

sintesi di tesi di laurea

Università degli Studi di Firenze - Facoltà di Ingegneria - Corso di Laurea in Ingegneria Edile RECUPERO ARCHITETTONICO E STRUTTURALE DELL'OSPEDALE VECCHIO SAN GIUSEPPE DI EMPOLI PER LA REALIZZAZIONE DI UN POLIAULE UNIVERSITARIO

Autore: Valentina COCULO, Andrea GHERI

Relatori: Prof. Arch. Frida BAZZOCCHI - Prof. Ing. Maurizio ORLANDO - Prof. Ing. Paolo SPINELLI
Prof. Ing. Paolo FORABOSCHI - Arch. Francesca CAPECCHI

Data di laurea: 9 Aprile 2008

La tesi degli ingg. Gheri e Coculo tratta di un intervento per il riuso di un edificio storico importante, l'Ospedale San Giuseppe nel centro di Empoli. La proposta progettuale integra in modo organico le tematiche architettoniche, strutturali ed impiantistiche, nel pieno rispetto dei vincoli della Soprintendenza per i Beni e le Attività Culturali della Regione Toscana, a cui l'organismo edilizio è sottoposto.

La progettazione architettonica muove da una approfondita analisi storica del complesso ospedaliero e da un'analisi sistematica dei fattori tipologici e prevede il ripristino della configurazione morfologica originaria e la trasformazione dell'edificio in un poliaule per la didattica universitaria. Il progetto strutturale propone tecniche innovative per il rafforzamento dei sistemi voltati esistenti, per l'analisi dei quali sono utilizzati e confrontati vari metodi di calcolo.

La tesi rappresenta un ottimo esempio di progettazione integrata e segna una strada da seguire nella concezione degli interventi per il riuso di edifici storici esistenti in muratura.

Prof. Ing. Paolo SPINELLI

1. INTRODUZIONE

L'ospedale San Giuseppe è uno degli edifici pubblici più grandi e importanti del centro di Empoli. Il suo nucleo principale settecentesco fu costruito grazie al lascito testamentario di Giuseppe del Papa, medico e ricco possidente empoleso e il suo sviluppo è stato fino al secondo dopoguerra legato alle famiglie depositarie dell'eredità.

Con la costruzione di un nuovo complesso medico e il trasferimento delle funzioni ospedaliere verso strutture più adeguate alle esigenze moderne, sorge la questione di individuare per il vecchio ospedale una nuova funzione, al fine di garantirne la conservazione e la fruibilità da parte della cittadinanza. Nel presente lavoro di tesi è stata verificata la possibilità di trasformare il com-

plesso in un poliaule per la didattica universitaria, ipotesi che risulta compatibile sia con gli strumenti urbanistici sia con la vocazione storica del fabbricato, nato per volontà filantropica come dono alla città di Empoli.

Le tematiche architettoniche, strutturali e impiantistiche sono affrontate in modo organico al fine di proporre un progetto che, rapportandosi con l'esistente, per alcune parti attraverso le categorie del restauro, per altre del riuso ma anche attraverso l'inserimento di elementi nuovi, permetta la fruizione del bene senza stravolgerne gli aspetti morfologici e tipologici originari.

2. ANALISI DEL COMPLESSO OSPEDALIERO

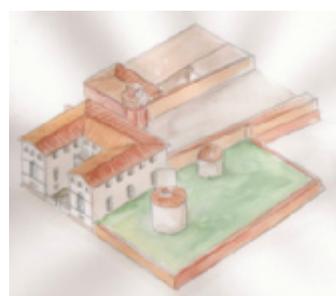
L'edificio fu uno dei primi ad essere costruiti fuori della cerchia muraria e nel tempo ha subito numerose modifiche, non tutte documentate. Oggi, in seguito alle trasformazioni della struttura urbana susseguitesesi nel tempo, si pone all'estremità del centro storico della città sulle vie di comunicazione principali e in prossimità della stazione ferroviaria.

La costruzione dello "Spedale S. Giuseppe" ebbe inizio il 5 luglio 1749 ad opera di Filippo Billi e Michele Bellocchi su progetto dell'ingegnere Santi Ciorini [1].

