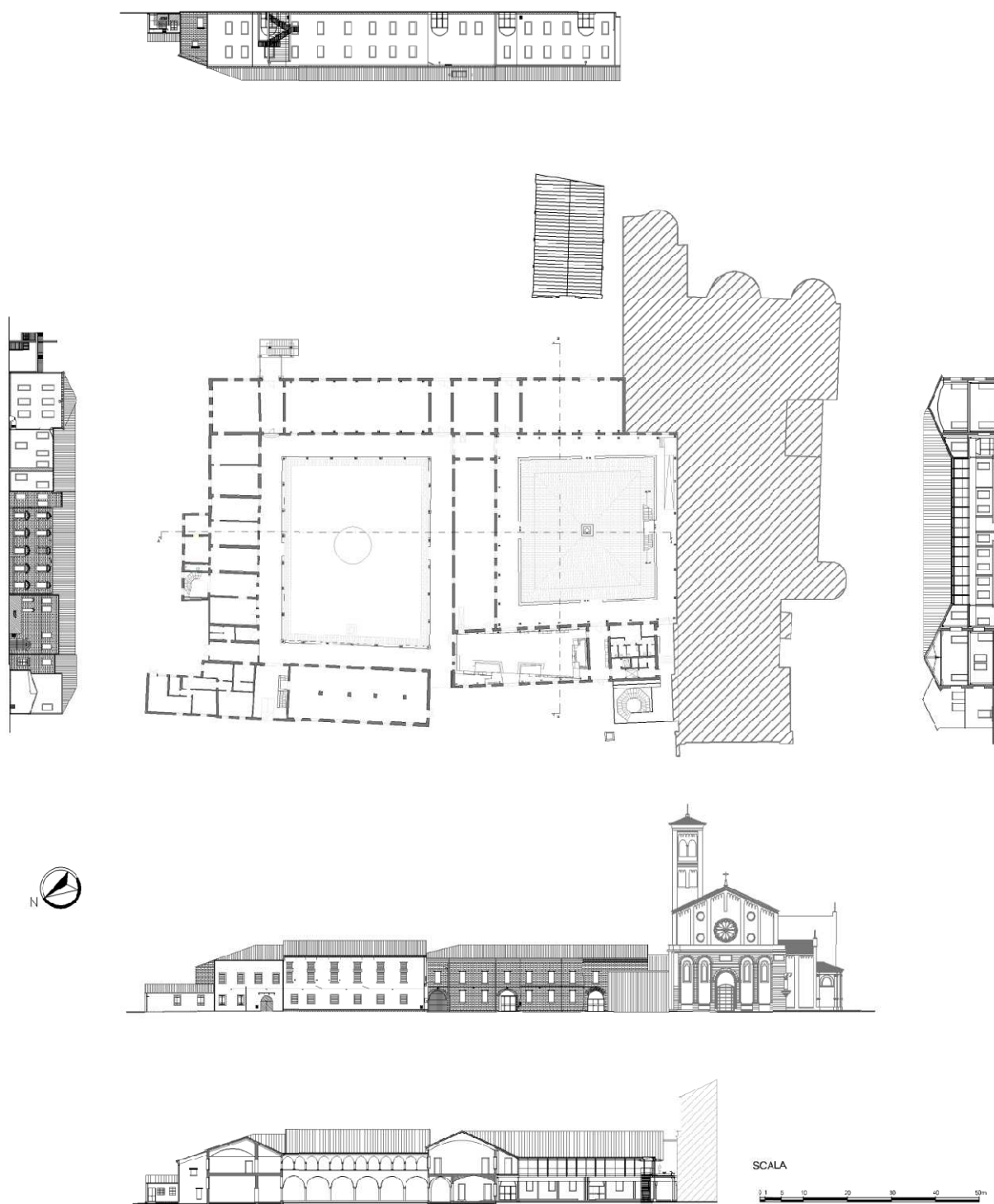


Fig.[4.1] Piante, sezioni e prospetti dei Chiostri degli Eremitani.

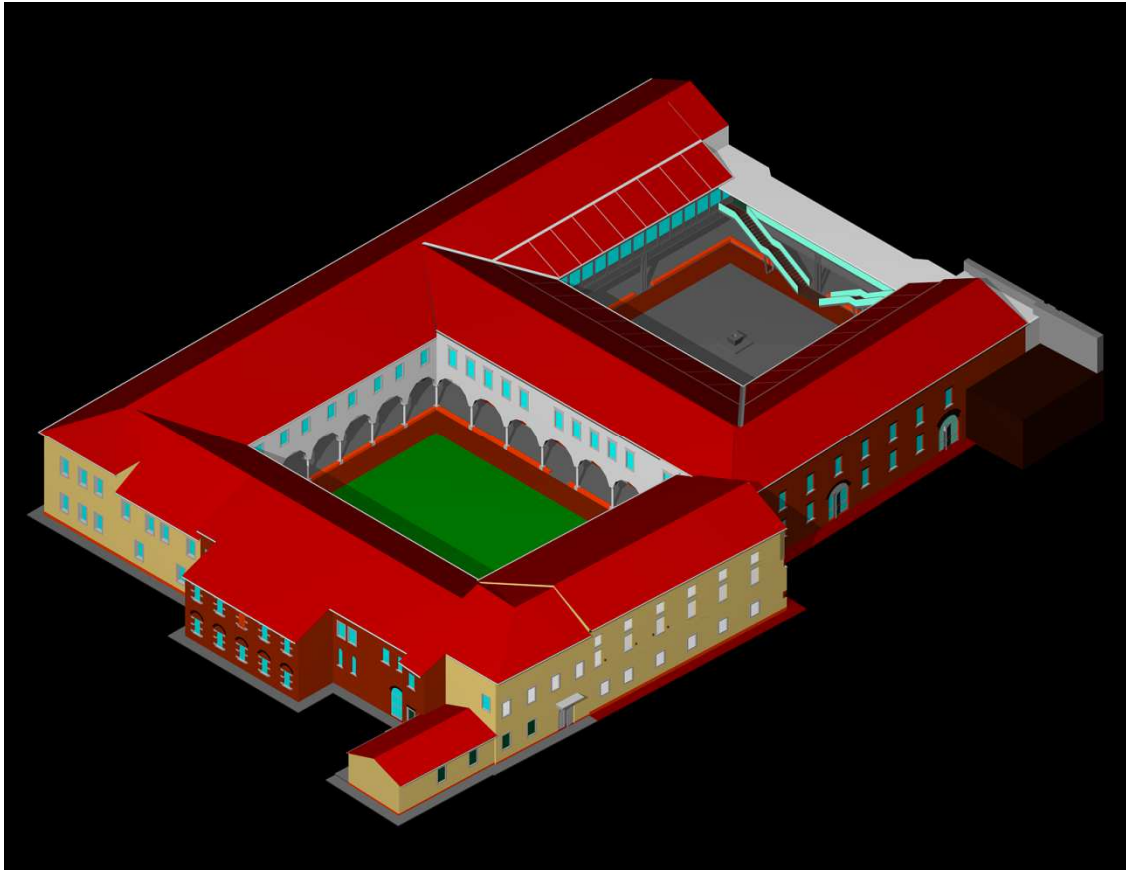


Fig.[4.2] Modello dei Chiostri degli Eremitani creato con Autocad.

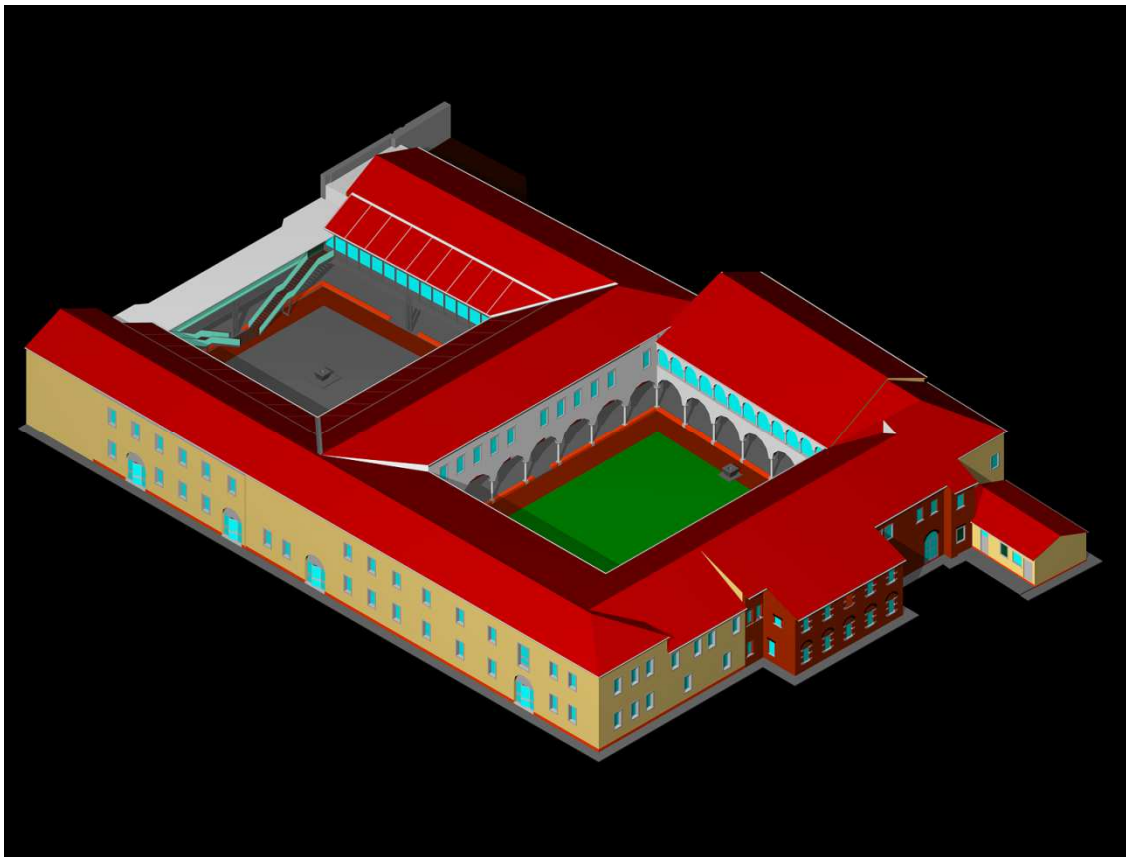


Fig.[4.3] Modello dei Chiostri degli Eremitani creato con Autocad.

4.1.1 – VOLTE A CROCIERA DEL CHIOSTRO MAGGIORE

Il Chiostro Maggiore è ricco di volte a crociera, ne conta ben 30. La volta a crociera è solitamente utilizzata per coprire spazi con pianta quadrata ed è generata dall'intersezione di due porzioni di semicilindri cavi a base circolare, solitamente uguali tra loro, le cui generatrici sono disposte orizzontalmente: dal momento che questa superficie composta risulta contenere quindi gli archi direttrici di ciascun semicilindro, essa si presta bene a scaricare le proprie tensioni su degli appoggi puntiformi, appunto colonne o pilastri. Spesso la volta a crociera può essere usata anche per coprire spazi a base rettangolare, come nel caso del chiostro in esame: qui infatti la volta a crociera è formata da due botte laddove solo una delle direttrici risulta semicircolare, essendo l'altra una semiellisse con il semiasse minore della stessa misura del raggio dell'altra direttrice: anche in questo caso, come in quello in generale, si ottiene una curva del quarto ordine che nel nostro caso si sdoppia in due ellissi intersecantesi in corrispondenza della chiave della volta: solitamente in corrispondenza di queste due ellissi vengono costruiti i costoloni della volta a crociera.

Si osservi che la proiezione in pianta dei costoloni è sempre una linea retta, perché i piani che tagliano detti semicilindri sono verticali e quindi perpendicolari al piano di imposta. La volta a crociera con proiezione rettangolare sul piano orizzontale, quindi si ottiene dall'intersezione del semicilindro della botte con diametro inferiore e dal semicilindro ellissoidico della botte con diametro maggiore.

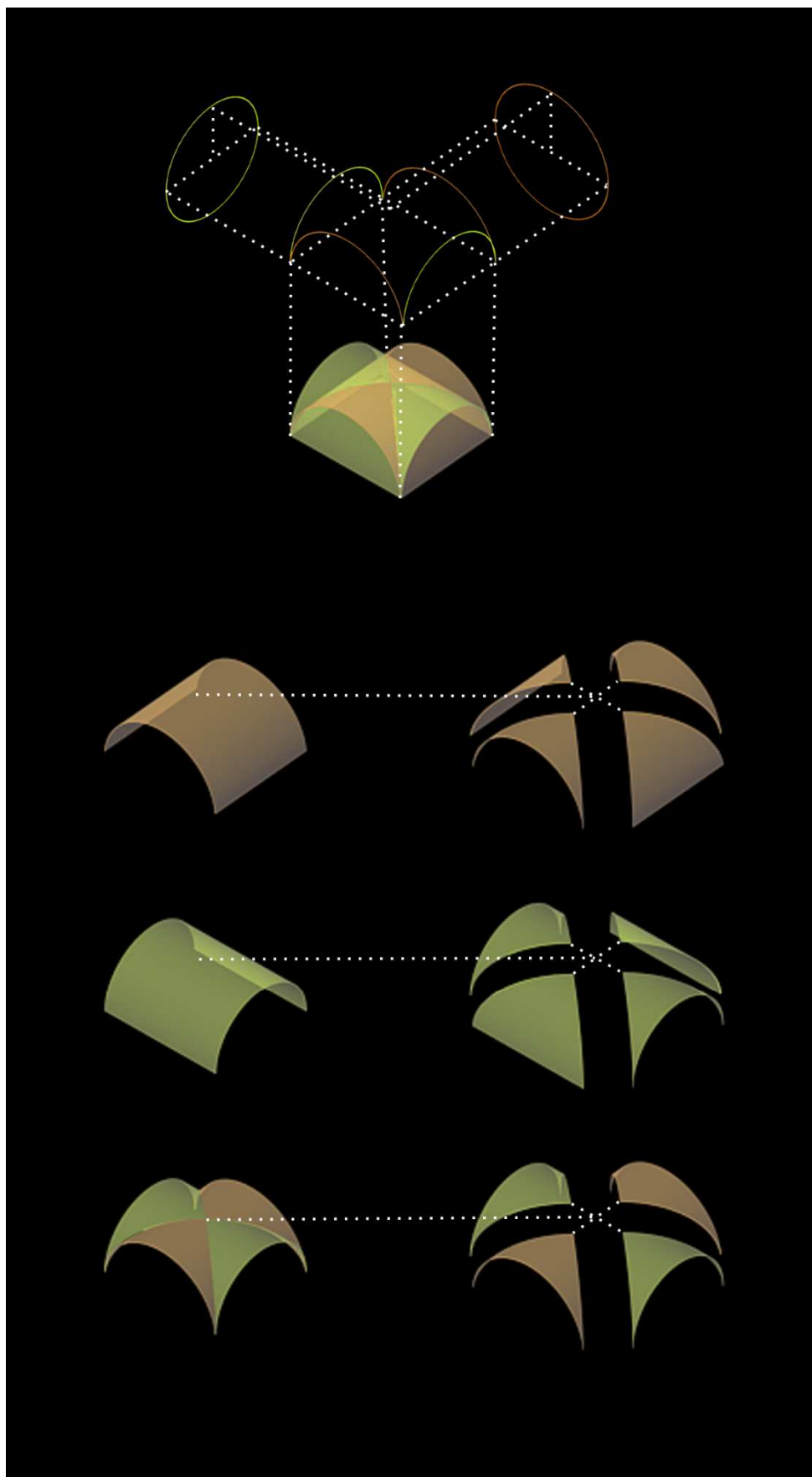


Fig.[4.4] Genesi delle volte a crociera.

4.2 – PROGRAMMA PER IL RENDER FOTOGRAFICO

Nello studio dei Chiostri degli Eremitani è stata data grande importanza alla riproduzione visiva del modello. In particolare è stato realizzato un modello grafico utilizzando il programma “Autodesk Revit Architecture 2011” al fine di rendere più chiara la composizione della struttura nel suo insieme. Il modello è stato poi contestualizzato nella zona sulla quale sorgono i chiostri, al fine di rendere più realistica la visione.

Gli edifici riportati assieme ai chiostri sono stati riportati con le volumetrie reali e nel caso della Chiesa degli Eremitani anche delle fonometrie e dettagli architettonici perché tale elemento è indispensabile per la collocazione urbana dei chiostri.

Il programma Revit è stato scelto perché permette di creare dei rendering di buona qualità compreso l’ambiente circostante come cielo, vegetazione ecc., ed inoltre questo software gestisce un’ottima illuminazione e creazione di ombre.

Le fasi che portano alla creazione del modello sono le seguenti:

- Creazione in ambiente “Autocad” del modello dei chiostri;
- Creazione in ambiente “Autocad” del modello del terreno e degli edifici circostanti più significativi;
- Inserimento dei chiostri all’interno del “sito”;
- Importazione del modello complessivo in ambiente “Revit”;
- Aggiustamento dei solidi importati;
- Inserimento vegetazione all’interno del modello;
- Inserimento materiali (texture) ai solidi;
- Inserimento delle camere da presa;
- Gestione della luce all’interno del modello;
- Render della scena.

La creazione di render consente inoltre di spiegare visivamente i meccanismi locali di collasso riproposti nel capitolo successivo.

La creazione del modello in “Autocad” è giustificata perché risulta conveniente, in alcuni casi, in termini di tempo creare oggetti 3D in questo ambiente per poi importarli

solo in un secondo momento poiché la modellazione risulta più difficile all'interno di "Revit". L'importazione del modello da "Autocad" a "Revit" ha creato non poche difficoltà per la non perfetta compatibilità fra i due programmi quindi si è dovuto operare tramite un aggiustamento dei solidi inseriti. Inoltre la gestione delle texture su "Revit" avviene attraverso i layer importati da autocad quindi si è dovuto gestire tale operazione già nel programma di modellazione.

Lo studio delle texture è risultata una fare fondamentale, infatti si è cercato di applicare dei materiali che maggiormente rispecchiassero la realtà (ad esempio mattoni, coppi, pavimentazioni).

Elemento altrettanto importante è stata l'illuminazione dell'ambiente di rendering gestito attraverso illuminazione fissa della "luce solare" ad ore prefissate del giorno in modo tale da rendere il più opportuno possibile l'effetto visivo.

Di seguito sono riportati i render creati:

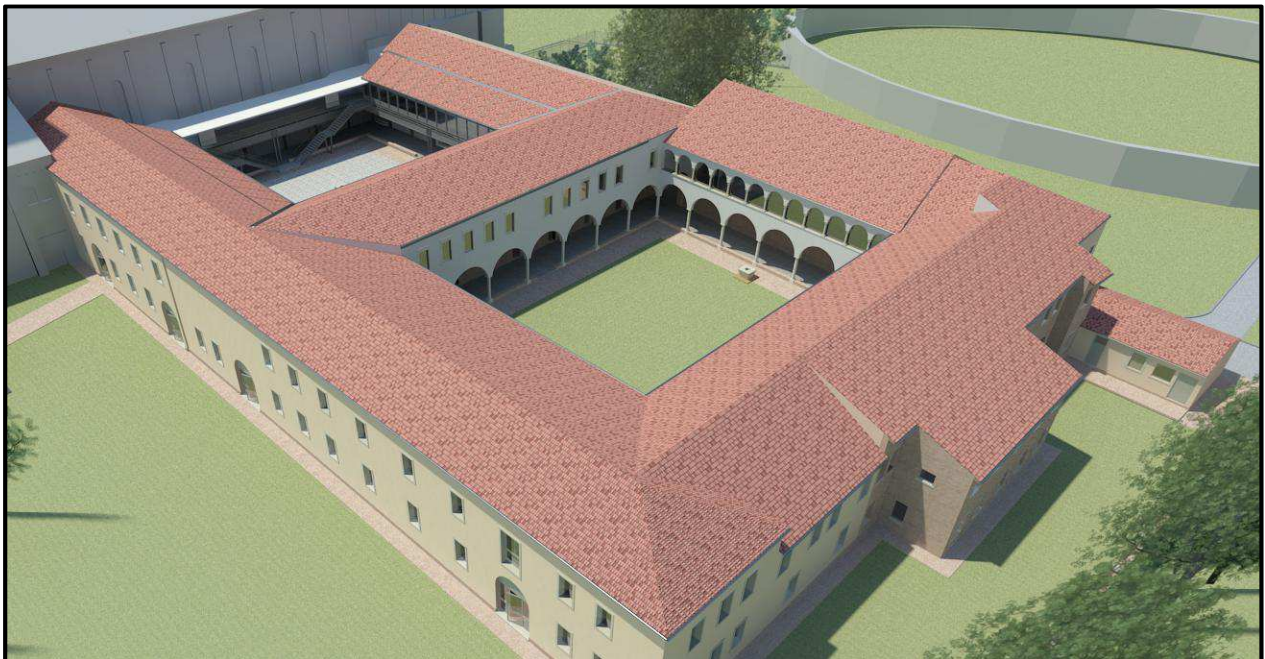


Fig.[4.5] Vista di insieme dei Chiostri degli Eremitani.



Fig.[4.6] Vista del prospetto est – ingresso dei chiostri.



Fig.[4.7] Vista del prospetto est – ingresso dei chiostri



Fig.[4.8] Vista del prospetto est – parte settentrionale.



Fig.[4.9] Vista del prospetto est – parte settentrionale.



Fig.[4.10] Vista del prospetto nord.



Fig.[4.11] Vista del prospetto nord.



Fig.[4.12] Vista da nord-est.



Fig.[4.13] Vista del prospetto est.



Fig.[4.14] Vista dall'alto del chiostro maggiore.



Fig.[4.15] Vista da sud-ovest del chiostro maggiore.



Fig.[4.16] Vista da nord-est del chiostro maggiore.

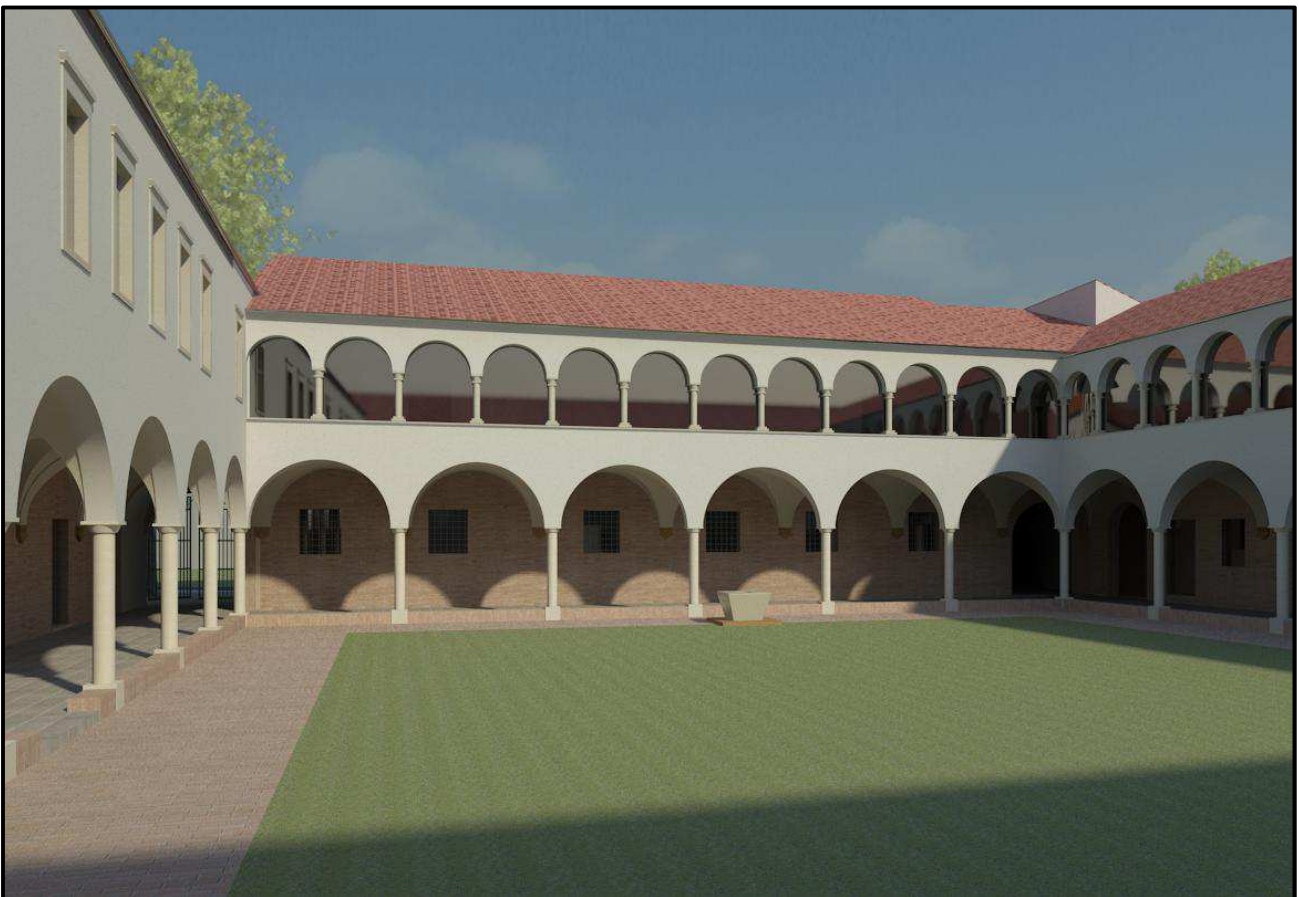


Fig.[4.17] Vista da sud-est del chiostro maggiore.



Fig.[4.18] Vista del portico est del chiostro maggiore.



Fig.[4.19] Vista da sud-est del chiostro maggiore.



Fig.[4.20] Vista del portico nord del chiostro maggiore.



Fig.[4.21] Vista del portico ovest del chiostro maggiore.



Fig.[4.22] Vista del portico sud del chiostro maggiore.



Fig.[4.23] Vista dall'alto del chiostro minore.



Fig.[4.24] Vista da nord-ovest del chiostro minore.



Fig.[4.25] Vista da nord-est del chiostro minore.



Fig.[4.26] Vista da sud-ovest del chiostro minore.

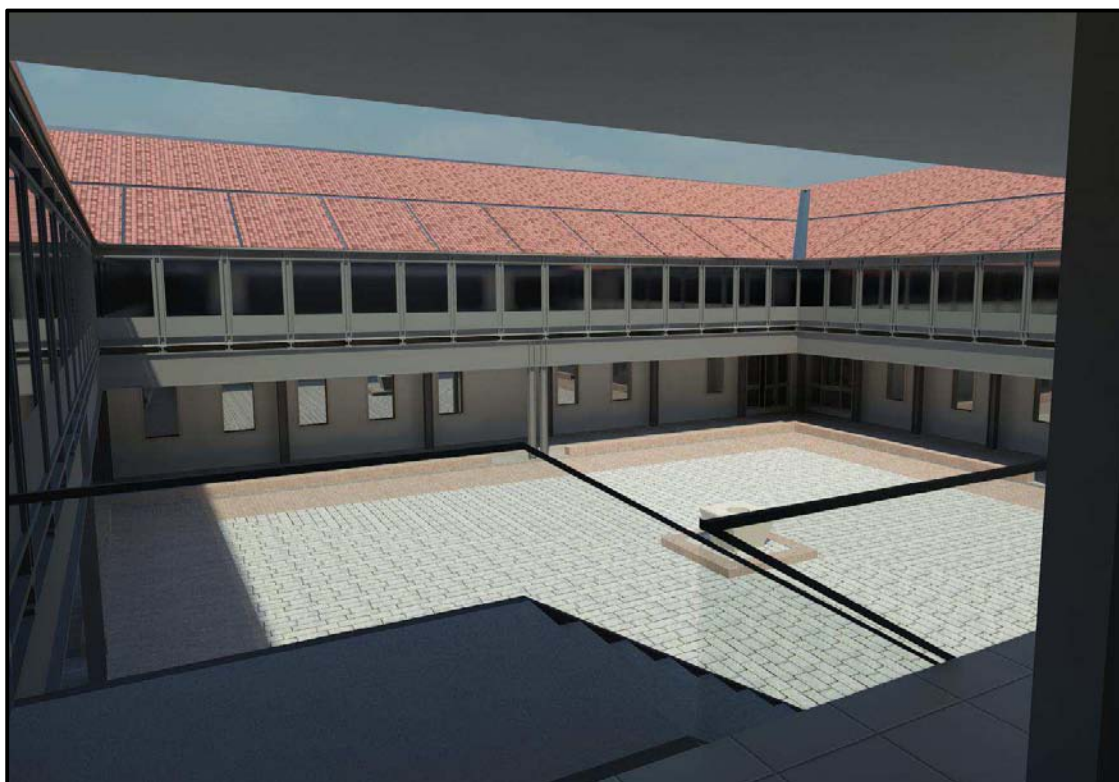


Fig.[4.27] Vista da sud-ovest del chiostro minore.



Fig.[4.28] Vista del portico est del chiostro minore.



Fig.[4.29] Vista del portico sud del chiostro minore.



Fig.[4.30] Vista del portico ovest del chiostro minore.

CAPITOLO 5

VULNERABILITA' SISMICA

5.1 – MODELLO PER L'INDIVIDUAZIONE DELLE VULNERABILITA'

5.1.1 – PREMESSA

Nelle nuove progettazioni la verifica sismica avviene valutando l'edificio nel suo complesso considerandolo come un unico insieme in cui le diverse parti concorrono per dare una risposta unitaria all'eventuale forza sismica.

Questo criterio non può essere adottato per gli edifici storici in muratura, sia per la geometria spesso complessa e articolata della costruzione, sia per la non buona qualità dei dettagli costruttivi, come i cattivi ammorsamenti tra le pareti, o tra pareti e solai, la mancanza di presidi antisismici, il non rispetto dell'esecuzione a regola d'arte, ecc. Tenendo in considerazione tutto questo e osservando i danni riportati da edifici di questo tipo in occasione degli eventi sismici del passato, appare evidente come, per tali edifici, non si può considerare un comportamento sismico unitario della costruzione, ma si deve prevedere una scomposizione in porzioni architettoniche, dette macroelementi, in grado di dare una risposta autonoma rispetto all'edificio. Come scritto nelle linee guida, per individuare i probabili cinematismi che si possono verificare nell'edificio si deve eseguire un accurato studio preliminare sullo stesso sotto diversi punti di vista: tra questi il rilievo geometrico, dello stato fessurativo e di degrado e l'analisi dell'evoluzione storica degli eventi. Per questo motivo in questo capitolo si è cercato di creare un modello dell'edificio che inglobi tutte queste informazioni e che contenga quindi tutte le variabili per una comprensione che sia la più completa possibile sul comportamento dell'edificio. Nello specifico nel paragrafo 5.1.3 verrà descritto l'inserimento nel modello di tutti i dati relativi al degrado, quindi soprattutto quelli relativi al quadro fessurativo ed inoltre verranno riportati i presidi antisismici rilevati. Poi nel paragrafo 5.1.4 si illustreranno le principali modifiche apportate al fabbricato, soprattutto con il restauro degli anni '70. Con questo strumento verranno poi individuate nel capitolo 6, delle zone critiche del fabbricato dove si individueranno i

possibili macroelementi ed i meccanismi cinematici più attendibili con le conoscenze in nostro possesso. Come già ribadito più volte in precedenza, la conoscenza di alcuni aspetti dell'edificio come il rilievo materico e la caratterizzazione meccanica dei materiali è limitata perciò nel paragrafo 5.2 si faranno delle considerazioni sul modello descriveranno alcune indagini che potrebbero essere eseguite, utili per accrescere le informazioni da aggiungere al modello.

5.1.2 – RISCHIO SISMICO

La sismicità indica la frequenza e la forza con cui si manifestano i terremoti, ed è una caratteristica fisica del territorio. Se conosciamo la frequenza e l'energia associate ai terremoti che caratterizzano un territorio, e attribuiamo un valore di probabilità al verificarsi di un evento sismico di una data magnitudo in un certo intervallo di tempo, possiamo definirne la pericolosità sismica. La pericolosità sismica sarà tanto più elevata quanto più probabile sarà il verificarsi di un terremoto di elevata magnitudo, a parità di intervallo di tempo considerato. Le conseguenze di un terremoto dipendono anche dalle caratteristiche di resistenza delle costruzioni alle azioni di una scossa sismica. La predisposizione di una costruzione ad essere danneggiata si definisce vulnerabilità. 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'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). La nostra Penisola è dunque ad elevato rischio sismico, in termini di vittime, danni alle costruzioni e costi diretti e indiretti attesi a seguito di un terremoto.

Prima di descrivere il processo che ha portato all'individuazione delle vulnerabilità sismiche dei Chiostri degli Eremitani si riporta nella pagina la storia sismica di Padova e del Veneto per valutare gli eventi sismici che potrebbero aver interessato il complesso preso in considerazione (informazioni aggiornate al 2010).

Sismicità del Veneto

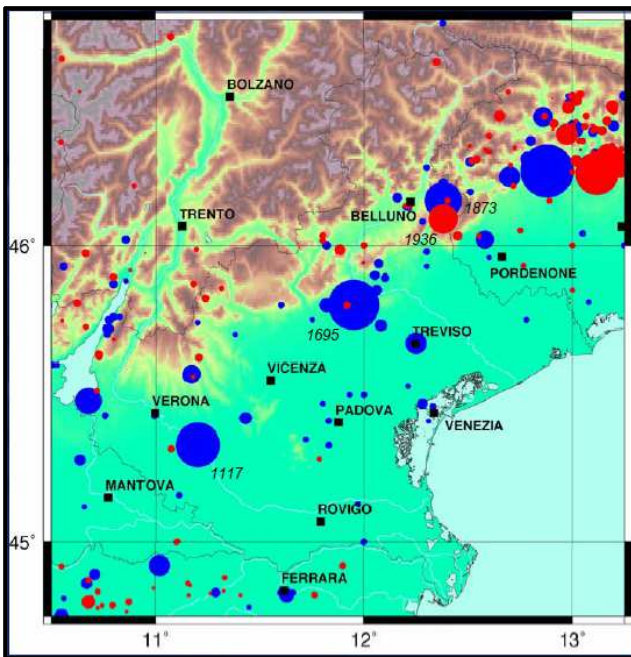


Fig.[5.1] Terremoti storici: blu=pre-1900, rosso=1901-1976 dati da CPTI04.

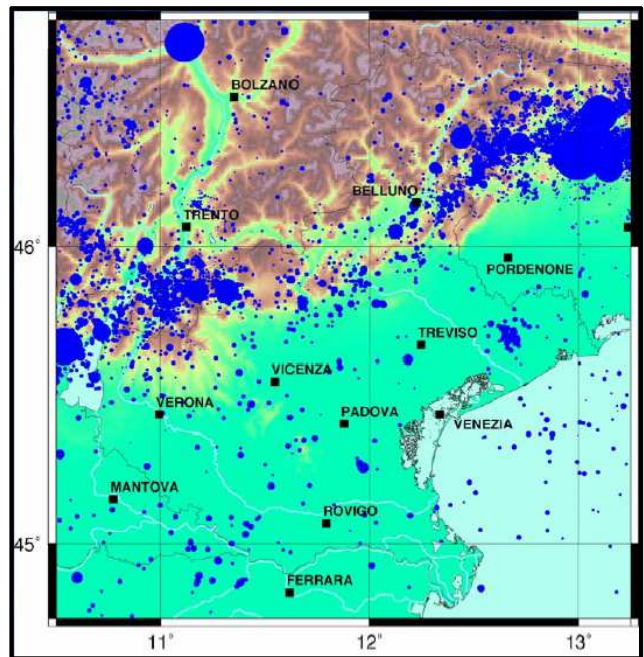
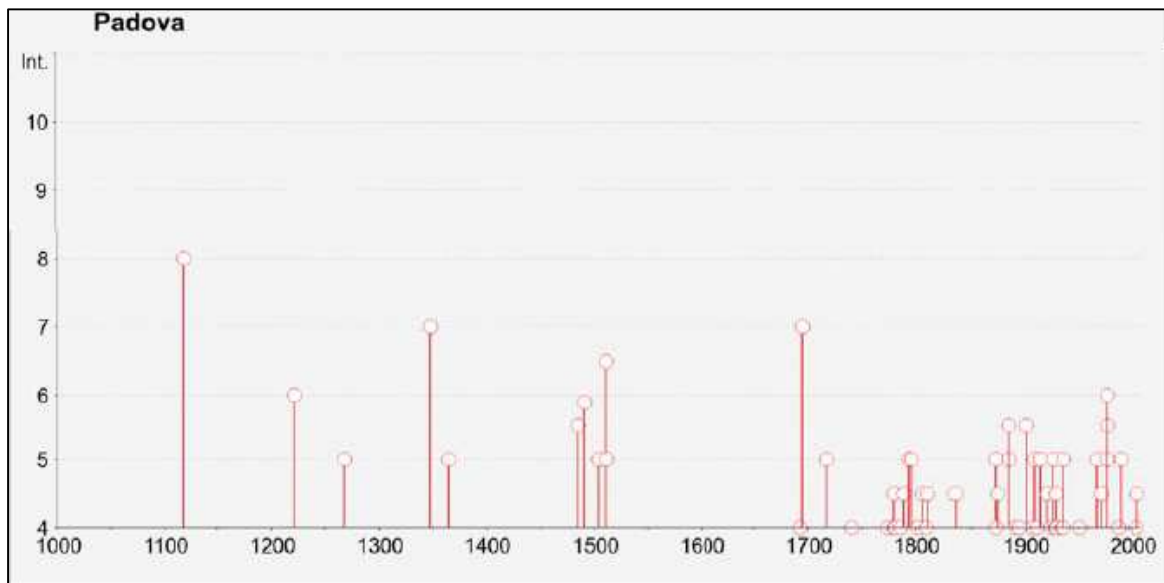


Fig.[5.2] Terremoti strumentali: blu=1977-2010 dati da bollettini OGS.

Storia sismica di Padova



Is	anno	mm	gg	Epicentro
5-6	1485	09	01	PADOVA
5-6	1885	12	29	VITTORIO VENETO
8	1117	01	03	Veronese
6	1222	12	25	Basso Bresciano
7	1348	01	25	Carinzia
D	1491	01	24	Padova
6-7	1511	03	26	Slovenia
7	1695	02	25	Asolano
5-6	1901	10	30	Salò
5-6	1976	05	06	Friuli
6	1976	09	15	Friuli

Fig.[5.3] Storia sismica di Padova, informazioni trattate dalla banca dati INGV.

5.1.3 – INSERIMENTO NEL MODELLO 3D DELLE INFORMAZIONI RELATIVE AL DEGRADO

In questa fase si è operato riprendendo il modello tridimensionale descritto nel capitolo 4, dove sono stati rimossi elementi inutili, come ad esempio le finestrate e dove sono state poi riportati tutti i dati relativi al degrado. Queste informazioni riguardano anche le posizioni dei presidi antisismici rilevati. Possiamo distinguere nel modello raffigurato nelle immagini seguenti quattro diverse parti del fabbricato di diversa natura connotati da colori diversi. Tutta la parte del modello di colore grigio indica le porzioni del fabbricato originarie, nelle quali non si sono realizzati interventi significativi. La porzione di colore giallo indica gli interventi eseguiti nel chiostro minore nel restauro degli anni '70. Questa porzione dell'edificio si distingue dalle altre e può essere valutata separatamente in quanto è composta da una struttura in acciaio. La zona di color ciano denota la porzione di edificio ricostruita anch'essa nel restauro degli anni '70, ma composta da una struttura mista acciaio-muratura. La parte di colore verde invece denota una porzione del Chiostro Maggiore, ricostruita sempre nel medesimo periodo, composta da un assetto strutturale e materiale simile alle altre ali del chiostro.

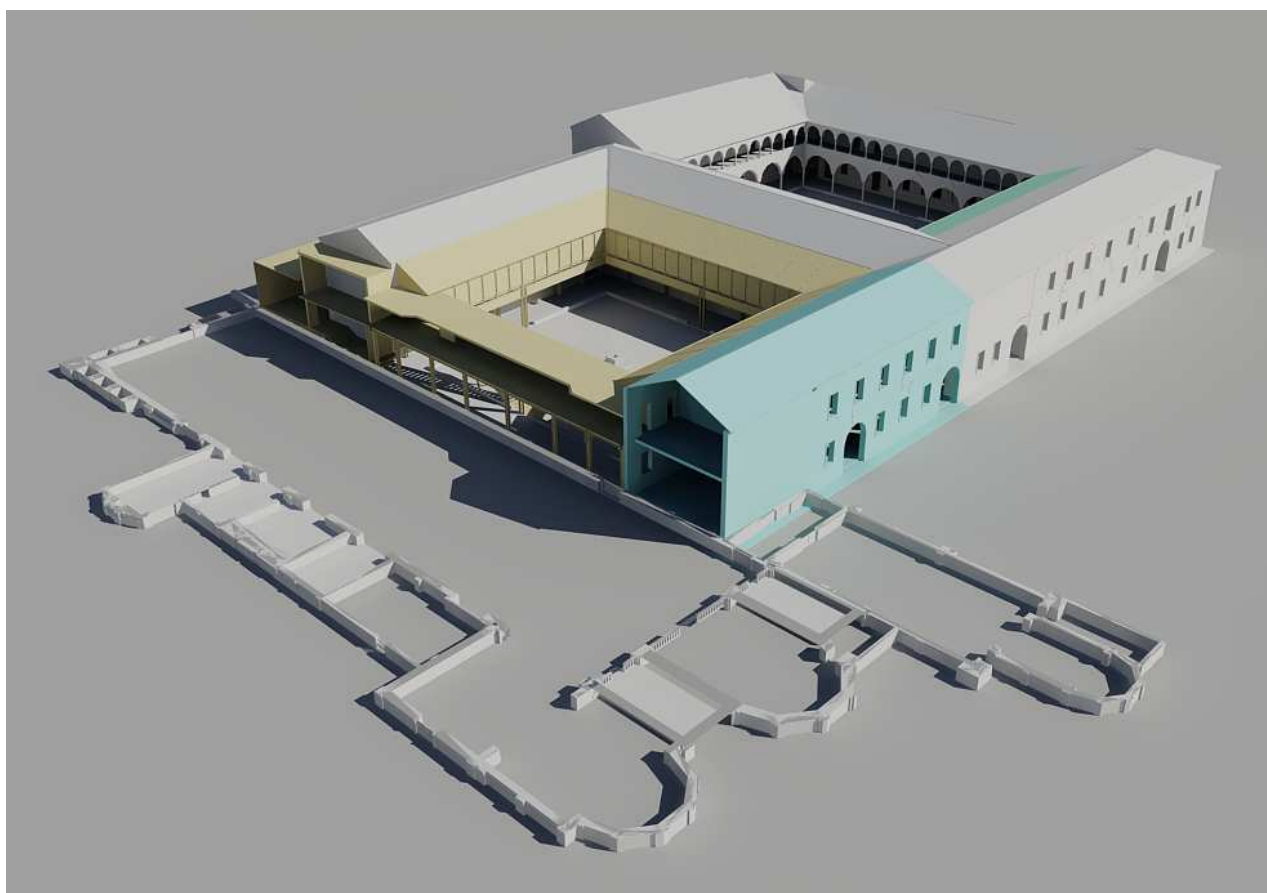


Fig.[5.4] Visione generale del modello della vulnerabilità sismica, vista da sud-est.

