

*Alla mia famiglia  
Ai miei amici  
A chiunque abbia condiviso un sorriso con me*

*Soffrirò...morirò...  
Ma intanto  
Sole, vento, vino, trallalà*

[Miša Sapego]

Università di Pisa



DESTeC

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA DELL'ENERGIA, DEI SISTEMI, DEL TERRITORIO  
E DELLE COSTRUZIONI

CORSO DI LAUREA SPECIALISTICA IN INGEGNERIA EDILE-ARCHITETTURA

TESI DI LAUREA

**“Un’antica chiesa ed un nuovo museo.  
Recupero e rifunzionalizzazione  
della chiesa di Sant’Antonio in Qualquonia a Pisa”**

RELATORI

Prof. Arch. Domenico Taddei  
Prof. Ing. Maria Luisa Beconcini  
Arch. Caterina Calvani  
Arch. Roberto Pasqualetti

CANDIDATO

Marco Vinicio Mero

Anno Accademico 2012/2013

# Indice

Introduzione	5
1. La chiesa di Sant'Antonio in Qualquonia	
1.1. Contestualizzazione dell'edificio	6
1.2. Storia del complesso	7
1.3. Il complesso dagli anni '50 ad oggi	12
2. I rilievi e le analisi delle murature	
2.1. Il rilievo geometrico	15
2.2. Analisi delle tessiture murarie e del quadro fessurativo	16
3. Piano di Recupero: il museo del Gioco del Ponte	
3.1. Premessa	22
3.2. Progettazione del museo del Gioco del Ponte	24
4. Analisi dei meccanismi locali di collasso della chiesa	
4.1. Premessa	25
4.2. Meccanismo A: ribaltamento della facciata	26
4.3. Meccanismo B: ribaltamento delle pareti laterali	26
4.4. Meccanismo C: ribaltamento delle pareti della sacrestia	26
4.5. Calcolo delle accelerazioni di attivazione dei meccanismi	28
5. Analisi cinematica non lineare e inserimento delle catene	
5.1. Premessa	41
5.2. Capacità di rotazione relativa ai meccanismi A e B	42
5.3. Consolidamento tramite inserimento di catene	46
5.4. Verifica dei capichiave	57
6. Dimensionamento del nuovo solaio e verifiche sulle murature	
6.1. Premessa	60
6.2. Analisi dei carichi e verifiche del nuovo solaio	61
6.3. Verifica del cordolo	64
7. Allegati	67
Riferimenti bibliografici	87
Ringraziamenti	88

## INTRODUZIONE

“L’edificio più ecocompatibile è quello non costruito, o meglio, quello recuperato con criteri di riqualificazione sostenibile”<sup>1</sup>

La riconversione degli spazi esistenti è la chiave di volta per lo sviluppo dell’edilizia, in Italia come nel resto del mondo. In un periodo di crisi come quello che la nostra struttura socio-economica sta passando, espandere le città é l’errore più grave che si possa fare: significa svuotare gli spazi che già ci sono e condurli alla rovina.

Nel nostro paese si tratta di un concetto ancora poco diffuso, le politiche urbanistiche sono ferme alla logica di 20 o addirittura 30 anni fa, all’epoca del boom economico, quando i centri urbani dovevano crescere per la continua migrazione di persone.

Oramai in tutto il mondo, soprattutto nei paesi del nord Europa, da sempre più attenti alle questioni ambientali e sociali, si sta iniziando a capire che le nuove costruzioni non fanno altro che impoverire i vecchi quartieri. E che in realtà proprio questi vecchi quartieri, che in Italia vengono abbandonati e lasciati al degrado o peggio ancora alla criminalità, devono essere la risorsa da ripensare, risistemare, riscoprire.

---

<sup>1</sup> Tratto da “The Greenest Building: Quantifying the Environmental Value of Building Reuse”, studio della Fondazione “National Trust for Historic Preservation”

## 1. La chiesa di Sant'Antonio in Qualquonia

### 1.1 Contestualizzazione dell'edificio

La chiesa di Sant'Antonio in Qualquonia si trova a Pisa, all'interno delle mura storiche della città e a sud del fiume Arno, nel quartiere attualmente chiamato "San Antonio".

Il quartiere di Sant'Antonio costituisce con quello di San Martino la parte sud del centro storico della città. Anticamente quest'area era chiamata Chinzica, poi San Martino; infine, dopo l'unità d'Italia, fu divisa nei due quartieri attuali.

La forma del quartiere di Sant'Antonio è facilmente identificabile, dato che gran parte delle mura sono ancora esistenti; il loro tracciato risale al XII secolo, anche se per la parte sud la costruzione continuò fino al secolo successivo.

Guardando la pianta del quartiere, è evidente la differenza di impianto urbanistico tra l'area lungo l'Arno e quella sud: la prima medievale, caratterizzata da un fitto intrecciarsi di vicoli stretti, l'altra con strade ben più larghe e distanziate ed un tracciato più regolare. Come per il resto della città, anche le mura attorno al quartiere di Sant'Antonio vennero costruite in previsione di uno sviluppo urbanistico, inglobando ampie zone non edificate. Nell'età medievale questa zona si chiamava Spazzavento e questo nome è stato assunto dalle chiese che qui erano costruite; venivano così distinte dalle chiese dedicate altrove allo stesso Santo. Si distinguevano la Chiesa di Sant'Antonio, la Chiesa di San Paolo a Ripa d'Arno con la vicina Chiesa di San Benedetto, la piccola Cappella dedicata a Sant'Agata e la Chiesa di Sant'Antonino annessa allo Spedale.



Fig. 1 La città di Pisa con evidenziato il tracciato delle mura e la locazione della chiesa di Sant'Antonio in Qualquonia

## 1.2 Storia del complesso

Il complesso dedicato a Sant'Antonio, detto anche Sant'Antonino<sup>2</sup>, Sant'Antonio degli Armeni e Sant'Antonio in Spazzavento<sup>3</sup>, era composto da un oratorio o chiesa ed uno ospedale, attivo fino al 1684, successivamente trasformato in Conservatorio dei poveri orfani, operante sino al 1943, quando fu distrutto dai bombardamenti della Seconda Guerra Mondiale.

Tutto il complesso apparteneva inizialmente ad una confraternita laicale, i "Disciplinati di S. Antonio" o "Compagnia di Sant'Antonio", di origine armena, e il primo documento che attesta l'esistenza di questa confraternita in Pisa è un atto di vendita di un appezzamento di terra in zona della Chiesa di San Paolo a Ripa d'Arno, da parte dell'abate di San Paolo a Ripa d'Arno a frate Alessandro armeno per edificarvi una chiesa e un monastero, datato 7 Febbraio 1341.<sup>4</sup>

Gli statuti della Compagnia vennero corretti e rifatti nel 1617, ed è proprio nel "*Capitoli della compagnia di S. Antonio*" che si può leggere della difficoltà di conoscere con precisione la data d'origine dell'oratorio e dello ospedale, a causa dei "*libri e scritture andate a male per l'inondazione d'Arno seguita l'anno 1568 alli 30 di ottobre in questa città di Pisa*".<sup>5</sup>

Come si può leggere nel *Diario sacro Pisano*<sup>6</sup>, "*La chiesa di San Antonino [...] è certo che esisteva già nel 1375, perché per un atto rogato da ser Rocco de Lavajano i confratelli della compagnia che vi uffiziavano pagavano un annuo canone alla Badia di San Paolo a Ripadarno*" che consisteva in una quota di ceri (dal

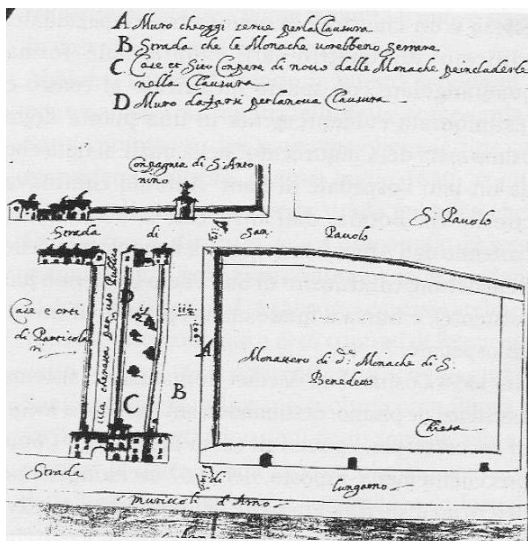


Fig. 2 Pianta della zona di Sant'Antonio, 1620 (ASP, Fiumi e Fossi, 79, c.311)

1375 al XVIII secolo)<sup>7</sup> e il 17 Gennaio, vigilia della festa di Sant'Antonio, un porco vivo (fino all'anno 1431)<sup>8</sup>.

Nel 1477 avvenne la prima grande trasformazione del complesso<sup>9</sup> a seguito delle distruzioni sopravvenute durante la guerra contro Firenze (1406). Non ci è possibile quindi riconoscere nell'edificio attuale tracce dell'epoca trecentesca.

A seguito delle opere di ristrutturazione, l'insieme consisteva in una chiesa e un chiostro trapezoidale, edificato su tre lati, da come risulta in una pianta del Cinquecento<sup>10</sup> nella quale lo ospedale di Sant'Antonio confina con la via Botaia (oggi via

<sup>2</sup> Detta di Sant'Antonino per distinguerla dalla chiesa di Sant'Antonio Abate sita nello stesso quartiere

<sup>3</sup> Nell'età medievale la zona a sud dell'Arno veniva chiamata "Spazzavento" e questo nome veniva assunto dalle chiese che qui erano costruite in modo da distinguerle dalle chiese dedicate altrove allo stesso Santo.

<sup>4</sup> F. Luzzati Laganà, *Fondazione e prime vicende del monastero armeno di S. Antonio di Spazzavento in Pisa (XIV secolo)*, Editoriale Programma, Padova, 1996, pag. 131

<sup>5</sup> Antonio Feroci, *Degli Antichi Spedali di Pisa*, Tipografia Vannucchi, Pisa, 1896

<sup>6</sup> G. Sainati, 1886, pp 8-9

<sup>7</sup> ASF, *Notarile Anticosimiano*, N.189, cc.99r.v.

<sup>8</sup> ASF, *Archivio Grifoni*, N. 244, c.73v

<sup>9</sup> Can. Paolo Tronci, *Descrizione delle chiese, monasteri et oratori della città di Pisa*, C152, c.188

<sup>10</sup> ASF, *Archivio Grifoni*, N.239, c.185r

Carabottaia) e dall'altro lato con l'attuale via della Qualquonia che arrivava fino al lungarno.

Questo ospedale o *xenodochium* era uno dei tanti presenti a Pisa e serviva da ricovero per i pellegrini. Durante il XIV secolo esistevano a Pisa 17 ospedali, destinati alla cura dei malati, dei pellegrini e dei poveri; con l'andare degli anni il numero di queste strutture cresceva sempre più (nel 1401 esistevano 25 ospedali)<sup>11</sup>, fino a quando nel 1558 Cosimo I de' Medici, accorgendosi delle pecche nella regolamentazione dei piccoli ospedali, sempre più governati da persone disoneste e poco caritatevoli, decise con le disposizioni del 27 maggio di ridurre il numero dei piccoli ospedali.

Lo ospedale di Sant'Antonio restava in vita e al suo patrimonio si univa quello dello ospedale di Santo Spirito; le due compagnie insieme dovevano eleggere lo ospedalingo, personaggio atto a governare il patrimonio. Come scrive Antonio Feroci nel suo volume (vedi nota 12): *"in questo tempo lo ospedale assumeva il carattere di ricovero per i poveri mendicanti di sesso mascolino (ptocotrophium), ai quali si dava gratuitamente un letto per dormire, il fuoco per riscaldarsi e il lume."*

Nel 1571, la Compagnia laicale di Sant'Antonio ottenne sempre dal Granduca Cosimo I la facoltà di portare sulla parte anteriore della cappa la croce distintiva dell'Ordine dei Cavalieri di Santo Stefano<sup>12</sup>, con l'obbligo di prestare servizio alla chiesa conventuale e quest'obbligo restò fino al 1785, anno dell'abolizione della Compagnia (verrà ripristinata 4 anni dopo, ma non potrà più ufficiare nella Chiesa di Sant'Antonio).

A seguito probabilmente dell'aggregazione all'Ordine di Santo Stefano, avvenuta nel 1605, come ricordava un'iscrizione in marmo sulla facciata ora scomparsa<sup>13</sup>, vennero fatti numerosi interventi di abbellimento dell'oratorio.

La chiesa della compagnia era un esempio di tipo oratoriale, caratterizzata da unica navata, semplicità e rigore formale, tutte caratteristiche comuni alle fabbriche delle confraternite laiche e religiose erette nel clima contro riformato.

A seguito dell'annessione vennero effettuate la ristrutturazione della chiesa e dello ospedale, la costruzione di un soffitto di legno intagliato e dorato ospitante 22 tele di pittori locali raffiguranti "Storie di Sant'Antonio", la costruzione delle panche, la decorazione della chiesa e dello ospedale con la croce stefaniana e altri lavori per migliorare l'illuminazione.<sup>14</sup>

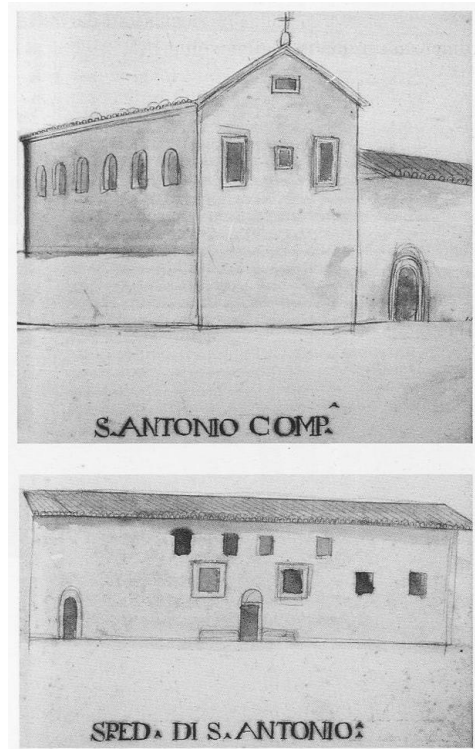


Fig. 3 P. Tronci, Chiesa e Spedale di Sant'Antonio, 1643 (ACP, C152, c.187 e c.233)

<sup>11</sup> A. Feroci, *Degli antichi ospedali in Pisa*, tip. Vannucchi, Pisa, 1896

<sup>12</sup> ASP, *Fondo Ordine dei Cavalieri di Santo Stefano, Visite Filza 2° anni 1641-168.*

<sup>13</sup> A. Bellini Pietri, *Guida di Pisa*, Bemporad, Firenze, 1913

<sup>14</sup> Nel 1596 l'arcivescovo Carlo Antonio Dal Pozzo, nella sua visita pastorale alle chiese della città di Pisa, mette l'accento sulla necessità di adeguamento delle strutture religiose per renderle maggiormente decorose, ponendo attenzione alla funzione della luce e all'isolamento dell'altare, ed è su questa linea che si effettuano gli interventi seicenteschi della chiesa.



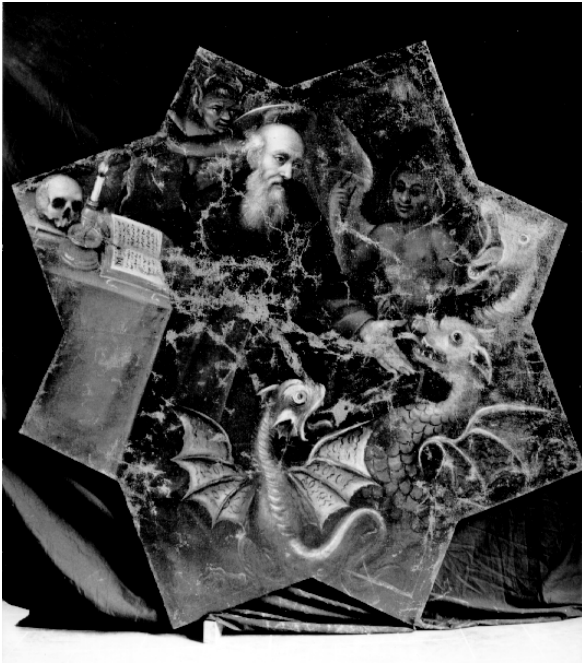


Fig. 4 Tela conservata al Museo Nazionale San Matteo

La semplicità e regolarità dell'articolazione spaziale viene sottolineata dalla scansione ritmica di sei finestre laterali e di due sulla facciata.

Si nota nei disegni del canonico Tronci<sup>15</sup> del 1643 che le finestre laterali sono ancora ad arco, mentre in seguito, alla fine del XVII secolo, vennero riquadrate e dotate di ornamenti; probabilmente seguendo i canoni barocchi, all'interno si costruiscono le incorniciature in pietra serena sorrette in basso da cartigli e coronate con timpani di forma curvilinea spezzati nel culmine, con al centro stemmi di famiglie appartenenti alla compagnia di Sant'Antonio e all'Ordine dei Cavalieri di Santo Stefano.

Sempre dai disegni del Tronci si può anche notare la mancanza di un accesso diretto dalla strada alla chiesa, ma nella seconda metà del secolo si completò la trasformazione dell'oratorio dotandolo del sobrio portale in pietra serena sopravvissuto, tra danneggiamenti e reintegri, fino ad oggi<sup>16</sup>.

Per quanto riguarda il soffitto ligneo, la sua ricca composizione risulta una soluzione molto interessante e significativa per una piccola chiesa. A Pisa si assistette infatti tra la fine del Cinquecento e il Seicento ad un incremento della produzione dei soffitti lignei, destinati ad ornare i maggiori luoghi di culto ed edifici civili rappresentativi. Le tipologie utilizzate erano due: soffitto a lacunari e quello integrato con pitture. Se la copertura a lacunari del Duomo realizzata dopo l'incendio del 1595 costituisce il più importante esempio del primo tipo, in varie chiese ed oratori si preferì invece il soffitto con dipinti, come nella chiesa di Santo Stefano dei Cavalieri<sup>17</sup>. Ed è proprio ispirandosi a questo soffitto che venne realizzato quello della chiesa di sant'Antonio, probabilmente per l'annessione della compagnia di Sant'Antonio all'Ordine di Santo Stefano. Nel 1684 ad opera di Cosimo III lo spedale, da ricovero per mendicanti, fu trasformato in uno stabile dedicato all'accoglienza per i fanciulli orfani, divenendo un vero orphanotrophium: lo spedale dell'Eternità, fondato dal Sancasciani avrebbe ospitato gli orfani maschi, riservando per le femmine quello di Sant'Antonino.

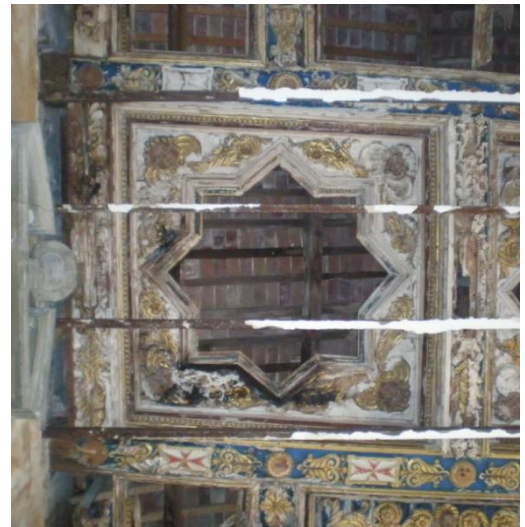


Fig. 5 Lacunare di forma stellata a otto punte

<sup>15</sup> Can. Paolo Tronci, *Descrizione delle chiese, monasteri et oratori della città di Pisa*, C152, c.188

<sup>16</sup> E. Karwacka, *Architetture a Pisa nel primo periodo mediceo*, Gangemi Editore, 2011, pp.155

<sup>17</sup> E. Karwacka, pp.157



Per questo motivo l'opera di San Francesco, del Monte Pio e della Pia Casa di Misericordia dovettero donare 4200 lire per provvedere ai lavori di miglioramento dei locali, inoltre venne accordato un sussidio annuale di lire 2450<sup>18</sup>.

L'insediamento dei poveri orfani negli stabili avvenne il 13 Agosto 1687; ben presto però ci si rese conto dell'insufficienza dei locali e si decise quindi di procedere ai lavori di ampliamento, trasferendo momentaneamente le orfanelle in una casa presa a pigione, presso via Cariola.

Nell'anno 1700 i lavori furono conclusi: oltre alla ristrutturazione dei locali adibiti all'alloggio e al nutrimento, si provvide anche a costruire dei locali che servissero all'apprendistato di vari mestieri.



Fig. 6 Estratto dal Catasto Leopoldino (1783) (sez. C, fogli 5-6)

Il fabbricato aveva ora assunto dimensioni diverse: un corpo allungato con loggiato sui tre lati, sul lato adiacente la chiesa si sopraelevò di un piano, per ricavare nuove camere, e fu proprio per questo motivo che vennero tamponate le finestre della parete a sud della chiesa<sup>19</sup>. Esso prevedeva dormitori, un ampio refettorio e una grande zona destinata all'apprendimento dei mestieri.

Probabilmente questo fu il periodo di maggior splendore dell'orfanotrofio.

Terminata la dinastia medicea, il Granduca Leopoldo II si adoperò per migliorare le sorti dei poveri orfani; nell'anno 1781 li distribuì diversamente, assegnando alle femmine un locale più vasto e meglio esposto, il locale delle Stinche, rinnovato e adattato alle nuove funzioni, ordinando poi che ai maschi venisse assegnato l'antico spedale di Sant'Antonio e che venissero aggregati al loro fondo i beni che appartenevano alla canonica soppressa di Sant'Agostino in Calci e inoltre che si donasse all'orfanotrofio una somma annuale di lire 2110, diminuita poi a 921 lire dal Granduca Ferdinando III.<sup>20</sup>

Il patrimonio del Conservatorio andò sempre più aumentando anche grazie ai lasciti e donazioni di diversi benefattori.

All'anno 1896 come scrive il Feroci " *l'istituto mantiene 41 alunni e ne ospita 3 che sono mantenuti da particolari, venendo pure in aiuto di altri 30 orfani esterni con un sussidio pecuniario mensile. Gli alunni oltre il completo mantenimento, nel periodo più difficile della vita vengono indirizzati ad un'arte o ad un mestiere; così facendosi capaci cresciuti in età, di potersi mantenere da sé, divenendo con tali aiuti cittadini onesti ed utili.*"<sup>21</sup>

Nel 1913 vi erano 50 orfani e 10 trovatelli.

<sup>18</sup> F. Luzzati Laganà, pag. 136-7

<sup>19</sup> F. Luzzati Laganà, pag. 139

<sup>20</sup> F. Luzzati Laganà, pag. 140

<sup>21</sup> A. Feroci, pp 146-151



Fig. 7 L'interno della chiesa nel 1941

Durante la Seconda Guerra Mondiale, a seguito del bombardamento nemico avvenuto il 31 Agosto 1943, il complesso subì gravi danni; il Conservatorio dei poveri orfani fu ridotto ad un ammasso di macerie, come accadde per molti edifici del quartiere di Sant'Antonio, fortemente lesionato dall'incursione nemica. La Chiesa resistette nonostante i danni alle strutture murarie, alla copertura e al soffitto ligneo.



Fig. 8 L'interno della chiesa dopo il bombardamento

### 1.3 Il complesso dagli anni '50 ad oggi

Dall'analisi delle lettere conservate presso la Soprintendenza di Pisa intercorrenti tra la stessa, il Comune e altri enti, si evincono informazioni relative al periodo postbellico del complesso.

Nel 1945 gli Istituti Riuniti di Ricovero e di Educazione della Città di Pisa, trovandosi nell'impossibilità di provvedere ad un intervento di recupero a causa di severe difficoltà economiche, incitano la Soprintendenza ad interessarsi lei stessa della salvaguardia dell'immobile.



Fig. 9 Il soffitto recuperato, foto del 1946

Quest'ultima, eseguita una prima perizia, realizza i lavori di riparazione alle strutture murarie e al tetto della Chiesa, nonché di consolidamento di una parte del pregevole soffitto decorato e, per facilitare le operazioni, sgombera i locali dalle macerie.

Nel 1951 il Soprintendente, eseguita la ricostruzione della copertura della Chiesa, dovendo prevedere il completamento del restauro del soffitto, richiede e ottiene che per motivi di sicurezza siano resi liberi gli ambienti attigui alla sagrestia, abusivamente occupati, come abitazione, da persone estranee al cantiere, non autorizzate.

Tra il 1952 e il 1957 si susseguono delle missive tra il Comune e la Soprintendenza nelle quali si evincono i contrasti sorti tra le parti in relazione alla diversa destinazione d'uso della Chiesa o addirittura alla demolizione della stessa.

Dal 1955 la Soprintendenza si occupa della chiusura e della vigilanza continua dell'edificio allo scopo, nel futuro, di poterlo rivedere funzionante come luogo adibito al culto.

Successivamente, dovendo procedere ai lavori di restauro della vicina Chiesa di San Paolo a Ripa d'Arno, la chiesa della Qualquonia è adibita per l'immagazzinamento di elementi architettonici provenienti da quest'ultima, nonché al ricovero di altro materiale da conservare.

In seguito alla richiesta degli Istituti Riuniti di Ricovero della demolizione della chiesa e delle sue adiacenze, per far posto alle Scuole Elementari, alla Scuola di Avviamento Professionale, entrambe di proprietà comunale, e all'Istituto Tecnico Femminile, di competenza provinciale, il Soprintendente rigetta la proposta, adducendo l'importanza storico artistica della chiesa di Sant'Antonio e dell'adiacente piccolo oratorio preromanico, sconosciuto ai più, di cui oggi non rimane traccia.

Il Comune di Pisa, dopo un sopralluogo effettuato sul terreno dove sarebbe dovuta sorgere la Scuola di Avviamento Professionale, consta che l'area comunale disponibile non è sufficiente per l'edificazione dell'Istituto Tecnico, a meno della demolizione o annessione della Chiesa all'edificio scolastico, a patto che siano rispettate le condizioni storico - artistiche.

La proposta è quella di utilizzare l'edificio sacro come sede di attività scolastica di educazione fisica, ma grazie alla forte opposizione del Sig. Antonio Fascetti, pisano amante della cultura artistica toscana, il progetto va in fumo.

Attorno all'anno 1959, si registra una nuova diatriba tra il Comune di Pisa e la Soprintendenza, oltre che per la destinazione d'uso anche per il possesso dei locali di via della Qualquonia.

La Soprintendenza è disposta a riconsegnare i locali della chiesa della Qualquonia al Comune qualora questo dia un'assicurazione formale provvedendo al restauro e al riutilizzo dell'edificio come luogo di culto; il Comune però rileva l'inopportunità della richiesta fatta osservando che la Soprintendenza stessa utilizza la chiesa come magazzino, e pertanto l'Amministrazione Comunale intende continuare ad usarla come tale.

Nel frattempo, da informazioni non ufficiali, la Soprintendenza scopre che la Biblioteca Universitaria ha richiesto la chiesa come deposito libri, soluzione vantaggiosa, fermo restando che rimane da conoscere in via formale la proposta e le opere di restauro e di adeguamento che il Comune intende eseguire.

La Giunta Municipale il 14 Luglio 1959 stabilisce di assegnare in uso alla Biblioteca Universitaria la chiesa di Sant'Antonio come deposito di libri. La Soprintendenza, prendendo atto di questa decisione, comunica che è in attesa di conoscere la natura dei lavori di restauro e sistemazione che il Comune intende eseguire per la valorizzazione dei locali stessi, quindi procedere alla riconsegna.

I lavori previsti comprendono il rifacimento del pavimento, la riparazione del tetto, la demolizione e la stesura di tratti di intonaco, coloritura e creazione di aperture.

La Soprintendenza rileva l'omissione di alcuni interventi di massima importanza per la conservazione e il restauro dell'edificio monumentale e cioè:

1. il restauro e il consolidamento del soffitto in legno decorato e dorato;
2. le riprese di modanature e decorazioni dell'intonaco delle pareti;
3. pavimento in mattonelle unicolori greificate;
4. impianto elettrico esterno con guaina sottopiombo e distribuzione in appositi cunicoli ricavati sotto il pavimento;
5. intonaco della facciata;
6. restauro della porta d'ingresso.

Il 13 Febbraio 1960 il Comune riceve le chiavi della Chiesa di sua proprietà.

Dopo che il Comune ha eseguito i lavori più urgenti per la tutela della Chiesa, la Soprintendenza, in modo da garantire la conservazione del materiale librario, ritiene opportuno che venga eseguito un saggio sul pavimento di fronte all'altare, in modo da verificare l'esistenza di tombe sottostanti e poter constatare la natura del terreno.

La Soprintendenza sottolinea inoltre che gli infissi dovranno essere opportunamente studiati in modo da assicurare l'inviolabilità del materiale depositato anche in previsione di eventuali atti di vandalismo e, contemporaneamente, permettere agevolmente l'aerazione dei locali. Nel restauro previsto per la chiesa, naturalmente, si intende compresa l'adattabilità e l'utilizzo dei locali annessi e la recinzione del giardino adiacente la chiesa.

