

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI FEDERICO II



DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, EDILE E AMBIENTALE
CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA EDILE-ARCHITETTURA

TESI DI LAUREA
IN
STORIA DELL'ARCHITETTURA

*Radici e continuità dell'architetto «vulgo ingegniero»
nel Mezzogiorno all'insegna di Leonardo.
L'opera di Antonio Marchesi per Santa Caterina a Formiello*

Relatore:

Ch.mo Prof. Alfredo Buccaro

Candidato:

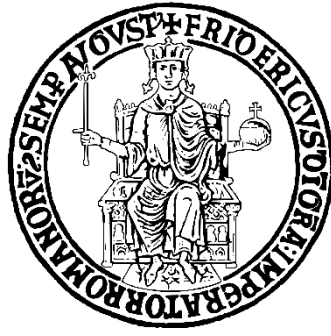
Riccardo Maria Polidoro

Matr. N52/712

Correlatore

Ch.mo Prof. Antonio Formisano

ANNO ACCADEMICO 2023/2024



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI NAPOLI "FEDERICO II"

SCUOLA POLITECNICA E DELLE SCIENZE DI BASE

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, EDILE E AMBIENTALE

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE A CICLO UNICO IN

INGEGNERIA EDILE – ARCHITETTURA

TESI DI LAUREA IN STORIA DELL'ARCHITETTURA

RADICI E CONTINUITÀ DELL'ARCHITETTO «VULGO INGENIERO»
NEL MEZZOGIORNO ALL'INSEGNA DI LEONARDO.
L'OPERA DI ANTONIO MARCHESI PER SANTA CATERINA A FORMIELLO

RELATORE

CH.MO PROF. ALFREDO BUCCARO

CORRELATORE

CH.MO PROF. ANTONIO FORMISANO

CANDIDATO

RICCARDO MARIA POLIDORO

MATR. N52/712

ANNO ACCADEMICO 2023 – 2024

*« Acquista cosa nella tua gioventù che ristori il danno della tua vecchiezza.
E se tu intendi la vecchiezza aver per suo cibo la sapienza, adoprali in tal modo in gioventù,
che a tal vecchiezza non manchi il nutrimento. »*

Leonardo da Vinci

Alla pianista e l'ingegnere,
autori dell'autore,
futuro ingegnere-architetto.

Sommario

Introduzione	I
Parte I - Radici e continuità dell'architetto «vulgo ingegnere» nel Mezzogiorno all'insegna di Leonardo	1
1. Leonardo da Vinci: nascita di uno scienziato-artista	2
2. Origini di un filo rosso vinciano nel Mezzogiorno: la professione tra Quattro e Seicento	13
2.1. Ingegneria e Architettura a Napoli tra la fine del Quattrocento e gli inizi del Cinquecento	13
2.2. Leonardo tra esperienza e ragione: prime influenze nel Mezzogiorno	17
2.3. L'ultimo Leonardo. Racconti dal viaggio del cardinale Luigi d'Aragona	22
2.4. Le prime tracce post-vinciane in ambito napoletano	23
2.5. Gli ingegneri durante il vicereame spagnolo	24
3. Le prime influenze vinciane a Napoli tra XV e XVI secolo: l'opera di Antonio Marchesi da Settignano	35
3.1. Cenni biografici	35
3.2. L'architettura militare: innovazioni nel progetto di fortificazioni	36
3.3. Il bastione del parco e la cinta di Castel Nuovo	37
3.4. La villa di Poggioreale	39
3.5. Altre attribuzioni	40
4. La diffusione vinciana tra Sei e Settecento nella Capitale del Mezzogiorno	45
4.1. Ingegneri-architetti e Architetti civili: l'evoluzione della figura professionale	45
4.2. Le trascrizioni sei e settecentesche: sviluppi nella diffusione della lezione vinciana	47
4.3. Matteo Zaccolini, prospettivista vinciano e «consiliarius aedificorum» a Napoli	54
4.4. Tracce vinciane nella Biblioteca Nazionale di Napoli: il fondo Corazza	59
5. La figura professionale tra Sette e Ottocento	72
5.1. Luigi Vanvitelli, ultimo «architetto vulgo ingegnere» nel Mezzogiorno moderno	74
5.2. Vincenzo Lamberti: nascita dello scienziato-artista	75
5.3. La formazione degli scienziati-artisti di Stato nella Scuola di Ponti e Strade	79
6. Gli studi su Leonardo nell'ambiente napoletano tra Otto e Novecento	86
6.1. Dopo Corazza: la trascrizione vinciana di Bossi e gli studi di Venturi	86
6.2. Gli iniziatori del leonardismo napoletano	88
6.3. La Real Commissione Vinciana e l'opera di Roberto Marcolongo	90
6.4. L'eredità vinciana negli ingegneri-architetti odierni	93

Parte II – Santa Caterina a Formiello: storia e ipotesi di intervento strutturale	99
7. Studi storico-architettonici	100
7.1. Inquadramento storico	100
7.2. La struttura architettonica	108
7.3. Un’analisi comparata: la Madonna del Calcinaio a Cortona di Francesco di Giorgio	113
7.4. L’attribuzione ad Antonio Marchesi da Settignano	120
8. Studi strutturali e progetto di miglioramento sismico	126
8.1. Premessa all’analisi strutturale	126
8.1.1. Evoluzione degli studi sulla muratura e quadro normativo	126
8.2. Descrizione generale dell’opera (NTC 2018, par. 8.5.1)	130
8.2.1. Ricostruzione degli interventi attuati sull’opera in epoca recente	130
8.2.2. Condizioni del terreno di fondazione	133
8.2.3. Strutture e sicurezza statica	135
8.3. Tipologia degli interventi previsti	136
8.4. Normativa di riferimento	136
8.5. Materiali impiegati e resistenze di calcolo	137
8.5.1. Materiali esistenti	137
8.5.2. Materiali nuovi	143
8.6. Analisi dei carichi	144
8.6.1. Solai	145
8.6.2. Volte	146
8.6.3. Coperture	147
8.6.4. Tamburo, cupola e lanterna	147
8.6.5. Volute	150
8.6.6. Azioni sismiche	150
8.7. Progetto dell’intervento (NTC 2018, par. 8.7.5)	165
8.7.1. Generalità	166
8.7.2. Modello di calcolo ante operam – Chiesa isolata	166
8.7.3. Modello di calcolo ante operam – aggregato	173
8.7.4. Combinazioni di carico	183
8.7.5. Verifiche strutturali	184
8.7.6. Analisi globali sulla struttura originaria	184
8.7.7. Progetto degli interventi	199
8.7.8. Analisi globali sulla struttura post-intervento	209
8.7.9. Conclusioni	215
8.8. Valutazione PAM e IS-V del modello ante e post operam	216
8.8.1. Metodo convenzionale	216
8.8.2. Valutazione PAM e IS-V del modello ante operam	220
8.8.3. Valutazione PAM e IS-V del modello post operam	222

8.9. Analisi statica grafica della cupola	223
8.9.1. Funzionamento statico delle cupole: la teoria membranale	223
8.9.2. Gli studi rinascimentali sul funzionamento delle cupole	227
8.9.3. Heyman e la teoria dell'equilibrio degli archi in muratura	231
8.9.4. Applicazione alla cupola di Santa Caterina a Formiello	234
Conclusioni	245
Fonti bibliografiche	250
Fonti iconografiche	256
Allegati grafici	260
Sitografia	264
Indice dei nomi	265
Ringraziamenti	269
Pagine bianche	Errore. Il segnalibro non è definito.

Appendice

(Allegato in CD)

Moduli schedografici	303
Modulo A – Anagrafico identificativo	303
A3. Denominazione del bene	303
A4. Toponomastica	303
A5. Coordinate geografiche	303
A8. Periodo di realizzazione	303
A9. Destinazione d'uso attuale	303
A10. Documentazione fotografica	304
A11. Stralcio planimetrico	307
A12. Descrizione morfologica	308
A13. Presenza di elementi di pregio	308
A14. Altra documentazione	308
A15. Valutazione d'interesse culturale	308
Modulo B – Fattori di sensibilità	308
B1. Caratteristiche dimensionali	308
B2. Localizzazione	309
B3. Terreno e fondazioni	309
B4. Analisi dell'aggregato edilizio	309
B5. Accessibilità	309
B6. Stato di utilizzo	309
Tabulati di calcolo	310
Modello di calcolo ante operam – Chiesa isolata	310
Definizione degli elementi	310
Analisi modale	379
Analisi statica	379
Schede Vulnerabilità	429
Modello di calcolo ante operam – aggregato	432
Definizione degli elementi	432
Analisi statica	563
Schede di vulnerabilità	624
Modello di calcolo post operam – aggregato	626
Analisi dei carichi	626
Definizione degli elementi	631
Schede di vulnerabilità	837
Calcoli di statica grafica	840

Introduzione

Il presente lavoro di tesi magistrale in Ingegneria Edile-Architettura si propone di esplorare un intricato percorso storico e culturale, focalizzandosi sull'influenza di Leonardo da Vinci – uno dei geni più influenti della storia noto per opere d'arte iconiche come la *Gioconda* e il *Cenacolo* nonché per i numerosi appunti che documentano le sue idee scientifiche e tecnologiche – su scienza, architettura e ingegneria nel Mezzogiorno, con una particolare attenzione al contesto napoletano. Questa ricerca, partendo dagli studi di Alfredo Buccaro sulle tracce di Leonardo e sulla diffusione della figura vinciana dello scienziato-artista nel Mezzogiorno¹, intende seguirne il solco con nuovi approfondimenti e contributi di metodo. Lo studio si snoda attraverso i secoli, dal Rinascimento fino all'età contemporanea, seguendo le tracce di figure di spicco, cambiamenti paradigmatici e la perpetua rilevanza delle idee vinciane e del suo metodo di indagine che unisce la logica deduttiva alla *sperienza* come guida per la creazione e l'innovazione, nel contesto della professione di ingegnere-architetto in ambito napoletano. L'evoluzione dell'architetto *vulgo ingegnere* durante il vicereame spagnolo sarà definita esplorando le opere di Theti, Nigrone, Stigliola, Fontana e Picchiatti, figure chiave per lo studio degli sviluppi della professione nel contesto locale tra Cinque e Seicento.

Il nostro viaggio nel tempo ci porterà ad approfondire la figura e l'attività di Francesco di Giorgio Martini e Antonio Marchesi da Settignano, ingegneri-architetti il cui contributo nel Mezzogiorno rappresenta un caso studio significativo. In particolare, l'analisi delle opere del Marchesi a Napoli, tra cui si segnala la Chiesa di Santa Caterina a Formiello, esemplare applicazione dei principi architettonici emergenti in area fiorentina, ci guiderà nella comprensione di come queste idee si siano incarnate nell'architettura napoletana. Parallelamente, seguendo lo spirito di marca vinciana nell'unione tra studi teorici e riscontri pratici, l'approfondimento sulla Chiesa si estenderà all'ambito della redazione di un progetto strutturale, con particolare attenzione all'analisi di vulnerabilità sismica e ad una proposta di miglioramento sismico.

Il processo progettuale prevede un'analisi di vulnerabilità sismica basata sullo studio approfondito di rilievi, progetti, fonti archivistiche e altra documentazione pertinente; la

modellazione del complesso attraverso l'utilizzo di analisi agli elementi finiti per macroelementi (FME) nel rispetto delle N.T.C. 2018 costituisce il cuore della valutazione strutturale. Questo approccio consente di simulare il comportamento dell'edificio in risposta a diverse condizioni sismiche, permettendo una valutazione dettagliata dei punti critici e delle vulnerabilità strutturali. L'analisi dei risultati ottenuti dalla modellazione FME è cruciale per comprendere appieno le dinamiche strutturali della Chiesa di Santa Caterina a Formiello in risposta a eventi sismici. Da un'interpretazione delle possibili criticità saranno delineati i rischi e le necessità di intervento: sulla base dei risultati delle analisi sarà proposto un progetto volto al miglioramento sismico elaborato in conformità con il D.P.C.M. 9 febbraio 2011 (*Valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle norme tecniche per le costruzioni di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008*) in maniera tale da garantire che gli interventi siano in armonia con le esigenze di conservazione e valorizzazione del patrimonio architettonico. In questo modo, l'analisi di vulnerabilità sismica si converte in un progetto strutturale attento e rispettoso della ricchezza storica e culturale della Chiesa di Santa Caterina a Formiello.

Tra i vari protagonisti del processo di trasmissione e sviluppo del metodo vinciano nel Mezzogiorno ci si soffermerà sulla figura di Matteo Zaccolini, frate teatino cesenate che ha operato nella Chiesa dei SS. Apostoli e nella Chiesa di S. Maria degli Angeli a Pizzofalcone particolarmente noto per la sua tecnica di rappresentazione prospettica, da lui racchiusa in un trattato in quattro tomi di cui sono state rinvenute le copie apografe redatte da Cassiano dal Pozzo nel Seicento ed oggi conservate nella Biblioteca Laurenziana di Firenze. Attraverso il Codice Corazza, parte dell'operazione di trascrizione degli scritti vinciani promossa da Cassiano dal Pozzo, esploreremo la diffusione della lezione di Leonardo a Napoli tra il Sei e il Settecento.

L'affiorare di una nuova visione nel contesto post-vanvitelliano, caratterizzata dal definitivo crollo delle *regole dell'arte*, apre uno scenario di sperimentazione e rinnovamento nel quale gli scienziati-artisti si affacciano compiutamente a nuove posizioni stilistiche e concettuali. In questo contesto, gli ingegneri-architetti, rappresentati da figure come Vincenzo Lamberti, svolgono un ruolo chiave nella definizione di una pratica progettuale intrisa di conoscenze scientifiche. La fondazione della Scuola di Ponti e Strade si configura come un momento cruciale in cui la diffusione dell'interdisciplinarietà tra scienza e architettura si

concretizza, aprendo la strada a un approccio più razionale e ingegneristico alla progettazione.

In età contemporanea, l'opera di Roberto Marcolongo e degli altri membri della Real Commissione Vinciana aggiunge un tassello importante alla nostra comprensione dell'influenza di Leonardo. Marcolongo ha contribuito a consolidare i legami tra Leonardo e le moderne discipline scientifiche e ingegneristiche. L'analisi delle sue opere nei contesti vinciani aggiunge un'ulteriore dimensione alla perpetua rilevanza delle idee di Leonardo, evidenziando come il genio rinascimentale abbia trascorso i secoli per influenzare il pensiero contemporaneo.

In qualità di scienziato-artista, Leonardo rappresenta sostanzialmente l'origine di una figura professionale che, senza soluzione di continuità, continua a svilupparsi fino a confluire nella scuola napoletana di ingegneria: l'eredità vinciana sarà tramandata in maniera diretta tra diversi ingegneri-architetti attivi nel Sud Italia – tra cui si segnalano Antonio Marchesi da Settignano, Bartolomeo Picchiatti, Luigi Vanvitelli, Vincenzo Lamberti, Luigi Giura, Luigi Cosenza – che hanno incarnato la continuità di questo filo rosso leonardesco nei secoli successivi.

Questi studiosi, ognuno a modo proprio, hanno recepito il lavoro di Leonardo, sviluppando e applicando le sue teorie scientifiche nell'ambiente meridionale. Attraverso i loro contributi, possiamo tracciare un percorso che collega direttamente Leonardo ai giorni nostri, rivelando come le sue idee abbiano resistito alla prova del tempo e si siano evolute al punto da essere alla base di gran parte delle attuali metodologie e tecniche tipiche della pratica progettuale.

Attraverso questo lavoro, ci proponiamo di gettare nuova luce sul continuum metodologico, scientifico ed artistico che collega Leonardo da Vinci alla formazione e all'evoluzione della figura di ingegnere-architetto nel contesto napoletano e del Mezzogiorno, offrendo una visione complessiva delle influenze vinciane che ancora permeano la professione nel ventunesimo secolo, preparando il terreno per la formazione di una nuova generazione di scienziati-artisti fortemente radicati in questa tradizione.

¹ Cfr. A. Buccaro, *Leonardo da Vinci - il Codice Corazza nella Biblioteca Nazionale di Napoli*, I, Napoli, CB ed., 2011.

Parte I

Radici e continuità dell'architetto

«vulgo ingegniero» nel Mezzogiorno

all'insegna di Leonardo

« Ars sine scientia nihil est. »

Jean Mignot

1. Leonardo da Vinci: nascita di uno scienziato-artista

Il Quattrocento è il secolo dell'Umanesimo, delle prime attenzioni verso le opere classiche (non solo per quanto riguarda la scultura o i resti di architettura: si pensi alla riscoperta nel 1414 del *de Architectura* di Vitruvio – ad opera di Poggio Bracciolini, che ne rinviene una copia nell'Abbazia di Montecassino – la cui diffusione avvierà un periodo florido di trattati su temi di architettura, ingegneria civile e militare), della diffusione della stampa a caratteri mobili – invenzione di importanza cardinale per la diffusione dei trattati – del superamento del sistema feudale, delle prime sperimentazioni urbanistiche in Italia, del rinnovamento nelle tecniche pittoriche, della nascita della prospettiva... In questo momento storico si assiste ad una crescita della popolazione che, parallelamente ad un'intensificazione di scambi e commerci, determina una stagione di intensa attività edificatoria su gran parte della Penisola; in area toscana, in particolare, il secolo si apre sull'operato di figure del calibro di Donatello, Ghiberti, Brunelleschi, Masaccio, determinando una particolare fioritura delle arti.

In questo contesto si colloca la formazione di Leonardo da Vinci, nato ad Anchiano il 15 aprile 1452 (come documentato in un registro notarile di Antonio di ser Piero di ser Guido da Vinci ritrovato dallo storico Emil Möller nel 1939²) da Ser Piero, notaio, e Caterina, schiava caucasica³ liberata dallo stesso Piero.

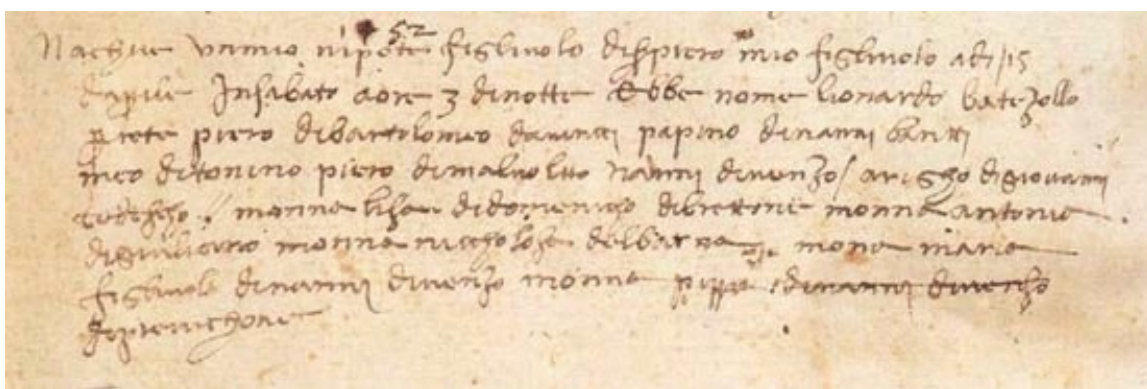


Figura 1: "Nacque un mio nipote, figliuolo di ser Pietro mio figliuolo, a di 15 d'aprile in sabato a ore 3 di notte. Ebbe nome Lionardo [...]". Registro cartaceo notarile antecosimiano, Archivio di Stato di Firenze.

Le più antiche notizie biografiche su Leonardo provengono dal *Codice dell'Anonimo Gaddiano*⁴ scritto tra il 1506 e il 1532, dalla *Vita* scritta da Paolo Giovio venti anni dopo la morte dello scienziato-artista e dalle *Vite* del Vasari; lo studio biografico sul genio si è però affinato nei secoli; tra i vari contributi in tal senso si segnalano l'articolo sull'Enciclopedia italiana ad opera di Enrico Carusi⁵ e quello sull'Enciclopedia dell'Italiano di Marco Biffi⁶.

Salvo quanto appuntato sul sogno del nibbio, le notizie autografe sull'infanzia dello scienziato-artista sono scarse. A seguito del trasferimento stabile del padre a Firenze nel 1469, Leonardo sarà instradato verso la pittura, lavorando nella bottega di Andrea del Verrocchio – tra i maggiori artisti fiorentini dell'epoca, occupato in quel periodo con la costruzione della sfera di bronzo di coronamento della lanterna della cupola di S. Maria del Fiore – dove conoscerà il Perugino e Sandro Botticelli. Nel 1473 realizza il primo disegno di paesaggio rurale dell'età moderna, il *Paesaggio del Valdarno*, con data indicata tramite scrittura a specchio (pur presentando nel rovescio del foglio una frase vergata nel verso ordinario); la sua attività pittorica in questo periodo è comunque ridotta, a differenza del *corpus* di disegni, schizzi preparatori, annotazioni e studi sulla rappresentazione di fiori, teste, drappaggi.



Figura 2: *Paesaggio del Valdarno*. Firenze, Galleria degli Uffizi, Gabinetto dei Disegni e delle Stampe.

Si delinea già in questo periodo un'attrazione in Leonardo verso la scienza e la tecnica, come testimoniano alcuni disegni dell'epoca⁷, parte del *Codice Atlantico*, che raffigurano ingranaggi, argani, cannoni su carri a triciclo, canali per l'Arno tra Firenze e Pisa...

Nel 1482 Leonardo lascia Firenze alla volta della corte sforzesca di Milano. Nel primo periodo milanese, lo scienziato-artista realizzerà la *Vergine delle Rocce*, il modello in gesso del cavallo per la statua equestre di Francesco Sforza e il *Cenacolo* di S. Maria delle Grazie; allo stesso tempo produrrà gran parte dei manoscritti su cui fonda la figura del genio enciclopedico universalmente riconosciuta. Da artista affermato, Leonardo scrive una lettera a Ludovico il Moro, offrendo al sovrano i propri servizi ed esponendo le proprie capacità, prevalentemente in ambito militare; su dieci punti del suo elenco di "competenze", nove sono dedicati a ponti, fortificazioni, mine, cannoni, prototipi di carri armati... solo l'ultimo è dedicato all'architettura, all'ingegneria idraulica, alla scultura e alla pittura; il punto si conclude con l'intento di realizzare la statua equestre voluta dal Moro per commemorare il padre.

In questo periodo, parallelamente alle realizzazioni artistiche, Leonardo sviluppa gli studi sull'anatomia del cavallo, sul problema statico della statua rampante e sulla tecnica di fusione della statua in bronzo, completando presumibilmente l'opera in gesso pronta per la colata di bronzo fuso nel 1493 – descritta dal matematico Luca Pacioli, a Milano tra il 1496 e il 1497 – dopo una rivisitazione del progetto nel 1490 e non senza rimostranze del Moro sulla lentezza nell'operato di Leonardo, al punto da portare il sovrano *de facto* a chiedere nel 1489 a Lorenzo de' Medici l'intervento di altri scultori. La discesa di Carlo VIII in Italia e la guerra di successione del Ducato sanciranno il fallimento del progetto; in questo periodo però Leonardo ha una floridissima attività sul piano tecnico: realizza progetti per il risanamento di Milano dopo la peste, studi di armi e cannoni, di meccanica, allestisce la *fiesta del Paradiso* a seguito del matrimonio di Gian Galeazzo Sforza con Isabella d'Aragona, lavora al Tiburio del Duomo con Bramante... In questo periodo incontra personaggi del calibro di Francesco di Giorgio Martini – autore di un celebre *Trattato di Architettura civile e militare* che Leonardo ha modo di consultare e postillare – Antonio Marchesi da Settignano – noto ingegnere-architetto senese e collaboratore di Francesco di Giorgio – e Giuliano da Sangallo, progettista della villa medicea di Poggio a Caiano.

Complici le complesse dinamiche politiche della Penisola a fine Quattrocento, i lavori di Leonardo alle opere ducali sono spesso interrotti da brevi periodi di assenza per altre

commissioni fino al 1496, anno dell'incarico per il *Cenacolo*, citato nella lettera dedicatoria al Moro del *De Divina Proportione* pubblicato dal matematico Luca Pacioli – chiamato alla corte sforzesca come insegnante dal 1496 – nel 1509. L'affresco mostra rapidamente segni di deperimento, come riportato nel diario di Antonio de Beatis⁸. Il 24 luglio del 1499 inizia la seconda invasione francese del ducato, che cade in settembre; in tale occasione Leonardo incontra Cesare Borgia e Luigi di Lussemburgo, conte di Ligny e comandante delle truppe francesi: è di questo periodo il *Memorandum Ligny*⁹ del *Codice Atlantico*, in cui si legge l'intenzione di accompagnare – presumibilmente in qualità di ingegnere militare – il francese nella discesa verso Napoli, di cui però non risulta alcuna traccia che consenta di verificare la presenza del Vinci nella capitale del Regno aragonese.

Agli albori del Cinquecento, nel corso dei conflitti tra francesi e spagnoli per il Regno di Napoli, inizia la fase *errante* di Leonardo, testimoniata anch'essa nel *De divina proportione* di Pacioli, che cita inoltre la conclusione del “libro de pictura e movimenti umani” e un vivo interesse dello scienziato-artista verso la meccanica, la statica e la dinamica¹⁰. Nell'ambiente milanese, il Vinci ha avuto modo di entrare in contatto con dotti e ingegneri che gli permettono di sviluppare un'elevatissima maturità nella scienza meccanica e nella tecnica, affermandosi come studioso poliedrico di varie discipline; sono sempre di questo periodo i suoi studi sul volo degli uccelli e, di conseguenza, sulle macchine per il volo degli uomini, appuntati nel *Ms. B* e in vari fogli del *Codice Atlantico*. Nasce dunque compiutamente il Leonardo *scienziato-artista* (sarà Architetto e Ingegnere generale dal 1502, al seguito di Cesare Borgia), figura inscindibile e completa su cui fonda una ricca tradizione di professionisti e di discipline.