Originariamente il complesso era costituito da un unico edificio fondato su una porzione del bastione mediceo, con pianta a C composta da due ali (in cui si collocavano le camerate per la degenza) collegate da un transetto centrale [figura 2a]. Successivamente le suddette ali vennero ampliate verso l'attuale via G. da Empoli [figura 2b] e all'inizio del Novecento venne aggiunto un nuovo fabbricato con sviluppo lungo l'attuale via Roma, collegato all'esistente tramite un corridoio



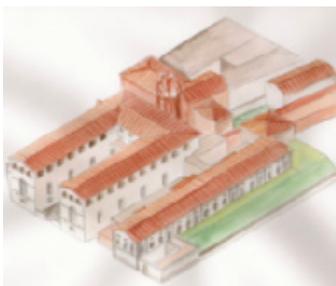
Figura 1 - Foto aerea del complesso ospedaliero



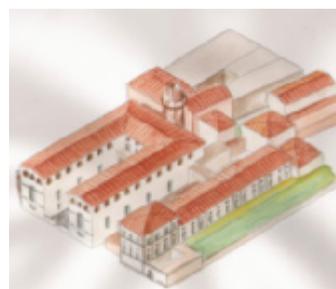
a) 1767



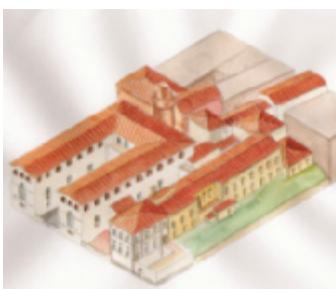
b) 1842



c) 1901



d) 1939



e) 2008

Figura 2 - Acquarelli rappresentanti l'evoluzione storica della costruzione del complesso.

atto a prolungare verso l'esterno il trasetto dell'edificio settecentesco [figura 2c]. Il nuovo elemento si pone parallelamente alle ali del nucleo originario riproponendone l'impianto funzionale secondo un procedimento tipico dell'architettura storica ospedaliera [2]. Con il secondo dopoguerra venne alterato profondamente l'impianto distributivo interno dei fabbricati con ripercussioni sui prospetti principali e conseguente perdita dei fattori formali caratterizzanti [figura 2e]. Oggi il complesso, a cui sono state aggiunte numerose superfetazioni per rispondere alle sempre nuove esigenze ospedaliere, presenta condizioni di forte degrado.

L'immobile, per la sua valenza storica, è sottoposto a vincolo architettonico della Soprintendenza per i Beni e le Attività Culturali della Regione Toscana, ai sensi dell'art. 2 e 5 del D.Lgs. 490/1999. Il vincolo prevede che, con l'intervento di restauro, siano eliminati tutti gli elementi aggiunti nel tempo che alterano il valore storico artistico del bene valorizzando gli ambienti interni, gli elementi strutturali e le finiture che nel tempo hanno definito le caratteristiche tipologiche del complesso.

Per formulare l'ipotesi di riuso dell'edificio si è cercato di creare una corrispondenza tra la nuova destinazione d'uso e il codice linguistico e distributivo della preesistenza. Per la realizzazione di tale analisi sono state individuate e analizzate quattro categorie omogenee di fattori tipologici [2]:

- il rapporto tra organismo ospedaliero e contesto ambientale nel quale si colloca;
- i fattori distributivi e funzionali;
- il significato linguistico formale degli spazi architettonici;
- le tecnologie costruttive impiegate.

È stato analizzato il rapporto del complesso ospedaliero con il tessuto urbano allo stato attuale, nella sua evoluzione, e nella prospettiva di modifiche future nell'ambito dei piani comunali in vigore, evidenziando criticità e potenzialità dell'intervento con riferimento alla viabilità urbana, al sistema delle soste e della mobilità in genere.

Analogamente è stato studiato il sistema dei percorsi interni, degli ingressi e delle connettività verticali insieme con lo schema funzionale e aggregativo del complesso allo stato attuale e nel suo sviluppo storico.