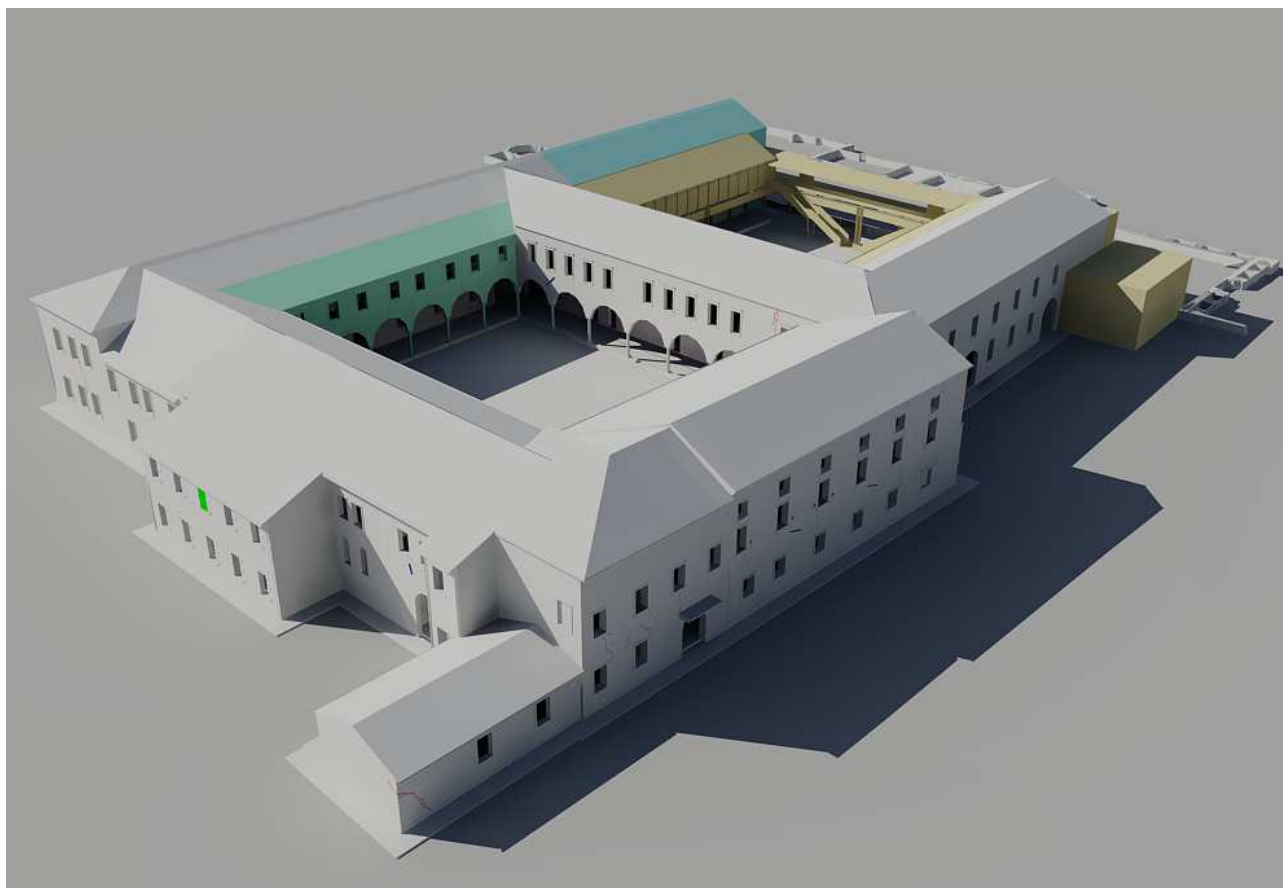


Fig.[5.5] Visione generale del modello della vulnerabilità sismica, vista da nord-ovest.



Fig.[5.6] Visione generale del modello della vulnerabilità sismica, vista da nord-est.

Successivamente, in questo modello, sono stati inseriti tutti i dati riportati nel paragrafo 3.3 riguardanti il quadro fessurativo, le tamponature e eventuali presiti antisismici presenti. Nelle **Fig.[5.7 - 5.8 - 5.9 - 5.10 - 5.11 - 5.12 - 5.13 - 5.14 - 5.15]** vengono riportati i prospetti del modello sia esterni che interni dei chiostri. La legenda per la lettura di queste immagini è la medesima utilizzata per la descrizione del rilievo del degrado.

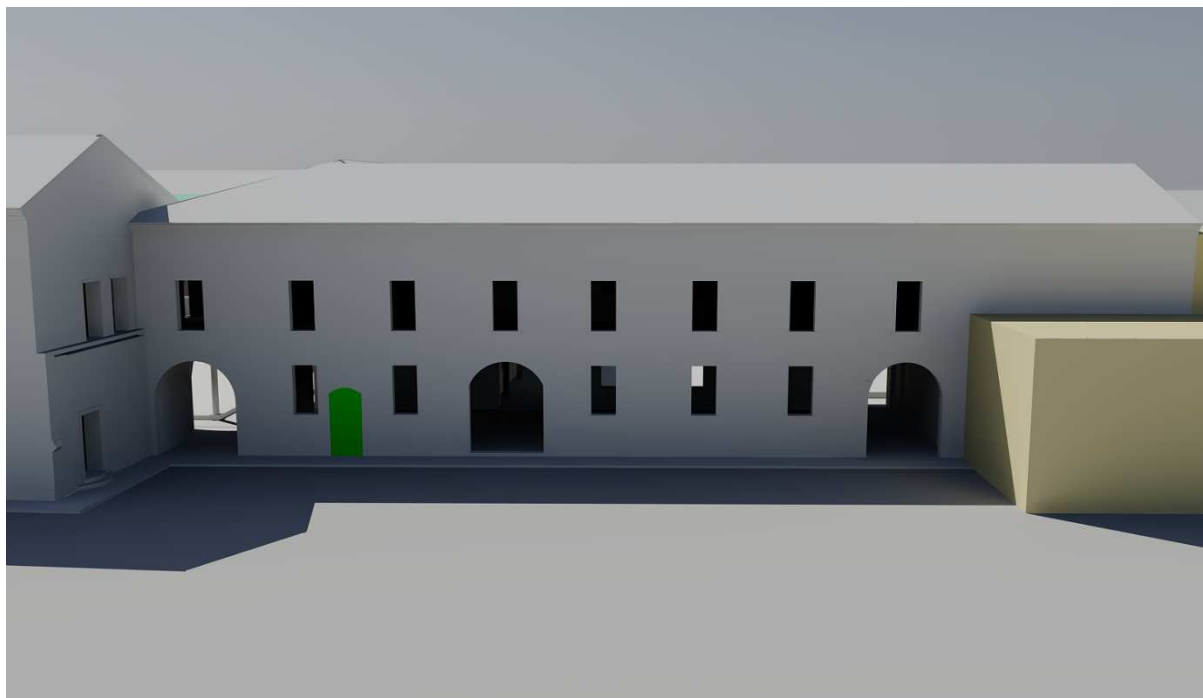


Fig.[5.7] Vista della porzione destra del prospetto Ovest.



Fig.[5.8] Vista della porzione sinistra del prospetto Ovest.

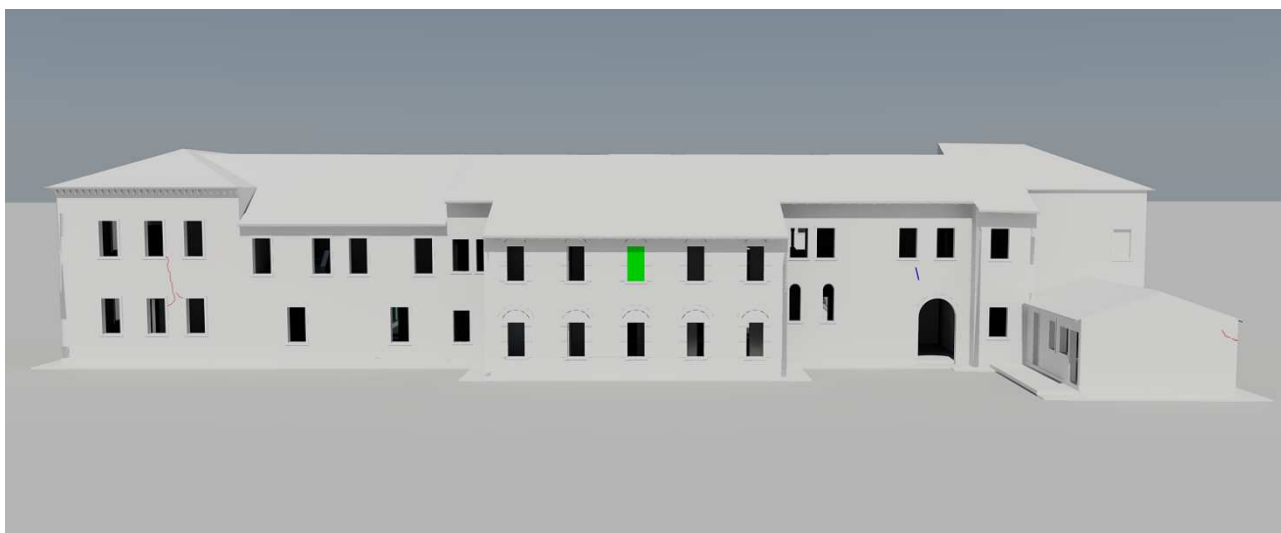


Fig.[5.9] Vista del prospetto Nord.



Fig.[5.10] Vista della porzione sinistra del prospetto Est.

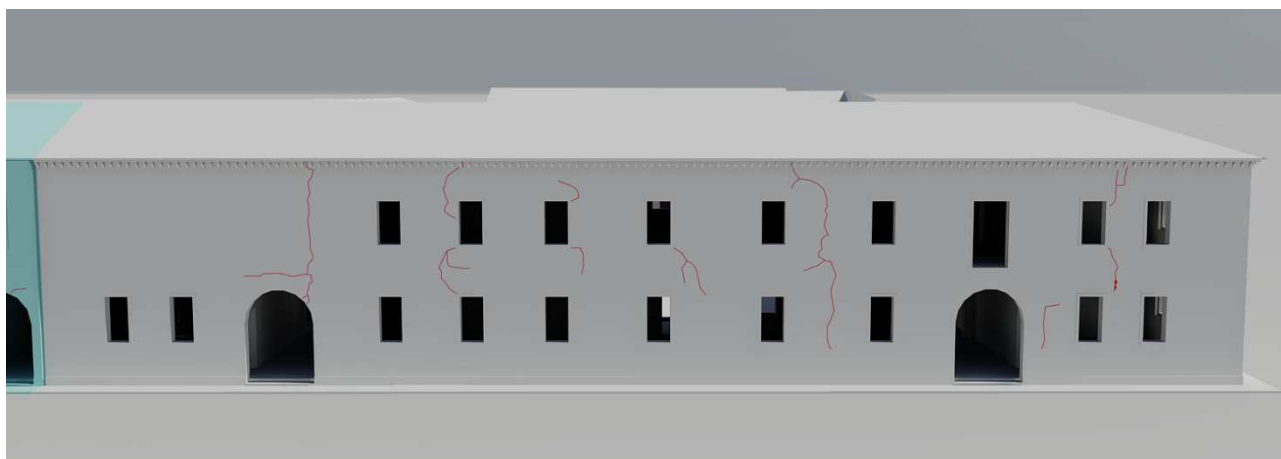


Fig.[5.11] Vista della porzione destra del prospetto Est.

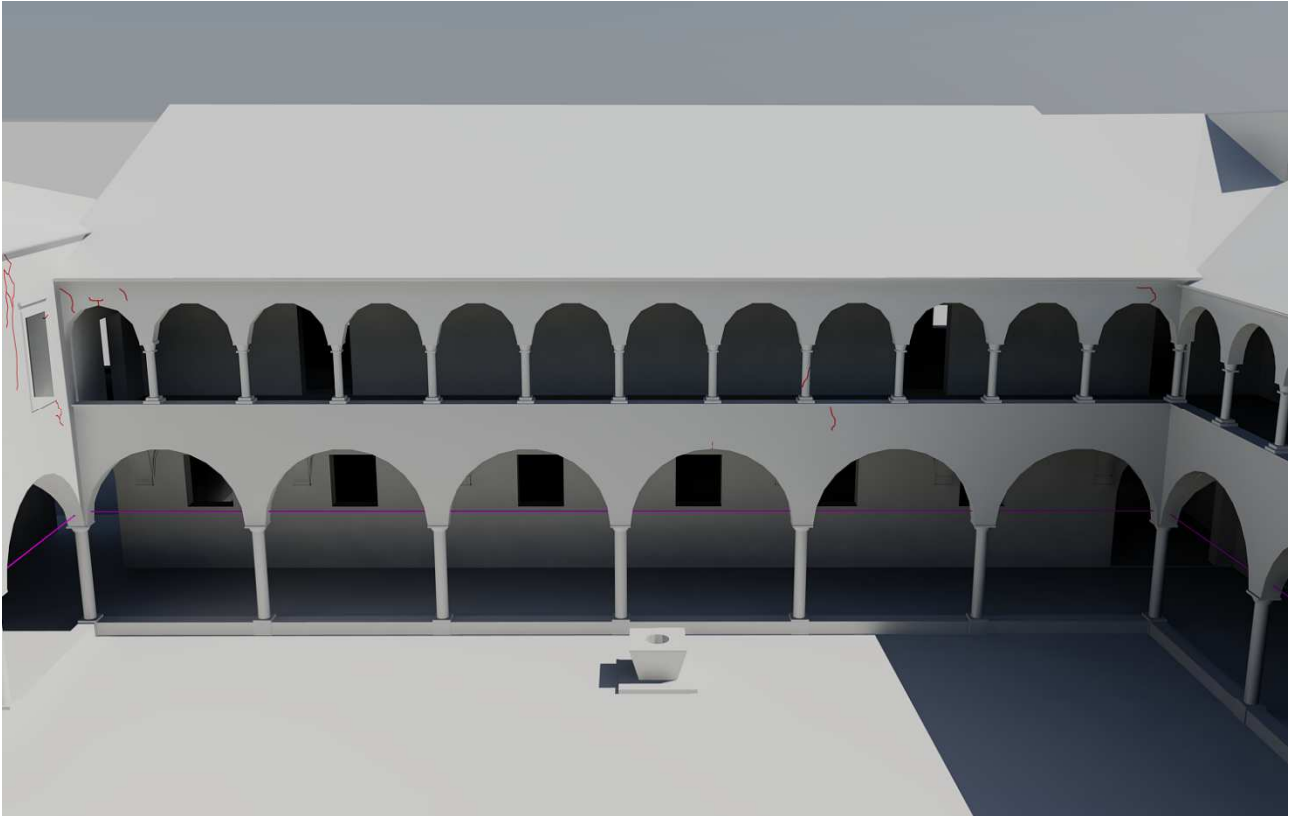


Fig.[5.12] Vista del prospetto Ovest del Chiostro Maggiore.

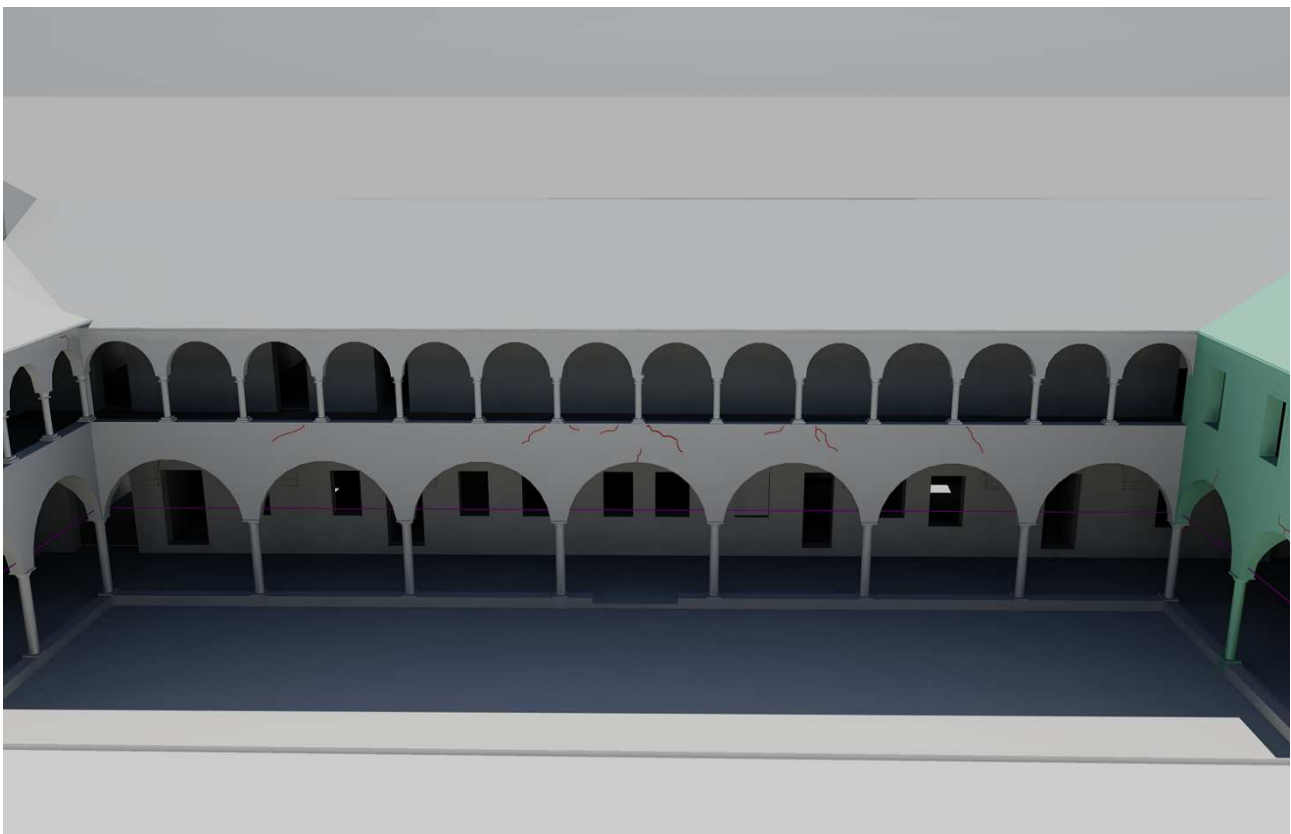


Fig.[5.13] Vista del prospetto Nord del Chiostro Maggiore.

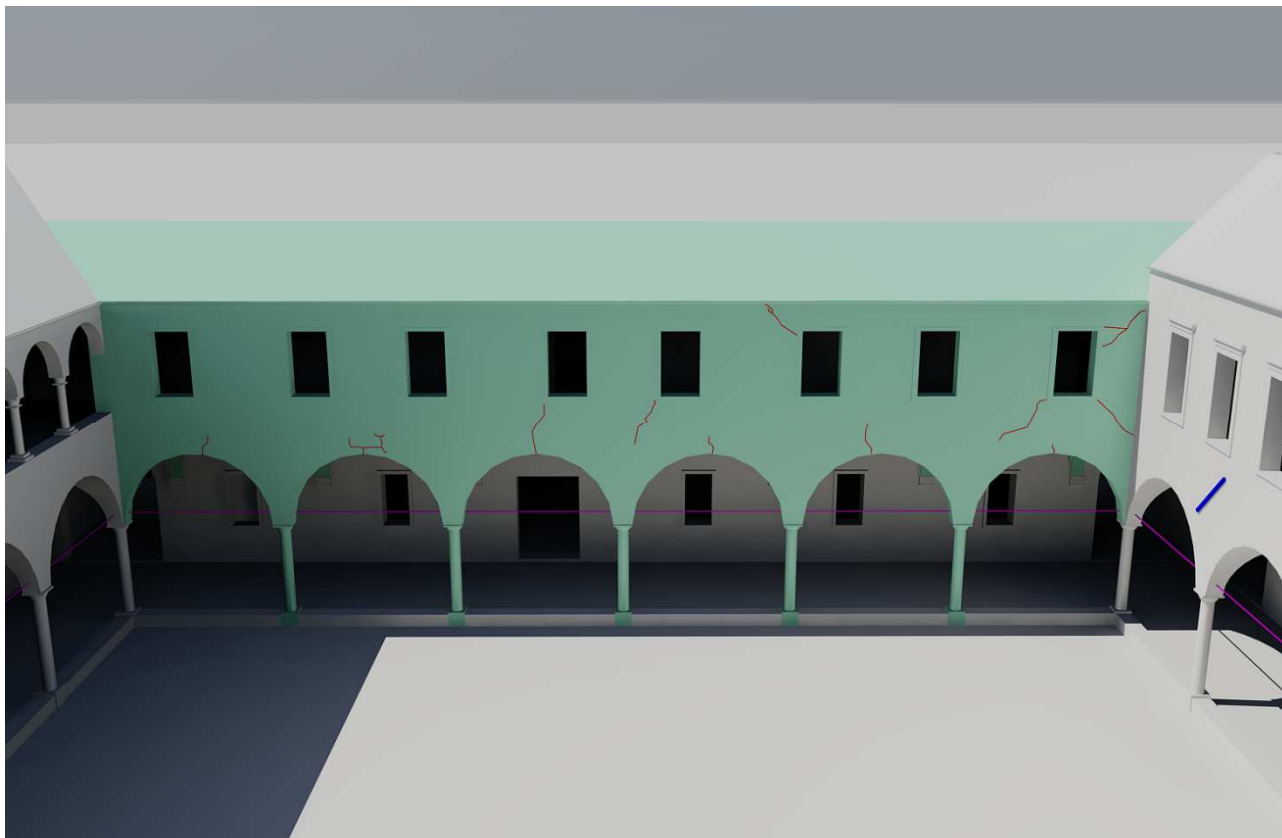


Fig.[5.14] Vista del prospetto Est del Chiostro Maggiore.

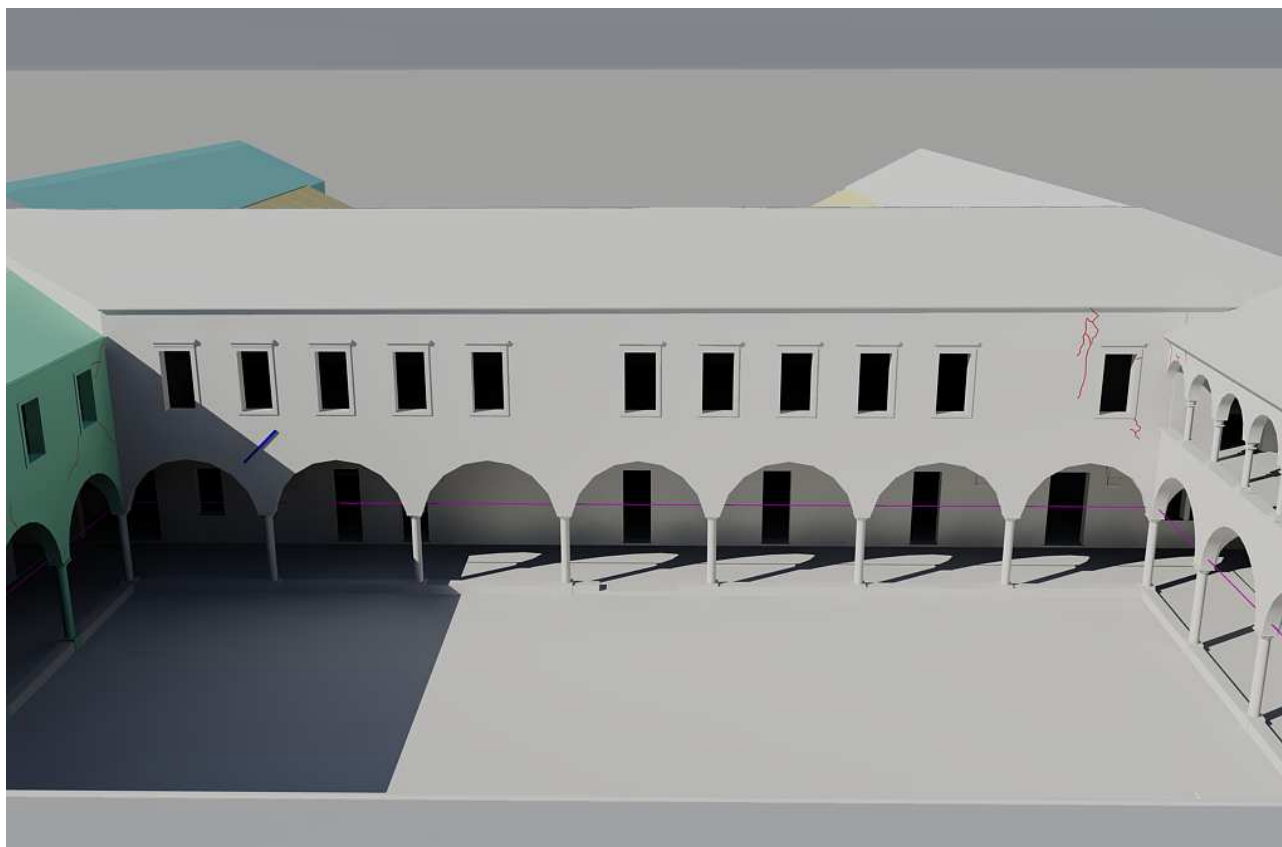


Fig.[5.15] Vista del prospetto Sud del Chiostro Maggiore.

5.1.4 – INSERIMENTO NEL MODELLO 3D DELLE INFORMAZIONI RELATIVE ALL'EVOLUZIONE STORICA

Oltre a riportare tutte le informazioni che riguardano il degrado fessurativo del complesso si è fatto un lavoro di ricostruzione delle aggiunte costruttive apportate ai chiostri, soprattutto con l'intervento di restauro degli anni '70. Queste trasformazioni possono aver mutato in taluni casi il comportamento strutturale del fabbricato.

Nella prima metà del secolo scorso i chiostri erano sede di un distretto militare ed ospitavano gli alloggi dei soldati e delle loro famiglie. Pertanto la conformazione strutturale dei chiostri era diversa da quella che possiamo osservare oggi. Ai fini di una corretta individuazione del sistema resistente e del suo stato di sollecitazione è importante la ricostruzione dell'intera storia costruttiva del bene tutelato, ossia del processo di costruzione e delle successive modificazioni nel tempo del manufatto.

In particolare si evidenzia la successione realizzativa delle diverse porzioni di fabbrica, al fine di individuare le zone di possibile discontinuità e disomogeneità materiale, attraverso una rappresentazione tridimensionale. La storia dell'edificio può anche essere utilizzata come uno degli strumenti di controllo e verifica della risposta dell'edificio a particolari eventi naturali o antropici e delle eventuali conseguenti trasformazioni. Si identificano pertanto gli eventi subiti, soprattutto quelli più significativi e traumatici, ed i corrispondenti effetti, accertabili per via documentale (fonti scritte o iconografiche) o tramite un rilievo analitico diretto del manufatto. Anche la storia della destinazione d'uso del bene può fornire indicazioni sulle azioni applicate in passato.

La conoscenza della risposta della costruzione ad un particolare evento traumatico può consentire di identificare un modello qualitativo di comportamento, anche se devono essere tenute presenti le modifiche intercorse nella costruzione, in particolare proprio a seguito di quell'evento. Questa analisi sarà la guida per la definizione dei meccanismi di danno maggiormente critici e per la conseguente definizione di modelli di calcolo attendibili.

Ai fini della comprensione del comportamento attuale e per la definizione degli eventuali interventi di miglioramento sismico è importante individuare la natura degli interventi di consolidamento già realizzati nel passato, la loro localizzazione e gli elementi strutturali coinvolti, il periodo di realizzazione e la verifica della loro efficacia nel tempo.

La consultazione dei numerosi cataloghi sismici esistenti ed il reperimento diretto dei documenti d'archivio relativi alla sismicità dei luoghi ed ai danni subiti dagli edifici costituisce una base di riferimento fondamentale.

A supporto di questo lavoro si usufruirà delle immagini fotografiche, risalenti circa a metà degli anni '60, descritte nel paragrafo 1.1.1 del capitolo 1. Da queste immagini, si sono individuati gli interventi apportati ai chiostri con gli interventi ad opera di Albini, Helg e Piva apportati negli anni'70 i cui casi più importanti vengono descritti nelle pagine seguenti.

5.1.4.1 – RIAPERTURA DEL LOGGIATO SUPERIORE NEL CHIOSTRO MAGGIORE

Come si può osservare dalla **Fig.[1.16]** il loggiato superiore delle ali Nord ed Ovest del Chiostro Maggiore erano state tamponate per la realizzazione degli alloggi militari. Con il restauro degli anni '70 tale loggiato è stato ripristinato com'era in origine come si può vedere dalla **Fig.[1.17]**. Anche se non è nota la modalità di esecuzione di tale intervento possiamo notare che il loggiato è composto da archi ribassati che sono in numero doppio rispetto agli archi sottostanti del portico al piano terra, infatti si nota che per ogni arco del portico sottostante corrispondono due archetti del loggiato superiore. La disposizione degli archetti infatti si alterna tra l'asse verticale del pilastro del portico e l'asse verticale corrispondente al punto sommitale dell'arco, come si può vedere nelle **Fig.[5.20 – 5.21]**.

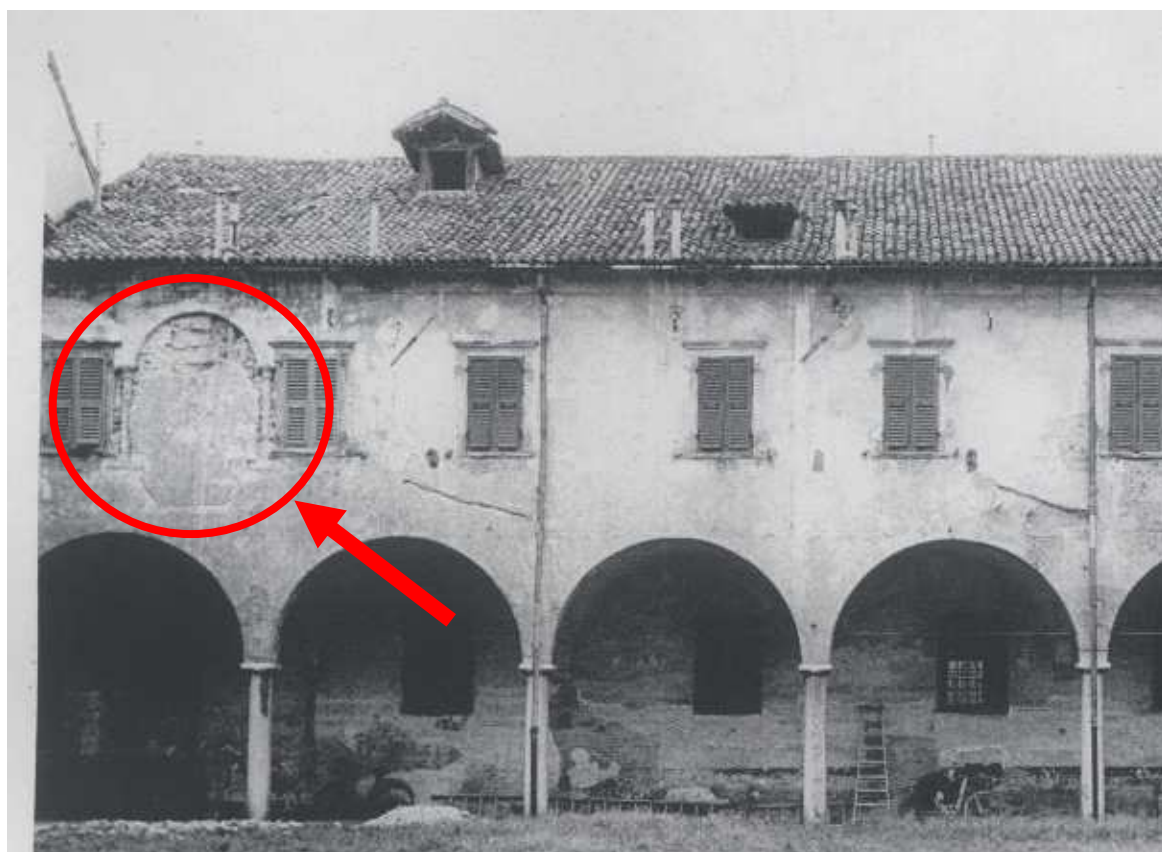


Fig.[5.16] Vista, nel particolare, dell'arco che compone il loggiato nel prospetto Ovest del Chiostro Maggiore immagine risalente agli anni '60.



Fig.[5.17] Vista del loggiato ai giorni nostri; nel particolare si può notare lo stesso arco indicato nel particolare dell'immagine precedente.



Fig.[5.18] Sotto il paramento murario che componeva il prospetto nord negli anni '60 si può notare la sagoma di un'arco del loggiato originario.



Fig.[5.19] Vista del loggiato ai giorni nostri; nel particolare si può notare lo stesso arco indicato nel particolare dell'immagine precedente.

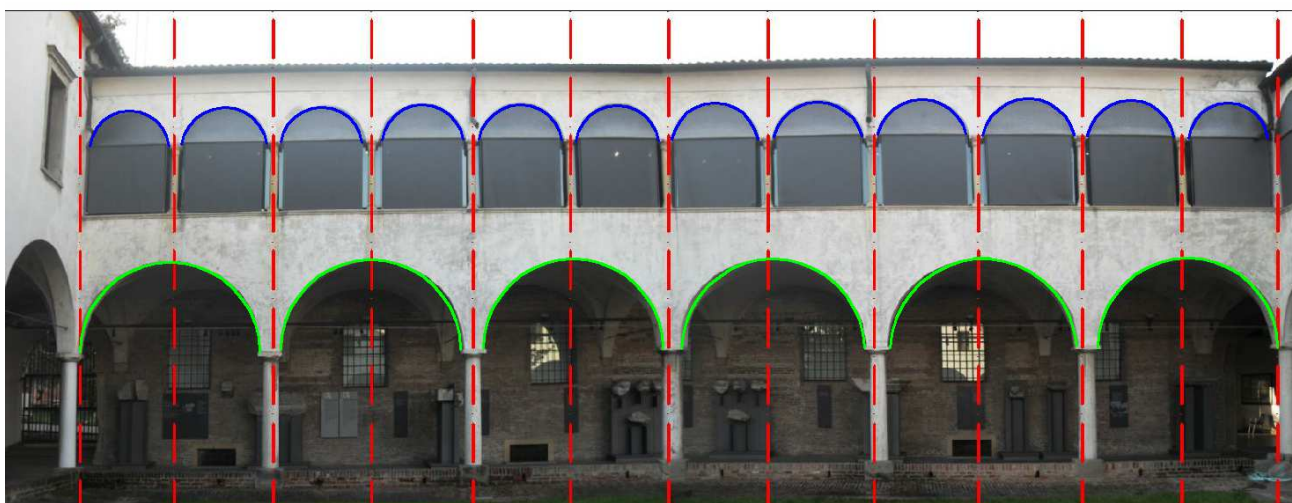


Fig.[5.20] Prospetto Ovest, disposizione degli archi del loggiato superiore (in blu) rispetto al portico inferiore (in verde).

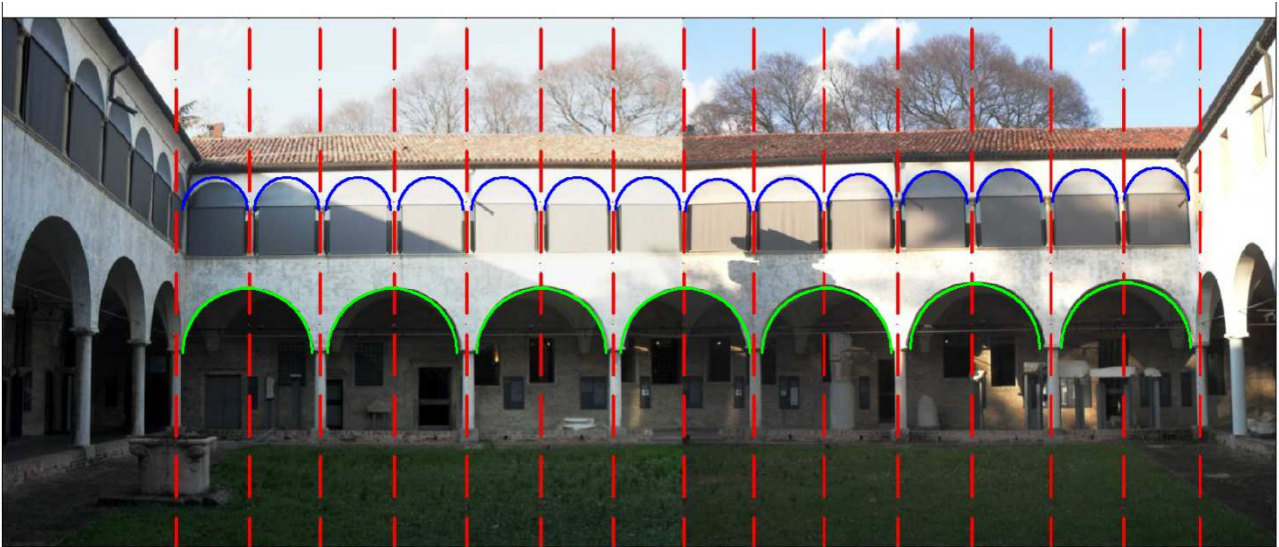


Fig.[5.21] Prospetto Nord, disposizione degli archi del loggiato superiore (in blu) rispetto al portico inferiore (in verde).

Tramite una ricostruzione dunque si è evidenziata tale modifica apportata al Chiostro Maggiore. Possiamo notare nella **Fig.[5.22]** come appariva questa porzione di fabbricato prima del restauro degli anni '70 (di colore viola) e nella **Fig.[5.23]** come appare il loggiato oggi (di colore marrone).

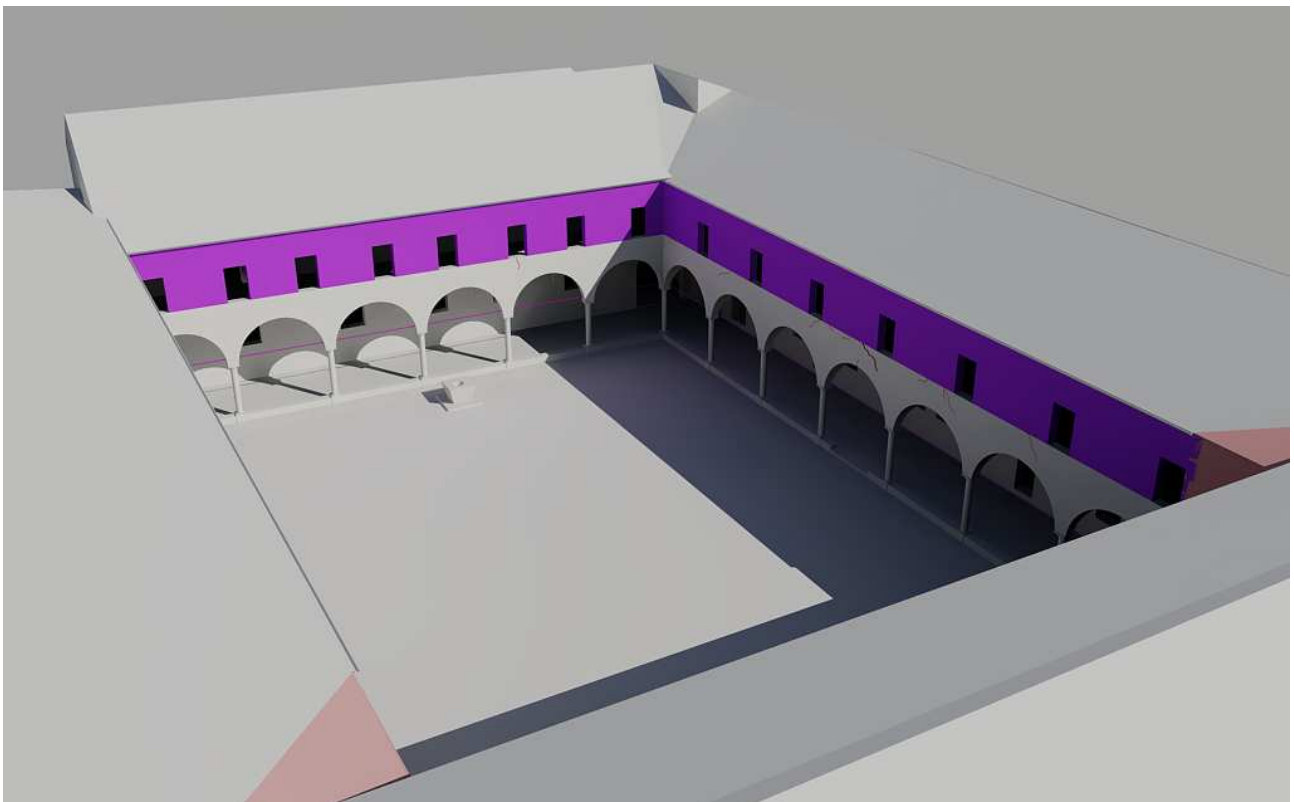


Fig.[5.22] Chiostro maggiore, come appariva prima dei restauri, privo del loggiato al primo piano.

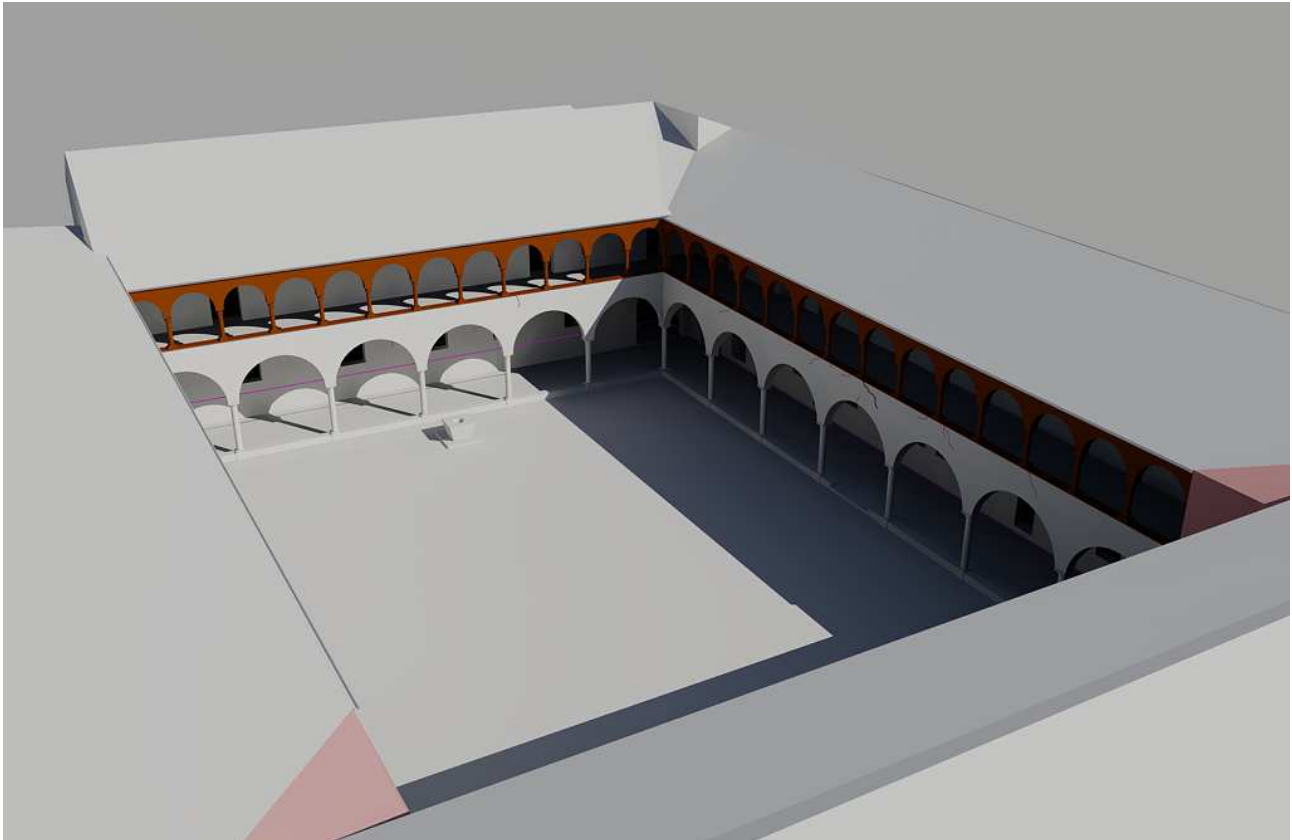


Fig.[5.23] Chiostro Maggiore, come appare oggi con la riapertura del loggiato.