Nella perizia è compresa la rimozione completa di una metà della superficie del soffitto, la revisione delle strutture portanti, il lavoro di riapplicazione del soffitto stesso e sostituzione delle pareti deteriorate; la Soprintendenza richiede inoltre che, affinché sia





Fig. 10 Il controsoffitto fatto inserire dalla Soprintendenza

data la concessione dei locali alla Biblioteca Universitaria, venga precedentemente costruito un soffitto sottostante a quello decorato, per costituire la protezione e l'isolamento dell'ambiente con il soffitto stesso. I locali da cedere alla Biblioteca inizialmente erano tre: la chiesa, la sagrestia e il piccolo sacello adiacente con volta a crociera, dei quali solo sui primi due sono stati eseguiti dei lavori di restauro.

Il Direttore della Biblioteca fa notare che era

stato murato l'accesso al sacello, che questo non era stato restaurato e rimasto senza alcuna apertura permetteva all'umidità filtrante dal tetto e dalle pareti di danneggiare la costruzione. Egli chiede quindi alla Soprintendenza di interloquire con il Comune per ottenere il restauro già richiesto.

La Soprintendenza comunica quindi al comune che dovranno essere eseguiti i seguenti lavori:

1. Revisione del tetto della stanza a tergo dell'altare.
2. Demolizione delle strutture murarie adiacenti alla stanza di cui sopra in modo da evitare infiltrazioni di umidità.
3. Demolizione dei vani situati sopra la stanza dell'ex sacrestia e costruzione di un tetto nuovo più basso di quello della Chiesa.
4. Apertura di finestra per dare aria e luce a detto vano e curare il rifacimento completo degli intonaci e del pavimento.

Nell'anno 1969, il Sig. Antonio Fascetti rende noto, ritenendo la segnalazione di urgente importanza che, iniziati da poco i lavori di demolizione delle strutture pericolanti annesse alla chiesa di S. Antonio, è venuto alla luce all'interno del sacello, con volte a crociera e munito di absidiola "a scarsella", un altare romanico databile tra il 1200 e il 1300, in marmo bianco con 3 colonnini e capitelli di scuola pisana; sono anche presenti due portali "braghettonati" in arenaria del tardo cinquecento con stemmi cartigliati dell'Ordine dei Cavalieri di S. Stefano.

La Soprintendenza dispone allora, in accordo con il Comune il recupero degli elementi architettonici antichi ritrovati: n. 2 parti di mensa marmorea di altare romanico murato, con alcuni frammenti, n. 1 trabeazione marmorea con 3 capitelli, n. 3 fusti di colonnini marmorei e uniti a questi n. 3 basi, n. 2 stemmi barocchi a campo liscio in pietra serena, recuperati sopra 2 portali, da trasportare nella Cappella di Sant'Agata.

Nonostante questi numerosi restauri, durante un sopralluogo condotto dall'Arch. Aussant della Soprintendenza, si evidenzia che la chiesa presenta numerose lesioni murarie e alla copertura e che la presenza di forte quantità di umidità rende l'ambiente assolutamente malsano ed in cattivo stato di conservazione.

In conseguenza a ciò, la Soprintendenza chiede alla Biblioteca Universitaria di rimuovere tutta la quantità dei volumi depositati per poter effettuare tutte le opere di intervento necessarie alla copertura, alle murature interne ed esterne della chiesa.

Successivamente, in data ignota, i locali vengono destinati ad un centro ricreativo giovanile fino al 2000, quando ci fu il definitivo abbandono.

## **2 I rilievi e le analisi delle murature**

### **2.1. Il rilievo geometrico**

Il rilievo geometrico è una fase fondamentale per qualunque tipo di attività, che sia di analisi storica o con finalità di recupero, che riguardi manufatti storici o preesistenze.

È infatti solo grazie ad un accurato rilievo che è possibile determinare le stratificazioni storiche della costruzione, le variazioni nelle tessiture murarie o i tamponamenti celati sotto qualche centimetro di intonaco.

Inoltre il rilievo geometrico è fondamentale anche per la valutazione strutturale della costruzione, ovviamente da affiancare a prove in situ sui materiali.

Per il rilievo della chiesa di Sant'Antonio in Qualquonia sono stati utilizzati strumenti comuni (triplometri) e un distanziometro laser gentilmente prestato dal comune di Pisa per acquisire dati relativi alle quote degli elementi verticali.

Di seguito sono riportate le restituzioni grafiche del rilievo diretto effettuato.



## 2.2 Analisi delle tessiture murarie e del quadro fessurativo

Negli edifici in muratura, prima di procedere con un intervento di restauro e valutare i mezzi più idonei ad eseguirlo, è necessario redigere un rilievo preciso e ordinato dello stato di fatto, che integra e approfondisce quello geometrico, comunemente condotto per definire la situazione *ante operam* di un manufatto.

Si è deciso quindi di assegnare ad ogni area omogenea di muratura un codice del tipo:

- una sigla per indicare il prospetto di cui fa parte (N, ad esempio, per quello nord);
- un insieme di lettere che indichi il materiale prevalente (LAT per laterizi, PTA per pietra arenaria, LAP per elementi lapidei di altro genere);
- un numero progressivo per indicare diversi tipi di tessiture murarie.



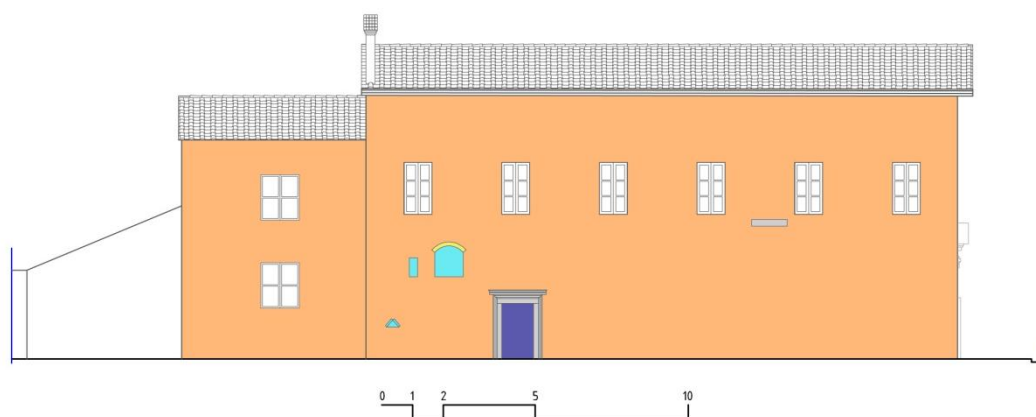
Per quanto riguarda la tessitura muraria della parete di facciata (prospetto ovest), si sono identificate:

- OPTA1, elementi in pietra serena (frontone e cornici delle aperture);
- OLAT1, elementi in laterizio, tessitura a due teste mista (gotica e fiamminga);
- OLAT2, elementi in laterizio messi di costa (elemento decorativo).



Fig. 11 Particolare dello zoccolo decorativo

Gli elementi OLAT2 sono laterizi disposti di costa, con dimensioni 15 x 28 cm circa ed uno spessore supposto di 3 cm, e correnti in malta con spessore di 0,5 cm circa. Essi sono disposti lungo il perimetro della facciata principale dell'edificio, il prospetto ovest, a mero scopo decorativo. La fascia in basso è composta da cinque file sovrapposte di mattoni sfalsati più una frazione di mattone di circa 3 cm, per un'altezza complessiva di 80,5 cm, mentre le due fasce verticali laterali sono composte da file sovrapposte di un mattone e mezzo sfalsati, per una larghezza di 45 cm.



Per quanto riguarda la tessitura muraria della parete a nord (prospetto nord), si sono identificate:

- NPTA1, elementi in pietra serena (cornice apertura ed elemento decorativo);
- NLAT1, elementi in laterizio, tessitura a tre teste mista (gotica e fiamminga);
- NLAT2, tamponamento apertura con elementi in laterizio, tessitura a due teste;
- NLAT3, tamponamento apertura con elementi in laterizio, tessitura mista;
- NLAT4, apertura ad arco con elementi in laterizio.

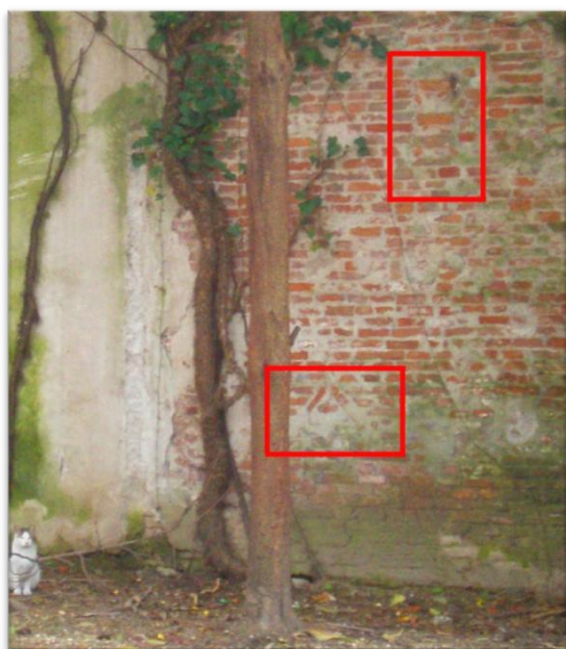
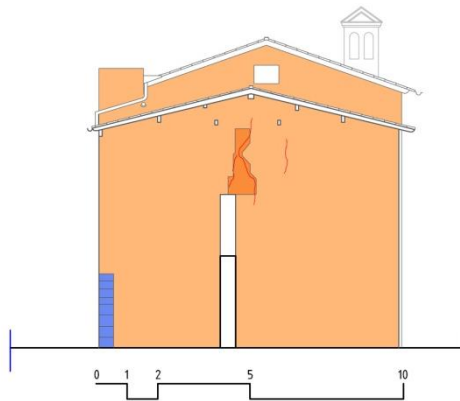


Fig. 12 Dettaglio della parete nord, in evidenza dei fori tamponati

Nella foto a sinistra si notano degli elementi incongrui NLAT3 che interrompono la tessitura di tipo NLAT1, che rappresenta la tipologia costruttiva vera e propria dell'edificio (in quanto si trova uguale anche nelle altre pareti). Quest'ultima è una tessitura muraria a tre teste mista riconducibile ad una tessitura fiamminga o gotica: elementi di cortina sono alternati ad elementi di testa senza però una particolare regolarità né all'interno della stessa fila, né tra una fila e l'altra. Tale irregolarità si riscontra anche nella lunghezza dei mattoni, che varia tra 18 e 28 cm, mentre sono costanti le altre due dimensioni, 12 x 5 cm. Gli elementi NLAT3 sono invece aperture tamponate senza soluzione di continuità rispetto la tessitura principale: si può supporre che quello evidenziato in alto fosse un'incavo in cui si

adagiava una trave lignea (dato che su questo lato della chiesa vi era un orto probabilmente era presente anche un pergolato).



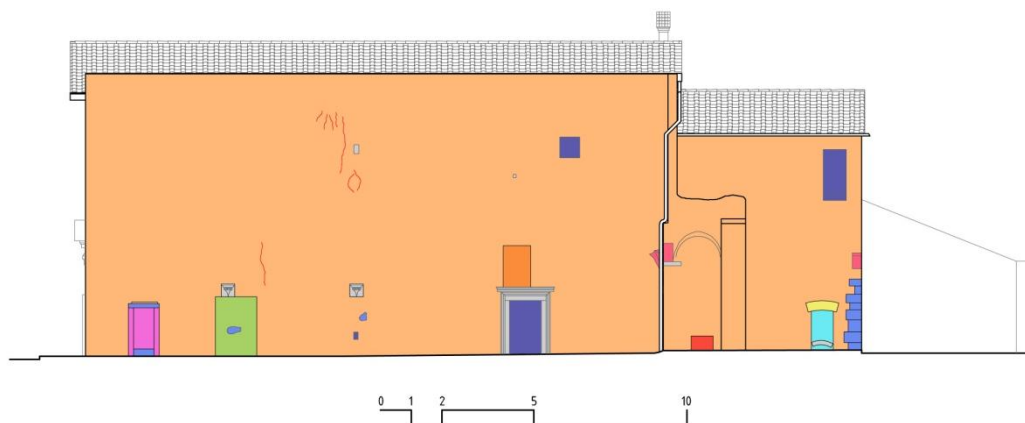
Per quanto riguarda la tessitura muraria della parete a est (prospetto est), si sono identificate:

- ELAT1, elementi in laterizio, tessitura a tre teste mista (gotica e fiamminga);
- ELAT2, elementi in laterizio non congrui, tessitura mista;
- ELAP1, elementi in pietra calcarea;



Fig. 13 Dettaglio della parete ovest

Questa parete è caratterizzata dalla presenza nella zona centrale di grandi lesioni che contornano una parte di elementi non congrui ELAT2 nell'altrimenti omogenea tessitura ELAT1. Probabilmente a causa dei danni e dei dissesti post bellici, si è intervenuti in maniera errata per ricomporre la continuità della parete, senza però davvero unire i nuovi elementi a quelli presenti. Infatti gli elementi ELAT2, sebbene abbiano una tessitura simile a quella principale, risultano completamente separati dalla stessa e la malta nei correnti è quasi completamente erosa. Sono presenti inoltre due aperture rettangolari simmetriche rispetto l'asse del prospetto di dimensioni 15 x 9 cm poste ad una altezza di circa 7,26 m, entrambe tamponate.



Per quanto riguarda la tessitura muraria della parete a sud (prospetto sud), si sono identificate:

- SLAT1, elementi in laterizio, tessitura a tre teste mista (gotica e fiamminga);
- SLAT2, tamponamento apertura con elementi in laterizio, tessitura a due teste;
- SLAT3, elementi in laterizio non congrui, tessitura mista;
- SLAT4, elementi in laterizio non congrui messi di costa;
- SLAT5, elementi in laterizio non congrui, tessitura a cortina;
- SLAT6, elementi in laterizio, imposte d'archi e di volte;
- SLAT7, elementi in laterizio, apertura con piedritti tamponata;
- SLAT8, apertura ad arco con elementi in laterizio.
- SLAT9, elementi in laterizio non congrui, tessitura a cortina;
- SPTA1, elementi in pietra serena (cornice apertura e mensole);
- SLAP1, elementi in pietra (architrave apertura, giunto angolare, elementi decorativi)

La composizione del prospetto sud è più complessa e variegata in quanto era contiguo all'orfanotrofio di Sant'Antonio e, nonostante il crollo di quest'ultimo, si possono ancora leggere le tracce della sua struttura.



Fig. 14 Dettaglio della parete sud, ben visibile il peduccio

Nell'immagine a sinistra si possono distinguere due diversi tipi di tessitura: a destra e a sinistra del peduccio quella già identificata come principale SLAT1, una tessitura a tre teste mista riconducibile agli schemi fiamminghi o gotici con mattoni di lunghezza variabile (tra 18 e 28 cm) e di larghezza e spessore costante (12 x 5 cm), mentre al centro sotto il peduccio una tessitura (SLAT3) a cortina con pochi diatoni ottenuta con mattoni di dimensioni inferiori rispetto la principale (lunghezza e larghezza sono variabili, lo spessore è di 3 cm).



Questa differenza di tessitura con un distacco così netto è probabilmente conseguenza dell'apertura e, successivamente, della tamponatura di un accesso alla chiesa, sebbene sembri molto improbabile che si sia deciso di creare un'apertura proprio sotto l'imposta della volta.



Fig. 15 Dettaglio degli elementi di imposta di volte sulla parete sud



Fig. 16 Dettaglio dell'accesso laterale tamponato con cornice in pietra serena

Oltre ai due peducci SPTA1 presenti su questa facciata, di cui è possibile vedere anche i blocchi su cui sono scolpiti (uno di forma regolare con dimensioni 43 x 44 cm circa, l'altro di forma trapezia di dimensioni simili), si trovano altri elementi di imposta delle volte SLAT6: nella foto a sinistra si può osservare nella metà sinistra l'inizio di una volta a crociera e nella metà destra, l'inizio di un arco e di una volta a botte.

Si nota anche in questa foto un'apertura tamponata di dimensioni molto ridotte (circa 1,72 m da terra di altezza per un'ampiezza di circa 0,64 m) che collegava le stanze dello spedale alla sacrestia della chiesa.

Su questa facciata si trovano ben altre tre aperture tamponate.

La prima, nella foto a sinistra, è un'apertura sicuramente coeva alle ristrutturazioni seicentesche subite dal complesso (deduzione avallata dalla somiglianza tra le modanature della cornice con le modanature degli elementi decorativi interni alla chiesa); gemella all'apertura presente sul prospetto nord, non si è riuscito a stabilire la tessitura della tamponatura SLAT2, ma si può dedurre dalla sezione che sia a due teste. Sopra la cornice inoltre si può vedere una zona SLAT5 con tessitura diversa da quella principale: i mattoni sono di dimensioni regolari di 25 cm e disposti a cortina, ma la malta risulta completamente erosa.



Fig. 17 Dettaglio dell'apertura tamponata

La seconda apertura tamponata, nella foto a sinistra, risulta invece spoglia, priva di cornice, e quindi difficilmente databile. Si possono notare i piedritti sporgenti di circa 8 cm rispetto il filo del muro composti da laterizi di larghezza di 16 cm circa, un architrave in pietra e degli elementi disposti a cortina al di sopra dell'architrave per ottenere una piccola tettoia. La tamponatura è ottenuta con laterizi a tessitura mista e, alla base, con un elemento in pietra di altezza pari a 23 cm e largo quanto tutta l'apertura, circa 67 cm. L'altezza complessiva è di circa 1,71 m e la presenza dei piedritti esclude la continuità della tamponatura con il resto della parete muraria.

Nella foto a destra invece si può vedere la terza apertura tamponata che dava direttamente accesso alla sacrestia della chiesa. Anche questa apertura non presenta cornice né altre decorazioni ed è quindi difficilmente databile. L'architrave SLAT8 è composto da una fila di mattoni di 30 cm di lunghezza disposti ad arco ribassato. La tamponatura SLAT9, ottenuta anche in questo caso senza soluzione di continuità con la muratura principale, è ottenuta con mattoni disposti a cortina e con un elemento curvo in pietra serena alla base. L'altezza all'intradosso dell'arco è circa 1,31 m e la larghezza della tamponatura è di 0,71 m. Sempre nella stessa foto si può notare il rinforzo angolare SLAP1 della struttura: sono disposti alternati dei blocchi squadrati di forma parallelepipedica in pietra calcarea di dimensioni variabili, con altezza compresa tra 23 e 38 cm. Tuttavia i blocchi risultano completamente scollegati dal resto della muratura laterale, come si può vedere dalle lacune all'altezza dell'arco ribassato. L'altezza complessiva è di 2,31 m, dopodiché ricomincia la tessitura principale in laterizio.



Fig. 18 Dettaglio dell'apertura tamponata e dei blocchi angolari in pietra



### 3. Piano di recupero: il Museo del Gioco del Ponte

#### 3.1 Premessa

Quando si affronta il delicato tema del recupero e dell'inserimento di una nuova architettura all'interno di un contesto storico, ci sono molte considerazioni da fare.

Innanzitutto la conservazione e la tutela dell'esistente sono prioritari, ma occorre considerare anche le necessità della vita attuale. Infatti il punto cruciale è proprio riuscire a creare un confronto costruttivo tra il valore storico e i bisogni attuali.

Per quanto riguarda le forme da proporre poi, come afferma l'arch. Paolo Portoghesi "...dall'accostamento coraggioso [tra l'architettura storica e quella moderna] nasce un plusvalore che dipende dalla natura dialogica dell'intervento moderno. Detto questo sarebbe fazioso considerare il dialogo l'unico metodo valido. Anche il contrasto e la frattura possono avere un senso quando lo giustifica l'occasione e quando nasce da una scelta meditata e sofferta."



Fig. 19 Il tempio romano Maison Carré con accanto la Carrè d'Art a Nimes progettato da N. Foster

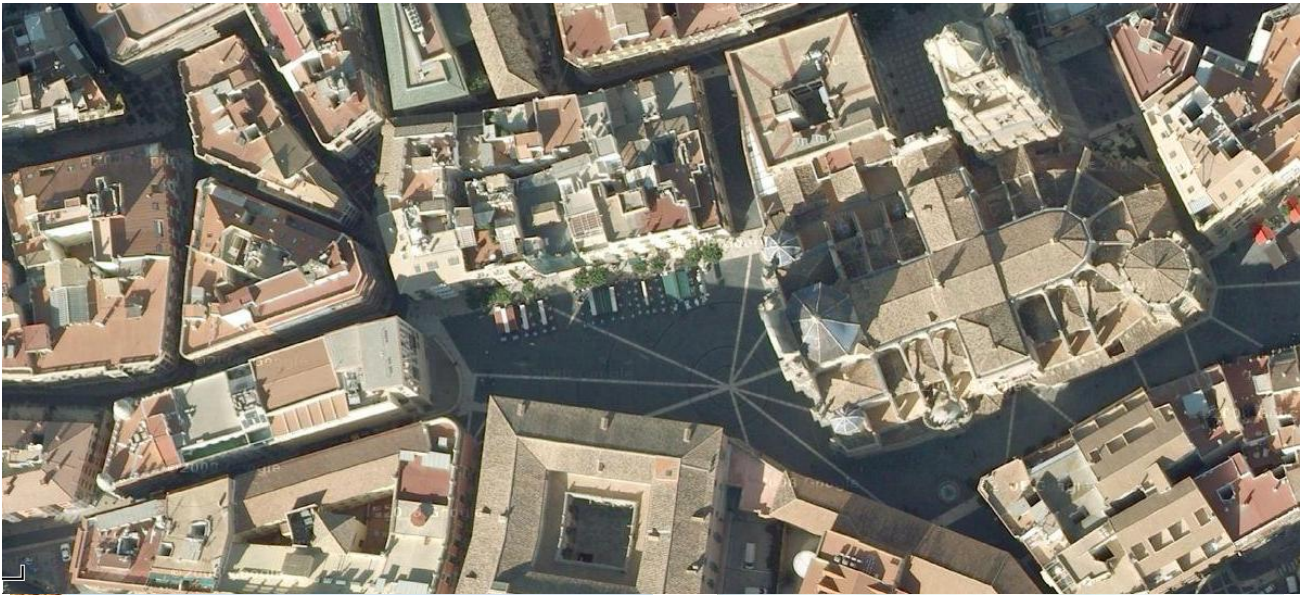


Figura 20 Piazza del Cardinal Belluga a Murcia con la Cattedrale e il Municipio a confronto



### 3.2 Progettazione del Museo del Gioco del Ponte

Sebbene la scheda norma relativa al Piano di Recupero l'area d'intervento sia decaduta, annullando di fatto quanto vi era previsto, il comune di Pisa ha intenzione di creare un polo museale che includa la chiesa di Sant'Antonio in Qualquonia e che ospiti gli armamenti, i costumi e gli standardi del Gioco del Ponte.

Al fine di rendere questo complesso attrattivo non solo per un target turistico ma anche luogo di aggregazione e di incontro per i cittadini di Pisa, è stato arricchito di diverse funzioni:

- complesso museale del Gioco del Ponte;
- sala convegni e per esposizioni temporanee;
- bar/caffetteria;
- verde pubblico.

È proprio l'unione tra la storia del complesso di Sant'Antonio e la funzione che dovrà andare ad assumere il nuovo complesso che hanno determinato le nuove volumetrie.



Nella planimetria qui sopra si possono vedere evidenziati:

- in verde lo spazio destinato al verde pubblico, così come durante i secoli era tenuto a verde (orto);
- in rosso la volumetria del museo, nata dalla riproposizione della divisione interna tra le mura cittadine di Pisa dovuta al fiume Arno, teatro della lotta tra nord e sud nel Gioco del Ponte;
- in giallo un loggiato d'ingresso che introduce, dal passato al presente, al museo;

La chiesa sarà invece destinata alla funzione di sala conferenze e di spazio espositivo temporaneo, mentre nella sacrestia sarà creata la caffetteria-punto ristoro.

La disposizione delle funzioni nello spazio è stata anche scelta per garantire al massimo la fruibilità degli stessi; anche quando il museo sarà chiuso, la sala conferenze e il punto ristoro rimarranno indipendenti e potranno quindi essere aperti per espletare le proprie funzioni.

## **4. ANALISI DEI MECCANISMI LOCALI DI COLLASSO**

### **4.1 Premessa**

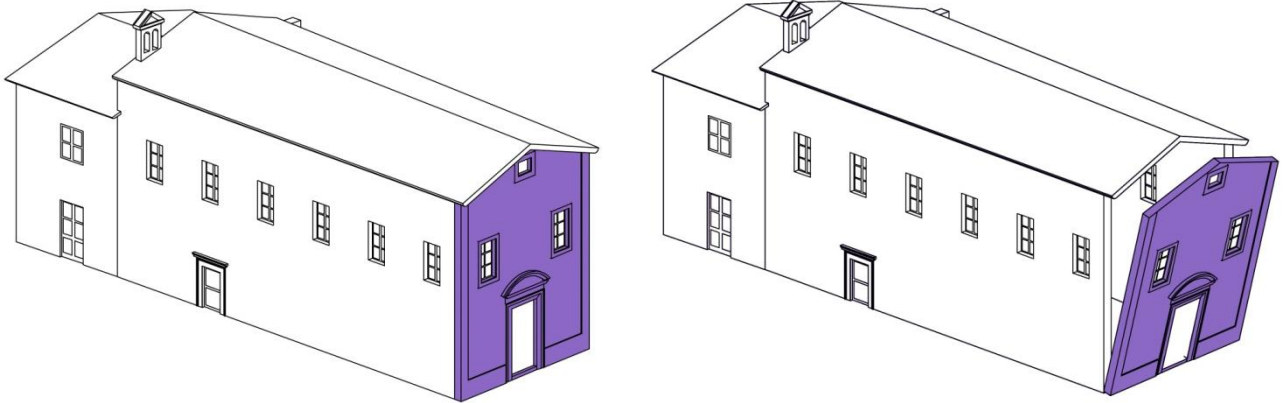
Il D.M. del 14 gennaio 2008 e la Circolare n. 617 del 2 febbraio 2009, nella parte riguardante le verifiche sismiche sugli edifici esistenti, indicano l'importanza di studiare i meccanismi locali di collasso: "Quando la costruzione non manifesta un chiaro comportamento d'insieme, ma piuttosto tende a 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 [...] In tali casi la verifica globale può essere effettuata attraverso un insieme esaustivo di verifiche locali"<sup>22</sup>. Le costruzioni monumentali in muratura reagiscono al sisma in questo modo, ovvero tramite l'attivazione di meccanismi locali, meno resistenti e meno duttili di quelli che coinvolgono la risposta d'insieme del fabbricato; ciò è dovuto all'intrinseca vulnerabilità tipologica delle grandi costruzioni monumentali e dalle proprietà meccaniche della muratura (limitata resistenza a trazione della muratura, difficoltà nella realizzazione di connessioni efficaci tra gli elementi resistenti verticali...).

Il riconoscimento delle modalità di collasso della struttura muraria è agevolato nel caso l'edificio in esame abbia già subito gli effetti di un terremoto o comunque presenti un quadro fessurativo. Attraverso l'analisi della struttura nel suo complesso e dei singoli elementi costruttivi è possibile dunque risalire dagli effetti, le lesioni, alle cause, i meccanismi attivi o di immediata possibile attivazione.

---

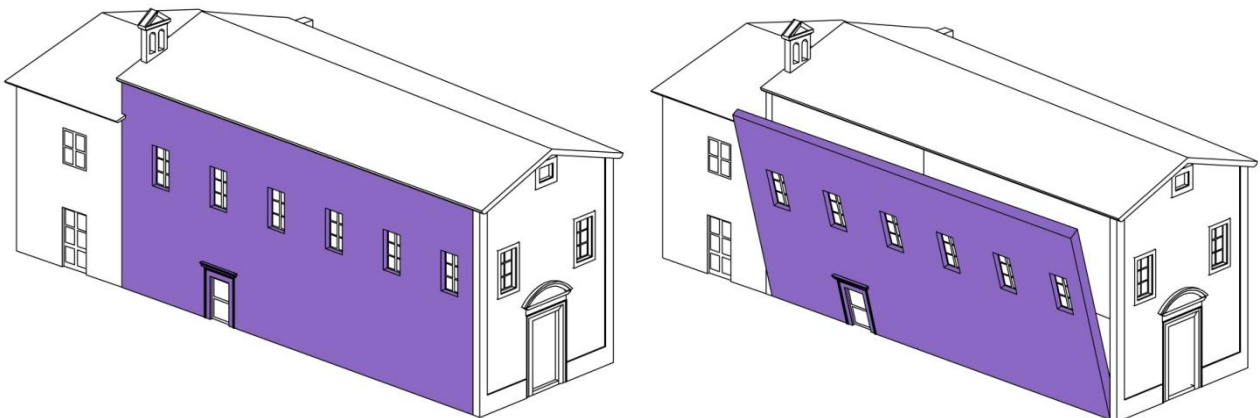
<sup>22</sup> § C8.7.1.1 Circolare 2 febbraio 2009 n. 617

#### 4.2 Meccanismo A: ribaltamento della facciata



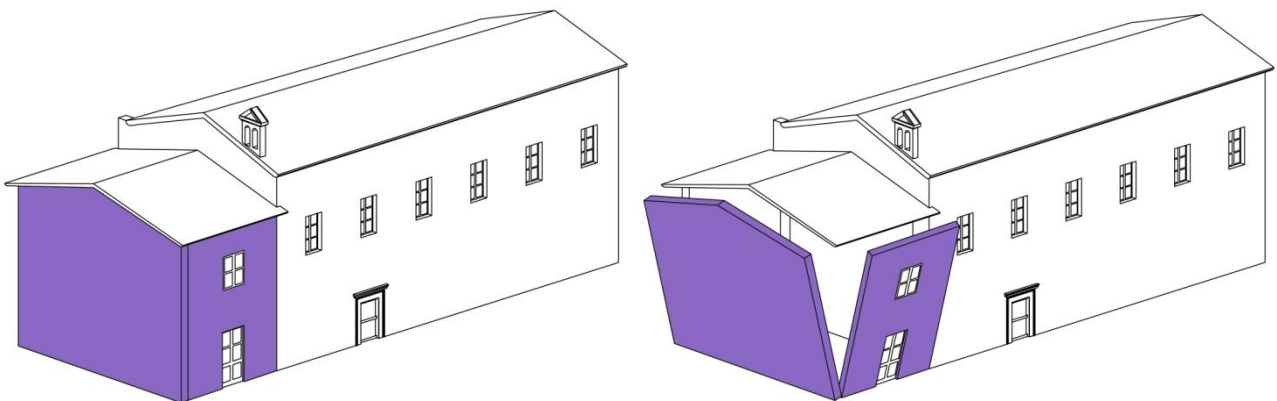
Considerando il pessimo ammassamento tra la facciata ed i muri trasversali, il primo meccanismo possibile è rappresentato dalla rotazione della facciata stessa intorno alla sua base.