È stato ricostruito uno schema delle trasformazioni subite dai prospetti che ha evidenziato l'evoluzione dei rapporti tra i pieni e i vuoti ed i momenti in cui l'immagine dell'ospedale ha subito forti mutamenti dei fattori formali originari.

Sono infine stati analizzati i sistemi tecnologici e costruttivi utilizzati, le tipologie di paramenti murari, di solai e di copertura con particolare attenzione per le strutture voltate. Si è inoltre ricostruito, per i principali interventi di trasformazione di cui è stato oggetto l'ospedale, l'evoluzione degli schemi strutturali e delle tecnologie adottate al fine di comprendere le motivazioni che hanno portato all'attuale stato delle strutture.

L'analisi sistematica dei fattori tipologici, ha permesso di evidenziare gli aspetti caratterizzanti del complesso fornendo uno strumento indispensabile per la formulazione di un giudizio di valore sull'esistente e la proposta di relative ipotesi progettuali.

3. PROGETTO PER IL RIUSO DELL'OSPEDALE

Per attribuire una nuova destinazione d'uso ad un edificio preesistente di tipo specialistico, è importante lo studio delle caratteristiche di "trasformabilità", ossia la determinazione della vocazione degli spazi architettonici ad un mutamento d'uso compatibile sia con i caratteri tipologici originali che con la capacità degli elementi strutturali.

Nel caso in esame sono stati individuati, quali caratteri qualificanti dal punto di vista tipologico, la spazialità delle camerate dell'edificio settecentesco concepite come due unici e grandi volumi privi di separazioni interne e l'edificio su via Roma pensato come un unico elemento collegato con un trasetto al nucleo originario, in modo da formare in pianta una sorta di "tridente" [figura 1].

Gli interventi proposti per l'edificio settecentesco sono rivolti al ripristino della configurazione morfologica originaria. Si è quindi previsto, dove possibile, la demolizione delle aggiunte incompatibili con l'impianto primitivo, il ripristino delle aperture e il recupero degli elementi tipologici caratterizzanti.

Per l'edificio su via Roma e gli altri annessi secondari si è operato con maggiore libertà attraverso interventi riconducibili alla categoria del riuso.

È stata prevista l'eliminazione delle superfetazioni sia su via Paladini, per ricreare l'antica piazzetta dello Spedale, che tra l'edificio settecentesco e quello su via Roma al fine di creare una nuova corte simmetrica a quella esistente in modo da enfatizzare la struttura a tridente del complesso ospedaliero. Nella parte terminale dell'edificio su via Roma lato nord, è stata prevista la demolizione dell'edificio esistente ad un solo piano e sporgente rispetto alla linea perimetrale della facciata del fabbricato adiacente. In luogo di questo verrà realizzata una nuova struttura in linea con l'esistente e della stessa altezza, in modo da creare un elemento di continuità nei prospetti [figura 7].



Figura 3 - Diagramma di flusso del processo progettuale

Gli elementi architettonici aggiunti (il nuovo ingresso [figura 8] e la parte terminale dell'edificio su via Roma [figura 7]) utilizzano lo stesso linguaggio architettonico: struttura in acciaio e rivestimento in vetro alternato con doghe metalliche. Con l'utilizzo di materiali diversi da quelli delle preesistenze si vuole evidenziare la riconoscibilità dei nuovi interventi.

Nella progettazione di un'opera, di fondamentale importanza è la fase di analisi del corpo normativo di riferimento per la realizzazione di un progetto conforme agli standard e a tutti i vincoli di altra natura che, nel caso di interventi sull'esistente, costituiscono riferimenti di natura ancora più irrinunciabile degli standard stessi.

Si è cercato quindi di trattare in modo integrato le diverse problematiche con cui è necessario confrontarsi nel recupero di un edificio storico. È stato affrontato il tema dell'antincendio, dell'accessibilità, del recupero delle strutture e dell'impiantistica in modo che risultassero congruenti con l'impianto funzionale relativo alla nuova destinazione d'uso.



Figura 4 - Schema metodologico per la valutazione di trasformabilità delle preesistenze.

La collocazione urbanistica e la struttura storica fondata sul bastione mediceo non consentono l'inserimento di parcheggi dedicati esclusivamente ai docenti e agli studenti. D'altronde la destinazione d'uso universitaria appare comunque la più idonea data la vicinanza alla stazione ferroviaria.