5.1.4.2 – RICOSTRUZIONE DELL'ALA EST DEL CHIOSTRO MAGGIORE

Nel bombardamento subito dai chiostri nel 1944, il portico del braccio est del chiostro maggiore è stato distrutto. Tale portico è stato ricostruito durante il restauro degli anni '70 su nuove fondazioni e su nuovi solai in cemento armato, con nuove colonne in pietra di Aurisina ed anima in acciaio. Si è eseguita una ricostruzione di quest'ala del chiostro all'interno del modello sia com'era prima dei restauri che come appare oggi. Successivamente si è operato facendo una comparazione fra la configurazione prima del restauro e dopo. Nelle **Fig.[2.24 -2.25]** si può osservare in successione il cambiamento apportato alla ala est del Chiostro Maggiore, viene riportato in rosa la configurazione del Chiostro Maggiore prima del restauro e in verde la configurazione dopo il restauro.

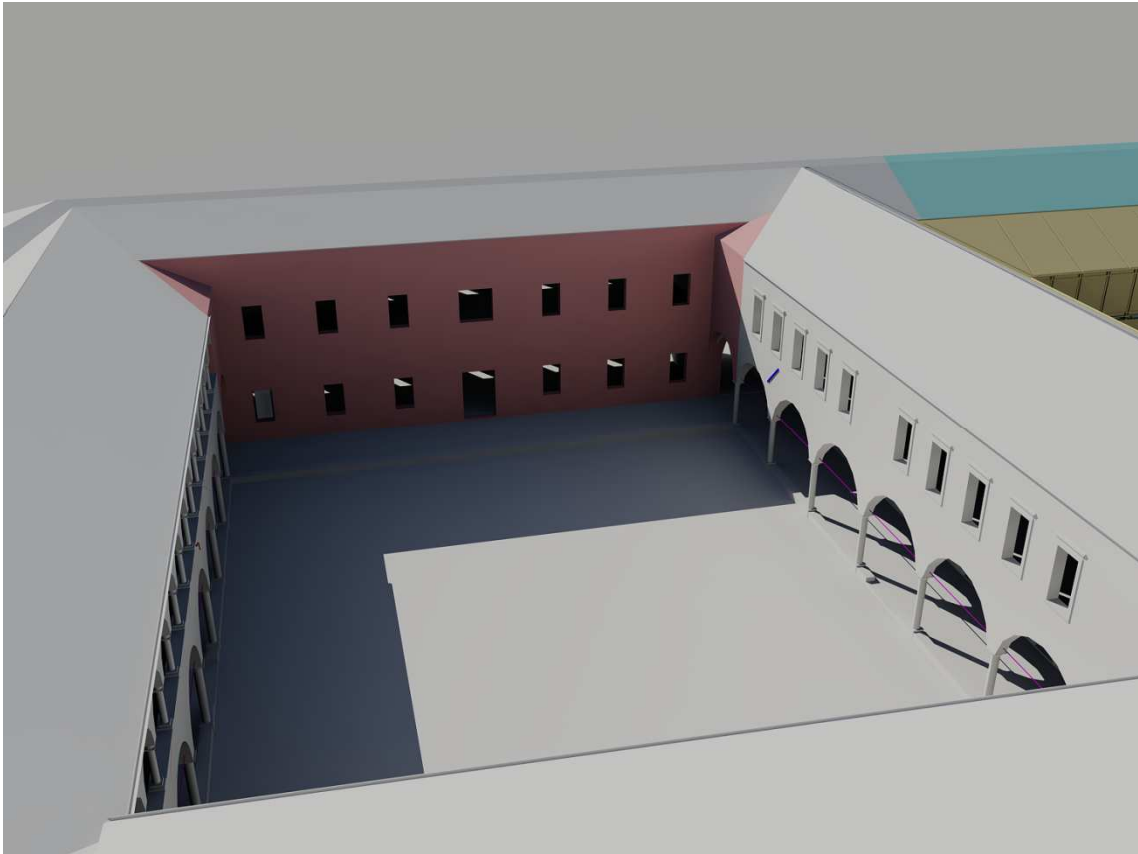


Fig.[5.24] Chiostro maggiore, come appariva prima dei restauri, privo del portico del braccio est.

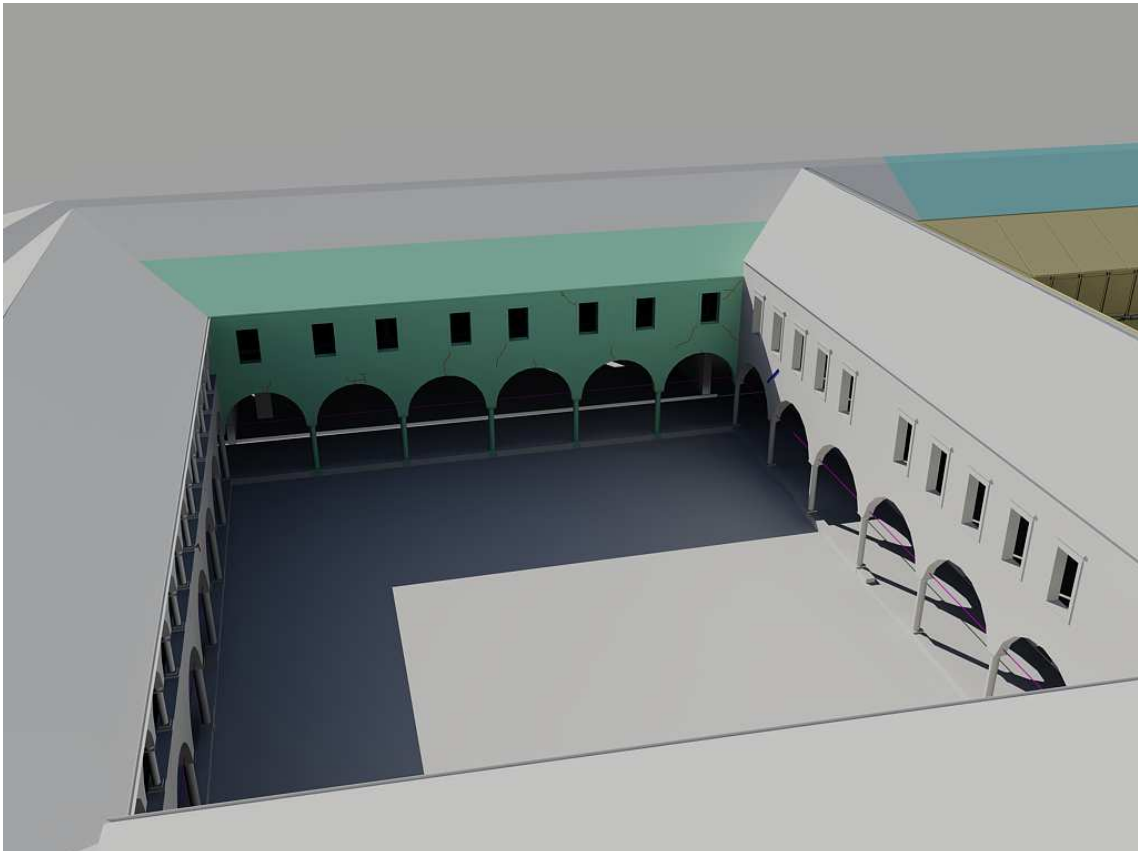


Fig.[5.25] Chiostro Maggiore, come appare oggi con la ricostruzione del portico est.

5.1.4.3 – RICOSTRUZIONE DEL PORTICO NEL CHIOSTRO MINORE E REALIZZAZIONE DEL BRACCIO EST

Il bombardamento subito dai chiostri nel 1944 ha comportato anche la distruzione dell'intero portico del Chiostro Minore e del braccio est dello stesso. Si può osservare dalle immagini del rilievo storico la configurazione del chiostro prima degli interventi degli anni '70. Esso si presenta con le murature perimetrali che oggi sono invece posteriori alla nuova struttura in acciaio. Tramite le foto in nostro possesso abbiamo operato tramite un programma di fotoritocco per creare un prospetto che rappresentasse la totalità di tali facciate. Si può osservare quindi nelle **Fig.1.1 e Fig.1.1** come apparivano le facciate est ed nord all'interno del Chiostro Minore negli anni '60.



Fig.[5.26] Prospetto Est del Chiostro Minore, come appariva prima dei restauri.



Fig.[5.27] Prospetto Nord del Chiostro Minore, come appariva prima dei restauri.

In quest'ultima immagine, e come meglio riportato nel particolare della Fig.1.1 possiamo osservare "l'impronta" che testimonia l'esistenza del portico nel Chiostro Minore prima del crollo dopo il bombardamento.

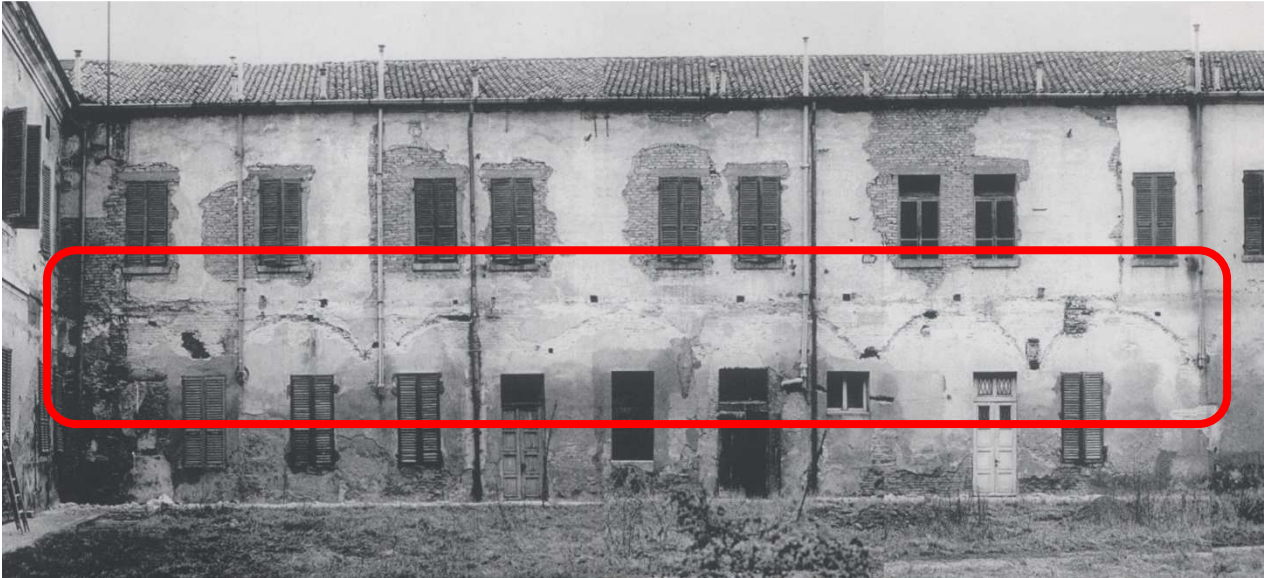


Fig.[5.28] Prospetto Nord del Chiostro Minore, si può osservare nel particolare l'impronta della sagoma delle volte che componevano il Chiostro Minore prima del bombardamento del '44.

Il numero di volte che componevano il portico dell'ala nord del Chiostro Minore erano dunque sette, il medesimo che troviamo nel Chiostro maggiore. Applicando lo stesso principio di similitudine fra i due chiostri, possiamo ipotizzare che le volte dell'ala est fossero sei.

Successivamente si è cercato di riprodurre graficamente nel modello lo stato attuale del Chiostro Minore con la configurazione odierna (**Fig.[5.29]**), e di quella prima del restauro (**Fig.[5.30]**), privato quindi della struttura in acciaio di cui è composto il portico e dell'ala est. Si può notare come nelle murature che componevano il perimetro del cortile oggi siano state aperte una serie di aperture ad arco che consentono l'ingresso all'interno del chiostro. Le finestrate delle facciate nord ed ovest, ora coperte dalla struttura in acciaio, sono tutt'ora esistenti come è possibile verificare dalle piante, ma alcune sono state tamponate. Interessante quindi è andare a valutare quali di queste siano state tamponate e quali invece siano rimaste. Dall'ultima immagine si può, in oltre, apprezzare la struttura "aperta" del Chiostro Minore, con il cortile all'interno, questa configurazione è rimasta inalterata per più di vent'anni.



Fig.[5.29] Come appare oggi il Chiostro Minore, con la struttura in acciaio (in giallo) e il braccio est (di color ciano) ricostruito dopo i restauri.



Fig.[5.30] Come appariva il Chiostro Minore prima dei restauri, privo degli interventi visibili nell'immagine precedente.

5.1.4.4 – RICOSTRUZIONE DELLA COPERTURA DELLA SALA CENTRALE

Al primo piano dell'ala centrale fra i due chiostri si trova la sala più grande del complesso eremitani, essa è stata pensata oltre che come sala espositiva anche come sala conferenze. La copertura attuale di questa sala, in origine probabilmente composta da capriate lignee, è stata realizzata con i restauri degli anni '70 (**Fig.[5.31]**).

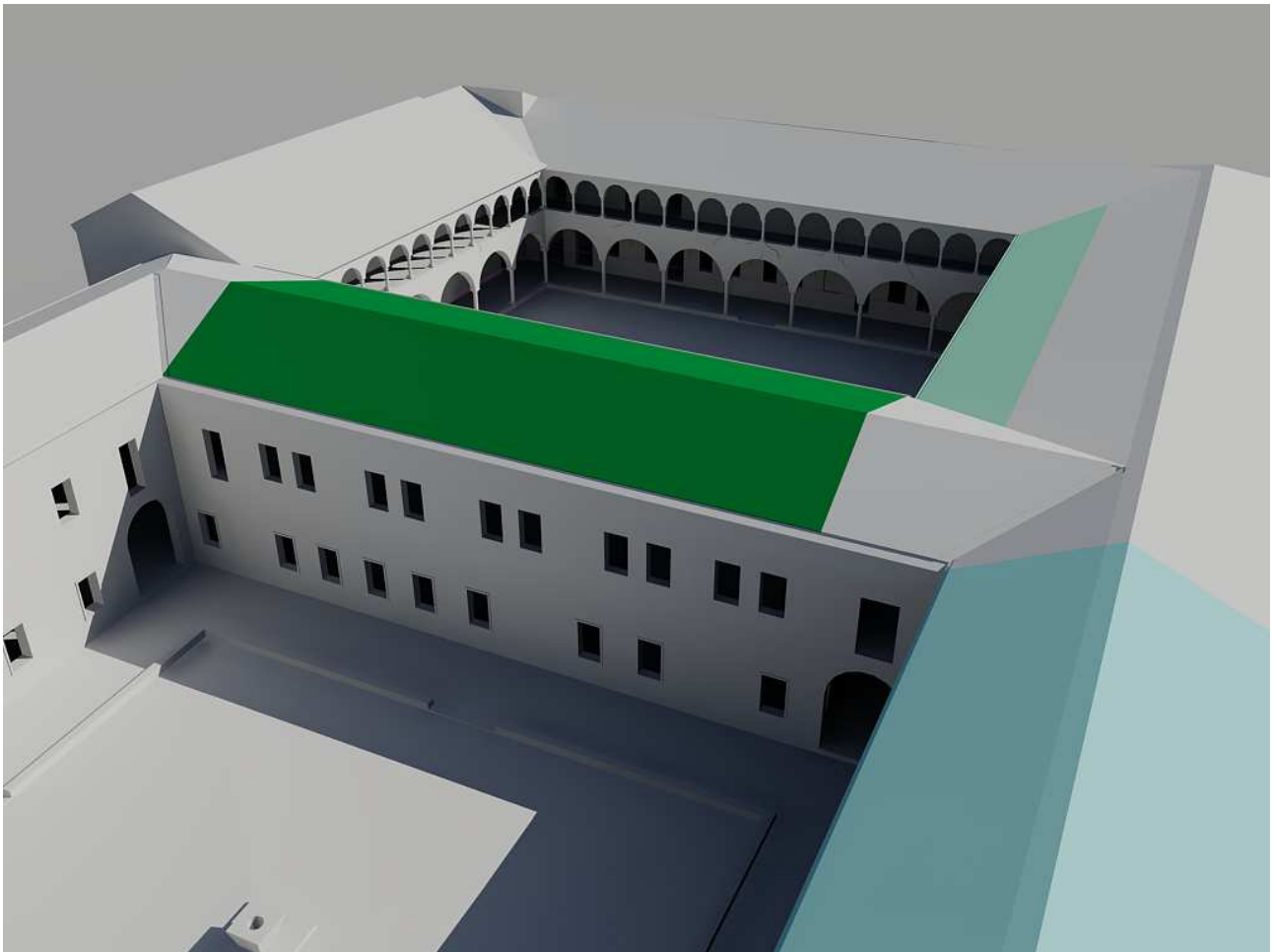


Fig.[5.31] Copertura della sala centrale.

La struttura portante è composta da sette travi in acciaio verniciate in grigio grafite, coprono una luce di 11,75 m, presentano un interasse medio di 5,10. Hanno un'inclinazione di circa 40°, la linea di colmo all'intradosso raggiunge i 7,57 m dal pavimento e poggiano sulla muratura perimetrale ad una quota dal pavimento di 4.24 m. La struttura è composta poi da una lamiera grecata all'estradosso delle travi, probabilmente un massetto in calcestruzzo e i coppi. Nella **Fig.5.32** si illustra la forma e le geometrie delle travi che compongono la struttura portante della sala centrale (Trave di colore verde).

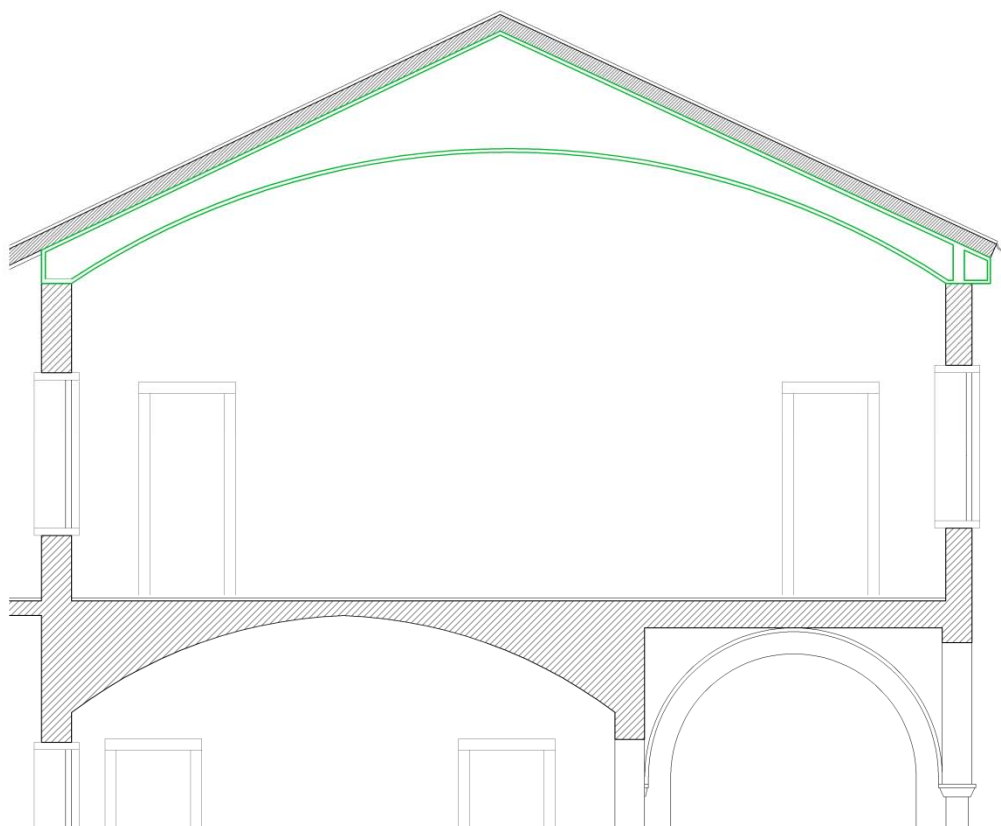


Fig.[5.32] In verde una delle travi che compongono la copertura della sala centrale.

Questi elementi sono stati poi portati all'interno del modello delle vulnerabilità, come si può vedere nella figura successiva, per valutarne dimensione e posizione.

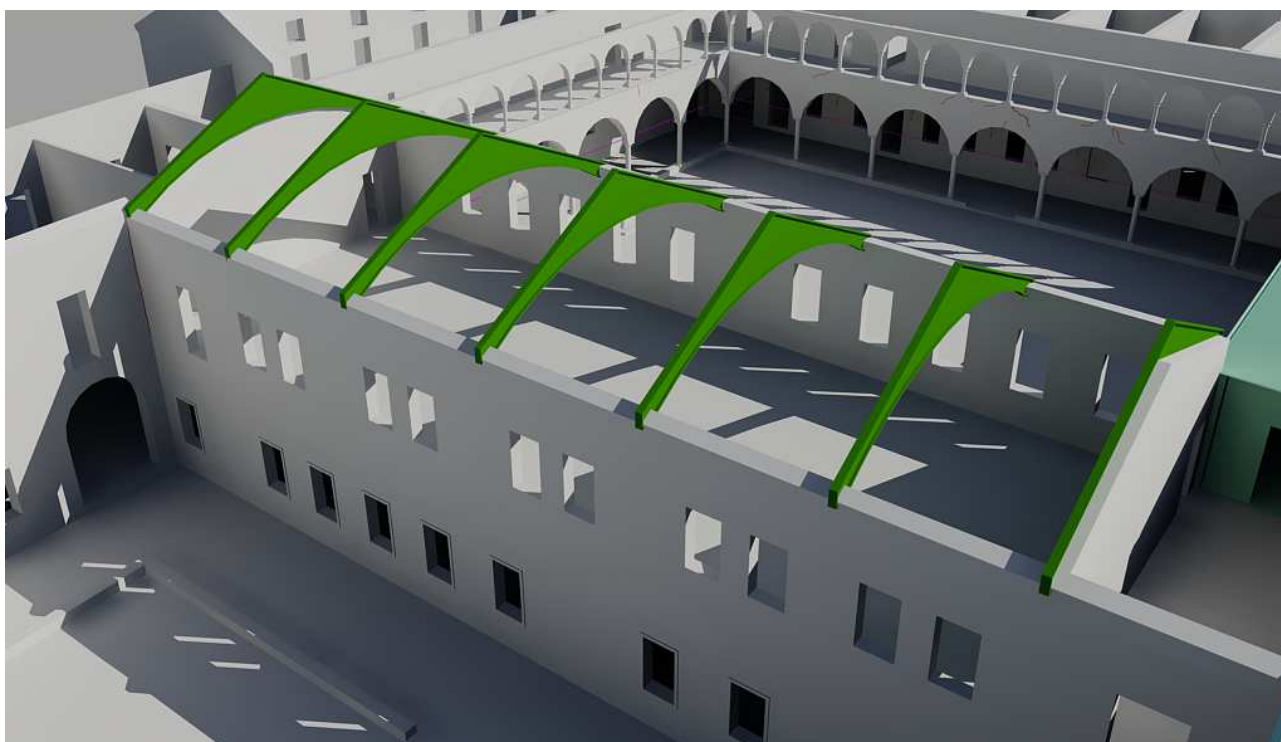


Fig.[5.33] Le travi (in verde) che compongono la copertura della sala centrale.

5.1.4.5 – PRESENZA DI CANNE FUMARIE

Un altro aspetto riscontrato, molto importante perché riguarda l'intera struttura, è la presenza, prima dei restauri, di canne fumarie che servivano gli alloggi su tutti i paramenti esterni che compongono i chiostri. Dalle foto in nostro possesso abbiamo potuto constatare la presenza di questi elementi solo all'interno dei chiostri, ma possiamo ipotizzare che essi si trovassero anche nei paramenti esterni come testimoniato dalla **Fig.[1.64]** del rilievo. Questa informazione è molto utile e può testimoniare la presenza di discontinuità murarie. Nel modello dunque sono state riportate le posizioni di questi elementi e la zona sottostante (in rosso) che potrebbe essere interessata da carenze strutturali **Fig. [5.34 – 5.35 – 5.36 – 5.37]**.



Fig.[5.34] Le canne fumarie che componevano il prospetto Est del Chiostro Minore.

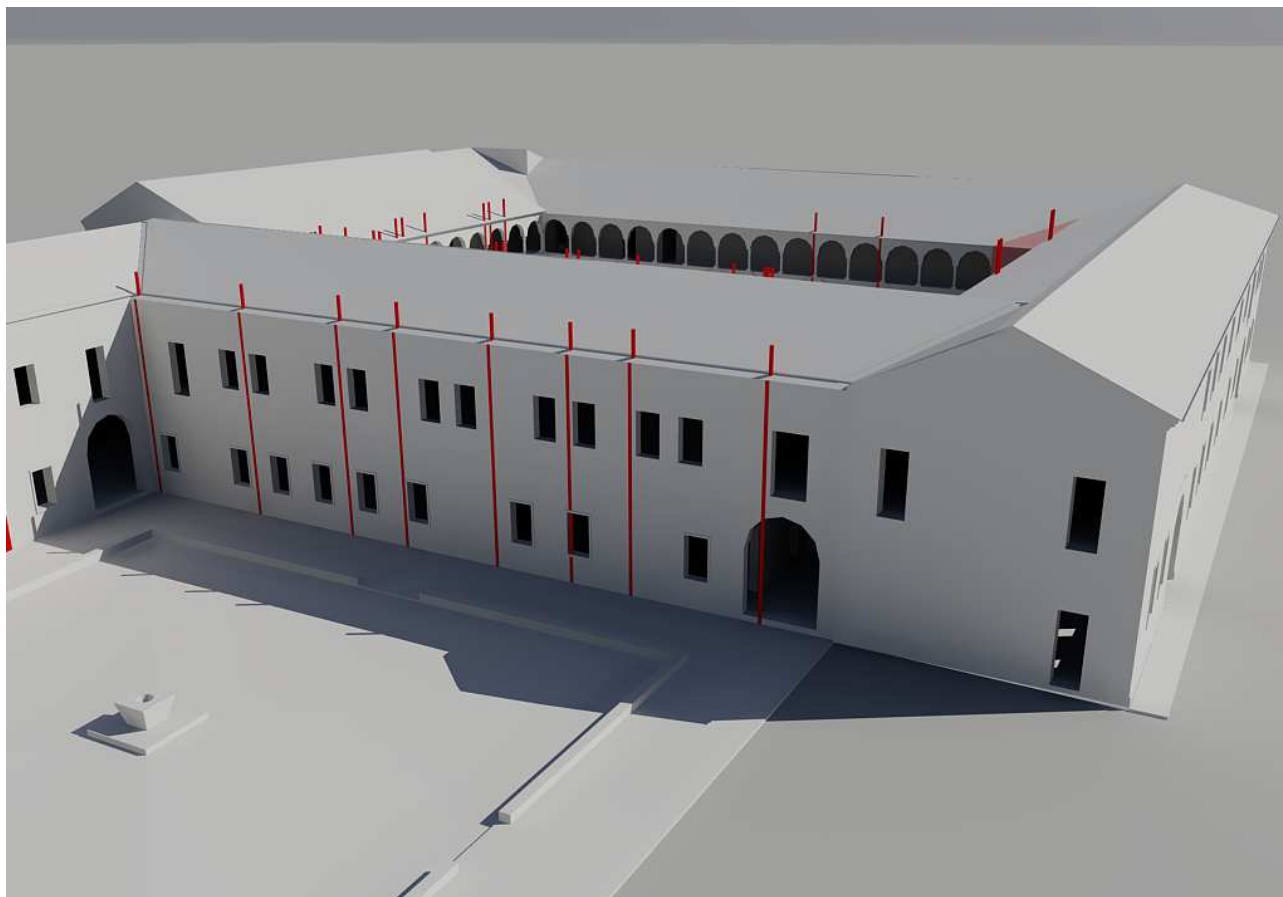


Fig.[5.35] Le canne fumarie che componevano il prospetto Nord del Chiostro Minore.

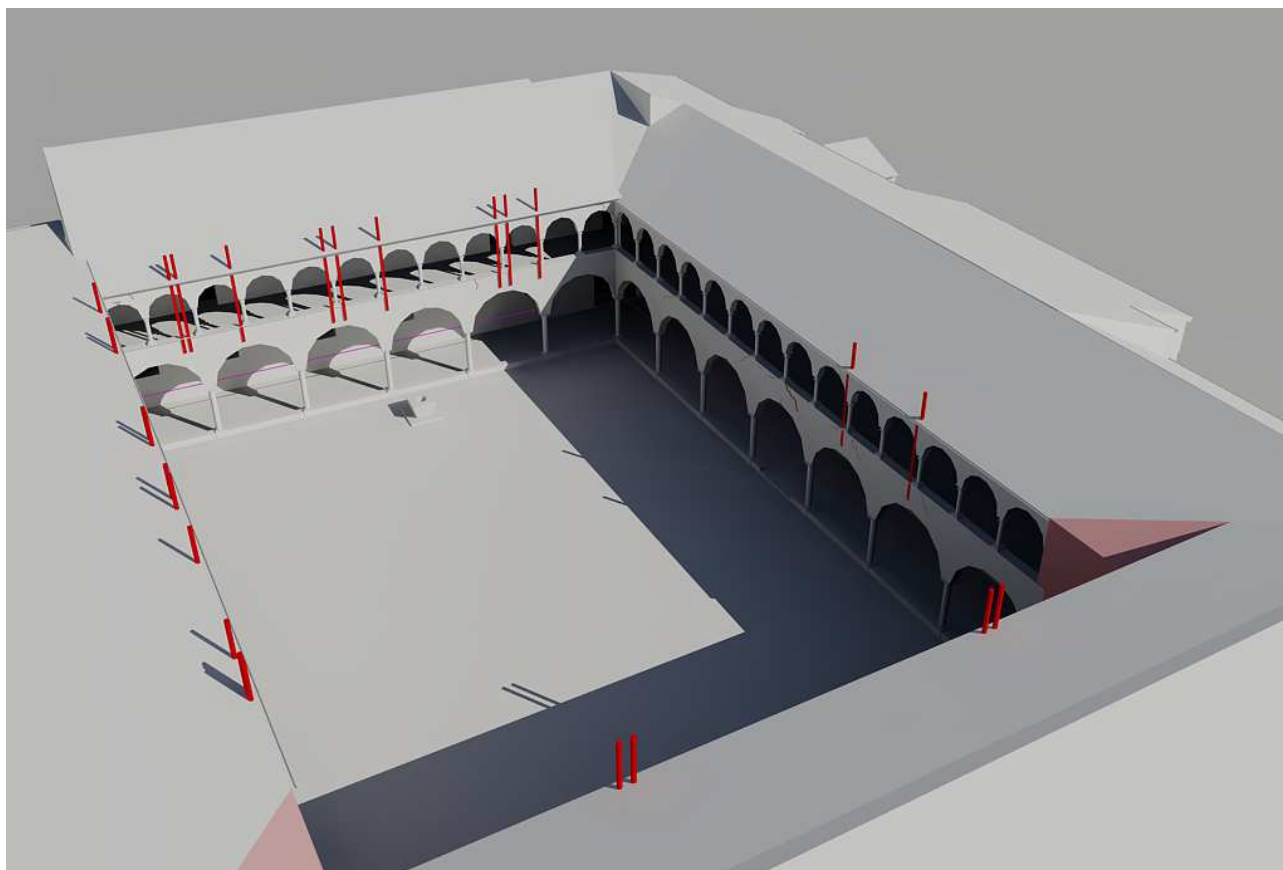


Fig.[5.36] Le canne fumarie che componevano i prospetti Ovest e Nord del Chiostro maggiore.

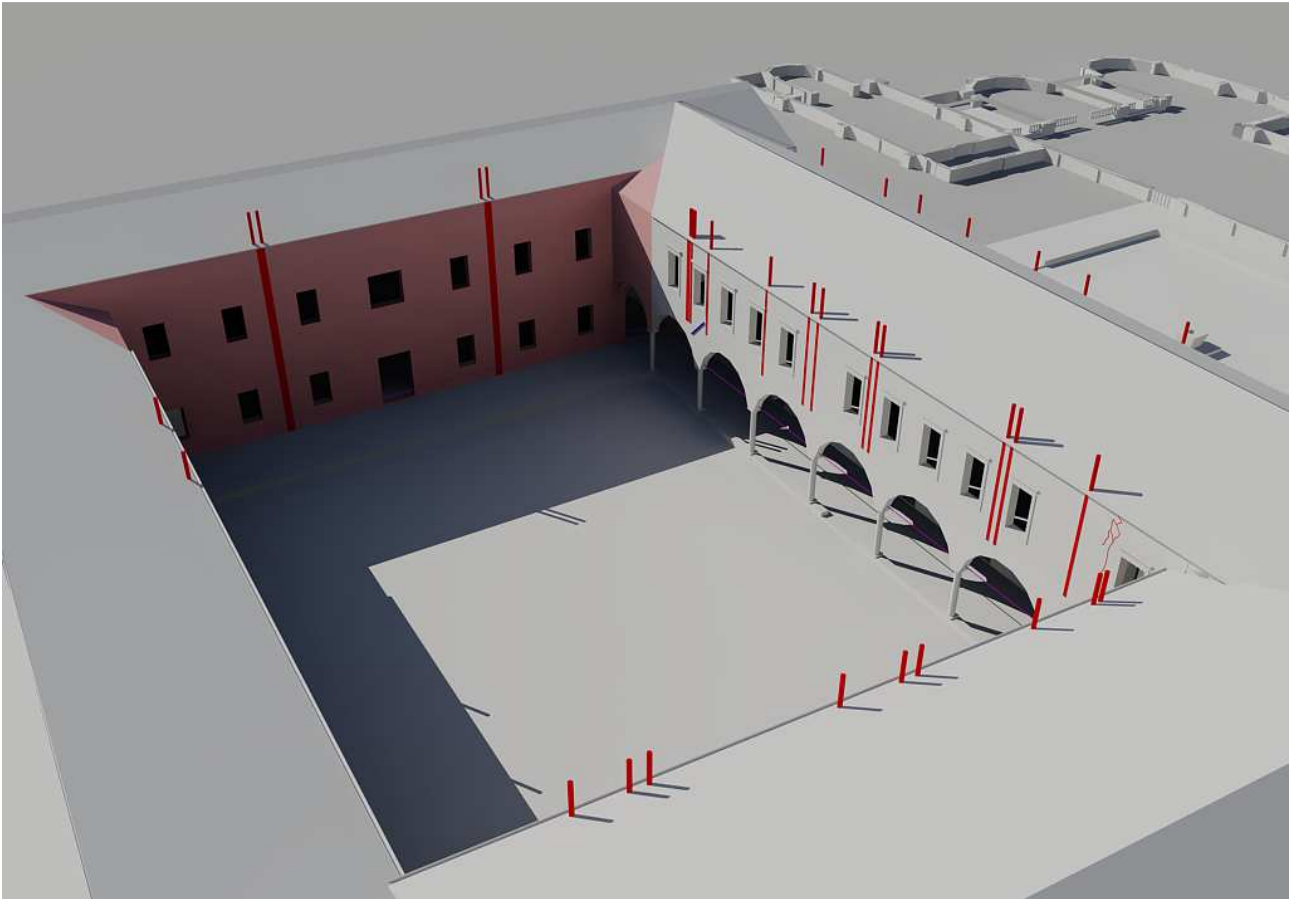


Fig.[5.37] Le canne fumarie che componevano i prospetti Est e Sud del Chiostro maggiore.

5.2 – CONSIDERAZIONI SUL MODELLO DELLE VULNERABILITA'

In questo paragrafo si valutano le principali informazioni ricavate dal modello esposto. Verranno inoltre fatte alcune considerazioni su metodologie per accrescere il livello di conoscenza, così da poter inserire altre utili informazioni all'interno del modello. Quindi in sostanza alcune tipologie di indagini in situ che potrebbero essere eseguite per aumentare la conoscenza del manufatto e di conseguenza anche il fattore di confidenza utilizzato nel calcolo dei meccanismi di collasso. Il monitoraggio potrebbe essere in alcuni casi complesso visto la mole dell'edificio, andremmo quindi ad individuare delle zone critiche che maggiormente necessitano di tali indagini. In aiuto a questo ci viene il modello tridimensionale descritto nel paragrafo precedente che ci fornisce delle precise indicazioni sulle zone critiche dove in maggior misura si dovrebbero verificare le caratteristiche dei paramenti murari. Quindi in queste zone si dovrebbe dare la precedenza rispetto ad altre, soprattutto andando ad effettuare il rilievo materico. Il rilievo materico costruttivo deve permettere di individuare

completamente l'organismo resistente della fabbrica, tenendo anche presente la qualità e lo stato di conservazione dei materiali e degli elementi costitutivi.

Tale riconoscimento richiede l'acquisizione di informazioni spesso nascoste (sotto intonaco, dietro a controsoffitti, ecc.), che può essere eseguita grazie a tecniche di indagine non distruttive di tipo indiretto (termografia, georadar, tomografia sonora, ecc.) o ispezioni dirette debolmente distruttive (endoscopie, scrostamento di intonaci, saggi, piccoli scassi, ecc.). Un aspetto rilevante è la scelta del numero, della tipologia e della localizzazione delle prove da effettuare. Per una corretta conoscenza esse dovrebbero essere adottate in modo diffuso, ma per il loro eventuale impatto e per motivazioni economiche, esse andranno impiegate solo se ben motivate, ovvero se utili nella valutazione e nel progetto dell'intervento. Al fine di limitare al massimo l'impatto di queste indagini, oltre alla conoscenza delle vicende costruttive del manufatto in esame, è fondamentale avere un'approfondita consapevolezza delle caratteristiche costruttive dei manufatti nell'area e nei diversi periodi storici, in modo tale da poter fare ricorso a caratteristiche desumibili dalla *regola dell'arte*. Speciale attenzione dovrà essere riservata alla valutazione della qualità muraria, includendo le caratteristiche geometriche e materiche dei singoli componenti, oltre che le modalità di assemblaggio. Di particolare importanza risulta essere:

- la presenza di elementi trasversali (denominati diatonici), di collegamento tra i paramenti murari; la forma, tipologia e dimensione degli elementi;
- il riconoscimento di una disposizione regolare e pressoché orizzontale dei corsi o, in alternativa, la presenza di listature a passo regolare;
- la buona tessitura, ottenuta tramite l'ingranamento degli elementi (numero ed estensione dei contatti, presenza di scaglie) ed il regolare sfalsamento dei giunti;
- la natura delle malte ed il loro stato di conservazione. Considerata la notevole varietà di materiali e tecniche, sia a livello geografico che storico, è utile definire *regole dell'arte* locali cui fare riferimento per il giudizio di qualità di una muratura. La lettura di uno schema strutturale di funzionamento della fabbrica necessita di una conoscenza dei dettagli costruttivi e delle caratteristiche di collegamento tra i diversi elementi:
- tipologia della muratura (in mattoni, in pietra – squadrata, sbazzata, a spacco, ciottoli – o mista; a paramento unico, a due o più paramenti) e caratteristiche costruttive (tessitura regolare o irregolare; con o senza collegamenti trasversali, ecc.);
- qualità del collegamento tra pareti verticali (ammorsamento nei cantonali e nei martelli, catene, ecc.);

- qualità del collegamento tra orizzontamenti (solai, volte e coperture) e pareti, con rilievo dell'eventuale presenza di cordoli di piano o di altri dispositivi di collegamento (catene, ecc.);
- elementi di discontinuità determinati da cavedi, canne fumarie ecc.
- tipologia degli orizzontamenti (solai, volte, coperture), con particolare riferimento alla loro rigidità nel piano;
- tipologia ed efficienza degli architravi al di sopra delle aperture;
- presenza di elementi strutturalmente efficienti atti ad equilibrare le spinte eventualmente presenti;
- presenza di elementi, anche non strutturali, ad elevata vulnerabilità.

In particolare quindi, soprattutto per i casi descritti nel paragrafo precedente le indagini che dovrebbero essere fatte sono:

Per quanto riguarda la riapertura del loggiato al piano primo delle ali nord e ovest del Chiostro Maggiore sarebbe utile andare a verificare i possibili cambiamenti di tipo strutturale derivanti da tale intervento. Si potrebbero eseguire indagini sull'integrità dei pilastrini che compongono il loggiato, infatti si sono riscontrate in alcuni casi delle lesioni negli stessi come si può notare nella **Fig.[5.38]**.



Fig.[5.38] Fessura in uno dei pilastrini che compongono in loggiato al piano primo del Chiostro Maggiore.

Poi si è riscontrato una generale formazione di fessure nel paramento al di sotto di questi pilastrini soprattutto per quanto riguarda il braccio nord del Chiostro Maggiore come si può valutare dalle immagini seguenti.

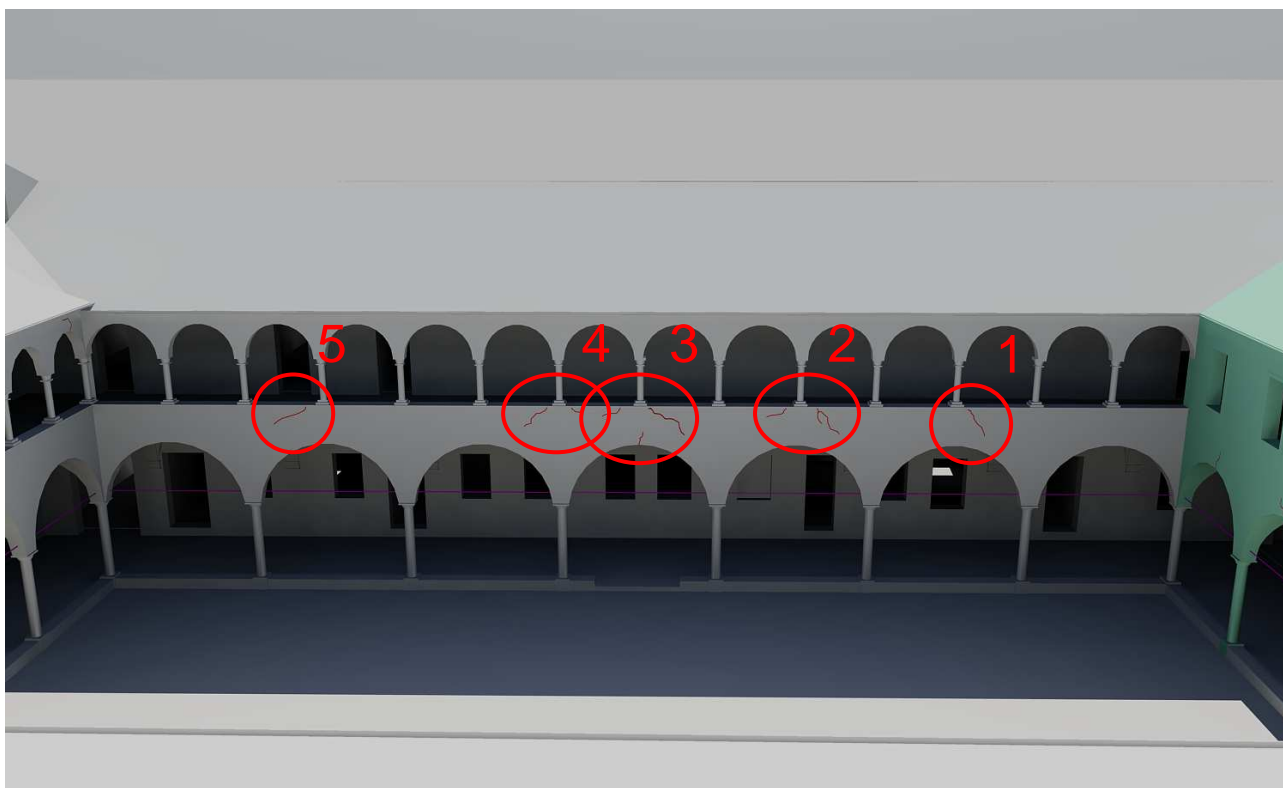


Fig.[5.39] Numerazione delle fessure che compongono il prospetto Nord del Chiostro Maggiore.