Nel primo periodo milanese Leonardo sviluppa una particolare maturità scientifica e artistica, confrontandosi con numerosi artisti, ingegneri, architetti, scienziati e con la loro produzione trattatistica; in questo periodo il *metodo* vinciano di approccio ai problemi diventa un continuo alternarsi di induzione e deduzione, un'intersezione tra *sperienza* e ragione. Leonardo, infatti, inizia un lavoro di studio degli *altori*, intessendo relazioni con studiosi in grado di mediare la lettura di testi scientifici in latino o tentando di recuperarne traduzioni in volgare, come nel caso degli studi di ottica di Al-Hāzen (tradotti dall'arabo al greco, dunque al volgare). Ciò porterà nel tempo alla costruzione di un'ampia biblioteca multidisciplinare: mentre negli anni fiorentini presso il Verrocchio lo scienziato-artista ha avuto modo di sperimentare gran parte del proprio sapere e di consultare diversi

manoscritti tecnici che circolavano nelle botteghe fiorentine, in Milano ha modo di consultare i manoscritti di ingegneria del Taccola, di Francesco di Giorgio Martini, di Giuliano da Sangallo, la *Naturalis Historiae* di Plinio il Vecchio, da cui trae ispirazione per alcune macchine teatrali ispirate al Teatro di Curio¹¹, il *De re militari* di Roberto Valturio – che gli fornisce numerose indicazioni per il progetto di macchine da guerra – il *De Architectura* di Vitruvio e il *De re aedificatoria* di Leon Battista Alberti – da cui realizza il celeberrimo *Uomo vitruviano*, commento visuale ad un capitolo in cui si mettono in relazione le proporzioni dell'uomo a quelle dell'edificio ideale.

Non bisogna trascurare la circolazione in questo periodo di codici arabi e persiani in svariate materie – prevalentemente ottica e meccanica – che, insieme agli scritti di Erone d'Alessandria, costituiscono per Leonardo le basi per lo sviluppo di diversi problemi di ottica o relativi al moto perpetuo. I testi arabi, che frequentemente costituiscono a loro volta una testimonianza di conoscenze di epoca greco-romana perdute nell'ambiente occidentale e successivamente diffuse per traduzione dall'arabo al latino, presentano spesso disegni e rappresentazioni molto simili alle riproduzioni successive dei principali trattatisti in campo ingegneristico dell'epoca, determinando dunque un inedito riferimento orientale – a sua volta mutuato dal mondo classico – nello sviluppo della figura dell'ingegnere-architetto rinascimentale. Bisogna considerare che la lingua araba all'epoca era la lingua del commercio, conosciuta da commercianti e mercanti italiani oltre che da alcuni studiosi interessati a studiare i manoscritti originali circolanti in Occidente, come testimoniato da numerosi inventari nei centri culturali della penisola¹²; in quest'ottica, non bisogna confondere molti dei risultati degli ingegneri occidentali dell'epoca – in cui il riferimento alle fonti arabe e persiane spesso non viene esplicitato – con scoperte improvvise, essendo invece conclusioni basate su conoscenze acquisite da manoscritti già presenti.

Oltre ad Euclide, Archimede, Erone, Aristotele, è ormai certo quindi che Leonardo si forma anche su testi orientali¹³: nei codici vinciani si trovano riferimenti ad al-Hāzen, Abū Ma'shar, al-Kindī (*Alchino* nei testi vinciani; diffonde i testi di Aristotele tramite una sua classificazione delle scienze), 'Abd al-Aziz (al Cabizio), al-Farghānī, Avicenna (autore della prima enciclopedia tecnologico-scientifica persiana, con riferimenti ad Euclide, Aristotele ed Erone), Abraham bar Hiyya (Savasorda). È presumibilmente tramite questi studiosi che la *Meccanica* di Erone si diffonde in occidente; le sue macchine sono rappresentate nei

codici del Taccola e di Francesco di Giorgio Martini e sono utilizzate nei cantieri delle grandi opere rinascimentali, come per Santa Maria del Fiore a Firenze¹⁴.

Molti degli studi di matematica e geometria vinciani vanno interpretati in chiave strettamente pratica; come riportato da Marcolongo¹⁵, Leonardo lavora su problemi anche antichi per tentare di fornire scientificità alla pittura e ai propri studi di architettura e ingegneria attraverso la definizione di accurate basi matematiche; a tal scopo acquista a Venezia nel 1494 la *Summa de aritmetica geometria proporzioni et proportionalità* di frate Luca Pacioli (allievo di Piero della Francesca), per il quale realizzerà dopo l'incontro a Milano del 1496 l'apparato grafico per il *De divina proportione* (1509). Tramite Pacioli, ad esempio, apprende dal *De viribus quantitatis*, compilato dal matematico dopo il primo periodo milanese di Leonardo, il funzionamento di un *trastullo*, costituito da due tavolette legate da lacci in cuoio, basato su un'omologia di ribaltamento¹⁶; da questo principio tecnologico deriva la teoria del Vinci sul funzionamento del teatro mobile di Curio descritto da Vitruvio, mirabile macchina teatrale non interpretata da alcuno dei maggiori teorici dell'epoca e commentata dallo scienziato-artista nel Ms. I di Madrid, in un foglio databile intorno al 1497¹⁷. Parallelamente, il matematico aiuta lo scienziato-artista nello studio di Euclide e nello sviluppo degli strumenti algebrici e aritmetici, rispetto ai quali Leonardo sarà sempre incline all'errore. Pacioli, matematico nato a Borgo San Sepolcro a metà Quattrocento e docente a Napoli nel 1509, nel regno di Ferrante d'Aragona, dove entra in contatto con Giovanni Pontano e Jacopo Sannazzaro durante l'operato di numerosi artisti e architetti fiorentini, tra cui Giuliano da Maiano, rappresenta uno dei primi a veicolare la diffusione del pensiero e del metodo vinciano nel Mezzogiorno; i suoi studi di matematica furono declinati verso applicazioni di ingegneria militare e di tecnologia bellica, con studi basati su Euclide. Il matematico è, come già citato, amico di Leonardo, con il quale collabora nella redazione del *De divina proportione*: nelle prime pagine del testo sono presenti preziose annotazioni biografiche sui reciproci contatti tra i due studiosi a cavallo del secolo e diversi riferimenti ai contatti del matematico con l'ambiente intellettuale napoletano; ciò testimonia in entrambi i casi un mutuo scambio di informazioni e teorie, che in ambito meridionale definiranno uno dei primi episodi di diffusione del pensiero vinciano.

Una delle più rilevanti testimonianze sulla biblioteca di Leonardo deriva dal *Codice di Madrid II* (f. 2v-3r), in cui lo scienziato-artista elenca i testi in suo possesso: scritti di

Aristotele, di Alberto di Sassonia, di Walter Burley, l'enciclopedia di Giorgio Valla¹⁸, i primi tre libri degli *Elementi* di Euclide... nella parte finale della lista figura anche un "Francesco da Siena", chiaro riferimento al trattato di Francesco di Giorgio Martini, unico libro di Leonardo ad oggi riconosciuto, identificato nel *Codice Laurenziano Ashburnham 361* (1480-1482, con annotazioni vinciane realizzate tra il 1502 e il 1504). Secondo Vecce¹⁹, la lettura del manoscritto porterà alla consultazione anche della sua seconda redazione, da cui derivano numerosi scritti del *Codice di Madrid II* sull'architettura militare e portuale e sull'uso dei materiali; dalla lezione martiniana Leonardo apprende soprattutto come la specificità di un sito influenza la pratica progettuale, particolarmente nel caso di fortificazioni.

Non dev'essere un caso se, nel citato elenco di libri posseduti da Leonardo, figurano l'*arimetricha di maestro Luca* [Pacioli] e una *quadratura del circolo* identificabile nel *Tetragonismus id est Circoli quadratura [...]* di Luca Gaurico; il problema della quadratura del cerchio, di elevatissimo interesse per gli studiosi di metà Quattrocento, sarà oggetto di costanti studi dello scienziato-artista – insieme alle ricerche sul moto perpetuo (derivanti perlopiù da studi di scritti arabi e archimedei) – al punto da portarlo a credere, dopo numerosi disegni di equivalenze tra cerchi e semicerchi, di aver raggiunto la soluzione del problema il 30 novembre 1504, registrando un'ulteriore intuizione la mattina di Natale dello stesso anno. Comprendendo in seguito di non aver realmente definito la quadratura, scriverà di aver comunque superato Archimede²⁰.

In parallelo allo sviluppo di metodologie di quadratura, Leonardo conduce numerosi altri studi sulle lunule (Figura 3) o sulla trasformazione dei volumi – celebre è il suo contributo relativo al problema di Delo, ovvero di duplicazione del cubo – in cui è evidente come lo scienziato-artista sia in grado di raggiungere la soluzione *meno una portione tanto minima quanto lo intelletto possa immaginare [...]* cioè *quanto il punto visibile*.²¹ Anche questi studi sono da intendere come la base teorica di un preciso studio pratico: come per il tentativo di affidare una certa scientificità alla pittura e alla prospettiva, gli studi sull'equivalenza di superfici e la trasformazione di volumi corrispondono a sue verifiche sulla modifica di corpi metallici, la trasformazione di volumi scultorei, i passaggi tra diverse forme di energia, il movimento delle valvole del cuore. È chiaro dunque come la matematica in Leonardo sia soprattutto strumento d'indagine dei problemi della vita reale,

cui ammette un certo margine di approssimazione nel passaggio dal rigore geometrico al dato esperienziale²².

In sintesi, il metodo vinciano di approccio ai problemi – importante passaggio nell'evoluzione della figura professionale dell'ingegnere-architetto – prevede un continuo confronto di *ragione e sperienza*, di confronto tra conoscenze tecniche sedimentate e dati sperimentali empirici; in tal senso, il suo dedicarsi in maniera preponderante alla scrittura

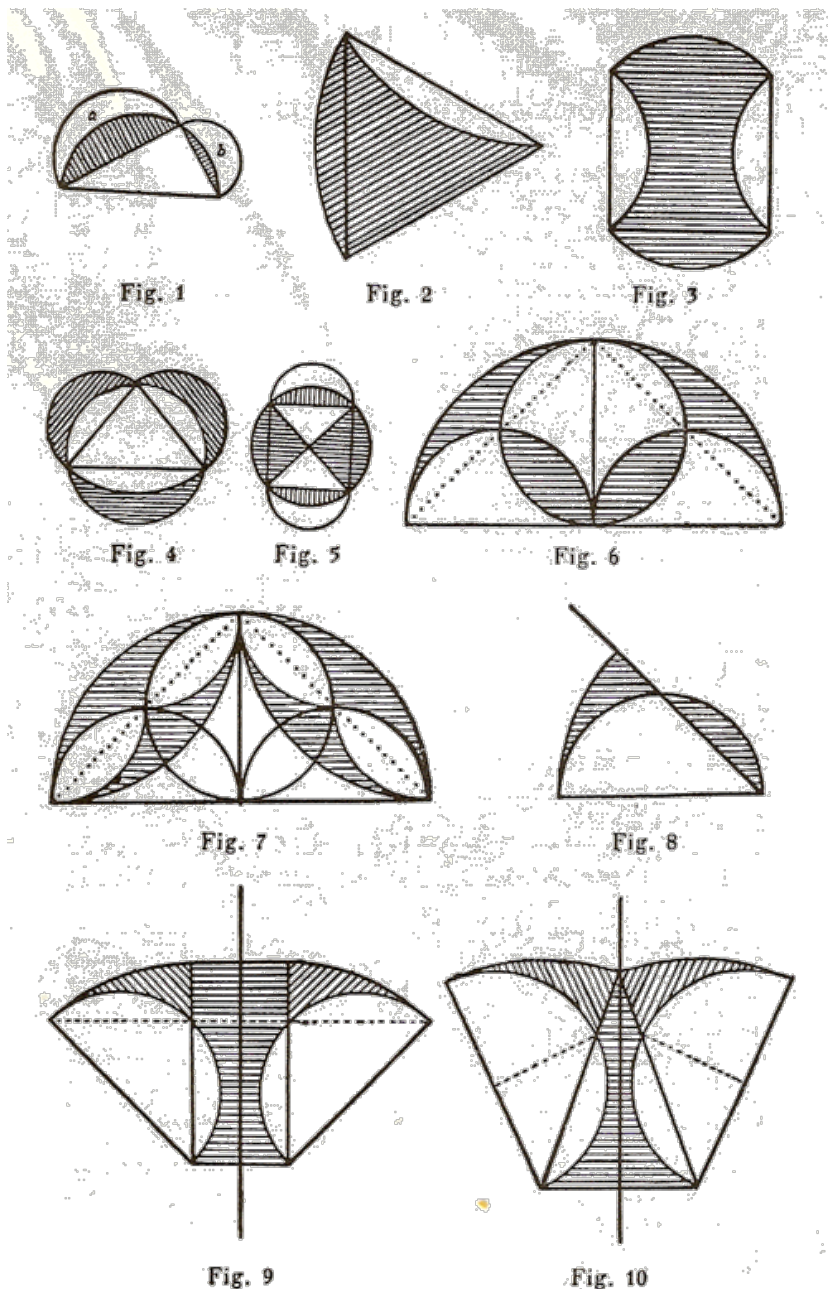


Figura 3: Studi di Marcolongo su costruzioni geometriche vinciane per lo studio di lunule presenti in vari fogli del Codice Atlantico. In R. Marcolongo, «Leonardo da Vinci Artista-Scienziato», Milano, Ulrico Hoepli ed., 1950 (terza edizione), p. 132.

e alla registrazione dei risultati delle proprie indagini – analoga a quanto condotto da altri tecnici dell'epoca nella registrazione delle proprie esperienze pratiche e nella trascrizione di evidenze ottenute dagli *altori*, oltre che nelle intenzioni di redigere trattati per nobilitare la professione e realizzare dei manuali di consultazione per un miglior approccio alle discipline – definisce gradualmente un metodo di studio che lo porta ad analizzare minuziosamente i testi degli *altori*, sviluppando parallelamente un lessico più adeguato ad opere finalizzate alla pubblicazione²³. Nel *Trattato della Pittura* scriverà quindi:

*Dell'errore di quelli che usano la pratica senza la scienza. Quelli che s'innamorano della pratica senza la scienza, sono come i nocchieri che entrano in naviglio senza timone o bussola, che mai hanno certezza dove si vadano. Sempre la pratica deve essere edificata sopra la buona teorica, della quale la prospettiva è guida e porta, e senza questa nulla si fa bene.*²⁴

È forse questo uno dei più grandi risultati del genio: come affermato da Bertrand Gille²⁵, Leonardo non *inventa* macchine – spesso riprese da scritti precedenti, talvolta persiani – e non realizza particolari scoperte tecnico-scientifiche, piuttosto applica principi già noti ed affermati con viva curiosità; non avendo particolari conoscenze *di settore* è comunque in grado di definire e perfezionare un metodo di ricerca innovativo che rimanda continuamente tra norma e applicazione. Nessun altro ingegnere dell'epoca, pur essendo spesso più concreti nelle attività professionali, si dedica con tale attenzione all'approfondimento e alla diffusione del sapere, ancora legato alla *segretezza* tecnica di stampo medioevale. Complici i reciproci contatti tra Leonardo e diversi scienziati-artisti coevi che operano nel Mezzogiorno, primo tra tutti Francesco di Giorgio Martini, questo metodo vedrà un'importante diffusione a Napoli e definirà le basi per una nobilitazione delle discipline progettuali, vedendosi riconfermato con le teorie galileiane e costituendo uno dei principi fondanti del Secolo dei Lumi.

² Esposto per la prima volta nella mostra *Leonardo da Vinci: la vera immagine. Documenti e testimonianze sulla vita e sull'opera* allestita presso l'Archivio di Stato di Firenze in occasione del centenario della costituzione della Regia Commissione per l'Edizione Nazionale dei Manoscritti e dei Disegni di Leonardo da Vinci, tra il 2005 e il 2006.

³ Come risulta dai recenti studi di Carlo Vecce, confluiti nel romanzo *Il sorriso di Caterina. La madre di Leonardo*, Firenze, Giunti, 2023.

⁴ *Cod. Magliab. XVII, 17*

⁵ Del 1933.

⁶ Del 2010.

⁷ Individuati da G. Calvi, v. R. Marcolongo, *Leonardo da Vinci artista-scienziato*. III edizione. Milano, Ulrico Hoepli ed., 1950.

⁸ “... eccellentissimo, benché incomincia ad guastarsi non so se per la humidità che rende il muro o per altra inadvertentia”

⁹ *Cod. Atl., f. 669r.*

¹⁰ Pacioli scrive del completamento nel 1498 di un’opera *inestimabile nel moto locale de le percussioni e pesi e de le forze tutte, cioè pesi accidentali*, rispetto cui Alessandro Vezzosi ipotizza il riferimento ai *Codice di Madrid I*.

¹¹ Nel *Codice di Madrid I* al f. 110r si legge: *Truovo appresso delle magne opere romane essere fatto due anfiteatri che si toccano nella loro schiena e poi con tutto il popolo si voltavano e si chiudevano insieme in forma di teatro e facevano questa forma*. Cfr. Plinio il Vecchio, *Naturalis Historiae XXXVI, 24*.

¹² A. Buccaro, *Dall’Occidente antico al mondo islamico e ritorno attraverso la meccanica di Leonardo e degli ingegneri rinascimentali*, in *Achademia Leonardo Vinci*, I, 2021, Federico II University Press, p. 132. Cfr. anche G. Ferriello, *ibidem*, pp. 141-168.

¹³ *Ivi*, p. 134.

¹⁴ *Ivi*, p. 135.

¹⁵ R. Marcolongo, *Leonardo da Vinci artista-scienziato*. III edizione. Milano, Ulrico Hoepli ed., 1950. pp. 125-181

¹⁶ C. Pedretti, *Presentazione*, in A. Buccaro, *Leonardo da Vinci - il Codice Corazza nella Biblioteca Nazionale di Napoli*, I, Napoli, CB ed., 2011, p. xiii.

¹⁷ *Ibidem*.

¹⁸ Il *De expetendis et fugiendis rebus*, da cui presumibilmente Leonardo conosce le lunule di Ippocrate.

¹⁹ C. Vecce, *Nella biblioteca di Leonardo: corpi, macchine, strutture*, in A. Buccaro, M. Rascaglia, *Leonardo e il Rinascimento nei codici napoletani. Influenze e modelli per l’architettura e l’ingegneria*. Napoli, CB ed., 2020. p. 27.

²⁰ *Codice di Madrid II*, f. 105v.

²¹ *Codice Windsor f. R. L. 12280r.*

²² Nel 1505 infatti Leonardo aveva iniziato un *Libro titolato de trasformazione, cioè di un corpo in un altro senza diminuzione o accrescimento di materia* in cui scrive principalmente di metodi di misurazione dei solidi.

²³ Nel Manoscritto B – compilato a Milano negli anni Ottanta del Quattrocento, a valle della lettura del *De re militari* di Valturio – e nel Codice Trivulziano infatti si leggono numerose annotazioni lessicali derivanti da più fonti tecniche, ovvero da più forme linguistiche-dialettali.

²⁴ *Trattato della pittura di Lionardo da Vinci nuovamente dato in luce, colla vita dell'istesso autore, scritta da Rafæelle Du Fresne. Si sono giunti i tre libri della Pittura, ed il trattato della Statua di Leon Battista Alberti, colla vita del medesimo*, Napoli, stamperia F. Ricciardo, 1733, cap. 77.

²⁵ B. Gille, *Leonardo e gli ingegneri del Rinascimento*, Milano, Feltrinelli, 1972, pp. 170 sgg.

2. Origini di un filo rosso vinciano nel Mezzogiorno: la professione tra Quattro e Seicento

2.1. Ingegneria e Architettura a Napoli tra la fine del Quattrocento e gli inizi del Cinquecento

La conquista di Napoli da parte di Alfonso d'Aragona nel 1442 – dopo quasi otto anni di guerra di successione e danni a diversi quartieri della città, come testimoniato dalla lettera dell'ambasciatore di Ferrara Lionello d'Este al principe (e fratello) Borso²⁶, in cui si segnalano anche dati strategici sulle condizioni e posizioni di mura di cinta, porte di città, fortezze – porterà ad una stagione di rinnovamento culturale e architettonico della città, determinando un'intensificazione delle attività accademiche – con la nascita, ad esempio, dell'Accademia Pontaniana – e l'ingresso del linguaggio rinascimentale nelle architetture. Nel 1443 inizia la ricostruzione di Castel Nuovo, centro del potere reale nella città – riadattato per meglio controllare il principale polo marittimo napoletano – con maestranze catalane e locali e l'intervento di artisti del settentrione come gli urbinati Luciano e Francesco Laurana, autori dell'arco trionfale d'ingresso iniziato nel 1452, anno di nascita di Leonardo, e riconosciuto come primo esempio di architettura rinascimentale napoletana²⁷: si riprende infatti il modello del palazzo di Urbino, con un'intuibile ispirazione albertiana. Le mura aragonesi, opera di Giuliano da Maiano (architetto dei Medici) che prevede un impianto con torri cilindriche rivestite in piperno fondate nel fossato con un basamento tronco-conico, saranno innovate ed ampliate nel versante occidentale al volgere del XVI secolo da Antonio Marchesi da Settignano e Francesco di Giorgio Martini con una tipologia a bastioni; di questo periodo è la realizzazione del primo bastione *alla moderna* per la fortificazione di Castel Nuovo ad opera del Marchesi, parte di un sistema di antemurali necessario per ampliare l'area di difesa e che individua una cittadella interna²⁸.

In quest'epoca si attuano anche degli importanti interventi a carattere urbanistico, con l'apertura di nuove strade o, più frequentemente, l'allargamento di quelle esistenti e la realizzazione di nuove piazze che consentono di ridurre l'elevata densità residenziale conseguente a sviluppi edilizi spontanei del periodo angioino, come la realizzazione di un

collegamento tra il Castel Nuovo e la piazza del Mercato, passante per l'odierna via S. Eligio²⁹, alternativa alla strada costiera.

Nel centro antico sono frequenti gli interventi di numerosi artisti rinascimentali fiorentini nel periodo aragonese, principalmente legati al regno di Alfonso II duca di Calabria, alleatosi a fine Quattrocento con Lorenzo de' Medici. Complice la nuova attenzione verso le forme architettoniche dell'antichità classica, le opere civili si concentrano in questo periodo nel centro antico, il cui impianto è ad oggi memore dell'originale greco e romano³⁰. Particolarmente intenso è il rinnovamento urbano nei decumani: il sepolcro del cardinale Brancaccio nella Chiesa di S. Angelo a Nilo, su progetto di Michelozzo, presenta un impaginato classico con coronamento tardogotico mistilineo e un bassorilievo di Donatello; la Chiesa di S. Anna dei Lombardi di Antonio Rossellino presenta nelle cappelle Mastrogiudice e Piccolomini la testimonianza della lezione rinascimentale toscana, con una bicromia d'ispirazione brunelleschiana – leggibile anche nei rivestimenti esterni della cinquecentesca Chiesa di S. Caterina a Formello, ricostruita nel 1523 da Antonio Marchesi da Settignano destando grande ammirazione nella popolazione napoletana verso la cupola estradossata³¹ – e un importante intervento del Vasari nella sacrestia; la cappella Pontano in via dei Tribunali ripropone in chiave rinascimentale il modello classico del tempio funerario; palazzo Penne – pre-brunelleschiano – presenta, all'interno di una facciata ricca di riferimenti tardogotici, un portale ad arco ribassato inscritto in un rettangolo, di evidente matrice linguistica spagnola; palazzo Petrucci – di impianto durazzesco – mostra un portale tipicamente albertiano (l'Alberti era a Napoli nel 1465) – il cui modello è riscontrabile anche in palazzo Carafa di Maddaloni e in palazzo Sanseverino (trasformato con apporti barocchi negli interventi per la realizzazione della Chiesa del Gesù Nuovo) – con una corte interna caratterizzata dal tipico motivo ad arco ribassato su pilastri ottagonali catalano e in cui si riscontra il primo esempio di scala aperta napoletana; palazzo Como mostra una facciata propriamente rinascimentale fiorentina, con un bugnato in piperno ad oggetto decrescente nello sviluppo verticale su progetto di Giuliano da Maiano, forse completato dal Marchesi³²; palazzo Beccadelli presenta un basamento e una griglia di lesene e fasce marcapiano in piperno...



Figura 4: La Cappella Pontano.



Figura 5: Palazzo Como.

Nel 1463 erano iniziati i lavori per l'ampliamento del tracciato murario di città; solo nel 1483, sotto la sovrintendenza di Alfonso II, tale campagna si tramuta in un programma effettivo, diretto da Giuliano da Maiano sotto diversi sovrani; per esigenze strategiche in questo periodo si comprende la necessità di includere entro il recinto delle mura gli aggregati urbani spontanei sorti a ridosso del tracciato precedente, segnando l'inizio di un processo di espansione conseguente alla nascita di abitati di simile natura: il programma strategico non prevede una riorganizzazione del sistema delle porte di città o delle strade extra urbane, denunciando più che una visione urbanistica globale dei bisogni di Napoli un tentativo di contenere la smodata e irregolare espansione urbana³³. Nasce in questo periodo un nuovo baluardo in prossimità della Chiesa del Carmine, presidio simmetrico al complesso occidentale di Castel Nuovo; l'ampliamento orientale includerà una fascia che comprende il quartiere di Formello, includendo entro le mura Castel Capuano, che perde la propria funzione difensiva, trasformandosi in un palazzo nobiliare parte di un intervento a carattere urbanistico con l'ex convento della Maddalena Maggiore e la Duchesca, progettata da Giuliano da Maiano nel 1490 con l'intento di realizzare una nuova dimora per la corte e la nobiltà collegata al precedente palazzo tramite giardini, ponti e strade interne. L'espansione muraria più significativa è però sul fronte occidentale, che definisce un'iniziale fascia libera per consentire la movimentazione di truppe e artiglieria poi occupata da interventi edilizi; parallelamente si assiste ad un generalizzato fenomeno di

sopraelevazione e di incremento della densità edilizia, che porterà al frazionamento dei giardini della Duchesca e a numerosi interventi di lottizzazione in tutte le aree interne alle mura, diretta conseguenza del vertiginoso incremento demografico dovuto al richiamo culturale della capitale del regno. Con il periodo vicereale si assiste ad un ulteriore ampliamento della cinta muraria – che delimita, tra i vari interventi, una cittadella fortificata ben difesa e in posizione strategica sulla collina di Pizzofalcone, come riportato nella cartografia di Carlo Theti³⁴ – con l'adozione dell'innovativa tecnologia del bastione. Insieme all'ampliamento del recinto della città si assiste ad un vertiginoso incremento demografico (la popolazione tra il 1500 e il 1550 infatti raddoppia³⁵) e all'inizio di una fase di crescita incontrollata del tessuto edilizio che vedrà una rimodulazione percepibile solo con l'operato del Tribunale della Fortificazione, Acqua e Mattonata nel XVIII secolo.