#### 4.3 Meccanismo B: ribaltamento delle pareti laterali



Anche per le pareti trasversali, a causa della mancanza di ammassamento con le altre pareti e per l'elevata estensione in lunghezza, il primo meccanismo possibile è rappresentato dalla rotazione della parete stessa intorno alla sua base.

#### 4.4 Meccanismo C: ribaltamento delle pareti della sacrestia



Per quanto riguarda la sacrestia della chiesa, anche in questo caso andrebbero studiati due diversi meccanismi, quello di ribaltamento della parete finestrata e quello di ribaltamento della parete trasversale. Tuttavia, come visto nel capitolo 3, si prevede di inserire in questo vano un nuovo solaio tramite un cordolo in acciaio continuo su tutti e quattro i lati e bullonato alla parete ad un'altezza di 3.32 m e un altro cordolo ad una quota di 6.89 m. La distanza tra i bulloni, risultato delle verifiche riportate nel capitolo 6, è di 0.40 m; considerando i bulloni come dei vincoli ad incastro, questo comporta che l'effettiva possibilità di rotazione delle pareti è legata alla deformazione (allungamento) del solo tratto di 0.40 m del cordolo, il che è talmente limitato da poter essere considerato rigido. Per questa considerazione, risulta inutile studiare il ribaltamento delle pareti della sacrestia.



## 4.5 Calcolo delle accelerazioni di attivazione dei meccanismi di collasso

Per ciascun meccanismo individuato in precedenza è stato stimato il valore dell'accelerazione orizzontale di attivazione, quindi il moltiplicatore orizzontale  $\alpha = \alpha_0$  dei carichi agenti sugli elementi strutturali: questo è dato dal rapporto tra le forze orizzontali applicate e i corrispondenti pesi delle masse presenti che porta all'attivazione del meccanismo locale di collasso considerato.

È stata dunque effettuata un'analisi cinematica: i macroelementi, ovvero le murature oggetto di ribaltamento, sono state considerate come corpi rigidi dei quali è stato studiato l'equilibrio attorno all'asse di rotazione precedentemente individuato. Il calcolo è stato eseguito supponendo per le murature una resistenza a trazione nulla e una resistenza a compressione infinita.

Sono stati infine assunti i seguenti dati:

- Peso per unità di volume delle murature  $\gamma_m = 19 \text{ kN/m}^3$ ;
- Peso della copertura e delle cornici aggettanti  $\gamma_c = 0.8 \text{ kN/m}^2$ ; <sup>23</sup>

Il meccanismo A consiste nel ribaltamento della facciata attorno ad un asse orizzontale posto in corrispondenza della sua base.

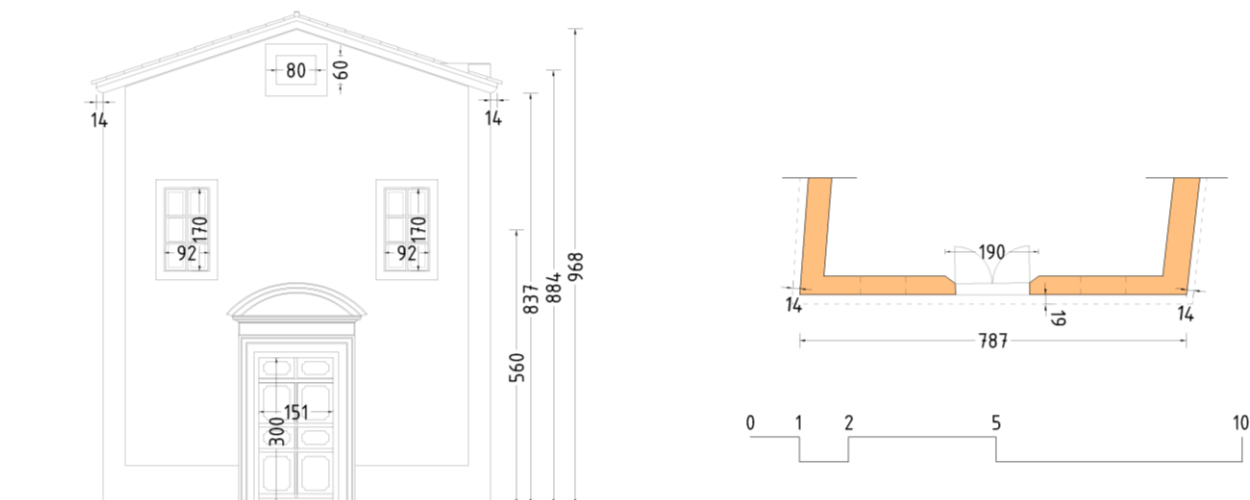
Per la valutazione del moltiplicatore orizzontale  $\alpha = \alpha_0$  sono stati eguagliati i momenti ribaltante e stabilizzante del blocco della facciata rispetto all'asse di rotazione, condizione per cui si ha l'attivazione del meccanismo locale.

È stato definito il seguente sistema di riferimento:

- Origine nell'angolo Nord-Ovest della facciata;
- Asse x appartenente al piano della facciata e diretto verso sud;
- Asse y ortogonale al piano della facciata e diretto verso l'interno dell'edificio;
- Asse z verticale.

Di seguito si evidenziano tutti i dati necessari al fine di studiare il meccanismo locale dell'oggetto, ricavati attraverso le misurazioni effettuate nel rilievo.

Baricentro.



Essendo la facciata simmetrica, l'ascissa del baricentro sarà  $x_G = 3.93 \text{ m}$ .

<sup>23</sup> Il peso della copertura è riferito alla proiezione orizzontale della superficie ed è calcolato con riferimento alla pianta quotata della struttura e degli elementi che la compongono;

Per trovare invece la quota del baricentro, si utilizzerà il  $S_x$  momento statico rispetto l'asse x al netto della parte finestrata.

$$S_x = 7.87 \cdot \frac{(8.37)^2}{2} + 7.87 \cdot \frac{(9.68 - 8.37)}{2} \cdot \left[ \frac{(9.68 - 8.37)}{3} + 8.37 \right] - 0.92 \cdot 1.70 \cdot 5.60 \cdot 2 +$$

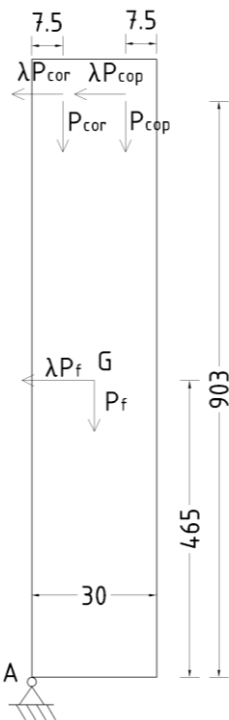
$$- 1.51 \cdot \frac{(3.00)^2}{2} - 0.80 \cdot 0.60 \cdot 8.84 = 292.5159 \text{ m}^3$$

$$A_{facciata} = 7.87 \cdot 8.37 + 7.87 \cdot \frac{(9.68 - 8.37)}{2} - 0.80 \cdot 0.60 - 1.70 \cdot 0.92 \cdot 2 - 1.51 \cdot 3.00$$

$$= 62.8887 \text{ m}^2$$

$$z_G = \frac{S_x}{A_{facciata}} = 4.6513 \text{ m}$$

Carichi.



$$P_{facciata} = A_{facciata} \cdot s \cdot \gamma_{muratura} = 62.8887 \text{ m}^2 \cdot 0.30 \text{ m} \cdot 19 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

$$= 358.4658 \text{ kN}$$

$$P_{cornicione} = (7.87 + 0.14 \cdot 2) \cdot (0.19 + 0.15) \cdot 0.80 = 2.2168 \text{ kN}$$

$$P_{copertura} = (1.50 + 0.15) \cdot (7.87 + 0.14 \cdot 2) \cdot 0.80 = 10.7580 \text{ kN}$$

Momenti.

$$M_{S(A)} = P_{facciata} \cdot \frac{s}{2} + P_{copertura} \cdot (s - d) + P_{cornicione} \cdot d$$

$$= 56.3567 \text{ kNm}$$

$$M_{R(A)} = P_{facciata} \cdot z_G + h_{TOT} \cdot (P_{copertura} + P_{cornicione})$$

$$= 1784.4844 \text{ kNm}$$

Applicando il Principio dei lavori virtuali, la cui espressione generale è

$$\alpha_0 \cdot \left( \sum_{i=1}^n P_i \cdot \delta_{x,i} + \sum_{j=n+1}^{n+m} P_j \cdot \delta_{x,j} \right) - \sum_{i=1}^n P_i \cdot \delta_{y,i} - \sum_{h=1}^0 F_h \cdot \delta_h = L_{fi}^{24}$$

per una rotazione intorno allo spigolo esterno della base si ha il seguente valore del moltiplicatore dei carichi verticali  $\alpha = \alpha_0$  che porta

all'attivazione del meccanismo:

$$\alpha_0 = \frac{M_{S(A)}}{M_{R(A)}} = \frac{56.3567}{1784.4844} = 0.03158$$

La massa partecipante al cinematismo, definita<sup>25</sup> da

<sup>24</sup> § C8A.4.1 Circolare 2 febbraio 2009 n. 617

<sup>25</sup> § C8A.4.3 Circolare 2 febbraio 2009 n. 617

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

risulta pari ha

$$M^* = \frac{[P_{facciata} \cdot z_G + (P_{copertura} + P_{cornicione}) \cdot h_{TOT}]^2}{g \cdot [P_{facciata} \cdot z_G^2 + (P_{copertura} + P_{cornicione}) \cdot h_{TOT}^2]} = \frac{361.3290 \text{ kN}}{g}$$

L'accelerazione spettrale di attivazione del meccanismo<sup>26</sup> viene definita

$$\alpha_0^* = \frac{\alpha_0 \cdot \sum_{i=1}^{n+m} P_i}{M^* \cdot FC}$$

Utilizzando FC fattore di confidenza pari a 1.35 (corrispondente al livello di conoscenza LC1), si ottiene che

$$\alpha_0^* = 0.024g$$

Verifica SLD per il meccanismo A

Come richiesto dalla normativa<sup>27</sup>, affinché la verifica allo stato limite di danno sia soddisfatta, deve essere soddisfatto il requisito

$$\alpha_0^* \geq a_g(P_{VR}) \cdot S$$

Dove

$a_g$  è l'accelerazione al suolo, ovvero lo spettro elastico valutato per  $T = 0$ , espressa dalla probabilità di superamento  $P_{VR}$ ;

$S$  è il fattore di amplificazione definito come  $S = S_S \cdot S_T$ <sup>28</sup>;

Avendo preso come stato limite di riferimento quello di stato limite di danno con probabilità di superamento pari a 63%, si ha che

$$a_g = 0.056g \quad S = 1.80$$

$$\alpha_0^* = 0.024g \geq 0.056g \cdot 1.80 = 0.1008g$$

La verifica non è dunque soddisfatta.

Verifica SLV per il meccanismo A

Come richiesto dalla normativa<sup>29</sup>, affinché la verifica sia soddisfatta, deve essere soddisfatto il requisito

$$\alpha_0^* \geq \frac{a_g(P_{VR}) \cdot S}{q}$$

Dove

<sup>26</sup> § C8A.4.4 Circolare 2 febbraio 2009 n. 617

<sup>27</sup> § C8A.4.2.3 Circolare 2 febbraio 2009 n. 617

<sup>28</sup> § 3.2.3.2.1 NTC 2008

<sup>29</sup> § C8A.4.2.3 Circolare 2 febbraio 2009 n. 617

$a_g$  è l'accelerazione definita a seconda dello stato limite di riferimento espresso dalla probabilità di superamento  $P_{VR}$ ;

$S$  è il fattore di amplificazione definito come  $S = S_S \cdot S_T^{30}$ ;

$q$  è il fattore di struttura;

Avendo preso come stato limite di riferimento quello di salvaguardia della vita SLV con probabilità di superamento pari a 10%, si ha che

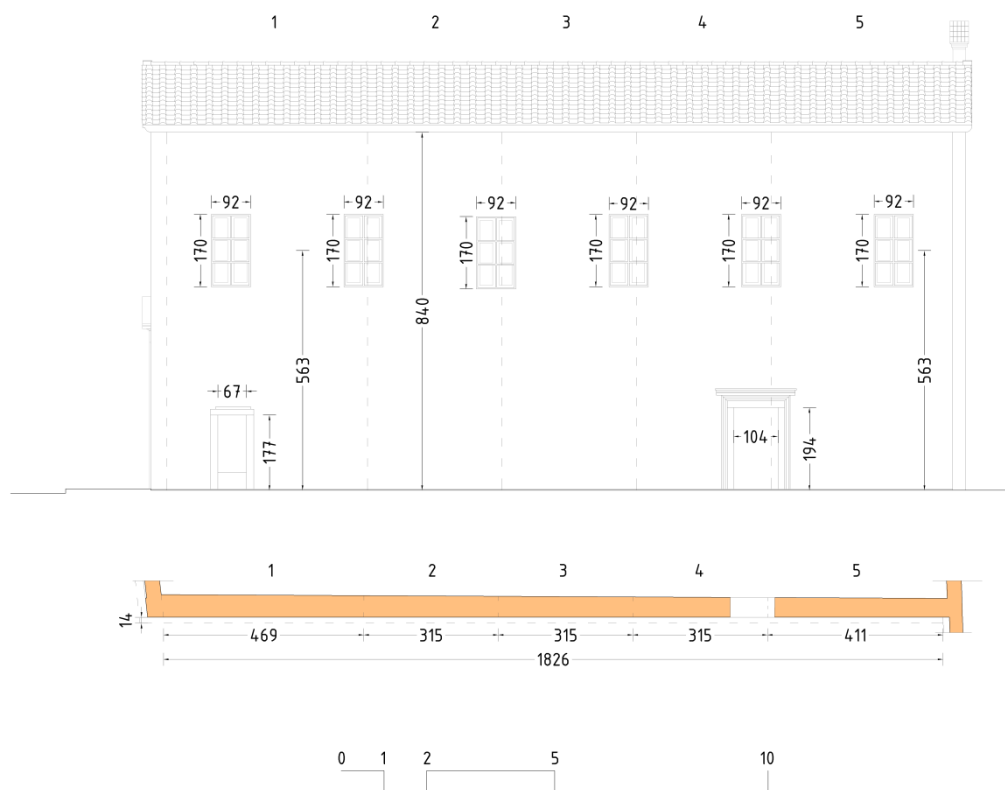
$$a_g = 0.137g \quad S = 1.80 \quad q = 2$$

$$\alpha_0^* = 0.024g \geq \frac{0.137g \cdot 1.80}{2} = 0.1233g$$

La verifica non è dunque soddisfatta.

Si decide quindi come strategia d'intervento di inserire dei tiranti metallici dopo aver effettuato un'analisi cinematica non lineare.

Il meccanismo B consiste nel ribaltamento della parete laterale attorno ad un asse orizzontale posto in corrispondenza della sua base. Essendo la parete in esame lunga 18.26 m (al netto delle pareti ortogonali ad essa) si è scelto, per praticità di calcolo, di dividerla in 5 settori, come illustrato nell'immagine.



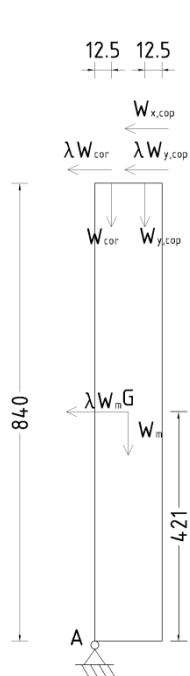
È stato definito il seguente sistema di riferimento:

- Origine nell'angolo Sud-Ovest del settore di parete;
- Asse x appartenente al piano della facciata e diretto verso est;

<sup>30</sup> § 3.2.3.2.1 NTC 2008

- Asse y ortogonale al piano della facciata e diretto verso l'interno dell'edificio;
- Asse z verticale.

Di seguito si evidenziano tutti i dati necessari al fine di studiare il meccanismo locale dell'oggetto, ricavati attraverso le misurazioni effettuate nel rilievo.



Settore 1.

Baricentro

Per trovare la quota del baricentro, si utilizzerà il  $S_x$  momento statico rispetto l'asse x al netto della parte finestrata.

$$S_x = 150.3443 \text{ m}^3$$

$$A_{sett1} = 35.7111 \text{ m}^2$$

$$z_G = \frac{S_x}{A_{sett1}} = 4.21 \text{ m}$$

Carichi.

$$W_{sett1} = A_{sett1} \cdot s \cdot \gamma_{muratura} = 339.2554 \text{ kN}$$

$$W_{cornicione} = 1.4632 \text{ kN}$$

$$W_{copertura} = 10.5734 \text{ kN}$$

Essendo il carico della copertura direzionato con un'angolazione pari a quella della falda (ovvero  $\theta = 21.34^\circ$ ), questo andrà separato in

$$W_{x,copertura} = W_{copertura} \cdot \cos(\theta) = 9.8442 \text{ kN}$$

$$W_{y,copertura} = W_{copertura} \cdot \sin(\theta) = 3.8586 \text{ kN}$$

La divisione nelle due componenti, orizzontale e verticale, del carico della copertura è necessaria in quanto il carico  $W_{x,copertura}$  andrà a sommarsi al  $M_{R(A)}$  momento ribaltante, mentre il carico  $W_{y,copertura}$  andrà a sommarsi al  $M_{S(A)}$  momento stabilizzante, moltiplicato per  $\alpha_0$ , al  $M_{R(A)}$  momento ribaltante.

Momenti.

$$M_{S(A)} = W_{sett1} \cdot \frac{s}{2} + W_{y,copertura} \cdot (s - d) + W_{cornicione} \cdot d = 86.4437 \text{ kNm}$$

$$M_{R(A)} = W_{sett1} \cdot z_G + h_{TOT} \cdot (W_{y,copertura} + W_{cornicione}) = 1472.9743 \text{ kNm}$$

Applicando il Principio dei lavori virtuali, per una rotazione intorno allo spigolo esterno della base si ha il seguente valore del moltiplicatore dei carichi verticali  $\alpha = \alpha_0$  che porta all'attivazione del meccanismo:

$$\alpha_0 = \frac{M_{S(A)} - W_{x,copertura} \cdot h_{TOT}}{M_{R(A)}} = 0.0025$$

La massa partecipante al cinematismo risulta pari ha

$$M^* = \frac{340.8452 \text{ kN}}{g}$$

L'accelerazione spettrale di attivazione del meccanismo risulta quindi pari a

$$\alpha_0^* = 0.0019g$$

Verifica SLD per il meccanismo B-1

Come richiesto dalla normativa<sup>31</sup>, affinché la verifica allo stato limite di danno sia soddisfatta, deve essere soddisfatto il requisito

$$\alpha_0^* \geq a_g(P_{VR}) \cdot S$$

Avendo preso come stato limite di riferimento quello di stato limite di danno con probabilità di superamento pari a 63%, si ha che

$$a_g = 0.056g \quad S = 1.80$$
$$\alpha_0^* = 0.0019g \geq 0.056g \cdot 1.80 = 0.1008g$$

La verifica non è dunque soddisfatta.

Verifica SLV per il meccanismo B-1

Come richiesto dalla normativa<sup>32</sup>, affinché la verifica sia soddisfatta, deve essere soddisfatto il requisito

$$\alpha_0^* \geq \frac{a_g(P_{VR}) \cdot S}{q}$$

Avendo preso come stato limite di riferimento quello di salvaguardia della vita SLV con probabilità di superamento pari a 10%, si ha che

$$a_g = 0.137g \quad S = 1.80 \quad q = 2$$
$$\alpha_0^* = 0.0019g \geq \frac{0.137g \cdot 1.80}{2} = 0.1233g$$

La verifica non è dunque soddisfatta.

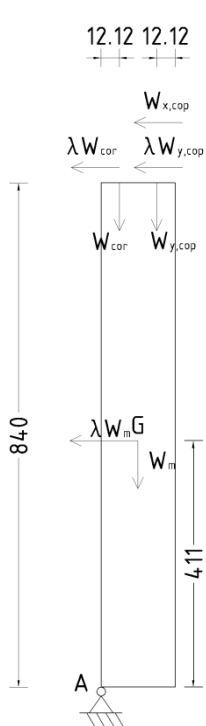
Si decide quindi come strategia d'intervento di inserire dei tiranti metallici dopo aver effettuato un'analisi cinematica non lineare.

---

<sup>31</sup> § C8A.4.2.3 Circolare 2 febbraio 2009 n. 617

<sup>32</sup> § C8A.4.2.3 Circolare 2 febbraio 2009 n. 617





Settore 2.  
Baricentro

$$S_x = 101.9438 \text{ m}^3$$

$$A_{sett2} = 24.828 \text{ m}^2$$

$$z_G = \frac{S_x}{A_{sett2}} = 4.106 \text{ m}$$

Carichi.

$$W_{sett2} = A_{sett2} \cdot s \cdot \gamma_{muratura} = 228.79 \text{ kN}$$

$$W_{cornicione} = 0.9639 \text{ kN}$$

$$W_{copertura} = 7.0448 \text{ kN}$$

Essendo il carico della copertura direzionato con un'angolazione pari a quella della falda (ovvero  $\theta = 21.40^\circ$ ), questo andrà separato in

$$W_{x,copertura} = W_{copertura} \cdot \cos(\theta) = 6.5627 \text{ kN}$$

$$W_{y,copertura} = W_{copertura} \cdot \sin(\theta) = 2.5723 \text{ kN}$$

La divisione nelle due componenti, orizzontale e verticale, del carico della copertura è necessaria in quanto il carico  $W_{x,copertura}$  andrà a sommarsi al  $M_{R(A)}$  momento ribaltante, mentre il carico  $W_{y,copertura}$  andrà a sommarsi al  $M_{S(A)}$  momento stabilizzante, moltiplicato per  $\alpha_0$ , al  $M_{R(A)}$  momento ribaltante.

Momenti.

$$M_{S(A)} = W_{sett2} \cdot \frac{s}{2} + W_{y,copertura} \cdot (s - d) + W_{cornicione} \cdot d = 56.5341 \text{ kNm}$$

$$M_{R(A)} = W_{sett2} \cdot z_G + h_{TOT} \cdot (W_{y,copertura} + W_{cornicione}) = 969.1166 \text{ kNm}$$

Applicando il Principio dei lavori virtuali, per una rotazione intorno allo spigolo esterno della base si ha il seguente valore del moltiplicatore dei carichi verticali  $\alpha = \alpha_0$  che porta all'attivazione del meccanismo:

$$\alpha_0 = \frac{M_{S(A)} - W_{x,copertura} \cdot h_{TOT}}{M_{R(A)}} = 0.0014$$

La massa partecipante al cinematismo risulta pari ha

$$M^* = \frac{229.1597 \text{ kN}}{g}$$

L'accelerazione spettrale di attivazione del meccanismo risulta quindi pari a

$$\alpha_0^* = 0.0011g$$

Verifica SLD per il meccanismo B-2

Come richiesto dalla normativa<sup>33</sup>, affinché la verifica allo stato limite di danno sia soddisfatta, deve essere soddisfatto il requisito

$$\alpha_0^* \geq a_g(P_{VR}) \cdot S$$

Si ha quindi

$$\alpha_0^* = 0.0011g \geq 0.056g \cdot 1.80 = 0.1008g$$

La verifica non è dunque soddisfatta.

Verifica SLV per il meccanismo B-2

Come richiesto dalla normativa<sup>34</sup>, affinché la verifica sia soddisfatta, deve essere soddisfatto il requisito

$$\alpha_0^* \geq \frac{a_g(P_{VR}) \cdot S}{q}$$

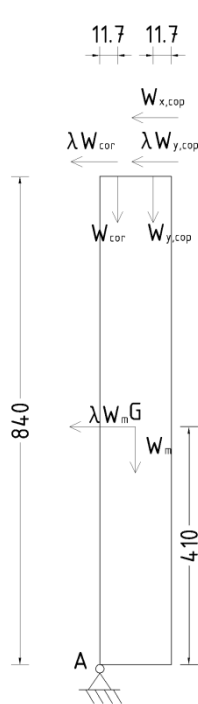
Avendo preso come stato limite di riferimento quello di salvaguardia della vita SLV con probabilità di superamento pari a 10%, si ha che

$$a_g = 0.137g \quad S = 1.80 \quad q = 2$$

$$\alpha_0^* = 0.0011g \geq \frac{0.137g \cdot 1.80}{2} = 0.1233g$$

La verifica non è dunque soddisfatta.

Si decide quindi come strategia d'intervento di inserire dei tiranti metallici dopo aver effettuato un'analisi cinematica non lineare.



Settore 3.  
Baricentro

$$S_x = 101.8481 \text{ m}^3$$

$$A_{sett3} = 24.811 \text{ m}^2$$

$$z_G = \frac{S_x}{A_{sett3}} = 4.105 \text{ m}$$

Carichi.

$$W_{sett3} = A_{sett3} \cdot s \cdot \gamma_{muratura} = 220.6194 \text{ kN}$$

$$W_{cornicione} = 0.9424 \text{ kN}$$

$$W_{copertura} = 6.7054 \text{ kN}$$

Essendo il carico della copertura direzionato con un'angolazione pari a quella della falda (ovvero  $\theta = 18,40^\circ$ ), questo andrà separato in

$$W_{x,copertura} = W_{copertura} \cdot \cos(\theta) = 6.2330 \text{ kN}$$

$$W_{y,copertura} = W_{copertura} \cdot \sin(\theta) = 2.4470 \text{ kN}$$

La divisione nelle due componenti, orizzontale e verticale, del carico della copertura è necessaria in quanto il carico  $W_{x,copertura}$  andrà a sommarsi al  $M_{R(A)}$  momento ribaltante, mentre il carico  $W_{y,copertura}$  andrà a sommarsi al  $M_{S(A)}$  momento stabilizzante, moltiplicato per  $\alpha_0$ , al  $M_{R(A)}$  momento ribaltante.

<sup>33</sup> § C8A.4.2.3 Circolare 2 febbraio 2009 n. 617

<sup>34</sup> § C8A.4.2.3 Circolare 2 febbraio 2009 n. 617

Momenti.

$$M_{S(A)} = W_{sett3} \cdot \frac{s}{2} + W_{y,copertura} \cdot (s - d) + W_{cornicione} \cdot d = 52.5941 \text{ kNm}$$

$$M_{R(A)} = W_{sett3} \cdot z_G + h_{TOT} \cdot (W_{y,copertura} + W_{cornicione}) = 934.1052 \text{ kNm}$$

Applicando il Principio dei lavori virtuali, per una rotazione intorno allo spigolo esterno della base si ha il seguente valore del moltiplicatore dei carichi verticali  $\alpha = \alpha_0$  che porta all'attivazione del meccanismo:

$$\alpha_0 = \frac{M_{S(A)} - W_{x,copertura} \cdot h_{TOT}}{M_{R(A)}} = 0.00016$$

La massa partecipante al cinematismo risulta pari ha

$$M^* = \frac{220.9560 \text{ kN}}{g}$$

L'accelerazione spettrale di attivazione del meccanismo risulta quindi pari a

$$\alpha_0^* = 0.0001g$$

Verifica SLD per il meccanismo B-3

Come richiesto dalla normativa<sup>35</sup>, affinché la verifica allo stato limite di danno sia soddisfatta, deve essere soddisfatto il requisito

$$\alpha_0^* \geq a_g(P_{VR}) \cdot S$$

Si ha quindi

$$\alpha_0^* = 0.0001g \geq 0.056g \cdot 1.80 = 0.1008g$$

La verifica non è dunque soddisfatta.