Fig.[5.40] Fessura n.1.



Fig.[5.41] Fessura n.2.



Fig.[5.42] Fessura n.3.



Fig.[5.43] Fessura n.4.



Fig.[5.44] Fessura n.5.

In questo caso dunque oltre ad una ispezione visiva per valutare l'entità di tali lesioni se necessario si potrebbe operare tramite una prova semi-distruttiva con martinetto piatto singolo che permette di stimare lo stato di sollecitazione locale esistente nella muratura, ovvero lo stato tensionale di esercizio della muratura. La prova consiste nel provocare un taglio orizzontale in un giunto di malta provocando un rilassamento della muratura, un rilascio delle tensioni e quindi una parziale chiusura dell'apertura. Il martinetto piatto viene posizionato nella fessura e viene aumentata la pressione in modo da riportarne i lembi alla distanza originaria, misurata prima del taglio.

Per quanto riguarda il portico del lato est del Chiostro Maggiore, ricostruito con gli interventi degli anni '70, si dovrebbero eseguire delle indagini per accertare la qualità delle connessioni fra porzione nuova e porzione originaria (**Fig.[5.45]**).

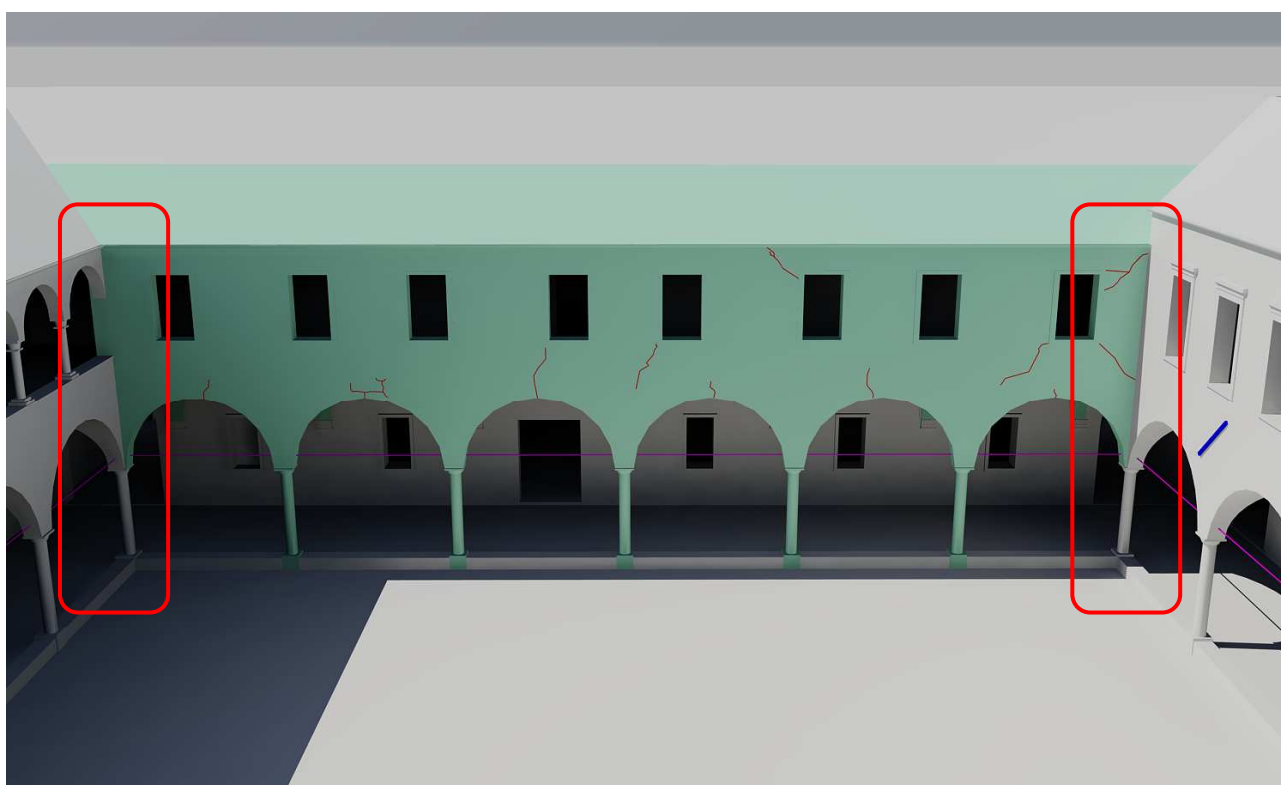


Fig.[5.45]Prospetto Est del Chiostro Maggiore, zone con possibili carenze di ammassamento.

Inoltre si è riscontrata una presenza diffusa di lesioni in sommità degli archi esterni delle volte a crociera che lo compongono. Come si può verificare dalle immagini successive tali lesioni in alcuni casi sembrano abbastanza rilevanti e talune volte la fessurazione si trasferisce anche nella volta a crociera sottostante. Alcune di queste sono state ristilate.

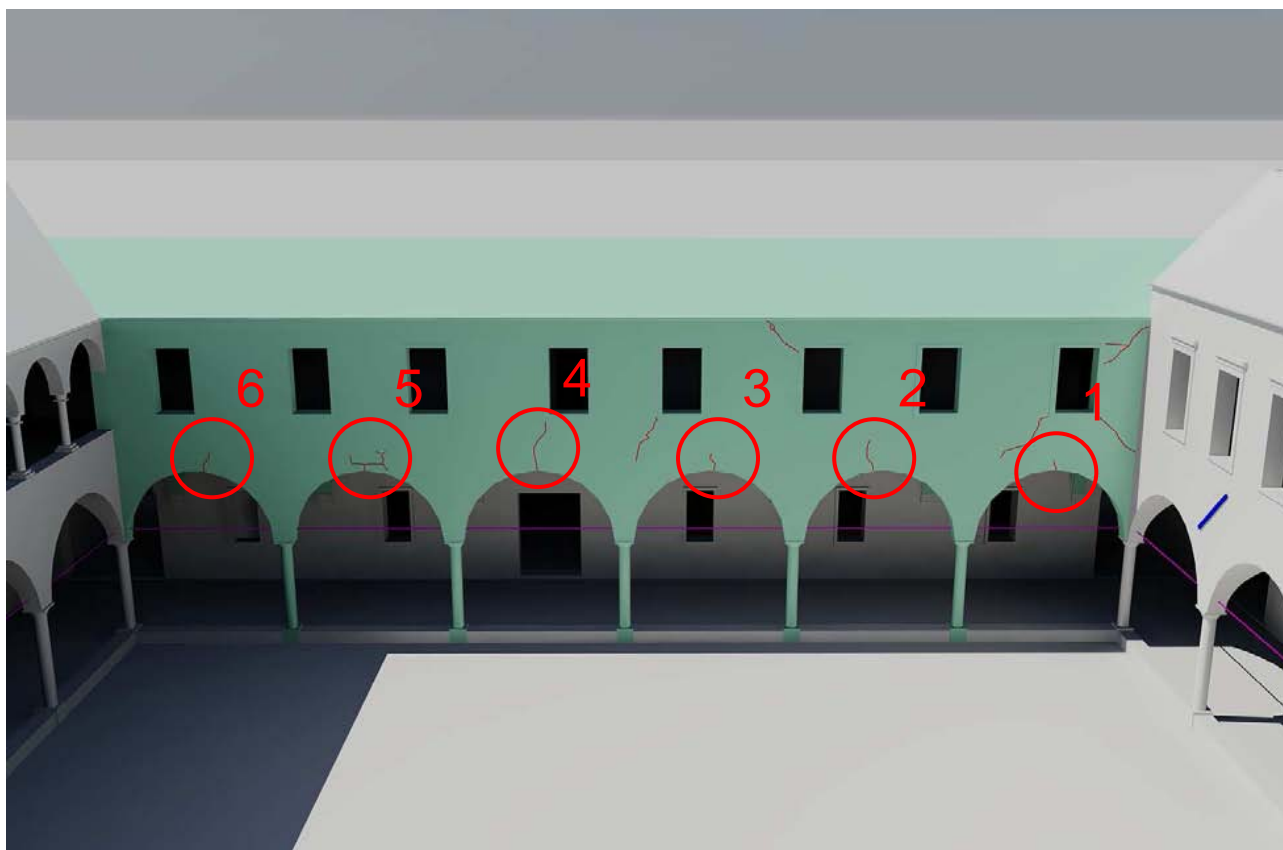


Fig.[5.46] Numerazione delle fessure che compongono il prospetto Est del Chiostro Maggiore.



Fig.[5.47] Fessura n.1.



Fig.[5.48] Fessura n.2.



Fig.[5.49] Fessura n.3.



Fig.[5.50] Fessura n.4.



Fig.[5.51] Fessura n.5.



Fig.[5.52] Fessura n.6.

Una fessurazione di questo tipo può fornirci alcune indicazioni come la probabile non corretta calibratura delle catene delle volte. La necessità, oggi, di quantificare numericamente la sicurezza delle nostre costruzioni (seppur convenzionalmente) e la possibilità di utilizzare materiali più prestanti ed affidabili determina una riduzione delle dimensioni (diametro) delle catene modificando parallelamente, e spesso inconsapevolmente, la loro capacità deformativa, soprattutto per le diverse caratteristiche meccaniche dei materiali rispetto al passato (modulo di elasticità normale E). Si deve quindi andare ad analizzare tali catene e se necessario sostituirle con delle nuove. Queste operazioni dovrebbero essere eseguite anche su tutti i presidi antisismici rilevati nel fabbricato per valutarne l'efficacia. Nelle immagini seguenti riportiamo i presidi antisismici individuati. Questi elementi riportati anche nel modello tridimensionale si compongono soprattutto di tiranti metallici a paletto (o bolzone). Nelle immagini successive vengono riportati i tiranti rilevati nei chiostrini.

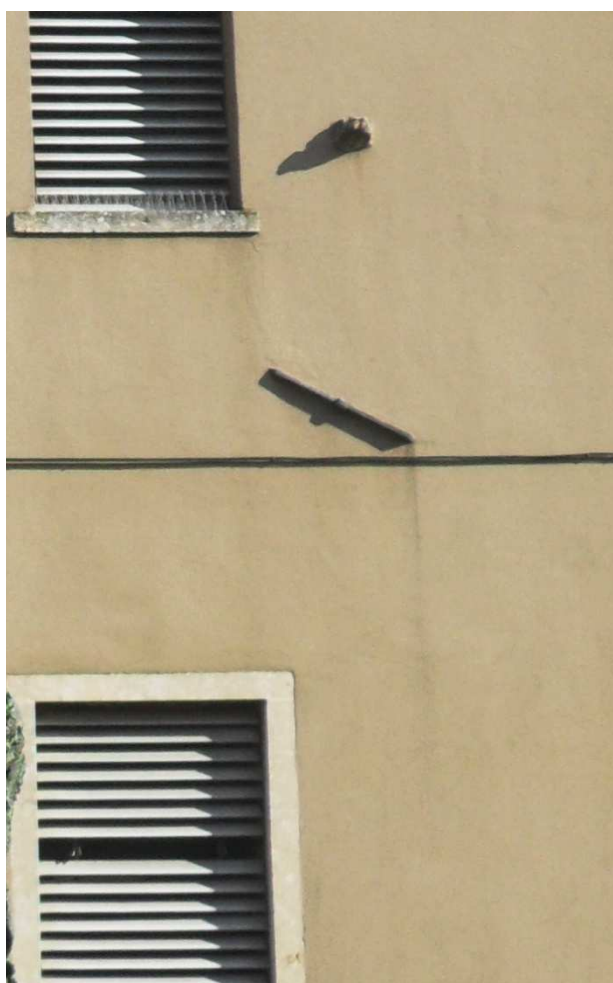


Fig.[5.53] Tirante situato nella facciata ovest.



Fig.[5.54] Tirante situato nella facciata ovest.



Fig.[5.55] Tirante situato nella facciata nord.



Fig.[5.56] Tirante situato nella facciata sud del Chiostro Maggiore.



136 Fig.[5.57] Tirante situato nel portico Ovest del Chiostro Maggiore.



Fig.[5.58] Tirante situato nel portico Ovest del Chiostro Maggiore.



Fig.[5.59] Tirante situato nel portico Ovest del Chiostro Maggiore.

Un'altra indagine potrebbe essere fatta sulle nuove fondazioni che compongono questa ala, con delle ispezioni delle stesse. Si specifica, poi, che la inadeguatezza delle fondazioni è raramente la causa del danneggiamento osservato nei rilevamenti post-sisma. Gli interventi possono essere mirati alla rigenerazione oppure all'*aumento di portanza* delle fondazioni esistenti. In entrambi i casi gli interventi vanno eseguiti dopo avere effettuato il massimo possibile alleggerimento del fabbricato, quanto meno con l'eliminazione dei sovraccarichi d'esercizio; se previste, anche procedendo alle demolizioni di parti costruttive, in modo da coinvolgere nella funzione resistente, alla successiva rimessa in carico, l'intera fondazione rinforzata. La rigenerazione del corpo murario di fondazione, del tipo superficiale o profondo, si ottiene, come per le pareti di elevazione, mediante iniezione di malte leganti che provvedono al riempimento dei vuoti presenti nel corpo murario. Proprio tali vuoti, con la conseguente inevitabile concentrazione di tensioni, possono essere l'origine di dissesti rilevati in elevazione a causa dei cedimenti prodotti dagli schiacciamenti nella massa muraria di fondazione.

L'operazione, preceduta sempre dal lavaggio della massa muraria da sottoporre ad iniezione, va eseguita con miscele fluide e procedendo a bassa pressione (per evitare possibili fughe nei vuoti o nelle cavità del terreno).

L'aumento di portanza può essere ottenuto con allargamento oppure con approfondimento della fondazione.

Un'altro elemento da valutare con attenzione è la nuova copertura in acciaio costruita con il restauro, una struttura di questo genere può avere apportato carichi troppo gravosi per le murature esistenti, come ipotizzato da un meccanismo cinematico riportato nel capitolo successivo. Anche in questo caso si potrebbe operare tramite delle indagini con martinetti piatti per valutare le tensioni all'interno della muratura, soprattutto si andrà ad analizzarle la porzione di muratura al di sotto della posizione in cui queste travi scaricano il peso della copertura, considerato inoltre che i due paramenti murari perimetrali presentano numerose finestrate. Nell'immagine successiva si mostrato le zone che potrebbero essere interessate dalle indagini elencate.

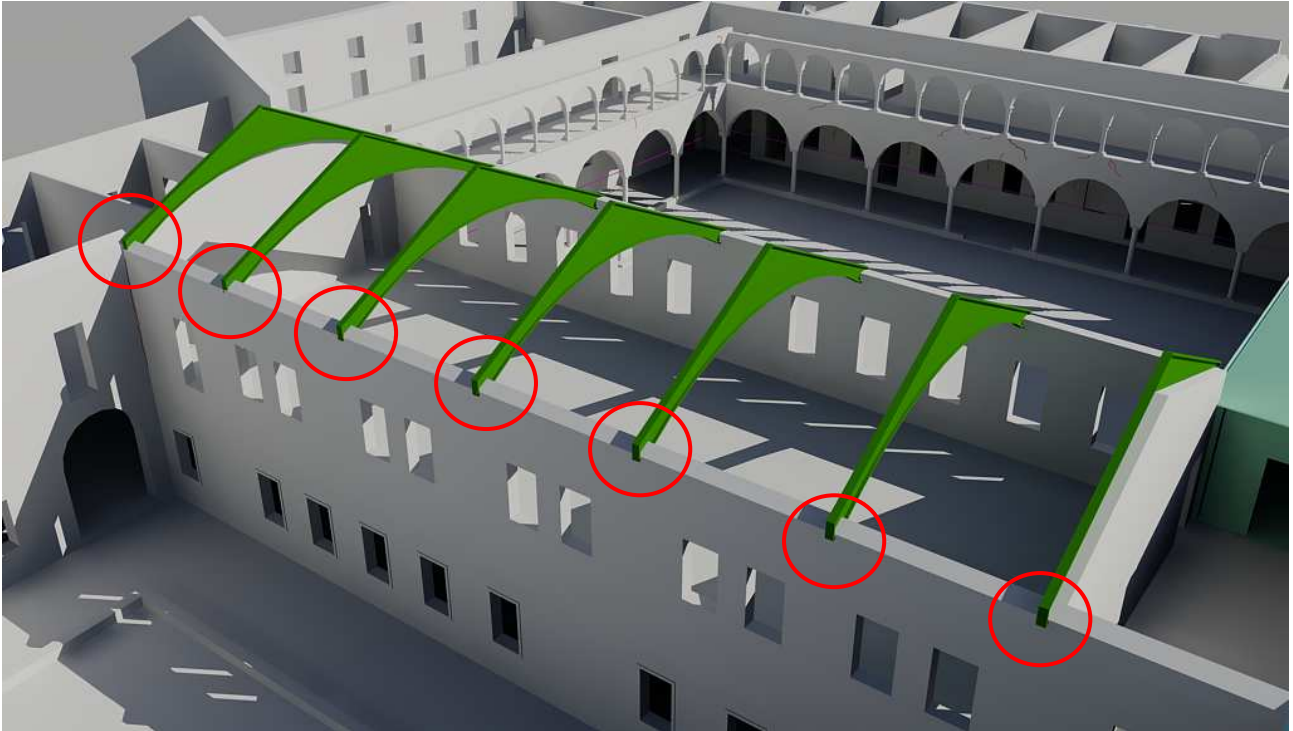


Fig.[5.60] Nei particolari le zone di appoggio delle travi che compongono la struttura portante della copertura della sala centrale.

Per quanto riguarda la presenza, prima dei restauri, di canne fumarie e di aperture successivamente tamponate si può operare tramite prove non distruttive e quindi poco invasive.

Tra le prove non distruttive troviamo:

- le prove soniche o ultrasoniche;
- le analisi endoscopiche;
- il georadar;
- la termografia.

Le indagini soniche sono utilizzate per qualificare la morfologia della sezione e per individuare la presenza di vuoti o difetti o lesioni. In presenza di lesioni o fratture o altri tipi di discontinuità, infatti, la velocità sonica diminuisce in quanto l'onda è più lenta in corrispondenza di vuoto e si producono rifrazioni multiple del segnale allungando il percorso che non risulta più quello diretto tra sorgente e ricevitore.

L'analisi endoscopica ha lo scopo di analizzare la muratura attraverso una ripresa reale documentabile con foto e video. Si esegue un foro con una punta di trapano da 20-35 mm e viene inserita una cannula endoscopica attrezzata con una videocamera per la ripresa video e fotografica, che permette di leggere la reale condizione della

muratura. La prova è indicata per l'analisi della morfologia muraria, per la visione diretta della sezione muraria e per avere informazioni importanti circa la presenza di cavità (vuoti o anomalie localizzate).

La metodologia del georadar (*Ground Penetrating Radar*) consiste nell'inviare e ricevere onde elettromagnetiche a diversa frequenza. Il segnale di ritorno, frutto della riflessione dell'onda sulla superficie di qualsiasi discontinuità, viene inviato all'unità centrale nella quale viene registrato sotto forma di file. Successivamente i segnali sono filtrati ed elaborati. Può essere utilizzato per evidenziare oggetti nascosti, discontinuità e vuoti.

La termografia a raggi infrarossi è una tecnica che sfrutta l'energia infrarossa emessa spontaneamente da qualsiasi corpo od oggetto. Utilizzando una strumentazione portatile costituita da una telecamera (termocamera) e da una centralina di rilevazione, permette l'osservazione dei materiali costituenti i paramenti murari, la loro struttura interna (tamponamenti, distacchi, riempimenti) e le discontinuità presenti. Inoltre consente di localizzare e apprezzare qualitativamente la consistenza dell'umidità presente nelle strutture interne degli edifici.

Queste indagini ci permettono quindi di valutare ed individuare la presenza di eventuali vuoti, residui della presenza di canne fumarie all'interno delle murature prima dei restauri.

CAPITOLO 6

VALUTAZIONE SULLA SICUREZZA SISMICA

6.1 – NORMATIVA DI RIFERIMENTO

I manufatti storici in muratura costituiscono un insieme estremamente vario e complesso per tipologie e tecniche costruttive, se si considera che la muratura (in particolare quella storica) è un materiale eterogeneo, anisotropo e con notevoli variazioni all'interno dello stesso edificio indagato. Ne risulta che l'analisi del comportamento strutturale dei manufatti storici e la valutazione della loro sicurezza sono condizionate da notevoli incertezze nella definizione delle condizioni di vincolo tra gli elementi e delle proprietà meccaniche dei materiali. Il Decreto Ministeriale Infrastrutture del 14 gennaio 2008 al § 8.7.1 riporta che “Nelle costruzioni esistenti in muratura soggette ad azioni sismiche, particolarmente negli edifici, si possono manifestare meccanismi locali e meccanismi d'insieme. I meccanismi locali interessano singoli pannelli murari o più ampie porzioni della costruzione, e sono favoriti dall'assenza o scarsa efficacia dei collegamenti tra pareti e orizzontamenti e negli incroci murari. I meccanismi globali sono quelli che interessano l'intera costruzione e impegnano i pannelli murari prevalentemente nel loro piano. La sicurezza della costruzione deve essere valutata nei confronti di entrambi i tipi di meccanismo.”

La Circolare del 2 febbraio 2009 n. 617, al punto C8.7.1.1 riguardante i requisiti di resistenza degli edifici esistenti in muratura, indica che la valutazione della sicurezza sismica degli edifici in muratura va eseguita, oltre che con riferimento al comportamento sismico globale, anche con riferimento all'analisi dei meccanismi locali di collasso, “Quando la costruzione non manifesta un chiaro comportamento d'insieme, ma piuttosto tende a reagire al sisma come un insieme di sottosistemi (meccanismi locali), la verifica su un modello globale non ha rispondenza rispetto al suo effettivo comportamento sismico. Particolarmente frequente è il caso delle grandi chiese o di edifici estesi e di geometria complessa non dotati di solai rigidi e resistenti nel piano, né di efficaci e diffusi sistemi di catene o tiranti. In tali casi la verifica globale può essere effettuata attraverso un insieme esaustivo di verifiche locali.”

Meccanismi di risposta di questo tipo, generalmente meno resistenti e meno duttili di quelli che coinvolgono la risposta d'insieme del fabbricato, devono quindi essere opportunamente considerati nella definizione di un modello di analisi che sia realmente rappresentativo del comportamento sismico strutturale. Il primo aspetto dell'analisi riguarda dunque il riconoscimento delle condizioni che predispongono all'attivazione di meccanismi locali di danno e collasso e quindi la valutazione della necessità di effettuare analisi cinematiche in sostituzione o ad integrazione di analisi della risposta globale del sistema. L'individuazione delle modalità di collasso significative per gli edifici si compie innanzitutto attraverso la ricerca di sconnessioni, presenti o che possano formarsi nella compagine muraria a causa delle azioni sismiche, individuando così macroelementi (porzioni più o meno estese della struttura muraria che, nel caso di murature di adeguata qualità, si comportano monoliticamente) suscettibili di instabilità. Gli edifici storici in muratura spesso non presentano sistematici elementi di collegamento tra le pareti a livello degli orizzontamenti e questo comporta una possibile vulnerabilità nei riguardi dei meccanismi locali, che possono interessare il collasso di singoli pannelli murari o di più ampie porzioni di edificio.

Al § 8.3 delle NTC sono specificate le situazioni in cui sia fatto obbligo di sottoporre le costruzioni esistenti in muratura a valutazione della sicurezza, ed in particolare “cambio della destinazione d'uso della costruzione o di parti di essa, con variazione significativa dei carichi variabili e/o della classe d'uso della costruzione”, caso in cui rientra l'ex convento di S. Agostino divenuto sede distaccata dell'Archivio di Stato di Teramo. Al paragrafo successivo delle NTC inoltre, viene fatta una classificazione degli interventi individuando tre diverse categorie:

- interventi di adeguamento atti a conseguire i livelli di sicurezza previsti dalle presenti norme;
- interventi di miglioramento atti ad aumentare la sicurezza strutturale esistente, pur senza necessariamente raggiungere i livelli richiesti dalle presenti norme;
- riparazioni o interventi locali che interessino elementi isolati, e 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 culturale in zone dichiarate a rischio sismico, ai sensi del comma 4 dell'art. 29 del D. Lgs. 22 gennaio 2004, n. 42 “Codice dei beni culturali e del paesaggio”, è in ogni caso possibile limitarsi ad “interventi di miglioramento effettuando la relativa

valutazione della sicurezza” .

Secondo le Linee Guida “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 grado di sicurezza rispetto 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. Per la progettazione degli interventi vengono quindi introdotti due diversi livelli di valutazione:

- LV2 (riparazione o intervento locale) – valutazioni da adottare in presenza di interventi locali su zone limitate del manufatto, che non alterano in modo significativo il comportamento strutturale accertato, per le quali sono suggeriti metodi di analisi locale. In questo caso la valutazione dell’azione sismica allo SLV per l’intero manufatto, comunque richiesta, viene effettuata con gli strumenti del livello LV1;
- LV3 (intervento di miglioramento) – progetto di interventi diffusi nella costruzione, che per quanto possibile non dovrebbero modificare il funzionamento strutturale accertato attraverso il percorso della conoscenza. Le valutazioni devono riguardare l’intero manufatto, e possono utilizzare un modello strutturale globale, nei casi in cui questo possa essere ritenuto attendibile, o i metodi di analisi locale previsti per il livello LV2, purché applicati in modo generalizzato su tutti gli elementi della costruzione (l’esperienza acquisita a seguito dei passati eventi sismici ha infatti mostrato come, per gli edifici storici in muratura, il collasso sia raggiunto, nella maggior parte dei casi, per perdita di equilibrio di porzioni limitate della costruzione, definite macroelementi). Il livello di valutazione LV3 può essere utilizzato anche quando, in assenza di un progetto di intervento, venga comunque richiesta un’accurata valutazione della sicurezza sismica del manufatto”.

La valutazione complessiva della risposta sismica dell’edificio può quindi essere eseguita con un’esaustiva e sistematica estensione a tutti gli elementi della costruzione dei metodi utilizzati al livello LV2, ovvero con analisi cinematica lineare e non lineare. I risultati

ottenibili possono però essere eccessivamente cautelativi se non vengono considerati i diversi dettagli costruttivi quali catene, ammorsature murature ortogonali, tessiture murarie e condizioni di vincolo degli orizzontamenti che determinano il comportamento reale. L'analisi viene effettuata eseguendo un confronto tra le accelerazioni calcolate allo stato limite ultimo con le accelerazioni limite imposte dalla normativa; viene inoltre eseguito un confronto tra le accelerazioni calcolate prima e dopo l'intervento di miglioramento al fine di esprimere un giudizio sul grado di miglioramento conseguito, evidenziando l'effettiva utilità degli interventi eseguiti, se il margine di miglioramento sia considerevole rispetto all'impatto dell'intervento sulla conservazione e per evitare di fornire un'eccessiva sicurezza ad alcuni macroelementi rispetto ad altri. Il livello di valutazione LV3 può essere utilizzato anche quando, in assenza di un progetto di intervento, sia richiesta un'accurata valutazione della sicurezza sismica del manufatto. Seguendo le indicazioni finora esplicitate, nei successivi paragrafi di questo capitolo verrà dapprima compiuta un'analisi sistematica dei macroelementi individuati nell'edificio oggetto di studio ed a questi si imporranno principalmente ribaltamenti fuori piano, essendo questi i meccanismi più frequenti.

6.1.1 – VALUTAZIONE DEI CARICHI SISMICI

I dati sismici a cui è stato fatto riferimento sono stati elaborati con il programma "Excel Spettri-NTC" fornito dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici. Nella prima fase sono state immesse le coordinate geografiche del sito, le quali si possono inserire manualmente oppure attraverso la "ricerca per comune" che utilizza le coordinate Istat del comune per identificare il sito. Nella seconda fase si sono definite la vita nominale e la classe d'uso; per quanto riguarda la vita nominale V_N , intesa come il numero di anni nel quale l'opera deve poter essere usata per lo scopo al quale è destinata, per opere ordinarie la normativa assegna una durata pari o maggiore a 50 anni. Le conseguenze dovute all'interruzione di operatività o ad un eventuale collasso a causa della presenza di azioni sismiche definiscono quattro classi d'uso per identificare i manufatti. I chiostri degli Eremitani rientrano nella classe III in quanto è una costruzione il cui uso prevede affollamenti significativi. Per ciascuna classe d'uso è poi definito un coefficiente d'uso C_U come raffigurato nella tabella seguente.

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
C_U	0,7	1	1,5	2,0

Tab.[6.1] Valori del coefficiente d'uso C_U .

Sulla base della vita nominale e sul coefficiente d'uso legato alla classe d'uso dell'opera è ora possibile ricavare la vita di riferimento V_R , ovvero il periodo in base al quale le azioni sismiche su ciascuna costruzione vengono valutate. Tale periodo di riferimento si ricava moltiplicando la vita nominale V_N per il coefficiente d'uso C_U come indicato dall'equazione 2.4.1 delle NTC-08:

$$V_R = V_N \cdot C_U$$

Nel caso in esame, essendo la vita nominale pari a 50 anni ed il coefficiente d'uso pari a 1.5, si ottiene un periodo di riferimento V_R per la costruzione pari a 75 anni.

È ora possibile calcolare il periodo di ritorno per ciascuno degli stati limite considerati mediante la formula C.3.2.1 fornita dalla Circolare esplicativa delle NTC-08 e di seguito riportata, che considera per ciascun stato limite una diversa probabilità di superamento P_{VR} nel periodo di riferimento V_R ; in particolare per Stato Limite di Operatività, Stato Limite di Danno, Stato Limite di salvaguardia della Vita e Stato Limite di Collasso si hanno rispettivamente le probabilità pari a 81%, 63%, 10% e 5%.

$$T_R = \frac{-V_R}{\ln(1 - P_{VR})} = \frac{-C_U \cdot V_N}{\ln(1 - P_{VR})}$$

Conoscendo il periodo di ritorno per ciascuno dei rispettivi stati limite considerati si possono valutare i parametri spettrali dell'azione sismica, di seguito riportati in tabella.

STATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T_c^* [s]
SLO	45	0,036	2,547	0,242
SLD	75	0,043	2,534	0,279
SLV	712	0,099	2,597	0,342
SLC	1462	0,126	2,594	0,355

Tab.[6.2] Valore dei parametri a_g , F_0 , T_c^* per i periodi di ritorno T_R associati a ciascuno.

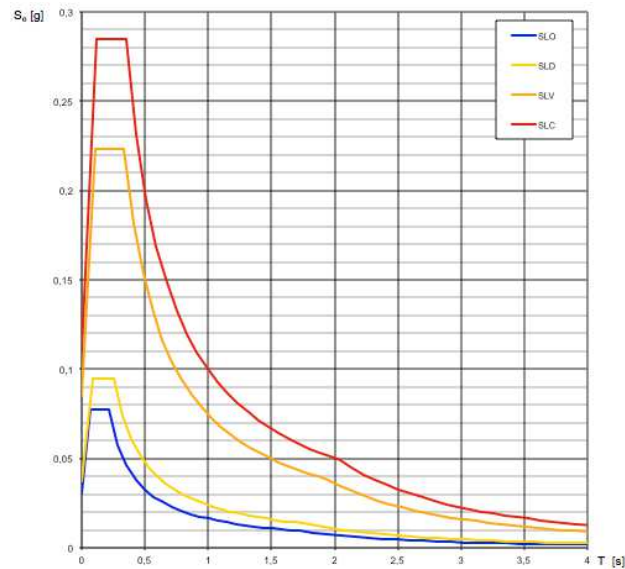


Fig.[6.1] Grafico degli spettri di risposta elastico.

Nella tabella riportata di seguito vengono infine riportati i parametri indipendenti e dipendenti dello spettro di risposta orizzontale forniti dal programma "Excel Spettri-NTC" per svolgere le analisi allo SLV. Per giungere a tali valori si è tenuto conto della categoria di sottosuolo C, ovvero "Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti", e della categoria topografica del sito T1 ovvero superficie pianeggiante.

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_n	0,099 g
F_n	2,597
T_c^*	0,342 s
S_s	1,500
C_c	1,496
S_T	1,000
q	1,800

Parametri dipendenti

S	1,500
η	0,556
T_B	0,171 s
T_C	0,512 s
T_D	1,995 s

Tab.[6.3] Dati sismici di progetto.

In cui:

- a_g è l'accelerazione orizzontale massima al sito;
- F_0 è il valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T_C^* è il periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale;
- S_S e C_C sono dei coefficienti di amplificazione stratigrafica;
- S_T è il coefficiente di amplificazione topografica;
- S è il coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche;
- T_B è il periodo corrispondente all'inizio dello spettro ad accelerazione costante;
- T_C è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro;
- T_D è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a spostamento costante dello spettro.

6.1.2 – APPROCCIO CINEMATICO

La valutazione della sicurezza di un edificio nei confronti dei meccanismi locali di danno e collasso sopracitati può essere condotta tramite l'analisi limite dell'equilibrio delle strutture murarie, considerate come corpi rigidi non resistenti a trazione. Tali verifiche seguono l'approccio cinematico (enunciato nella Circolare n. 617/2009) basato sulla scelta del meccanismo di collasso e sulla valutazione dell'azione orizzontale che attiva il cinematismo.

L'applicazione del metodo presuppone l'analisi dei meccanismi locali significativi per la costruzione, ipotizzati sulla base della conoscenza del comportamento sismico di strutture analoghe (già danneggiate dal terremoto) o individuati considerando la presenza di eventuali stati fessurativi anche di natura non sismica. Inoltre si dovrà tener presente la qualità delle connessioni tra le pareti, la tessitura muraria, la presenza di catene, le interazioni con altri elementi della costruzione o degli edifici adiacenti. La compagine muraria infatti può presentare sconessioni e fessurazioni che la dividono in macroelementi.

L'approccio cinematico permette dunque di determinare l'andamento dell'azione orizzontale che la struttura è progressivamente in grado di sopportare all'evolversi del

meccanismo. Tale andamento è rappresentabile da una curva espressa attraverso un moltiplicatore α (rapporto tra forze orizzontali applicate ed i corrispondenti pesi delle masse presenti) rappresentato in funzione dello spostamento d_k di un punto di riferimento del sistema. Essa è determinata fino all'annullamento di ogni capacità di sopportare azioni orizzontali ($\alpha=0$). Infine è possibile ricavare la curva di capacità di un sistema equivalente a un grado di libertà, nella quale è definita la capacità di spostamento ultimo del meccanismo locale, da confrontare con la domanda di spostamenti richiesta dall'azione sismica.

Di seguito vengono riportate le ipotesi alla base dell'applicazione del metodo:

- Resistenza nulla a trazione della muratura;
- Assenza di scorrimento tra blocchi;
- Resistenza a compressione infinita della muratura.

Tuttavia, per una simulazione più realistica del comportamento, è opportuno considerare, in forma semplificata:

- Gli scorrimenti tra i blocchi, considerando la presenza dell'attrito;
- Le connessioni, anche di resistenza limitata, tra le pareti murarie;
- La presenza di catene metalliche;
- La limitata resistenza a compressione della muratura, considerando le cerniere adeguatamente arretrate rispetto allo spigolo della sezione;
- La presenza di pareti o paramenti scollegati.

Il metodo si articola, per ogni possibile meccanismo locale di danno significativo per l'edificio, nei seguenti passi:

- Trasformazione di una parte della costruzione in un sistema labile (catena cinematica), individuazione dei corpi rigidi, definiti da piani di frattura ipotizzabili a causa della scarsa resistenza a trazione della muratura e in grado di ruotare tra loro;
- Valutazione del moltiplicatore orizzontale dei carichi α_0 che comporta l'attivazione del meccanismo (SLD);
- Valutazione dell'evoluzione del moltiplicatore orizzontale dei carichi α al crescere dello spostamento d_k di un punto di controllo della catena cinematica, usualmente scelto in prossimità del baricentro delle masse, fino all'annullamento della forza

sismica orizzontale;

- Trasformazione della curva così ottenuta in curva di capacità, ovvero in accelerazione a^* e spostamento d^* spettrali, con valutazione dello spostamento ultimo per collasso del meccanismo (SLU);
- Verifiche di sicurezza, attraverso il controllo della compatibilità degli spostamenti e/o delle resistenze richieste dalla struttura.

6.1.2.1 – ANALISI CINEMATICA LINEARE (C8A.4.1)

Determinazione del moltiplicatore orizzontale dei carichi α_0 applicando ai blocchi rigidi della catena cinematica le seguenti forze:

- Pesi propri dei blocchi applicati nel loro baricentro;
- Carichi verticali portati dagli stessi (pesi propri e sovraccarichi dei solai e della copertura, altri elementi murari non considerati nel modello strutturale);
- Sistema di forze orizzontali proporzionali ai carichi verticali portati, se queste non sono efficacemente trasmesse ad altre parti dell'edificio;
- Eventuali forze esterne (es. forze trasmesse da catene);
- Eventuali forze interne.

Fasi:

- Si assegna una rotazione virtuale θ_k al generico blocco k ;
- Si determinano, in funzione di questa e della geometria della struttura, gli spostamenti nella rispettiva direzione delle diverse forze applicate;
- Si applica il Principio dei Lavori Virtuali in termini di spostamenti uguagliando il lavoro totale eseguito dalle forze esterne ed interne applicate al sistema in corrispondenza dell'atto di moto virtuale.

$$\alpha_0 \left(\sum_{i=1}^n P_i \delta_{x,i} + \sum_{i=n+1}^{n+m} P_j \delta_{x,j} \right) - \sum_{i=1}^n P_i \delta_{y,i} - \sum_{h=1}^0 F_h \delta_h = L_{fi}$$

dove:

- n è il numero di tutte le forze peso applicate ai diversi blocchi della catena

cinematica;

- m è il numero di forze peso non direttamente gravanti sui blocchi le cui masse, per effetto dell'azione sismica, generano forze orizzontali sugli elementi della catena cinematica, in quanto non efficacemente trasmesse ad altre parti dell'edificio;
- o è il numero di forze esterne, non associate a masse, applicate ai diversi blocchi;
- P_i è la generica forza peso applicata (peso proprio del blocco, applicato nel suo baricentro, o un altro peso portato);
- P_j è la generica forza peso, non direttamente applicata sui blocchi, la cui massa, per effetto dell'azione sismica, genera una forza orizzontale sugli elementi della catena cinematica, in quanto non efficacemente trasmessa ad altre parti dell'edificio;
- $d_{x,i}$ è lo spostamento virtuale orizzontale del punto di applicazione dell' i -esimo peso P_i , assumendo come verso positivo quello associato alla direzione secondo cui agisce l'azione sismica che attiva il meccanismo;
- $d_{x,j}$ è lo spostamento virtuale orizzontale del punto di applicazione dell' j -esimo peso P_j , assumendo come verso positivo quello associato alla direzione secondo cui agisce l'azione sismica che attiva il meccanismo;
- $d_{y,i}$ è lo spostamento virtuale verticale del punto di applicazione dell' i -esimo peso P_i , assunto positivo se verso l'alto;
- F_h è la generica forza esterna (in valore assoluto), applicata ad un blocco;
- d_h è lo spostamento virtuale del punto dove è applicata la h -esima forza esterna, nella direzione della stessa, di segno positivo se con verso discorde;
- L_{fi} è il lavoro di eventuali forze interne.

6.1.2.2 – ANALISI CINEMATICA NON LINEARE (C8A.4.2)

La capacità di spostamento ultima della struttura relativa al meccanismo considerato si individua attraverso il moltiplicatore orizzontale α dei carichi valutato sulle configurazioni variate della catena cinematica, rappresentative dell'evoluzione del meccanismo e descritte dallo spostamento d_k di un punto di controllo del sistema.

L'analisi deve essere condotta fino al raggiungimento della configurazione a cui corrisponde l'annullamento del moltiplicatore α in corrispondenza dello spostamento $d_{k,0}$ (spostamento ultimo) ovvero il raggiungimento del collasso. Tale configurazione può

essere ottenuta esprimendo la geometria in una generica configurazione variata, funzione della rotazione finita $\theta_{k,0}$ applicando il Principio dei Lavori Virtuali, avendo posto $\alpha=0$.

$$\alpha = \alpha_0 \left(\frac{1-d_k}{d_{k,0}} \right)$$

Curava di capacità dell'oscillatore equivalente

Nota l'andamento del moltiplicatore orizzontale α dei carichi in funzione dello spostamento d_k del punto di controllo della struttura, deve essere definita la curva di capacità dell'oscillatore equivalente, come relazione tra l'accelerazione a^* e lo spostamento d^* .

Si determina successivamente la massa partecipante al cinematismo M^* considerando gli spostamenti virtuali dei punti di applicazione dei diversi pesi, associati al cinematismo, come una forma modale di vibrazione:

$$M^* = \frac{(\sum_{i=1}^{n+m} P_i \delta_{x,i})^2}{g \sum_{i=1}^{n+m} P_i \delta_{x,i}^2}$$

dove

- **n + m** è il numero delle forze peso P_i applicate le cui masse, per effetto dell'azione sismica, generano forze orizzontali sugli elementi della catena cinematica;
- **$d_{x,i}$** è lo spostamento orizzontale virtuale del punto di applicazione dell' i-esimo peso P_i .

L'accelerazione sismica spettrale a^* si ottiene moltiplicando per l'accelerazione di gravità il moltiplicatore α e dividendolo per la frazione di massa partecipante al cinematismo.

L'accelerazione spettrale di attivazione del meccanismo vale quindi:

$$a_0^* = \frac{\alpha_0 \sum_{i=1}^{n+m} P_i}{M^* F_c} = \frac{\alpha_0 g}{e^* F_c}$$

dove

- $e = g \cdot M^* / P$ è la frazione di massa partecipante della struttura;
- F_c è il fattore di confidenza.