Come detto, la fase aragonese di ampliamento della cinta muraria non fu sufficiente a contenere il fenomeno di espansione *extra moenia* che continuò ad affermarsi, portando alla formazione della *Città dei borghi* fino a inizi Settecento; primo tessuto edilizio di questa natura è il borgo dei Vergini, sviluppatosi attorno alla Chiesa omonima, a nord di Porta S. Gennaro³⁶; seguiranno altri poli che costituiranno un insieme di nuclei abitati a ridosso delle mura.

La villa di Poggioreale³⁷ – in prossimità delle paludi dell'area orientale, bonificate a partire dal 1451 in parallelo ad una campagna di sistemazione della canalizzazione delle acque – progettata nel 1487 da Giuliano da Maiano per Alfonso II e riportata nelle cartografie storiche di Napoli di Alessandro Baratta³⁸ e di Giovanni Carafa, duca di Noja³⁹, definisce uno dei più raffinati interventi a carattere rinascimentale dell'area. Cinta da un vasto complesso di giardini all'italiana ricordato in numerosi documenti, definirà un polo di ville gentilizie in cui l'arte della progettazione dei giardini vedrà alcuni dei suoi maggiori esempi nella penisola⁴⁰, con un ordine e una disposizione geometrica di matrice squisitamente classica. Sarà citata nel libro terzo del trattato di architettura di Sebastiano Serlio come modello di villa principesca rinascimentale, riportandone il disegno (pur affidando all'impianto una ideale forma quadrata); lo schema sarà inoltre un riferimento per Giuliano da Sangallo, giunto a Napoli nel 1488, per il progetto della residenza di Ferrante d'Aragona poi ripreso nel progetto per la villa medicea in ambito fiorentino; l'impianto della villa è inoltre sinteticamente schizzato da Leonardo nel 1506 (apprendendo forse della villa da Giuliano da Sangallo, in Milano nel 1492) nel corso dello sviluppo di un progetto per la

villa di Charles d'Amboise – governatore del ducato di Milano per conto di Luigi XII – per poi riprendere lo schema anche nel suo ultimo periodo di attività in Francia⁴¹.



Figura 6: La villa di Poggioreale nella veduta di Alessandro Baratta del 1629 (ingrandimento da Visone, 2016).

Significativo è il contributo anche nella trattatistica nell'epoca: tra le poche attività note di fra' Giocondo da Verona, presente nel regno almeno tra la fine del 1489 e il 1495, si riporta la realizzazione di numerosi disegni di fortificazioni di cui una significativa quantità era probabilmente a corredo delle copie dei due trattati manoscritti di Francesco di Giorgio Martini⁴², consultati da Leonardo – che acquista il codice del senese oggi custodito nella Biblioteca Laurenziana di Firenze, aggiungendovi delle annotazioni – tra il suo periodo milanese e gli inizi del Cinquecento.

2.2. Leonardo tra esperienza e ragione: prime influenze nel Mezzogiorno

Come detto, il Cinquecento si apre con un periodo di scambi reciproci – più o meno diretti – tra Leonardo e diversi studiosi attivi nel Mezzogiorno: lo scienziato-artista acquisisce e studia l'opera di Luca Gaurico sulla quadratura del cerchio di Campano da Novara; tramite Pacioli, conosce l'ambiente matematico napoletano⁴³; in questi anni si diffonde il modello della villa di Poggioreale di Giuliano da Maiano, ripresa da Leonardo per la villa di Charles d'Amboise a Milano e forse per la residenza di Francesco I a Romorantin... Parallelamente, a Napoli iniziano a diffondersi le teorie vinciane, che andranno acuendosi con l'operato di Francesco di Giorgio Martini e Antonio Marchesi da Settignano e con la diffusione del diario di Antonio de Beatis, ponendo le basi di una

metodologia tecnico-scientifica prettamente vinciana che non vedrà soluzione di continuità fino ai prodromi dell'età contemporanea, particolarmente nel campo delle scienze applicate e nello sviluppo della figura professionale dell' *architecto vulgo ingegniero*.

Francesco di Giorgio Martini è attivo a Napoli sin dal 1478-1480, al servizio di Alfonso d'Aragona duca di Calabria nel corso della guerra di Toscana. Con la scomparsa di Giuliano da Maiano, nel 1491 l'ingegnere-architetto senese viene chiamato dal duca, divenuto sovrano, per una campagna di rilievi e interventi sulle fortificazioni del regno⁴⁴ (non solo Napoli, ma anche presidi in Abruzzo o in Puglia); tornerà a Napoli malgrado le resistenze della signoria senese l'anno successivo per pochi mesi, collaborando con Fra Giocondo che, insieme al pittore Antonello da Capua, elabora buona parte dell'apparato grafico a corredo dei due manoscritti del Martini, che trattano di architettura e di artiglieria oltre che di ingegneria militare⁴⁵. Il suo successivo periodo napoletano sarà nel 1494; la città in questi anni vede una maggiore attività di Antonio Marchesi da Settignano.

Durante l'esperienza nel Mezzogiorno, Francesco di Giorgio elabora la propria tipologia di fortificazione a bastioni e rivellini, grande innovazione moderna destinata ad affermarsi sempre più in Europa; nella sua raccolta, in cui il senese registra tutte le sue migliori sperimentazioni durante i contrasti con Carlo VIII di Valois, figura anche un programma urbanistico per Alfonso II e un disegno delle nuove mura occidentali. In particolare, contrariamente ai disegni di città ideale dell'epoca, di impianto simile alla città di Palmanova e riferita ad un modello radiocentrico con assi viari rettilinei protesi nel territorio, Francesco di Giorgio definisce un impianto in cui le vie militari servono da strumento più che da elemento compositivo ideale, connettendo le otto fortezze della città e facendo prevalere uno schema rigidamente funzionale sull'astrazione formale delle città di fondazione rinascimentali. Questo modello avrà grandissimo seguito nei secoli successivi, portando ad un'importante evoluzione nella concezione urbanistica delle città; nelle annotazioni di Leonardo figura un riferimento al Martini e alla distinzione tra vie militari e vie ordinarie in un suo schema di città diviso in nove quadranti, con quello centrale occupato da una rocca collegata ai bastioni perimetrali⁴⁶. Nei suoi trattati sono inoltre presenti disegni di fortificazioni – rigorosamente modulari e funzionali – che definiscono un vero e proprio modello per i propri progetti in tutta la penisola, caratterizzati da planimetrie da forme aggettanti e rientranti con torrioni bassi e larghi per meglio rispondere all'impatto di proiettili. Inoltre, in base a diverse fonti documentali,

risulta che nella direzione dei suoi cantieri il Martini redige grafici in base ai quali i capimastri possono eseguire modelli utili per gli artigiani locali, determinando una diffusione parallela a quella trattatistica – dovuta ad esempio alla collaborazione con Fra Giocondo – in cui si potrebbe leggere una metodologia di marca puramente vinciana, cioè di continue influenze reciproche tra teoria e pratica. Essendo il periodo napoletano di Francesco di Giorgio successivo all'incontro con Leonardo, è assai probabile che l'adozione di tale metodologia – grazie alla quale si diffondono rapidamente le più avanzate teorie di ingegneria militare e i relativi approcci nel Mezzogiorno – sia il frutto di uno scambio culturale tra i due.

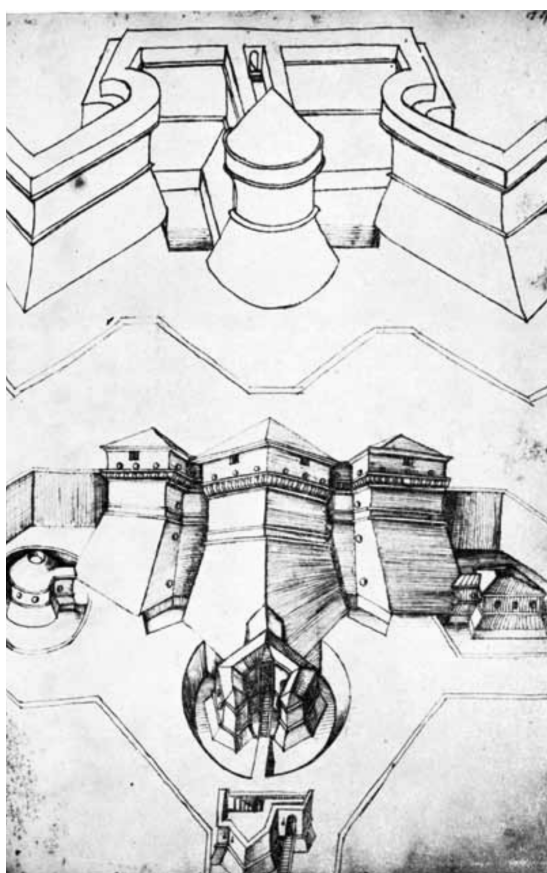


Figura 7: Disegni di bastioni e casematte nel Codice Magliabechiano di Francesco di Giorgio Martini (da Buccaro, 2011).

Col Marchesi, Francesco di Giorgio fa brillare la prima mina dell'età moderna nella presa di Castel Nuovo del 1495 contro i francesi, ponendo fine al dominio di Carlo VIII di Valois su Napoli⁴⁷; le frequenti annotazioni in materia nei suoi trattati vanno considerate come fonte di ispirazione per quelle di Leonardo, attesi i contatti nel periodo milanese.

A differenza del classico modello tozzo di fortificazione dell'epoca, il presidio martiniano in Castel Nuovo prevede – essendo la fortezza un elemento sia di difesa che di dominio – un profilo comparativamente molto alto, suscettibile ai colpi di cannone: il Martini applica una struttura di fiancheggiamento *in alzato*, contrapposta a quelle di fiancheggiamento *orizzontale* tipiche delle nuove fortificazioni a pianta stellare, grazie alla quale le traiettorie della palla di cannone che superano la cinta bastionata per impattare sulla cittadella possono colpire solo una porzione ridotta dell'edificio.

Nel 1497 il Martini torna definitivamente a Siena; al suo posto viene nominato regio architetto Antonio Marchesi da Settignano, che prosegue i lavori sulla cinta muraria di Castel Nuovo partendo dal progetto originale per poi industriarsi nelle fortificazioni del regno, soprattutto in Puglia e Calabria, e in opere idrauliche, come la macchina di sollevamento d'acqua per la cittadella di Castel Nuovo.

Il nuovo sistema di fortificazioni del castello presenta tre torri a pianta circolare ed un innovativo bastione a forma poligonale, che rientra nell'innovativa tipologia, di marca puramente vinciana e martiniana, di bastione angolare *alla moderna* – oggetto di un consulto voluto da papa Leone X nel 1517 che coinvolgerà anche Antonio da Sangallo il Giovane e il Marchesi⁴⁸ – e che sarà poi ripreso da don Pedro de Toledo nel suo programma del 1536 per le nuove fortificazioni del viceregno.

I possibili collegamenti tra Leonardo e l'ingegneria nel Mezzogiorno agli inizi del Cinquecento vedono una suggestiva fonte archivistica nel foglietto del Belvedere⁴⁹, stralcio in copia calligrafica conforme di un testo più ampio, presumibilmente del 1530-1540. Il documento rappresenta un'importante testimonianza dei contatti tra Leonardo e l'ingegnere-architetto Antonio Marchesi da Settignano: da uno studio del documento, Buccaro ipotizza un soggiorno in Vaticano del senese – anche noto come *Antonio Fiorentino*, come testimoniano le *Vite* del De Dominici⁵⁰ – tra il 1515 e il 1516⁵¹, contemporaneamente al soggiorno di Leonardo e molti altri personaggi di primo piano nell'ambiente culturale italiano dell'epoca. Come anticipato, bisogna tener conto di un probabile primo contatto tra i due a Milano alla fine del Quattrocento insieme con Francesco di Giorgio Martini – di cui il Marchesi sarà collaboratore nei lavori per le nuove fortificazioni della città di Napoli – in qualità di consulente degli Sforza in materia di fortificazioni; in ogni caso questo secondo incontro, in cui è possibile che l'ingegnere-architetto senese abbia acquisito un codice vinciano *di acque e di volo di uomini*⁵² (non

rilevato in alcuno dei manoscritti attualmente identificati), definisce una nuova traccia leonardesca nell'attività del Marchesi – il cui operato segnerà un importante passaggio nell'ingegneria napoletana, particolarmente in ambito bellico – e di altri ospiti di Leone X, tra cui figurano Luca Pacioli e fra Giocondo, entrambi attivi a Napoli a inizio secolo.

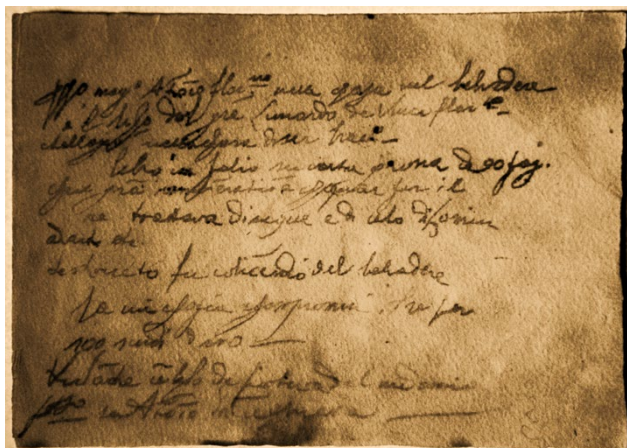


Figura 8: Anonimo, il Foglietto di Belvedere (da Buccaro & Rascaglia, 2020).

È altresì altamente probabile che il *maestro Antonio* citato nel *Codice Atlantico* come esperto di mine⁵³ sia proprio Antonio Marchesi da Settignano, già noto in Italia per le proprie abilità in ambito balistico. L'annotazione nel codice testimonia l'incontro a Milano tra i due, che deve aver determinato occasioni di confronto sui temi dell'ingegneria militare ed influenze reciproche nei successivi incarichi. Marchesi era già dal 1497 *Ingegnere Maggiore e Primo Architetto del Regno* di Napoli; in questi anni si occupa del progetto della nuova cinta bastionata di Castel Nuovo, interrotta in più episodi in corrispondenza di avvicendamenti di potere. Con l'inizio del vicereame spagnolo, Marchesi viene riconfermato come architetto regio e riprende i lavori, adottando nel 1519-1520 una struttura di bastione pentagonale *alla moderna*, particolarmente all'avanguardia; è evidente che detto progetto rappresenti l'applicazione di quanto appreso dall'architetto-ingegnere nelle esperienze precedenti.

L'interesse⁵⁴ di Leonardo verso l'antico genio siracusano Archimede definisce una delle prime intersezioni indirette dello scienziato-artista con il Mezzogiorno: Pomponio Gaurico⁵⁵, umanista napoletano molto interessato all'arte della propria contemporaneità e insegnante all'Università di Napoli tra il 1512 e il 1519, in conclusione al proprio *De Sculptura*, iniziato a Padova intorno al 1501, descrive un *Leonardus Vinci* ... *Archimedaeo ingenio notissimus*, riprendendo un appellativo affidato precedentemente al

matematico Paolo dal Pozzo Toscanelli e – col titolo di *Archimede senese* – a Mariano di Jacopo detto il Taccola, uno degli artisti-ingegneri più influenti del XV secolo del quale presumibilmente Leonardo ha modo di consultare gli scritti. Di simile visione è il fratello Luca Gaurico, principalmente noto per la sua opera editoriale di testi scientifici, matematici, filosofici e di astronomia – tra cui figurano testi posseduti da Leonardo, in particolare sulla quadratura del cerchio – che inserirà tra i *pictores eminentissimi* citati nel suo *Tractatus astrologicus* (1552) proprio il Vinci.

2.3. L'ultimo Leonardo. Racconti dal viaggio del cardinale Luigi d'Aragona

Luigi d'Aragona, figlio riconosciuto di Ferdinando d'Aragona nominato cardinale per volere di papa Alessandro VI, inizia da Ferrara un viaggio nel luglio del 1517 verso la Francia, con l'apparente scopo di rendere omaggio al re Carlo V di Asburgo. Fondamentale testimonianza di questo viaggio è il *Diario*⁵⁶ di Antonio de Beatis, segretario del principe, che riporta importanti informazioni sugli artisti incontrati e le opere cui essi stavano lavorando⁵⁷. Arrivati al castello di Cloux – oggi Clos-Lucé – la comitiva incontra Leonardo nel suo ultimo anno di vita: de Beatis annota diversi dettagli anche sulle condizioni di salute dello scienziato-artista, attribuendogli erroneamente più di settant'anni. Viene descritta la visita nello studio di Leonardo, che mostra agli ospiti le tre opere della propria maturità: la *Gioconda*, il *San Giovanni* – mai menzionato prima del diario del de Beatis – e la *Sant'Anna*, opera rimasta incompiuta con la morte dell'artista. Più rilevante ai fini della presente trattazione è il commento del canonico sui manoscritti di Leonardo, la cui pubblicazione avrebbe fortemente influito sullo scenario culturale dell'epoca. Al ritorno, conclusosi a Roma nel marzo del 1518, la comitiva si fermerà a Milano per contemplare il *Cenacolo*, rispetto al quale de Beatis sottolinea il degrado attribuendo la causa all'umidità della parete o simili problematiche. Il diario sarà trascritto in due copie a Molfetta negli anni Venti del Cinquecento; ad esse si aggiungeranno altre due copie oggi custodite nella Biblioteca Nazionale di Napoli e nella Biblioteca Apostolica Vaticana; malgrado la evidente e rapida diffusione della vicenda negli ambienti culturali napoletani, l'interesse per l'opera nella discussione accademica sui contatti tra Leonardo e Napoli nascerà solo con la pubblicazione nel 1905 del diario ad opera di Ludwig von Pastor, riferimento per la ricostruzione del viaggio realizzata da André Chastel⁵⁸ a fine secolo.



Figura 9: Il diario di de Beatis (da Buccaro & Rascaglia, 2020).

2.4. Le prime tracce post-vinciane in ambito napoletano

In aggiunta ai vicendevoli contatti descritti nei paragrafi precedenti, risulta che a partire dalla metà del XVI secolo a Napoli e nel Mezzogiorno sono presenti numerosi scritti di marca vinciana: tra alcuni incunaboli di titoli della biblioteca di Leonardo (il *De divina proportione* di Pacioli, un *Luca Gannico* – presumibilmente il trattato sulla quadratura del cerchio di Luca Gaurico – o una *Iperothomachia Philofili*, ovvero la *Hypnerotomachia Poliphili* di Francesco Colonna) risulta anche un *libro intitolato Leonardus* nell'inventario⁵⁹ del 1566 della biblioteca di Innico Piccolomini, duca di Amalfi, nel castello di Celano⁶⁰; si è inoltre certi della presenza e circolazione di diversi manoscritti apografi vinciani, come quelli in possesso di Gian Vincenzo Pinelli, a Napoli negli stessi anni, prima di ritirarsi a Padova.

Tra gli apografi di scritti vinciani presenti a Napoli nel XVI e XVII secolo figura un importante manoscritto custodito nel Centro di Ateneo per le Biblioteche dell'Università degli Studi di Napoli "Federico II": si tratta del *Codice Fridericiano*, un apografo del *Trattato della Pittura* antecedente alla nota edizione del Du Fresne del 1651. Il codice è particolarmente rilevante per l'accuratezza del testo e – contrariamente ad altri apografi circolanti all'epoca – per la qualità dei disegni, che ne consente la definizione di una possibile attribuzione⁶¹ e l'identificazione della cronistoria del documento, che discende dalle copie possedute da Lorenzo Giacomini e Niccolò Gaddi pur se con diverse lacune e varianti che fanno pensare ad un passaggio intermedio, forse proprio dai testi del Gaddi, il quale prestava volentieri i propri manoscritti per far meglio circolare il pensiero vinciano, come intuibile dall'apografo del *Trattato della Pittura* del Pinelli.

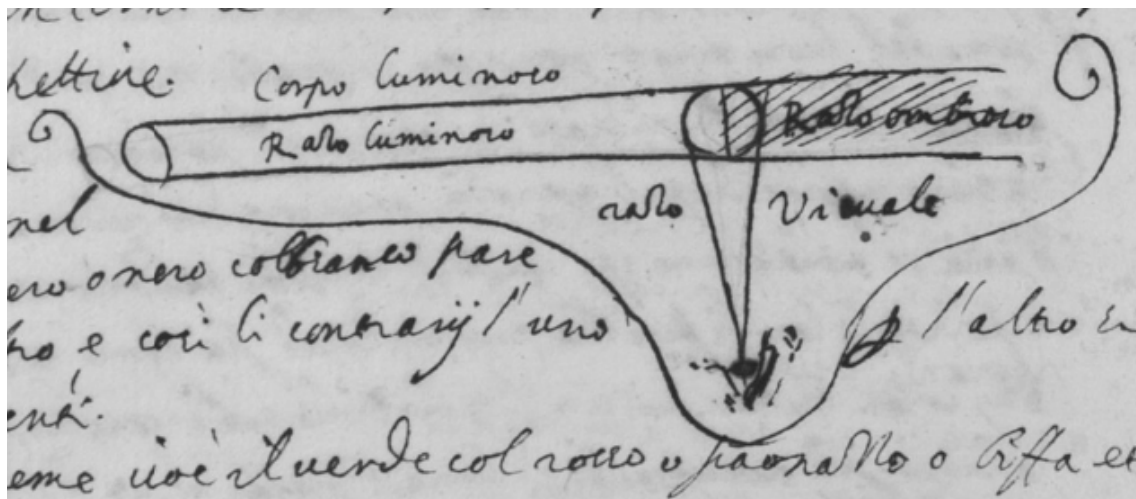


Figura 10: Studi di luci e ombre nel Codice Fridericiano (eCo - collezioni digitali della Federico II).

Risulta evidente come già alla metà del Cinquecento la lezione vinciana sia nota ai maggiori esponenti culturali del Mezzogiorno, dai quali deriverà la diffusione del pensiero e della metodologia dello scienziato-artista ad una scala sempre più ampia.

2.5. Gli ingegneri durante il vicereame spagnolo

Tra la seconda metà del Cinquecento e gli inizi del Seicento l'eredità culturale di Leonardo e di Francesco di Giorgio Martini – particolarmente nell'ambito dell'ingegneria militare e idraulica – sarà raccolta e ulteriormente sviluppata da vari tecnici attivi nel Mezzogiorno (tra cui si segnalano Carlo Theti, Domenico Fontana e Giovanni Antonio Nigrone) tramite i quali si porranno le basi per lo sviluppo della scienza vinciana nel suo integrarsi col metodo

sperimentale galileiano, delineando un clima particolarmente fertile per accogliere la *rivoluzione* illuminista del XVIII secolo.

Il nolano Carlo Theti è riconosciuto per aver ripreso l'impostazione martiniana delle fortificazioni, in cui il disegno della cinta muraria delle città deve tener conto delle caratteristiche del territorio piuttosto che imporre una forma geometrica perfetta ed astratta, avulsa dal sito. L'ingegnere è particolarmente noto per la sua carta della Napoli vicereale del 1560, in cui si osserva una parziale realizzazione dei progetti a carattere urbanistico voluti da don Pedro de Toledo, a cui lo stesso Theti potrebbe aver collaborato⁶². Nei suoi *Discorsi di fortificationi* e le relative riedizioni, si osserva il tentativo dell'ingegnere militare di superare la rigida specializzazione della propria professione che già prevede un'impronta fortemente tecnica e pratica pressoché priva di libertà ideative o aspetti più teorici: nei suoi manoscritti si comprende come Theti tenti di accordare teoria e pratica invece di adattare alle specificità di un territorio dei modelli di fortificazioni astratti e codificati; ereditando evidentemente l'approccio vinciano, il nolano elabora nuove teorie tramite l'applicazione diretta di regole geometriche euclidee correlate allo studio delle armi e delle dinamiche belliche dell'epoca. Affermando l'assenza di una distinzione tra teoria e applicazione, l'ingegnere prende le distanze da gran parte dei più influenti ingegneri militari dell'epoca, nonché dall'Alberti⁶³: bisogna verificare l'applicazione su campo dei propri progetti e contemporaneamente acquisire dai conflitti le conoscenze necessarie per adattare al meglio le fortificazioni sulla base di un'acuta conoscenza della geometria, delle proporzioni e della balistica.

L'apparato grafico a corredo del trattato raffigura in maniera preponderante le fortificazioni a danno dell'abitato, esaltando il carattere strettamente funzionale e tematicamente legato all'oggetto del testo; parallelamente, la rappresentazione del contesto deriva spesso da tavole degli atlanti a lui contemporanei, il che denuncia un'elevata sensibilità nel tecnico verso l'iconografia urbana, vista come una componente fondamentale per la conoscenza del sito, dunque per la definizione dei parametri entro cui dover definire il progetto. Tramite Theti dunque l'ingegnere militare arricchisce il proprio bagaglio tecnico, approfondendo e rielaborando cartografie per conoscere al meglio l'orografia dei territori con scopi prettamente politici e militari: nel corso del Seicento, infatti, le rappresentazioni planimetriche delle città prevarranno rispetto alle vedute a volo d'uccello, sostituendole completamente nel XVIII secolo con l'Illuminismo.

Un'altra figura fondamentale nello sviluppo della figura dello scienziato-artista nel Mezzogiorno a fine XVI secolo è Domenico Fontana, la cui attività napoletana, concentrata tra il 1594 e il 1607, vede interventi in svariati campi d'applicazione (ingegneria idraulica, restauro, nuove realizzazioni, sistemazioni a carattere urbanistico...) con un tale impatto sulla scena professionale da determinare echi diretti della propria tecnica ancora a metà XVII secolo. L'esperienza maturata con le commesse papali di Sisto V vedrà un felice terreno di prova nella capitale del viceregno, ricca di programmi con intento propagandistico (il nuovo Palazzo Reale, l'apertura di strade e piazze, il progetto di ampliamento del porto...).