Verifica SLV per il meccanismo B-3

Come richiesto dalla normativa<sup>36</sup>, affinché la verifica sia soddisfatta, deve essere soddisfatto il requisito

$$\alpha_0^* \geq \frac{a_g(P_{VR}) \cdot S}{q}$$

Avendo preso come stato limite di riferimento quello di salvaguardia della vita SLV con probabilità di superamento pari a 10%, si ha che

$$a_g = 0.137g \quad S = 1.80 \quad q = 2$$

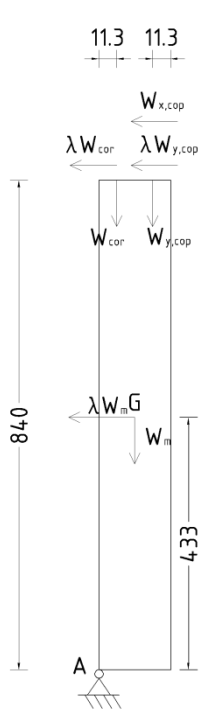
$$\alpha_0^* = 0.0001g \geq \frac{0.137g \cdot 1.80}{2} = 0.1233g$$

<sup>35</sup> § C8A.4.2.3 Circolare 2 febbraio 2009 n. 617

<sup>36</sup> § C8A.4.2.3 Circolare 2 febbraio 2009 n. 617

La verifica non è dunque soddisfatta.

Si decide quindi come strategia d'intervento di inserire dei tiranti metallici dopo aver effettuato un'analisi cinematica non lineare.



Settore 4.  
Baricentro

$$S_x = 100.2109 \text{ m}^3$$

$$A_{sett4} = 23.1232 \text{ m}^2$$

$$z_G = \frac{S_x}{A_{sett4}} = 4.3337 \text{ m}$$

Carichi.

$$W_{sett4} = A_{sett4} \cdot s \cdot \gamma_{muratura} = 199.0213 \text{ kN}$$

$$W_{cornicione} = 0.9235 \text{ kN}$$

$$W_{copertura} = 5.8020 \text{ kN}$$

Essendo il carico della copertura direzionato con un'angolazione pari a quella della falda (ovvero  $\theta = 21.40^\circ$ ), questo andrà separato in

$$W_{x,copertura} = W_{copertura} \cdot \cos(\theta) = 5.4019 \text{ kN}$$

$$W_{y,copertura} = W_{copertura} \cdot \sin(\theta) = 2.1173 \text{ kN}$$

La divisione nelle due componenti, orizzontale e verticale, del carico della copertura è necessaria in quanto il carico  $W_{x,copertura}$  andrà a sommarsi al  $M_{R(A)}$  momento ribaltante, mentre il carico  $W_{y,copertura}$  andrà a sommarsi al  $M_{S(A)}$  momento stabilizzante, moltiplicato per  $\alpha_0$ , al  $M_{R(A)}$  momento ribaltante.

Momenti.

$$M_{S(A)} = W_{sett4} \cdot \frac{s}{2} + W_{y,copertura} \cdot (s - d) + W_{cornicione} \cdot d = 45.9022 \text{ kNm}$$

$$M_{R(A)} = W_{sett4} \cdot z_G + h_{TOT} \cdot (W_{y,copertura} + W_{cornicione}) = 888.0593 \text{ kNm}$$

Applicando il Principio dei lavori virtuali, per una rotazione intorno allo spigolo esterno della base si ha il seguente valore del moltiplicatore dei carichi verticali  $\alpha = \alpha_0$  che porta all'attivazione del meccanismo:

$$\alpha_0 = \frac{M_{S(A)} - W_{x,copertura} \cdot h_{TOT}}{M_{R(A)}} = 0.00059$$

La massa partecipante al cinematiso risulta pari ha

$$M^* = \frac{200.4932 \text{ kN}}{g}$$

L'accelerazione spettrale di attivazione del meccanismo risulta quindi pari a

$$\alpha_0^* = 0.0005g$$

Verifica SLD per il meccanismo B-4

Come richiesto dalla normativa<sup>37</sup>, affinché la verifica allo stato limite di danno sia soddisfatta, deve essere soddisfatto il requisito

$$\alpha_0^* \geq a_g(P_{VR}) \cdot S$$

Si ha quindi

$$\alpha_0^* = 0.0005g \geq 0.056g \cdot 1.80 = 0.1008g$$

La verifica non è dunque soddisfatta.

Verifica SLV per il meccanismo B-4

Come richiesto dalla normativa<sup>38</sup>, affinché la verifica sia soddisfatta, deve essere soddisfatto il requisito

$$\alpha_0^* \geq \frac{a_g(P_{VR}) \cdot S}{q}$$

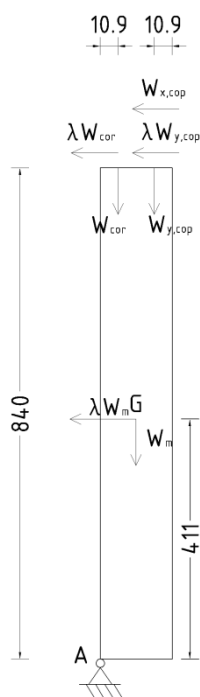
Avendo preso come stato limite di riferimento quello di salvaguardia della vita SLV con probabilità di superamento pari a 10%, si ha che

$$a_g = 0.137g \quad S = 1.80 \quad q = 2$$

$$\alpha_0^* = 0.0005g \geq \frac{0.137g \cdot 1.80}{2} = 0.1233g$$

La verifica non è dunque soddisfatta.

Si decide quindi come strategia d'intervento di inserire dei tiranti metallici dopo aver effettuato un'analisi cinematica non lineare.



Settore 5.  
Baricentro

$$S_x = 133.6930 \text{ m}^3$$

$$A_{sett5} = 32.2586 \text{ m}^2$$

$$z_G = \frac{S_x}{A_{sett5}} = 4.1444 \text{ m}$$

Carichi.

$$W_{sett5} = A_{sett5} \cdot s \cdot \gamma_{muratura} = 267.8431 \text{ kN}$$

$$W_{cornicione} = 1.1787 \text{ kN}$$

$$W_{copertura} = 7.5527 \text{ kN}$$

Essendo il carico della copertura direzionato con un'angolazione pari a quella della falda (ovvero  $\theta = 21.40^\circ$ ), questo andrà separato in

$$W_{x,copertura} = W_{copertura} \cdot \cos(\theta) = 7.0318 \text{ kN}$$

$$W_{y,copertura} = W_{copertura} \cdot \sin(\theta) = 2.7562 \text{ kN}$$

<sup>37</sup> § C8A.4.2.3 Circolare 2 febbraio 2009 n. 617

<sup>38</sup> § C8A.4.2.3 Circolare 2 febbraio 2009 n. 617



La divisione nelle due componenti, orizzontale e verticale, del carico della copertura è necessaria in quanto il carico  $W_{x, \text{copertura}}$  andrà a sommarsi al  $M_{R(A)}$  momento ribaltante, mentre il carico  $W_{y, \text{copertura}}$  andrà a sommarsi al  $M_{S(A)}$  momento stabilizzante, moltiplicato per  $\alpha_0$ , al  $M_{R(A)}$  momento ribaltante.

Momenti.

$$M_{S(A)} = W_{\text{sett5}} \cdot \frac{s}{2} + W_{y, \text{copertura}} \cdot (s - d) + W_{\text{cornicione}} \cdot d = 59.5558 \text{ kNm}$$

$$M_{R(A)} = W_{\text{sett5}} \cdot z_G + h_{TOT} \cdot (W_{y, \text{copertura}} + W_{\text{cornicione}}) = 1143.1071 \text{ kNm}$$

Applicando il Principio dei lavori virtuali, per una rotazione intorno allo spigolo esterno della base si ha il seguente valore del moltiplicatore dei carichi verticali  $\alpha = \alpha_0$  che porta all'attivazione del meccanismo:

$$\alpha_0 = \frac{M_{S(A)} - W_{x, \text{copertura}} \cdot h_{TOT}}{M_{R(A)}} = 0.00043$$

La massa partecipante al cinematismo risulta pari ha

$$M^* = \frac{2684557 \text{ kN}}{g}$$

L'accelerazione spettrale di attivazione del meccanismo risulta quindi pari a

$$\alpha_0^* = 0.0003g$$

Verifica SLD per il meccanismo B-5

Come richiesto dalla normativa<sup>39</sup>, affinché la verifica allo stato limite di danno sia soddisfatta, deve essere soddisfatto il requisito

$$\alpha_0^* \geq a_g(P_{VR}) \cdot S$$

Si ha quindi

$$\alpha_0^* = 0.0003g \geq 0.056g \cdot 1.80 = 0.1008g$$

La verifica non è dunque soddisfatta.

Verifica SLV per il meccanismo B-5

Come richiesto dalla normativa<sup>40</sup>, affinché la verifica sia soddisfatta, deve essere soddisfatto il requisito

$$\alpha_0^* \geq \frac{a_g(P_{VR}) \cdot S}{q}$$

<sup>39</sup> § C8A.4.2.3 Circolare 2 febbraio 2009 n. 617

<sup>40</sup> § C8A.4.2.3 Circolare 2 febbraio 2009 n. 617

Avendo preso come stato limite di riferimento quello di salvaguardia della vita SLV con probabilità di superamento pari a 10%, si ha che

$$a_g = 0.137g \quad S = 1.80 \quad q = 2$$
$$\alpha_0^* = 0.0011g \geq \frac{0.137g \cdot 1.80}{2} = 0.1233g$$

La verifica non è dunque soddisfatta.

Si decide quindi come strategia d'intervento di inserire dei tiranti metallici dopo aver effettuato un'analisi cinematica non lineare.

## 5. ANALISI CINEMATICA NON LINEARE

### 5.1 Premessa

Per ogni meccanismo locale di collasso è stata effettuata un'analisi cinematica non lineare: è stata così calcolata la capacità di rotazione di ciascun blocco dall'attivazione del cinematismo, che avviene per le accelerazioni spettrali  $\alpha_0^*$  calcolate nel capitolo precedente, fino al collasso.

Per ogni cinematismo A è stata considerata una serie di rotazioni finite ciascuna di  $\Delta\theta = 0.5^\circ$ , mentre per i cinematismi B di  $\Delta\theta = 0.02^\circ$  per via dei bassi valori di  $\alpha_0^*$  ottenuti dalla precedente analisi. Per ognuno di questi stati è stato trovato, attraverso un calcolo analogo a quello precedentemente svolto ma utilizzando per ogni step la nuova distanza relativa tra il punto di rotazione e il punto di applicazione del carico, il corrispondente moltiplicatore orizzontale dei carichi verticali  $\alpha$ , fino a trovare la rotazione per cui il moltiplicatore risultava nullo. In questo caso ( $\alpha_u^* = 0$ ) si ha quindi il collasso.

Per effettuare tale procedimento è stato utilizzato un foglio di calcolo Excel; i risultati dell'analisi sono rappresentati nelle pagine seguenti attraverso grafici che mostrano la relazione tra l'accelerazione spettrale  $\alpha^*$  e la rotazione  $\theta$  intorno all'asse individuato nel capitolo precedente.

L'analisi è stata eseguita per tutti i meccanismi illustrati nel capitolo precedente.

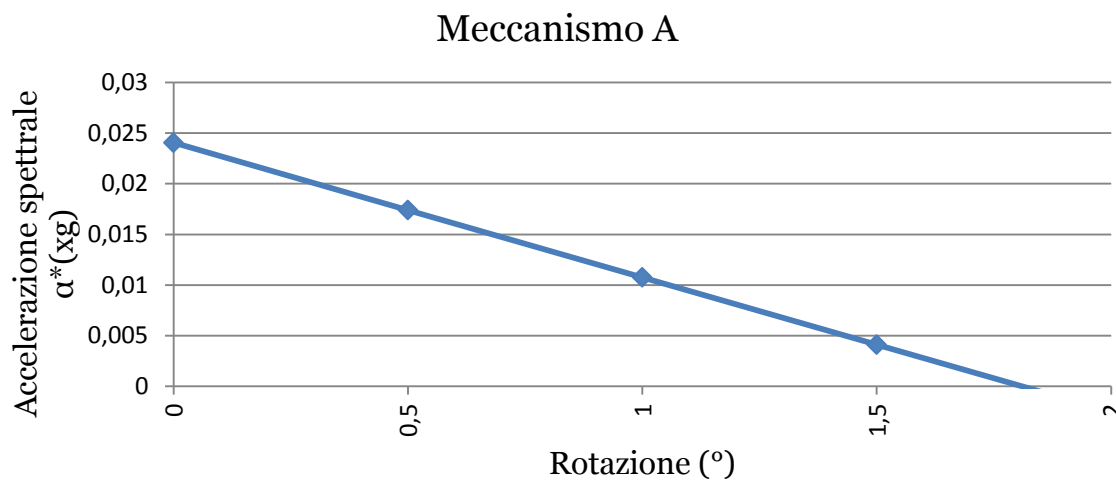
## 5.2 Capacità di rotazione relativa ai meccanismi A e B

### Meccanismo A

Dal diagramma seguente si possono ricavare la resistenza e la capacità di spostamento relative all'attivazione del meccanismo di rotazione ed al collasso della facciata.

Il grafico è stato ottenuto calcolando l'accelerazione spettrale  $\alpha^*$  con il procedimento spiegato nel capitolo precedente per diverse fasi della rotazione del blocco; ciascuna fase corrispondeva all'applicazione di una rotazione finita di  $\Delta\theta = 0.5^\circ$ .

Per  $\Delta\theta = 0^\circ$  (attivazione del meccanismo) è stato ottenuto lo stesso risultato dell'analisi statica.



L'intersezione con l'asse delle ordinate (rotazione  $\theta$  nulla) fornisce il valore di accelerazione spettrale necessario per l'attivazione del meccanismo:

$$\alpha_0^* = 0.024g$$

L'intersezione con l'asse delle ascisse (che si ha per  $\alpha_u^* = 0$ ) rappresenta la situazione di collasso:

$$\theta = 1.808^\circ$$

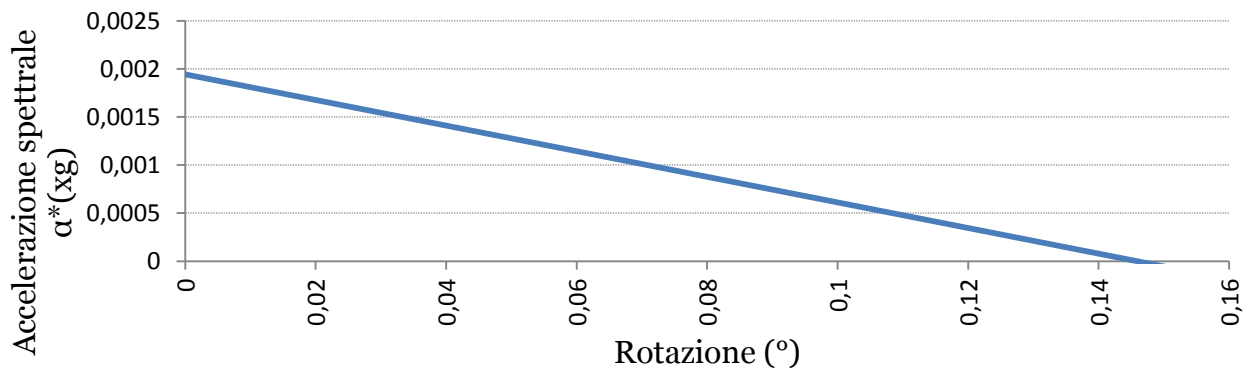
### Meccanismo B

Dai diagrammi seguenti si possono ricavare la resistenza e la capacità di spostamento relative all'attivazione del meccanismo di rotazione ed al collasso della parete laterale.

Il grafico è stato ottenuto calcolando l'accelerazione spettrale  $\alpha^*$  con il procedimento spiegato nel capitolo precedente per diverse fasi della rotazione del blocco; ciascuna fase corrispondeva all'applicazione di una rotazione finita di  $\Delta\theta = 0.02^\circ$ .

Per  $\Delta\theta = 0^\circ$  (attivazione del meccanismo) è stato ottenuto lo stesso risultato dell'analisi statica.

### Meccanismo B-1



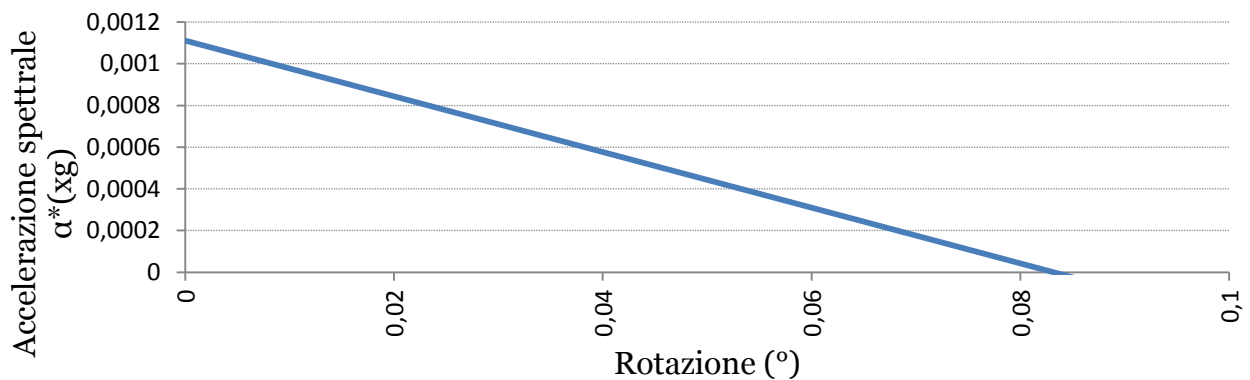
L'intersezione con l'asse delle ordinate (rotazione  $\theta$  nulla) fornisce il valore di accelerazione spettrale necessario per l'attivazione del meccanismo:

$$\alpha_0^* = 0.0019g$$

L'intersezione con l'asse delle ascisse (che si ha per  $\alpha_u^* = 0$ ) rappresenta la situazione di collasso:

$$\theta = 0.146^\circ$$

### Meccanismo B-2



L'intersezione con l'asse delle ordinate (rotazione  $\theta$  nulla) fornisce il valore di accelerazione spettrale necessario per l'attivazione del meccanismo:

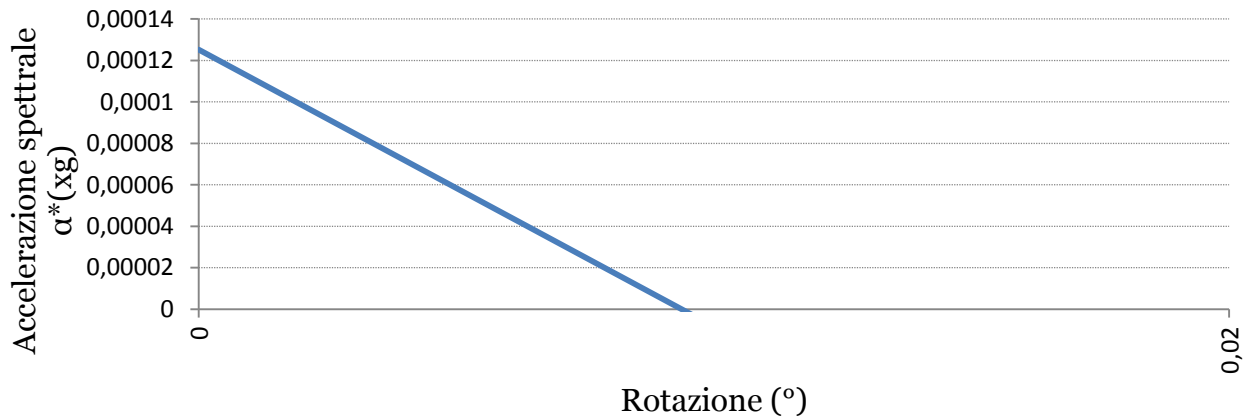
$$\alpha_0^* = 0.0011g$$

L'intersezione con l'asse delle ascisse (che si ha per  $\alpha_u^* = 0$ ) rappresenta la situazione di collasso:

$$\theta = 0.083^\circ$$



### Meccanismo B-3



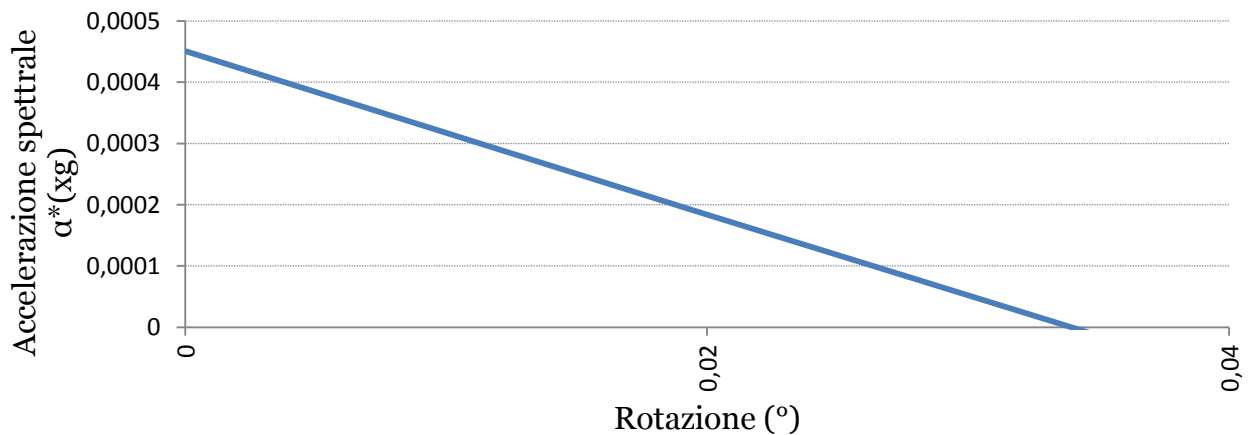
L'intersezione con l'asse delle ordinate (rotazione  $\theta$  nulla) fornisce il valore di accelerazione spettrale necessario per l'attivazione del meccanismo:

$$\alpha_0^* = 0.00013g$$

L'intersezione con l'asse delle ascisse (che si ha per  $\alpha_u^* = 0$ ) rappresenta la situazione di collasso:

$$\theta = 0.009^\circ$$

### Meccanismo B-4



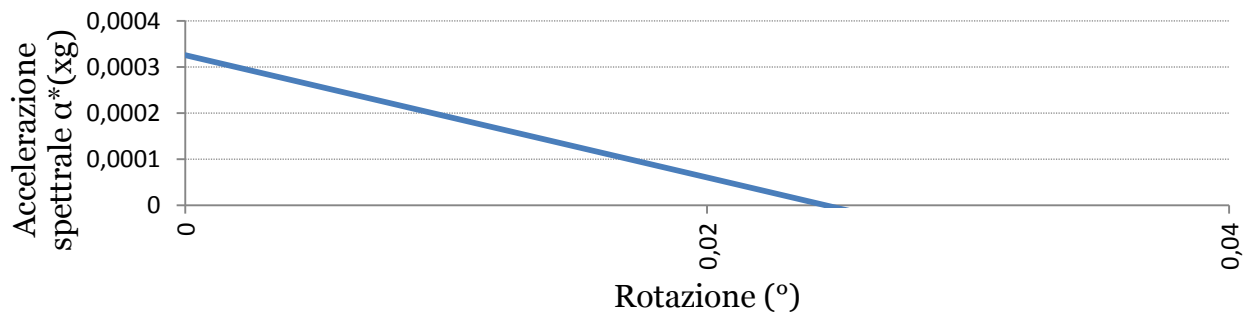
L'intersezione con l'asse delle ordinate (rotazione  $\theta$  nulla) fornisce il valore di accelerazione spettrale necessario per l'attivazione del meccanismo:

$$\alpha_0^* = 0.00045g$$

L'intersezione con l'asse delle ascisse (che si ha per  $\alpha_u^* = 0$ ) rappresenta la situazione di collasso:

$$\theta = 0.034^\circ$$

## Meccanismo B-5



L'intersezione con l'asse delle ordinate (rotazione  $\theta$  nulla) fornisce il valore di accelerazione spettrale necessario per l'attivazione del meccanismo:

$$\alpha_0^* = 0.00032g$$

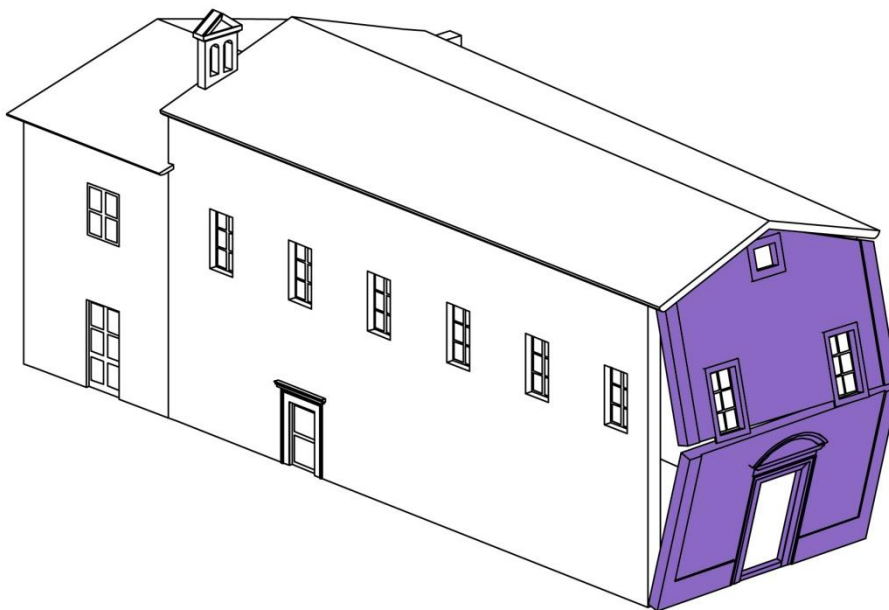
L'intersezione con l'asse delle ascisse (che si ha per  $\alpha_u^* = 0$ ) rappresenta la situazione di collasso:

$$\theta = 0.025^\circ$$

### 5.3 Consolidamento tramite inserimento di catene

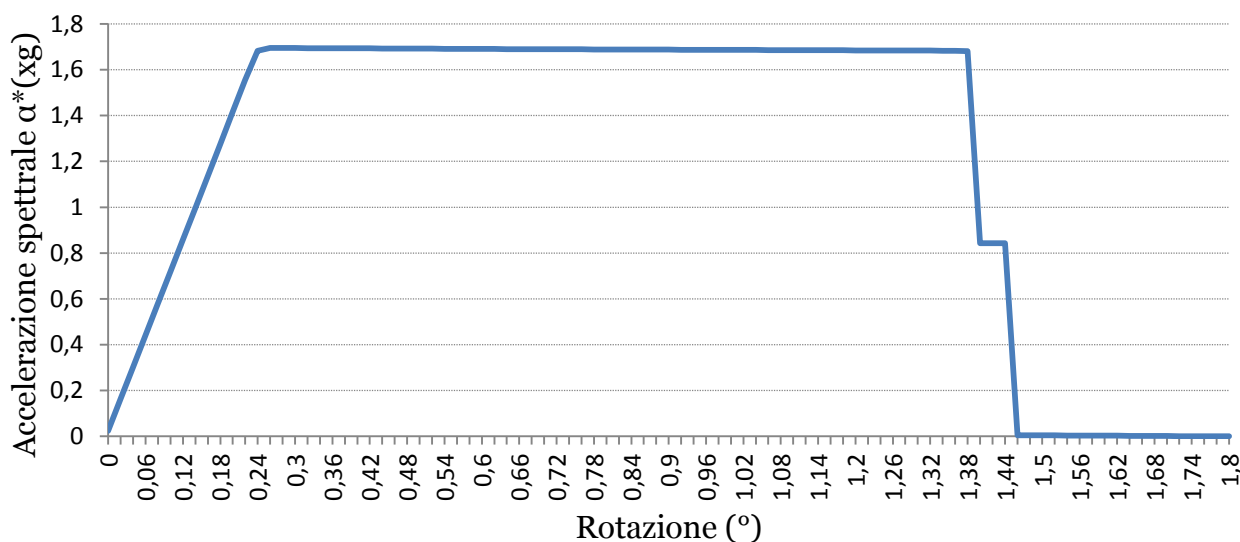
#### Meccanismo A

In un'ottica di miglioramento della risposta al sisma dell'edificio, si è scelto in un primo momento di inserire una coppia di catene in modo che costituiscano un efficace vincolo al ribaltamento della facciata; tuttavia l'inserimento di due sole catene in sommità della facciata, a causa dell'altezza della parete stessa, avrebbe potuto determinare l'attivazione di un nuovo meccanismo, come illustrato in figura.