L'ingresso principale al nuovo complesso edilizio si colloca su via Giovanni da Empoli, attraverso la nuova corte, realizzata tra l'edificio settecentesco e quello su via Roma, parallela all'antica corte vincolata dalla Soprintendenza [figura 5 e 6]. Per quest'ultima è previsto unicamente l'intervento di rifacimento della pavimentazione nel rispetto di quella originaria. Alla nuova corte [figura 8] si accede tramite una scalinata, che collega la strada a livello 0,00m con l'ingresso del piano terreno a livello +4,10m, e due ascensori in acciaio e vetro posizionati lateralmente a questa. Lo spazio antistante l'ingresso è protetto da un'ampia copertura realizzata attraverso il prolunga-

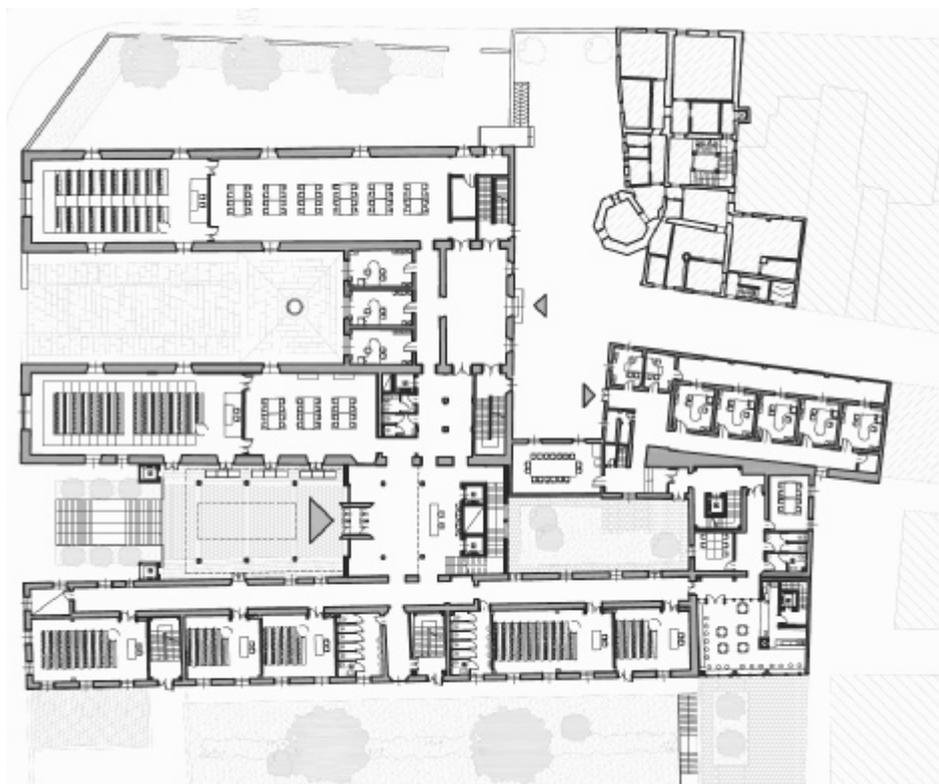


Figura 5 - Pianta piano terreno, stato modificato

mento della struttura portante in acciaio del nuovo blocco d'ingresso. L'entrata storica su via Paladini a livello +4,10m, assume un carattere secondario poiché, nonostante l'importante prospetto su cui si apre, è raggiungibile unicamente dal centro storico non carrabile. Un ulteriore ingresso al complesso su via Paladini, è utilizzato esclusivamente per l'accesso agli uffici.

Nella progettazione del nuovo poliaule l'analisi distributiva dell'edificio originario ha guidato la rifunzionalizzazione complessiva degli ambienti. Nell'edificio settecentesco sono previste aule di grandi dimensioni e ampi spazi studio e di incontro per gli studenti per ricreare l'originaria spazialità degli ambienti [figure 9 e 10]; nell'edificio su via Roma aule di medie e piccole dimensioni e laboratori serviti da un corridoio laterale; negli altri ambienti adiacenti via Paladini sono previsti uffici e piccole aule studio.