Giunto a Napoli in via definitiva nel 1593 a seguito di alcuni fondamentali interventi di regimentazione delle acque⁶⁴ tra Nola e il Lago Patria (completati dal figlio Giulio Cesare dopo il 1607) e di canalizzazione dal Sarno a Torre Annunziata⁶⁵ (intervento particolarmente noto per la distruzione di parte delle rovine della città antica di Pompei, scoperta solo un secolo e mezzo più tardi), nel 1604 Fontana assume il ruolo di *Regio Inghenerio et Architetto Maggiore et super intendente de tutte le fabbriche del Re nel Regno de Napoli*⁶⁶ e realizza, parallelamente alle proprie consulenze, un'edizione del proprio trattato in cui riporta in maniera molto dettagliata i propri interventi a Roma e a Napoli, con un approfondimento nelle descrizioni delle opere, oltre che nei metodi alla base della progettazione e nella realizzazione di condotti d'acqua interrati o a sezione aperta, tale da poter assimilare il manoscritto ad un vero e proprio manuale divulgativo sulla pratica ingegneristica che avrà una diffusione progressivamente maggiore nella capitale e nel regno fino all'inizio del regno borbonico: se con Francesco di Giorgio e Antonio Marchesi l'inizio del Cinquecento vede a Napoli una ricezione della lezione vinciana e senese (prima pratica, poi veicolata dalla trattatistica), a cavallo del secolo il contributo di Fontana inquadra un'ulteriore occasione di delineazione identitaria della figura dell'ingegnere-architetto, fondata su basi tecnico-scientifiche interrelate alla sperimentazione.

Il *fontanaro e ingegniero de acqua*⁶⁷ Giovanni Antonio Nigrone⁶⁸, noto tra fine XVI e inizio XVII secolo per le proprie abilità di ingegneria idraulica, è attivo in molte corti delle principali città italiane come Napoli, Roma, Firenze, in cui riceve numerosi incarichi documentati. Particolarmente rilevante per la presente trattazione è il suo manoscritto di idraulica, composto tra il 1585 e il 1609 e conservato nella Biblioteca Nazionale di Napoli almeno dal 1865, anno del trasferimento dei volumi della biblioteca del convento dei

Cappuccini della Concezione a Montecalvario. Il documento è sostanzialmente un manoscritto di studio di vari fenomeni di regimentazione delle acque, in cui l'ingegnere ricorda molti dei propri incarichi definendone precisamente la committenza e i parametri principali che hanno influenzato la realizzazione. Tramite un compendio di illustrazioni colorate a tempera e integrate da diverse annotazioni, Nigrone espone anche le teorie di idraulica su cui fonda il proprio metodo, denunciando un suo continuo aggiornamento teorico e pratico derivante dallo studio dei trattati a lui contemporanei e dalla visita ai cantieri più innovativi dell'epoca: a Napoli lavora per la corte vicereale occupandosi della collocazione di una scultura di committenza medicea della prima metà del XVI secolo – il *Dio fluviale* di Pierino da Vinci, ora custodito al Louvre⁶⁹ – come capo-fontana, fornendo forse l'unica testimonianza grafica di un'opera idraulica ormai scomparsa. Come testimoniato a conclusione del primo volume, l'opera doveva essere già terminata nel 1598, anno in cui Nigrone si trasferisce a Vico Equense su chiamata del vescovo Paolo Regio, che aveva avviato nel 1568 un'iniziativa di pubblicazione di trattati scientifici illustrati con il *De umana physiognomonia* di Giovan Battista della Porta. Il manoscritto, mai pubblicato integralmente⁷⁰, è organizzato in due volumi secondo una stesura organica e definitiva che tratta dei più svariati temi di ingegneria idraulica: oltre a varie tipologie di giochi d'acqua per i giardini di corte, vengono proposte macchine di sollevamento, mulini, acquedotti, metodi di individuazione delle falde, di captazione delle acque e relativa filtrazione; sono

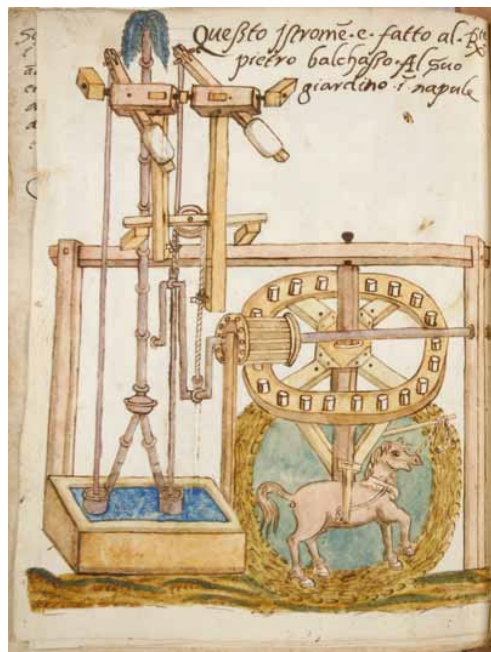


Figura 11: Una delle macchine idrauliche rappresentate nel trattato di Nigrone (da Buccaro, 2011).

presenti anche elementi di ingegneria navale, con la produzione di mezzi natanti e subacquei.

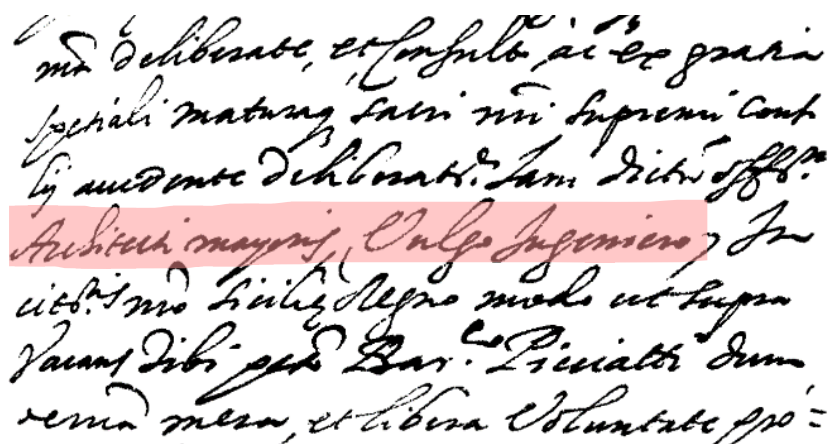
Il riferimento vinciano è principalmente legato al ruolo assunto da Leonardo nell'evoluzione del concetto di giardino, in cui lo scienziato-artista – complice la sua formazione globale e poliedrica che deriva da un'intersezione di conoscenze antiche con le innovazioni dei suoi contemporanei – inserisce macchine idrauliche complesse già dagli anni Settanta del Quattrocento, nel corso della sua formazione nella bottega del Verrocchio; sono inoltre celebri i suoi studi per le macchine di sollevamento dell'acqua, per le canalizzazioni e la regimentazione delle acque in diverse regioni italiane e francesi – tra cui si segnala il progetto per la bonifica delle paludi pontine – o il suo progetto per la residenza milanese di Charles d'Amboise, con un giardino ricco di complicate macchine e strumenti ad acqua. Le intersezioni tra il genio vinciano e il Nigrone sono da riferirsi anche all'ambiente fiorentino, in cui l'*ingegniero de acqua* apprende gli approcci della tradizione ingegneristica locale (che fonda su Brunelleschi, il Taccola, Francesco di Giorgio Martini...) e li confronta con gli apporti teorici più recenti, per poi ridefinire il tutto alla luce della propria esperienza, portandolo a migliorare ed innovare gli oggetti del suo studio.

L'approccio teorico-pratico di Leonardo diventa la base fondante in questo periodo di una corrente di integrazione tra arte e architettura e di mediazione tra studi contemporanei e testi antichi, determinando la formazione di numerosi testi di consultazione tecnica per ingegneri-architetti, volti alla comprensione di tutti gli aspetti della professione attraverso modelli illustrati e commentati di macchine e l'elencazione di teorie fondamentali per i progetti, anticipando di qualche secolo la manualistica tecnica di marca francese per l'*École Polytechnique* (si pensi ad esempio ai manuali di Rondelet o Jean-Nicolas-Louis Durand) o per l'*Academie d'Architecture*.

Con Giovan Battista della Porta si assiste ad una più concreta continuazione dell'opera di Luca Gaurico e di Leonardo a Napoli; figura culturale dalle numerose sfaccettature, entra a far parte dell'Accademia dei Lincei nel 1610, anno di riedizione – a seguito della prima pubblicazione a Napoli, del 1601 – dei suoi *Elementorum Curvilinearum* a Roma con la collaborazione di Federico Cesi, fondatore dell'Accademia. Ispirato anch'egli agli studi di Euclide, dichiara di aver risolto il problema di quadratura del cerchio tramite un procedimento con riga e compasso. Lo studioso è però riconosciuto come continuatore degli studi di marca vinciana, soprattutto per le affinità negli oggetti e nelle metodologie

d'indagine, che si soffermano sullo studio di cadaveri, l'arte bellica⁷¹, la regimentazione delle acque (in particolar modo in relazione al loro innalzamento e alle operazioni di bonifica), lo studio di macchine ad acqua per realizzare giochi e strumenti musicali evocativi del progetto vinciano per i giardini di Charles d'Amboise⁷²; perfeziona la camera oscura descritta da Alhazen nel 965 e progettata da Leonardo nel *Codice Atlantico* e nel *Ms. B* tra il 1490 e il 1508; dichiara persino di aver inventato il cannocchiale in anticipo rispetto a Galileo Galilei, anche se nel *Codice Atlantico* si trovano annotazioni databili al 1513 su studi ottici vinciani per la realizzazione di un simile strumento⁷³.

Uno degli ingegneri-architetti che meglio assimila il metodo di Domenico Fontana in area napoletana nel Seicento è Bartolomeo Picchiatti, tra i protagonisti della professione nella capitale del regno, nominato nel 1628 *Architecti majoris (Vulgo Ingeniero)*⁷⁴ secondo una denominazione ancora oggi radicata nei rapporti popolari⁷⁵.



ma deliberato, et confulto, ac ex gratia
speciali mandatum sacri nri supremi Cons
lij auctoritate deliberato. Jam dicitur offi:
Architecti majoris, Vulgo Ingeniero, In
civitatis nri Regni modo ut supra
vacans dibi per Bar. Picchiatti dum
venit mero, et libera voluntate appo:

Figura 12: Nomina di Bartolomeo Picchiatti «*Architecti majoris (Vulgo Ingeniero)*», 1628. Napoli, Archivio di Stato, Cancelleria e Consiglio del Collaterale, *Offic. suae majestatis*, n. 10 (da Buccaro, 2011).

Nato nel 1571 a Ferrara, Picchiatti opera prima nella sua città, poi a Roma; dal 1593 collabora con Fontana alla sistemazione del porto di Napoli per poi lavorare con il figlio Giulio Cesare Fontana al completamento del Palazzo degli Studi; alla morte del Fontana viene infine nominato con la citata definizione di ingegnere-architetto. In qualità di professionista di riferimento del regno, a seguito degli eventi sismici del 1631 e del 1638, si occupa di vari interventi di consolidamento nelle fortificazioni di Capua, Taranto, Reggio Calabria, Barletta, Gaeta, Baia e Nisida; interviene sull'arsenale di Napoli e progetta diverse chiese e conventi napoletani; forse, come ipotizzato da Buccaro⁷⁶, potrebbe essere autore del disegno del Palazzo Donn'Anna.

Una delle figure che più ha contribuito nella storia della scienza e della professione nel Mezzogiorno moderno è il nolano Colantonio Stigliola⁷⁷, nominato nel 1593 *Ingegnere di Città* – dunque al servizio dell'Ingegnere Maggiore e parte del *Tribunale della Fortificazione, Acqua e Mattonata* – e convinto sostenitore della teoria copernicana, evento che lo porterà all'incarcerazione a Roma, presumibilmente fino all'abiura, e all'entrata in contatto con Galileo Galilei, di cui sosterrà le teorie contribuendo alla diffusione del metodo sperimentale. Figura poliedrica, ha rapporti con Federico Cesi ed è accademico dei Lincei⁷⁸ e, parallelamente alla professione, approfondisce tematiche di varie branche della scienza come la chimica, la matematica o la cosmografia e redige diversi trattati che hanno contribuito in maniera sostanziale allo sviluppo delle scienze nel viceregno. In base a recenti studi⁷⁹, si ipotizza che tra le sue attività di interesse per lo scenario culturale del Mezzogiorno possa figurare il progetto di edizione del *Codice Tarsia*⁸⁰, silloge grafica realizzata a fine Quattrocento (dunque nel periodo immediatamente successivo alla prima diffusione dei libri di bottega o altri trattati di riferimento per lo studio basato su modelli classici) che unisce temi di ingegneria e architettura a livelli che spaziano dal dettaglio compositivo-costruttivo al campo urbanistico⁸¹. Il progetto viene condotto da Stigliola in qualità di tipografo⁸² attento alle scienze dell'architettura e dell'ingegneria e forse finalizzato alla pubblicazione di un *Libro di disegni* dedicato alla diffusione di modelli utili per la progettazione, costituendo un repertorio grafico completo ed aggiornato sulle tematiche progettuali, riprendendo il modello degli album di architettura particolarmente diffuso nel tardo Cinquecento anche in virtù del crescente collezionismo grafico (riscontrabile ad esempio in Giorgio Vasari, Niccolò Gaddi, Gian Vincenzo Pinelli o, in pieno Seicento, in Cassiano dal Pozzo) e che prende le mosse dalla citata iniziativa sui trattati di Francesco di Giorgio Martini e la redazione del corpus grafico di Fra Giocondo nel Quattrocento. Un altro intervento significativo dell'ingegnere riguarda la collaborazione con Mario Cartaro – Ingegnere di Città vicino all'incisore francese Antoine Lafréry – per la redazione della Carta Generale del Regno di Napoli tra il 1592 e il 1595, in seguito ritirata forse per l'eccessivo grado di dettaglio che avrebbe potuto rivelare obiettivi strategici in un periodo di delicati equilibri politici.

L'influenza di Leonardo da Vinci sulla cultura, l'architettura e l'ingegneria del Mezzogiorno italiano durante il Rinascimento e il XVI secolo è evidentemente profonda e duratura: la sua interazione con figure chiave come Francesco di Giorgio Martini e Antonio Marchesi

da Settignano ha contribuito in modo significativo alla diffusione delle teorie vinciane nella regione, come testimoniano alcuni esempi di architettura rinascimentale napoletana – come la villa di Poggioreale – che riflettono i reciproci legami tra le idee di Leonardo e l'evoluzione urbanistica dell'epoca.

Passando per numerose altre tracce di diffusione, tra cui il *Diario* di Antonio de Beatis, le idee vinciane continuano ad affermarsi nel XVI e XVII secolo, come dimostrato dalla presenza di numerosi scritti di marca vinciana a Napoli. Figure come Carlo Theti, Domenico Fontana, Giovanni Antonio Nigrone, Bartolomeo Picchiatti e Colantonio Stigliola hanno svolto un ruolo fondamentale nello sviluppo delle scienze, dell'ingegneria e dell'architettura nella regione, mantenendo viva l'eredità di Leonardo e contribuendo attivamente all'evoluzione della figura professionale, portando a maturazione un processo già avviato che, nonostante la crisi sociale iniziata nel vicereame spagnolo – complici le pessime scelte in materia infrastrutturale del governo centrale e la dilagante corruzione dei tecnici – proseguirà per tutto il vicereame austriaco, ancor più disattento verso le problematiche del Mezzogiorno, avanzando nel proprio percorso di perfezionamento e diffusione delle competenze tecniche ed artistiche fino ad accogliere il clima fortemente scientifico dell'Illuminismo, definendo compiutamente un filo rosso di marca vinciana alla base della figura dell'*architecto vulgo ingeniero*.

²⁶ *Descrizione della città di Napoli e statistica del regno nel 1444*, in C. Foucard, *Fonti di storia napoletana nell'Archivio di Stato di Modena*, in "Archivio storico per le province napoletane", a. II, fasc. 4, 1877-1878, pp. 725-757.

²⁷ A. Ghisetti Giavarina, *Profilo dell'architettura a Napoli nell'età di Leonardo (1452-1519)*, in A. Buccaro, M. Rascaglia, *Leonardo e il Rinascimento nei codici napoletani. Influenze e modelli per l'architettura e l'ingegneria*. Napoli, CB ed., 2020, pp. 45-54.

²⁸ Cfr. C. Rusciano, *Napoli, 1484-1501. La città e le mura aragonesi*, Roma, Bonsignori Editore, 2002

²⁹ C. de Seta, *Napoli*. Ottava edizione. Napoli, Editrice Politecnica Napoli, 2016. p. 75.

³⁰ Per approfondimenti in merito, v. A. Buccaro, A. Mele, T. Tauro, *Forma urbis Neapolis. Genesi e permanenza del disegno della città greca*, Napoli, arte'm, 2023.

³¹ B. de Dominici, *Vite de' pittori, scultori ed architetti napoletani*. Napoli, Stamperia Ricciardi, 1742-1743. Tomo II, pp. 95-101. Bodleian Libraries, University of Oxford.

³² Per approfondimenti sul tema, v. A. Ghisetti Giavarina, F. Mangone, A. Pane (a cura di), *Da Palazzo Como a Museo Filangieri: Storia, tutela e restauro di una residenza del Rinascimento a Napoli*. Napoli, Grimaldi & C. editori, 2019.

-
- ³³ De Dominici, *Op. cit.*, p.80
- ³⁴ C. Theti, *Neapolis urbs ad verissimam effigiem...* 1560.
- ³⁵ de Seta, *Cit.*, pp. 84-85 e pp.93-96; Cfr. anche M. Visone, *Napoli aragonese e le delizie di Campovecchio*, in *La corona d'Aragona e d'Italia. Atti del XX Congresso di Storia della Corona d'Aragona*, Perugia, Stabilimento Tipografico «Pliniana», 2020, pp. 1457-1458.
- ³⁶ Cfr. A. Buccaro (a cura di), *Il borgo dei Vergini. Storia e struttura di un ambito urbano*, Napoli, CUEN, 1991.
- ³⁷ Per approfondimenti, v. P. Modesti, *Le Delizie Ritrovate: Poggioreale e la villa del Rinascimento nella Napoli aragonese*, Firenze, Leo S. Olschki ed., 2014. V. anche M. Visone, *Poggio Reale rivisitato: preesistenze, genesi e trasformazioni in età vicereale*, in E. Sánchez García, *Rinascimento Meridionale: Napoli e il Viceré Pedro de Toledo (1532-1553)*, Napoli, Tullio Pironti Editore, 2016.
- ³⁸ A. Baratta, *Fidelissimae Urbis Neapolitanae...* 1627-1670.
- ³⁹ G. Carafa Duca di Noja, *Mappa topografica della città di Napoli e de' suoi contorni*. 1775.
- ⁴⁰ de Seta, *Cit.*, p.82.
- ⁴¹ C. Pedretti, *A Chronology of Leonardo da Vinci's Architectural Studies after 1500*, Ginevra, Librarie E. Droz, 1962, pp. 121-124; *Idem, Leonardo da Vinci. The Royal Palace at Romorantin*, Cambridge (Massachusetts), Belknap Press Harvard, 1972, pp. 44, 51.
- ⁴² Ghisetti Giavarina, *Profilo dell'architettura a Napoli, cit.*, p. 49.
- ⁴³ C. Pedretti, *Archimedeo ingegno notissimus*, in A. Vezzosi, *Leonardo e il leonardismo a Napoli e a Roma*, Firenze, Giunti Barbera Ed., 1983, p.118.
- ⁴⁴ R. Pane, *Il Rinascimento nell'Italia Meridionale*, Milano, Ed. di Comunità, 1975, II, pp. 208 sgg.
- ⁴⁵ A. Buccaro, *Influenza e diffusione del metodo vinciano nella formazione dell'architetto "vulgo ingegniero" napoletano*, in A. Buccaro, *Leonardo da Vinci - il Codice Corazza nella Biblioteca Nazionale di Napoli*, I, Napoli, CB ed., 2011, p. 81.
- ⁴⁶ *Codice di Madrid II*, ff. 91v-92r.
- ⁴⁷ R. Filangieri di Candida, *Critiche amene all'opera di Castel Nuovo. (Questioni storiche e criteri di restauro)*. Genova, Industrie tipografiche ed affini, 1931. p.476.
- ⁴⁸ F.P. Fiore, M. Tafuri, *Francesco di Giorgio architetto*, Milano, Electa ed., 1993, p. 313, scheda di N. Adams. Cfr. A. Buccaro, *Il 'foglietto di Belvedere' dell'Archivio Pedretti: "Mag^o Antonio Fiorentino" tra Roma e Napoli e le possibili tracce dei codici vinciani perduti*, in A. Buccaro, M. Rascaglia, *Leonardo e il Rinascimento nei codici napoletani. Influenze e modelli per l'architettura e l'ingegneria*. Napoli, CB ed., 2020. pp. 67-76.
- ⁴⁹ Anonimo, *Foglietto del Belvedere*. (fine XVIII, inizi XIX secolo). Lamporecchio. Archivio Fondazione Rossana e Carlo Pedretti.
- ⁵⁰ B. De Dominici, *Op. cit.*, Tomo II, pp. 95-101.
- ⁵¹ A. Buccaro, *Il 'foglietto di Belvedere', cit.*, p. 67.
- ⁵² A. Buccaro, *Leonardo e "mag^o Antonio fiorentino. Cenni su codici vinciani perduti nel Foglietto di Belvedere dell'Archivio Pedretti*, in *ArcHistoR*, V, 10, 2018, pp. 26-57.

⁵³ *Codice Atlantico*, f. 611r-a.

⁵⁴ Particolarmente evidente in suoi appunti databili al 1502 nel *Ms. L* (ff. 2r, 94v) e nel *Codice Atlantico* (f. 968r), in cui scrive di testi che può ottenere tramite intercessione di Cesare Borgia e Vitellozzo e ne rintraccia altri.

⁵⁵ Cfr. A. Vezzosi, *Un nodo vinciano «archimedeo» a Napoli, tra Leonardo e Pacioli, i Gaurico e Della Porta*, in A. Buccaro, M. Rascaglia, *Leonardo e il Rinascimento nei codici napoletani. Influenze e modelli per l'architettura e l'ingegneria*. Napoli, CB ed., 2020, pp. 31-44.

⁵⁶ A. de Beatis, *Itinerario di monsignor Reverendissimo, Illustrissimo il Cardinal de' Aragona incominciando dalla città di Ferrara, 1517-1518*. Napoli, Biblioteca Nazionale, Ms. XIV.H.70.

⁵⁷ A. Vezzosi, *Il diario di Antonio de Beatis e l'incipit per la diffusione di Leonardo nel Mezzogiorno*, in A. Buccaro, M. Rascaglia, *Leonardo e il Rinascimento nei codici napoletani. Influenze e modelli per l'architettura e l'ingegneria*. Napoli, CB ed., 2020, pp. 58-59.

⁵⁸ A. Chastel, *Luigi d'Aragona. Un cardinale del Rinascimento in viaggio per l'Europa*, Bari, Laterza, 1987.

⁵⁹ Napoli, Archivio di Stato, vol. 3208 bis, ff. 35 sgg., mss. del 30 settembre 1566 e del 16 marzo 1568.

⁶⁰ Per approfondire la vicenda del presunto *Manoscritto del Duca di Amalfi* perduto, cfr. C. Pedretti, *Leonardo da Vinci On Painting a lost Book (Libro A) reassembled from the Codex Vaticanus Urbinas 1270 and from the Codex Leicester/with a Cronology of Leonardo's "Treatise on Painting"*, Berkeley-Los Angeles, University of California Press, 1964, pp. 257-258; cfr. anche A. Buccaro, *Leonardo da Vinci - il Codice Corazza nella Biblioteca Nazionale di Napoli*, I, Napoli, CB ed., 2011, p. 85.

⁶¹ Gli apografi del *Trattato della Pittura* redatti all'epoca, particolarmente in ambito fiorentino, erano molto accurati nella riproduzione del testo ma di ridotta qualità per ciò che concerne l'apparato grafico. Il *Codice Fridericiano* presenta una simile impostazione nello scritto; la raffinatezza nelle illustrazioni si configura come una traccia dell'intervento di un artista non toscano, attualmente ipotizzato come un appartenente alla scuola di Jacopo Ligozzi, attivo dal 1577 a Firenze, a causa della presenza di disegni di animali nel recto del secondo foglio. Cfr. A. Buccaro, *Il 'Codice Fridericiano' apografo del Trattato della Pittura*, in A. Buccaro, M. Rascaglia, *Leonardo e il Rinascimento nei codici napoletani. Influenze e modelli per l'architettura e l'ingegneria*. Napoli, CB ed., 2020, p. 79.

⁶² G. Mollo, *Carlo Theti. I Discorsi delle fortificazioni di un ingegnere militare del XVI secolo*, in *Storie e teorie dell'architettura dal Quattrocento al Novecento. Ricerche di dottorato*, a cura di A. Buccaro, G. Cantone, F. Starace, Pisa, Pacini ed., 2008, p.93.

⁶³ A. Buccaro, *Influenza e diffusione del metodo vinciano nella formazione dell'architetto "vulgo ingegniero" napoletano*, in A. Buccaro, *Leonardo da Vinci - il Codice Corazza nella Biblioteca Nazionale di Napoli*, I, Napoli, CB ed., 2011, p. 88.

⁶⁴ *Ivi*, p. 89.

⁶⁵ P. C. Verde, *Domenico Fontana a Napoli. 1592-1607*, Napoli, Electa Napoli, 2007, p. 17.

⁶⁶ *Ivi*, p. 14.

⁶⁷ Biblioteca Nazionale di Napoli, *Ms. XII.G.60*, c. Ir.

⁶⁸ Per approfondimenti sull'operato di Nigrone e il proprio trattato, v. S. Tagliagamba, *I manoscritti di Giovanni Antonio Nigrone fontanaro e ingegniero de acqua nel solco della scienza vinciana*, in A. Buccaro, M. Rascaglia, *Leonardo e il Rinascimento nei codici napoletani. Influenze e modelli per l'architettura e l'ingegneria*. Napoli, CB ed., 2020. pp. 85-97.