Rilievo geometrico	identificazione delle specificità storiche e costruttive della fabbrica	Proprietà meccaniche dei materiali	Terreno e fondazioni
rilievo geometrico completo $F_{C1} = 0,05$	restituzione ipotetica delle fasi costruttive basata su un limitato rilievo materico e degli elementi costruttivi associato alla comprensione delle vicende di trasformazione (indagini documentarie e tematiche) $F_{C2} = 0,12$	parametri meccanici desunti da dati già disponibili $F_{C3} = 0,12$	limitate indagini sul terreno e le fondazioni, in assenza di dati geotecnici e disponibilità d'informazioni sulle fondazioni $F_{C4} = 0,06$
rilievo geometrico completo, con restituzione grafica dei quadri fessurativi e deformativi $F_{C1} = 0$	restituzione parziale delle fasi costruttive e interpretazione del comportamento strutturale fondate su: a) limitato rilievo materico e degli elementi costruttivi associato alla comprensione e alla verifica delle vicende di trasformazione (indagini documentarie e tematiche, verifica diagnostica delle ipotesi storiografiche); b) esteso rilievo materico e degli elementi costruttivi associato alla comprensione delle vicende di trasformazione (indagini documentarie e tematiche) $F_{C2} = 0,06$	limitate indagini sui parametri meccanici dei materiali $F_{C3} = 0,06$	disponibilità di dati geotecnici e sulle strutture fondazionali; limitate indagini sul terreno e le fondazioni $F_{C4} = 0,03$
	restituzione completa delle fasi costruttive e interpretazione del comportamento strutturale fondate su un esaustivo rilievo materico e degli elementi costruttivi associato alla comprensione delle vicende di trasformazione (indagini documentarie e tematiche, eventuali indagini diagnostiche) $F_{C2} = 0$	estese indagini sui parametri meccanici dei materiali $F_{C3} = 0$	estese o esaustive indagini sul terreno e le fondazioni $F_{C4} = 0$

Tab.[6.4] Livello di conoscenza e relativi fattori di confidenza parziali.

Il fattore di confidenza F_c è dato dalla somma dei quattro fattori parziali ricavati dalla precedente tabella e relativi ai livelli di approfondimento delle indagini condotte sui diversi aspetti della conoscenza del manufatto, come esplicitato nella seguente formula:

$$F_c = 1 + \sum_{k=1}^4 F_{ck} = 1 + 0,05 + 0,12 + 0,12 + 0,06 = 1,35$$

Noto lo spostamento del punto di controllo d_k è possibile definire, in via approssimata, lo spostamento spettrale equivalente con riferimento agli spostamenti virtuali valutati sulla configurazione iniziale:

$$d^* = d_k \frac{\sum_{i=1}^{n+m} P_i \delta_{x,i}^2}{\delta_{x,k} \sum_{i=1}^{n+m} P_i \delta_{x,i}}$$

dove

- $N + m$, P_i , $d_{x,i}$ sono definiti come sopra;
- $d_{x,k}$ è lo spostamento virtuale orizzontale del punto k , assunto come riferimento per la determinazione dello spostamento d_k .

Nel caso in cui la curva presenti un andamento lineare (C8A.4.2), fatto che si verifica quando le diverse azioni vengono mantenute costanti, la curva di capacità assume la seguente espressione:

$$a_s^* = a_0^* \left(\frac{1-d^*}{d_0^*} \right)$$

dove d_0^* è lo spostamento spettrale equivalente corrispondente allo spostamento $d_{k,0}$.

Nel caso in cui siano presenti le forze esterne di entità variabile, la curva è assunta lineare a tratti.

La resistenza e la capacità di spostamento relativa allo Stato limite di danno (SLD) e Stato limite di salvaguardia della vita (SLV) sono valutate sulla curva di capacità, in corrispondenza dei punti seguenti:

- SLD: dalla accelerazione spettrale a_0^* corrispondente all'attivazione del meccanismo di danno;
- SLV: dallo spostamento spettrale d_u^* corrispondente al minore fra gli spostamenti così definiti:
 - il 40% dello spostamento per cui si annulla l'accelerazione spettrale a^* valutata su una curva in cui si considerino solamente le azioni di cui è verificata la presenza fino al collasso;
 - lo spostamento corrispondente a situazioni localmente incompatibili con la stabilità degli elementi della costruzione (ad esempio, sfilamento di travi), nei casi in cui questo sia valutabile.

Nel caso di meccanismi locali lo stato limite di danno (SLD) corrisponde all'insorgere di fessurazioni che interessano solo una parte della struttura; pertanto nel caso di edifici esistenti in muratura, pur essendo auspicabile il soddisfacimento di questo stato limite, la verifica non è richiesta.

Verifiche di sicurezza

Stato limite di danno

La verifica di sicurezza nei confronti dello Stato limite di danno è soddisfatta qualora l'accelerazione spettrale di attivazione del meccanismo sia superiore all'accelerazione di picco della domanda sismica.

In un elemento isolato o in una porzione della costruzione appoggiata a terra si verifica che l'accelerazione di attivazione del meccanismo sia maggiore dell'accelerazione al suolo, ovvero lo spettro elastico definito valutato per $T=0$:

$$a_0^* \geq a_g(P_{V_R}) \cdot S$$

dove

- a_g è funzione della probabilità di superamento dello stato limite scelto e della vita di riferimento come definiti al § 3.2 delle NTC-08;
- S è definito al § 3.2.3.2.1 delle NTC-08.

Per una porzione della costruzione posta ad una certa quota, si deve tener conto del fatto che l'accelerazione assoluta alla quota della porzione di edificio interessata dal cinematisimo è in genere amplificata rispetto a quella al suolo. In aggiunta alla C8A.4.7, si verifica anche che:

$$a_0^* \geq S_e(T_1)\psi(Z)\gamma$$

dove:

- $S_e(T_1)$ è lo spettro elastico definito nel § 3.2.3.2.1 delle NTC, funzione della probabilità di superamento dello stato limite scelto (in questo caso 63%) e del periodo di riferimento V_R come definiti al § 3.2. delle NTC, calcolato per il periodo T_1 ;
- T_1 è il primo periodo di vibrazione dell'intera struttura nella direzione considerata;
- $\psi(Z)$ è il primo modo di vibrazione nella direzione considerata, normalizzato ad uno in sommità all'edificio; in assenza di valutazioni più accurate può essere assunto $\psi(Z)=Z/H$, dove H è l'altezza della struttura rispetto alla fondazione;
- Z è l'altezza, rispetto alla fondazione dell'edificio, del baricentro delle linee di vincolo tra i blocchi interessati dal meccanismo ed il resto della struttura;
- γ è il corrispondente coefficiente di partecipazione modale (in assenza di valutazioni più accurate può essere assunto $\gamma=3N/(2N+1)$, con N numero di piani dell'edificio).

Stato limite di salvaguardia della vita

Verifica semplificata con fattore di struttura q (analisi cinematica lineare):

- elemento isolato o una porzione della costruzione appoggiata a terra, la verifica è soddisfatta se l'accelerazione spettrale a_0^* che attiva il meccanismo soddisfa la seguente disuguaglianza:

$$a_0^* \geq \frac{a_g(P_{VR})S}{q}$$

dove

- a_g è funzione della probabilità di superamento dello stato limite scelto e della vita di riferimento come definiti al § 3.2 delle NTC;
 - S è definito al § 3.2.3.2.1 delle NTC;
 - q è il fattore di struttura, che può essere assunto uguale a 2,0.
- porzione di costruzione posta ad una certa quota, si deve tener conto del fatto che l'accelerazione assoluta alla quota della porzione di edificio interessata dal cinematisimo è in genere amplificata rispetto a quella al suolo, oltre alla C8A.4.9 si deve verificare anche la:

$$a_0^* \geq \frac{S_e(T_1)\psi(Z)\gamma}{q}$$

dove: $S_e(T_1)$, $\psi(Z)$ e γ sono definite come al punto precedente, tenendo conto che lo spettro di risposta è riferito alla probabilità di superamento del 10% nel periodo di riferimento V_R .

Verifica mediante spettro di capacità (analisi cinematica non lineare):

La verifica consiste nel confronto tra la capacità di spostamento ultimo d_u^* del meccanismo locale e la domanda di spostamento ottenuta dallo spettro di spostamento in corrispondenza del periodo secante T_s .

Definito lo spostamento: $d_s^* = 0,4 d_u^*$

Si individua, sulla curva di capacità, l'accelerazione a_s^* corrispondente allo spostamento

d_s^* ed al periodo secante $T_s = 2\pi \sqrt{\frac{d_s^*}{a_s^*}}$.

La domanda di spostamento $\Delta(T_s)$ è pari a:

- elemento isolato o porzione appoggiata a terra, si considera soddisfatta se

$$d_u^* \geq S_{De}(T_S)$$

dove S_{De} è lo spettro di risposta elastico in spostamento, definito al § 3.2.3.2.2 delle NTC.

- porzione di costruzione posta ad una certa quota, deve essere considerato lo spettro di risposta in spostamento del moto alla quota della porzione di edificio interessata dal cinematismo, si considera soddisfatta se oltre ad essere verificata la C8A.4.11 lo è anche:

$$d_u^* \geq S_{De}(T_1) \psi(Z) \gamma \frac{\left(\frac{T_S}{T_1}\right)^2}{\sqrt{\left(1 - \frac{T_S}{T_1}\right)^2 + 0,02 \frac{T_S}{T_1}}}$$

6.2 – INDIVIDUAZIONE DEI MACROELEMENTI E DEI RELATIVI MECCANISMI DI COLLASSO

In questo paragrafo verranno individuati i macroelementi ed i relativi meccanismi di collasso, chiamati cinematismi. Utilizzando quindi il modello rappresentato nel capitolo precedente si sono potute individuare delle zone critiche in cui la probabilità di formazione dei cinematismi risultano più alte. Nelle pagine seguenti verranno rappresentati tali macroelementi e il procedimento utilizzato per la loro individuazione e la supposizione dei cinematismi che potrebbero verificarsi. La tipologia e il modo di evolversi del meccanismo sono condizionati da molti fattori quali la qualità dei materiali della muratura, le caratteristiche dei pannelli murari, le sollecitazioni agenti sugli stessi, la presenza di discontinuità, lo stato fessurativo e di degrado in generale, l'interconnessione delle varie parti dell'edificio fra loro, ecc.

Si può precisare subito che, tra questi, il fattore che gioca il ruolo predominante per la determinazione del cinematismo è la qualità delle connessioni. Questo aspetto è fondamentale anche nelle ipotesi che stanno alla base della teoria della verifica ai macroelementi: l'affermazione che un edificio in muratura, specie se si tratta di

muratura storica, non presenti in generale un comportamento d'insieme, cioè un comportamento scatolare, è dovuta alla scarsa efficacia delle connessioni tra gli elementi della costruzione; ciò comporta fenomeni locali, che interessano porzioni limitate dell'edificio, piuttosto che meccanismi di danno e collasso globali. Tutte queste considerazioni sono supportate e confermate da numerosi esempi di collassi parziali osservati sulla maggior parte dei manufatti in muratura storica soggetti a sisma: si nota come il crollo di questi edifici sia da attribuire alla perdita di equilibrio delle componenti e non al superamento del limite della resistenza dei materiali. Per ogni macroelemento individuato si riporta uno o più cinematismi ipotizzati. I meccanismi più probabili e gravosi individuati, oggetto del nostro studio, rientrano nel primo gruppo, ovvero ribaltamenti fuori piano detti anche meccanismi di danno di primo modo.

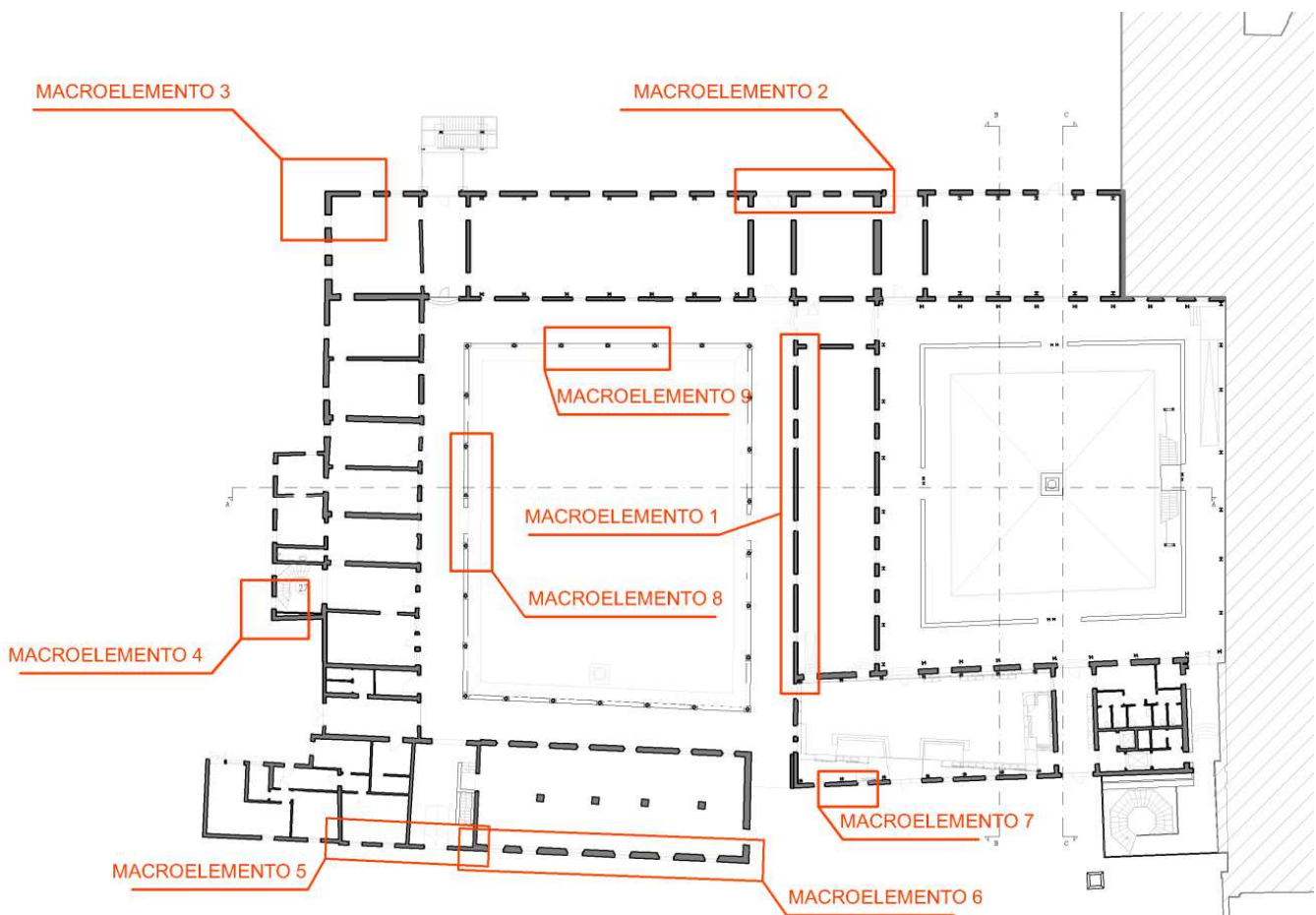


Fig.[6.2] Mappa dei macroelementi individuati.

6.2.1 - MACROELEMENTO n.1: PARETE NORD DELLA SALA CENTRALE FRA I DUE CHIOSTRI

Il primo macroelemento individuato riguarda la sala centrale al primo piano che si colloca fra i due chiostri (**Fig.[6.3]**).

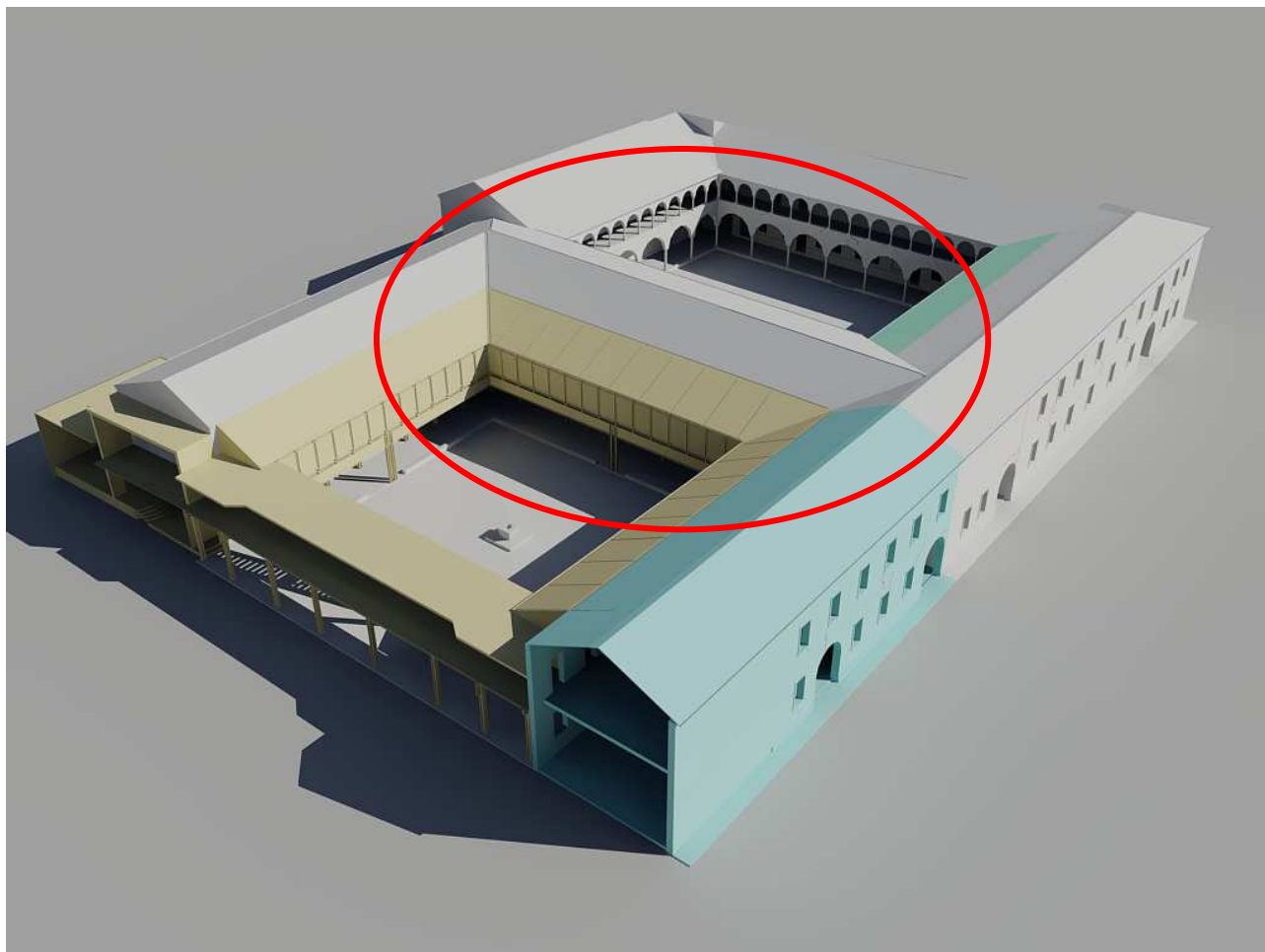


Fig.[6.3] Nel particolare l'individuazione della zona interessata.

Per andare a valutare meglio la situazione di questa parte del fabbricato si è asportato al modello la parte che riguarda la struttura in acciaio (di colore giallo) e la copertura. Si è notato che in entrambi i paramenti murari che compongono il versante est della sala sono lesionati a livello dell'interfaccia con le murature trasversali. Queste lesioni che appaiono abbastanza rilevanti potrebbero essere state causate dalla presenza di carichi notevoli trasmessi dalla nuova copertura con struttura in in acciaio (**Fig.[6.9]**). In corrispondenza di queste lesioni (**Fig.[6.5 – 6.6]**) dunque, a meno di smentite fornite da indagini più accurate si ipotizza un distacco del paramento murario con espulsione dello stesso tramite ribaltamento. Inoltre analizzando la fessurazione situata nella parete nord si è riscontrato che essa si propaga all'esterno del paramento

(Fig.[6.8]), quindi potrebbe essere una lesione passante, il che renderebbe ancora più grave la situazione di tale porzione di muratura.

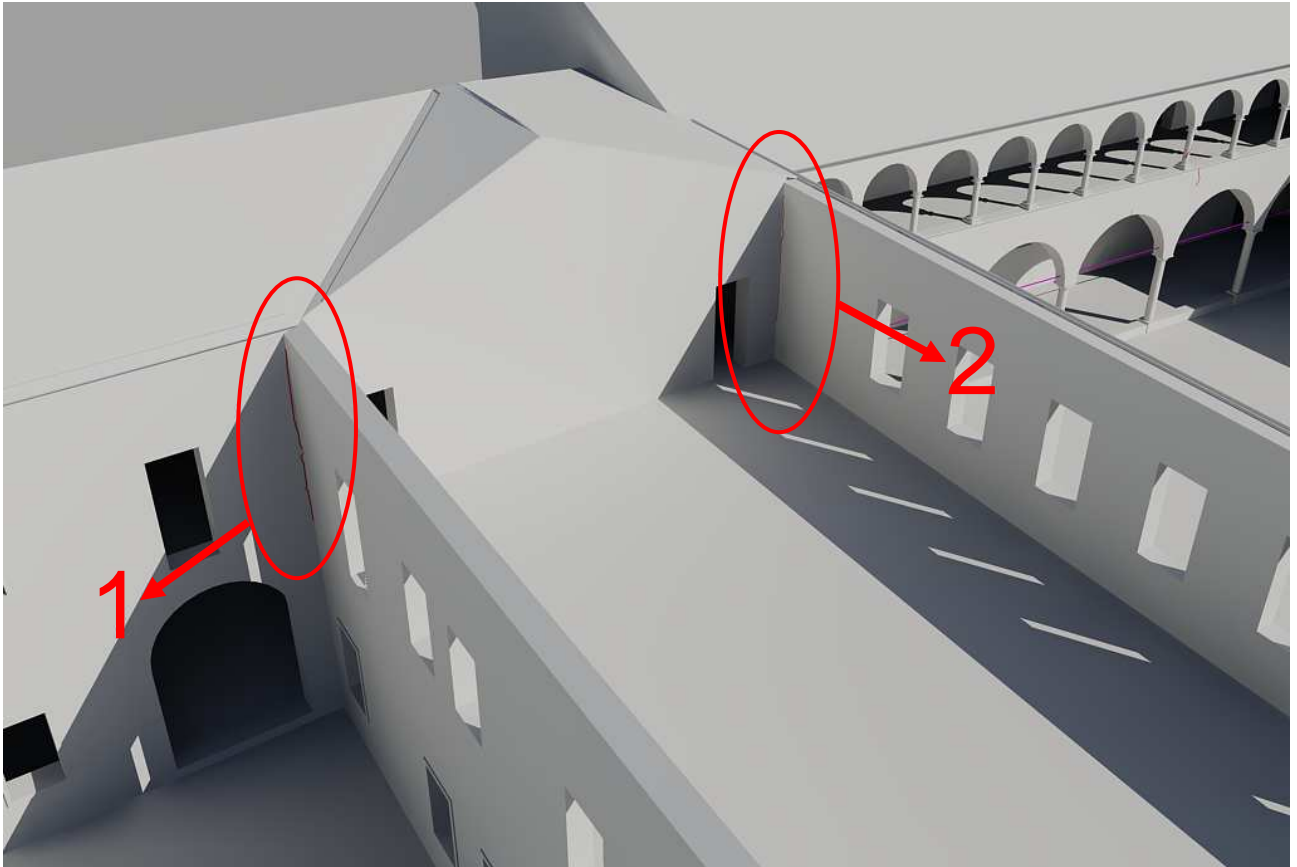


Fig.[6.4] Nei particolari l'individuazione della fessura n.1 e della fessura n.2.



Fig.[6.5] Fessura n.1.

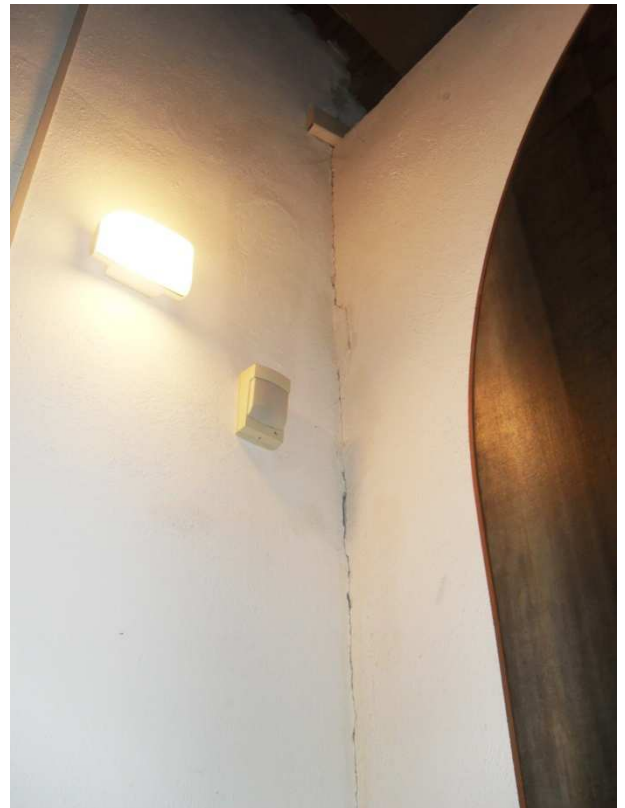


Fig.[6.6] Fessura n.2.

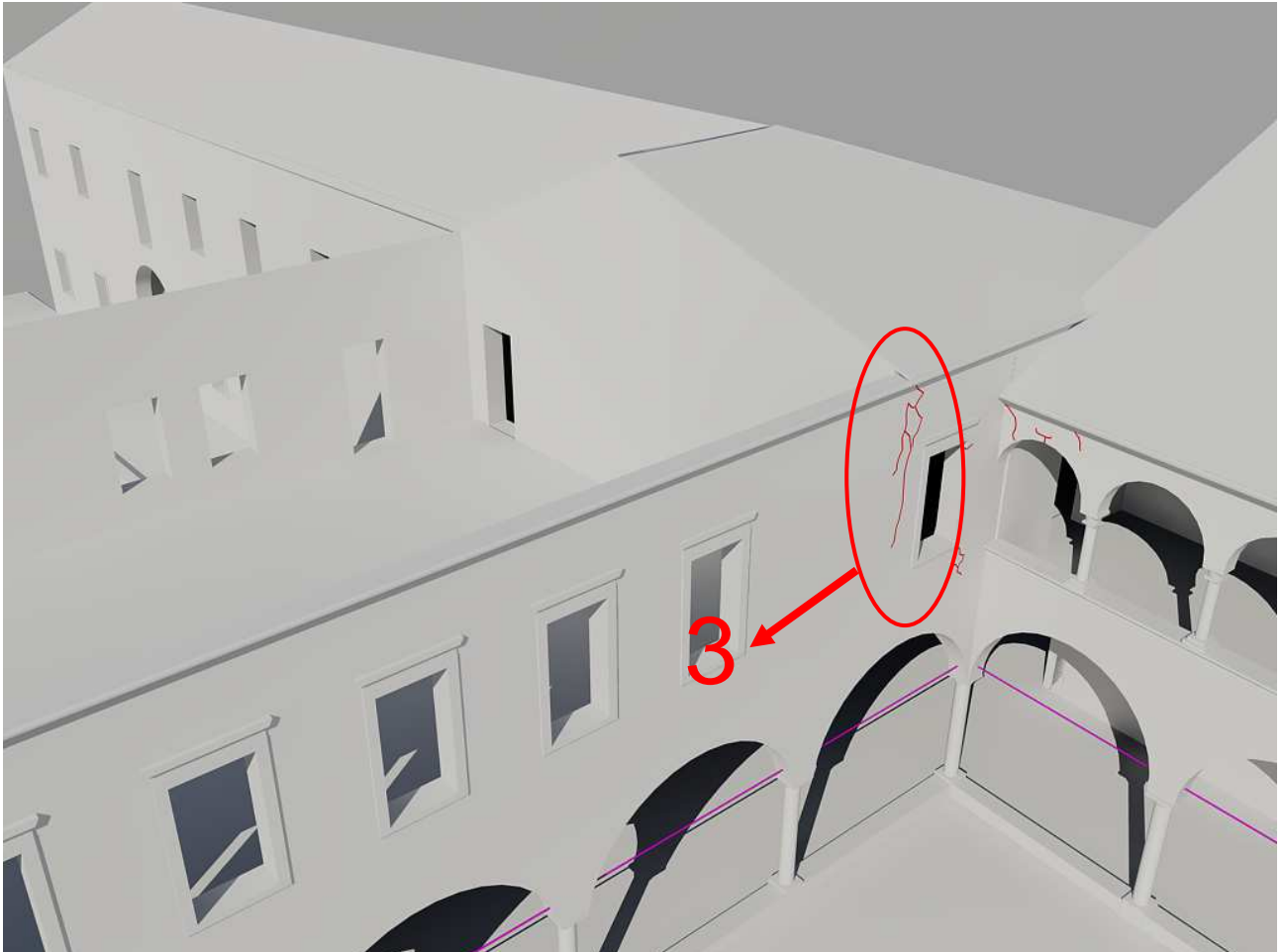


Fig.[6.7] Nel particolare l'individuazione della fessura n.3.



Fig.[6.8] Fessura n.3.

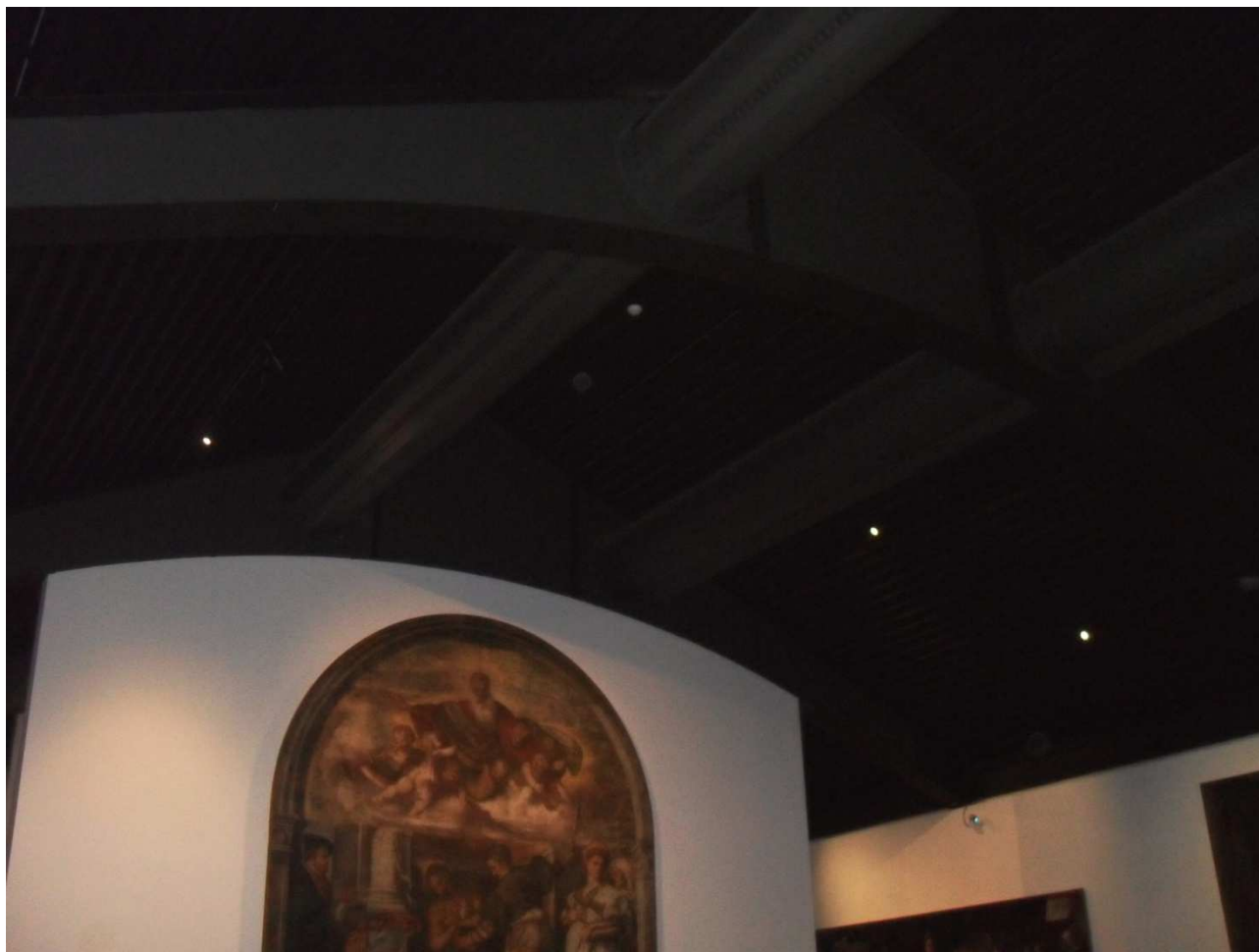


Fig.[6.9] Nuova copertura con struttura in acciaio.

Nella Fig.1.1 è visualizzato il macroelemento ipotizzato (di colore arancione).

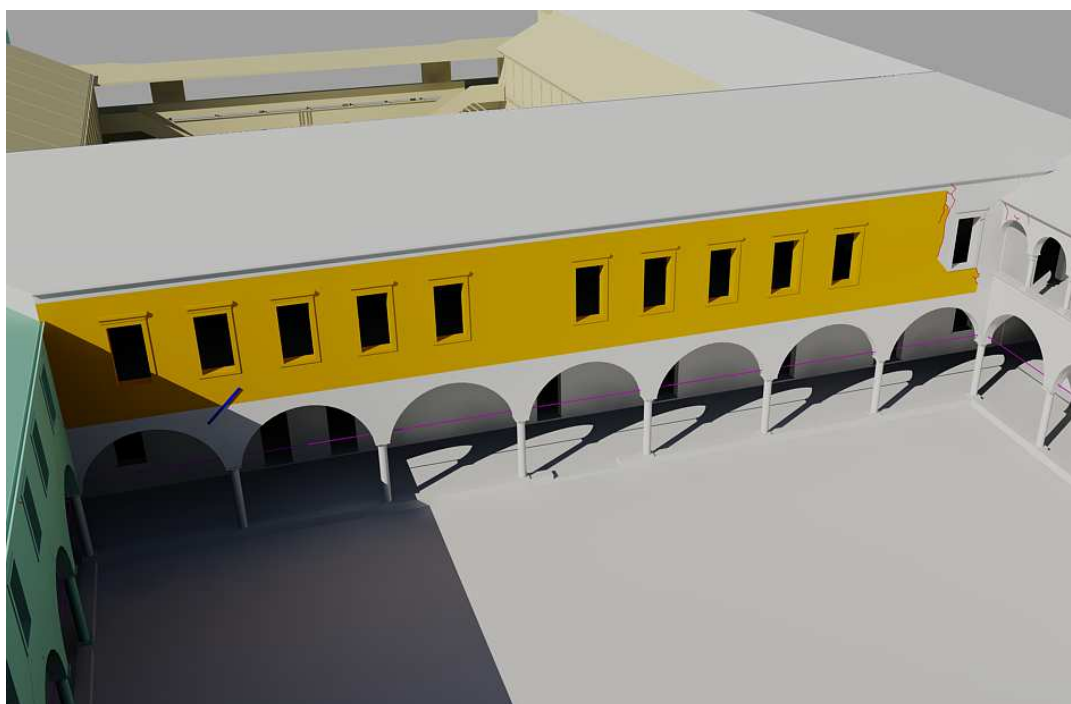


Fig.[6.10] Macroelemento n.1.

CINEMATISMO n.1: RIBALTAMENTO FUORI PIANO DELLA PARETE NORD DELLA SALA CENTRALE

Il cinematismo ipotizzato riguarda il ribaltamento della parete individuata dal macroelemento n.1. Si ipotizza quindi una rotazione di questa parete con formazione della cerniera a livello della base, questa posizione è ancora più probabile data la collocazione del tirante (nella figura di colore blu) che favorisce il formarsi della cerniera in questo punto. Non viene considerata collaborante la connessione a livello dell'interfaccia fra parete e copertura in quanto non c'è la presenza di un cordolo. Il medesimo meccanismo potrebbe verificarsi per la parete "gemella" collocata a sud della sala, il cinematismo è del tutto simile a questo.

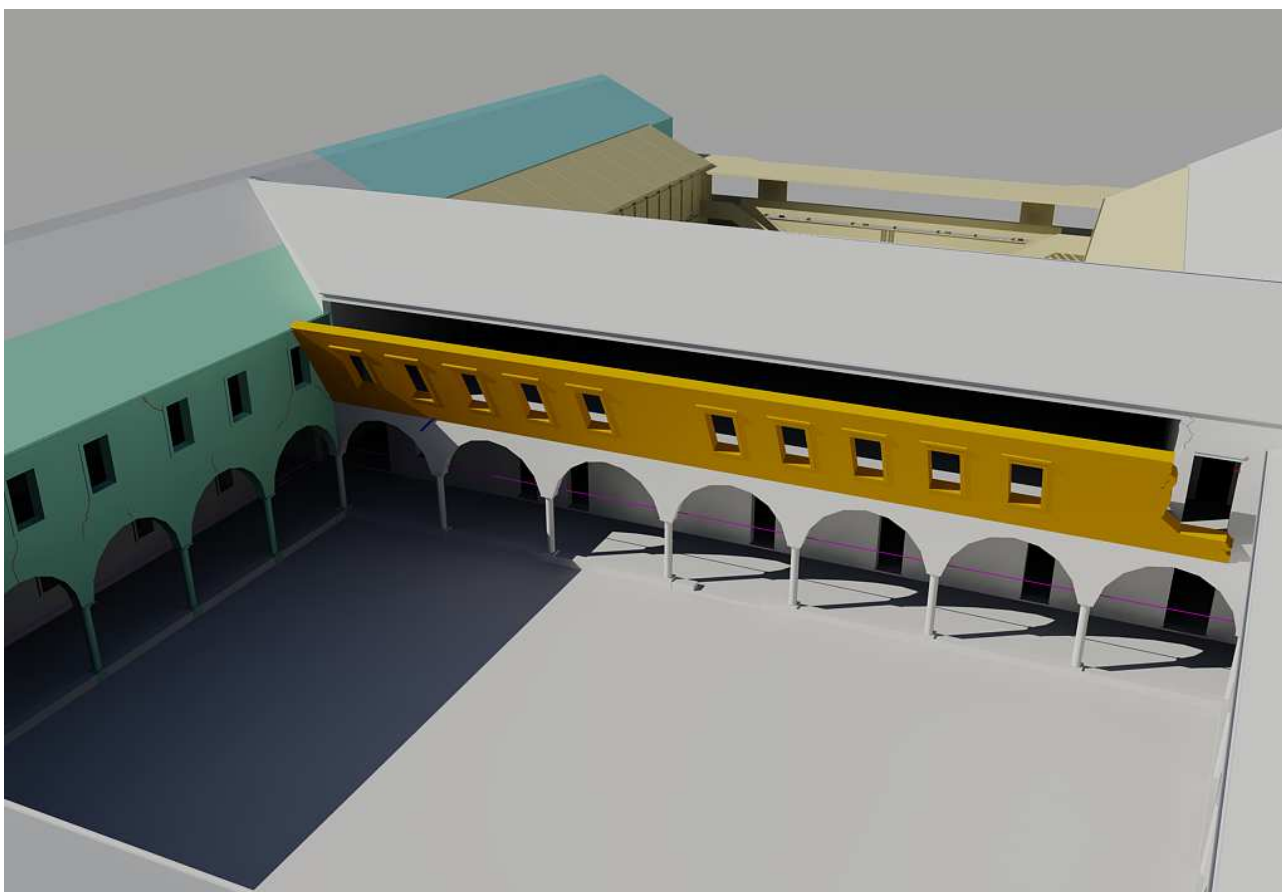


Fig.[6.11] Cinematismo n.1.

6.2.2 - MACROELEMENTO n.2: PARETE EST ALL'INTERFACCIA FRA PORZIONE NUOVA E PORZIONE ORIGINARIA

La seconda zona di fabbricato trattata riguarda le pareti est all'interfaccia fra porzione nuova e porzione originaria (**Fig.[6.12]**).

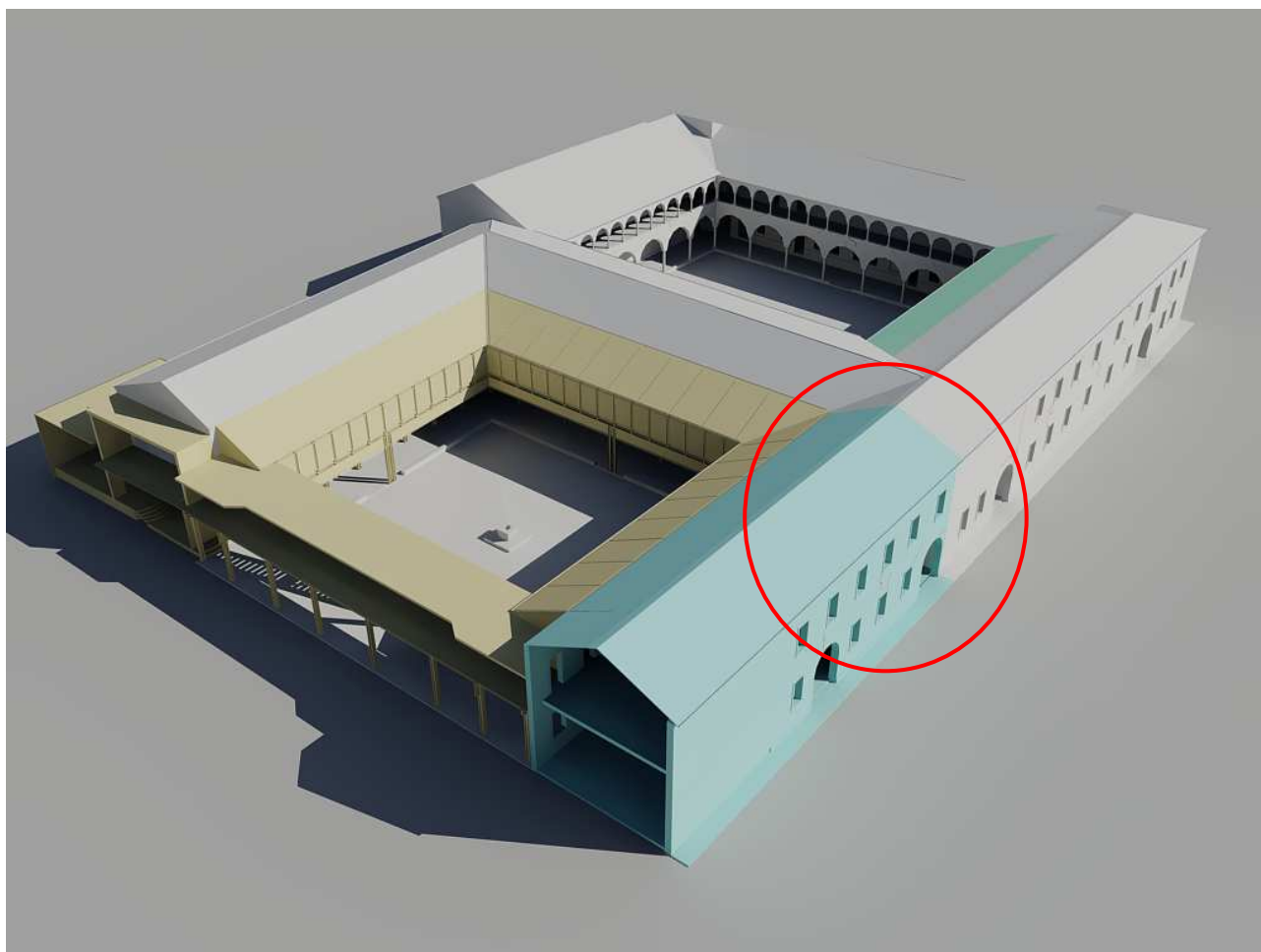


Fig.[6.12] Nel particolare l'individuazione della zona interessata.