Una delle problematiche principali è stata il collegamento dei piani dei vari fabbricati realizzati in epoche diverse e non direttamente comunicanti. Per i collegamenti verticali all'interno del complesso sono state mantenute le scale esistenti, rese protette ai fini antincendio per l'evacuazione dei piani superiori.

Sono state aggiunti ulteriori blocchi scala poiché quelli esistenti sono risultati insufficienti rispetto all'affollamento previsto.

La progettazione degli impianti è particolarmente delicata negli interventi di recupero in quanto la nuova destinazione d'uso necessita di attrezzature che difficilmente trovano posizione in un edificio che non è stato concepito per accoglierle.



Figura 6 - Vista prospettica da via Giovanni da Empoli



Figura 7 - Vista prospettica da via Roma



Figura 8 - Nuova corte d'ingresso al poliaule universitario

Per il recupero delle strutture, essendo il complesso soggetto a vincolo della Soprintendenza, sono stati proposti alcuni interventi di miglioramento sismico. Per quanto riguarda l'edificio settecentesco sono state consolidate le volte mediante l'applicazione di fibre di carbonio posizionate all'intradosso, in modo da rafforzare la struttura nata per sopportare carichi minori di quelli di progetto. Per l'edificio su via Roma [figura 1] si è previsto l'inserimento di telai metallici di controvento dei muri longitudinali, ancorati alla muratu-



Figura 9 - Laboratorio all'ultimo piano dell'edificio settecentesco



Figura 10 - Aula magna al piano terreno dell'edificio settecentesco

ra esistente mediante tirafondi annegati in resina epossidica per migliorare il comportamento della struttura alle azioni orizzontali.

4. PROGETTO STRUTTURALE

Il cambiamento di destinazione d'uso ha comportato l'incremento dei carichi gravanti sulle strutture esistenti. L'analisi degli orizzontamenti sottoposti a tali carichi ha evidenziato la necessità di intervenire con opere di rinforzo. Inoltre, per migliorare la risposta delle strutture alle azioni sismiche, è stato progettato l'inserimento di telai metallici nell'edificio su via Roma.

L'analisi del comportamento statico del complesso ospedaliero ha evidenziato come la spinta orizzontale delle volte rappresenti l'aspetto di maggiore criticità dell'intero sistema. Le verifiche dei maschi murari soggetti a tali azioni fuori dal proprio piano risultano non soddisfatte alla luce dei carichi e dei coefficienti di sicurezza richiesti dalla normativa. La ricerca di schemi strutturali adatti a comprendere il comportamento dell'edificio ha reso necessario uno studio approfondito delle strutture voltate in mu-

ratura e dei metodi che possano utilmente descriverne il funzionamento. Il comportamento anisotropo del materiale rende poco significative le applicazioni della teoria elastica: l'attenzione è stata quindi rivolta verso la rilettura dei metodi storici di analisi attraverso un approccio già delineato da Heyman, Benvenuto e Giuffrè [3, 4, 5, 6]. Le teorie strutturali analizzate (teorie preelastiche [figura 11]) affrontano il problema della stabilità attraverso considerazioni di equilibrio di conci rigidi collegati da perni senza l'utilizzo delle leggi di legame e di congruenza. Questo approccio acquista alla luce dei teoremi dell'analisi limite un nuovo valore, conferendo a questi metodi una valenza progettuale anche dal punto di vista delle moderne teorie strutturali. Già alcuni autori hanno proceduto ad una rilettura in chiave moderna delle teorie preelastiche, in particolare è stato fatto riferimento ai lavori di C. Blasi e P. Foraboschi [7] e di M. Corradi, F. Foce e A. Sino poli [8].

L'obiettivo è stato quello di verificare se le teorie dei maestri del passato potessero essere applicate per lo studio ed il progetto di interventi sull'esistente.