⁶⁹ Inv. RF 1623.

⁷⁰ S. Tagliagamba, *I manoscritti di Giovanni Antonio Nigrone fontanaro e ingegniero de acqua nel solco della scienza vinciana*, in A. Buccaro, M. Rascaglia, *Leonardo e il Rinascimento*, cit., pp. 85-86. Cfr. A. Giannetti, *Gli strumenti idraulici di Giovanni Antonio Nigrone*, in *Il Fluidoro*, 3, 1956, pp. 109-116.

⁷¹ Nel 1608 pubblica il *De munitione*, in cui manifesta affinità con la teoria vinciana secondo cui la produzione delle armi da fuoco è utile per difendere la libertà contro i tiranni.

⁷² *Codice Atlantico*, f. 732v.

⁷³ *Codice Atlantico*, f. 518r.

⁷⁴ Alla fine del Cinquecento gli ingegneri alle dipendenze della corte erano sei, sotto la guida dell'Ingegnere Maggiore che soprintendeva a tutti i lavori nel regno (occupandosi direttamente del progetto, dell'esecuzione e del controllo tecnico-contabile di opere di fortificazione e di lavori pubblici come porti, strade, edifici ecclesiastici o a destinazione pubblica) ed era nominato direttamente dal re di Spagna su segnalazione del viceré. Cfr. A. Buccaro, *Leonardo da Vinci - il Codice Corazza*, cit., I, pp. 103 sgg.

⁷⁵ La professione presentava una diversa accezione in base alla natura della committenza: i progetti per residenze reali, ville e palazzi erano realizzati dall'architetto, mentre le opere infrastrutturali o comunque a servizio della collettività erano proprie dell'ingegnere pur essendo entrambe le professioni racchiuse entro lo stesso tecnico.

⁷⁶ Buccaro, *Leonardo da Vinci - il Codice Corazza*, cit., p. 104.

⁷⁷ Per approfondire la figura di Colantonio Stigliola, v. S. Ricci, *Colantonio Stigliola, «mathematico», «theologo» e «incingiero»*, in A. Buccaro, M. Rascaglia, *Leonardo e il Rinascimento*, cit., pp. 283-292.

⁷⁸ Viene accolto nell'Accademia nel 1612 insieme a Giovan Battista Della Porta, Giulio Cortese e Tommaso Campanella.

⁷⁹ A. Buccaro, *Dopo Leonardo, tra Vignola e Stigliola*, in A. Buccaro, M. Rascaglia, *Leonardo e il Rinascimento*, cit., pp. 213-233.

⁸⁰ Così detto perché derivante dal patrimonio dei principi Spinelli di Tarsia. L'attribuzione a Stigliola deriva prevalentemente dallo schema adottato per il frontespizio.

⁸¹ Per approfondimenti sulla struttura e i contenuti del codice, v. A. Buccaro, M. Rascaglia, *Leonardo e il Rinascimento*, cit., con schedatura completa del Codice Tarsia.

⁸² Come citato da Buccaro in riferimento agli *Annali della Stamperia Stigliola a Porta Reale in Napoli* di P. Manzi, la breve attività tipografica presso Porta Reale di Stigliola portò alla pubblicazione di opere di Torquato Tasso, Scipione Mazzella, Ferrante Imperato, Giovan Battista Della Porta e molti altri.

3. Le prime influenze vinciane a Napoli tra XV e XVI secolo: l'opera di Antonio Marchesi da Settignano

3.1. Cenni biografici

Nato a Settignano nel 1451, Antonio Marchesi – successivamente noto anche come *Antonio Fiorentino*⁸³ e *Antonio Fiorentino della Cava*, complice lo scavo di una galleria in Castel Nuovo nel 1495 per riconquistare la fortezza⁸⁴, è ormai riconosciuto come una delle prime figure di sintesi nell'applicazione del metodo induttivo-deduttivo nell'ingegneria e nell'architettura, memore della lezione vinciana presumibilmente appresa a Milano negli anni Novanta del Quattrocento⁸⁵. I primi anni di attività del settignanese lo vedono impegnato nella realizzazione di rivellini e altre fortificazioni, come testimonia la collaborazione con il padre a Pesaro per realizzare una fortezza per Costanzo Sforza – esperienza fondamentale per la formazione del Marchesi in ambito strutturale, a causa della difficoltà tecnica legata alla realizzazione di un torrione di circa 20 metri di diametro su un terreno paludoso e incoerente⁸⁶ – del 1474⁸⁷, o un suo intervento sulla rocca di Imola nel 1480⁸⁸. Impegnato al servizio della signoria fiorentina, viene chiamato a Napoli per la prima volta nel 1489, anno in cui progetta e dirige i lavori della rocca di Gaeta per poi accompagnare il principe ereditario Alfonso, duca di Calabria, in una spedizione lungo le coste calabresi per definire un nuovo assetto delle fortificazioni⁸⁹. Il Marchesi si occupa inoltre delle fortificazioni settentrionali del Regno, avviando nel 1490 il cantiere della rocca di Cittareale; nel corso dell'anno successivo si insedia in via stabile a Napoli, acquisendo il titolo di ingegnere reale.

Con la deflagrazione della mina sotto il muraglione della cittadella di Castel Nuovo del 1495, il Marchesi assicura la vittoria degli aragonesi su Carlo VIII di Valois; nel 1497 viene nominato quindi *Ingegnere Maggiore e Primo Architetto del Regno*, non potendo la corona richiedere nuovi interventi di Francesco di Giorgio Martini, impegnato nella signoria senese. Negli anni successivi il Marchesi interviene sulla cinta bastionata di Castel Nuovo e si occupa della costruzione del convento e della Chiesa di Santa Caterina a Formiello, intervenendo anche sulla villa di Poggioreale.

Tra il 1518 e il 1519 Marchesi è nuovamente attivo in Toscana; al suo ritorno si occupa probabilmente del bastione del parco di Castel Nuovo, per rimpatriare nella signoria fiorentina appena cinque mesi dopo. Tornerà per l'ultima volta a Napoli nel 1520 per monitorare i lavori del bastione, spegnendosi a Settignano nel settembre del 1522.

3.2. L'architettura militare: innovazioni nel progetto di fortificazioni

Come introdotto in precedenza, uno degli ambiti di maggior interesse per Marchesi è lo studio e il progetto di fortificazioni, settore che lo vede impegnato dai primi anni di attività fino agli ultimi mesi di vita e in cui fornisce numerosi contributi fondamentali. Difatti, Filangieri di Candida lamenterà la mancanza di studi sul Fiorentino, tra i protagonisti della nascita della *fortezza moderna* in Italia⁹⁰ come già riconosciuto dall'umanista e letterato Pietro Summonte in una lettera del 1524⁹¹.

È nota la collaborazione del Marchesi, nei suoi primi interventi tra Milano e Napoli, con Francesco di Giorgio Martini. Durante l'attività a Napoli, luogo dalla complessa articolazione orografica, il Martini deve aver maturato l'idea del sistema bastionato *alla moderna*, innovato da Antonio da Sangallo il Giovane a Civitavecchia e poi ripreso dal Marchesi per Castel Nuovo. Con il progetto del programma urbanistico di Alfonso II, poi passato a Giuliano da Maiano e dunque al Marchesi, Martini affronta il tema dell'espansione del tracciato delle mura occidentali di Napoli delineando un percorso che, se realizzato integralmente, avrebbe raggiunto la collina di San Martino prima della campagna di innovazioni di don Pedro de Toledo⁹²; è forse in questa occasione che matura compiutamente in Martini l'idea di una città organizzata secondo criteri *ingegneristici* e razionali piuttosto che basati su schemi *ideali*, rigidamente geometrici.

Dal lavoro con Francesco di Giorgio, Marchesi accresce le proprie competenze ed innova continuamente i sistemi strutturali, seguendo i più recenti sviluppi in materia di ingegneria militare; fondamentale è la citata sperimentazione col Martini a Napoli del sistema di fiancheggiamento *in alzato*, definito da Leonardo solo qualche anno più tardi, contrapposto al fiancheggiamento *in orizzontale*, alla base delle piante stellari delle fortificazioni moderne mitteleuropee⁹³.

Con questi importanti contributi, si assiste nel Mezzogiorno ad un'importante diffusione ed innovazione di principi vinciani in materia di fortificazioni, come testimoniano gli studi

di Niccolò Tartaglia, seguito da Carlo Theti. Nel corso del vicereame di don Pedro de Toledo non mancheranno altri importanti contributi teorici in materia, mentre nelle opere difensive realizzate è ancora evidente l'influenza metodologica del Marchesi, che indurrà alcuni ingegneri spagnoli a deviare dalla propria formazione strettamente tecnica per accogliere le istanze professionali locali, come testimonia l'attività napoletana di Pedro Luis Escrivà⁹⁴, successore del Marchesi nelle opere di Castel Nuovo.

3.3. Il bastione del parco e la cinta di Castel Nuovo

Collaborando con Francesco di Giorgio Martini – primo vero *ingegnere-architetto* modernamente inteso – fin dalla fine del Quattrocento, Marchesi sviluppa le proprie competenze entrando in contatto con numerosi esponenti della scena culturale italiana⁹⁵; a seguito della partenza definitiva da Napoli del maestro, nel corso dei lavori per la nuova cinta bastionata di Castel Nuovo – su progetto del Martini – il Fiorentino intuisce la necessità di adeguare le strutture alle nuove tecniche introdotte da Francesco di Giorgio nelle rocche di San Leo e del Sasso di Montefeltro⁹⁶, avviando nel 1499, mentre era parallelamente impegnato nella direzione dei lavori di potenziamento delle mura urbane realizzate da Giuliano da Maiano⁹⁷, i lavori per la realizzazione della nuova fortificazione del castello; citando un passo del Filangieri di Candida nel commentare un registro della fabbrica di Castel Nuovo del 1499:

*[...] si legge che il 10 dicembre 1499 furono tese le cordelle davanti Castel Nuovo, dalla parte di S. Nicola, per tracciare l'andamento delle mura della nuova cittadella che doveva sorgere intorno al castello «quale designo fe' maestro Antonio Fiorentino, architetto del signor Re».*⁹⁸

Il cantiere si arresta nel 1501, vedendosi completato nella sola ala settentrionale, a causa della conquista della città da parte di Luigi XII, sotto il quale i lavori proseguiranno nel 1503, ancora su disegno del Marchesi; nello stesso anno Napoli viene conquistata da Consalvo di Cordova, rallentato dalle sole mura della cittadella di Alfonso I⁹⁹. Gli avvicendamenti di potere appena descritti delineano l'urgenza e l'importanza del completamento della cinta fortificata; nei primi anni del vicereame Marchesi viene dunque confermato come architetto regio e prosegue l'incarico di direzione dei lavori sotto Ferdinando il Cattolico e Carlo V.

Nell'organizzazione del sistema difensivo, particolarmente interessante è la soluzione adottata per il *baluardo del parco* (o di Santo Spirito), realizzato in contemporanea con il Torrione della Marina¹⁰⁰ tra il 1515 e il 1520 ma con forma differente: memore del confronto del 1517 per le mura di Civitavecchia, Marchesi riconosce nella sperimentazione di Antonio da Sangallo il Giovane del bastione a due livelli (uno verticale, uno a scarpa, divisi da un toro continuo¹⁰¹) un'applicazione efficace dei principi moderni di balistica e di progetto delle fortificazioni, adottando per la fortezza napoletana un bastione a pianta poligonale che si rivelerà di riferimento per le nuove fortificazioni vicereali del programma di don Pedro de Toledo, avviato nel 1536.

Le opere di completamento delle mura, dei torrioni e dei baluardi del Castello testimoniano dunque l'elevato grado di aggiornamento del Marchesi in materia, rappresentando la prima applicazione nel Mezzogiorno del principio della muraglia bastionata e della controffesa a quota bassa tramite tiro radente¹⁰².

La cinta realizzata è composta da una pianta quadrangolare a tre bracci (manca quello in affaccio sul mare, di ridotta utilità strategica) di circa 250 m per lato, con torrioni angolari di circa 45 metri di diametro. La sua prima raffigurazione è del 1540, ad opera di Francisco de Hollanda e conservata oggi all'Escorial, in cui si osserva compiutamente il sistema di fortificazioni e, in primo piano, il bastione *alla moderna*.

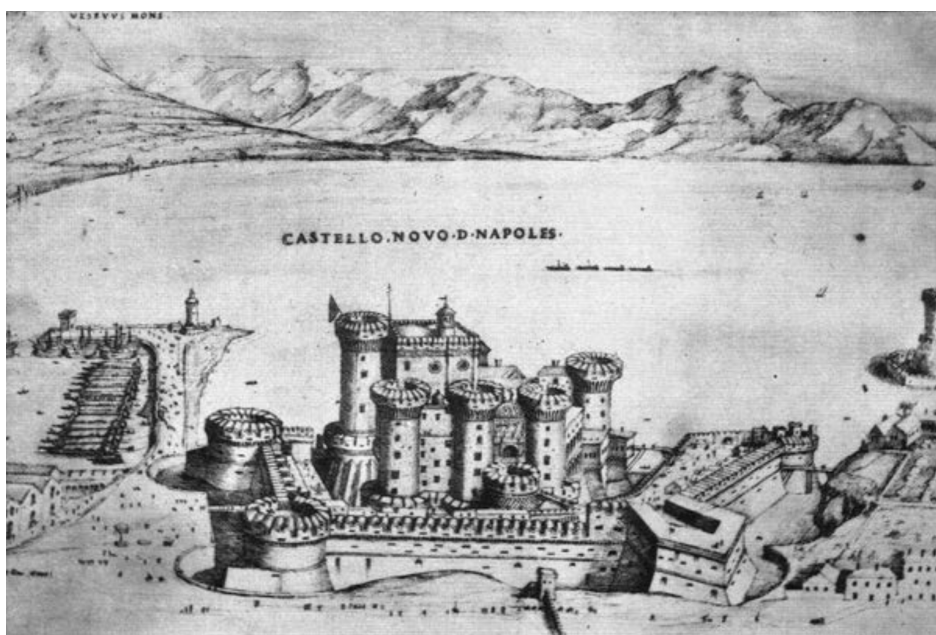


Figura 13: Francisco de Hollanda, *Castello Novo. D. Napoles*, 1540 ca. Madrid, Real Biblioteca del Monastero de San Lorenzo de El Escorial (da Buccaro in *ArchHistoR*, anno V, n. 10, p. 51).

3.4. La villa di Poggioreale

Nella nota lettera del 1524 di Summonte a Marcantonio Michiel è attestato un imprecisato intervento del Marchesi con Francesco di Giorgio sulla Villa di Poggioreale¹⁰³. A ciò si potrebbe associare, come ritenuto da Visone¹⁰⁴, la realizzazione nel 1498 della *via secreta et bene adobata per lo andare [...] ad Poggio Reale*¹⁰⁵, strada privata di collegamento tra Porta Capuana e la residenza suburbana, rappresentata nella veduta di Carlo Theti del 1560 e da Francesco Cassiano de Silva nella *Veduta del stradone, palazzo, e giardini di Poggio Reale*¹⁰⁶.

La villa, realizzata per il principe ereditario Alfonso d'Aragona a fine Quattrocento, è nota nello scenario culturale italiano sin da metà XVI secolo grazie alla pubblicazione del terzo libro sulle antichità di Serlio; a seguito della caduta del regno aragonese, la residenza vedrà un lento declino nei secoli, riducendosi allo stato di rudere¹⁰⁷.

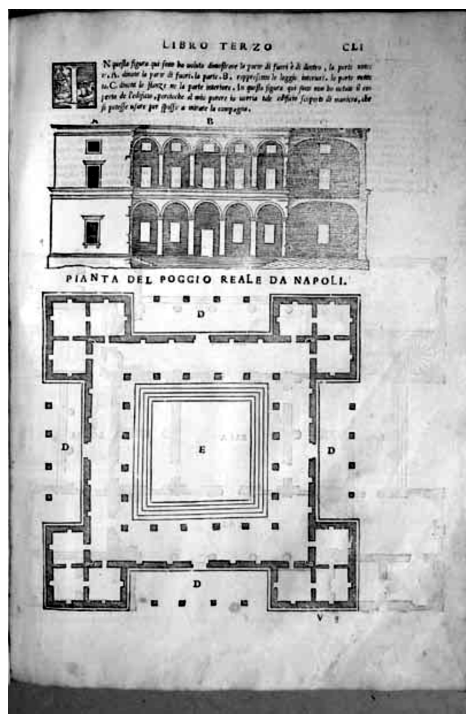


Figura 14: Pianta e spaccato della villa di Poggioreale nel trattato di Sebastiano Serlio (da Buccaro, 2011).

Realizzata nel *Campus veteris* – area acquitrinosa in cui tendevano ad accamparsi le forze militari durante gli assedi alla città¹⁰⁸ – a meno di tre miglia (ovvero due chilometri) dal confine orientale della città e a cavallo dell'antico acquedotto della Bolla, la villa si trovava sulla cima di un declivio naturale già dotato di un parco con dimora estiva voluta da Carlo II d'Angiò, re dal 1285 al 1309¹⁰⁹. La realizzazione, contestuale alla villa, della nuova strada

regia definì un collegamento diretto con la vicina Porta Capuana, da poco traslata nella sua posizione attuale, e dunque con Castel Capuano e la residenza della Duchesca. L'edificio principale, a corte con quattro torrioni quadrangolari angolari in cui si concentravano gli ambienti residenziali, evoca l'idea di una fortezza; i giardini, che attingevano dall'acquedotto della Bolla, erano ricchi di raffinati giochi d'acqua¹¹⁰. Il progetto complessivo vede l'intervento di alcuni dei più autorevoli progettisti dell'epoca: si riscontra l'intervento di Giuliano da Maiano¹¹¹, Fra' Giocondo, Luca Pacioli¹¹², Francesco di Giorgio Martini¹¹³ e Antonio Marchesi da Settignano¹¹⁴. Tra le numerose fonti iconografiche sulla villa susseguitesi nei secoli, la Masti¹¹⁵ cita: una planimetria di Baldassarre Peruzzi, ascrivibile ai primi decenni del Cinquecento; la rappresentazione idealizzata di Serlio del 1540; una rappresentazione nella veduta del Baratta del 1627; una rappresentazione parzialmente idealizzata in un dipinto di Viviano Codazzi e Micco Spadaro del 1641; la veduta del Stopendael del 1653; una pianta di Paolo Pertini del 1690 circa e cinque tavole anonime realizzate nel Settecento, oggi custodite al Victoria & Albert Museum di Londra, che raffigurano con completezza la villa in pianta e in alzato. Come in numerosi altri casi di studio nella città, la rappresentazione più significativa dal punto di vista planimetrico e di misura è però quella contenuta nella *Mappa topografica di Napoli e de' suoi contorni* di Giovanni Carafa, duca di Noja, realizzata fra il 1750 e il 1775, completata da Niccolò Carletti alla morte dell'autore, nel 1768. Nella legenda si legge della Villa:

Regio Palazzo [...] edificato attorno agl'anni 1483 da Alfonzo con indicibili delizie, di giardini, fontane, e boschetti, che giungevano insino al mare.¹¹⁶

Nella planimetria sono intuibili le trasformazioni subite dalla villa nei secoli; come testimoniato nella guida di Napoli di Domenico Antonio Parrino infatti, il real sito di Poggioreale era ormai ridotto in stato di rovina¹¹⁷.

3.5. Altre attribuzioni

Oltre alle opere citate e alle numerose occasioni di collaborazione con Francesco di Giorgio Martini, diverse opere rinascimentali di marca toscana a Napoli in cui si potrebbe riconoscere la mano di Marchesi (o comunque di un architetto che assimila pienamente la corrente martiniana) sono ancora di attribuzione dibattuta. Ad esempio, Ghisetti

Giavarina¹¹⁸ considera verosimile l'ipotesi di definire l'ammodernamento di fine Quattrocento di Palazzo Como¹¹⁹ come prima opera napoletana del Fiorentino, in ragione delle similitudini riscontrabili con il Palazzo Calderini di Imola per la struttura del portale ed il bugnato; si ritiene inoltre attribuibile al Marchesi la Cappella di Giovanni Pontano in via dei Tribunali, molto simile ad un disegno custodito nei trattati di Francesco di Giorgio e realizzato tra il 1490 e il 1495 e con notevoli similitudini tra i capitelli delle lesene e quelli dell'ordine superiore dell'esterno della Chiesa di Santa Maria del Calcinaio a Cortona¹²⁰, complice la fama dell'ingegnere-architetto nel Mezzogiorno, testimoniata dal Vasari, che porterà il Marchesi a realizzare nel 1506 un arco trionfale effimero per celebrare l'ingresso di Ferdinando il Cattolico nella città. Il ruolo di primo piano del Marchesi nel Mezzogiorno potrebbe inoltre aver definito delle influenze sull'architettura spagnola¹²¹ tramite Andrea Ferrucci da Fiesole, suo genero, architetto rientrato in Toscana nel 1488 dopo alcuni anni di attività a Napoli che potrebbe aver impostato il cantiere del cortile de La Calahorra, castello del marchese don Rodrigo de Mendoza, in cui si osserva una soluzione d'angolo molto simile a quella presente all'interno della Chiesa di S. Maria del Massaccio a Spoleto, realizzata dal Fiorentino nel 1488, e delle finestre centinate che potrebbero rimandare a quelle del primo piano di Palazzo Sersanti ad Imola – attribuibile al Marchesi¹²² – città in cui Andrea da Fiesole potrebbe aver lavorato come scultore tra il 1484 e il 1486, che a loro volta suggeriscono un confronto con le finestre della villa di Andrea Carafa di Santaseverina a Napoli, le cui forme più razionali ma con accenti toscani¹²³ fanno pensare ancora all'intervento di un architetto attivo nell'ambito di Antonio Marchesi ed Andrea da Fiesole. Si potrebbe individuare un intervento del settignanese anche nella cappella di S. Giacomo della Marca nella Chiesa di S. Maria la Nova a Napoli, la cui committenza del 1504 segnala l'intervento di un *mestre Antonelo florentin*¹²⁴ che, complice la composizione essenziale nelle sue forme esterne e l'accertato intervento di

Andrea Ferrucci per le sculture decorative in marmo, suggerisce ancora una volta l'intervento dell'*Ingegnere Maggiore e Primo Architetto del Regno*.



Figura 15: Il palazzo Carafa di Santaseverina.



Figura 16: Vista esterna della cappella di San Giacomo della Marca nella Chiesa di Santa Maria la Nova.

⁸³ A. Buccaro, *Influenze vinciane e martiniane sui modelli di fortificazioni urbane nel Mezzogiorno tra '400 e '500. Note dallo studio in corso*, in *History of Engineering. International Conference on History of Engineering. Atti del VII Convegno di Storia dell'Ingegneria*, Napoli, Cuzzolin, 2018, p. 191.

⁸⁴ L'appellativo “della Cava” viene riconosciuto da alcuni studiosi come un riferimento alla deflagrazione della prima mina dell'età moderna, sotto la cittadella di Castel Nuovo: come riscontrato dal registro della fabbrica del castello, del 1499, nel corso dell'evento bellico, risulta che Marchesi si sia occupato della realizzazione della galleria in cui fu sistemato l'esplosivo, detta *cava*. Cfr. R. Filangieri di Candida, *Antonio Marchesi da Settignano architetto militare del Rinascimento*, in *Rivista di artiglieria e genio*, 1931, p. 476; M. Maselli Campagna, *Marchesi, Antonio*, in *Dizionario Biografico degli Italiani*, vol. 69, Roma, Istituto della Enciclopedia Italiana, 2007; C. Rusciano, *Napoli 1484-1501. La città e le mura aragonesi*, Roma, Bonsignori, 2002, pp. 39, 108 (nota 57).

⁸⁵ Buccaro, 2018 *cit.*, p. 191.

⁸⁶ M. Maselli Campagna, *L'attività di Antonio Marchesi da Settignano nell'Italia centro-settentrionale*, Palermo, Caracol, 2012, pp. 37-38.

⁸⁷ R. Filangieri di Candida, *Antonio Marchesi da Settignano, architetto militare del Rinascimento*, in *Rivista di artiglieria e genio*, LXX, Roma, Enrico Voghera, 1931, p.475.

⁸⁸ M. Maselli Campagna, *Marchesi, Antonio*, in *Dizionario Biografico degli Italiani*, vol. 69, Roma, Istituto della Enciclopedia Italiana, 2007.

⁸⁹ Come riporta la Maselli Campagna, l'itinerario è descritto nelle *Effemeridi* di Giampietro Leostello da Volterra e citato in G. Filangieri, *Documenti per la storia, le arti e le industrie delle provincie napoletane*, I, Napoli 1883, p. 195. Cfr. Maselli Campagna, *Marchesi, Antonio, cit.*

⁹⁰ R. Filangieri di Candida, *Antonio Marchesi da Settignano, architetto militare del Rinascimento*, in *Rivista di artiglieria e genio*, LXX, Roma, Enrico Voghera, 1931, p.473.

⁹¹ A. Buccaro, *Influenze vinciane e martiniane*, cit., p. 192.

⁹² *Ivi*, pp. 195-196.

⁹³ *Ibidem*.

⁹⁴ *Ivi* p. 198.

⁹⁵ Tra cui bisogna riconoscere almeno due incontri con Leonardo: il primo, a fine Quattrocento, a Milano, mentre il secondo a Roma nel 1515-1516, come testimoniato dal *Foglietto di Belvedere*. Cfr. A. Buccaro, *Leonardo e «mag.º Antonio fiorentino». Cenni su codici vinciani perduti nel Foglietto del Belvedere dell'Archivio Pedretti*, in *ArchistoR architettura storia restauro*, anno V (2018), 10, Reggio Calabria, Università *Mediterranea* di Reggio Calabria – Laboratorio Cross, pp. 26-57, *passim*.

⁹⁶ A. Buccaro, *Influenze vinciane e martiniane*, cit., p.193.

⁹⁷ *Ibidem*.

⁹⁸ Filangieri di Candida, 1931 cit., p.476.

⁹⁹ A. Buccaro, *Influenze vinciane e martiniane*, cit., p.193.