All'altezza dell'interfaccia fra le due porzioni di parete, quella antica e quella nuova (di colore ciano) ricostruita con i restauri degli anni '70 si è riscontrata una lesione che come si può osservare nella **Fig.[6.13]** si è formata nella porzione di muratura di sezione ridotta che separa le due parti. Questa fessura come si può vedere nella **Fig.[1.14]** è rilevante ed attraversa tutta l'altezza del prospetto. Inoltre all'interno del chiostro si è osservato fessura simile collocata nella stessa posizione **Fig.[1.15]**, quindi tale lesione sembra passante. Questo tipo di fessurazione potrebbe essere derivata dalla diversa conformazione delle pareti in gioco, oppure dal diverso tipo di carichi gravanti oppure ancora dal diverso tipo di fondazione. Tali ipotesi dovrebbero essere avvalorate da indagini più accurate.

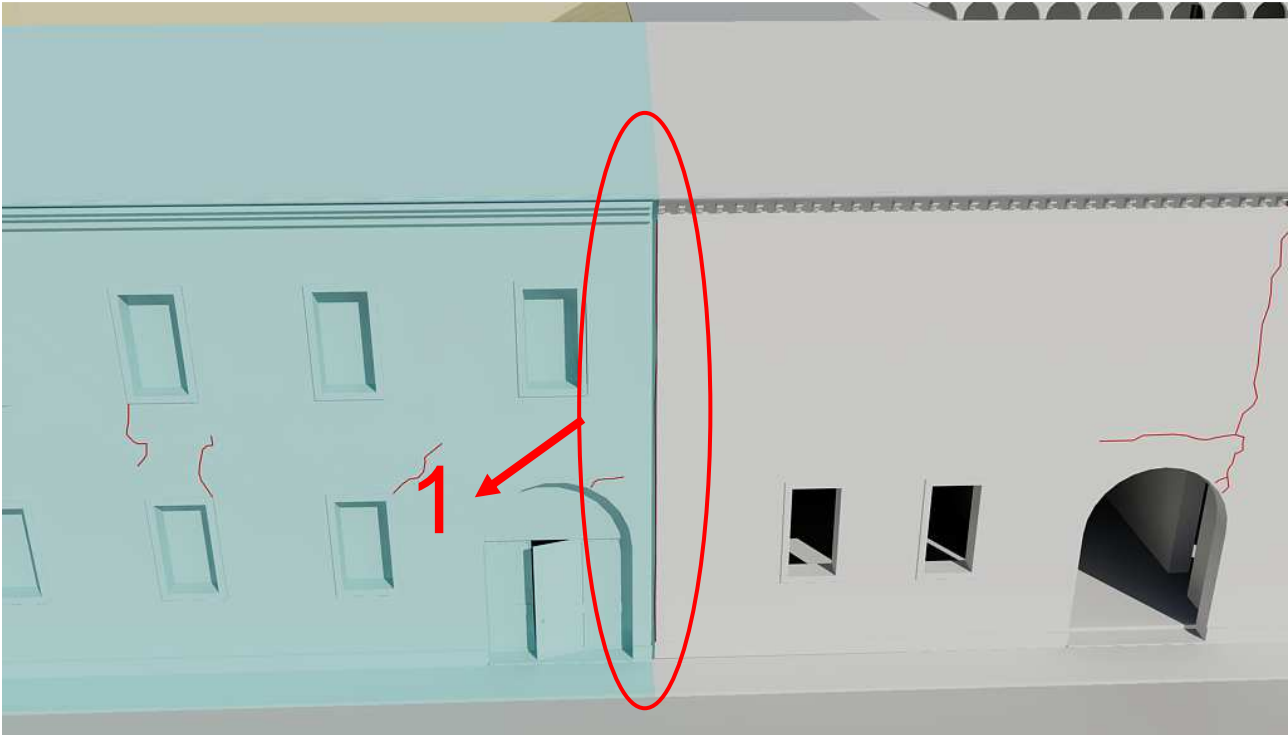


Fig.[6.13] Nel particolare l'individuazione della fessura n.1.



Fig.[6.14] Fessura n.1.



Fig.[6.15] Fessura passante all'interno.

Il macroelemento ipotizzato è confinato a destra da una fessura individuata sopra l'apertura voltata ad arco la cui configurazione è rappresentata nella **Fig.[6.16]** ricavata dalla **Fig.[1.17]**.

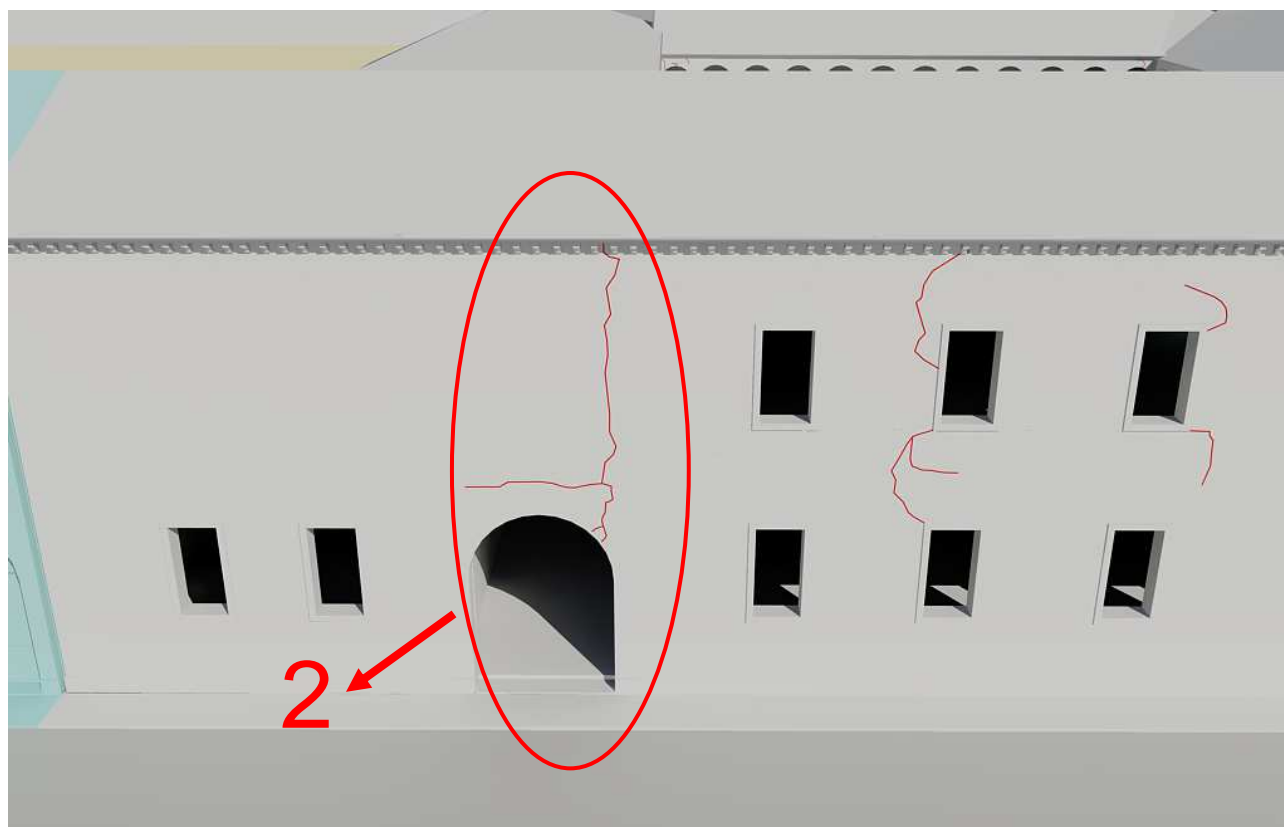


Fig.[6.16] Nel particolare l'individuazione della fessura n.2.



Fig.[6.17] Fessura n.2.

Il macroelemento individuato dunque è rappresentato nella figura seguente.

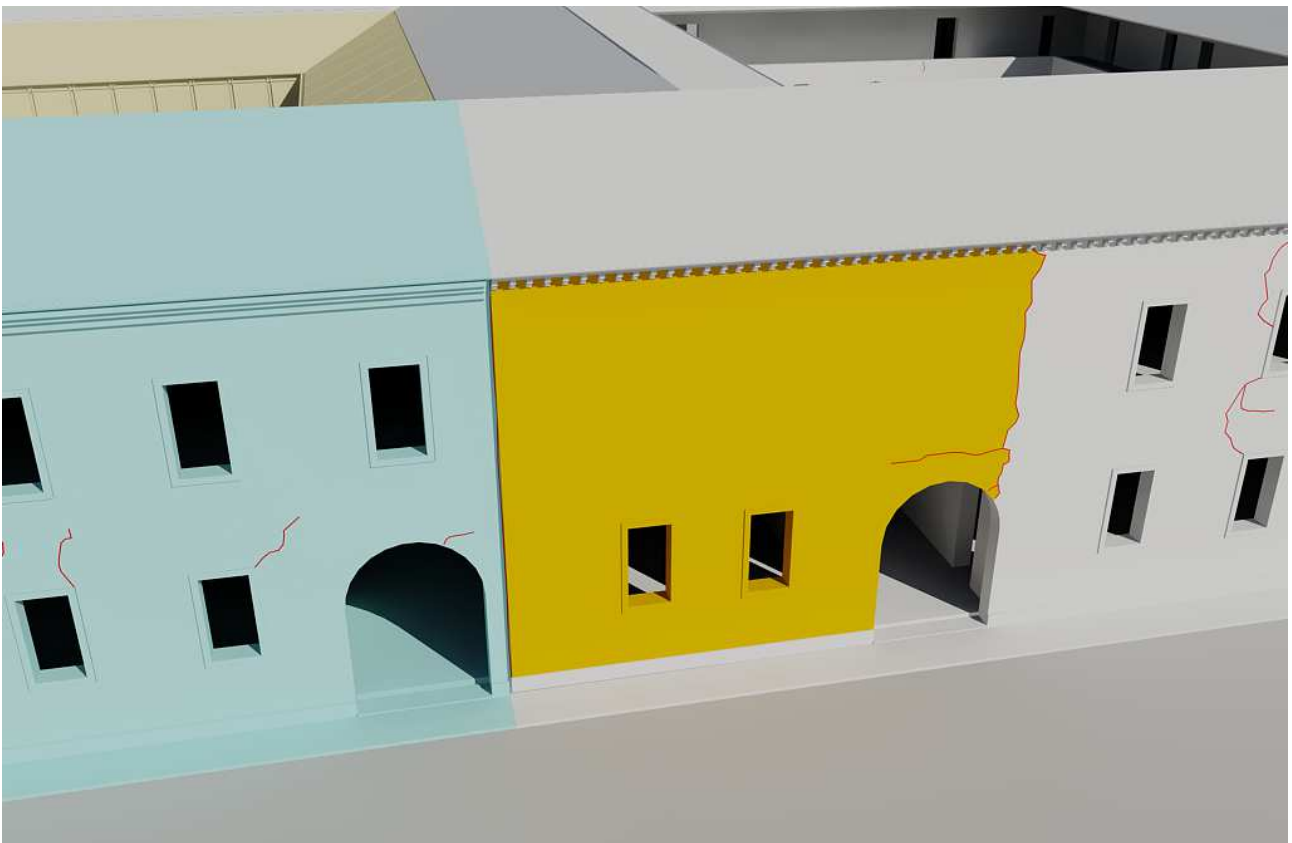


Fig.[6.18] Macroelemento n.2.

CINEMATISMO n.1: RIBALTAMENTO FUORI PIANO DELL'INTERA PARETE

Il primo meccanismo ipotizzato per questo macroelemento è il ribaltamento fuori piano dell'intera parete. Il caso in questione, riportato nella figura seguente, corrisponde al ribaltamento globale della parete a due piani (cinematismo 1) relativo alla porzione di facciata definita dal macroelemento n.2, con la cerniera che si sviluppa alla base della parete a livello del terreno. Il solaio in questo caso viene considerato incapace di opporsi al cinematismo.

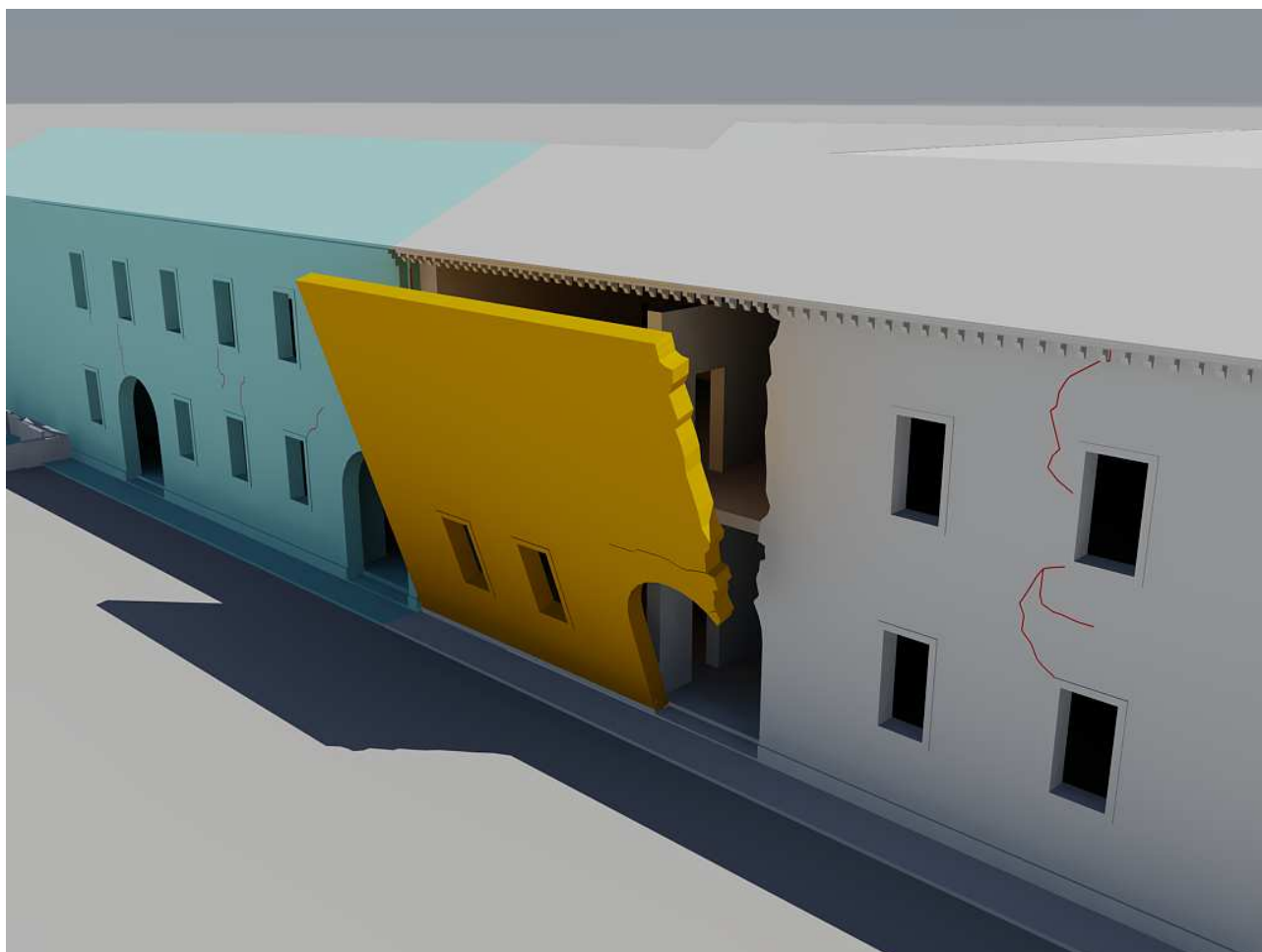


Fig.[6.19] Cinematismo n.1.

CINEMATISMO n.2: RIBALTAMENTO FUORI PIANO DELLA PARETE AL PIANO TERRA

Il secondo meccanismo ipotizzato per questo macroelemento è il ribaltamento fuori piano della parete al piano terra, riportato in **Fig.[6.20]**. La cerniera si svilupperà nella medesima posizione del caso precedente ma la massa che parteciperà al cinematismo sarà solo quella al di sotto del solaio al primo piano. Non verrà considerata rilevante quindi la connessione fra il solaio e la parete al piano terra.

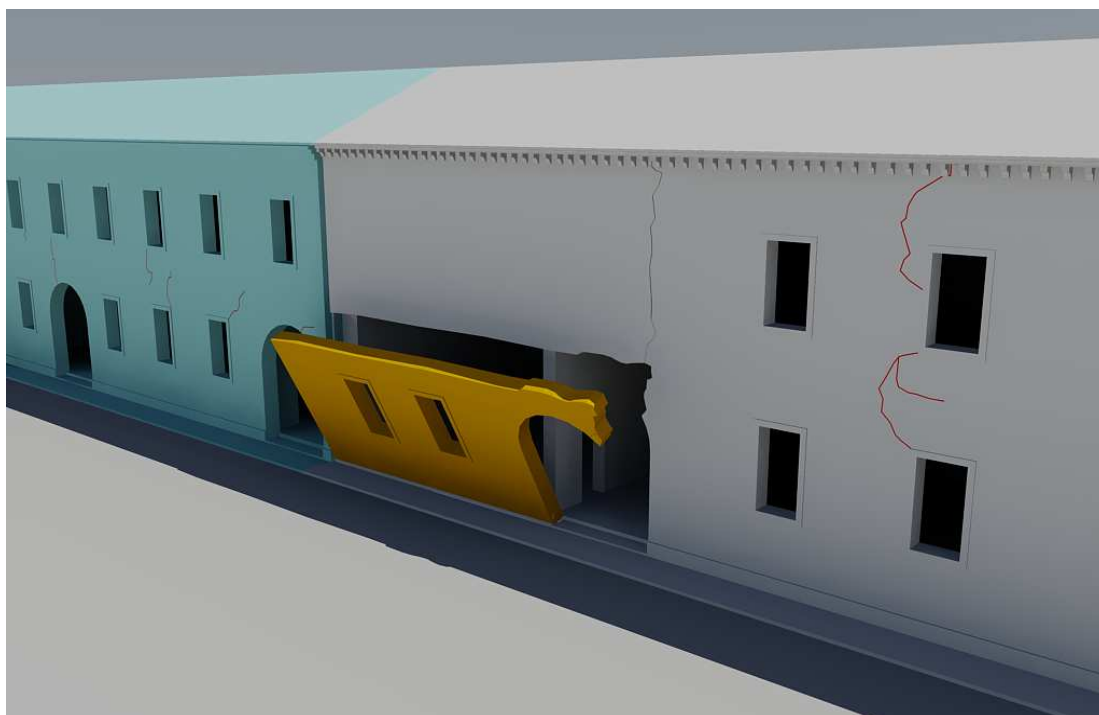


Fig.[6.20]Cinematismo n.2.

CINEMATISMO n.3: RIBALTAMENTO FUORI PIANO DELLA PARETE AL PIANO PRIMO

Il terzo meccanismo ipotizzato per questo macroelemento è il ribaltamento fuori piano della parete al piano primo, riportato in **Fig.[6.21]**. La cerniera in questo caso si svilupperà alla base della parete superiore e la massa in gioco sarà quella della parete al piano primo.



Fig.[6.21] Cinematismo n.3.

6.2.3 - MACROELEMENTO N.3: CANTONALE ESTERNO NELL'ANGOLO NORD-EST

La terza parte di edificio presa in considerazione riguarda il cantonale relativo ad una porzione del prospetto esterno nell'angolo a Nord-Est, rivolta verso i giardini, rappresentata nella figura seguente.

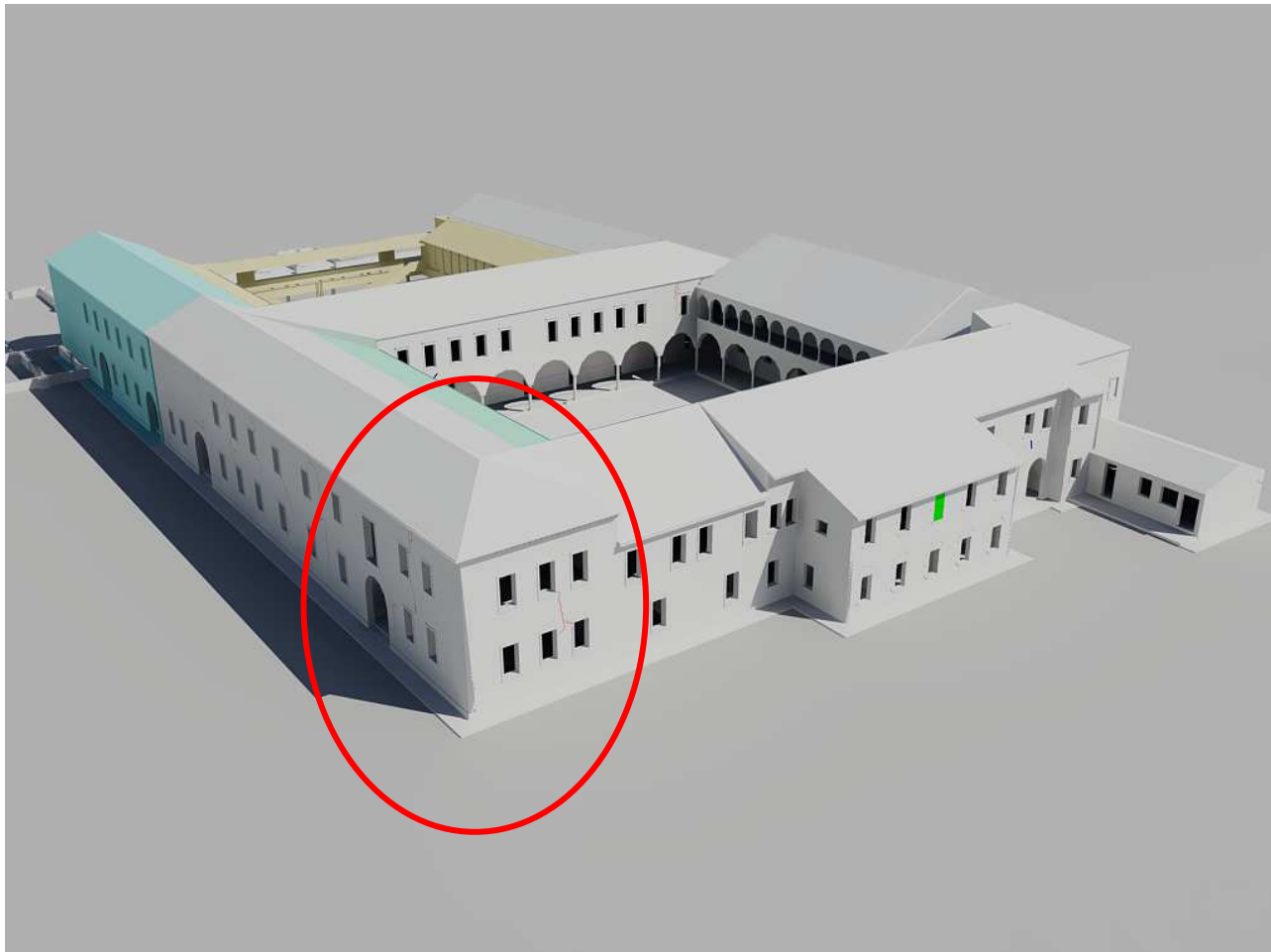


Fig.[6.22] Nel particolare l'individuazione della zona interessata.

Tra gli indicatori di vulnerabilità individuati in questa porzione del fabbricato troviamo alcune lesioni riscontrate soprattutto nella facciata est (**Fig.[6.23]**), dove si è individuato il profilo del macroelemento, e più in generale la posizione delle aperture in prossimità dell'angolo preso in esame. Inoltre all'interno non troviamo muri di spina che potrebbero collaborare ad evitare il meccanismo di collasso ed il solaio composto da travi lignee non viene considerato collaborante.

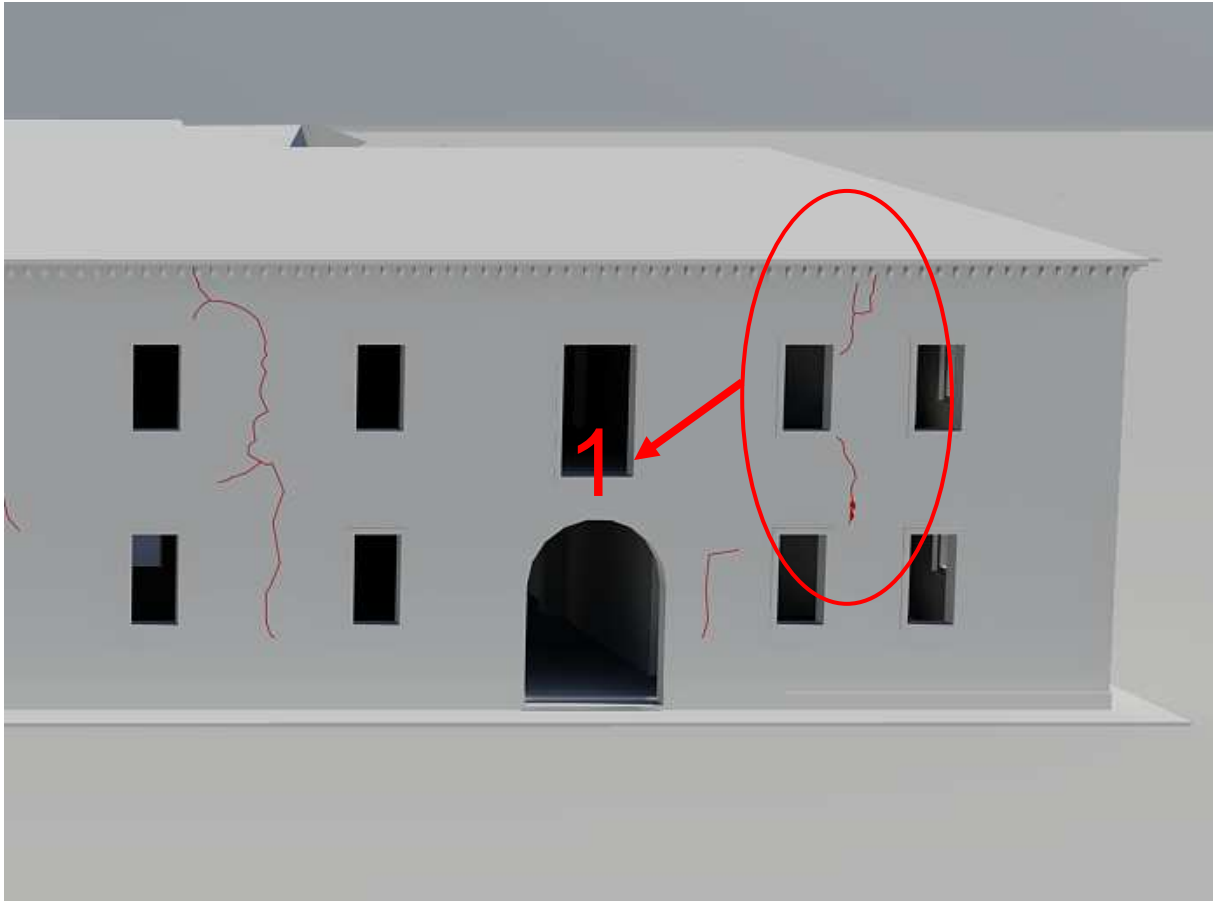


Fig.[6.23] Nel particolare l'individuazione della fessura n.1.



Fig.[6.24] Fessura n.1.

Il macroelemento individuato in questo caso è rappresentato nella figura seguente.

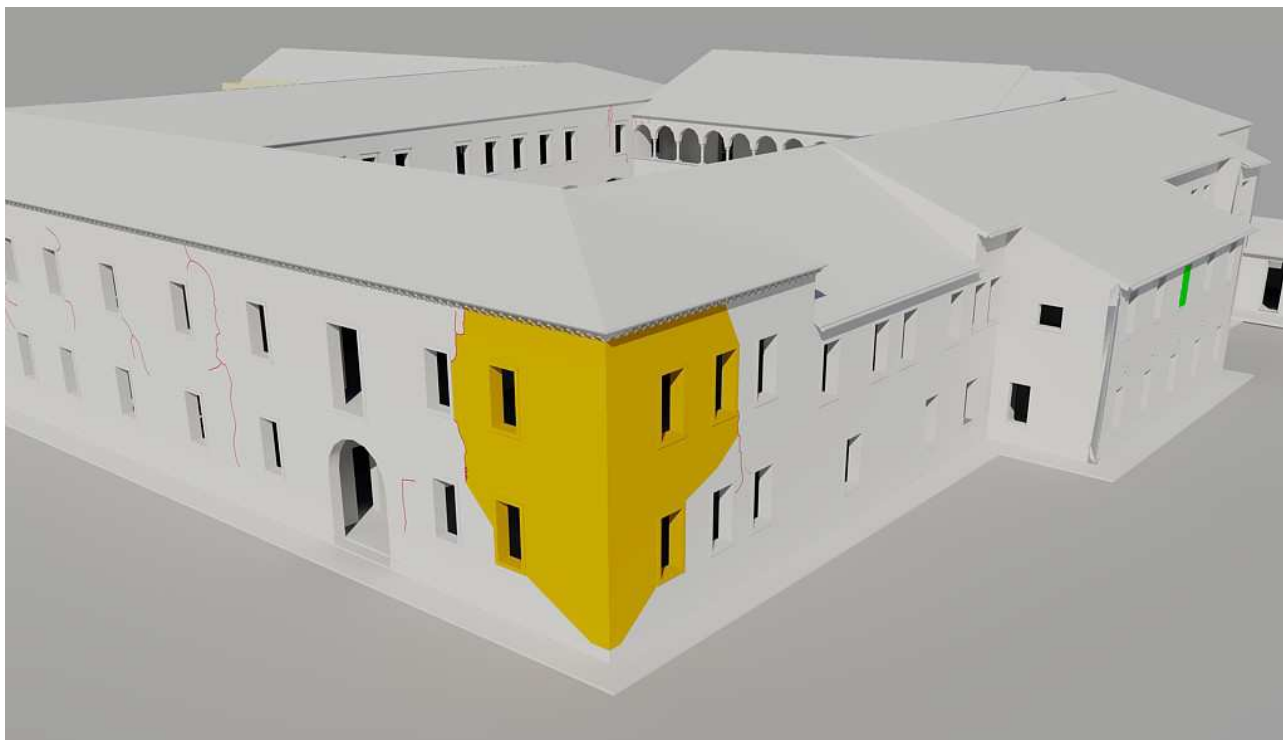


Fig.[6.25] Macroelemento n.3.

CINEMATISMO n.1: RIBALTAMENTO FUORI PIANO DEL CANTONALE

Il tipo di meccanismo ipotizzato in questo caso interessa la porzione di colore arancione illustrata nella **Fig.[6.26]**, la cerniera si presume si sviluppi alla base del cantonale a livello del terreno. Il meccanismo viene illustrato nella figura seguente.



Fig.[6.26] Cinematismo n.1.

6.2.4 - MACROELEMENTO n.4: CANTONALE NELLA PARETE NORD

Il quarto macroelemento individuato si trova nel prospetto nord, nell'ala del fabbricato che ha il prospetto avanzato rispetto al resto della facciata.

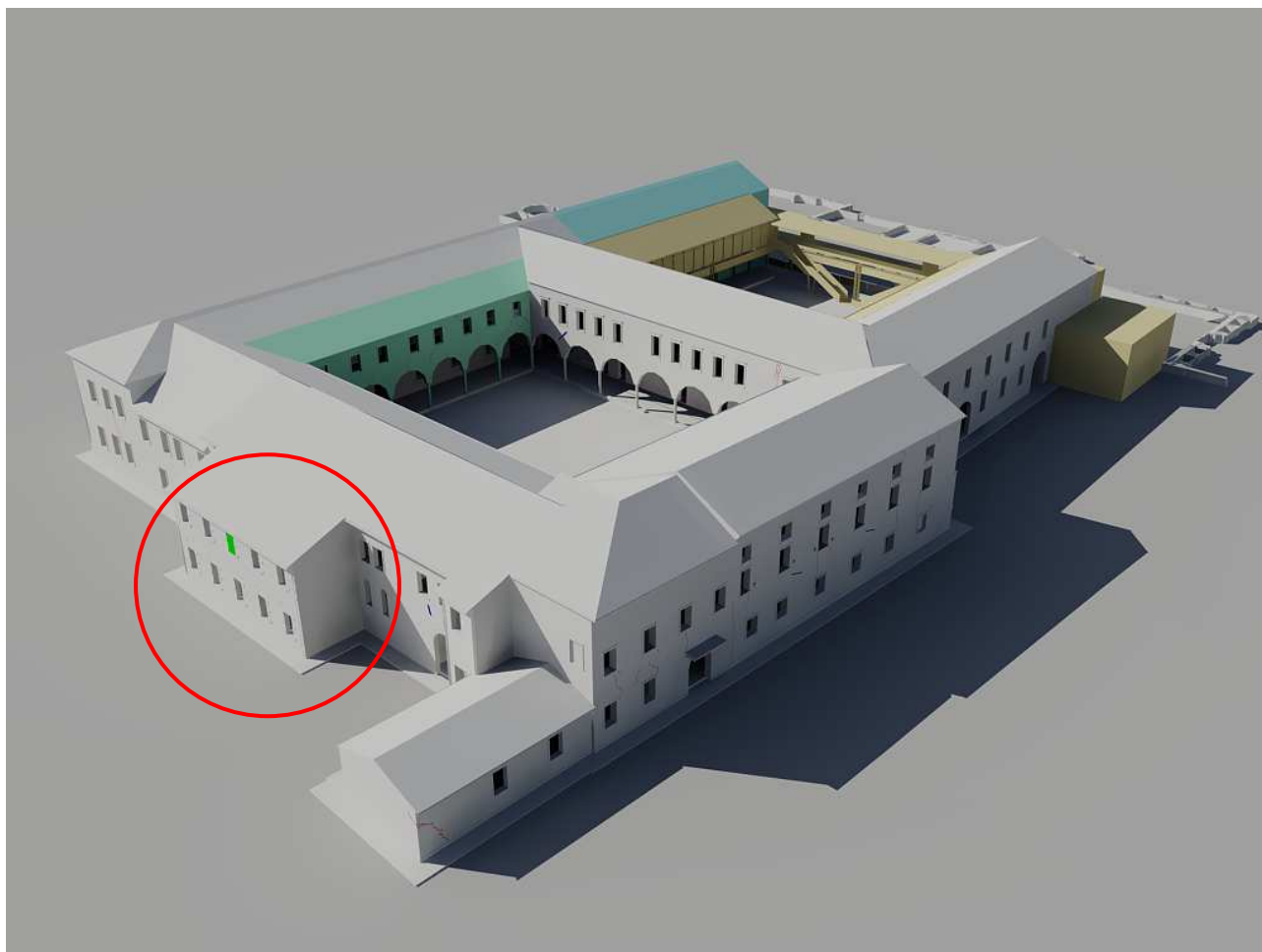


Fig.[6.27] Nel particolare l'individuazione della zona interessata.

In questo caso la criticità che è stata individuata osservando il modello delle vulnerabilità riguarda l'aspetto volumetrico di questa porzione dell'edificio. Nella parte a destra di quest'ala dell'edificio si trova un volume cavo che si eleva per l'intera altezza, inglobando quindi sia il piano terra che il piano primo. Questo spazio (**Fig.[6.28]**), che ospita la scala elicoidale costruita con il restauro degli anni '70, risulta essere indebolito dal fatto che non è presente un solaio che permette di creare una connessione fra orizzontamento e parete verticale, dunque all'eventualità di un evento sismico tale parete risulterebbe vulnerabile al ribaltamento. Nel nostro caso si è individuato un macroelemento che riguarda il cantonale fra le due pareti perimetrali trasversali.

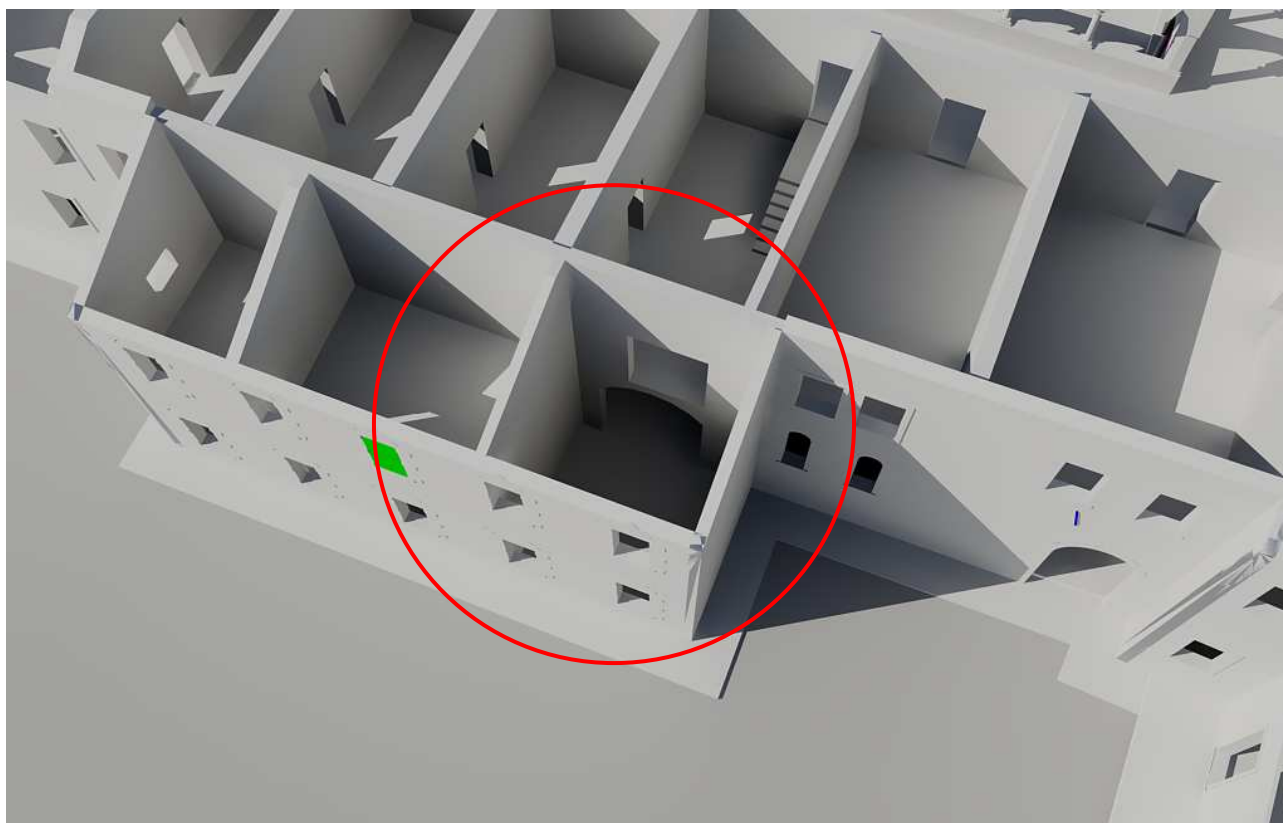


Fig.[6.28] Nel particolare il volume cavo.

Il macroelemento individuato è il seguente.

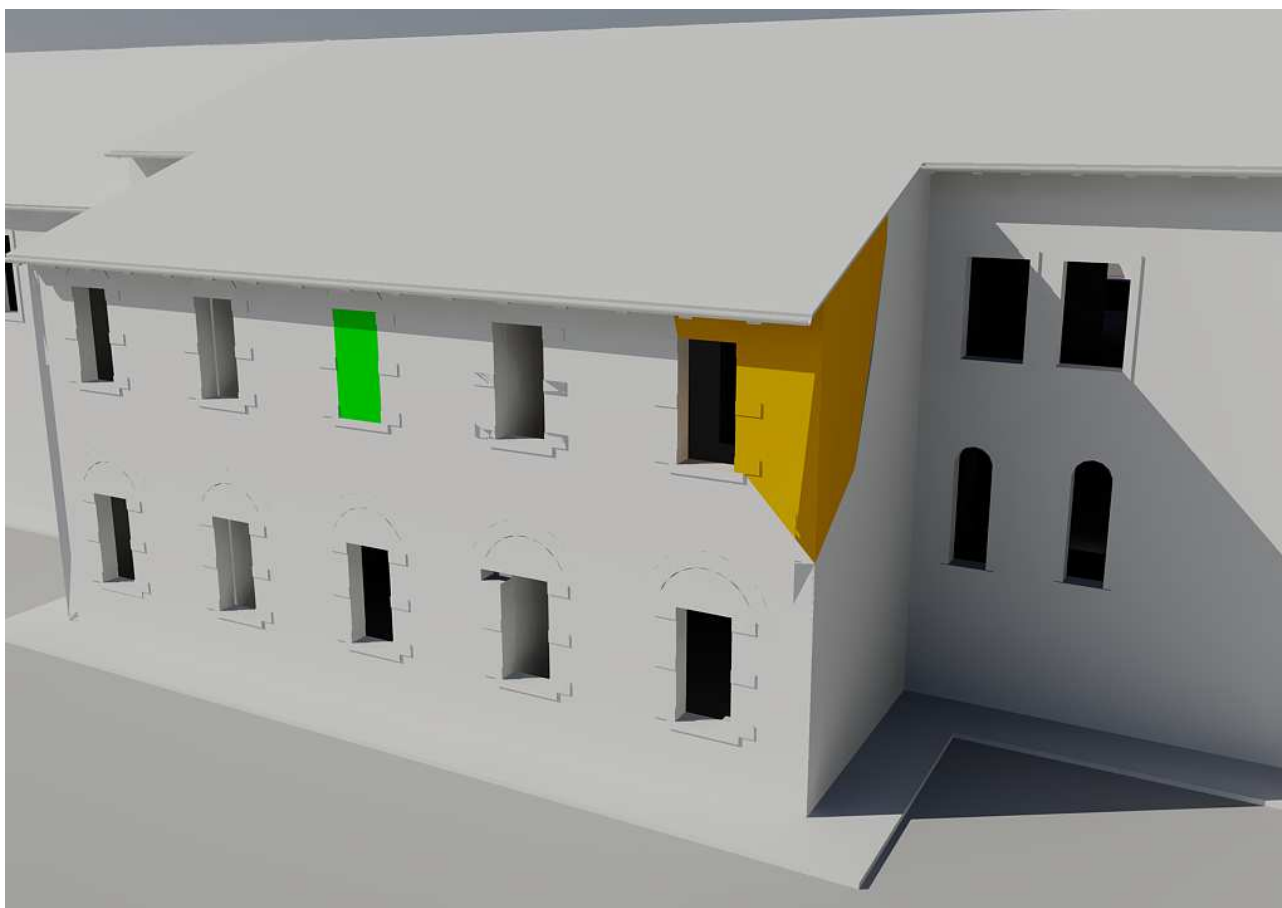


Fig.[6.29] Macroelemento n.4.