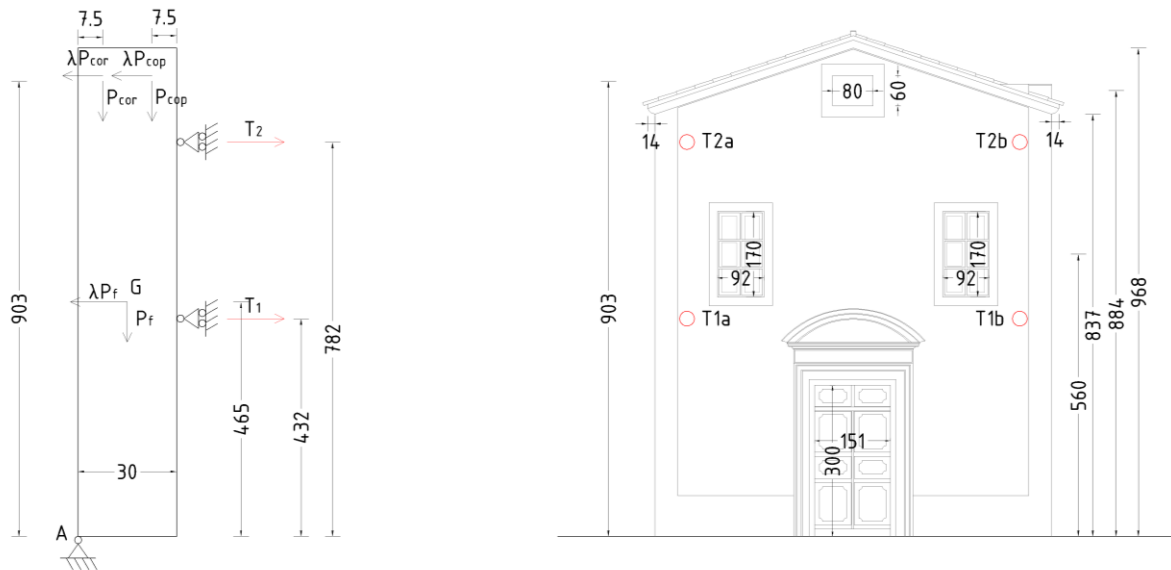


Inoltre, come illustrato nel grafico seguente, l'aggiunta di due sole catene non determina una migioria sostanziosa per la parete. Infatti, sebbene l'accelerazione  $\alpha^*$  di attivazione del meccanismo sia molto più elevata per rotazioni della parete ridotte, il beneficio delle catene tende ad annullarsi presto e la loro presenza non amplia il range rotazionale della parete.

#### Meccanismo A



Si è scelto quindi di inserire due coppie di catene in modo che costituiscano un efficace vincolo al ribaltamento della facciata.



Le quattro catene da inserire saranno posizionate a due diverse altezze, scelte in modo che la loro presenza non risulti troppo invasiva, in particolar modo affinché non compromettano la vista degli elementi di pregio interni dell'edificio (soffitto ligneo cassettonato). Essendo le pareti dell'edificio non parallele tra di loro, inoltre, esse avranno lunghezze diverse, come illustrato nella seguente tabella.

	T1a	T1b	T2a	T2b
Quota (m)	+4.32	+4.32	+7.82	+7.82
Lunghezza (m)	19.67	19.11	19.67	19.11

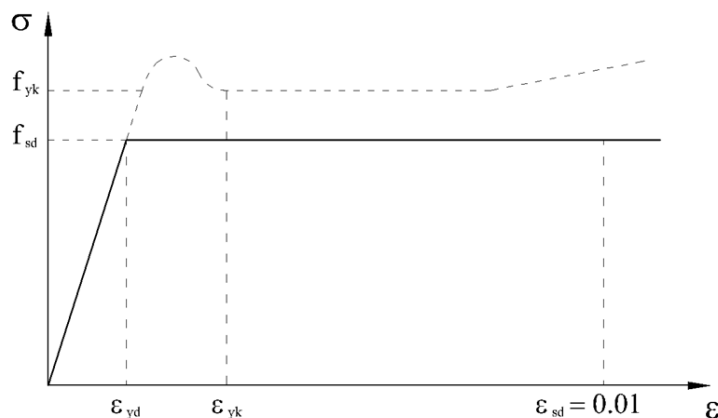
Si è scelto di utilizzare barre a sezione circolare di diametro  $\varphi = 3 \text{ cm}$ , quindi di sezione  $A = 1.5^2\pi = 7.069 \text{ cm}^2$ .

Come materiale è stato scelto l'acciaio S355, scegliendo di rappresentarlo nei calcoli con un modello elastico perfettamente plastico.

Le proprietà del materiale sono:

$$E = 2.1 \cdot 10^6 \text{ daN/cm}^2$$

$$f_{yd} = 3550 \text{ daN/cm}^2$$



Si possono quindi individuare tre fasi di comportamento delle catene: la fase elastica, la fase perfettamente plastica e la rottura che avviene per deformazioni  $\epsilon_{sd} \geq 1\%$ .

Fase elastica  $\varepsilon \leq \varepsilon_{yd}$ :

si ricava la deformazione di snervamento, relativa alla lunghezza delle catene:

$$\begin{aligned}\sigma &= E\varepsilon \rightarrow 3550 = 2.1 \cdot 10^6 \varepsilon_{yd} \quad \text{ma} \quad \varepsilon = \Delta L/L \\ &\text{per le catene T1a e T2a} \quad \Delta L_{sa} = 3.32 \text{ cm} \\ &\text{per le catene T1b e T2b} \quad \Delta L_{sb} = 3.23 \text{ cm}\end{aligned}$$

Quindi fino a spostamenti dei punti in cui sono vincolati i capichiave inferiori a quelli limite trovati, le catene si trovano in fase elastica. Le reazioni esercitate sono esplicitate dall'equazione:

$$\sigma = \frac{N}{A} = E\varepsilon \rightarrow N = EA\varepsilon$$

da cui è possibile ricavare il legame tra la reazione esercitata da ciascuna catena e lo spostamento del capo chiave delle catene in esame:

$$\begin{aligned}\text{per le catene T1a e T2a} \quad N_a &= 7544.08 \cdot \Delta L \\ \text{per le catene T1b e T2b} \quad N_b &= 7765,82 \cdot \Delta L \\ &\text{in cui } N \text{ è espresso in } daN \text{ e } \Delta L \text{ in } cm\end{aligned}$$

Fase perfettamente plastica  $\varepsilon_{yd} < \varepsilon < \varepsilon_{sd}$

In fase plastica le catene reagiscono sempre con lo stesso sforzo, qualunque sia il valore dello spostamento

$$N = f_{yd} \cdot A = 25093.47 \text{ daN}$$

Rottura della catena  $\varepsilon > \varepsilon_{sd}$

La rottura di ciascuna catena avviene per uno spostamento del capochiave che rappresenti una deformazione percentuale dell'1% della lunghezza totale, e quindi abbiamo

$$\begin{aligned}\Delta L_a &= 19.67 \text{ cm} \\ \Delta L_b &= 19.11 \text{ cm}\end{aligned}$$

Con questi dati è stata effettuata un'ulteriore analisi non lineare per il meccanismo locale di ribaltamento della facciata. Sono stati considerati step di rotazione molto più piccoli di quelli utilizzati nei calcoli precedenti al fine di individuare con maggior precisione il passaggio da una fase all'altra per ogni catena: come visto nei calcoli precedenti, il passaggio dalla fase elastica a quella perfettamente plastica avviene per uno spostamento molto piccolo (poco più di 3 cm). È stato quindi scelto di utilizzare rotazioni di  $\Delta\theta = 0.02^\circ$ . Per una rotazione  $\Delta\theta = 0^\circ$  non si ha spostamento dei capichiave delle catene e quindi i risultati sono identici a quelli svolti nel paragrafo precedente.

Dalla prima rotazione  $\Delta\theta = 0.02^\circ$  le catene si trovano in fase elastica e reagiscono proporzionalmente al loro allungamento, secondo la legge precedentemente individuata.

Quindi nella valutazione del  $M_{S(A)}$  momento stabilizzante andranno aggiunti i contributi di tutte le catene

$$\begin{aligned}M_{S(A)} &= P_{fac} \cdot d_{fac} + P_{cop} \cdot d_{cop} + P_{corn} \cdot d_{corn} + \\ &+ T1a \cdot d_1 + T1b \cdot d_1 + T2a \cdot d_2 + T2b \cdot d_2\end{aligned}$$



dove  $d_i$  sono le distanze dal centro di rotazione delle catene variate dopo la rotazione. Da notare che la presenza di catene non varia invece né il  $M_{R(A)}$  momento ribaltante né la  $M^*$  massa partecipante, in quanto è un'azione priva di massa.

Quando una catena raggiunge un allungamento superiore a quello di snervamento, essa entra nella fase perfettamente plastica, reagendo per ogni allungamento con una forza costante

$$N = 25093.47 \text{ daN}$$

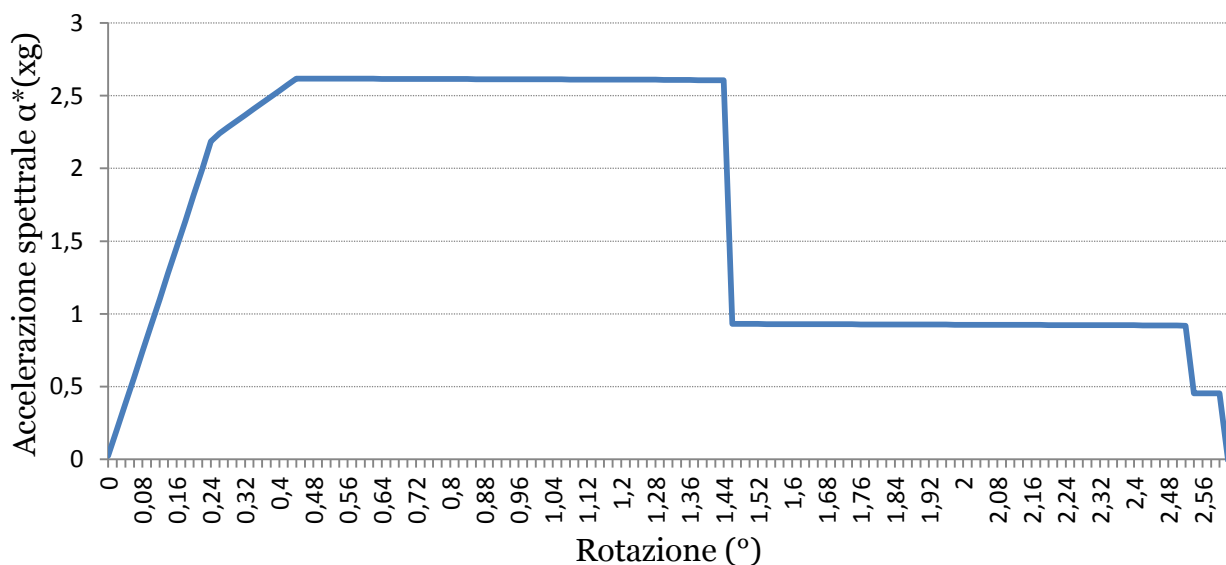
Quando, infine, viene raggiunto il valore limite di allungamento si ha la rottura della catena e quindi

$$N = 0 \text{ daN}$$

Le catene poste alla quota  $+7.82 \text{ m}$  si plasticizzano e rompono per rotazioni minori rispetto a quelle a quota  $+4.32 \text{ m}$ , poiché sono soggette a spostamenti quasi doppi rispetto alle altre. Inoltre, data la differenza di lunghezza, le catene di tipo  $b$  si plasticizzano e rompono prima rispetto alle catene di tipo  $a$ .

Inserendo questi dati nel procedimento utilizzato nel paragrafo precedente si ottiene il seguente grafico che lega la rotazione  $\Delta\theta$  all'accelerazione spettrale  $\alpha^*$ .

### Meccanismo A



L'analisi cinematica è stata svolta fino alla rottura di tutte le catene.

Dal diagramma si nota come si raggiunga un valore massimo di  $\alpha^*$  molto maggiore di quello ricavato in assenza di catene; si può ricavare inoltre l'evoluzione del comportamento e del contributo delle catene alla stabilità del blocco:

- $\theta < 0.24^\circ$ , le catene si trovano tutte in fase elastica;
- $\theta \cong 0.24^\circ$ , la catena T2b raggiunge la plasticizzazione, in quanto  $d_2 = 3.27 \text{ cm} > \Delta L_{sb} = 3.23 \text{ cm}$ ;
- $\theta \cong 0.26^\circ$ , anche la catena T2a raggiunge la plasticizzazione, in quanto  $d_2 = 3.54 \text{ cm} > \Delta L_{sa} = 3.32 \text{ cm}$ ;

- $0.26^\circ < \theta < 0.44^\circ$ , le catene T2a e T2b, essendo entrambe plasticizzate, forniscono una forza costante  $N = 25093.47 \text{ daN}$  in tutto l'intervallo, mentre le catene T1a e T1b continuano ad essere in fase elastica e a reagire proporzionalmente al loro allungamento;
- $\theta \cong 0.44^\circ$ , anche la catena T1b raggiunge la plasticizzazione, in quanto  $d_1 = 3.32 \text{ cm} > \Delta L_{sb} = 3.23 \text{ cm}$ ;
- $\theta \cong 0.46^\circ$ , anche la catena T1a raggiunge la plasticizzazione, in quanto  $d_1 = 3.47 \text{ cm} > \Delta L_{sa} = 3.32 \text{ cm}$ ;
- $0.46^\circ < \theta < 1.40^\circ$ , tutte le catene sono in fase plastica, la loro tensione è costante ed è  $N = 25093.47 \text{ daN}$ ;
- $\theta \cong 1.40^\circ$ , la catena T2b raggiunge la rottura in quanto si supera l'allungamento massimo. Il suo contributo al  $M_{S(A)}$  momento stabilizzante è quindi nullo;
- $\theta \cong 1.46^\circ$ , anche la catena T2a raggiunge la rottura per raggiunta deformazione limite;
- $1.46^\circ < \theta < 2.54^\circ$ , continuano a funzionare in fase plastica le due catene rimanenti;
- $\theta \cong 2.54^\circ$ , arriva a rottura anche la catena T1b;
- $\theta \cong 2.62^\circ$ , giunge a rottura l'ultima catena rimasta, la T1a, e a questo evento coincide l'azzeramento dell'accelerazione spettrale ( $\alpha_u^* = 0$ ) e quindi il collasso.

Confrontando questo grafico con quello del capitolo precedente si nota come, grazie all'aggiunta delle catene, si raggiunga un valore di  $\alpha^*$  molto maggiore; in particolare, per una rotazione di  $\theta \cong 0.46^\circ$  è stata ricavata un'accelerazione spettrale necessaria per il ribaltamento della facciata pari a:

$$\alpha^* = 2.618g$$

Tale valore risulta essere più di 100 volte maggiore rispetto all'accelerazione spettrale  $\alpha_0^*$  in assenza di catene.

Inoltre l'effetto migliorativo delle catene si vede anche nella capacità di rotazione della parete, in quanto in assenza di queste la situazione di collasso (che si ha per  $\alpha_u^* = 0$ ) si raggiungeva per una rotazione pari a  $\theta = 1.808^\circ$ , mentre ora si raggiunge per una rotazione pari a  $\theta \cong 2.62^\circ$ .

#### Verifica SLV per il meccanismo A

Avendo svolto un'analisi cinematica non lineare, la normativa<sup>41</sup> impone ora che, affinché la verifica allo stato limite di salvaguardia della vita sia soddisfatta, deve essere soddisfatto il requisito

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

dove

$d_u^*$  è la capacità di spostamento ultimo del meccanismo locale

$S_{De}$  è la domanda di spostamento ottenuta dallo spettro di spostamento in corrispondenza del periodo secante  $T_S$ .

<sup>41</sup> § C8A.4.2.3 Circolare 2 febbraio 2009 n. 617

Definito lo spostamento  $d_s^* = 0.4 \cdot d_u^*$  ed individuata sulla curva di capacità l'accelerazione  $a_s^*$  corrispondente allo spostamento  $d_s^*$ , il periodo secante è calcolato come  $T_s = 2\pi \sqrt{\frac{d_s^*}{a_s^*}}$ .

Dall'analisi precedentemente effettuata, utilizzando un grafico  $(d^* - a^*)$ , si ottiene che

$$d_u^* = 21.28 \text{ cm}$$

e quindi

$$d_s^* = 8.512 \text{ cm}$$

Riportando questo valore sulla curva di capacità  $(d^* - a^*)$ , si ottiene un valore corrispondente

$$a_s^* = 2.611g$$

ed il periodo secante sarà

$$T_s = 2\pi \sqrt{\frac{d_s^*}{a_s^*}} = 3.62$$

ora si passa a valutare il  $S_{De}$ , che è definito in normativa<sup>42</sup> come

$$S_{De}(T) = S_E(T) \cdot \left(\frac{T}{2\pi}\right)^2$$

purchè  $T$  non superi i valori di normativa<sup>43</sup>. Essendo in categoria di sottosuolo C

$$T = T_s = 3.62 < 6$$

quindi possiamo tranquillamente procedere.

$S_E(T)$ , ricavato dallo spettro di risposta in corrispondenza di  $T = T_s$  vale

$$S_E(T_s) = 0.037g$$

e quindi

$$S_{De}(T_s) = 0.121$$

Si ha quindi

$$d_u^* = 21.28 \geq S_{De}(T_s) = 0.121$$

La verifica è largamente soddisfatta.

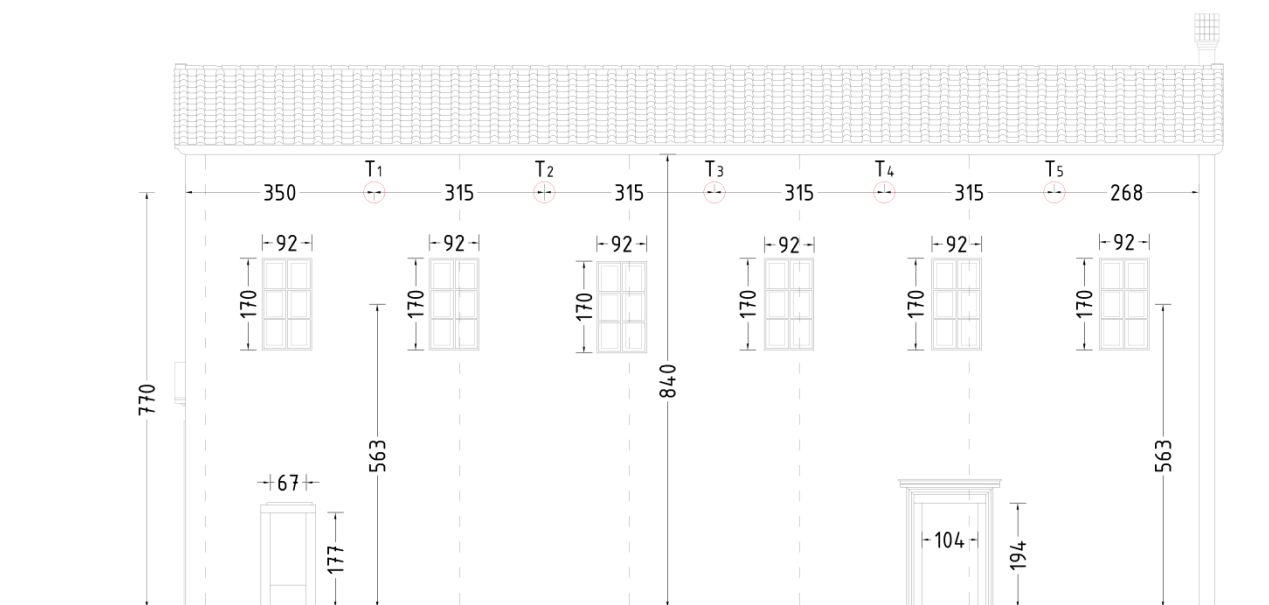
### Meccanismo B

Per il meccanismo B, contrariamente a quanto detto per il meccanismo A, non si è ritenuto necessario l'inserimento di catene a diverse altezze della parete, sia perché la parete stessa ha un'altezza inferiore rispetto alla prima, sia perché l'inserimento delle catene alla sommità della parete, come si vedrà dai grafici in seguito, sono più che sufficienti per costituire un efficace vincolo al ribaltamento della facciata. Inoltre, come causa/conseguenza, c'è anche da tener conto che inserire delle catene a metà parete sarebbe stato un intervento troppo invasivo per l'aula della chiesa.

Quindi si è scelto di inserire catene in sommità della parete, disposte come nell'immagine seguente.

<sup>42</sup> § 3.2.3.2.3 NTC 2008

<sup>43</sup> Tab. 3.2. VIII NTC 2008



Anche per l'analisi cinematica non lineare si è scelto di dividere e studiare il comportamento della parete in setti, come nel capitolo precedente.

Le cinque catene da inserire saranno posizionate tutte a quota  $h = +7.70 \text{ m}$  in modo che la loro presenza non risulti troppo invasiva, in particolar modo affinché non compromettano la vista degli elementi di pregio interni dell'edificio (soffitto ligneo cassettonato). Essendo le pareti dell'edificio non parallele tra di loro, inoltre, esse avranno lunghezze diverse, come illustrato nella seguente tabella.

	T1	T2	T3	T4	T5
Lunghezza (m)	7.97	8.11	8.26	8.43	8.61

Si è scelto di utilizzare barre a sezione circolare di diametro  $\varphi = 2 \text{ cm}$ , quindi di sezione  $A = 3.141 \text{ cm}^2$ .

Come materiale è stato scelto l'acciaio S355, scegliendo di rappresentarlo nei calcoli con un modello elastico perfettamente plastico.

Le proprietà del materiale sono:

$$E = 2.1 \cdot 10^6 \text{ daN/cm}^2 \quad f_{yd} = 3550 \text{ daN/cm}^2$$

Si possono quindi individuare tre fasi di comportamento delle catene: la fase elastica, la fase perfettamente plastica e la rottura che avviene per deformazioni  $\varepsilon_{sd} \geq 1\%$ .

	Fase elastica	$\Delta L$ snervamento	Fase plastica	$\Delta L$ rottura
T1	$N = 8268,62 \cdot \Delta L$	$\Delta L_s = 1,34$	$N = 11152,65$	$\Delta L_r = 7.97$
T2	$N = 8130,02 \cdot \Delta L$	$\Delta L_s = 1,37$	$N = 11152,65$	$\Delta L_r = 8.11$
T3	$N = 7981,11 \cdot \Delta L$	$\Delta L_s = 1,39$	$N = 11152,65$	$\Delta L_r = 8.26$
T4	$N = 7823,27 \cdot \Delta L$	$\Delta L_s = 1,42$	$N = 11152,65$	$\Delta L_r = 8.43$
T5	$N = 7657,85 \cdot \Delta L$	$\Delta L_s = 1,45$	$N = 11152,65$	$\Delta L_r = 8.61$

(N.B.  $N$  è espresso in  $\text{daN}$  e  $\Delta L$  in  $\text{cm}$ )

Con questi dati è stata effettuata un'ulteriore analisi non lineare per il meccanismo locale di ribaltamento della facciata. È stato scelto di utilizzare rotazioni di  $\Delta\theta = 0.02^\circ$ .

Per una rotazione  $\Delta\theta = 0^\circ$  non si ha spostamento dei capichiave delle catene e quindi i risultati sono identici a quelli svolti nel paragrafo precedente.

Dalla prima rotazione  $\Delta\theta = 0.02^\circ$  le catene si trovano in fase elastica e reagiscono proporzionalmente al loro allungamento, secondo la legge precedentemente individuata.

Quindi nella valutazione del  $M_{S(A)}$  momento stabilizzante andrà aggiunto il contributo, per ogni settore, della relativa catena

$$M_{S(A)} = W_{sett,i} \cdot d_{sett,i} + W_{y,cop} \cdot d_{cop} + W_{corn} \cdot d_{corn} + T_i \cdot d_i$$

dove  $d_i$  sono le distanze dal centro di rotazione della catena e del baricentro della muratura variata dopo la rotazione. Da notare che la presenza di catene non varia invece né il  $M_{R(A)}$  momento ribaltante né la  $M^*$  massa partecipante, in quanto è un'azione priva di massa.

Quando una catena raggiunge un allungamento superiore a quello di snervamento, essa entra nella fase perfettamente plastica, reagendo per ogni allungamento con una forza costante

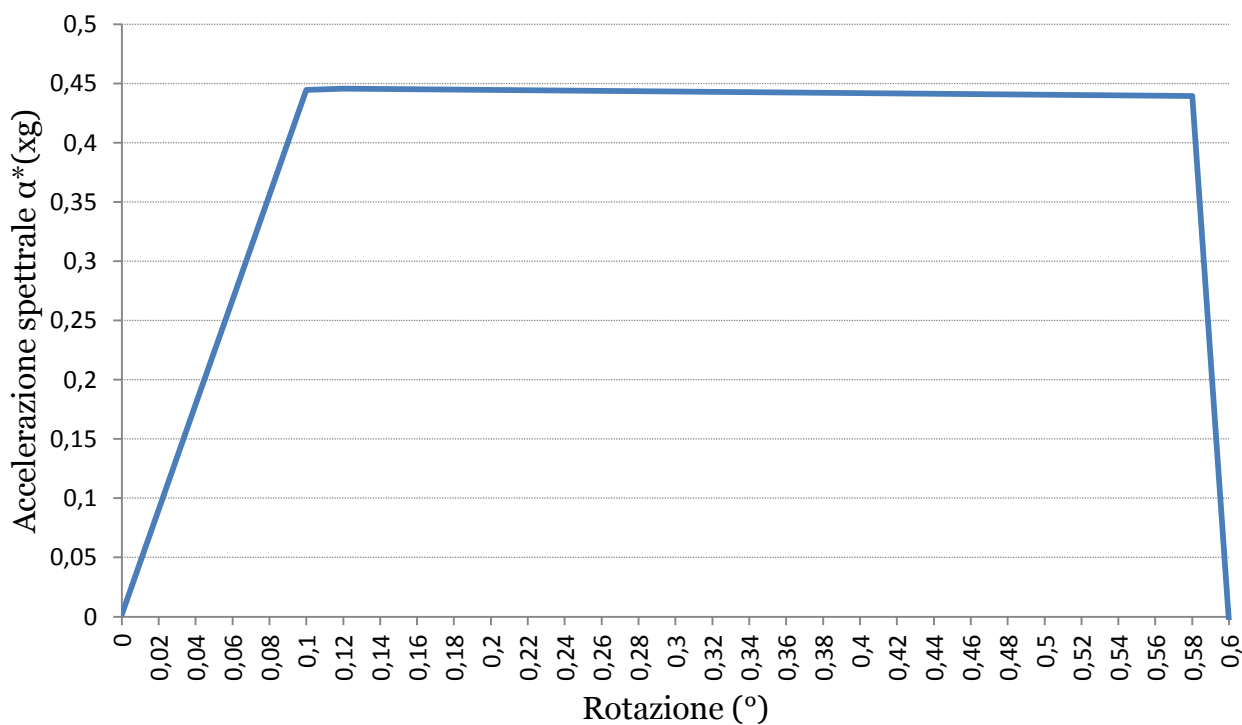
$$N = 11152,65 \text{ daN}$$

Quando, infine, viene raggiunto il valore limite di allungamento si ha la rottura della catena e quindi

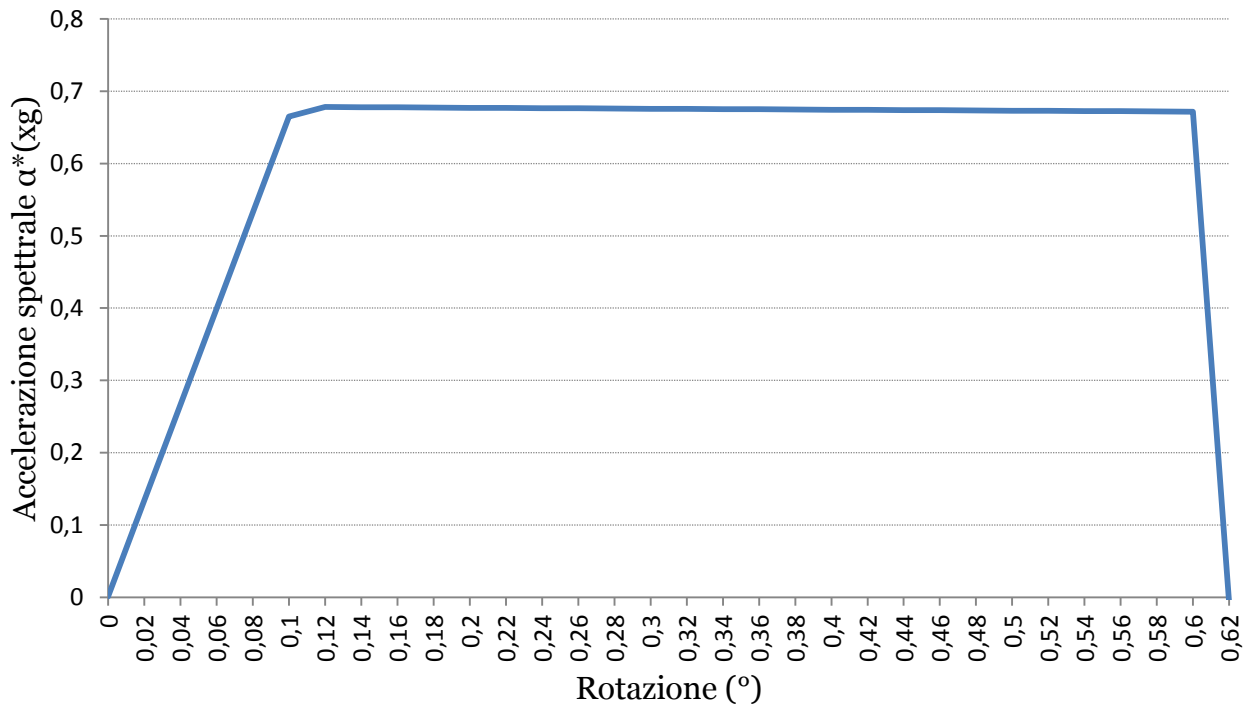
$$N = 0 \text{ daN}$$

Inserendo questi dati nel procedimento utilizzato nel paragrafo precedente si ottengono i seguenti grafici che legano la rotazione  $\Delta\theta$  all'accelerazione spettrale  $\alpha^*$ .