Le volte oggetto di studio, realizzate in muratura con mattoni disposti a coltello, sono situate nelle ali dell'edificio settecentesco [figura 12]: quella al piano seminterrato è caratterizzata da una sezione ribassata con luce di 8,20m, freccia 1,20m e spessore pari a 15cm con aumento di sezione fino a 30 cm alle imposte; quella al piano soprastante ha sezione policentrica di luce 8,80m, freccia 2,00m, spessore 15cm con analogo ringrosso alle estremità. Quest'ultima presenta inoltre dei frenelli di 15cm posti ad interasse di 1,20m collegati da voltine in foglio [figura 13].

I metodi analizzati sono stati applicati a tre tipologie di arco differente. Il primo è l'arco a tutto sesto (di luce pari a quella delle volte in esame) in quanto oggetto di tutte le trattazioni; gli altri due sono l'arco ribassato e quello policentrico presenti nel complesso ospedaliero.

La prima analisi è stata condotta utilizzando metodi geometrici come quello di Leonardo da Vinci e Bernardo Antonio Vittone che riconducono lo studio di stabilità al tracciamento di semplici costruzioni grafiche.

Un secondo gruppo di trattazioni applicate sono quelle riconducibili alla legge della leva le quali rappresentano le prime applicazioni delle leggi della meccanica ai sistemi voltati. Una svolta decisiva nello studio della statica dell'arco si ha con Coulomb e Mascheroni che, il primo tramite un approccio di tipo statico, il secondo attraverso un approccio cinematico, hanno introdotto il concetto di meccanismo di collasso. La teoria di Coulomb trova compimento nell'opera di Percy che completa la casistica dei meccanismi cinematici. Quest'ultimo gruppo di metodi si basa sulla ricerca di un intervallo ammissibile di valori della spinta relativi ai meccanismi di collasso analizzati.

Per le strutture in esame, dall'analisi dei risultati di questi metodi si evince che per carichi simmetrici l'arco ribassato posto al piano seminterrato risulta stabile mentre per l'arco policentrico al

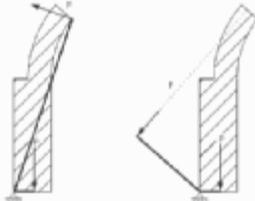
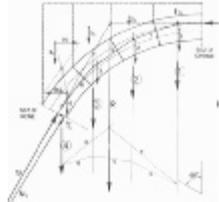
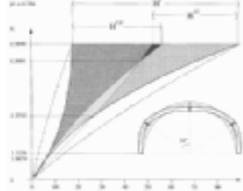
<i>1. METODI DI PROPORZIONAMENTO GEOMETRICO</i>	
Leonardo da Vinci (1456-1512) Bernardo Antonio Vittore (1760)	
<i>2. APPLICAZIONI DELLE LEGGI DELLA LEVA</i>	
Philippe de la Hire (1640-1718) Forest de Belidor (1698-1761)	
<i>3. INDIVIDUAZIONE DI INTERVALLI AMMISSIBILI DI SPINTA</i>	
Charles Augustin De Coulomb (1776) Lorenzo Mascheroni (1750-1800)	
<i>4. INDIVIDUAZIONE DELLA CURVA DELLE PRESSIONI</i>	
Eugene Mery (1840) Jacques Heyman (1966)	
<i>5. FORMULAZIONE MODERNA DELLE TEORIE PREELASTICHE</i>	
C. Blasi e P. Foraboschi (1994) M. Corradi, F. Foce e A. Sinopoli (1997)	

Figura 11 – Metodi di analisi delle strutture voltate

piano terreno non è mai possibile trovare un intervallo ammissibile della spinta per cui il sistema risulti in equilibrio. In realtà nelle analisi si è sempre tralasciato il contributo irrigidente dei frenelli che ricoprono un ruolo invece molto importante. Considerando inoltre che alle reni l'arco è probabilmente ben ammorsato al piedritto per almeno la metà del tratto caratterizzato da un raggio di curvatura più piccolo, si evince che l'arco policentrico è molto ben approssimabile ad un arco ribassato con una luce minore e quindi, anche in questo caso, la verifica risulta soddisfatta.