CINEMATISMO n.1: RIBALTAMENTO FUORI PIANO DEL CANTONALE

Si è quindi ipotizzato un meccanismo di collasso che riguarda il cantonale fra le due pareti trasversali. La cerniera dove avviene la rotazione è stata presa in un punto plausibile ma essa potrebbe considerarsi anche ad una quota inferiore visto che non è presente il solaio che potendo formare un'adeguata connessione eviterebbe il ribaltamento.

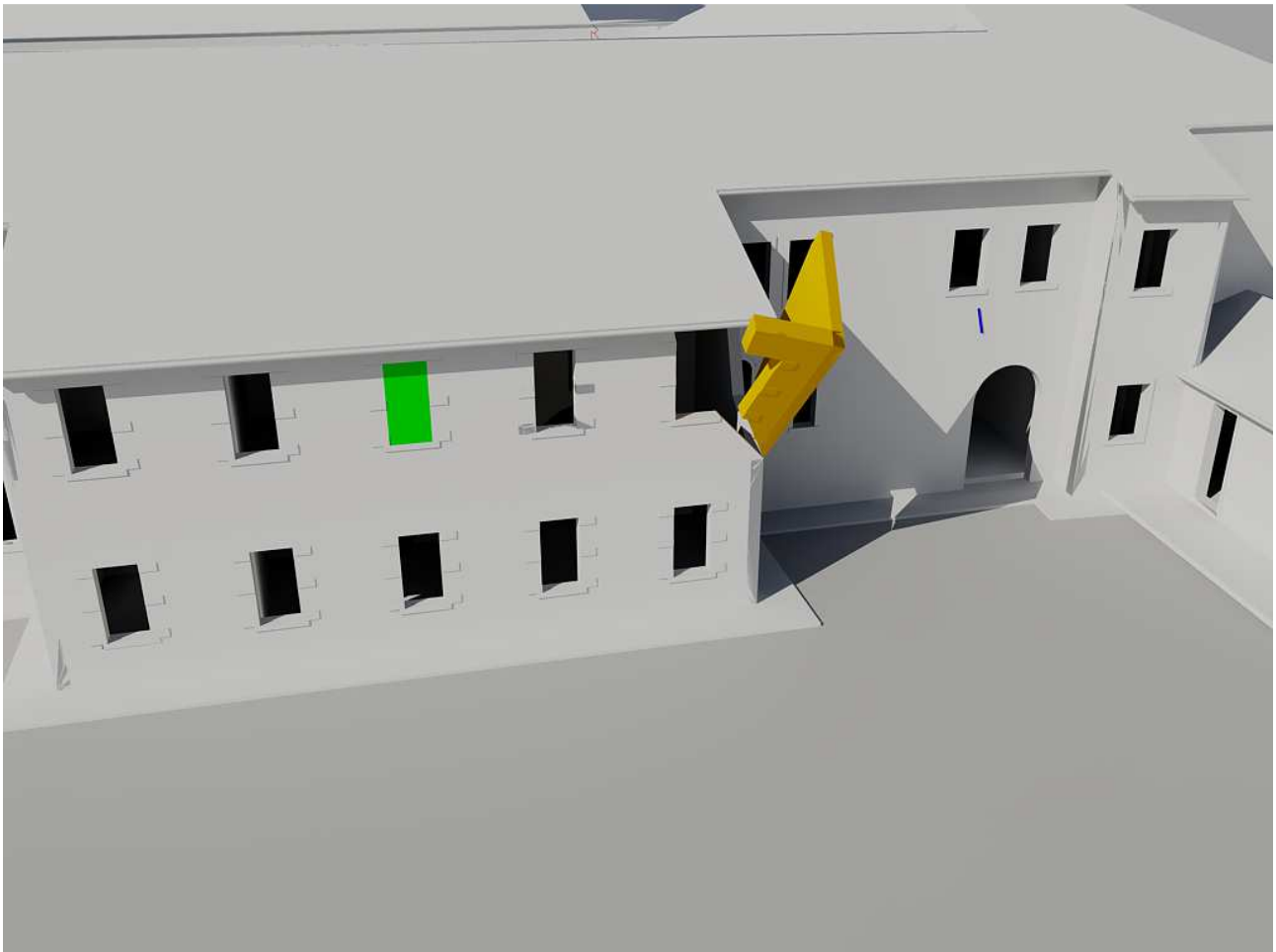


Fig.[6.30] Cinematismo n.1.

6.2.5 - MACROELEMENTO n.5: PARETE SETTENTRIONALE DEL PROSPETTO OVEST

Il quinto macroelemento individuato si colloca nella parte settentrionale del prospetto ovest verso l'arena romana, nella figura seguente illustriamo la parte interessata.

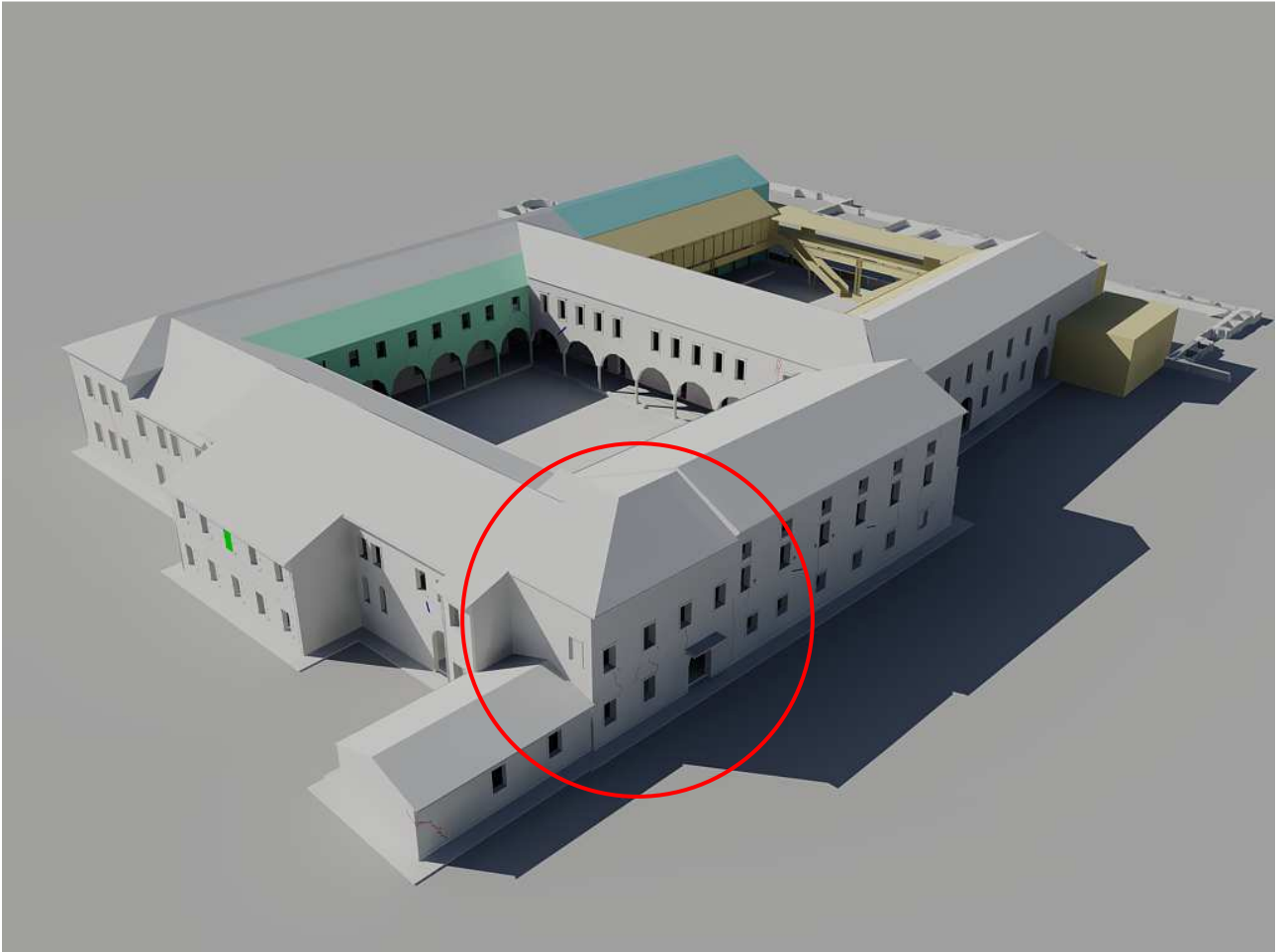


Fig.[6.31] Nel particolare l'individuazione della zona interessata.

In questo caso si è riscontrata una lesione illustrata nella **Fig.[6.33]** che fa presumere che se si dovesse verificare un sisma avverrebbe il distaccamento di tale porzione dal resto. La parete in esame inoltre risulta composta da una serie di lesioni che potrebbero indebolire il comportamento strutturale. Il solaio collocato fra il piano terra e il piano primo costituito da una struttura in travi lignee viene considerato incapace di opporsi al cinematismo ipotizzato illustrato nelle pagine seguenti.

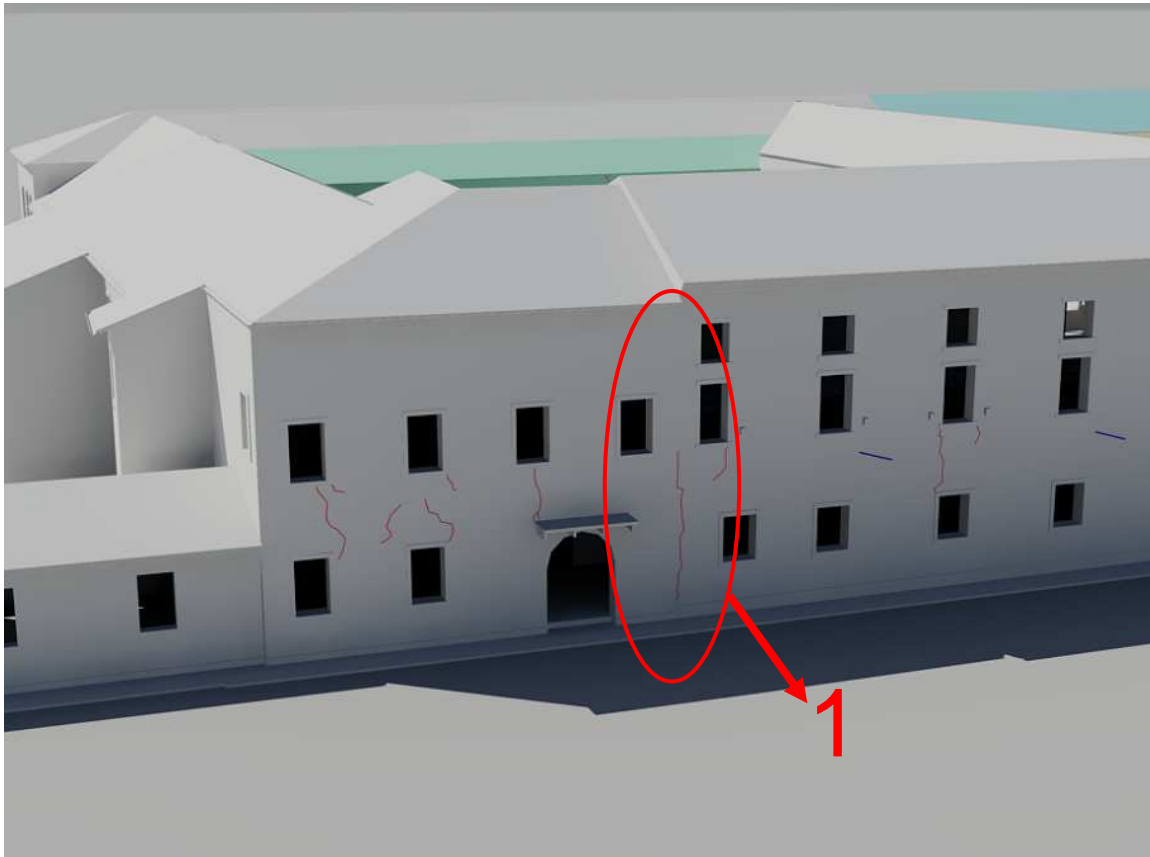


Fig.[6.32] Nel particolare l'individuazione della fessura n.1.



Fig.[6.33] Fessura n.1.

Il macroelemento individuato è illustrato nella figura seguente.



Fig.[6.34] Macroelemento n.5.

CINEMATISMO n.1: RIBALTAMENTO FUORI PIANO DELLA PARETE

Il cinematismo individuato riguarda il ribaltamento della parete che interessa l'intera altezza del paramento murario. Si ipotizza dunque che la facciata mantenga la propria unicità, e si comporti da unico blocco rigido, staccandosi dalle pareti affiancate, sia quella parallela a destra, che quella perpendicolare a sinistra. La cerniera anche in questo caso si formerà alla base della parete.



Fig.[6.35] Cinematismo n.1.

6.2.6 - MACROELEMENTO n.6: PORZIONE DI PARETE CENTRALE DEL PROSPETTO OVEST

Il sesto meccanismo ipotizzato si trova nella parte centrale del prospetto ovest che si affaccia sull'arena romana , come si può vedere nella figura seguente.

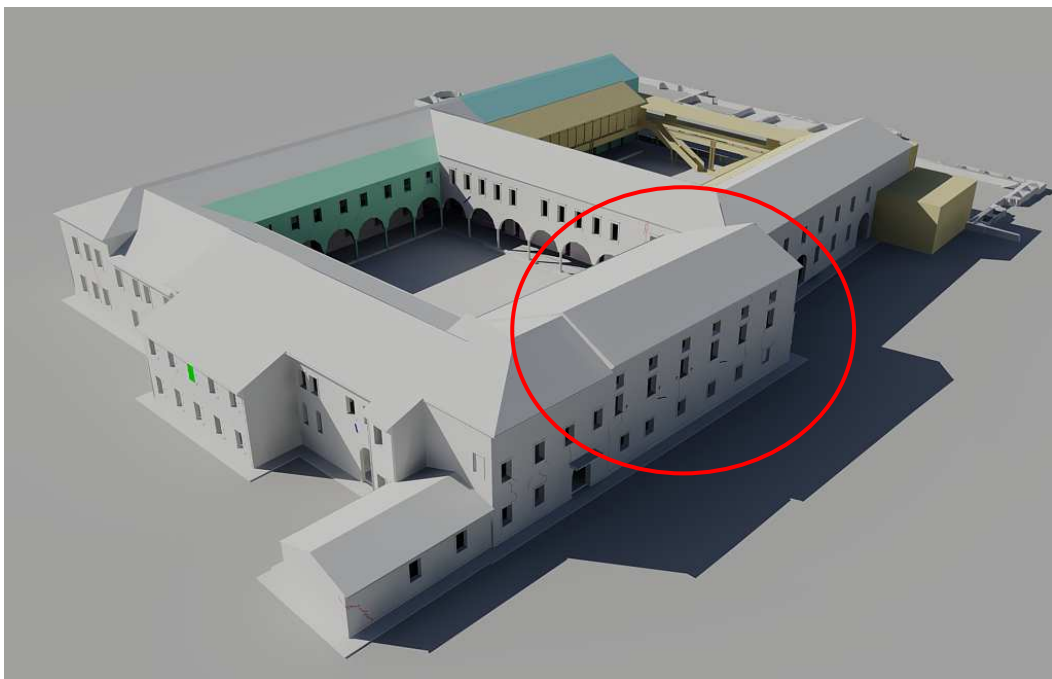


Fig.[6.36] Nel particolare l'individuazione della zona interessata.

Gli elementi di vulnerabilità sismica riscontrati in questa porzione dell'edificio riguardano innanzitutto la fessura illustrata nel caso precedente che potrebbe isolare tale parte della facciata dal resto. Il quadro fessurativo è abbastanza diffuso anche se non particolarmente rilevante, la cosa che desta maggiore sospetto sono le aperture che al piano primo sono molto vicine (**Fig.[6.37]**), possono quindi identificare un zona ad alto grado di vulnerabilità. Inoltre la presenza dei tiranti a livello del solaio al piano primo potrebbero concorrere a far parte del meccanismo di collasso ipotizzato illustrato nelle pagine successive. Nella figura successiva possiamo vederne due ma supponiamo che ce ne sia un terzo ancora più a destra nella posizione indicata, indicato dal modello delle vulnerabilità. Il macroelemento individuato perciò comprende solo la porzione di muratura al di sopra dei tiranti che vengono considerati idonei ad opporsi al ribaltamento del piano terra, anche in questo caso ci si riserva ad una indagine più accurata sull'effettiva idoneità di tali elementi.

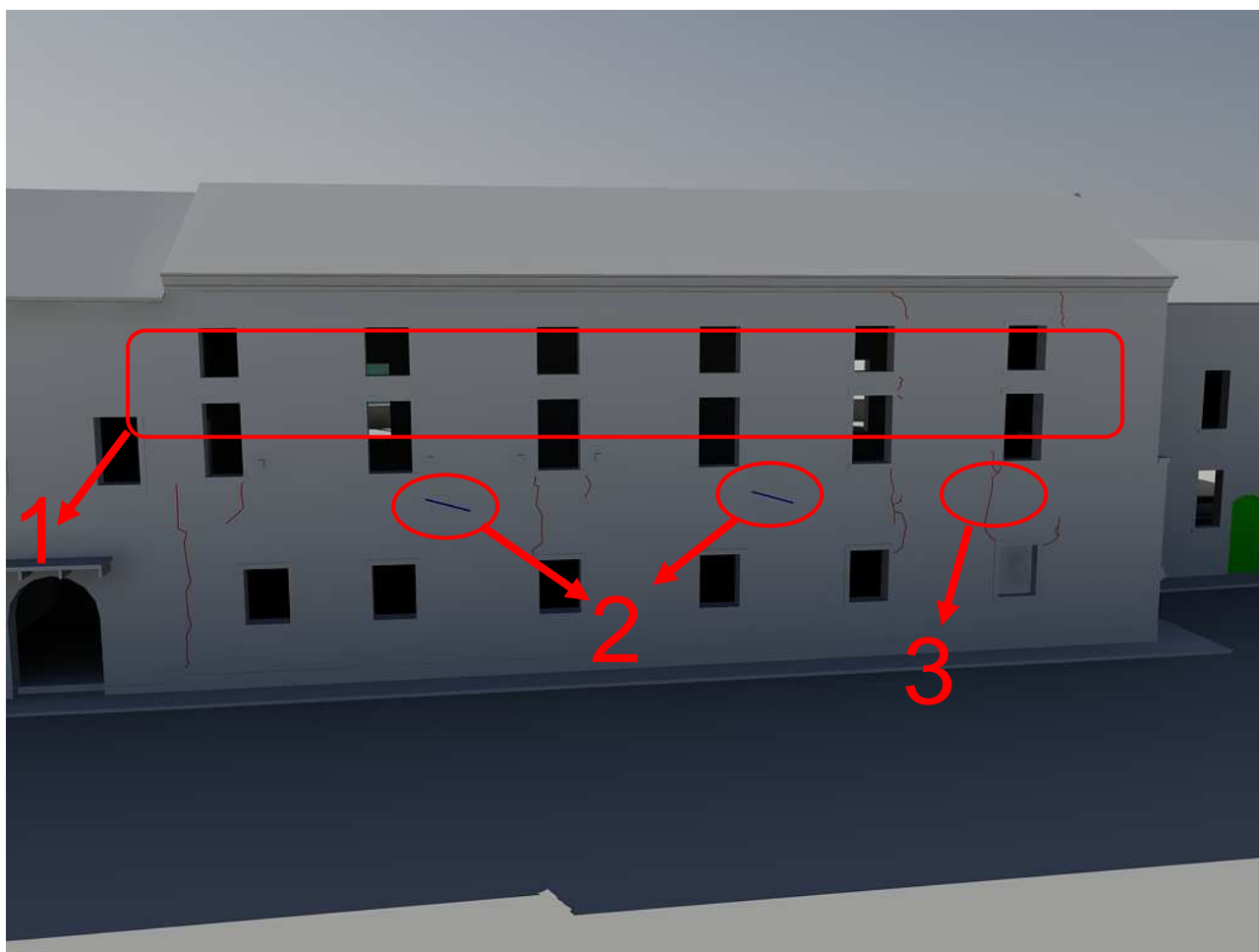


Fig.[6.37] Particolari degli elementi rilevanti della facciata: 1- Zona critica; 2 – presenza di tiranti; 3 –presunta presenza sotto il paramento murario di un terzo tirante.

Il macroelemento preso in esame viene illustrato in questa figura.



Fig.[6.38] Macroelemento n.6.

CINEMATISMO n.1: FLESSIONE VERTICALE DELLA PORZIONE DI PARETE

Il cinematismo ipotizzato in questo caso riguarda la flessione verticale della porzione di parete individuata dal macroelemento sopra illustrato. Questa ipotesi è avvalorata dal fatto che in sommità della parete a livello della copertura troviamo un cordolo in mattoni che potrebbe evitare il ribaltamento della parete. Come detto in precedenza anche la base di questo macroelemento è vincolata dai tiranti che si trovano in corrispondenza della posizione della cerniera che potrebbe formarsi alla base della parete. Perciò si è ipotizzato che a livello della sezione ridotta di parete che si trova fra le due fasce di aperture al primo piano potrebbe formarsi la cerniera centrale del meccanismo di flessione. Nella **Fig.[1.1]** nella pagina successiva si può vedere illustrato tale meccanismo di collasso.



Fig.[6.39] Cinematismo n.1.

6.2.7 - MACROELEMENTO n.7: PORZIONE DI PARETE MERIDIONALE DEL PROSPETTO OVEST

Il settimo macroelemento individuato si trova nella facciata ovest che da su piazza Eremitani.



Fig.[6.40] Nel particolare l'individuazione della zona interessata.

Analizzando la parete nel modello delle vulnerabilità non si notano fessure e la parete sembra in buono stato, si nota però che è stata individuata una tamponatura (di colore verde) fra le due aperture di sinistra al piano terra, come si può apprezzare in **Fig.[6.41]**. Tale elemento è alla base dell'ipotesi sulla formazione del cinematismo in questa porzione della parete.

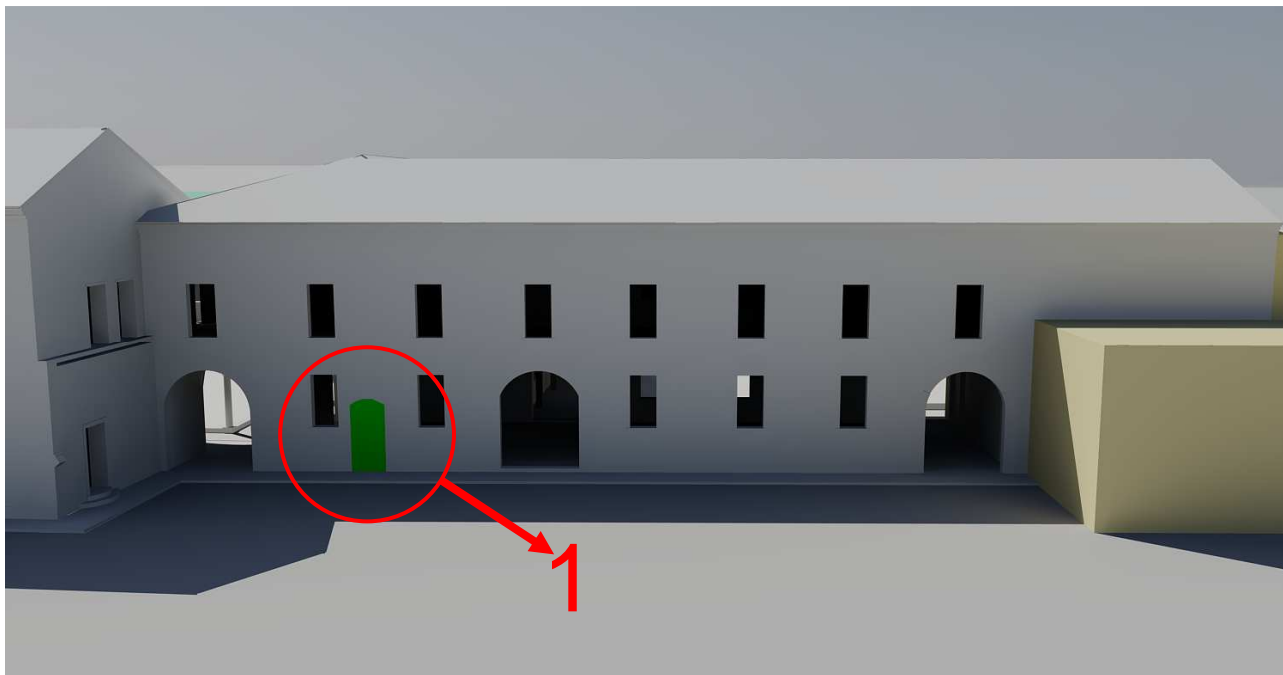


Fig.[6.41] Nel particolare l'individuazione del tamponamento n.1.

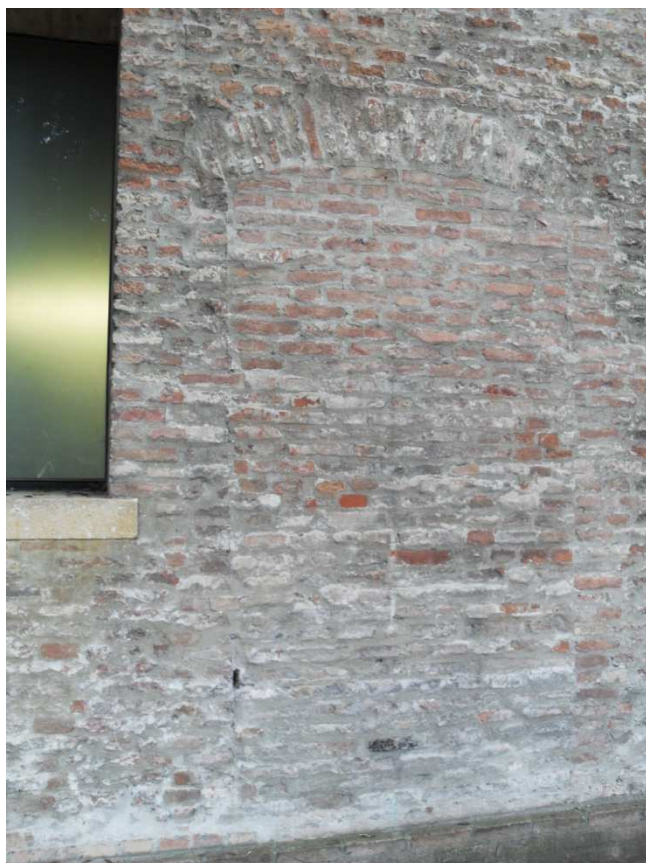


Fig.[6.42] Tamponamento n.1.

Il macroelemento individuato è illustrato nella figura seguente.



Fig.[6.43] Macroelemento n.7.

CINEMATISMO n.1: FLESSIONE VERTICALE DELLA PORZIONE DI PARETE

Il cinematismo ipotizzato in questo caso riguarda la flessione verticale della porzione di parete individuata dal macroelemento n.7 che comprende una parte della muratura al piano primo. La cerniera centrale si suppone si sviluppi a livello della sommità dell'apertura tamponata, essendo che la muratura in questo caso risulta più fragile in questo punto. Il meccanismo di flessione ipotizzato viene illustrato nella **Fig.[6.44]**.

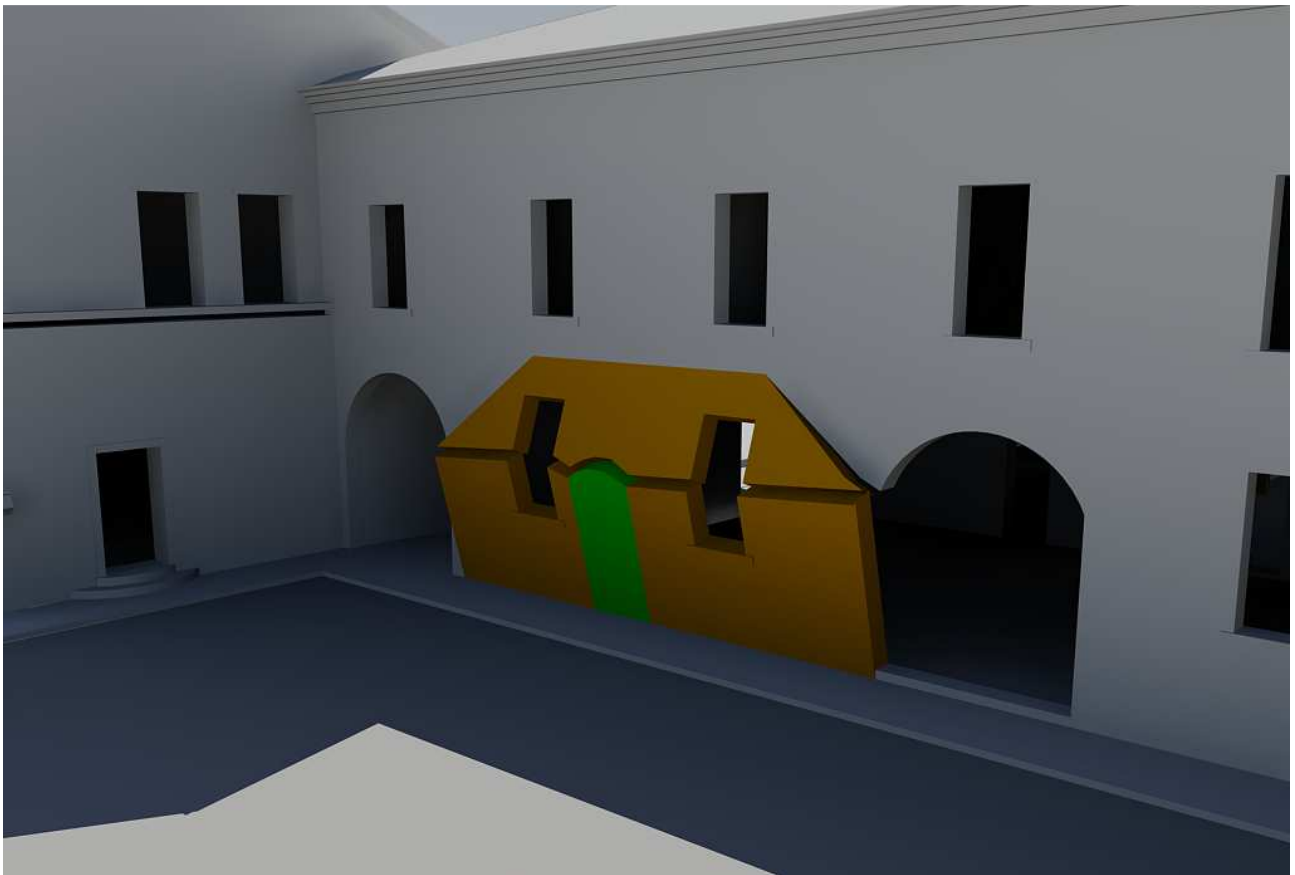


Fig.[6.44] Cinematismo n.1.

6.2.8 - MACROELEMENTO n.8: PORZIONE DI PARETE DEL PROSPETTO NORD DEL CHIOSTRO MAGGIORE

L'ottavo macroelemento individuato si trova nell'ala nord del Chiostro Maggiore.



Fig.[6.45] Nel particolare l'individuazione della zona interessata.

Gli elementi di vulnerabilità sismica riscontrati nel modello per questa porzione del fabbricato riguardano le fessure in **Fig.[6.46]** che si trovano al di sotto dei pilastri del loggiato superiore. Tali lesioni, come esposto nel paragrafo 5.3 potrebbero indicare delle criticità in questa parte dell'edificio, infatti tali lesioni potrebbero parzializzare una porzione della muratura creando quindi un macroelemento. Inoltre questa parte dell'edificio risulta critica già di per sé, data la presenza di una elevata quantità di aperture, delle volte a crociera sottostanti e delle colonne elemento sismicamente molto vulnerabile. Non ultimo il fatto che il loggiato superiore come ampiamente spiegato nel capitolo precedente è stato riaperto con i restauri degli anni '70 che hanno intaccato l'integrità della struttura muraria. Questo tipo di rimaneggiamento, infatti, potrebbe aver compromesso la funzionalità strutturale della muratura.

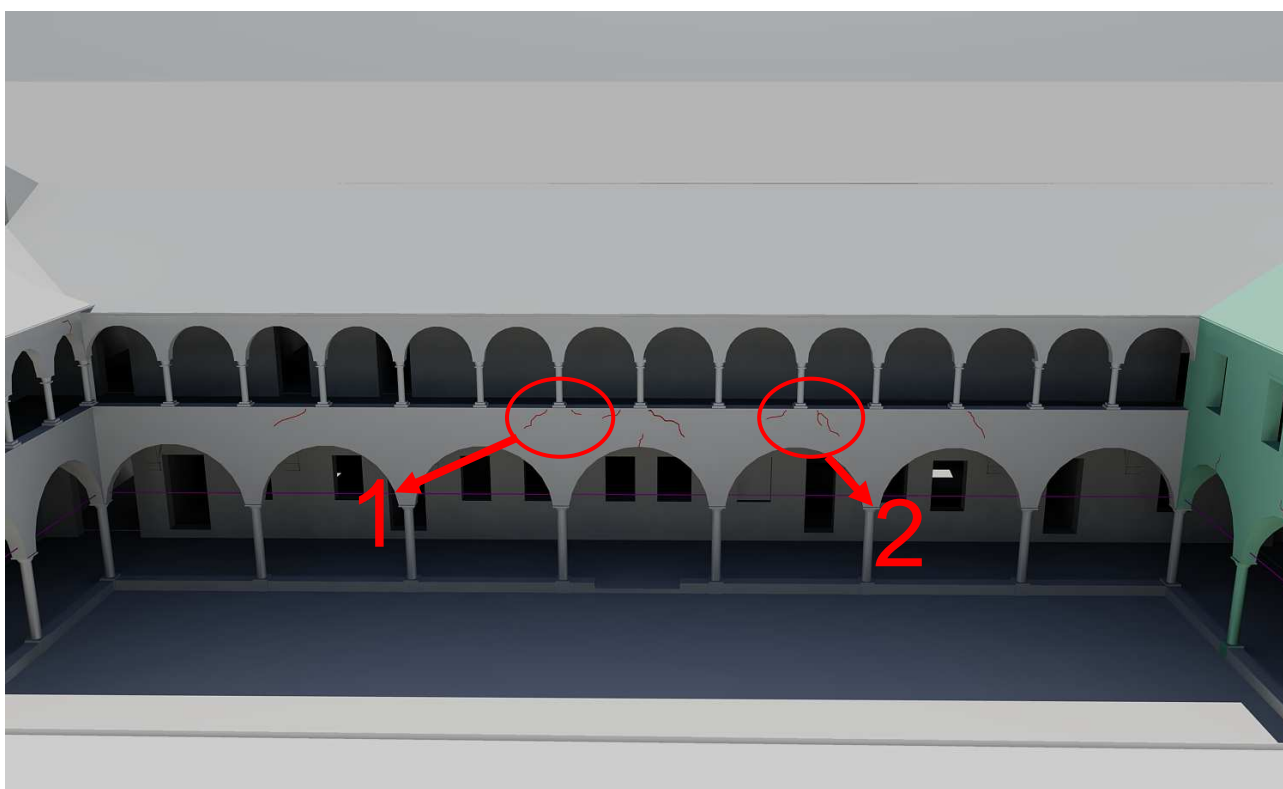


Fig.[6.46] Nel particolare l'individuazione della fessura n.1 e della fessura n.2.

Si è preso dunque una porzione di muratura che si considera un macroelemento ma tale tipo di porzione potrebbe anche svilupparsi in altra forma e modalità. Nella **Fig.[6.47]** riportiamo il macroelemento individuato.



Fig.[6.47] Macroelemento n.8.

CINEMATISMO n.1: RIBALTAMENTO FUORI PIANO DEL LOGGIATO

Il primo cinematismo ipotizzato riguarda il ribaltamento fuori piano del loggiato. In questo caso dunque la porzione sottostante della parete viene considerata stabile mentre la parte soprastante vulnerabile.

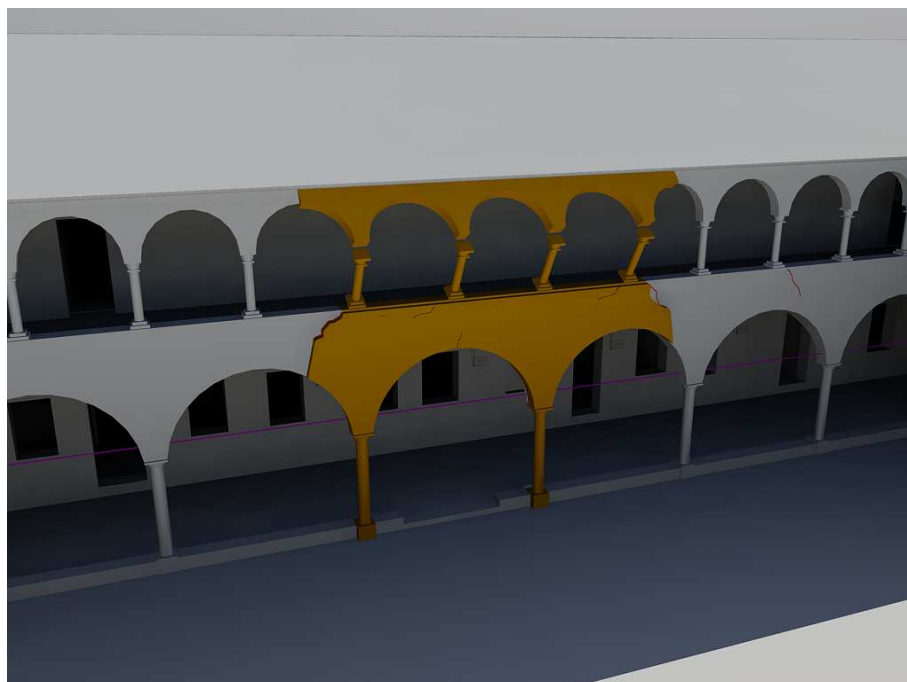


Fig.[6.48] Cinematismo n.1.

CINEMATISMO n.2: RIBALTAMENTO FUORI PIANO DEL PORTICO

Il secondo tipo di meccanismo ipotizzato per il macroelemento in questione è la ribaltamento fuori piano del portico sottostante, avviene in maniera del tutto analoga al cinematismo precedente.

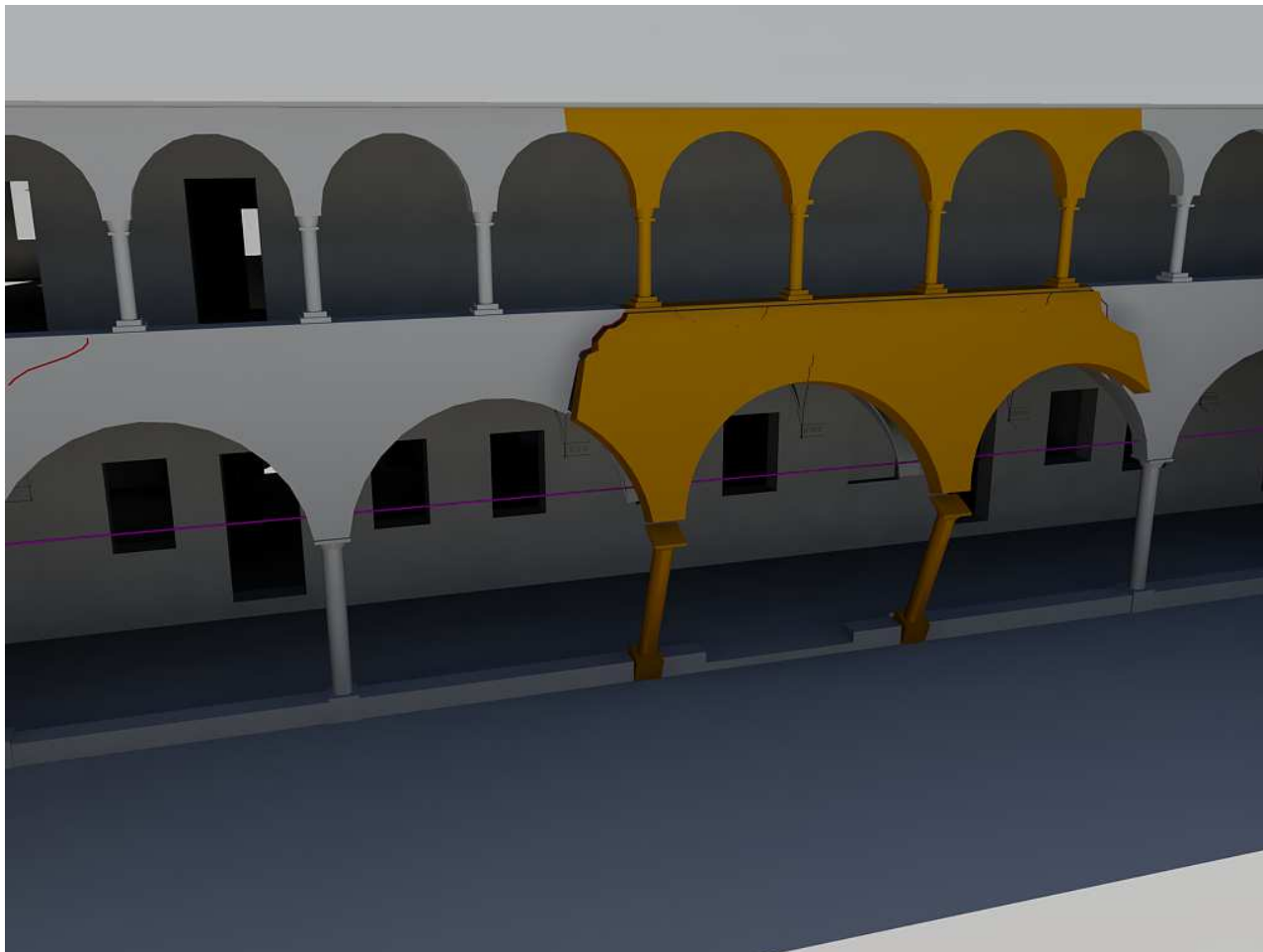


Fig.[6.49] Cinematismo n.2.

6.2.9 - MACROELEMENTO n.9: PORZIONE DI PARETE DEL PROSPETTO EST DEL CHIOSTRO MAGGIORE

Il nono macroelemento individuato si trova nell'ala est del Chiostro Maggiore.