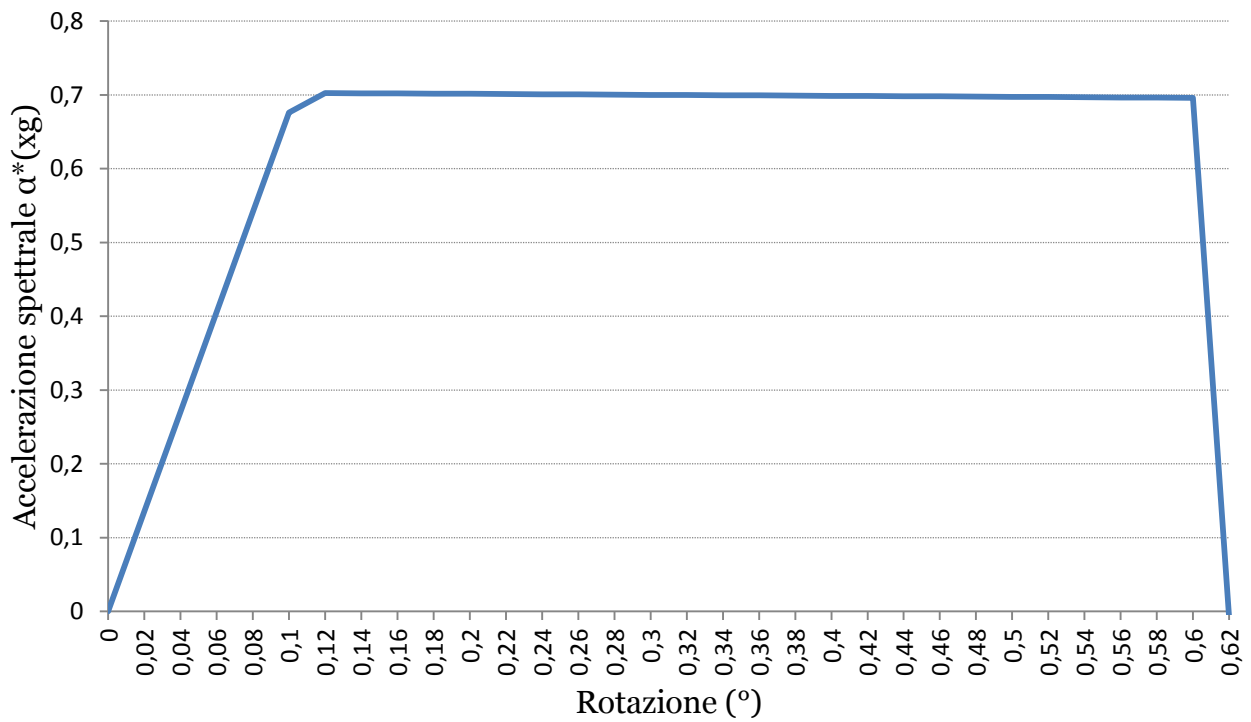
### Meccanismo B-1



### Meccanismo B-2

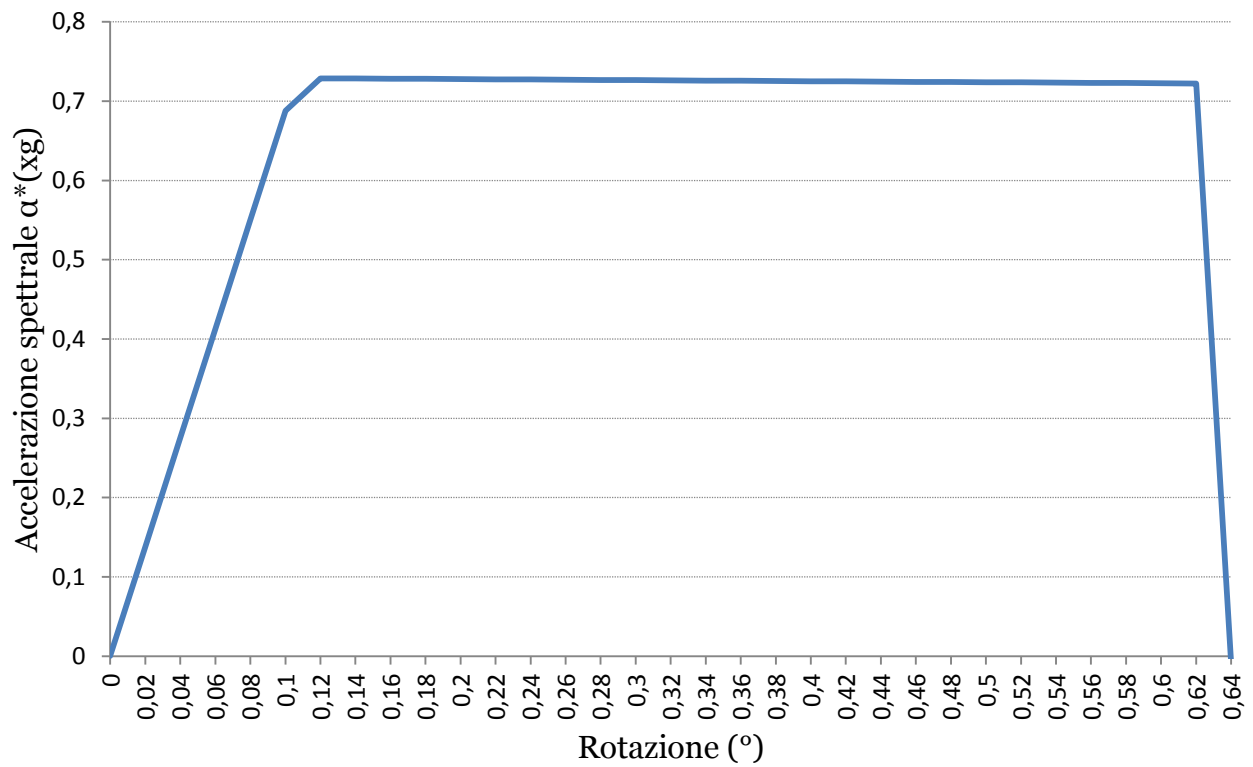


### Meccanismo B-3

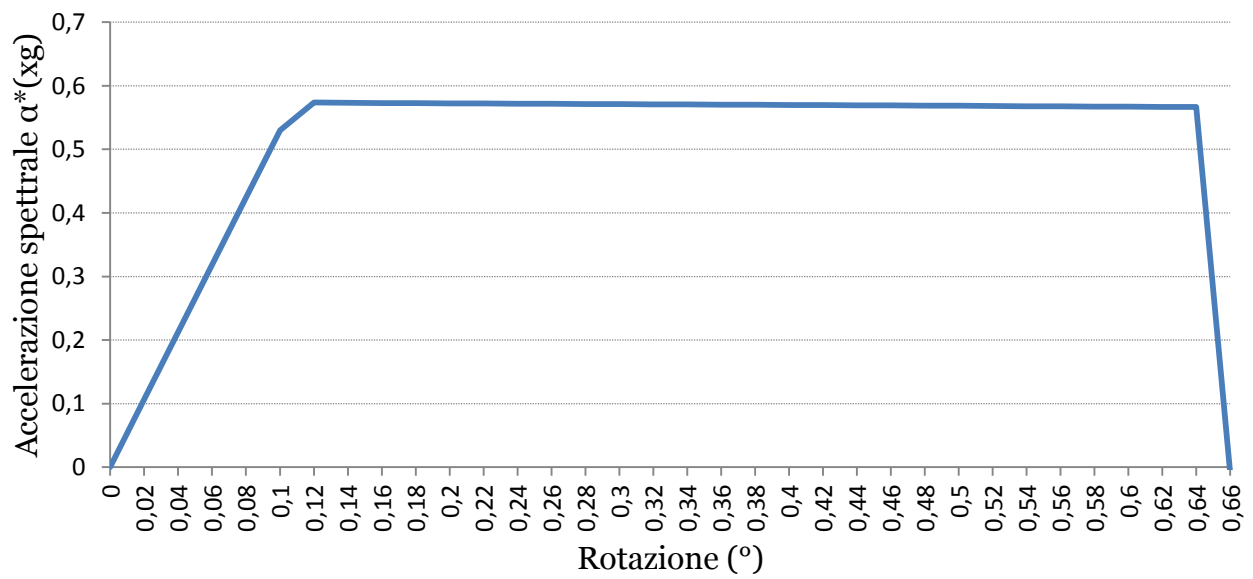




### Meccanismo B-4



### Meccanismo B-5



L'analisi cinematica è stata svolta fino alla rottura di tutte le catene.

La rotazione per cui avviene la rottura delle catene, e quindi per cui si avrà ribaltamento della parete, ed il valore massimo di accelerazione spettrale necessario per il ribaltamento della parete sono inseriti nella seguente tabella

	Sett1	Sett2	Sett3	Sett4	Sett5
$\theta(\alpha_u^* = 0)$	0.5931°	0.6034°	0.6145°	0.6269°	0.6405°
$\alpha^*$	0.4457g	0.6782g	0.7024g	0.7288g	0.5734g

Verifica allo SLV

Sono riassunti nella tabella sottostante i valori utili al fine della verifica

	Sett1	Sett2	Sett3	Sett4	Sett5
$d_u^*$	4.36	4.44	4.59	4.63	4.77
$d_s^*$	1.744	1.776	1.836	1.852	1.908
$a_s^*$	0.444g	0.479g	0.512g	0.541g	0.572g
$T_s$	3.97	3.86	3.79	3.71	3.66
$S_{De}(T_s)$	0.117	0.117	0.118	0.118	0.119

Come si può vedere, il requisito

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

è sempre soddisfatto.

## 5.4 Verifica dei capochiave

Il tipo di capochiave scelto per le catene da inserire nella muratura sarà a piastra, in quanto è stato ritenuto il più indicato per distribuire il carico sulla muratura.

Prima di inserire le catene e i capochiave occorrerà effettuare alcune operazioni preliminari sulla muratura stessa: scrostatura dell'intonaco, segnatura dei livelli e degli assi dei tiranti, foratura delle pareti, eventuale consolidamento della muratura interessata dall'ancoraggio, preparazione e inserimento dei tiranti, posizionamento dell'organo di ritegno, messa in tensione dei tiranti, protezione dei dispositivi di ritegno dagli agenti atmosferici, sigillatura di fori e scanalature.

Per le verifiche, non avendo dati raccolti tramite prove sul luogo, si sono utilizzati i valori di resistenza medi contenuti nella tabella C.8A.2.1 della Circolare 617/09

Tipologia di muratura	$f_m$	$\tau_0$	E	G
	(N/cm <sup>2</sup> )	(N/cm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )
	Min-max	min-max	min-max	min-max
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	100	2,0	690	230
	180	3,2	1050	350
Muratura a conci sbozzati, con paramento di limitato spessore e nucleo interno	200	3,5	1020	340
	300	5,1	1440	480
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	260	5,6	1500	500
	380	7,4	1980	660
Muratura a conci di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)	140	2,8	900	300
	240	4,2	1260	420
Muratura a blocchi lapidei squadrati	600	9,0	2400	780
	800	12,0	3200	940
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	240	6,0	1200	400
	400	9,2	1800	600
Muratura in mattoni semipieni con malta cementizia (es.: doppio UNI foratura ≤ 40%)	500	24	3500	875
	800	32	5600	1400

A garanzia di sicurezza, si è scelto di utilizzare i valori più bassi del range fornito dalla normativa, ed si avrà quindi

$$f_m = \text{resistenza media a compressione} = 240 \text{ N/cm}^2$$

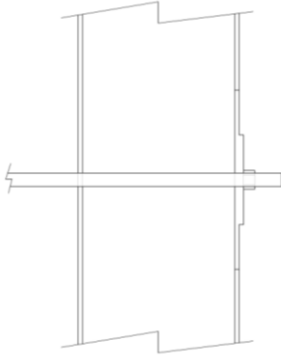
$$\tau_0 = \text{resistenza media a taglio} = 6.0 \text{ N/cm}^2$$

Essendo il coefficiente parziale di sicurezza per le murature imposto dalla normativa<sup>44</sup>  $\gamma_s = 2$ , i valori di calcolo delle resistenze saranno

<sup>44</sup> § 7.8.1 NTC 2008

$$\sigma_r = \text{resistenza di calcolo a compressione} = \frac{f_m}{FC \cdot \gamma_s} = 88.9 \text{ N/cm}^2$$

$$f_{v0} = \text{resistenza di calcolo a taglio in assenza di compressione} = \frac{\tau_0}{FC \cdot \gamma_s} = 2.22 \text{ N/cm}^2$$



Come capochiave, sia per le catene della facciata che delle pareti laterali è stata scelta una piastra circolare resistente con rifinitura decorativa a forma stellata ottagonale per motivi estetici.

I giunti di tensione terminali saranno a vite e dado, mentre i giunti intermedi (necessari per le catene più lunghe) saranno a vite e manicotto.

### Meccanismo A

Verifica a compressione sulle murature su cui insiste il capochiave

Innanzitutto andranno valutate le dimensioni della piastra resistente, tramite l'equazione

$$A_c = \frac{T}{\sigma_r}$$

dove  $T$  è la tensione che si registra nella catena in corrispondenza della rotazione della parete tale da avere  $a_g = \alpha_0^*$  l'accelerazione spettrale di attivazione del meccanismo uguale all'accelerazione sismica definita nei capitoli precedenti come da normativa.

Essendo lo spessore della parete costante, inoltre, si prenderà come sforzo di trazione  $T$  il massimo tra gli sforzi di tutte le catene

$$T = T_{MAX}(T_{1a}, T_{1b}, T_{2a}, T_{2b})$$

Dai dati ottenuti dall'analisi cinematica non lineare svolta precedentemente, si ottiene che

$$T(a_g = \alpha_0^* = 0.1233g) = 11.5531 \text{ kN}$$

da cui

$$A_c = \frac{11553.1}{88.9} = 129.95 \text{ cm}^2$$

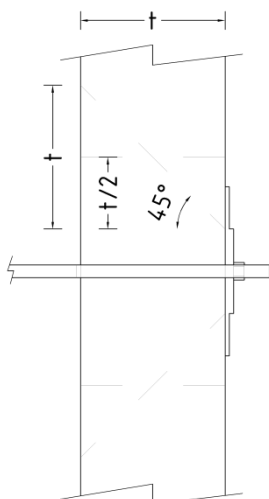
Si decide quindi di utilizzare una piastra circolare con diametro  $\phi = 10 \text{ cm}$ , e quindi con area  $A = 314.15 \text{ cm}^2$ .

Verifica a punzonamento della muratura

Affinchè sia soddisfatta, si deve verificare che

$$\tau_m = \frac{T}{2\pi \cdot (r + t) \cdot t} < f_{v0}$$

dove  $T$  è la tensione utilizzata prima e  $2\pi \cdot (r + t)$  è la superficie laterale media del tronco di cono di muratura che rischia l'espulsione a causa del punzonamento (con angolo di diffusione delle tensioni a  $45^\circ$ )



si avrà quindi

$$\tau_m = \frac{11553.1}{2\pi \cdot (5 + 30) \cdot 30} = 1.764 < f_{v0} = 2.22 \text{ N/cm}^2$$

La verifica è dunque soddisfatta

Verifica a flessione del capochiave

Al fine di semplificare la verifica a flessione, avendo utilizzato una piastra circolare, si utilizzerà solo per i calcoli una piastra fittizia quadrata circoscritta a quella vera.

Con questa verifica si vuole dimensionare lo spessore della piastra affinché non si rompa a flessione, ovvero

$$\sigma = \frac{6M_{MAX}}{L \cdot s^2} < f_{yd}$$

dove  $L$  sarà il lato della piastra quadrata fittizia, ovvero  $L = 10 \text{ cm}$ ,  $s$  è lo spessore incognito della piastra,  $f_{yd}$  è la tensione a snervamento della piastra e  $M_{MAX}$  è il momento massimo

agente sulla piastra, che viene definito come  $M_{MAX} = \sigma_m \cdot \frac{L^3}{8}$ , con

$$\sigma_m = \text{tensione media di compressione} = \frac{T}{A}$$

Si ottengono quindi

$$\begin{aligned} \sigma_m &= 115.531 \text{ N/cm}^2 \\ M_{MAX} &= 14441.37 \text{ Ncm} \\ s &= \sqrt{\frac{6M_{MAX}}{L \cdot f_{yd}}} = 0.53 \text{ cm} \end{aligned}$$

Si decide di utilizzare una piastra con spessore  $s = 2.0 \text{ cm}$

Meccanismo B

Utilizzando le stesse procedure, si è verificato, per ogni setto, il capochiave della catena. I risultati sono illustrati nella seguente tabella

	Compressione			Punzonamento			Flessione			
	$T$	$A_c$	$A$ scelta	$t$	$\tau_m$	$f_{v0}$	$\sigma_m$	$M_{MAX}$	$s$	$s$ scelto
<b>Sett 1</b>	24460	275,14	314	50	1,42	2,22	77,90	9737,3	0,44	2,0
<b>Sett 2</b>	24050	270,53	314	48,5	1,48	2,22	76,59	9574,0	0,43	2,0
<b>Sett 3</b>	23717	266,78	314	46,8	1,56	2,22	75,53	9441,5	0,43	2,0
<b>Sett 4</b>	23142	260,31	314	45,3	1,62	2,22	73,70	9212,6	0,42	2,0
<b>Sett 5</b>	21623	243,23	314	43,7	1,62	2,22	68,86	8607,9	0,41	2,0

N.B. Le unità di misura usate sono  $N$  per le tensioni,  $\text{cm}^2$  per le aree e  $\text{cm}$  per le lunghezze.

Come si può vedere, tutte le verifiche sono soddisfatte.

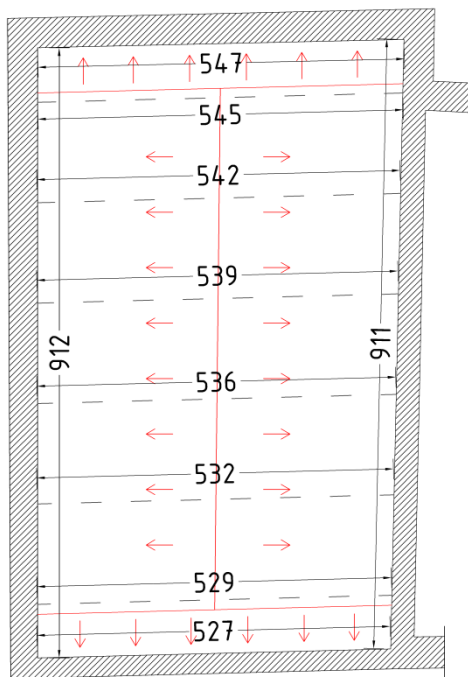
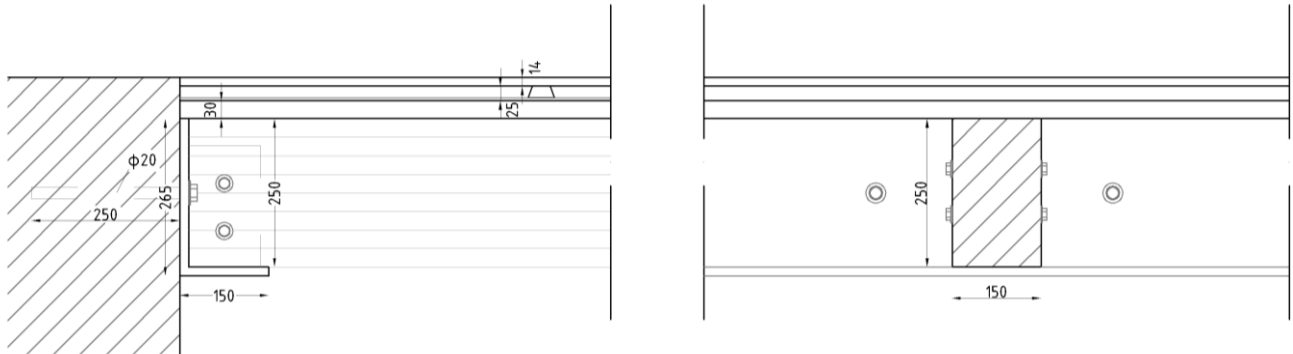
## **6. Dimensionamento del nuovo solaio e verifiche sulle murature**

### **6.1 Premessa**

Come visto nel progetto e come spiegato nel capitolo 4, nel vano sacrestia della chiesa verranno inseriti due cordoli in acciaio continui lungo tutto il perimetro che, oltre a sostenere il nuovo solaio, lavoreranno anche come irrigidimento delle pareti al fine di scongiurare i meccanismi di ribaltamento delle stesse.



## 6.2 Analisi dei carichi e verifiche del nuovo solaio



Innanzitutto si descrive il tipo di solaio che verrà inserito:

- travi in legno lamellare GL32h di sezione 15x25 cm, interasse 1.50 m ( $\gamma_l = 3.8 \text{ kN/m}^3$ );
- assito in legno massiccio di spessore 3 cm ( $\gamma_l = 7 \text{ kN/m}^3$ );
- listelli di sostegno alternati a pannelli in fibra di poliestere di spessore 2.5 cm + parquet di spessore 0.4 cm ( $\gamma_p = 0.4 \text{ kN/m}^2$ );

Per prima cosa occorrerà verificare la resistenza dell'assito in legno massiccio; si sceglie di utilizzare come essenza la conifera, classe di resistenza S2<sup>45</sup>, la struttura sarà di classe di servizio 1<sup>46</sup> e poiché sul solaio insistono sia carichi fissi sia carichi variabili, la classe di durata del carico a cui fare riferimento è la classe di media durata<sup>47</sup>. Si avranno quindi

$$f_{m,k} = 26 \text{ N/mm}^2$$

$$k_{mod} = 0.80$$

$$f_{v,k} = 2.7 \text{ N/mm}^2$$

$$\gamma_m = 1.5$$

Quindi

$$f_{m,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{m,k}}{\gamma_m} = 13.87 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{v,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{v,k}}{\gamma_m} = 1.44 \text{ N/mm}^2$$

Ora si andrà a valutare il carico di ognuno di questi strati.

$$q_s = \text{carico strutturale} = q_{travi} + q_{assito} = 0.095 + 0.105 = 0.2 \text{ kN/m}^2$$

$$q_p = \text{carico permanente} = 0.4 \text{ kN/m}^2$$

<sup>45</sup> UNI 11035-2:2010

<sup>46</sup> § Tab 4.4.II NTC 2008

<sup>47</sup> § Tab 4.4.I NTC 2008

$$q_a = \text{carico accidentale} = 5 \text{ kN/m}^{248}$$

Quindi, utilizzando i coefficienti parziali per le azioni<sup>49</sup> e trasformando i carichi al metro lineare, sull'assito avremo un carico di

$$q_{tot} = 1.3 \cdot (0.105 + 0.4) \cdot 1 + 1.5 \cdot 5 \cdot 1 = 8.15 \text{ kN/m}$$

Supponendo come schema statico quello di una trave doppiamente incastrata di lunghezza pari a 1.50 m, ovvero pari all'interasse tra le travi principali, e una sezione di base pari a 1.00 m e altezza pari allo spessore dell'assito di 0.03 m, il  $M_{MAX}$  e il  $V_{MAX}$  saranno

$$M_{MAX} = \frac{q_{tot} \cdot L^2}{12} = 1.53 \text{ kNm}$$

$$V_{MAX} = \frac{q_{tot} \cdot L}{2} = 6.12 \text{ kN}$$

Ora si andrà a verificare che le tensioni non superino quelle di progetto

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{MAX}}{\frac{b \cdot h^2}{6}} = 283 \text{ kN/m}^2 = 0.283 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_d = \frac{3 \cdot V_{MAX}}{2 \cdot b \cdot h} = 306 \text{ kN/m}^2 = 0.306 \text{ N/mm}^2$$

Si osserva che sia la tensione normale che quella tangenziale massima sono minori delle resistenze di progetto; la verifica è dunque soddisfatta.

Si passa ora a verificare le travi del solaio.

Come detto prima, si useranno travi in legno lamellare GL32h di sezione 15x25 cm, le cui caratteristiche di resistenza sono

$$f_{m,g,k} = \text{resistenza a flessione} = 32 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{t,0,g,k} = \text{resistenza a trazione in direzione parallela alle fibre} = 22.5 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{t,90,g,k} = \text{resistenza a trazione in direzione ortogonale alle fibre} = 0.5 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{c,0,g,k} = \text{resistenza a compressione in direzione parallela alle fibre} = 29 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{c,90,g,k} = \text{resistenza a compressione in direzione parallela alle fibre} = 3.3 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{v,g,k} = \text{resistenza a taglio} = 3.8 \text{ N/mm}^2$$

Come per la verifica dell'assito, si riconosce che la struttura sarà di classe di servizio 15<sup>0</sup> e poiché sul solaio insistono sia carichi fissi sia carichi variabili, la classe di durata del carico a cui fare riferimento è la classe di media durata<sup>51</sup>. Si avranno quindi

$$k_{mod} = 0.80$$

$$\gamma_m = 1.45^{52}$$

e quindi le resistenze di calcolo da usare saranno

$$f_{m,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{m,g,k}}{\gamma_m} = 17.65 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{v,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{v,g,k}}{\gamma_m} = 2.09 \text{ N/mm}^2$$

<sup>48</sup> Cat. D2, dalla tab. 3.1.II NTC 2008

<sup>49</sup> Tab. 2.6.I NTC 2008

<sup>50</sup> § Tab 4.4.II NTC 2008

<sup>51</sup> § Tab 4.4.I NTC 2008

<sup>52</sup> § Tab 4.4.III NTC 2008

Per il dimensionamento delle travi è stato considerato uno schema di trave appoggiata appoggiata. Avendo travi di diversa lunghezza a causa del fatto che le pareti non sono parallele, si eseguiranno le verifiche sulla trave più lunga (5.45 m), in quanto sarà quella più sollecitata.

Si eseguono quindi le verifiche a flessione e taglio

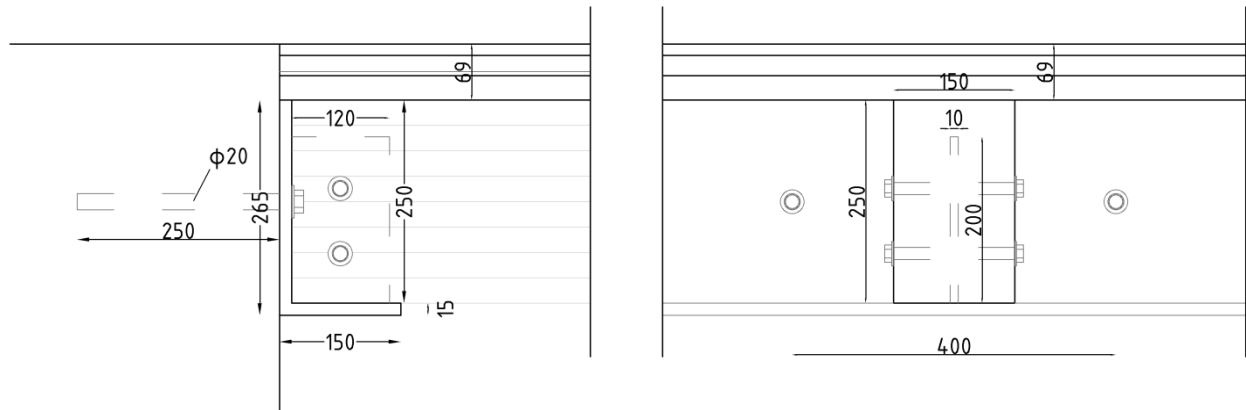
$$M_{MAX} = \frac{q_{tot} \cdot L^2}{8} = \frac{8.28 \cdot 5.45^2}{8} = 30.74 \text{ kNm}$$
$$V_{MAX} = \frac{q_{tot} \cdot L}{2} = \frac{8.28 \cdot 5.45}{2} = 22.56 \text{ kN}$$
$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{MAX}}{\frac{b \cdot h^2}{6}} = 546 \text{ kN/m}^2 = 0.546 \text{ N/mm}^2$$
$$\tau_d = \frac{3 \cdot V_{MAX}}{2 \cdot b \cdot h} = 902 \text{ kN/m}^2 = 0.902 \text{ N/mm}^2$$

Da notare che il  $q_{tot}$  utilizzato non è lo stesso della verifica precedente, in quanto ci è stato sommato il carico delle travi stesse.

Entrambe le sollecitazioni sono minori delle resistenze di progetto, quindi la verifica è soddisfatta.