A conferma della inadeguatezza dell'analisi elastica per lo studio di questi sistemi, le tre tipologie di arco in esame sono state analizzate mediante modellazione lineare agli elementi finiti. Le curve delle pressioni fornite da tali analisi risultano

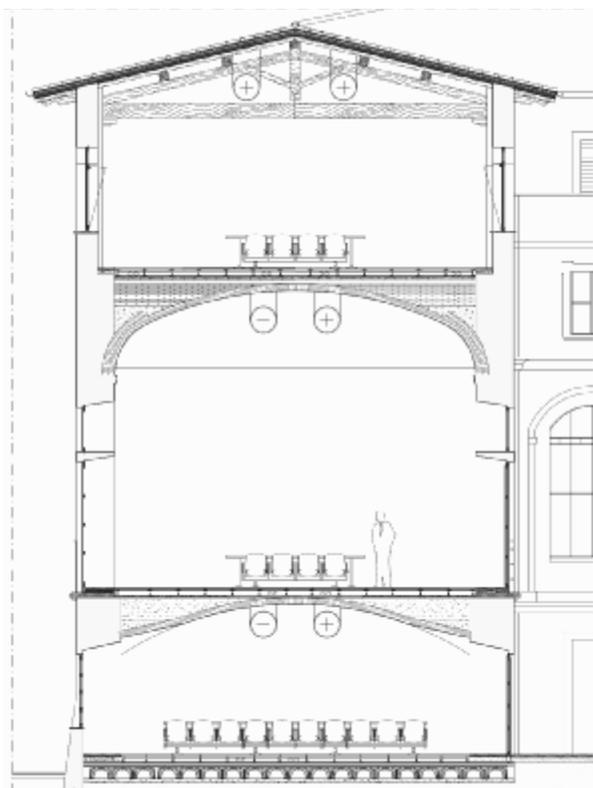


Figura 12 - Sezione trasversale ala ovest, stato modificato

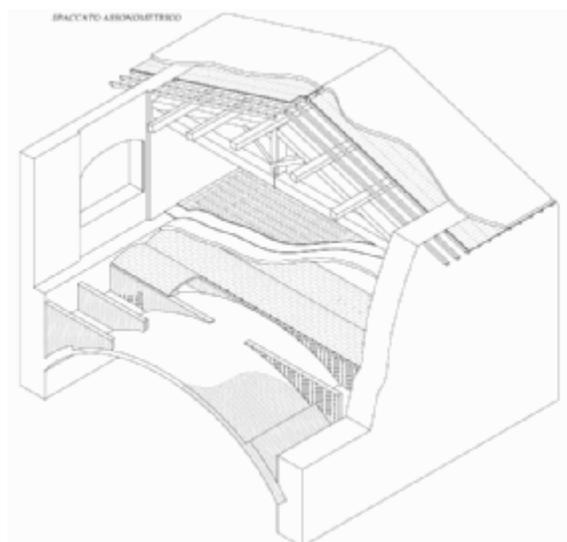


Figura 13 - Spaccato dell'ultimo piano dell'edificio settecentesco

esterne allo spessore dell'arco e quindi non ammissibili per l'equilibrio della sezione. L'analisi elastica risulta quindi non sufficiente per lo studio dei sistemi voltati.

Per concludere, i metodi basati sulla ricerca di un intervallo ammissibile del valore della spinta, pur considerando meccanismi di collasso diversi, risultano essere equivalenti nel momento in cui si adotta lo stesso schema di carico. In particolare si osserva come la schematizzazione del riempimento

sia determinante per lo studio dell'equilibrio.

Un approccio basato sul teorema statico, che riconduce l'analisi di stabilità di un arco alla ricerca di una curva delle pressioni in equilibrio coi carichi totalmente interna allo spessore, risulta ancora più flessibile e pratico. Tramite questo metodo è possibile sviluppare l'analisi della struttura tenendo conto della reale geometria e dell'effettiva distribuzione dei carichi senza incorrere in particolari complicazioni.