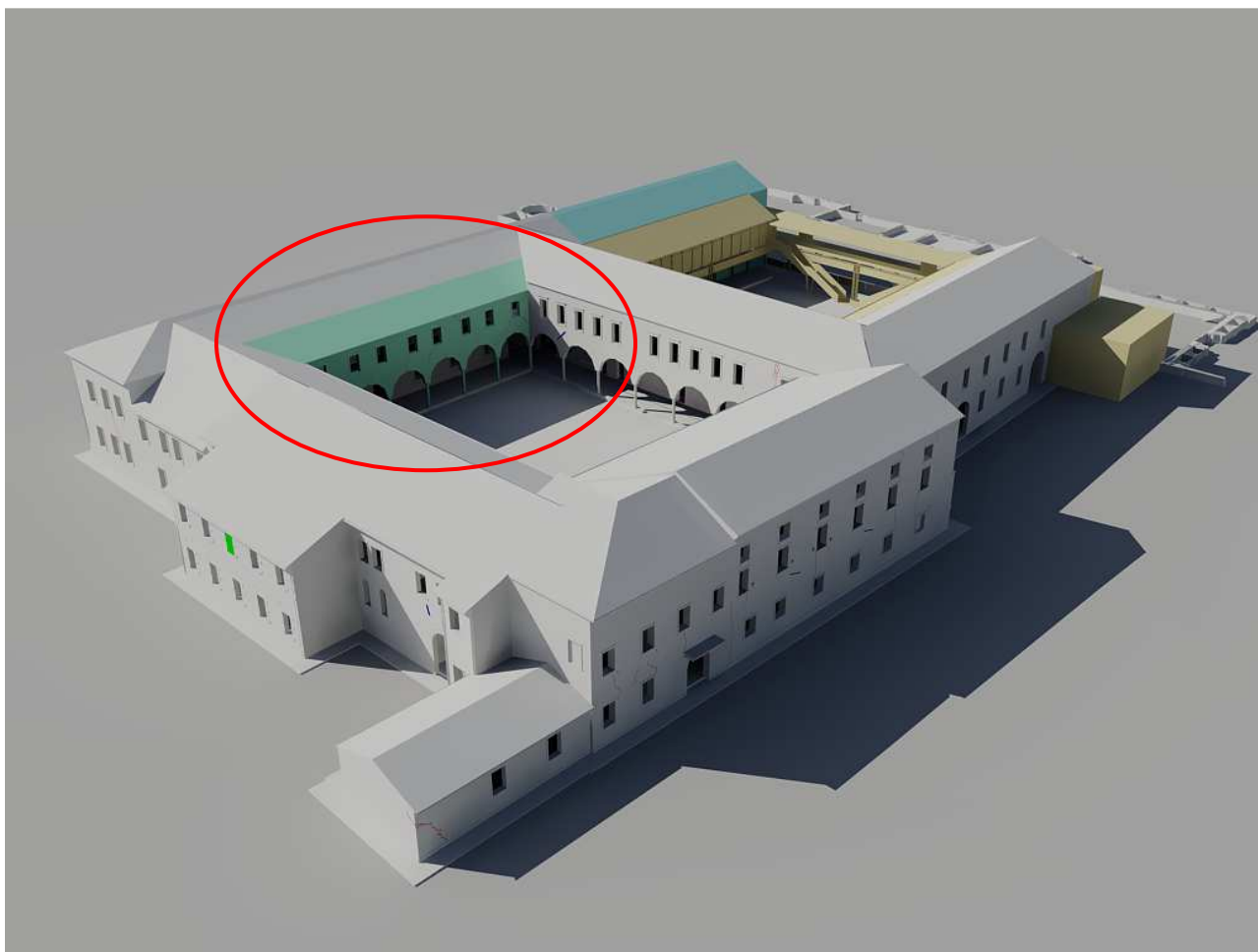


Fig.[6.50] Nel particolare l'individuazione della zona interessata.

Ta tipologia di vulnerabilità individuata è simile al caso precedente, in questo caso però al piano primo non si trova il loggiato ma una parete finestrata. Gli elementi di vulnerabilità sismica riscontrati nel modello per questa porzione del fabbricato riguardano le fessure, riportate in Fig.[1.1], situate in sommità degli archi esterni delle volte a crociera.

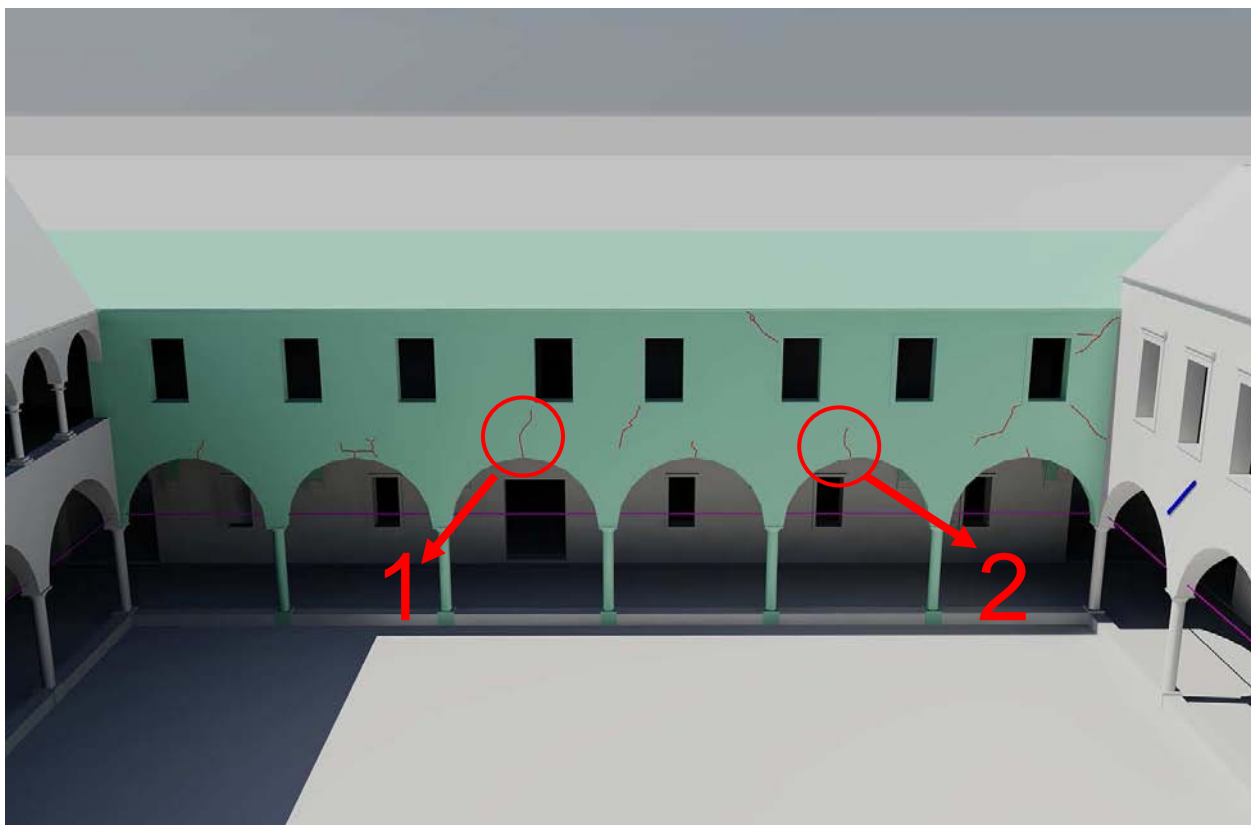


Fig.[6.51] Nel particolare l'individuazione della fessura n.1 e della fessura n.2.

Il macroelemento individuato è il seguente.

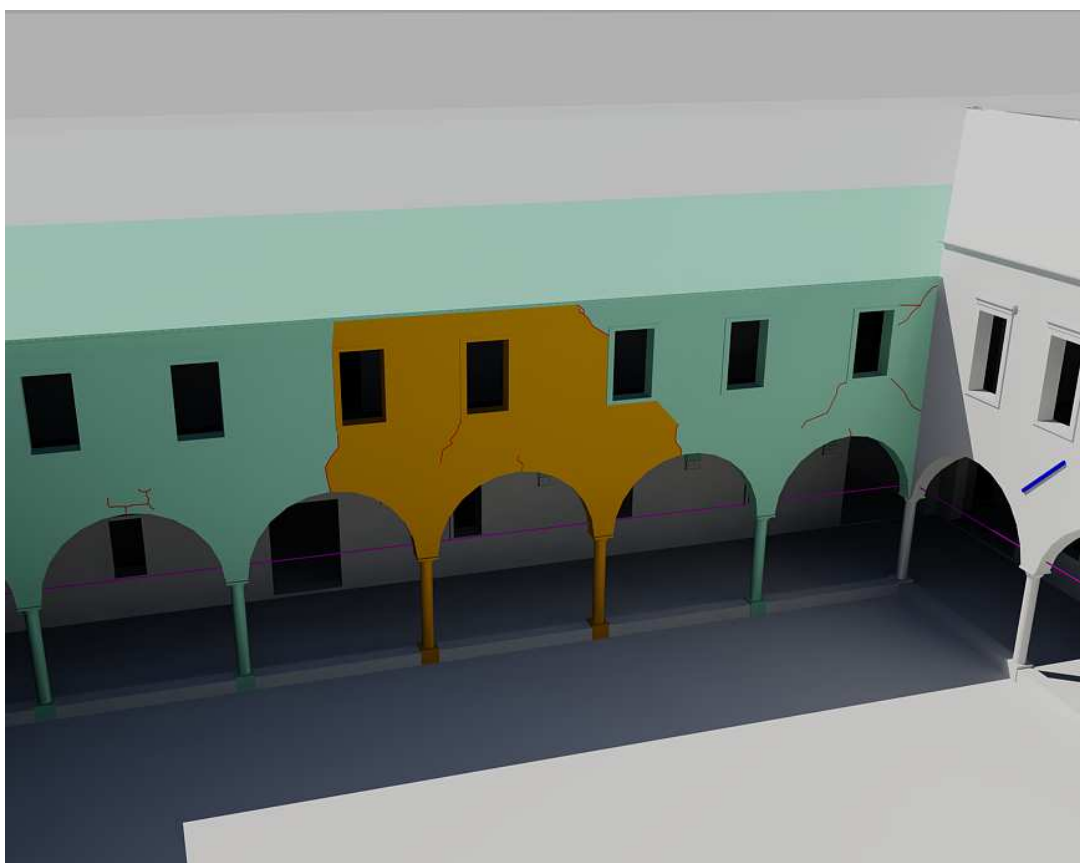


Fig.[6.52] Macroelemento n.9.

CINEMATISMO n.1: RIBALTAMENTO FUORI PIANO DELLA PORZIONE DI PARETE (MODO 1)

Il primo meccanismo ipotizzato viene riguarda il ribaltamento fuori piano alla base delle colonne del portico. Si ricorda che questa porzione del fabbricato è stata ricostruita con il restauro degli anni '70, perciò si è considerata una buona qualità muraria e monoliticità della parete, non è stata considerata altrettanto efficace la connessione con il solaio vista la presenza di fessure.



Fig.[6.53] Cinemeatismo n.2.

CINEMATISMO n.2: RIBALTAMENTO FUORI PIANO DELLA PORZIONE DI PARETE (MODO 2)

In questo secondo caso viene ipotizzata una rotazione reciproca a livello dell'interfaccia fra parete e colonne del portico. Si formano quindi due porzioni distinte, quella sopra ruoterà attorno la cerniera formata a livello della copertura, quella sotto ruoterà attorno alla cerniera formata alla base delle colonne.



Fig.[6.54] Cinematismo n.2.

6.3 – ESEMPI DI VERIFICA DEI MECCANISMI DI COLLASSO

In questo paragrafo si riportano due esempi di calcolo, dei casi più gravosi riscontrati, mediante il metodo dell'analisi limite dell'equilibrio tenendo conto delle caratteristiche murarie della muratura. Questi procedimenti vengono riportati solo a titolo esemplificativo in quanto il punto principale della tesi è stato la creazione del modello delle vulnerabilità con cui si è potuto individuare delle nozioni che altrimenti non si sarebbero potute identificare attraverso uno studio classico. Vengono riportati alcuni esempi con le procedure descritte nel paragrafo 6.1.2 per compiere una verifica del genere. Si sono scelti due dei meccanismi individuati che essendo di primo modo sono i più gravosi. Il primo riguarda il ribaltamento fuori piano del macroelemento n.1 individuato nel paragrafo 6.2.1, il secondo esempio riguarda la flessione verticale del macroelemento n.6 individuato nel paragrafo 6.2.6.

6.3.1 – ESEMPIO 1:MACROELEMENTO n.1 - CINEMATISMO n.1: RIBALTAMENTO FUORI PIANO DELLA PARETE NORD DELLA SALA CENTRALE

Nella figura seguente si illustra il meccanismo di ribaltamento ipotizzato.



Fig.[6.55] Cineamtismo n.1.

Il caso illustrato nella **Fig.[6.55]** riguarda il meccanismo di ribaltamento della parete nord al primo piano della sala centrale, individuato dal macroelemento n.1.

Scema del meccanismo di ribaltamento:

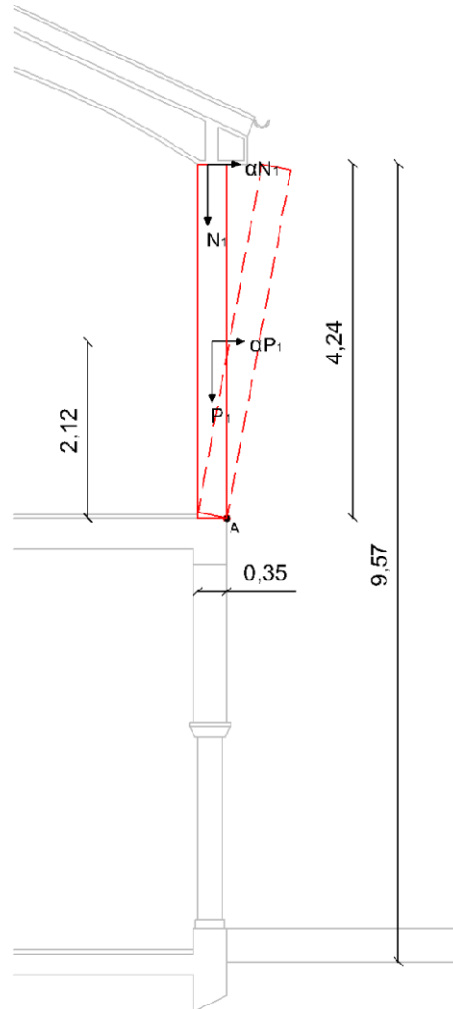


Fig.[6.56] Scema del meccanismo.

Nella tabella sottostante sono riportati i dati significativi del macroelemento (dimensioni della parete, peso proprio, carichi dovuti ai solai, braccia delle spinte) con i quali viene calcolato il coefficiente di attivazione del meccanismo di collasso.

La formula utilizzata per il calcolo del coefficiente di attivazione del meccanismo è la seguente:

$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^n W_i \cdot \frac{S_i}{2} + \sum_{i=1}^n F_{Vi} \cdot d_{Vi} + \sum_{i=1}^n P_{Si} \cdot d_i + \sum_{i=1}^n T_i \cdot h_i - \sum_{i=1}^n F_{Hi} \cdot h_{Vi} - P_H \cdot h_i}{\sum_{i=1}^n W_i \cdot y_{Gi} + \sum_{i=1}^n F_{Vi} \cdot h_{Vi} + \sum_{i=1}^n P_{Si} \cdot h_i}$$

In questo caso ovviamente sono stati trascurate le spinte, sia verticali che orizzontali, di eventuali archi o volte, in quanto non presenti.

MACROELEMENTO 1						
CINEMATISMO 1			RIBALTAMENTO PIANO PRIMO			
Lunghezza Parete [m]						31,17
PIANO	Pi [kN]	bi [m]	hi [m]	Ni [kN]	di [m]	hi [m]
Piano primo	709,11	0,350	4,24	776,81	0,23	4,24
Arretramento della cerniera			f _m [Mpa]		0,888888889	
			t [m]		0,035753723	
Momento stabilizzante Ms		252,223	Coefficiente di Attivazione α		0,053	
Momento ribaltante Mr		4797,001				

Tab.[6.4] Caratteristiche del meccanismo.

Secondo gli schemi esposti precedentemente, una volta trovato il coefficiente di attivazione del meccanismo α , si procede alla verifiche lineare e non lineare del macroelemento. Generalmente, se almeno una delle due verifiche risulta soddisfatta, il macroelemento risulta soddisfatto e non c'è bisogno di interventi specifici su esso. Nel caso in cui invece entrambe le verifiche non risultino soddisfatte, si deve procedere con la progettazione di interventi mirati a contrastare il meccanismo in atto.

Considerando un atto di rotazione virtuale della parete attorno alla cerniera A e spostamento del baricentro della copertura come punto di spostamento di controllo unitario, si possono calcolare le espressioni degli spostamenti orizzontali $\delta_{x,i}$ (Tab. [7.5]).

Una volta determinati tali spostamenti, si può procedere con il calcolo della massa partecipante al cinematismo:

$$M^* = \frac{(\sum_{i=1}^n P_i \cdot \delta_{x,i})^2}{g \sum_{i=1}^n P_i \cdot \delta_{x,i}^2} = 137,76 \text{ [kN s}^2\text{/m]}$$

la frazione di massa partecipante

$$e^* = \frac{gM^*}{\sum_{i=1}^n P_i} = 0,903$$

e l'accelerazione sismica spettrale a^* che tiene conto del Livello di Conoscenza raggiunto (con LC=1, si è ottenuto un valore del Fattore di Confidenza $F_c=1,35$) risulta:

$$a^* = \frac{\alpha_0 \sum_{i=1}^n P_i}{M^* F_c} = \frac{\alpha_0 g}{e^* F_c} = 0,423 \text{ [m/s}^2\text{]}$$

Nella tabella seguente vengono riportati i risultati ottenuti.

CALCOLO ACCELERAZIONE SPETTRALE a_0					
Si assume spostamento in sommità unitario $\delta N_2 = 1$	Angolo di rotazione θ	PIANO		δP [1/m]	δN [1/m]
	0,236	Piano primo		0,5	
Massa Partecipante M^*	136,76	Accelerazione spettrale a_0		0,423	
Frazione Massa partecipante e^*	0,903				

Tab.[6.5] Determinazione degli spostamenti orizzontali virtuali e dell'accelerazione spettrale.

Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV) – Analisi lineare

Affinché il cinematismo risulti verificato è necessario controllare che l'accelerazione spettrale di attivazione del meccanismo soddisfi entrambe le disequazioni:

$$a_0^* \geq \frac{a_g(P_{VR})S}{q}$$

$$a_0^* \geq \frac{S_e(T_1)\Psi(Z)\gamma}{q}$$

con $T_1 = C_1 H^{\frac{3}{4}}$; $\Psi(Z) = \frac{z}{H}$; $\gamma = \frac{3N}{(2N+1)}$

La **Tabella [6.6]** riassume tutti i valori trovati nel calcolo della verifica lineare allo SLV.

Verifica cinematica lineare					
Parametri da Spettri N.T.C. - Località Padova				Parametri edificio	
a_g^*g	0,099	$a_g^*9.81$	0,97119	Altezza cerniera z	5,34
F_0	2,597	S_s	1,5	Altezza totale edificio	9,57
T_c^*	0,342	S_t	1	Primo periodo di vibrazione	0,2720533
T_b	0,171	C_c	1,496	I modo di vibrazione	0,5579937
T_c	0,512	S	1,5	Numero di piani	2
T_d	1,995	η	1	Coef di partecipazione modale	1,2
Spettro Elastico calcolato nel periodo $T_1 - S_e(T_1)$					3,783270645
Accelerazione spettrale $a_0^*>$	max			0,7283925	NON VERIFICATO
				1,26662478	

Tab.[6.6] SLV – Verifica lineare.

La verifica lineare in questo caso risulta: NON VERIFICATA.

Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV) – Analisi non lineare

Si deve determinare l'angolo θ_{k0} , a cui corrisponde lo spostamento d_{k0} del punto di controllo considerato, che caratterizza la configurazione per cui si ha l'annullamento del moltiplicatore α e quindi del Momento Stabilizzante M_s .

θ_{k0} si ottiene ponendo uguale a zero l'equazione relativa al momento stabilizzante:

$$M_s = \sum_i P_i R_i \cos(\beta_i + \theta_{k0}) = 0$$

Da cui trovo, per il macroelemento 1 il valore $\theta = 3,01^\circ$

$$\text{Con: } \beta_{P_i} = \arctg\left(\frac{\frac{h_{P_i}}{2}}{\frac{b_1}{2}}\right) ; R_{P_i} = \sqrt{\left(\frac{h_{P_i}}{2}\right)^2 + \left(\frac{b_1}{2}\right)^2}$$

Con questi valori è possibile determinare il valore cercato dello spostamento d_{k0} che, in questo caso, risulta:

$$d_{k0} = h_{\text{bar}} \sin \theta_{k0} = 0,17 \text{ [m]}$$

$$\text{con } h_{\text{bar}} = \frac{\sum_i P_i h_i + \sum_i N_i d_i}{\sum_i P_i + N_i} = 3,23 \text{ [m]}$$

Grazie ai valori ottenuti con le formule finora illustrate si arriva a calcolare il valore dello spostamento spettrale d_0^* (eq. C8A.4.5, Circ. n.617) dell'oscillatore equivalente ad 1g.d.l.:

$$d_0^* = d_{k0} \frac{\sum_{i=1}^n P_i \delta_{x,i}^2}{\delta_{x,k} \sum_{i=1}^n P_i \delta_{x,i}} = 0,19 \text{ [m]}$$

e lo spostamento ultimo

$$d_u^* = 0,4 d_0^* = 0,075 \text{ [m]}$$

Lo spostamento spettrale valutato in corrispondenza del periodo secante T_s è:

$$d_s^* = 0,4 d_u^* = 0,030 \text{ [m]}$$

L'accelerazione corrispondente è:

$$a_s^* = a_0^* \left(\frac{1-d^*}{d_0^*} \right) = 0,355 \text{ [m/s}^2\text{]}$$

$$\text{con } T_s = 2\pi \sqrt{\frac{d_s^*}{a_s^*}} = 1,83 \text{ [s]}$$

La verifica di sicurezza sarà soddisfatta se lo spostamento richiesto alla struttura in presenza di evento sismico risulta minore della capacità di spostamento ultimo d_u^* , e quindi se:

$$d_u^* \geq \max \left(S_{D_e}(T_s); S_{D_e}(T_1) \psi(Z) \gamma \frac{\left(\frac{T_s}{T_1}\right)^{\alpha}}{\sqrt{\left(1-\frac{T_s}{T_1}\right)^2 + 0,02 \frac{T_s}{T_1}}}\right)$$

La **Tabella [6.7]** riporta i valori utilizzati per lo svolgimento della verifica con analisi non lineare.

La verifica non lineare risulta: **NON VERIFICATA**.

Verifica cinematica non lineare				
Spostamento del punto di controllo d_{k0}	Altezza baricentro H _b	3,23	d_{k0}	0,170
	θ gradi	3,010		
Spostamento spettrale d₀*	0,188	Spostamento spettrale d_u*		0,075
Periodo Secante T _s	d _s *	0,030	T_s	1,826
	a _s *	0,355		
Spostamento spettrale d_u>	max	0,091	NON VERIFICATO	
		0,032		

Tab.[6.7] SLV – verifica non lineare.

Calcolo dei tiranti

Nel caso in cui entrambe le verifiche non risultino soddisfatte, è necessario procedere con il calcolo dei tiranti per contrastare la spinta orizzontale. L'applicazione dei tiranti è infatti un efficace rimedio per il contrasto di spinte orizzontali e fornisce un vincolo contro il ribaltamento fuori piano dei pannelli murari. Per evitare quindi il meccanismo fuori piano della parete si ipotizza l'inserimento dei tiranti a livello degli impalcati. Il procedimento effettuato per quantificare lo sforzo che deve essere contrastato e quindi il numero e le caratteristiche dei tiranti viene illustrato qui di seguito.

Il procedimento che si segue per il calcolo dei tiranti è simile a quello eseguito in precedenza. Innanzitutto si utilizza il valore di a_0^* maggiore tra quelli trovati in precedenza, per cui avremo

$$a_0^* = 1,055 \text{ [m/s}^2\text{]}$$

Questo ci permetterà di calcolare, per mezzo della formula inversa, il nuovo valore di α_0 , col quale si calcola l'equilibrio del macroelemento attraverso il rapporto tra momento ribaltante ed il momento stabilizzante tenendo però in conto anche la forza esercitata dal tirante T_i e lasciandola come incognita dell'equazione. A seconda che il cinematisma preveda il ribaltamento di uno o più livelli si calcolano separatamente i vari contributi dati dai tiranti piano per piano.

In questo caso si procederà prima con l'equilibrio alla rotazione attorno alla cerniera cilindrica posta al livello del primo solaio da cui si ricaverà il valore del tirante che verrà posizionato a livello del sottotetto

$$T_1 = 88,887 \text{ [kN]}$$

Verifica dei tiranti

Il primo passo è ipotizzare il materiale da utilizzare per i tiranti e per i capochiave; successivamente verranno decise dimensioni e caratteristiche materiche degli stessi.

In questo caso viene scelto acciaio tipo AISI con tensione di snervamento $f_y = 240 \text{ MPa}$; il diametro delle barre 22 mm; i capochiave di ancoraggio, di tipo a piastra, hanno dimensioni quadrate pari a 400 mm di larghezza e 400 mm di lunghezza con tensione di snervamento $f_y = 240 \text{ MPa}$. Le caratteristiche della muratura sono prese dalle informazioni in nostro possesso ed alle indicazioni della Circolare:

$$\sigma_r = \frac{f_m}{F_C \cdot \gamma_m} = 1.057561 \text{ MPa} \quad f_v = \frac{\tau_0}{F_C \cdot \gamma_m} = 62000 \text{ N/m}^2$$

$$\text{Con } f_m = 1.0077519 \text{ MPa} \quad \tau_0 = 5.6 \text{ N/cm}^2 \quad \gamma_m = 2.$$

La portata di un singolo tirante è stata determinata prendendo il minimo tra i seguenti valori di resistenza:

$$T_{singolo} < \min(T_A, T_B, T_C)$$

- Meccanismo di rottura relativa allo snervamento dei tiranti:

$$T_A = A_s \cdot f_y$$

- Meccanismo di rottura relativo al punzonamento della muratura nelle zone di ancoraggio:

$$T_B = f_v \cdot [2 \cdot (b + t) + 2 \cdot (a + t)] \cdot t$$

- Meccanismo di rottura relativo alla resistenza del muro nei confronti della penetrazione dell'ancoraggio, dovuto all'eccesso di pressione nel contatto:

$$T_C = \sigma_r \cdot a \cdot b$$

Con:

- f_y tensione di snervamento dei tiranti;
- A_s area della sezione trasversale dei tiranti;
- a altezza delle piastre di ancoraggio dei tiranti;
- b larghezza delle piastre di ancoraggio dei tiranti;
- t spessore della parete su cui sono ancorati i tiranti;
- σ_r resistenza a compressione di calcolo della muratura;
- f_v resistenza a taglio di calcolo della muratura.

La **Tabella [6.8]** riporta le caratteristiche delle barre, dei capochiave e della muratura per i due livelli considerati, con indicazione dei valori degli sforzi da considerare nel compiere la successiva verifica.

Calcolato lo sforzo per il singolo tirante, è necessario determinare il numero dei tiranti atti ad impedire il verificarsi del meccanismo.

Progettazione verifica			
Parametri tiranti			
Barre		Piastra	
Diametro Φ [mm]	22	Lato a [cm]	40
Resistenza f_y [Mpa]	240	Lato b [cm]	40
Parametri muratura			
Sp. P.P. [cm]	35		
Fattore di confidenza F_c	1,35	Resistenza compressione f_m [Mpa]	0,889
γ_m	2	Resistenza taglio f_v [Mpa]	0,021
Verifica singolo tirante			
PIANO	Numero tiranti	Sforzo tiranti	Resistenza tiranti
Piano Primo	5	88,887	456,159
Tirante Piano Primo			
Verifica a snervamento		T'	91,232
Verifica a punzonamento		T''	108,889
Verifica alla schiacciamento della muratura		T'''	142,222

Tab.[6.8] Progettazione e verifica dei tiranti.

6.3.2 – ESEMPIO 2: MACROELEMENTO n.6 - CINEMATISMO n.1: FLESSIONE VERTICALE DELLA PORZIONE DI PARETE

Nella figura seguente si illustra il meccanismo di flessione verticale ipotizzato.



Fig.[6.57] Cineamtismo n.1.

Il caso illustrato nella figura precedente riguarda la flessione verticale del macroelemento n.6.

Il caso illustrato nella figura precedente corrisponde al caso di flessione verticale della parete al piano primo relativo ad una porzione del prospetto Ovest rivolto verso l'arena romana, individuato dal macroelemento n.6. Il meccanismo si manifesta con formazione di una cerniera cilindrica orizzontale che divide la parete in due blocchi distinti ed è descritto dalla rotazione reciproca degli stessi attorno a tale asse per azioni fuori dal piano. Si è scelto di verificare due casi distinti in base alla posizione di formazione della cerniera che divide i due blocchi di parete.

Schema del primo caso del meccanismo di flessione:

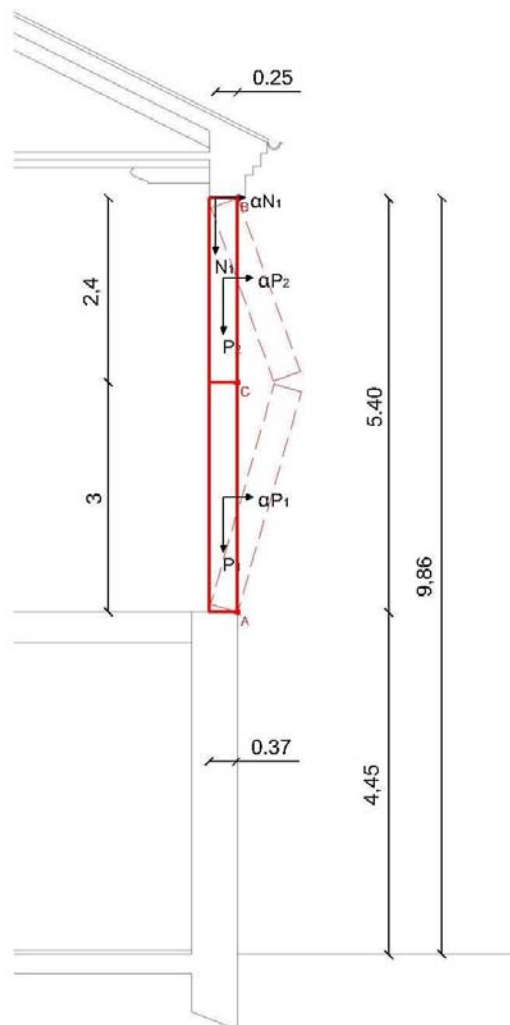


Fig.[6.58] Schema del meccanismo.

Nel primo caso riportato si considera che la formazione della cerniera fra i due blocchi (cerniera C) si formi come ipotizzato dal cinematismo, cioè a metà della fascia muraria che separa le due file di finestre al piano primo. Quindi in questo caso si suppone la cerniera C ad una quota di 3 m dalla base della parete (cerniera A).

Per sintesi si riportano schematicamente i risultati.

MACROELEMENTO 6						
CINEMATISMO 1		FLESSIONE VERTICALE PIANO PRIMO				
Lunghezza parete [m]	25,72					
Posizione sopra cerniera h2	2,4	Angolo $\theta =$		1		
		Angolo $\varphi =$		(x-1)		
Posizione sotto cerniera h1	3	x da funzione coefficiente α_0		2,25		
Descrizione parete: Parete Piano terra	Pi	bi	hi	Ni	di	
	818,34	0,37	5,40	136,57	0,25	
Peso porzione parete sotto cerniera	454,63		Peso porzione parete sopra cerniera		363,71	
Spostamenti Punti di Applicazione [m]			Fattore di confidenza			
$\delta P1x$	1,500	Fc1	Fc2	Fc3		
$\delta P1y$	0,185	0,05	0,12	0,06		
$\delta P2x$	1,500	Fc4	Fc			
$\delta P2y$	0,601	0,12	1,35			
δNx	0					
δNy	0,601					
Verifica cinematica lineare - SLV						
Coefficiente di attivazione α_0	0,314	Massa partecipante M*		83,453		
Accelerazione sismica spettrale a*	2,658	Frazione di massa partecipante della struttura e*		0,857		
Parametri da Spettri N.T.C. - Località Padova categoria suolo C-T1						
ag	0,099	0,97119	Ss	1,5		
Fo	2,597		St	1		
Tc*	0,342		Cc	1,496		
Tb	0,171		S	1,5		
Tc	0,512		η	1		
Td	1,995					
Parametri edificio						
Htot	9,86		T1	0,278		
q	2		z	4,45		
ψ	0,451		N	2		
γ	1,2					
Spettro Elastico calcolato nel periodo T1			Se(T1)	3,783		
ag(Pvr)S/ q	0,728		Se(π) $\psi Y/q$		1,024	
	a₀	2,658				
VERIFICATO						

Tab.[6.9] Verifica a flessione verticale della parete con cerniera ipotizzata a priori.

La verifica risulta soddisfatta.

Schema del secondo caso del meccanismo di flessione:

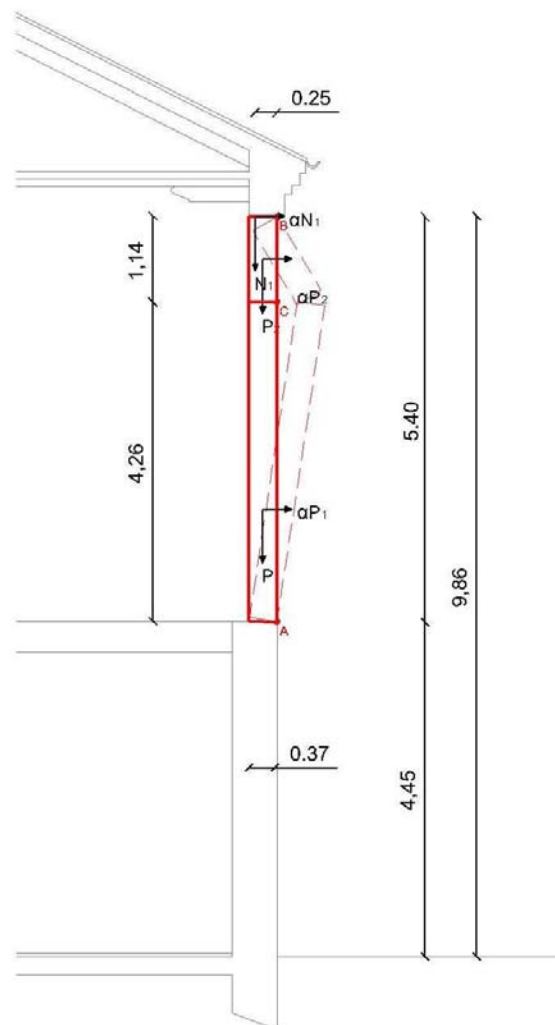


Fig.[6.59] Schema del meccanismo.

In questo caso si considera l'altezza di formazione della cerniera cilindrica incognita viene valutata mediante l'applicazione del principio dei lavori virtuali imponendo che il coefficiente di collasso in funzione dell'altezza incognita sia il minimo. Nella pagina successiva viene riportato lo schema del meccanismo di collasso ipotizzato.

Dai calcoli eseguiti si è riscontrato che la cerniera cilindrica orizzontale che divide la parete in due blocchi (cerniera C) si forma ad un'altezza di 4,26 m dalla base della parete (cerniera A).

Per sintesi si riportano schematicamente i risultati.

MACROELEMENTO 6					
CINEMATISMO 1		FLESSIONE VERTICALE PIANO PRIMO			
Lunghezza parete [m]	25,72				
Posizione sopra cerniera h2	1/x*htot	Angolo $\theta =$		1	
		Angolo $\varphi =$		(x-1)	
Posizione sotto cerniera h1	(x-1)/x*htot	x da funzione coefficiente α_0		4,739516	
Descrizione parete: Parete Piano terra	Pi	bi	hi	Ni	di
	818,34	0,37	5,40	136,57	0,25
Peso porzione parete sotto cerniera	645,68		Peso porzione parete sopra cerniera		172,66
Spostamenti Punti di Applicazione [m]			Fattore di confidenza		
$\delta P1x$	2,130	Fc1	Fc2	Fc3	
$\delta P1y$	0,185	0,05	0,12	0,06	
$\delta P2x$	2,130	Fc4	Fc		
$\delta P2y$	1,062	0,12	1,35		
δNx	0				
δNy	1,062				
Verifica cinematica lineare - SLV					
Coefficiente di attivazione α_0	0,257	Massa partecipante M*			83,453
Accelerazione sismica spettrale a*	2,177	Frazione di massa partecipante della struttura e*			0,857
Parametri da Spettri N.T.C. - Località Padova categoria suolo C-T1					
ag	0,099	0,97119	Ss	1,5	
Fo	2,597		St	1	
Tc*	0,342		Cc	1,496	
Tb	0,171		S	1,5	
Tc	0,512		η	1	
Td	1,995				
Parametri edificio					
Htot	9,86		T1	0,278	
q	2		z	4,45	
ψ	0,451		N	2	
γ	1,2				
Spettro Elastico calcolato nel periodo T1				Se(T1)	3,783
ag(Pvr)S/ q	0,728		Se(π) ψ Y/q		1,024
	a₀	2,177			
VERIFICATO					

Tab.[6.10] Verifica a flessione verticale della parete.

Anche in questo caso la verifica risulta soddisfatta.

CONCLUSIONI

Questa tesi non poteva non fare riferimento alla normativa più recente per quanto riguarda la materia antisismica; il D.M. 14.01.2008 “Norme tecniche per le Costruzioni 2008” (NTC2008). Esso infatti indica che la valutazione della sicurezza sismica degli edifici in muratura va eseguita con riferimento all’analisi dei meccanismi locali di collasso, quando la costruzione non manifesta un chiaro comportamento d’insieme, ma piuttosto tende a reagire al sisma come un insieme di sottosistemi (meccanismi locali), quando cioè la verifica su un modello globale non ha rispondenza rispetto al suo effettivo comportamento sismico particolarmente nel caso di edifici estesi e di geometria complessa, non dotati di solai rigidi e resistenti nel piano, né di efficaci e diffusi sistemi di catene o tiranti. In tali casi la verifica globale può essere effettuata attraverso un insieme esaustivo di verifiche locali. Seguendo tale metodo nel capitolo 6 si sono individuati i macroelementi ed i meccanismi locali di collasso e in conclusione si sono eseguiti i procedimenti di calcolo di alcuni cinematismi individuati, facendo ricorso ai metodi dell’analisi limite dell’equilibrio delle strutture murarie, tenendo conto delle meccaniche della muratura, ma essi sono stati riportati solo a titolo esemplificativo. Infatti il lavoro di questa tesi riguarda soprattutto le fasi precedenti a tale procedimento di calcolo. Il punto nevralgico di questo lavoro è la creazione del modello delle vulnerabilità descritto nel capitolo 5, esso permette di presupporre la conoscenza dei possibili meccanismi di collasso sulla base della conoscenza di aspetti quali: la presenza del quadro fessurativo d’insieme, la valutazione delle connessioni fra le pareti, la presenza di presidi antisismici e tramite la ricostruzione dell’intera storia costruttiva del bene tutelato. L’importanza quindi di un modello riassuntivo che inglobi tutte queste informazioni è stato considerato l’aspetto maggiormente rilevante. Si è utilizzato quindi un modello informatico che è la sintesi di tutti i dati ricavati dallo studio dei chiostri sotto innumerevoli punti di vista, basato sui rilievi e sulle norme vigenti, per poter determinare gli effetti dovuti ai carichi agenti al fine di individuare quei meccanismi di collasso pericolosi per la stabilità sia dell’intero edificio che solamente di una porzione di esso. Nello specifico, dallo studio è emerso che nel complesso i Chiostri degli Eremitani sono vulnerabili in alcune delle loro parti, soprattutto per gli aspetti che hanno caratterizzato la storia costruttiva del fabbricato. Alcuni elementi sono stati alterati e trasformati, soprattutto con il restauro eseguito negli anni ’70, perciò come si è dimostrato ipotizzando i meccanismi di collasso possibili l’edificio risulta vulnerabile localmente.

Il modello è stato pensato per creare inoltre un “archivio temporale” che potrà essere utilizzato nel tempo, aggiungendo altri elementi, derivanti da altri tipi di studio, ad esempio un accurato rilievo materico, o l’esecuzione di indagini, fatte considerando le precise informazioni indicate in questo testo. Si è scelta la rappresentazione tridimensionale perché essa è la più immediata possibile e per uno studio che, per certi versi, risulta essere preliminare ad altri, è emerso il più adeguato possibile. La direzione che si è voluto intraprendere con questa tesi perciò, è quella di creare uno strumento che potrà e dovrà essere utilizzato ed ampliato per accrescere il livello di conoscenza di tale edificio. Ad esempio attraverso l’acquisizione di informazioni aggiuntive questo strumento potrebbe essere utilizzato per la creazione di un modello per analisi ad elementi finiti, esso risulterà più accurato ed attendibile maggiori saranno le informazioni introdotte. Ad un livello attuale di conoscenza sarebbe inutile ed inattendibile creare tale modello senza essere in possesso di informazioni ricavate da una organizzata campagna di indagine.

Un’ulteriore menzione deve essere fatta alla rappresentazione tridimensionale per il render fotografico. In questa fase è stata data grande importanza alla riproposizione visiva del modello, in maniera tale da valutare le ricchezze artistiche di questo edificio, che probabilmente non è conosciuto dal grande pubblico, ma che è denso di elementi architettonici di pregio derivanti da secoli di storia. Un esempio lampante è lo splendido portico del chiostro maggiore voltato a crociera che ha avuto un ruolo di primo piano nel lavoro di rappresentazione.

I Chiostri degli Eremitani, sede dei Musei Civici di Padova, sono visitati ogni anno da migliaia di turisti, perciò dovrebbe essere data notevole importanza al monitoraggio relativo alla sicurezza sismica di questo edificio, e ad esso dovrebbe essere conferito maggior risalto così da diventare un cardine principale nel panorama culturale della città patavina.

BIBLIOGRAFIATESTI

A.A. VV. (1971) *Eremitani – Padova – Inaugurazione della Sacrestia degli Eremitani*, Padova

D. Bertizzolo (1971), *Per l'inaugurazione della sacrestia degli Eremitani a Padova*, 30 marzo 1971, Padova, Tip. Antoniana, Padova

L. Giacomazzo (1964), *Eremitani VII Centenario 1264-1964*, Padova

P.Colajanni, G. Muscolino, G. Ricciardi (2007) *Crolli e affidabilità delle strutture civili*, Dario Flaccovio editore,Palermo

F. Gay, *Il museo Civico di Padova nel complesso degli Eremitani*, Venezia

G. Croce (1988), *Padova : i rilievi del centro storico*, ed. "La Garangola", Padova

TESI DI LAUREA

A. Niero (A.A. 2009-2010) *Comportamento sismico della Chiesa degli Eremitani a Padova: analisi e rappresentazione tridimensionale*, Università degli studi di Padova, Facoltà di Ingegneria, Relatori Prof. Ing. Maria Rosa Valluzzi, Prof. Arch. Andrea Giordano

F.Chiementin, T.Soldà (A.A. 2006-2007) *Analisi e rappresentazione del comportamento sismico della Chiesa di Santa Corona a Vicenza*, Università degli studi di Padova, Facoltà di Ingegneria, Relatori Prof. Ing. Maria Rosa Valluzzi, Prof. Arch. Andrea Giordano

SITI INTERNET

<http://www.ingv.it>

<http://www.protezionecivile.it>

<http://www.cslp.it>

ALLEGATI

ALLEGATO A: Rilievo fotografico;

ALLEGATO B: Rilievo Metrico;

ALLEGATO C: Rilievo del degrado;

ALLEGATO D: Rilievo del quadro fessurativo.

ALLEGATO A
RILIEVO FOTOGRAFICO

ALLEGATO B

RILIEVO METRICO

ALLEGATO C

RILIEVO DEL DEGRADO

ALLEGATO D
RILIEVO DEL QUADRO
FESSURATIVO