### 6.3 Verifica del cordolo

Come già descritto prima, il cordolo in acciaio CORTEN sarà costituito da un profilato angolare a lati diseguali (26.5 x 15 x 1.5 cm) e vincolato con bulloni M20 - 5.6 . Inoltre verranno inserite a distanza regolare (1.50 m) delle piastre rettangolari (20 x 12 x 1 cm) saldate al profilato a cui verranno bullonate poi le travi.



Si calcola ora il carico che graverà sul cordolo e sui bulloni di ancoraggio.

$$\begin{aligned}
 Q &= 1.3 \cdot (q_{trave} \cdot n_{travi} + q_{assito} \cdot A + q_{permanente} \cdot A) + 1.5 \cdot q_{acc} \cdot A \\
 &= 1.3 \cdot (4.59 + 0.105 \cdot 48.93 + 0.4 \cdot 48.93) + 1.5 \cdot 5 \cdot 48.93 \\
 &= 405.065 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Il carico andrà distribuito in base alle competenze: si ha quindi che il cordolo soggetto a maggior carico è quello della parete est la cui area di competenza è di  $20.92 \text{ m}^2$ .

$$Q_{cord} = \frac{Q \cdot A_{comp}}{A} = 173.18 \text{ kN}$$

Questo è dunque il carico a cui saranno sottoposti gli ancoraggi.

Le caratteristiche di resistenza dei bulloni<sup>53</sup> scelti sono

$$f_{y,b} = \text{snervamento bullone} = 300 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{t,b} = \text{rottura bullone} = 500 \text{ N/mm}^2$$

La parte più debole di questo cordolo, tuttavia, sarà proprio la muratura in cui andranno ad ancorarsi i bulloni.

Per questo si effettua prima la verifica a carico concentrato sulla parete in quanto solitamente è dimensionante rispetto le verifiche a taglio e a trazione nei bulloni.

Verifica per carico concentrato<sup>54</sup>

Come indicato nel capitolo precedente, le resistenze caratteristiche per la muratura sono

$$f_m = \text{resistenza media a compressione} = 240 \text{ N/cm}^2$$

$$\tau_0 = \text{resistenza media a taglio} = 6.0 \text{ N/cm}^2$$

Affinché la verifica sia soddisfatta, deve

$$N_{Ed,c} \leq N_{Rd,c} = \beta \cdot A_b \cdot f_{m,d}$$

con

$$\beta = \text{coefficiente amplificativo di diffusione} = 1.5$$

$$A_b = \text{area dell'impronta di carico} = 60 \text{ cm}^2$$

<sup>53</sup> § Tab 11.3.XII.b NTC 2008

<sup>54</sup> 6.1.3 EC6

$$f_{m,d} = \frac{f_m}{FC \cdot \gamma_M} = 88.89 \text{ N/cm}^2$$

supponendo che i bulloni abbiano profondità di 30 cm.

Quindi

$$N_{Rd,c} = 8000 \text{ N}$$

e avendo come carico

$$Q_{cord} = 173180 \text{ N}$$

il numero di bulloni necessari sarà

$$n = \frac{Q_{cord}}{N_{Rd,c}} = 21.64 = 22$$

Avere 22 bulloni vuol dire avere un interasse tra un bullone e l'altro di  $i = 40 \text{ cm}$ .

Verifica a taglio

Per questo tipo di verifica occorre prima stabilire quale sia la resistenza a taglio dei bulloni.

Dalla normativa<sup>55</sup>, abbiamo che

$$F_{V,Rd} = \min\{F_{V,Rd}, F_{b,Rd}\}$$

con  $F_{V,Rd} = \text{resistenza a taglio del bullone} = 0.6 \cdot \frac{f_{t,b} \cdot A_{res}}{\gamma_{M2}} = 75360 \text{ N}$

e  $F_{b,Rd} = \text{resistenza a rifollamento della piastra} = k \cdot \alpha \cdot \frac{f_{t,k} \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = 306000 \text{ N}$

essendo

$$A_{res} = 314 \text{ mm}^2$$

$f_{t,k} = \text{resistenza a rottura della piastra} = 510 \text{ N/mm}^2$

$t = \text{spessore piastra} = 15 \text{ mm}$

$d = \text{diametro bullone} = 20 \text{ mm}$

$k = 2.5$  e  $\alpha = 1$  e  $\gamma_{M2} = 1.25$

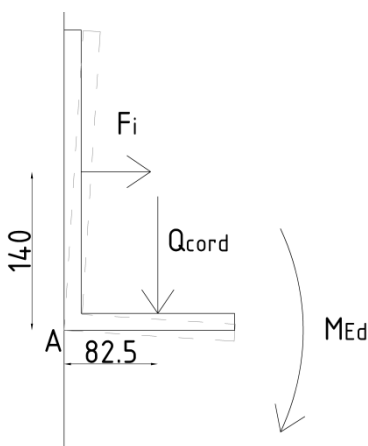
e quindi la resistenza a taglio è

$$F_{V,Rd} = 75360 \text{ N}$$

Ogni bullone sarà sottoposto a uno sforzo tagliente pari a

$$F_{V,Ed} = \frac{Q_{cord}}{n} = 7871 \text{ N}$$

Essendo lo sforzo sollecitante minore della resistenza, la verifica è soddisfatta.



Verifica a trazione

Per questo tipo di verifica, si suppone un comportamento del profilo angolare a flangia rigida. In questo modo si suppone che, in caso di rotazione plastica del profilato intorno al punto A (angolo del profilato stesso), il valore dello sforzo di trazione nel bullone sarà di

$$F_i = \frac{M_{Ed} \cdot d_i}{\sum n_j \cdot d_j^2}$$

dove  $d_i$  è la distanza della fila di bulloni dal centro di rotazione,  $n_j$  è il numero di bulloni per ogni fila,  $d_j$  è la

<sup>55</sup> § 4.2.8.1.1 NTC 2008

distanza di ogni fila dal centro di rotazione ed  $M_{Ed}$  è il momento agente generato dal carico  $Q_{cord}$ , risultante del carico distribuito sull'ala orizzontale del cordolo, posizionato a metà dell'ala stessa.

Lo sforzo di trazione sarà quindi

$$F_i = \frac{(173180 \cdot 82.5) \cdot 140}{22 \cdot 140^2} = 4638.75 \text{ N}$$

La resistenza a trazione è definita come

$$F_{t,Rd} = 0.9 \cdot \frac{f_{t,b} \cdot A_{res}}{\gamma_{M2}} = 113040 \text{ N}$$

Essendo lo sforzo sollecitante minore della resistenza, la verifica è soddisfatta.

## Allegato A:

### Le architetture dei Cavalieri di Santo Stefano

La Piazza S. Stefano chiama così proprio perché l'Ordine vi fece la sua sede.

Vi si trovava il convento che era il centro spirituale dell'Ordine: oggi, al loro posto, c'è la Scuola Normale Superiore di Pisa. Cosimo I scelse Pisa come sede dell'Ordine, considerando la sua posizione geografica come la più idonea per l'attività dei suoi cavalieri. Alla fine del dicembre 1561, il duca affida all'architetto Giorgio Vasari l'incarico di provvedere alla ristrutturazione ed edificazione degli edifici deputati ad ospitare le istituzioni cavalleresche.



Il luogo prescelto fu l'odierna piazza dei Cavalieri, già degli Anziani o delle Sette Vie, sede del potere politico ed amministrativo della Pisa medievale. L'area fu al centro di uno dei più spettacolari interventi per iniziativa di Cosimo I che vi volle edificare i più importanti e simbolici edifici dell'Ordine di S. Stefano, cioè il palazzo della Carovana e la Chiesa dei Cavalieri, con in mezzo la statua del granduca, opera di Pietro da Francavilla (1596). È evidente l'intento politico: si sostituiscono ai simboli di libertà e potenza della Repubblica pisana i nuovi monumenti del potere mediceo.

Gli interventi realizzati denunciano infatti una precisa ansia ideologica che si esprime nella puntigliosa cura di celebrare, attraverso la scelta figurativa ed architettonica, un duplice significato semantico: l'Ordine stefaniano quale supremo difensore della cristianità, da un lato, ed i Medici, quali fondatori dell'Istituzione, dall'altro.



#### *Palazzo della carovana*

L'edificio attuale prende il posto del palazzo degli Anziani della Repubblica e di alcune case private già acquistate dagli Anziani alla fine del Duecento. Il palazzo attuale è invece opera di Giorgio Vasari, che nel 1562 vi intraprese i lavori per trasformarlo nel palazzo di residenza dei cavalieri stefaniani. Qui, infatti, i giovani stefaniani avrebbero dovuto fare il proprio corso di preparazione,

la "carovana", appunto.



La facciata è adornata da graffiti che rappresentano trofei guerreschi, medaglioni e soggetti decorativi raffiguranti i segni dello zodiaco, gli dei e, in alto, figure allegoriche di virtù. Sul lato destro spicca, quale una delle poche tracce rimaste dell'antico Palazzo degli Anziani, una grande arcata cieca, tipica della tecnica medievale pisana. Vi sono infine sei grandi busti di granduchi (nell'ordine: Cosimo I, Francesco I, Ferdinando I, Cosimo II, Ferdinando II e Cosimo III) e tre stemmi in marmo.

### *La chiesa dei cavalieri*

Il papa e martire Stefano era diventato il santo prediletto dal Medici da quando Cosimo aveva riportato una vittoria decisiva per il proprio predominio in Toscana, nella battaglia di Marciano, proprio il 2 agosto (1554), giorno consacrato al santo. La chiesa dell'Ordine, eretta sul luogo di una più antica, quella di San Sebastiano, è dunque dedicata a Santo Stefano ed alla sua vita sono dedicate le pitture alle pareti interne.



La costruzione di quest'edificio fu iniziata dal Vasari nel 1565 e terminò nel 1569, data della consacrazione. Il campanile, in marmo e mattoni, fu invece eretto tra il 1570 e il 1572, mentre l'esecuzione della facciata avvenne solo sotto Ferdinando I, negli anni dal 1594 al 1606. Le due ali laterali vennero aggiunte nel 1682 dal fiorentino Pier Francesco Silvani, ma solo recentemente sono state ultimate con mattoni rossi, in origine utilizzate quale spogliatoi in occasione delle frequenti cerimonie religiose in auge all'epoca.

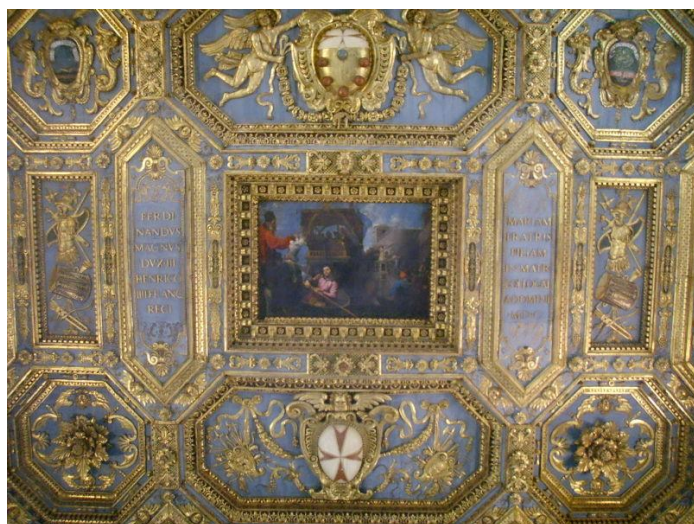


Figura 21: Particolare del soffitto a cassettoni

All'interno, meritano indubbia attenzione le bandiere, prese dai cavalieri in occasione di scontri marittimi e, insieme ad alcune lanterne sempre appartenute a galee, due sculture lignee, parti originali della decorazione di una galera dell'Ordine e scolpite dall'intagliatore pisano Santino, nel XVII secolo. Fra gli scomparti dipinti del secentesco soffitto a cassettoni dorati, trovano posto la raffigurazione delle storie più gloriose dell'Ordine.

### *Il palazzo della Conventuale*

Il palazzo della Conventuale, di fronte alla Chiesa, fu edificato nel XVI secolo, ancora ad opera del Vasari, per ospitare i cavalieri cappellani dell'Ordine stefaniano. Si è soliti

attribuirne il disegno al Vasari, mentre l'inizio della costruzione dovrebbe risalire al 1566, nonostante alcune rifiniture aggiunte posteriormente.

## Allegato B:

### Il Catasto Leopoldino

Il Catasto Geometrico Particellare Toscano offre, attraverso le tavole indicative, i repertori alfabetici dei proprietari, i libri dei campioni e le mappe a varia scala, ampie possibilità d'indagine sulla realtà territoriale toscana dei primi decenni del XIX secolo. La sua



realizzazione, avvenuta tra il 1820 ed il 1825, mezzo secolo dopo le riforme di Pietro Leopoldo e nel pieno del lento processo di consolidamento delle strutture economico-sociali ed ambientali dei secoli precedenti, lo colloca in un momento chiave dell'evoluzione del contesto territoriale regionale e lo rende uno strumento prezioso per comprendere le dinamiche successive. Si tratta di un patrimonio informativo ricco e complesso

che solo oggi, con l'ausilio delle nuove tecnologie informatiche, è possibile esaminare adeguatamente. E' possibile ricomporre, infatti, la distribuzione spaziale dei vari tipi di coltura di una comunità, la distribuzione delle proprietà per classi di superficie nonché la ripartizione colturale della superficie agraria di ciascuna classe.

## **Allegato C**

### **Gli Spedali di Pisa**

Le Opere Pie in Pisa sono nate con lo scopo di dare pubblica beneficenza, pur avendo diversa natura e origine. Nonostante siano diverse tra loro è possibile evidenziare delle analogie tramite una classificazione: Opere pie di assistenza, Opere di istruzione ed educazione, Opere di credito e di risparmio.

Una ulteriore suddivisione riguarda quelle di assistenza ospitaliera e quelle di assistenza non ospitaliera: la prima accoglie i poveri orfani, ospitandoli e mantenendoli, la seconda li soccorre senza ospitarli.

In Pisa le Opere pie del tipo ospitaliero sono cinque e provvedono al ricovero e al mantenimento dei poveri orfani e dei miserabili vecchi e prestano un'assistenza continua e diretta, provvedendo ai mezzi e alle stesse persone.

Le Opere pie non ospitaliere sono invece le più diffuse. Se ne contano ventuno.

#### La diffusione degli Spedali a Pisa

Nei luoghi dove gli orfani erano ricoverati, l'ospitalità assumeva caratteri importanti; forniva tutto il necessario per il ricoverato e tutto veniva accordato gratuitamente. I luoghi pii venivano creati e mantenuti con doni talvolta di principi, altre volte con donazioni elargite volontariamente da privati cittadini. Si venivano così a creare strutture adatte ad accogliere i trovatelli (brephtrophium), i poveri orfani (orphanotropium), i pellegrini (Xenodochium), i vecchi (Gerontocomium), i mendicanti (Ptocotrophium). Oltre a queste esistevano delle strutture dedicate alla cura dei malati, i Nosocomi, e quelle per gli operai resi incapaci di svolgere il loro lavoro (Haramonarii). Sorsero anche gli ospizi (Hospitia), chiamati anche spedali, che si diffusero in gran numero, ospitando viandanti o pellegrini in territorio poco abitato o poco sicuro.

Nella città di Pisa, già dall'ottavo secolo, iniziarono a sorgere importanti istituzioni di beneficenza; tra essi merita attenzione la Pia Casa di Misericordia.

Il 15 Agosto del 1053 venne fondata quest'opera dedicandola ai poveri, alle fanciulle appartenenti a famiglie miserabili, al riscatto degli schiavi. La città in quel tempo, per quel che concerne l'amministrazione, era suddivisa in quattro parti e tre furono i cittadini per ciascuna che fondarono l'associazione filantropica. Con il passar del tempo divenne una delle più floride Opere Pie della Toscana recando sollievo alle classi più disagiate, venendo in loro soccorso in diversi modi. Oltre alle doti concesse alle giovani fanciulle, ai soccorsi pecuniari, si somministravano gratuitamente molti medicamenti agli ammalati delle classi indigenti, per i quali prima venivano stipendiati due medici, servizio che cessò quando il Comune istituì varie condotte mediche per la cura dei poveri a domicilio. L'Arcivescovo Dal Pozzo si interessava di regolamentare l'assistenza agli ammalati e in più donava alla Pia Casa di Misericordia una ragguardevole somma di denaro.

Gli ordini per il servizio medico vennero modificati; i più importanti cambiamenti furono quelli apportati dal Granduca Leopoldo I nel 1777.

I fiorentini da sempre rivali dei pisani, avidi di quelle ricchezze che questi ultimi ottenevano grazie al commercio marittimo, ebbero sempre interesse ad annichilire la repubblica rivale e una volta giunti al potere commisero ogni sorta di barbarie tanto da far

in modo che la popolazione si riducesse, per malattie, miseria, emigrazioni, da centocinquantamila a soli quattromila.

Per soccorrere le classi bisognose, allontanare dalla strada tanti infelici, nel sedicesimo secolo venne aperto un ospizio da una compagnia, che fu chiamata “della Carità”, la quale venne approvata dal Granduca Cosimo I De Medici, il quale con suo decreto confermò gli ordini stabiliti dai benefattori che l’avevano fondato. In seguito pensò di dividere le orfanelle dai maschi; ciò venne attuato quando la pia casa di misericordia concedette il locale che si chiamava delle Stinche che in passato fungeva da carcere. Fu sotto Leopoldo I di Lorena che le antiche Stinche divennero un vero e proprio orfanotrofio femminile, unendosi in questo anche le orfanelle che si trovavano nell’ospizio di S. Antonio, mentre nel 1686 l’ospizio di S. Antonio venne destinato ai maschi. Una stabile esistenza ai due Conservatori venne assicurata da Leopoldo I il quale oltre a sollecitare la carità cittadina ordinò il trasporto delle femmine nella Casa della Carità, facendo riunire in quello di S. Antonio i maschi, al quale orfanotrofio assegnava il patrimonio del Monastero di Nicosia, già soppresso in passato. Queste istituzioni, sia grazie alle donazioni che ai lasciti in eredità, godettero di vita felice.

Poiché gli ambienti dei due piccoli spedali erano piuttosto ristretti, nel 1687 venne aperto un ospizio per i poveri mendicanti, sovvenzionato tramite pubblica carità. Questo soppresso nel 1781, lasciò spazio ai due ospizi detti sopra (femminile e maschile), mentre ai vecchi venne riservata una casa detta “di Rifugio”. Nel 1846 si aprì un nuovo ospizio per i mendicanti mantenuto tramite l’imposizione di tasse e sovvenzioni sopra le rendite dell’Ordine di Santo Stefano. Il ricovero venne unito all’antica casa di Rifugio e gli venne assegnata una parte della rendita dell’antico spedale detto dell’Eternità, che era stato soppresso.

Quest’ultimo ebbe sempre un ruolo marginale, ben presto sostituito dal nuovo ospizio di mendicanti, aperto negli ex conventi del Carmine e di S. Domenico.

Nel periodo in cui si ebbe il trionfo del Cristianesimo tra i vari edifici si iniziarono a costruire a Pisa, come in altre città, chiese, monasteri, annessi ai quali vi erano ospizi e spedale; ciò testimonia l’importanza che da sempre Pisa diede all’ospitalità tramite queste istituzioni. La numerosa popolazione che si riversava in città, i forestieri, le guerre, crearono un elevato numero di ammalati. Perciò si assiste alla nascita di nuove chiese, a cui venivano annessi i relativi spedali. In un manoscritto appartenuto agli Upezzinghi del 1200 si scriveva: “Fra chiese, cappelle e spedali, sono fra quelli della città e del contado di Pisa 468”.

Quando la Toscana passò ai Lorenese, essendovi un gran numero di asili di pietà di congregazioni religiose, il governo sopprime molte di queste opere pie intorno al 1750. Col pretesto di apportare delle riforme, Pietro Leopoldo ne abolì delle altre. Nel 1810 venne decretata la soppressione totale degli ordini religiosi, molte chiese furono chiuse al culto, i monasteri vennero aboliti e così cessò l’assistenza ai poveri.

Numerosi sono gli scritti che riportano gli spedali, i monasteri, le opere pie che erano presenti in Pisa: il Tronci con gli Annali Pisani del 1292, i Cataloghi pubblicati dal Mattei a partire dal 1277, dai quali è possibile conoscere, non solo i diversi edifici, ma caratteristiche specifiche che questi andavano ad acquisire con il passar del tempo.

Gli spedali sorsero un po' ovunque a Pisa; alcuni si trovavano molto lontani dal centro, ma poiché appartenevano alla diocesi, erano soggetti a servitù come se si trovassero all'interno della città.

Nel 1401 tramite delle deliberazioni, prese dagli anziani, si resero immuni e liberi dal pagamento delle gabelle alcuni monasteri, chiese, spedali pisani senza escludere vari privati che rivestivano un ruolo ecclesiastico.

Le persone alle quali veniva affidata da cura dei poveri che si trovavano negli spedali erano gli stessi monaci, che per gli studi fatti, si stimavano esperti nell'arte di medicare, ai quali si affiancavano i medici che non di rado rivestivano compiti ecclesiastici; ciò è testimoniato dalla presenza di numerosi volumi di medicina nella biblioteca dei conventi. I monaci, non solo si occupavano di esaminare gli ammalati e di prescrivere loro i rimedi necessari, ma alcuni avevano il compito di nutrirli e di assisterli nei modi più svariati.

Nel 1257 veniva costruito lo spedale di Papa Alessandro, "così chiamato per moltissimi anni, perché quel pontefice ingiunse ai pisani la costruzione del medesimo, come condizione per essere perdonati dalla scomunica nella quale erano incorsi".

Questo pontefice per favorire questo spedale approvò la soppressione dei più piccoli e la concentrazione delle rendite nel patrimonio del Nuovo. Ciò scatenò il malcontento negli Spedalieri che iniziarono ad allontanarsi dal buon governo del patrimonio di queste strutture. Per questo motivo si pensò di riunire alcuni di questi spedali cercando di accumulare le rendite; infatti l'arcivescovo Federico Visconti unì lo spedale che sorgeva in via Santa Maria con quello della parrocchia di Santa Cecilia e ordinò la soppressione dei piccoli spedali, concentrando le rendite patrimoniali nello Spedale Nuovo che veniva edificato. Le unioni delle strutture non furono subito completate perché ci furono delle proteste da parte dei Camaldolesi; in questo modo alcuni continuarono a rimanere aperti.

Con il passare del tempo gli spedali divennero di poca utilità a causa della disonestà di coloro che li amministravano; come conseguenza, nel Concilio di Vienna, venne decretato che oltre agli ecclesiastici, nella gestione di queste strutture ci dovessero essere anche i laici; fu questa una delle cause principali che spinse la città di Pisa ad unire i piccoli spedali allo Spedale Nuovo, che insieme a quello della Pace, divenne una importante struttura. Il primo riceveva gli ammalati, il secondo destinato ad albergarvi i pellegrini.

Nonostante a Pisa numerosi complessi fossero stati soppressi e le loro rendite venissero passate al nuovo spedale, nel XVI secolo, oltre allo spedale maggiore e quello della Pace, esistevano altri otto spedali che non furono aboliti tutti, ma per ordine del Duca Cosimo I de' Medici, nel 1559 vennero ridotti a quattro affinché si potessero mantenere meglio.

Tra gli spedali rimasti vi fu quello di Sant'Antonio, "al quale fu assegnato il libro dell'entrata di quello dello Spirito Santo, con l'onere di pagare alla detta compagnia ogni anno: per la settimana santa, scudi 21; per Corpus Domini per le torce, s.6", nel quale furono ricoverati gli uomini.

Il governo dei Lorena attuò la soppressione di alcuni conventi e confraternite; verso il 1750, abolì molti ospizi e asili, nei quali si esercitava la beneficenza, arrecando così molti danni alla condizione sociale dell'epoca. Il 21 Marzo 1785 Leopoldo I con un editto sopprime tutte le associazioni laicali, compagnie e congregazioni, a favore della creazione delle compagnie di carità, ma con scarsi risultati.

Il 24 Marzo 1808, un'ordinanza imperiale abolì tutte le abbazie, conventi e monasteri, le corporazioni morali, gli ordini cavallereschi, le confraternite e le università laicali; con

questi cambiamenti scomparvero i piccoli ospizi e spedali e rimasero a Pisa l'Ospedale Maggiore e quello della Pace, gli orfanotrofi e i rifugi per i mendicanti.



## Allegato D

### Diffusione dei soffitti lignei a Pisa

Tra la fine del Cinquecento e gli inizi del Seicento si ebbe a Pisa un notevole incremento della produzione dei soffitti lignei, dovuto soprattutto a diversi fattori: la grande esperienza dei maestri intagliatori e legnaioli operanti nell' area pisana, le grandi disponibilità e interessi della classe politica e religiosa, ma soprattutto la grande disponibilità del materiale, fornito in maggior parte dall'arsenale mediceo. L'opificio, specializzato nella costruzione delle galere e delle imbarcazioni da guerra per la flotta medicea rifornì di materiale ligneo tutti i cantieri aperti a Pisa, costituendo una fonte inesauribile di materiale. All'attività dell'arsenale presero parte architetti e maestranze che saranno poi occupati nella costruzione dei soffitti ed imprese decorative per chiese e oratori.

Questo fenomeno non trova altre basi in Toscana ed è destinato principalmente alla decorazione di edifici religiosi e pubblici di notevole importanza.

A seguito della visita pastorale dell'Arcivescovo Dal Pozzo, che richiedeva per molte chiese lavori dei restauro e risanamento, si assiste a Pisa ad un vero e proprio rinnovamento degli edifici sacri a partire dal soffitto, in molti casi lesionato.

Le tipologie costruttive che si riscontrano sono principalmente due: soffitto a lacunari e quello integrato da pittura.



Come esempi del soffitto del primo tipo ritroviamo l'esemplare della Cattedrale, costruito nel 1595: si estende per tutta la navata centrale e nei transetti ed è composto da lacunari dorati e intagliati su fondo azzurro, con all'interno fiori, rosoni o putti alati.

Esempio invece del soffitto ornato da dipinti è la sala delle udienze del palazzo dei Priori: il soffitto, dedicato alla Madonna ha un impianto a cassettoni di forma rettangolare, con il riquadro centrale più grande e quattro più piccoli agli angoli. Le modanature al bordo hanno trofei intagliati e dorati su fondo azzurro, forse ridipinto nell'Ottocento (come per la Chiesa di S. Antonino).

Altro esempio è il soffitto della chiesa di San Frediano, andato distrutto nel 1675 per un incendio.

Nel 1612 si provvede alla costruzione del soffitto di San Silvestro; l'opera smontata nel 1890, è stata ricollocata nel 1988 dopo un attento e accurato lavoro di restauro da parte della Soprintendenza; l'elemento è composto da lacunari di forma quadrata e rettangolare entro i quali si inseriscono le tele di Aurelio Lomi, nel numero di nove, raffiguranti la vita di S. Silvestro, di Evangelisti e altri Santi.

Durante la Seconda Guerra Mondiale venne invece distrutto il soffitto della chiesa di San Vito, composto da trentacinque lacunari di forma rettangolare e ottagonale, occupati per la maggior parte da dipinti del pittore Salimbeni, ma ritoccati da Tommaso Tommasi;



quest'opera doveva apparire una delle più preziose del tema, per l'alto numero di lacunari e per la notevole qualità dei dipinti.

Nel 1642 si erige, in conseguenza della ristrutturazione dello stabile, il soffitto ligneo della Chiesa della Madonna dei Galletti, il quale presenta un impianto di forma rettangolare con al centro un ovale e ai lati quattro tele di diverse dimensioni, il tutto contornato da losanghe, ottagonali e quadrate, ornate da putti e rosoni. Il suddetto schema compositivo è inusuale e inoltre la maniera di eseguire i putti fortemente aggettanti fa dell'opera un'autentica rarità.



L'uso dei dipinti all'interno della struttura architettonica, non sembra avere origine romana, pur se da questa deriva la costruzione del soffitto ligneo, ma piuttosto veneziana. È infatti a Venezia che si costruiscono per la prima volta i soffitti arricchiti da dipinti e da qui che questa tipologia si diffonde in tutta la penisola e, grazie al Vasari, in Toscana e a Pisa, dove la perdita di buona parte delle opere d'arte non permette la completa valutazione dei rapporti intercorsi tra le due città e della ricchezza delle formule architettoniche.