¹⁰⁰ *Ibidem*.

¹⁰¹ *Ivi*, p. 194.

¹⁰² *Ibidem*.

¹⁰³ R. Pane, *Il Rinascimento nell'Italia meridionale*, I, Milano, Edizioni di comunità, 1975, p. 70; cfr. P. Modesti, *Le Delizie Ritrovate: Poggioreale e la villa del Rinascimento nella Napoli aragonese*, Firenze, Leo S. Olschki ed., 2014, p.2. Nella pubblicazione della Modesti viene anche presentata una ricostruzione digitale tridimensionale della villa.

¹⁰⁴ M. Visone, *Napoli aragonese e le delizie di Campovecchio*, in *La corona d'Aragona e d'Italia. Atti del XX Congresso di Storia della Corona d'Aragona*, Perugia, Stabilimento Tipografico «Pliniana», 2020, pp. 1465-1466.

¹⁰⁵ D. Jacazzi, *Il disegno del territorio napoletano nel Quattrocento*, in *Disegni e progetti di città e paesaggi fortificati*. Atti del Quinto colloquio internazionale di studi (Capua, 3-4 dicembre 2005), a cura di C. Robotti, Lecce, 2007, p. 207 e nota 15 a p. 210; Cfr. M. Visone, *Napoli aragonese*, cit., p.1466.

¹⁰⁶ Visone, *Napoli aragonese*, cit., p. 1466.

¹⁰⁷ Per approfondimenti sulle sorti della villa, v. M. Visone, *La villa di Poggio Reale. Decadenza e trasformazione dal XVI al XIX secolo*, in *Rendiconti della Accademia di Archeologia e Belle Arti*, vol. LXXVII, Napoli, Giannini, 2013, pp.79-94; *Id.*, *Poggio Reale rivisitato: preesistenze, geni e trasformazioni in età vicereale*, in E. Sánchez García, *Rinascimento Meridionale: Napoli e il Viceré Pedro de Toledo (1532-1553)*, Napoli, Tullio Pironti Editore, 2016.

¹⁰⁸ M. Visone, *Napoli aragonese*, cit., p. 1463.

¹⁰⁹ P. Modesti, *Op. cit.*, p.2.

¹¹⁰ Modesti, cit. e Visone, *La villa di Poggio Reale*, cit., *passim*.

¹¹¹ Giuliano da Maiano è l'architetto dell'edificio; cfr. Modesti, *cit., passim*, Visone, 2020 *cit.*, p. 1465.

¹¹² Pacioli definisce le proporzioni del modello inviato da Lorenzo de' Medici. Questo apporto suggerisce un'ulteriore traccia di diffusione vinciana a Napoli, oltre che nel senese e nel Fiorentino, il cui approfondimento potrebbe contribuire a consolidare il percorso che si sta delineando. Cfr. Visone, 2020 *cit.*

¹¹³ Francesco di Giorgio progetta la cucina e forse realizza uno schizzo in cui studia la trasformazione della villa in una vera e propria fortificazione. Cfr. Modesti, *Op. cit., passim*; Visone, *Napoli aragonese, cit.*, pp. 1465-1466; Rusciano, *Op. cit.*, p. 49.

¹¹⁴ Il contributo di Marchesi alla realizzazione della villa, ad oggi non definito, viene riportato nella lettera di Summonte a Michiel, del 1524. Solo la Maselli Campagna ipotizza che l'ingegnere-architetto abbia operato sui giardini della villa, in cui però Visone riferisce un intervento di Pacello da Mercogliano e l'operato di Fra' Giocondo per le acque. Cfr. Maselli Campagna, *Marchesi, Antonio, cit.*; Visone, *Napoli aragonese, cit.*

¹¹⁵ Modesti, *Op. cit.*, pp. 4-6; 9-10.

¹¹⁶ *Ivi.*

¹¹⁷ *Ibidem*, p. 7.

¹¹⁸ A. Ghisetti Giavarina, *Il Regno di Napoli*, in *Artigramma*, n. 23, Zaragoza, Dept° H^a Arte - Univ. Zaragoza, 2008, pp. 327-358.

¹¹⁹ Per approfondimenti sull'evoluzione di Palazzo Como nei secoli, Cfr. A. Ghisetti Giavarina, F. Mangone, A. Pane (a cura di), *Da Palazzo Como a Museo Filangieri. Storia, tutela e restauro di una residenza del Rinascimento a Napoli*, Napoli, Grimaldi & C., 2019.

¹²⁰ Come riconosciuto da Pane: Cfr. R. Pane, *Il Rinascimento nell'Italia meridionale*, II, Milano, Edizioni di comunità, p. 200. Nel dimostrare la propria ipotesi di attribuzione della cappella a Francesco di Giorgio, Pane indica numerosi altri tratti comuni dell'architettura del senese riconoscibili nell'opera napoletana di via dei Tribunali, come la «scansione di lesene scanalate, su basamenti fortemente sagomati [...]; l'oculo rotondo [...]; finestre rettangolari, sormontate da cornici, che si alternano alle lesene».

¹²¹ Ghisetti Giavarina, *Il Regno di Napoli, cit.*, pp. 343 sgg.

¹²² *Ivi*, p. 345; Cfr. Maselli Campagna, M., *Antonio Marchesi da Settignano e la Chiesa di S. Maria del Massaccio a Spoleto*, in *Opus. Quaderno di storia dell'architettura e restauro*, 7, Pescara, Dipartimento di Scienze, Storia dell'Architettura e Restauro, Università degli Studi «Gabriele D'Annunzio» di Chieti, 2003, pp. 217-228.; Cfr. anche Maselli Campagna, *L'attività di Antonio Marchesi da Settignano, cit.*, pp. 77-88.

¹²³ Ghisetti Giavarina, *Il Regno di Napoli, cit.*, p. 345; Cfr. G. Pane, *La villa Carafa e la storia urbanistica di Pizzofalcone*, in *Napoli nobilissima*, IV, Napoli, Arte Tipografica, 1964, pp. 140-143.

¹²⁴ Ghisetti Giavarina, *Il Regno di Napoli, cit.*, p. 346.

4. La diffusione vinciana tra Sei e Settecento nella Capitale del Mezzogiorno

Come anticipato, nel corso del XVII secolo l'ambiente culturale del Mezzogiorno incamera in maniera sempre più strutturata la lezione e il metodo vinciano in ingegneria e architettura: la trattatistica dell'epoca acquisisce sempre più carattere di una manualistica di consultazione tecnica basata sugli studi e l'esperienza degli scienziati-artisti, con numerosi contributi significativi per l'evoluzione della figura professionale e la delineazione concreta di un processo culturale tramandato fino ai giorni nostri; se fino al XVI secolo la metodologia vinciana deve confrontarsi con l'immanenza dell'approccio neoplatonico e il ruolo di primo piano del metodo deduttivo negli scritti tecnici degli ingegneri, con il Seicento si assiste a una diretta connessione con lo sperimentalismo galileiano, ponendo le basi per la fortuna della proposta induttivo-deduttiva vinciana.

4.1. Ingegneri-architetti e Architetti civili: l'evoluzione della figura professionale

Con la nomina di Antonio Marchesi da Settignano a *Ingegnere Maggiore e Primo Architetto del Regno* del 1497 nasce la figura di ingegnere di Stato nel Mezzogiorno, pur se ancora priva della distinzione tra mansioni civili e militari che si affermerà nel corso del Cinquecento. Solo a partire dalla seconda metà del XVII secolo però, si assiste al conferimento di vere e proprie *patenti*¹²⁵ di ingegnere, figura professionale attiva anche nel privato.

Va notato come durante il vicereame spagnolo, ad eccezione della costruzione o trasformazione di alcune strutture rilevanti ma isolate e alla realizzazione della linea delle torri costiere per difendersi dalle incursioni turche e saracene in età toledana, non furono attuati interventi strategici significativi nel Mezzogiorno; la situazione orografica del territorio definisce nella sua arretratezza strutturale un punto di forza a livello strategico: le coste adriatiche non avevano porti sicuri, essendo afflitte da bassi fondali soggetti a fenomeni di risacca; quelle tirreniche avevano porti di ridotte dimensioni e un ridotto

grado di infrastrutturazione e collegamento con l'entroterra. Fino alla metà del Settecento quindi l'attività degli ingegneri militari – frequentemente relegata all'applicazione di disegni e progetti *standardizzati* di tecnici spagnoli, spesso di difficile collocazione – sarà molto ridotta e perlopiù limitata al consolidamento o rinnovamento del sistema delle torri costiere e delle fortezze aventi maggior rilevanza strategica in relazione alla minaccia turca.

Il sistema dei sei ingegneri camerali afferenti al *Tribunale di fortificazione, acqua e mattonata* perdura in tutto il primo periodo borbonico fino al 1742, anno di fondazione del Corpo degli Ingegneri militari; dal 1759 inoltre, il conferimento della *patente reale* di Ingegnere si può ottenere – senza alcun diritto a uno stipendio o all'esercizio della professione di architetto – previo il superamento di un esame. Gli ingegneri-architetti non patentati in questo periodo operano principalmente in campo privato e, con mansioni specifiche, in ambito municipale o giudiziario¹²⁶; come testimoniato dai registri della Regia Camera della Sommaria, nasce la distinzione tra il *ceto degli Ingegneri Architetti* e il *ceto degli Architetti civili*, sancendo una prima divisione tra le due anime della professione attribuibile principalmente ad un'ulteriore specializzazione della figura dell'ingegnere militare. Con la fondazione nel 1754 dell'*Accademia del Corpo degli Ingegneri militari, o di fortificazione*, finalizzata alla formazione di ingegneri specializzati in materie belliche, e la relativa fusione con l'*Accademia di artiglieria* (fondata l'anno precedente), nel 1769 nasce l'*Accademia militare della Nunziatella*, caratterizzata da un grado di aggiornamento tecnico maggiore rispetto all'Università, anche grazie all'incentivazione di viaggi e scambi culturali con altri stati per studiare le più recenti correnti del genio e dell'artiglieria.

Il secolo dunque è caratterizzato da una sempre maggior specializzazione degli ingegneri militari contrapposta, ad esempio, a figure più generaliste come quella di Luigi Vanvitelli. Detta corrente è da ritenersi inevitabile, come testimonia l'istituzione nel 1777¹²⁷ della cattedra di *Architettura civile e geometria pratica* nella Facoltà di Scienze fisiche e matematiche dell'Università di Napoli, unica istituzione abilitata alla formazione di figure professionali impiegate nel campo delle opere pubbliche. In mancanza di un'Accademia di Architettura, fondata nel 1802, o di una Scuola di Ingegneria vera e propria, che nascerà solo col Decennio francese, i professionisti potevano formarsi all'Università (previo un tirocinio in uno studio professionale accreditato), nell'Accademia di Belle Arti o infine presso le scuole militari, le uniche *specialistiche*.

4.2. Le trascrizioni sei e settecentesche: sviluppi nella diffusione della lezione vinciana

Uno dei più importanti passaggi nella diffusione della lezione vinciana a Napoli e nel Mezzogiorno si inserisce in un capitolo cardinale della complessa storia della realizzazione e circolazione dei manoscritti apografi vinciani; si tratta del ricco programma scientifico-divulgativo di trascrizione sviluppatosi tra il 1637 e il 1640 tra Milano e Roma che vede come protagonista Cassiano dal Pozzo, ministro segretario del cardinale Francesco Barberini, nipote di Urbano VIII¹²⁸. A seguito dell'arrivo nella Biblioteca Ambrosiana di Milano di numerosi testi vinciani¹²⁹, l'operazione si declina nella redazione di una collazione in forma abbreviata e finalizzata alla pubblicazione delle opere vinciane in materia di pittura e nella raccolta di trascrizioni sul *meglio di Leonardo* seguendo i lavori già intrapresi per volere del frate Luigi Maria Arconati, con annessa compilazione e trascrizione in via definitiva del codice *Del moto e misura dell'acqua*, raccolta delle annotazioni vinciane in materia idraulica.

In relazione alla selezione e trascrizione degli originali vinciani, si intuisce nell'organizzazione dell'*operazione* di Cassiano dal Pozzo un vero e proprio progetto editoriale finalizzato alla pubblicazione di una selezione apografa dei manoscritti, trascritti dalla scrittura *mancina*, in una forma più chiaramente leggibile e corredati da un ricco apparato grafico, in alcuni casi più leggibile dei disegni originali. A differenza del *Trattato della Pittura* (pubblicato per la prima volta in Francia nel 1651 dal Du Fresne con disegni di Poussin) e del trattato di idraulica (pubblicato nel 1826), questo ambizioso programma non vedrà la luce fino al 2011, anno di pubblicazione della versione completa e in bella copia del testo, individuato nel *Codice Corazza*¹³⁰. Il manoscritto, giunto in possesso di Vincenzo Corazza a Roma nel 1766 e portato a Napoli sei anni dopo, vedrà un nuovo e fallimentare tentativo di pubblicazione a inizi Ottocento; il suo ruolo per la diffusione della scienza vinciana in Italia e nel Mezzogiorno è dovuto principalmente al fatto che, a seguito della sottrazione napoleonica dei manoscritti dell'ambrosiana nel 1796 – oggi custoditi nell'Institut de France ad eccezione del *Codice Atlantico* (restituito nel 1815) e di alcuni manoscritti trasportati in Inghilterra e caratterizzati da alterne vicende – e la successiva manomissione dei manoscritti operata da Guglielmo Libri nella prima metà del XIX secolo, l'apografo costituisce una testimonianza di importanza cardinale nello studio di opere ormai inaccessibili e, in seguito, nel recupero dei contenuti dei fogli perduti.

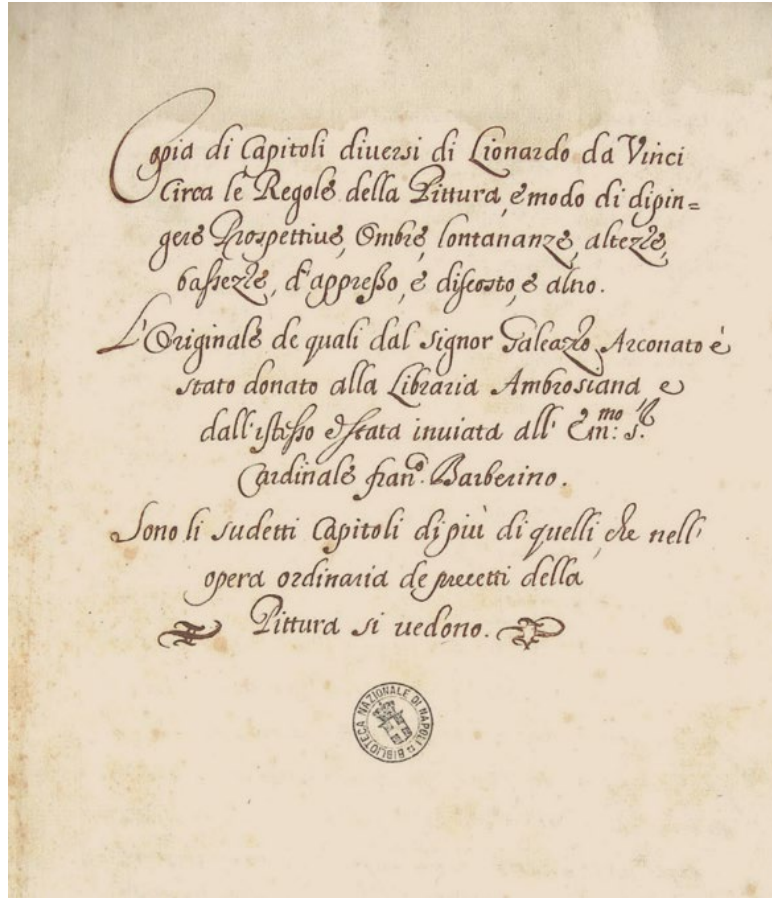


Figura 17: Frontespizio del Codice Corazza (da Buccaro, 2011).

Un successivo tentativo editoriale analogo a quello di Cassiano dal Pozzo si vedrà a Roma agli inizi del Settecento con il pittore Ludovico Antonio David, che raccoglierà materiali per un'importante pubblicazione su Leonardo avviando la trascrizione del codice di Giuseppe Ghezzi, poi acquistato nel 1717 dal conte di Leicester (si tratta del *Codice Hammer*, oggi di Bill Gates). Pur non avendo alcun seguito, dall'iniziativa giunge una copia del *Codice Leicester* al duca di Cassano a Napoli che, come descritto in seguito, costituisce un ulteriore fondamentale contributo alla diffusione vinciana nel Mezzogiorno.

È intuibile l'importanza acquisita dal *Codice Corazza* per l'eleganza formale dello scritto e la qualità grafica degli elaborati a corredo che, pur se con errori e imprecisioni, fornisce una testimonianza utile a interpretare i passaggi più oscuri degli scritti vinciani o analizzare i contenuti dei fogli asportati dai Libri e perduti. Il codice, diviso in due parti, costituisce sostanzialmente una raccolta del *miglior di Leonardo* in materia di scienza e tecnica dell'ingegneria; partendo da una prima parte a sua volta divisa in una prima sezione di *capitoli aggiunti al Libro di Pittura*¹³¹ che trattano di prospettiva e rappresentazione del paesaggio, e una seconda corrispondente alla bozza di trattato su *Ombre e lumi* (di

particolare interesse per gli studiosi in epoca napoleonica e costituito da una selezione di fogli dei Mss. A, C e del *Codice Atlantico*), il codice riporta numerosi dei precetti vinciani in materia rappresentativa, vedendo dedicata anche la seconda metà della seconda parte a dette materie. Di particolare rilievo per la presente trattazione è la prima metà della seconda parte del testo, dedicata a un corpus¹³² di macchine, opere idrauliche, progetti e osservazioni in materia di ingegneria militare, edile, portuale e meccanica riconoscibili in annotazioni vinciane databili tra l'ultimo decennio del Quattrocento e gli inizi del Cinquecento, ovvero negli anni di piena maturazione dello scienziato-artista. In questa specifica sezione si osserva un tentativo di compilazione di una raccolta di esempi di ricerca vinciana attraverso applicazioni sperimentali attinenti a diversi ambiti di ingegneria, con una selezione degli studi più significativi di Leonardo¹³³, con un ricco apparato grafico – eredità dell'innovativo uso che lo scienziato-artista fa del disegno come strumento scientifico e divulgativo – di macchine, ingranaggi, leve e studi preliminari sull'attrito e l'usura dei pezzi meccanici. In queste stesse pagine si trovano anche fondamentali studi di statica e scienza delle costruzioni, con studi sulla realizzazione e la resistenza di archi, principi di statica degli edifici fondati su uno studio dei baricentri, numerose analisi di travi in differenti condizioni di vincolo e di carico, in cui si osservano calcoli di rigidità, inflessioni, resistenze meccaniche, attraverso l'applicazione di un metodo induttivo di confronto tra elementi simili ma caratterizzati da dimensioni e materiali differenti in luogo della teoria dell'elasticità, a lui ignota. Leonardo fonda la disciplina su un approccio quantitativo alle forze della natura (riscontrabile ad esempio in un sistema a bilancia per la misura in peso della forza spingente dell'acqua in caduta raffigurato nel *Codice Atlantico*¹³⁴) che segna un primo tentativo di superamento dell'empirismo nella realizzazione di elementi macchinali, aprendo la strada a una dimensione progettuale e calcolata delle opere ingegneristiche.

La terza parte del codice, intitolata *De moto e forza*, deriva con tutta evidenza dal *Manoscritto F* e può essere considerata come una prima bozza del *Trattato di Meccanica* che Leonardo si prefigurava di completare in Francia nei suoi ultimi anni di attività. Sono presenti studi di cinematica e di leve di prima, seconda e terza specie, testimonianza di un vivo interesse nella trasformazione *a vantaggio* dei movimenti. Tenta di definire la legge di accelerazione del moto di caduta di un grave, trae la condizione di equilibrio di un corpo su un piano inclinato ed effettua delle applicazioni del Principio dei Lavori

Virtuali... Una volta definiti i precetti, Leonardo tende a mostrarne direttamente le applicazioni – quasi sempre perfette – mancando di dimostrazioni analitiche; attraverso queste comprende il concetto di momento e definisce alcune applicazioni particolari del Teorema del Varignon, che sarà codificato solo nel 1682; identifica un metodo numerico di composizione e divisione in componenti di forze; applica e innova la teoria archimedeica sui centri di gravità delle figure piane; riconosce il ruolo del baricentro nel moto dei corpi, formulando il principio statico del poligono di sustentazione (applicazione particolare del nocciolo centrale d'inerzia, relativa alla posizione del baricentro di un corpo in relazione alla propria proiezione a terra)... Seguono studi del moto dei fluidi e di quello dei gravi immersi in essi, ovvero di aerodinamica (particolarmente in relazione al volo degli uccelli) e idrodinamica; di termologia; di scienze naturali e della Terra¹³⁵, con conclusioni particolarmente innovative in astronomia; di geometria, disciplina d'elezione per Leonardo nell'indagine dei fenomeni naturali e delle applicazioni ingegneristiche come già descritto in precedenza. L'ultima parte del manoscritto rappresenta una collazione di applicazioni teoriche e pratiche di scienza e ingegneria idraulica, seguendo l'intento vinciano di realizzazione di un *Libro dell'acque*¹³⁶ ma significativamente meno corposo dell'apografo di Arconati (di cui è custodita una trascrizione di Vincenzo Corazza nella Biblioteca Nazionale di Napoli), in cui sono presenti indicazioni sulla stabilità di ponti fluviali, meccanismi di sollevamento e regimentazione delle acque, teorie sul moto vorticoso e delle correnti.

Tra i protagonisti dell'iniziativa di compilazione degli apografi vinciani nel Seicento figurano quindi i nove volumi *Del moto e misura dell'acqua*¹³⁷, realizzati entro il 1643 da frate Luigi Maria Arconati, figlio del conte Galeazzo che fu autore della donazione alla Biblioteca Ambrosiana di Milano del *Codice Atlantico* e degli undici *taccuini* oggi identificati nei *Manoscritti A-M* e che nel 1633, in vista della donazione, inizia un'attività di trascrizione dei codici della propria biblioteca, colta da Cassiano dal Pozzo come occasione per estendere il programma nelle già dette direzioni alla luce dei rapporti e dei favori che il conte intendeva chiedere al cardinale Barberini. In quest'occasione nasce l'intenzione nel ministro segretario di realizzare un'edizione a stampa del *Trattato della Pittura* – da compilarci confrontando le diverse edizioni abbreviate in circolazione all'epoca, non essendo ancora nota l'opera completa realizzata da Melzi – e del trattato di idraulica, oltre che della raccolta confluita nel *Codice Corazza*.

Attraverso la propria opera di trascrizione dei precetti vinciani in materia idraulica, principalmente tratti dai manoscritti A, B, C, E, F (che compone gran parte del testo), G, H, I e dal *Codice Atlantico*, si intuisce un tentativo dell'Arconati di compilare un apografo esaustivo sulla disciplina – sulla scia dell'intenzione palesata dallo stesso Leonardo nel *Manoscritto A*¹³⁸ e ancora viva durante il suo soggiorno francese, come testimoniato nel diario di Antonio de Beatis – integrando molti dei passi mancanti nell'antologia più a carattere *generalista* che compone il *Codice Corazza*. Oltre a precetti di base relativi alle condizioni di quiete e di moto di acqua e aria, il rapporto tra le fasi, le proprietà di sorgenti e fiumi e delle relative correnti, figurano trascrizioni di materia più propriamente ingegneristica come il precetto dal tema *A far che un ponte non ruini*¹³⁹, qui riportato:

Se il fiume per l'ordinario occupa la larghezza di un arco, fa che il ponte habbia tre archi, e questo faccio per caggione delle piene e dell'inondationi.

Sono inoltre presenti numerose annotazioni sulle metodologie di canalizzazione e di sollevamento delle acque e su macchine aventi l'obiettivo di produrre un moto perpetuo attraverso l'acqua¹⁴⁰. L'ultimo libro dell'apografo è costituito da una raccolta di disegni di macchine idrauliche (mulini, pompe, mantici) tratte dai Mss. B, E, F e dal *Codice Atlantico*, non presenti negli altri apografi del periodo; sono rappresentate macchine per lo svuotamento di argini, indicazioni sulla posa in opera di palificate e altre istruzioni vinciane inerenti al governo del territorio dal punto di vista della regimentazione delle acque. Nel corso del testo si riscontrano inoltre diversi contributi dell'Arconati nello svolgimento di dimostrazioni appena accennate negli scritti di Leonardo o in una più chiara rielaborazione dei disegni, sottolineando ad esempio le linee direttrici dell'energia e del moto dell'acqua.

Il trattato, consegnato da Cassiano dal Pozzo entro il 1643, rimarrà nella biblioteca Barberini per oltre un secolo, ovvero fino alla realizzazione di una trascrizione¹⁴¹ da parte dell'abate bolognese Vincenzo Corazza, ulteriore testimonianza dell'impeto di diffusione degli studi vinciani nelle applicazioni ingegneristiche e nell'evoluzione della tecnica, particolarmente nel Mezzogiorno. A questa seguiranno altri studi, tra cui si segnala: il lavoro di inizi Ottocento di Giovan Battista Venturi¹⁴² inserito all'interno della sua campagna di analisi dei manoscritti di Francia; la prima pubblicazione del trattato, realizzata dal Cardinali nel 1826¹⁴³ e quella, realizzata quasi un secolo più tardi, curata da Carusi e

Favaro per Zanichelli¹⁴⁴, in cui viene individuata la trascrizione di Corazza, custodita nella Biblioteca Nazionale di Napoli, ma non ne viene riconosciuta la paternità, dimostrando come i fondamentali contributi dello studioso bolognese in materia vinciana – con particolare riferimento ad un suo *vocabolario vinciano*¹⁴⁵ – fossero ignoti nello scenario culturale italiano dopo appena un secolo.