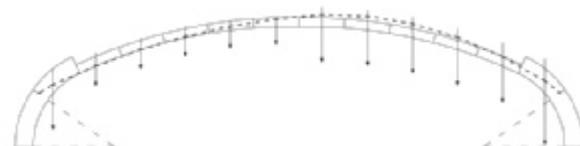


Figura 14 - Curva delle pressioni dell'arco policentrico sottoposto a carico asimmetrico

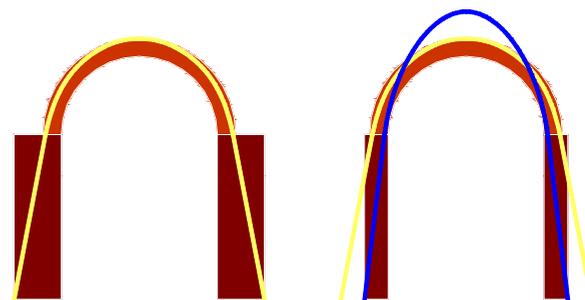


Figura 15 - Studio dell'equilibrio attraverso la statica grafica

È quindi possibile effettuare l'analisi per una qualsiasi stesa dei carichi, in particolare per condizioni di asimmetria che, come detto, risultano essere le più gravose. Percorrendo questa strada, attraverso un approccio agli stati limite, si evince come le volte in esame non siano capaci di sostenere i carichi di progetto e che quindi sia necessario un intervento di rafforzamento. Si osserva infatti che al variare della spinta non sia possibile trovare una curva delle pressioni totalmente interna allo spessore [figura 14] ed inoltre, per la volta del piano seminterrato, emerge il problema di garantire l'equilibrio al ribaltamento del piedritto sottoposto alla spinta della volta.

Si è deciso di intervenire applicando delle strisce di compositi fibrorinforzati (FRP) all'intradosso della volta in modo da costituire una sezione resistente muratura-composito in grado di assorbire le tensioni di trazione che la muratura da sola non potrebbe equilibrare. Le fibre, dello spessore di 0,17mm, larghezza 200mm (tensione di rottura a trazione 4200MPa e modulo elastico a trazione 390GPa), sono state applicate in direzione sia longitudinale (interasse 2,10m) che tra-

sversale (interasse 0,65m) della volta. L'utilizzo dei compositi costituisce dal punto di vista del recupero un intervento ottimale in quanto non priva la struttura esistente delle proprie funzioni, ma entra in gioco soltanto nelle configurazioni ultime nelle quali la sola muratura non è in grado di fornire l'equilibrio. La scelta di applicare le strisce all'intradosso delle volte è forzata per la volta del secondo piano dove la presenza delle voltine in foglio appoggiate ai frenelli rende impraticabile l'intervento all'estradosso a meno della demolizione delle stesse.

Per quanto riguarda la volta del seminterrato l'applicazione di fibre all'intradosso permette di diminuire la spinta sui piedritti in modo da prevenire il meccanismo di collasso per ribaltamento di questi ultimi [9]. La sezione rinforzata è infatti capace di assorbire sollecitazioni flettenti rendendo compatibili con la stabilità del sistema configurazioni della curva delle pressioni caratterizzate da forti eccentricità ma da spinte inferiori [figura 15].

BIBLIOGRAFIA ESSENZIALE:

- [1] Documenti Archivio storico Ospedale S. Giuseppe, faldoni V e XXVI
- [2] BIAGINI C. *L'ospedale degli infermi di Faenza. Studi per una lettura tipo-morfologica dell'edilizia ospedaliera storica*, University Press, Firenze 2007
- [3] BENVENUTO E. *La scienza delle costruzioni ed il suo sviluppo storico*, Sansoni, Firenze, 1981
- [4] HEYMAN J. *The masonry arch*. Chichester: Ellis Horwood. 1982
- [5] GIUFFRÈ A. *La meccanica dell'architettura. La statica*. La nuova Italia scientifica. Roma, 1989
- [6] HEYMAN J. *The stone skeleton*. Cambridge University press. 1995
- [7] BLASI C., FORABOSCHI P. *Analytical approach to collapse mechanisms of circular masonry arch*. Journal of structural engineering, August 1994
- [8] SINOPOLI A., CORRADI M., FOCE F. *Modern formulation for preelastic theories on masonry arches*. Journal of engineering mechanics, March 1997
- [9] FORABOSCHI P. *Strengthening of masonry arches with fiber-reinforced polymer strips*. Journal of composites for construction, ASCE, May/June 2004