Il soffitto ligneo della chiesa di Sant'Antonino, risalente probabilmente ai primi anni del Seicento, quando furono effettuate le opere di ristrutturazione, seguite all'annessione della Compagnia all'Ordine dei Cavalieri di Santo Stefano e

alla visita pastorale dell'Arcivescovo Dal Pozzo, è in materiale ligneo dipinto e dorato, composto di scomparti intagliati, ospitanti 21 tele, tutte di mano ignota, tranne la tela centrale, di forma circolare, appartenente probabilmente, secondo quanto riportato dalla "Guida di Pisa" del Bellini-Pietri, al pittore Annibale Mariannini. Le tele appartengono ad un ciclo di dipinti detto "Storie di S. Antonio". Gli scomparti ospitanti i dipinti hanno forme diversificate: ottagonale allungato, rettangolare con un angolo arrotondato dalla concavità rivolta verso l'interno, a quadrati intrecciati o a stella (di derivazione sicuramente veneziana e elemento caratterizzante tutto il soffitto), rettangolare e infine circolare. Tutto l'insieme è decorato con stucchi dorati, rappresentanti putti alati, ghirigori e elementi floreali, e croci di Santo Stefano, su sfondo bianco e azzurro (questo ridipinto probabilmente nell'Ottocento). I robusti putti alati dalla chioma arricciata rimandano ai seguaci dell'intagliatore Caccini, in particolar modo a Giovanni Battista Riminaldi o Carlo Del Norcia. Alla data odierna le tele non si trovano in loco, ma sono conservate nei depositi del Museo Nazionale di San Matteo; permangono lì dal dopoguerra, quando, all'indomani dei bombardamenti, in pessime condizioni, furono portati dalla Soprintendenza per il necessario e doveroso restauro e per la conservazione. Il materiale ligneo, anch'esso fortemente danneggiato, soprattutto nella parte sovrastante l'altare, è stato ristrutturato



attorno al 1960. E' stato comunque impossibile ricostruire, a causa dei danni troppo elevati, lo scomparto centrale, con foro circolare, i due scomparti a stella, alcuni scomparti rettangolari arrotondati e quello ottagonale, tutti nella vicinanze all'altare. Successivamente un controsoffitto ha occultato questo splendido esemplare facendolo dimenticare ai più e, cosa ancora peggiore, non permettendo la traspirazione e la dispersione dell'umidità. In questi ultimi anni il controsoffitto è stato tolto permettendo la vista di un soffitto ormai in condizioni precarie e bisognoso di urgenti lavori di recupero, lasciato ormai alla mercè di agenti negativi, quali precipitazioni meteoriche e volatili.

**Allegato E**

**Scheda norma del Comune di Pisa**



**COMUNE DI PISA**

# **Regolamento Urbanistico**

## **Norme**

Testo approvato con delibera di C.C. n.32 del 28.05.2009  
pubblicato sul BURT n. 28 del 15.07.2009  
ed integrato con l'accoglimento di  
osservazioni ed emendamenti

Pisa, 31 luglio 2009

Qui di seguito viene riportata una porzione del Regolamento Urbanistico del Comune di Pisa relativa agli ambiti soggetti al Piano di Recupero, affrontando il tema dell'Area Comunale di via della Qualquonia.

[...]

## **4.6 - Disciplina generale dei piani di recupero nel centro storico**

### **4.6.1 - Generalità**

L'intera zona territoriale omogenea A - Centro storico è dichiarata zona di recupero ai sensi dell'art. 27 della legge 5 agosto 1978. La cartografia di Piano individua i comparti che, per le particolari condizioni di degrado fisico/igienico o disordine urbanistico, sono assoggettati obbligatoriamente a piano di recupero, così come definito dagli artt. 9 e 10 della legge regionale 21 maggio 1980, n.59.

Per ciascuna individuazione sono definiti, ai successivi paragrafi, specifici riferimenti (obbiettivi e prescrizioni) da osservare nella redazione dei piani di recupero.

### **4.6.2 Dotazioni di standard**

I piani di recupero che prevedono interventi di ristrutturazione urbanistica (ovvero di demolizione e ricostruzione) devono prevedere parcheggi pertinenziali - da asservire come pertinenza alle unità funzionali previste - in misura non inferiore a 1 mq per ogni 10 mc di ricostruzione, e comunque di almeno un posto auto per unità funzionale.

La disposizione non si applica in caso di demolizione con ricostruzione fedele.

I piani di recupero che prevedono riconversioni d'uso da altre destinazioni a destinazioni commerciali/direzionali e ricettive dovranno prevedere al proprio interno le quantità minime di spazi pedonali, a verde e a parcheggio di cui all'art.5.2 del D.M. 1444/'68, non inferiori all'80% della superficie utile lorda degli edifici, di cui almeno metà destinate a parcheggio (anche per motocicli e cicli) da sottoporre a servitù gratuita di uso pubblico, sulla base di una convenzione, il cui schema dovrà essere approvato contestualmente al piano di recupero.

I piani di recupero che prevedono la riconversione d'uso da altre destinazioni a destinazioni residenziali ordinarie o speciali (collettive) dovranno prevedere la realizzazione, a carico della proprietà proponente, della quantità minima di 9 mq/ab. insediabile, di aree pubbliche (spazi pedonali, verde e parcheggi) di cui agli art.3 e 4 del D.M. 1444/'68 (per le zone A e B) da cedere gratuitamente al comune.

Ai fini del dimensionamento degli standard il piano di recupero dovrà fornire apposita dimostrazione del numero di abitanti insediabili.

E' facoltà del consiglio comunale prevedere, per motivi di opportunità urbanistica generale (come gli ambiti compresi in Zona a Traffico Limitato) o a fronte della oggettiva insufficienza di aree disponibili all'interno dei comparti soggetti a piano di recupero, da destinare a standard urbanistici, la stipula di una convenzione coi soggetti attuatori del piano di recupero, per la realizzazione a loro cura e spese, anche pro-quota, di aree a parcheggio pubblico e a verde pubblico previste dal P.R.G. all'esterno del perimetro del piano di recupero o, in alternativa, la partecipazione ad interventi di analogo contenuto, di iniziativa comunale, da realizzarsi nel periodo di vigenza del piano di recupero stesso, ad un costo-standard definito in sede di proposta di piano di recupero, sottoposto alla verifica di congruità da parte dell'Ufficio Tecnico Comunale e recepito in convenzione.

Gli interventi previsti nei piani di recupero non potranno comunque portare ad una riduzione delle aree a standard esistenti.



4.6.3 Disciplina specifica di ambiti soggetti a piano di recupero - indirizzi e prescrizioni  
Sono soggette a piano di recupero disciplinato da specifica scheda-norma le seguenti aree:

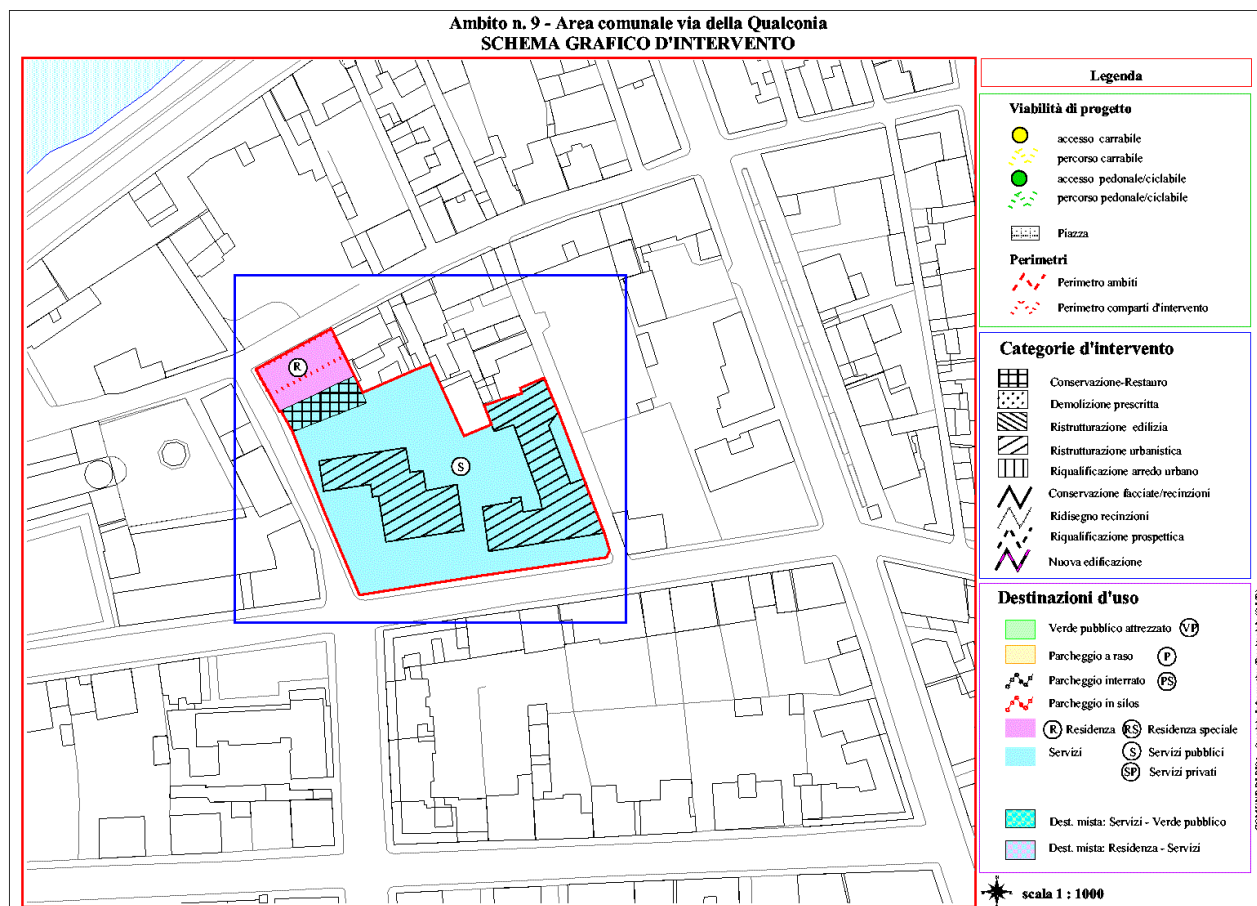
- 02. Comparto ex Marzotto (esterno mura)
- 03. Complesso attrezzature DSU, via Martiri
- 05. Isolato Bastione Sangallo
- 07. Area di via Sancasciani/B.Croce
- 09. Area comunale di via della Qualquonia
- 13. Piazza dei Facchini - aree pubbliche
- 19. Area della Cittadella/Stampace
- 21. Comparto universitario di San Zeno
- 22. Largo Ciro Menotti
- 23. Area via delle Trincere
- 24. Zona piazza delle Vettovaglie
- 25. Museo di S.Matteo
- 26. Complesso degli Arsenali Medicei/S.Vito
- 27. S. Chiara

Le schede normative formano l'allegato A alla presente normativa.

Nel caso di aree pubbliche, il piano di recupero può essere sostituito da un progetto d'insieme da approvarsi mediante accordo di programma tra il comune e l'amministrazione precedente.

[...]

Ambito n. 9



La scheda norma relativa all'ambito n. 9 è attualmente decaduta in quanto  
“L'area oggetto dell'intervento fa parte della scheda n. 9 del Centro Storico (scaduta) ed era destinata alla realizzazione di un edificio residenziale a filo strada lungo la via S. Paolo. L'edificio di max n. 3 piani impegna tutta l'area (circa mq. 250) ed è adiacente ad un manufatto sul quale la SBAAAS ha apposto il vincolo diretto (decreto di vincolo). La conferma della previsione è condizionata alle verifiche di compatibilità e di fattibilità con il sito e il vincolo della SBAAAS.”

Non essendo pervenuta la conferma di fattibilità della SBAAAS, non è stato possibile per il comune redigere un Piano Attuativo/Piano di Recupero.

## **Allegato F**

### **Descrizioni del complesso tratte dalle filze del Fondo dell'Ordine dei Cavalieri di Santo Stefano**

Visite Filza 2° anni 1641-1683

24 Maggio 1679

#### **ORATORIO DI S. ANTONIO**

*Seguendo ove sopra visitò l'Oratorio e Confraternita di S.to Antonio che si governa da Verdani, gli portarono nella Coppa la croce, e segno della religione, ne hebbe da ordinare cos'alt... .*

*Visitò parimenti la Spedale annesso a detto Oratorio, che trovò ben tenuto et aggiustato.*

Visite Filza 3° anni 1684-1705

1684

#### **CHIESA VIII – COMPAGNIA DI S. ANTONIO**

##### **ALTARE**

*Con la Mensa di macigno aveva sopra quattro piedistalli, la pietra sagrata con il suo Sepolchrino di marmo e bene incassato nella su detta mensa, alla q.le, ordinò provvedersi l'incevato.*

*L'ornamenti del sud.tto altare di macigno alla moderna, ben inteso, è benis.mo situato con magnificenza, poiché vi si sale per cinque gradini in semicircolo sessangolare dei quali gradini tre sono di pietra e due di legno. Sopra l'altare vi sono due gradini di legno dorato con i suoi candelieri d'ottone, a piede della croce d'ottone, croce dipinta di nero a' uso d'ebano con crocifisso d'argento, tavole delle segrete, del lavabo e dell'Inprincipio di legno dorate. Tre tovaglie col suo Paliorto e Guanciali, il tutto benis.mo tenuto e con somma decenza.*

*L'altare medesimo è dedicato alla B.V.M., l'Immagine Della Quale con S. Ant.io, S. Girolamo e S.to Stefano è nella tavola dello stesso altare.*

##### **CHIESA**

*Il vaso della s.tta Compagnia è molto bello, e ben tenuto, con molto buon disegno. Da una parte vi sono sei finestre di pietra, lavorate, e con l'arma di chi le ha fatte fare, murata, però la luce di esse con invetriate finte.*

*Dall'altra parte altre sei nel lavoro della pietra consimili ed le loro torni e invetriate nuove.*

*Due della medesima disposizione nella facciata dirimpetto all'Altare, nella prospettiva del quale sono due porte una per banda , che riescono nella sagrestia, e sopra di esse due terrazzini con balaustri e finestroni della stessa fattura e ordine delle stesse finestre. La*

*soffitta ben adorna con lavori di legno intagliati dipinti e toccati d'oro con molti quadri di buona mano, che rappresentano diversi misteri della vita di S.to Ant.io Abbate.*

*La facciata dell'altare in quella parte di parete che resta scoperta dalla pietra anno i fratelli fattala dipingere a' fresco vaghisimamente: con intenzione di proseguire la detta pittura per scelta la Compagnia.*

*Nella facciata della residenza degli ufficiali, che è molto eminente, vi è un devotissimo crocifisso di rilievo grande al naturale, benissimo posto, ai piedi del quale sono due tavolette di alcuni voti d'argento per grazie ricevute, ed un viticcio da regger la candela, che si viene accesa nel tempo dell'Uffizio.*

*Il tetto di sopra dicono che sia sanissimo.*

*Quattro porte. Due con ornamenti di pietra al di fuori e dentro, rispondano. La 1° in un giardinetto, che ha l'entrata pubblica in strada, la 2° nell'antico oratorio di S. Antonio.*

*Le due ultime in fondo della Compagnia, con la medesima riuscita.*

*I banchi e seggi con sedili doppi, inginocchiatoi di noce con i loro contorni e cornici tenuti molto puliti.*

*Pavimento molto buono e sano.*

*Sacrario secondo il solito.*

#### **SAGRESTIA**

*Ben situata con due armadi grandi, uno nel mezzo ove si ripongono i paramenti e suppellettili per esposizione del Santissimo e sopra vi si parano i sacerdoti, per celebrare; nell'altra si tengano due cassette per i paramenti della Compagnia, de sacerdoti le biancherie, e Cappe dei Fratelli.*

#### **ORATORIO DI SANT'ANTONIO**

*Visitò in 2° luogo l'Oratorio, annesso alla suddetta Compagnia, ancor esso intitolato di S. Antonio Abbate.*

#### **ALTARI**

*L'altare di esso Oratorio ... La mensa di marmo eretta e sostenuta da sette colonne di marmo co la sua pietra sagrata e incavata sulla Croce, ordinò che si levasse quel crocifisso, e vi sene ponesse un altro, o dipinto, o di rilievo, che avesse tutte le sue parti.*

*Tovaglie ve ne tenghino una doppia e una scempia.*

*Avendo trovato sopra il detto altare un tabernacolo, o ciborio, dove mai sta il Santissimo, ordinò, o che vi levasse tutto, o che si togliesse via dallo sportello il calice facendovi dipingere, o una croce da ... o un S. Antonio, meglio però sarebbe di levarlo, e tenervi solamente: un gradino di legno con due candellieri e un crocifisso. Qui si faccia la tavoletta dell'Inprincipio. Al medesimo altare sotto una volticina, o tribuna dipinta di rosso in cambio di tavola vi è una statua antica di S. Antonio Abate, quale per essere di vilissima scultura, e con le dita delle mani rotte, e perciò molto indecente si potrebbero i fratelli pigliar compenso di più devozione, e levar via simili anticaglie, dove essa no incidino a venerazione, ed in caso, che non si vogliano muovere ordino, che si risarcisse e si facesse ritoccare da pidore più pratico con miglior diligenza e artificio supplendo all'errore e goffaggine dello scultore o del fornaciaio, di cui è d'uopo, il credere che si opera quella statua.*



*Al gradino del medesimo altare si facciano serrare due sportellini, che riescano dalla parete anteriore.*

*Visitò dopo l'altare di san Sebastiano, ordinò che no vi si celebrasse più messa finchè egli no fosse ridotto in forme d'altare nuovo, e moderno con la mensa più lunga e larga a giusta misura, e con la sua pietra sagrata incevato, tovaglie, gradino, candeglieri, crocifisso, Paliorto e guanciali.*

*E perchè detta Compagnia no può decentemente tenere tanti altari, sarebbe necessario profanare e di fare questo lasciando solamente la statua di san Sebastiano nella sua nicchia per devozione dei popoli che però il visitatore mentre paria così a Monsignor Illustrissimo Marchetti ordinò espressamente venirsi a tale esecuzione. Tanto più che negli oratori non deve esservi più di un altare, e quello di S. Antonio tenendovisi molti arnesi, come scale, è più tosto ridotto in forma di spogliatoio, che ritenuto a maniera da chiesa.*

*Al predetto oratorio è in volta con una porta grande che riesce in su la strada che va' a gl'orti, ed una al fianco, che porta nell'orto di detta Compagnia, dove alloggia detta, che va' nella chiesa principale.*

*Vi sono due finestre con l'invetriate.*

*La pila dell'Acqua Santa collocata nel muro. Ordinò il visitatore che le scale, manganelle vecchie ed altri arnesi e strumenti, non convenienti a luogo sacro, si levassero, e ponessero in altre stanze, giacché non ne mancano.*

#### **SPEDALE**

*Visitò lo Spedale, detto pure di S. Antonio. La parte esteriore, che riesce in pubblica strada dirimpetto alla Badia di S. Paolo hà sopra dipinta l'Immagine di detto Santo nel muro. Nell'architrave di pietra ordinò, che vi si scrivesse SPEDALE PER I POVERI e in tutta la facciata si facessero dipingere tre croci della sacra Religione, intorno alla quale ordinazione si legga il sentimento dei fratelli, e l'operato del visitatore nel fine di questa medesima visita.*

*La porta interiore dello spedale co sua imposta, toppa e chialle, e due graticolate di ferro nel vano superiore dell'imposta.*

*Le muraglie, palco e pavim.: tutti sani.*

*Altare di sasso ed paliorto di legno dipinto. L'immagine di una Pietà, e sopra di esso un Crocifisso di rilievo ed una sua Lampana. No vi si celebra, e serve solo ad uso oratorio per i poveri, che vi si dicano i poverelli.*

*Dodici letti, sei per parte, tutti di legno ed le sue spalliere da capo, e da piede, ed una banca qui da piede dipinta; dei quali letti li 4 ultimi vicini alla porta servono per i sacerdoti e i 4 di mezzo per i pellegrini puliti, e gli altri 4 per gli schifi.*

*Ogni letto ha il suo saccone spuntato, una materassa di lana buona; capezzale simile, due guanciali di lana, un coltrone ed un paio di lenzuola, delle quali ve ne sono 36 tra buone e cattive. Buone 24. Cattive 12.*

*In quanto alla pulitezza ogni mese l'imbiancano e tre volte la settimana si spazza lo Spedale.*

*I poveri anno l'alloggio tre sere continue e frammettendone sei, posson ritornarvi ove altre in infinito.*

*Anno il fuoco, essendovi un camino ben grande, somministrandoveli ogni sera tre pezzi di catasta, e una fascina, cominciando dalla 1° sera d'Ogni Santi sino all'ultima di Pasqua. Detto spedale esser troppo ristretto avrebbe bisogno di maggiore sfogo, che però il visitatore ordinò, o che si allargassero le due finestre, che vi sono, o che vi sen'aprissero due altre. O che si mette una tela o altro panno da tirarsi a' uso di cortina, che chiuda i letti de sacerdoti, quando ve ne sono, da gl'altri.*

Visite di Chiese della Relig.ne Filza 4° anni 1705 - 1729

1616

*SOCIETAS S. ANTONINI*

*La Compagnia et Oratorio di S.to Antonino a Ripa d'Arno, membro della Badia, o Com.da di S. Paolo a Ripa d'Arno, è ,d'huomini Laici, se bene vi è tra essi alcuni sacerdoti.*

*Il sito di essa compagnia, è , assai agiatamente grande e bene accomodato. Ha l'altare assai antico con una tavola di pintovi in mezzo Cristo resurgente, e da una banda d'immagine di S.to Ant.io et l'altra di S. Girol.o .*

*Ha una reliquia del Beato Signoreto Martire.*

*Il luogo dove si vestono e spogliano quelli di d.tta Comp.ia è dietro al sud.etto Altare, et, è, assai vecchio.*

*In d.tta Confraternita sono circa 80 persone, vestono di veste bianca con la croce Rossa, secondo la forma della Religione di S.to Stef.no e servono a d.tta Chiesa, secondo le Consuetudini, et obligationi fatte con d.tta Religione.*

*In d.tta Confraternita si crea varie sorti di Officiali, secondo gl'ordini, e capitoli di essa, e tra gl'altri Offiz.li si crea un Operaio, il quale ha cura di spendere nelle cose di più importanza, e la cura dello spendere nelle cose di minor importanza si spetta a un altro Offiz.le che chiamano il Camarlingo.*

*Questo operaio ha ancor cura di riscuotere i crediti, et entrate di d.tto Oratorio, et se gli suol dire di salario per d.tto affitio l'anno lire dieci piccioli.*

*Q.sto ha ancora cura dello Spedale di d.tta Compagnia, e di provvederlo in tutte le cose che vi sono necessarie, e q.sto Operaio era solito da 3 anni adietro rendere i conti della sua amministrazione al Canc.re della Comunità di Pisa in compagnia d'un Canonico del Duomo secondo la Legge Ducale 1999.*

...

*L'entrate di d.tta Comp.ia possono arrivare a 40 sacca di grano, et un bar.le d'olio, se ben non si riscuotano sempre tutti per la povertà dei venditori. E di d.tte entrate si sovviene alle necessità di d.tto Oratorio, e di d.tto Spedale.*

...

*Et il desiderio di d.tta Compagnia sarebbe che q.to Operaio non havesse a' rendere i conti in Firenze, ma in Pisa, e massime alla Relig.ne di S.to Stef.no, essendo membro d'essa.*

*Ha di più q.to Oratorio una Ch.sa sotto l'invocatione di S.to Antonio appicato a' d.tto Oratorio.*

*La d.tta Ch.sa ha un altare con l'immagine di S.to Ant.io di rilievo, e non ha rendita alcuna, ne Campanile , e pochissimi paramenti per q.sto Alt.re et in d.tta Ch.sa vi si*

*celebra la festività di S.to Ant.io e vi si dice ancor messa ogni volta che bisogna secondo la consuetudine di d.tta Compagnia.*

*Ha ancora d.tta Compagnia uno spedale appicato a d.tta chiesa per alloggiare d.tti poveri, se bene hoggi d.tte lette sono molto cattive per il disordine del non vi essere Operaio.*

*Al Governo di d.tto spedale si elegge da d.tta Compagnia uno a' vita, il quale per le sue fatiche ha l'habitatione della casa di d.tto Spedale, e gode un orto appicato a' esso di st.a 4 in circa, et il pres.te spedaliere per non havere adesso Operaio sopra capo tieno d.tto Spedale assai male, e bisognerebbe restaurarvi, e rassettarvi quasi tutte le lette, e farvi delle lenzuola, che per sei lette non ci, è ,se non venti lenzuola.*

Visite di Chiese della Relig.ne Filza 4° anni 1705 - 1729

1616

COMP.IA DI S.TO ANT.O

A. di d.tto 7 Mag.o 1604

*Visitò la Compagnia di S.to Antonio, et Altare d'essa Compagnia lo ritrovò decentissim.te ornato con 6 candellieri d'ottone, croce d'ottone, cerosti, guanciali, et paliorti, sul quale trovò Reliquie più sorte.*

ORDINI

*Ordinò che si dovesse indorare un vaso d'ottone ove sono 19 reliquie di più Santi.*

*Trovò l'Oratorio ben ornato, e ben condizionato.*

*Ord.nò che certi abbassamenti del pavimento si rialzassero.*

*Visitò la Sagrestia in la quale trovò 3 pianete buone con li suoi camici.*

*Ord.nò che si dovesse fare ina pianete verde.*

*Ord.nò ancora si provvedesse di 2 corporali.*

*In d.tta Sagrestia vi trovò un calice assai decante.*

CH.SA DI D.TA COMP.IA

*Visitò la chiesa di d.tto Santo, et vi trovò la sua figura di rilievo all'altare, sotto il quale Altare trovò molte reliquie di Santi, delle quali in una Tavoletta, che, è in d.tta Chiesa ne apparisce nota.*

ORDINI

*Ordinò si dovessero levare di sotto d.tto Altare per non essere consacrato, et mettersi in un vaso d'ottone dorato.*

*In d.tta Chiesa vi sono 2 invetriate guaste.*

*Ordinò si dovessero acconciare.*

*Ordinò si dovesse risarcire la muraglia da man dritta d'arriccio, et d'intonaco.*

## **Bibliografia**

### **Per la ricerca storica**

F. Luzzati Laganà, *Fondazione e prime vicende del monastero armeno di S. Antonio di Spazzavento in Pisa (XIV secolo)*, Editoriale Programma, Padova, 1996.

Antonio Feroci, *Degli Antichi Spedali di Pisa*, Tipografia Vannucchi, Pisa, 1896.

Giuseppe Sainati, *Diari Sacri Pisani*, Pisa, 1886.

Can. Paolo Tronci, *Descrizione delle chiese, monasteri et oratori della città di Pisa*, Soprintendenza di Pisa.

A. Feroci, *Degli antichi spedali in Pisa*, Tipografia Vannucchi, Pisa, 1896.

A. Bellini Pietri, *Guida di Pisa*, Bemporad, Firenze, 1913.

E. Karwacka, *Architetture a Pisa nel primo periodo mediceo*, Gangemi Editore, 2011.

### **Per le cartine e le mappe catastali**

Archivio di Stato di Firenze, *Fondo Notarile Anticosimiano*.

Archivio di Stato di Firenze, *Archivio Grifoni*.

Archivio di Stato di Pisa, *Fondo Ordine dei Cavalieri di Santo Stefano*.

Archivio di Stato di Pisa, *Fondo fiumi e fossi*.

Catasto Leopoldino

### **Per l'analisi strutturale**

Norme Tecniche per le Costruzioni, D.M. 14 gennaio 2008.

Circolare esplicativa n°617/2009

## Ringraziamenti

Questa è probabilmente la parte più difficile della tesi perché vuol dire dover ripercorrere indietro nel tempo gli ultimi intensi anni della mia vita.

Da dove cominciare?

Innanzitutto ringrazio la mia famiglia, mia mamma, mio papà e le mie sorelle, con cui sono cresciuto e sono diventato la persona che sono, che mi hanno sempre dato fiducia e amore, che mi hanno sempre aiutato, consolato, spronato...vi amerò sempre

Ringrazio tutte le persone che mi hanno accompagnato fin qui, tutti gli amici con cui ho vissuto intensamente ogni giorno, tutte le persone che ho incontrato casualmente lungo la via che hanno condiviso anche solo una risata con me

Valeria, Alessandro, Piero, come avrei fatto senza di voi? Non c'è giorno che non vi pensi Ludovica e Caterina, compagne di gioia e di rabbia, com'erano belli quei pomeriggi al giardino scotto sotto il sole! Li ricorderò sempre

Alessandro, Giovanni, Davide e Antonio, quante sodaggini e quante ossa rotte! Troverò del tempo libero per la prossima partita

Federico, tu e la tua irrefrenabile follia! Spero di averne presa un po' perché è stupenda Daniele, e le serate in cui l'asino diceva bue al cornuto, quanta felicità con te!

Nena, non ti ringrazierò mai abbastanza per avermi risollevato dopo ogni caduta, ti terrò sempre un posto al LasNenas

Adriana, da una notte bianca in bianco ad anni di avventure...risponderò sempre alle prossime chiamate delle 4 del mattino!

Enzo e Pave, e le bellissime mattinate in cui appena svegli si stappava una birra, ogni momento passato insieme, con o senza Silvana, è stato il mio nirvana

Epica, unica e irripetibile, perché non ci siamo conosciuti prima? Tipo nel '96? Ogni serata è un'avventura incredibile con te

Rosalinda e Michele, la sensazione di stare a casa ogni volta che siete con me

Silvio, Paolo e Umberto, sempre sinceri, sempre al mio fianco! E io sarò sempre al vostro

Le mie mamme chiocce Valentina, Angela e Silvia, quanta forza dentro di voi! Grazie a voi lotterò sempre a testa alta

A tutti i compagni di Sinistra Per..., Anna Maria, Matteo, Francesca, Veronica, Alberto...non dimenticherò mai tutto quello che abbiamo fatto insieme, saremo sempre compagni!

A me stesso, per aver cercato di essere sempre e con tutti il miglior me stesso che ci sia

Infine vorrei ringraziare Silvana e Calogero. Chi vuole intender intenda.