Come accennato, oltre ai citati documenti nella biblioteca del duca Piccolomini d'Amalfi o di proprietà del Pinelli, un'altra importante testimonianza della diffusione della lezione vinciana a Napoli è riscontrabile in un apografo del *Codice Leicester* redatto nel 1717 a Roma, all'atto dell'acquisto dell'originale da parte del conte di Leicester, giunto secondo un percorso ancora ignoto nella biblioteca del duca Serra di Cassano durante il vicereame austriaco e consultato dai tanti studiosi che hanno frequentato il palazzo, salotto filosofico di prim'ordine a Napoli fino alla rivoluzione del 1799. In particolare, il codice dev'essere stato noto all'abate bolognese Vincenzo Corazza, in contatto con gli intellettuali napoletani poi giustiziati durante la rivoluzione di fine secolo, essendo sicuramente interessato ai precetti di idraulica presenti nel testo, raffrontabili con l'apografo in suo possesso e con la trascrizione dell'opera di Arconati. I contenuti del codice, incentrati su varie tematiche scientifiche e di ingegneria idraulica, rappresentano un ulteriore contributo al già intenso dibattito culturale in atto a Napoli che, complice la nascita di numerose accademie e circoli culturali, giungerà a un elevato prestigio alla metà del secolo. Il manoscritto è oggi conservato nella Biblioteca dello Schlossmuseum di Weimar, essendo stato acquistato su consiglio di Wolfgang von Goethe¹⁴⁶.

Agli studi legati all'ambito delle scienze pure vanno associati in questo periodo quelli delle scienze applicate, particolarmente nel campo della teoria della rappresentazione, promossi anche dall'attività dell'Università e delle accademie. In un clima di particolare attività artistica, che vede l'operato di alcuni dei principali esponenti napoletani, tra cui Francesco Solimena, Domenico Antonio Vaccaro e Ferdinando Sanfelice, si diffondono le nuove tecniche del disegno basate sulla geometria non euclidea e sulle rappresentazioni *trompe l'oeil*; sulla base di queste nuove spinte culturali, proprio a Napoli si registra la prima edizione italiana del *Trattato della Pittura*¹⁴⁷ nel 1733, quasi un secolo dopo quella francese. L'opera, curata da Niccolò Parrino¹⁴⁸, è dedicata a *Monsignore Ercole d'Aragona de' principi di Cassano*, ulteriore segnale del rilievo culturale della famiglia; pur essendo identica all'*editio princeps* nell'impianto e nei contenuti, l'edizione si distingue per la

qualità dell'apparato grafico e per l'aggiunta delle *Osservazioni di Niccolò Pussino sopra la pittura*, pubblicate a Roma nel 1672¹⁴⁹. Nella premessa si legge come l'editore si ponga in perfetta continuità con l'intento divulgativo alla base della pubblicazione del 1651:

Tra le molte opere, che di se lasciaron Lionardo da Vinci, e Leon Battista Alberti, le migliori senza dubbio quelle sono da reputarsi, le quali intorno alla Pittura composero. Ed infatti essendo queste verso la metà del passato XVII secolo a Parigi pervenute; non solamente dal nostro italiano idioma, in cui erano state da costoro scritte, nel Francese traslate, pubblicolle il Sig. di Ciambre [sic]; ma non molto dappoi usciron pur anche ivi alla luce secondo gli originali manoscritti de' chiarissimi dotti autori; e'l diligentissimo Raffaelle Trichet du Fresne, che n'ebbe la cura, l'estimò tali, che al glorioso immortal Nome di Cristina Alessandra Reina di Svezia dedicolle. Or queste Opere stesse veggendo io già rarissime divenute, e da' Letterati tutti, nonché da' Professori di sì vaga e nobile Arte liberale, assai desiderose e richieste; determinai perciò di ristamparle.



Figura 18: Frontespizio della prima edizione italiana del *Trattato della Pittura*, del 1733 (da Buccaro, 2011).

L'operazione è dunque pienamente inserita nel programma editoriale animato proprio da Domenico Antonio Parrino a fine Seicento¹⁵⁰, ulteriore tassello nell'ormai radicata corrente di continuo aggiornamento scientifico e di divulgazione della Napoli del XVII – XVIII secolo.

Nella seconda metà del Settecento, complice l'eco culturale dovuta alla pubblicazione del *Trattato della Pittura*, sarà proprio da Napoli che si originerà la diffusione del pensiero vinciano nell'Italia del Secolo dei Lumi, soprattutto grazie all'operato di Vincenzo Corazza.

4.3. Matteo Zaccolini, prospettivista vinciano e «consiliarius aedificorum» a Napoli

Tra i collaboratori di Cassiano dal Pozzo figura il padre teatino cesenate Matteo Zaccolini, architetto e pittore *prospettivista*¹⁵¹. Esperto leonardista, è maestro di Poussin e del Domenichino ed autore tra il 1618 e il 1622 di un importante trattato in quattro tomi¹⁵², scomparso¹⁵³ ma pervenuto tramite una copia risultante dall'operazione di trascrizione di Cassiano dal Pozzo, attualmente custodita nella Biblioteca Laurenziana di Firenze¹⁵⁴, di cui si hanno notizie tramite il *Codice di Montpellier*¹⁵⁵ (che include anche una biografia del cesenate) che può aver ispirato il ministro segretario del cardinale Barberini nella realizzazione del progetto editoriale del *Trattato della Pittura*.

Oltre alle opere di pittura e architettura realizzate per l'ordine teatino tra Milano e Roma, si è ormai certi di un'attività di Zaccolini anche a Napoli, particolarmente nella Chiesa dei SS. Apostoli e in Santa Maria degli Angeli a Pizzofalcone, e a Sorrento, tra cui si segnala l'attività nella Chiesa delle Monache della Sapienza, tra il 1618¹⁵⁶ e il 1623¹⁵⁷. Alla luce di recenti studi¹⁵⁸, risulta addirittura che Zaccolini fosse già a Napoli tra il 1609 e il 1610 in un primo periodo di attività pittorica, con commissioni imprecisate. Attraverso questa nuova informazione sono state meglio definite le dinamiche che legano il teatino alle fabbriche napoletane; cruciale per meglio inquadrare la permanenza del cesenate a Napoli nel secondo decennio del Seicento è la Chiesa dei Santi Apostoli, iniziata nel 1600 su disegno di Francesco Grimaldi e inaugurata nel 1610, in cui si registra l'inizio del periodo di decorazione pittorica solo a partire dal 1615 a causa di una sospensione dei lavori, ripresi concretamente a seguito di una generosa donazione nel 1617 da Donna Isabella Carafa¹⁵⁹. È proprio questo finanziamento a determinare la richiesta di un nuovo trasferimento a

Napoli del teatino, coinvolto in sostituzione di Caravaggio¹⁶⁰ nella decorazione della futura sacrestia. Risulta inoltre assai probabile la collaborazione di Zaccolini alle diverse opere pittoriche nel napoletano ad opera di Giuseppe Agellio negli stessi anni, tra cui forse la pittura del catino absidale della basilica di Sant'Antonino a Sorrento¹⁶¹.

Pedretti, tra i primi a segnalare l'attività del teatino – avendo individuato i codici della Laurenziana nel 1973 ed avendone proposto l'attuale ordine di segnatura, differente da quanto citato nel *Codice di Montpellier* – e ad incitare studi sul suo ruolo nella diffusione della lezione vinciana in materia di prospettiva, scrive¹⁶²:

Attivo a Roma fra il Cinque e il Seicento, Zaccolini compì estesi studi sul Trattato di Leonardo come pure sulle teorie delle ombre e del colore per le quali sembra si fosse potuto servire di manoscritti originali di Leonardo. Per lo meno si sa dalle fonti che la sua passione per lo studio di Leonardo fu tale da indurlo a imparare a scrivere a rovescio. I suoi manoscritti, conosciuti e ammirati dai contemporanei, in particolare dal Poussin, sono rimasti per secoli sconosciuti, e solo di recente sono stati ritrovati nella Biblioteca Laurenziana di Firenze fra i codici del Fondo Ashburnham, e quindi fra le opere che insieme ad altri materiali raccolti da Guglielmo Libri provenivano dalla celebre biblioteca del Cardinale Albani a Roma.

Come ricorda lo stesso dal Pozzo nella prima biografia dedicata al cesenate, negli stessi anni in cui Zaccolini lavora al proprio trattato, i prepositi locali continuano ad affidargli incarichi nei centri più influenti dell'ordine teatino in virtù della sua preparazione matematico-geometrica finemente applicata alla raffigurazione di architetture in prospettiva, anche su supporti di forma complessa come volte e cupole: il trasferimento nel viceregno in qualità di *consiliarius aedificorum*¹⁶³ oltre che decoratore e pittore di prospettiva va dunque interpretato come iniziativa “politica”, conseguenza della grande espansione dell'Ordine di inizi Seicento, in cui si richiede l'intervento dei maggiori esponenti teatini nell'insediamento considerato *più forte e più influente*¹⁶⁴ nella penisola. Proprio a causa dell'abilità dimostrata nel suo periodo di attività a Roma infatti, Zaccolini viene trasferito a Napoli dove, come testimonia dal Pozzo:

S'applicò a operare per serv(iti)o di diverse Chiese cose attinenti ad Architettura, havendo in essa mostrato d'haver così buongusto come nella Pittura ord(inari)a e Prospettiva, et il med(esim)o in una succinta nota di più cose da esso fatte, fa

*racconto d'haver particolarment(e) in Napoli servito di disegni e modelli in più Chiese, come quella degli Agli [Angeli], per le Monache della Sapientia a Sorrento, et altri luoghi, havendo anco messo a stucchi, fontane e divers'altre gentilezze, ed ornamenti...*¹⁶⁵

Non restano tracce, purtroppo, delle opere più acclamate di Zaccolini nel Mezzogiorno; nel caso della Chiesa dei Santi Apostoli, ad esempio, il sisma del 1688 e il conseguente intervento architettonico settecentesco aggiunto ad una successiva trasformazione dell'impianto, divenuto caserma nel periodo napoleonico e oggi in parte dedicato a liceo artistico, hanno sancito la cancellazione degli affreschi del refettorio, di cui abbiamo solo testimonianze indirette.

Per meglio comprendere il contributo di Zaccolini nella storia del disegno, particolarmente in relazione alla prospettiva, e nella diffusione delle teorie vinciane in materia, si rivela necessario definire il contesto entro cui dette teorie sono maturate. È noto come la rappresentazione prospettica, diffusa dalle applicazioni di Brunelleschi e di Alberti, si evolva ad Urbino grazie agli studi di Piero della Francesca e Francesco di Giorgio Martini per poi diffondersi a Milano attraverso gli studi di frate Luca Pacioli, che per primo realizza una sistematizzazione in materia di geometria e di architettura¹⁶⁶ nelle proprie opere, dalla *Summa de arithmetica* (1494) al *De divina proportione* (1509) di cui Leonardo, come si è detto, elaborò le tavole illustrative: è proprio quest'esperienza a definire la maturazione nello scienziato-artista dei suoi numerosi precetti in materia.

Riprendendo Vitruvio e l'Alberti, Pacioli fonda la costruzione prospettica sulle discipline matematiche, derivando dai concetti di proporzione e di armonia e dal confronto tra i rapporti delle armonie musicali e quelli delle parti di un'opera di architettura le basi entro cui inquadrare la tecnica prospettica come metodo ottico di misurazione degli edifici, in continuità con la tradizione abachistica di origine araba, prescindendo da calcoli trigonometrici e fondando il metodo sull'intersezione tra il cono ottico e il quadro e la distanza dell'osservatore dal quadro stesso, perfezionando il metodo. Dai noti contatti di Leonardo col matematico, lo scienziato-artista apprende le basi matematiche e coltiva il proprio interesse per la geometria, perfezionando al contempo il proprio metodo della prospettiva, definendone i vari tipi e principi e applicandolo anche alla rappresentazione della figura umana¹⁶⁷. Detto metodo si fonda sull'intersezione di tre diverse prospettive¹⁶⁸:

- Prospettiva *Lineale*: coincide con la prospettiva geometrica, fondata sul punto di vista, il quadro prospettico e il cono ottico;
- Prospettiva *de' colori*: novità teorica basata sulla variazione cromatica degli elementi in funzione della distanza dall'osservatore;
- Prospettiva *aerea*: si basa sulle perdite cromatiche degli elementi in lontananza dovute all'impatto colorimetrico dell'atmosfera.

Il contributo vinciano alla delineazione di questa nuova scienza della prospettiva sarà sintetizzato nell'epitaffio composto dal Vasari nel 1550:

*Perspicuas picturae umbras oleoque colores illius ante alios docta manu posuit.*¹⁶⁹

Viene infatti definita per la prima volta una prospettiva non rigidamente geometrica, strumentale alle esigenze di rappresentazione dei fenomeni naturali espresse dalla pittura *scientifica* di Leonardo.

Tornando a Zaccolini, i due volumi del trattato dedicati ai Colori, realizzati in una stesura omogenea e pronta per la stampa, sono stati oggetto di diversi studi, particolarmente di Janis C. Bell. Gli altri due tomi, tramandatici in forma non definitiva, trattano rispettivamente di principi di prospettiva lineare e aerea direttamente derivati da Leonardo – il che lascia intuire che Zaccolini possa essere entrato direttamente in contatto con originali vinciani sin dai primi anni del Seicento, potendo definire un diretto riscontro tra i contenuti del tomo e i contenuti dei manoscritti di Parigi, del *Codice Atlantico* e del *Libro di Pittura* di Melzi (realizzato intorno al 1540) – e di riflessioni da confrontare con le sezioni dedicate ad *Ombre e Lumi* dei Mss. A e C di Francia e con il *Codice Atlantico*, potendo forse definire anche tracce del perduto *Libro W* di Melzi, che il teatino potrebbe aver consultato a Roma dove pure era presente il *Codice Leicester* sin dal 1590 e altri apografi che certamente circolavano nell'ambiente culturale romano a fine XVI secolo¹⁷⁰.

I volumi attualmente custoditi in Laurenziana, dunque, derivano dagli originali zaccoliniani, presumibilmente redatti in scrittura rovescia (come riscontrabile nella copia effettuata dal cesenate della *Sphera Mundi* di Giovanni di Sacrobosco, oggi custodita nella Biblioteca Nazionale di Napoli e probabilmente proveniente dalla Biblioteca Albani¹⁷¹).



Figura 19: Studi di ombre nel Codice Zaccoloni (da Baglioni, Fasolo, Mancini, 2019).

L'attività di Zaccoloni si svolge prima a Cesena sotto il prospettivista Scipione Chiamamonte, poi a Roma in Santa Susanna con Baldassarre Croce, in cui inizia un periodo di attività che lo vede impegnato anche in vasti cicli di affreschi in Sant'Andrea della Valle e in San Silvestro e in cui si osserva la piena adesione del teatino alla corrente *quadraturista*, incentrata sulla realizzazione di sfondi architettonici con giochi illusionistici e finte prospettive, ombre e luci, con un'interpretazione scientifica della pittura che riprende pienamente il lavoro teorico vinciano¹⁷². Pur avendone perso le opere, si è certi che a Napoli Zaccoloni lavora a progetti di nuove chiese e conventi teatini, tra cui si registra il progetto del tabernacolo della Chiesa dei SS. Apostoli, nel cui refettorio ha anche realizzato affreschi *prospettici* che devono aver ispirato l'affresco di Viviano Codazzi presente sulla controfacciata; confrontando gli anni dell'attività napoletana con quelli di redazione dei codici – tra cui si segnala l'indicazione «Napoli 1622» a conclusione del tomo della *Prospettiva del Colore* – e la frequentazione del teatino con Giovan Battista Della Porta, come evidente dalla sua influenza sugli studi di ottica e di scienze naturali, oltre che forse con Colantonio Stigliola, si evince che un approfondimento dei periodi napoletani del cesenate potrebbe contribuire a definire un ulteriore punto di contatto tra l'ambiente

culturale e tecnico napoletano con il metodo vinciano in una branca della scienza che si rivela caratterizzante per la formazione degli ingegneri-architetti napoletani sin da metà secolo. A seguito del periodo napoletano, il teatino torna brevemente in Sant'Andrea della Valle per poi rientrare dopo appena tre mesi nel convento di Monte Cavallo, dove si spegne nel 1630¹⁷³.

4.4. Tracce vinciane nella Biblioteca Nazionale di Napoli: il fondo Corazza

Nato nel 1722 a Bologna, Vincenzo Corazza è stato un importante intellettuale, letterato e bibliofilo, critico d'arte e architettura¹⁷⁴. Di famiglia agiata, vedrà al crescere del proprio successo nello scenario culturale della penisola un progressivo peggioramento delle proprie condizioni economiche e di salute, come testimoniano gli anni di permanenza a Napoli, a servizio dei Borbone. Membro dell'Arcadia e dell'Accademia Clementina, è amico di Giuseppe Parini, Ippolito Pindemonte e Carlo Bianconi, architetto e pittore bolognese che ispirerà numerose iniziative dello studioso, incoraggiandolo particolarmente, insieme ad Angelo Comolli, negli studi su Leonardo; a questi vanno aggiunti Anton Raphael Mengs, grande pittore e teorico del neoclassicismo, e l'architetto Giacomo Quarenghi per l'importante ruolo nella maturazione critica del bolognese. Dopo una vita passata tra Bologna e Roma, nel 1772 l'abate bolognese viene chiamato a Napoli dal cardinale Orsini in qualità di istitutore del duca Domenico Orsini di Gravina; in questa occasione lo studioso entra per la prima volta in contatto con l'ambiente culturale napoletano, di cui però intuisce presto la condizione stagnante: sin dal 1776 infatti Corazza tenta di elevare la propria posizione arrivando a chiedere, senza successo, tramite l'amico arcade Francesco Zacchioli – che lo aveva incitato a ricoprire il ruolo di segretario dell'Accademia di Brera, ricoperto poi dal Bianconi nel 1778 – un posto alla corte del Granduca di Toscana in cambio dei propri testi vinciani.

Nonostante l'incremento della propria fortuna culturale, Corazza si ritrova in pessime condizioni economiche e vedovo; si impegna per integrare il proprio esiguo stipendio di istitutore occupandosi, tra le varie mansioni, della compravendita di libri per conto di terzi. A partire dal 1784, l'incarico di istitutore del Principe Ereditario Francesco e delle Reali Principesse porta un barlume di speranza di elevazione della propria condizione economica: si occuperà dell'insegnamento di Storia, Geografia, Aritmetica e Italiano fino

alla morte, animato dal fervore illuministico e da un'elevata fiducia nei sovrani come promotori delle istanze dei Filangieri o degli altri intellettuali meridionali seppure, dopo appena due anni, a causa dell'esiguo compenso (soprattutto se riferito ai quindici familiari a carico) e l'obbligo di seguire i Reali tra Napoli, Portici e Caserta, comincia a soffrirne al punto da lamentarsi col figlio Sebastiano (a sua volta in cerca di lavoro a Roma. La sua figura nella comunità accademica italiana intanto cresce a dismisura, nella propria città natale mantiene un ruolo di primo piano. Gli ultimi anni del secolo vedono un Corazza che non è riuscito a superare il proprio disagio malgrado l'incarico come istitutore del futuro re, disilluso verso la corona e in un clima di crescenti tensioni che lo porterà a pensare, agli inizi del 1799, pur essendo malato e pieno di debiti, ad un ritorno a Bologna. Corazza morirà a settembre dello stesso anno nel Palazzo Reale di Portici, non riuscendo a realizzare il proprio progetto e lasciando gli eredi in condizioni misere; il figlio Sebastiano si vedrà costretto alla vendita dei manoscritti del padre, riuscendovi solo attraverso una *donazione* al principe ereditario condizionata da una rendita mensile, nel 1802.

Per meglio contestualizzare il contributo corazziano alla diffusione dell'approccio scientifico-artistico illuminista e del leonardismo a Napoli occorre precisare che, fino al periodo napoleonico, gli ambienti di maggior circolazione culturale sono le accademie e i circoli dell'*élite* culturale che, complici iniziative come quella di *purificazione linguistica* animata dalla Crusca, non consentiranno alcuna disseminazione degli importanti contributi filosofici e scientifici del periodo fuori da una ridotta cerchia di studiosi; a fronte del processo di maturazione del metodo vinciano iniziato qualche secolo prima non corrispondono dunque strumenti per incidere nella realtà sociale più ampia. Difatti solo a partire dal 1753, con la denuncia di Genovesi sull'operato delle accademie e dei circoli culturali napoletani, viene evidenziato come l'elitismo culturale contrasti con gli ideali sociali illuministici, contrapponendo agli ideali classicheggianti dell'ambiente culturale dell'epoca la lezione di Machiavelli o di Leonardo e indicando come il modello offerto dal Cinquecento toscano potesse definire la riproposizione di un metodo di indagine e di diffusione fondato sulle evidenze pratiche e sulle *ragioni delle cose*, risultando dunque più accessibile.

Gli studi di Corazza mostrano come alla fine del secolo il metodo così delineato si sia diffuso compiutamente nell'ambiente illuministico del Mezzogiorno; gli esiti della rivoluzione di fine secolo però non consentirono la traduzione della nuova corrente in un

linguaggio popolare, scevro da barocchismi e speculazioni intellettuali¹⁷⁵. In ogni caso, si osserva come, nello scenario culturale nella Napoli di fine Settecento, il riferimento scientifico e artistico rinascimentale *par excellence* sia, ancora una volta, Leonardo.

La poliedrica attività culturale di Corazza nella capitale borbonica desta interesse nella presente trattazione in relazione ai propri contributi di critica artistica e architettonica; nella sua prima *Orazione delle Belle Arti*, pronunciata nel 1757 e rivolta agli allievi dell'Accademia Clementina di Bologna, Corazza sottolinea come tutte le arti si fondino sul disegno, mezzo di indagine e conoscenza sempre più avanzato e scientifico (in questo si legge una posizione critica che segnerà la successiva attività dell'intellettuale); parallelamente in essa si introducono principi propri dell'estetica architettonica neoclassica vicina a Winckelmann (dalla quale si distaccherà nel tempo): una bellezza legata alla *somma semplicità de' rapporti*, al mito delle origini dell'architettura e a quello della *nobile semplicità* dell'architettura antica. Tra il 1753 e il 1755 a Bologna lo studioso conosce Algarotti, fondatore dell'Accademia degli Indomiti e promotore, insieme a Bianconi e Mauro Tesi, di «*un programma di rinnovamento culturale che, passando attraverso la riproposizione della tradizione cinquecentesca locale e dei grandi modelli classici da Vitruvio a Palladio, giunge a indicare il modello progettuale ideale nelle esperienze inglesi di Inigo Jones e degli Adam*»¹⁷⁶. Noti i contatti di Corazza con Bianconi, con tutta evidenza va ascritta a questo periodo la nascita di un interesse verso la critica neocinquecentista e l'ammirazione verso Leonardo e Palladio.

A seguito di un intenso periodo di scambi culturali e alla vigilia della partenza definitiva dalla città felsinea, nel 1769 Corazza enuncia la propria ultima *Orazione* tornando sui temi della prima e sottolineando, ancora una volta, il ruolo chiave del disegno nella comprensione delle opere d'arte, architettura e ingegneria. Proprio come per Leonardo, il disegno viene impiegato come strumento di ideazione e divulgazione oltre che di rappresentazione e di conoscenza.

I pur importanti contributi di Corazza sul pensiero artistico e sulla critica architettonica italiana sono in larga parte dovuti a suoi testi incompiuti o mai pubblicati; tra questi figura l'incarico affidatogli prima del 1770 riguardante l'edizione livornese dell'*Encyclopédie* di Diderot e D'Alembert, in cui gli viene chiesto di definire la voce su Leonardo da Vinci¹⁷⁷. Oltre a sottolineare la caratura culturale dello studioso, questo passaggio testimonia il

riconoscimento di Corazza come uno dei più autorevoli esperti di materie vinciane del Settecento nello scenario culturale dell'epoca; la lettera con cui lo studioso viene invitato a redigere la definizione suddetta, infatti, auspica la pubblicazione di un testo monografico vinciano *in fieri* dello stesso Corazza che, come per il contributo nell'enciclopedia, non vedrà luce.

Si può leggere un'ulteriore importante pagina dell'influenza di Corazza sulla diffusione del pensiero scientifico nello scenario culturale meridionale e sulla lezione vinciana in Italia nel suo ruolo nella compilazione della *Bibliografia storico-critica dell'architettura civile* di Angelo Comolli¹⁷⁸, tra il 1788 e il 1792. In essa infatti Comolli richiama più volte l'influenza di Corazza, particolarmente riscontrabile nell'individuazione dei principali trattatisti napoletani¹⁷⁹ degli anni '70 e '80 del Settecento e del loro ruolo nel dibattito teorico sull'architettura oltre che in una sezione di venti pagine dedicata a Leonardo, in cui si auspica un approfondimento della figura di Leonardo ingegnere-architetto alla luce degli studi in corso all'epoca (animati anche dalla prima edizione italiana del *Trattato della Pittura*, pubblicata nel 1733 a Napoli sulla base dell'edizione francese del Du Fresne, pubblicata nel 1651). Anche l'opera di Comolli, completata nella sua prima parte, non sarà pubblicata a causa della prematura morte dell'autore.

Nel 1798 Corazza compone un documento che avrebbe avuto cardinale importanza negli studi vinciani in caso di pubblicazione: si tratta dei *Termini d'arte nelli scritti di Lionardo da Vinci ed altri* – pubblicati solo nel 2011¹⁸⁰ – testimonianza di un elevato grado di approfondimento nelle tecniche e nelle *regole dell'arte* del Rinascimento oltre che di un attento studio degli scritti vinciani. Si tratta di un primo *vocabolario vinciano*, che raccoglie tutti i termini leonardeschi di più difficile interpretazione raffrontati a definizioni date dall'Accademia della Crusca o desunte dalle opere del Vasari o del Cellini che trattano di Leonardo. Come notato in più occasioni da Carlo Vecce, il lessico vinciano – perlopiù di marca toscana – è infatti ricco di inflessioni lombarde e si sviluppa nel tempo con ulteriori declinazioni dialettali locali conseguenti ai propri itinerari, figurando negli ultimi scritti anche espressioni di derivazione francese. Difatti, ad eccezione di elementari studi del latino finalizzati esclusivamente a una miglior comprensione dei testi classici, Leonardo inizia un percorso di strutturazione del proprio lessico solo a partire dal 1487, anno cui si riferisce l'inizio della composizione del *Ms. B* e del *Codice Trivulziano* e coincidente con la nascita

nello scienziato-artista dell'intento di diventare divulgatore più che tecnologo: in questo periodo la sua biblioteca si arricchisce di opere scientifiche e letterarie.

L'impegno di Corazza nel dibattito in materia artistica ed estetica si riflette in un interesse verso l'architettura (particolarmente quella rinascimentale, di cui auspica una rifioritura) che lo vedrà intrattenere rapporti con diversi architetti attivi in Italia e in Europa, primo tra tutti l'amico Quarenghi. Un primo importante contributo filologico in materia di architettura si ritrova nell'attribuzione a Francesco di Giorgio Martini del *Trattato di architettura civile e militare* oggi conservato alla Biblioteca comunale di Siena¹⁸¹, anteriore al già citato *Codice Magliabechiano*; a ciò si aggiungono le prime segnalazioni di Corazza circa la presenza di altre due copie del codice senese a Venezia e a Firenze¹⁸². Nei suoi studi sull'architettura rinascimentale emerge un interesse per le opere architettoniche napoletane, particolarmente quelle ascrivibili al periodo aragonese; in una sua lettera del 1771 indirizzata al principe Domenico Orsini e scritta al ritorno di Corazza a Roma dopo una prima visita nella capitale borbonica, ad esempio, si legge:

*Io vorrei che fusse meglio conosciuto un Palazzino di campagna a Poggio Reale di Napoli fatto fabbricare da que' Re quarant'anni forse prima che Leon Battista Alberti morisse: è bello per se medesimo, ma è assolutamente meraviglioso per la gentilezza de' profili delle cornici, e per le colonne che circondano l'intero cortile, le quali tutto che portin archi, sostengongli con così apparente facilità, che non riman cuore per condannarne l'architetto.*¹⁸³

Eccettuata l'erronea datazione, viene qui delineato un profilo storico-architettonico particolarmente acuto della villa di Poggioreale: sono chiari i riferimenti al linguaggio albertiano e bramantesco e, più in generale, alla corrente architettonica rinascimentale fiorentina.

Per definire il ruolo scientifico di Corazza nella diffusione della corrente architettonica di marca vinciana a Napoli occorre confrontarsi anche con la sua attenzione all'umanesimo napoletano, particolarmente in relazione al suo studio della produzione di Jacopo Sannazzaro, autore dell'*Arcadia* da cui si ispira l'omonima accademia e riferimento artistico-architettonico rinascimentale: come testimoniato da Vecce¹⁸⁴, Sannazzaro infatti riprende molto dal modello ideale della villa di Poggioreale e dalla teoria architettonica albertiana nel programma di inizi Cinquecento di rinnovamento della sua residenza a

Mergellina e della cappella di famiglia annessa, denunciando un'idea architettonica molto vicina al pensiero di Corazza. Particolarmente rilevante per questi studi è il glossario architettonico di Sannazzaro tratto dalla lettura del *De re aedificatoria* di Alberti e mediato da contatti diretti con Francesco di Giorgio Martini e Fra Giocondo, in cui si legge l'assimilazione della visione *scientifica* del disegno, fondato su principi matematico-geometrici, e della lezione albertiana sulla proporzionalità delle parti di un edificio, ripresa da Leonardo nei primi anni del Cinquecento.

Come già indicato, lo scenario architettonico napoletano di inizi XVI secolo, così intimamente legato al mondo fiorentino, vede la propria massima espressione nella villa di Poggioreale, presumibilmente apprezzata dal Corazza – oltre che per le linee architettoniche – per il cortile porticato circondato da gradinate che riprendono il modello vitruviano (tramandato da Giuliano da Sangallo, Fra Giocondo, Serlio), oltre che per il contesto naturale in cui essa si colloca, tipicamente arcadico. Nella già citata lettera viene inoltre confrontata la Cappella Pontano, realizzata a fine Quattrocento lungo il decumano maggiore del centro antico di Napoli, con il Tempio Malatestiano di Rimini dell'Alberti. In riferimento alla cappella, di attribuzione dibattuta¹⁸⁵, scrive:

Cotesto vostro Tempietto del Pontano ha tutta la semplicità che può desiderarsi; non si scosta gran tratto (se pur se ne scosta) da' tempi della Chiesa di Rimini, ma a paragon di questa il Tempietto è una graziosa Vergine; la fabbrica del nostro Alberti è un uomo piuttosto robusto, che di pregevoli forme. Le Sagome, o Proffili delle sue cornici d'ogni maniera, sono dure, e ben lontane dall'aver quella grazia, che pure a que' dì avean ricevuta dal loro Autore i lavori di questa maniera che potete vedere nell'abbandonato Palazzino dei Re di Napoli, che all'età di Leon Battista ci villeggiavano: io parlo del Palazzo a Poggioreale, oggidì malamente chiamato Il Palazzo della Regina Giovanna.¹⁸⁶

Si riconosce anche in questo passaggio l'attenzione filologico-stilistica di Corazza che arriva a preferire le due architetture napoletane al celeberrimo modello di Alberti, mostrando ancora una volta un interesse per il periodo di piena maturazione del Rinascimento¹⁸⁷.

Giungiamo dunque agli studi corazziani in ambito napoletano nelle più varie discipline attinenti al mondo della scienza e dell'ingegneria. Da convinto leonardista, in ambito matematico l'abate bolognese punta ad applicare e dimostrare teoremi già noti, in maniera

tale da cogliere le basi per sperimentarne di nuovi, adottando un metodo d'indagine più volte indicato in questa trattazione e coincidente con quello puramente illuminista di continuo rimando tra deduzione e sperimentazione; segue un elevato interesse per la geometria e le relazioni tra geometria analitica e geometria sintetica, interrelando due metodi diacronici; trae osservazioni sulla storia dell'astronomia dai tempi dei Greci; studia la deriva dei continenti¹⁸⁸... Tra i vari scritti in materia di rappresentazione dell'architettura spicca per il riferimento agli studi vinciani il saggio *Della Prospettiva, ed Altre Cose a Lei Analoghe*¹⁸⁹ del 1781¹⁹⁰, che riceverà particolari apprezzamenti (associati a lamentazioni per la mancata pubblicazione di un'opera scientifica in materia) da parte dei suoi contatti. Corazza si dimostra infatti conoscitore di diversi strumenti mirati alla precisa rappresentazione prospettica degli oggetti e alla rilevazione di errori nelle applicazioni del metodo di costruzione grafica, particolarmente in relazione alla *camera ottica* illustrata da Leonardo sin dal 1515 e perfezionata in quegli anni da Canaletto; mostra in più casi la matrice vinciana dei propri studi in maniera esplicita, ad esempio nella distinzione tra la distribuzione di *ombre e lumi* e la teoria del colore in cui sottolinea, sulla base dell'apografo in suo possesso, numerosi concetti ignoti ai più e illustrati da Leonardo:

Il riflettere ancora de' Raggi di un Calore da una superficie d'altri diversi Raggi colorata può in gran parte esser compreso e mostrato da Regole, che non sonosi per anco raccolte insieme, e quanto basta all'intendimento della Pittura mostrate. E giaché parlandosi di Prospettiva siamo entrati a parlar di cose, che non essendo lei, le sono però molto affini, gioverà ricordar qui quei Teoremi su le Rifrazioni che non debbe ignorar il Pittore, accioché in uso dell'Accademia raccolti sieno, e ben potrebbon [...] unirsi a maniera di appendice col Trattato della Prospettiva. Ancora sarebbon da osservarsi, e da porsi in ordine per iscritto e spiegare gli effetti che a' colori de' corpi si fanno sentire, quando fra chi guarda e gli oggetti, che voglionsi in pittura mostrare, molto aere si frappone. Il celebre Leonardo da Vinci ha nella sua opera abbozzata indicate attorno a ciò alcune osservazioni.¹⁹¹

In questo passaggio si legge nell'abate la necessità di pubblicare i contenuti del suo codice, solo in parte noti agli studiosi coevi tramite la citata pubblicazione napoletana del *Trattato della Pittura*; in sintesi, dal trattato si comprende come Corazza abbia assimilato la lezione vinciana con l'intento di applicarla al proprio lavoro di critica artistica e architettonica fornendo, sulla base degli scritti di Leonardo, delle nuove metodologie per il disegno di

architettura, in parallelo allo sviluppo nelle accademie di metodi di rappresentazione che si discostano da quelli *figurativi* propri del periodo barocco per acquisire una matrice tecnico-scientifica più rispondente alla formazione di figure professionali complete.

Gli studi scientifici di Corazza, da collocarsi negli anni Ottanta e Novanta del Settecento, vanno inquadrati all'interno di un periodo di diffusione – alimentata dalla spinta illuminista – delle scienze sperimentali nella capitale borbonica: sotto Re Carlo si assiste ad esempio alla diffusione delle teorie dei più grandi studiosi di matematica e fisica dell'epoca, da Newton ad Eulero. Pur nella precarietà economica degli scienziati e nelle conseguenti condizioni stagnanti del mondo della ricerca, nel Mezzogiorno quest'epoca vede grande attività a livello divulgativo, particolarmente nelle applicazioni di ingegneria e di architettura, soprattutto nell'Accademia Militare¹⁹². In questi anni, sulla base dei propri studi su Euclide, Vico indica nella geometria lineare un'alternativa pedagogica al metodo algebrico di indagine, essendo parimenti possibile l'individuazione di grandezze incognite, determinando al contempo maggiori stimoli per la mente degli educandi attraverso linee e disegni (evidentemente ciò ricalca in larga parte il metodo di indagine adottato da Leonardo); nel 1753 Antonio Genovesi auspica, nel suo *Discorso sopra il vero fine delle lettere e delle scienze*, un riscontro pratico degli studi di geometria, fisica, aritmetica e astronomia, ritenute dai più come scienze puramente teoriche; sono inoltre gli anni di diffusione delle applicazioni lagrangiane di geometria descrittiva, importante passaggio per la definizione scientifica dei metodi di rappresentazione prima della definitiva codifica mongiana¹⁹³ di inizi Ottocento. A Napoli sono già attive figure come Celestino Galiani, Bartolomeo Intieri e Ferdinando Galiani, educatori e insegnanti che abbracciano pienamente queste nuove visioni nei propri incarichi, ricercando sempre confronti tra teoria e pratica e fornendo importanti contributi in eventi del calibro del consulto di Benedetto XIV del 1743 sui dissesti della cupola di San Pietro o della nascita di un'importante scuola topografica nella capitale borbonica fondata su rappresentazioni zenitali basate sulla matematica (e non sulla prospettiva a volo d'uccello), con un'importante testimonianza nella nota carta del Duca di Noja. Ancora una volta si osserva la presenza di una diretta influenza di matrice vinciana negli studi di ingegneria e architettura a Napoli, malgrado le resistenze che, più o meno direttamente, si iniziano a delineare al governo nei confronti degli aspetti più liberali delle scienze.

A fronte dei contrasti e delle limitazioni borboniche verso lo sviluppo delle scienze filosofiche ed economico-politiche, va riconosciuta negli ultimi decenni del regno e alla vigilia del periodo napoleonico una campagna di politiche urbanistico-architettoniche particolarmente innovative e di respiro europeo: oltre alla nota colonia operaia di San Leucio ad opera di Francesco Collecini, avviata negli anni Ottanta (e dunque di poco successiva al progetto di Ledoux per le saline di Chauv), e a simili altre iniziative volute da Ferdinando IV nel regno, bisogna citare l'iniziativa dell'Accademia delle Scienze riguardo allo studio degli effetti del devastante terremoto che nel 1783 colpisce la Calabria, occasione rara di sperimentazione e confronto delle conoscenze acquisite in relazione alle necessità di una miglior conoscenza fisica del territorio e della relativa rappresentazione oltre che della possibilità di definizione di interventi urbanistici in linea con le teorie europee più avanzate. È proprio il catastrofico evento tellurico infatti a gettare le basi per un rapido sviluppo delle scienze nel Mezzogiorno, destinato a segnare il futuro progresso del territorio, preparando l'ambiente culturale al tessuto del primo periodo ottocentesco.

¹²⁵ Come riscontrabile nei registri delle Segreterie di Stato; cfr. F. De Mattia, *Ingegneri e fonti di archivio*, in *Scienziati-artisti. Formazione ruolo degli ingegneri nelle fonti dell'Archivio di Stato e della Facoltà di Ingegneria di Napoli*, a cura di A. Buccaro, F. De Mattia, Napoli, Electa Napoli, 2003, p.70.

¹²⁶ Va specificato che in molti casi gli ingegneri-architetti si fingono ingegneri camerali, occupandosi anche di opere pubbliche e riscuotendone i compensi pur non avendone titolo; per approfondire v. Archivio Storico di Napoli, *Consulte della Sommaria*, fsc. 391; cfr. A. Buccaro, *Leonardo da Vinci - il Codice Corazza nella Biblioteca Nazionale di Napoli*, I, Napoli, CB ed., 2011, p.100, 104.

¹²⁷ Sancita con decreto reale di Ferdinando IV.

¹²⁸ Per approfondimenti sulla vicenda, v. C. Pedretti, C. Vecce, *Leonardo da Vinci: Libro di Pittura*, Firenze, Giunti, 1995; v. anche Buccaro, 2011 *cit.*, pp. 32-42.

¹²⁹ Dovuto alle donazioni del cardinale Federico Borromeo del 1609 e di quella di Gian Galeazzo Arconati, di trent'anni successiva.

¹³⁰ A. Buccaro, *Leonardo da Vinci - il Codice Corazza*, *cit.*

¹³¹ tratti principalmente da pagine marcate e trascritte dal Melzi dal *Codice Urbinate 1270*.

¹³² Tratto principalmente dai Mss. B e F.

¹³³ Va notata la presenza di ripetizioni degli stessi precetti in più sezioni del codice e in altri manoscritti appartenenti alla campagna di trascrizioni di Cassiano dal Pozzo, che indica l'intento di rendere ogni parte

autonoma, declinando di volta in volta gli esempi riportati in base ai diversi aspetti degli studi vinciani, fornendo una coerenza ad ogni scritto in relazione ad argomenti specifici.

¹³⁴ *Codice Atlantico*, f. 19r.

¹³⁵ Con applicazioni di geologia, paleontologia, astronomia, geofisica, geografia, meteorologia.

¹³⁶ *Codice Corazza*, III, f. 72v.

¹³⁷ Per approfondimenti sul trattato, v. F. P. Di Teodoro, *Del moto e misura dell'acqua*, Milano, Zanichelli, 2018.

¹³⁸ *Manoscritto A*, f. 55r.

¹³⁹ *Codice Atlantico*, f. 46 v-a.

¹⁴⁰ Quella del moto perpetuo è per Leonardo una vera e propria ossessione, che nasce durante la consultazione dei manoscritti del Taccola o degli arabi in cui, con una serie di dispositivi per lo più riconducibili a una ruota con bracci che con meccanismi di diversa natura variano il proprio baricentro con la rotazione, vengono presentate diverse teorie per la realizzazione del moto. Cfr. Buccaro, *Leonardo da Vinci - il Codice Corazza, cit.*, pp. 59-60.

¹⁴¹ Biblioteca Nazionale di Napoli, *ms. XII. D. 80*, a. 1780 circa, in folio, dal titolo: *Leonardo da Vinci del Moto et Misura dell'Acqua*. Cfr. pure la scheda di A. Vezzosi in A. Vezzosi (a cura di), *Leonardo e il leonardismo a Napoli e a Roma*, Giunti-Barbera ed., 1983, p. 140.

¹⁴² Per approfondimenti sull'opera di trascrizione di Venturi, v. M. Melani, *Venturi disegna Leonardo. La "vicendevole chiarezza tra testi e disegni"*, in *Eikonocity*, 2023, anno VIII, n.1, pp. 9-22.

¹⁴³ *Del moto e misura dell'acqua di Leonardo da Vinci*, a cura e spese di F. Cardinali, Bologna, s.n., 1826.

¹⁴⁴ *Del moto e misura dell'acqua / Leonardo da Vinci; libri nove ordinati da f. Luigi Maria Arconati editi sul codice archetipo barberiniano*, a cura di E. Carusi e A. Favaro (pubblicaz. dell'Istituto Vinciano in Roma, diretto da M. Cermenati), Bologna, Zanichelli, 1923.

¹⁴⁵ La cui trascrizione integrale è riportata in Buccaro, *Leonardo da Vinci - il Codice Corazza, cit.*

¹⁴⁶ C. Pedretti, «Archimedeo ingegno notissimus», in A. Vezzosi (a cura di), *Leonardo e il leonardismo a Napoli e a Roma*, Giunti-Barbera ed., 1983, scheda a p. 138.

¹⁴⁷ *Trattato della Pittura di Lionardo da Vinci nuovamente dato in luce, colla vita dell'istesso autore, scritta da Rafâelle du Fresne. Si sono giunti i tre libri della Pittura, ed il trattato della Statua di Leon Battista Alberti, colla vita del medesimo, e di nuovo ristampato, corretto, ed a maggior perfezione condotto*, Napoli, stamperia di F. Ricciardo, 1733. Cfr. E. Verga, *Bibliografia vinciana 1493-1930*, Bologna, Zanichelli, 1931, p. 8; *Leonardo e il leonardismo a Napoli e a Roma, cit.*, scheda di A. Vezzosi, p. 143.

¹⁴⁸ Figlio di Domenico Antonio Parrino, autore di due famose guide di Napoli di inizi Settecento.

¹⁴⁹ Pubblicate come parte delle *Vite de' pittori e architetti moderni* di Giovanni Pietro Bellori.

¹⁵⁰ Buccaro, *Leonardo da Vinci - il Codice Corazza, cit.*, p. 98.

¹⁵¹ Per approfondimenti sulla vita e le opere di Matteo Zaccolini, Cfr. J. C. Bell, *The Life and Works of Matteo Zaccolini (1574-1630)*, in *Regnum Dei*, 41, 1985, pp. 227-258; *Idem*, *Cassiano dal Pozzo's Copy of the Zaccolini Manuscripts*, in *Journal of the Warburg and Courtauld Institutes*, vol. 51, 1988, pp. 103-125; *Idem*, *Zaccolini's Theory of Color Perspective*, in *The Art Bulletin*, 75, I, 1993, pp. 91-112; *Idem*,

Zaccolini and the *Trattato della Pittura of Leonardo da Vinci*, in AA. VV., *Re-reading Leonardo. The Treatise on Painting across Europe*, Surrey, Ashgate Publishing, 2009, pp. 127-146; *Idem*, *A Treatise on Mirrors Attributed to Matteo Zaccolini*, in *Nuncius. Journal of the Material and Visual History of Science*, 33, 2018, 563-584; *Idem*, *Zaccolini, dal Pozzo, and Leonardo's writings In Rome and Milan*, in *Mitteilungen des Kunsthistorischen Institutes in Florenz*, 61, 2019, pp. 309-334; *Idem*, *Zaccolini e Milano: nuove indagini, nuove attribuzioni*, in *L'eredità culturale e artistica di Matteo Zaccolini*, Cesena, Biblioteca Malatestiana, 2020, pp. 43-82.

¹⁵² I tomi sono rispettivamente intitolati: *De' Colori*, *Prospettiva del Colore*, *Prospettiva Lineale* e *Della Descrizione dell'Ombre prodotte da corpi opachi rettilinei*.

¹⁵³ Il trattato era custodito nella Biblioteca Albani ed è stato poi trasferito nell'Abbazia di Montpellier, da cui se ne sono perse le tracce.

¹⁵⁴ Biblioteca Laurenziana, Ashburnham 1212, I-IV.

¹⁵⁵ Montpellier, Bibl. Fac. Médecine, H. 267, già Roma, Biblioteca Albani 1148. Cfr. C. Pedretti, *The Zaccolini Manuscripts*, in *Bibliothèque d'Humanisme et Renaissance*, n° 1, 1973, pp. 39-53.

¹⁵⁶ L'anno in cui si colloca l'inizio del periodo napoletano di Zaccolini è convenzionale. Cfr. F. Guidolin, *Il colore della lontananza. Matteo Zaccolini, pittore e teorico di prospettiva*, Tesi di Dottorato in Storia dell'Arte Moderna, Dottorato di ricerca in Storia delle arti, Ciclo XXVII, 2015, p. 167. Cfr. anche J.C. Bell, *The life and works of Matteo Zaccolini (1574-1630)*, in «Regnum Dei», XLI, 1985, pp. 249-251.

¹⁵⁷ Cfr. T. Leone, *Il palazzo Serra di Cassano. Struttura, passato e presente*, Napoli, Istituto Italiano per gli Studi Filosofici, 1999. Cfr. anche J.C. Bell, *Zaccolini and Leonardo's Manuscript A*, in *Il collezionismo dei leonardeschi a Milano e la Madonna Litta*, a cura di M.T. Fiorio, P.C. Marani, Milano, Electa, 1991, p. 190: «*The Theatine order was growing rapidly in the early seventeenth century and had opened several houses in Lombardy. Since the order had an efficient, centralized government, it was not unusual for lay brothers with useful skills to be transferred for short periods to places where their services were needed. Zaccolini's temporary transfer to Naples is an example; he helped there with the decoration of the residence at SS. Apostoli, with the design of the tabernacle there, and worked on stuccoes, fountains, and diverse ornaments at other Theatine churches in the area*».

¹⁵⁸ Guidolin, *Op. cit.*

¹⁵⁹ Guidolin, *Op. cit.*, p. 170.

¹⁶⁰ Guidolin, *Op. cit.*, p. 177: «*[...] i padri si rivolsero inizialmente al "famoso pittore Michel'angelo Caravaggio", al quale erano stati già anticipati quasi "cento scudi per farci la pittura che avea promessa: ma perché fu ammazzato si perdé la pittura con i danari e vi dipinse poi il nostro fratello Matteo Zucolini la sua prospettiva", distrutta nel terremoto del 1688.*»

¹⁶¹ Guidolin, *Op. cit.*, pp. 173-174.

¹⁶² C. Pedretti, *Epilogo: Roma per gli studi vinciani*, in *Leonardo e il leonardismo a Napoli e a Roma*, a cura di A. Vezzosi, Firenze, Giunti-Barbera, 1983, p. 230.

¹⁶³ M. Basile Bonsante, *La Chiesa di San Gaetano a Bitonto: dinamiche, contenuti e modelli della committenza dei teatini in età postridentina*, in «Regnum Dei», XLV, 1989, pp. 105-132.

¹⁶⁴ F. Andreu C. R., *I teatini e la rivoluzione nel regno di Napoli (1647-1648)*, in «Regnum Dei», XXX, 1974, pp. 221-396.

¹⁶⁵ Nota di Cassiano dal Pozzo contenuta nel *Manoscritto di Montpellier (H. 267)* e pubblicata in C. Pedretti, *The Zaccolini manuscripts*, in «Bibliothèque d'Humanisme et Renaissance», XXXV, 1973, p. 43.

¹⁶⁶ Operazione che comprende osservazioni tratte dagli scritti di Alhazen e da quelli di Piero della Francesca.

¹⁶⁷ Non va confuso il carattere prettamente sperimentale della rappresentazione prospettica vinciana con una codifica del metodo che, come è noto, è attribuita a Descargues nel Seicento.

¹⁶⁸ Dette idee saranno peraltro riprese da Dürer nel suo trattato del 1525, particolarmente in relazione alla trasformazione dei solidi e al movimento dei corpi nello spazio, che si ispirerà alla visione vinciana di una natura in continuo divenire.

¹⁶⁹ C. Vecce, *Leonardo*, Roma, Salerno Editrice, 2006, p. 429.

¹⁷⁰ A. Buccaro, *Leonardo da Vinci - il Codice Corazza*, I, *cit.*, *passim*.

¹⁷¹ Biblioteca Nazionale di Napoli, Ms. XII.D.54: cfr. A. Buccaro, *The Codex Corazza and Zaccolini's Treatises in the Project of Cassiano dal Pozzo for the Spreading of Leonardo's Works*, in C. Moffatt, S. Tagliagambe S. (eds.), *Illuminating Leonardo. A Festschrift for Carlo Pedretti Celebrating His 70 Years of Scholarship*, Leiden, Koninklijke Brill, 2016, p.31, in cui è presente la prima attribuzione dello scritto a Zaccolini.

¹⁷² Cfr. E. Cropper, *Poussin and Leonardo: Evidence from the Zaccolini Mss.*, in «Art Bulletin», LXII (1980), p. 574.

¹⁷³ A. Buccaro, *Leonardo da Vinci - il Codice Corazza*, I, *cit.*, p. 42.

¹⁷⁴ Per approfondimenti sulla vicenda e attività di Corazza, v. Buccaro, *Leonardo da Vinci - il Codice Corazza*, *cit.*, *passim*.

¹⁷⁵ Come testimoniato dal *Dialecto napoletano* di Ferdinando Galiani del 1779, in cui lo studioso mira a dimostrare la nobiltà della lingua napoletana, forse puntando a un più generale riscatto delle forme linguistiche locali rispetto all'affermazione di quella toscana.

¹⁷⁶ Buccaro, *Leonardo da Vinci - il Codice Corazza*, *cit.*, p. 127.

¹⁷⁷ *Ivi*, p. 131.

¹⁷⁸ *Ivi*, pp. 144-145.

¹⁷⁹ Tra i vari nomi citati figurano studiosi del calibro di Bernardo De Dominicis, Mario Gioffredo, Niccolò Carletti, Vincenzo Lamberti, Francesco Antonio Soria; manca però Vincenzo Ruffo, uno dei maggiori esponenti del pensiero architettonico di marca francese dell'epoca noto per varie iniziative, tra cui un avveniristico piano per il rinnovamento della città di Napoli, presumibilmente escluso per le idee troppo radicali nel periodo di crisi dell'assolutismo. Cfr. Buccaro, *Leonardo da Vinci - il Codice Corazza*, *cit.*, p. 143 sgg.

¹⁸⁰ Buccaro, *Leonardo da Vinci - il Codice Corazza*, *cit.*

¹⁸¹ Manoscritto S. IV. 4; v. Buccaro, *Leonardo da Vinci - il Codice Corazza*, *cit.*, p. 159.

¹⁸² La copia fiorentina sarà individuata nel 1841 dal Promis nella propria biografia dell'ingegnere senese come il *Codice Magliabechiano*, indicando come riferimento per i suoi studi proprio Corazza. Cfr. A. Buccaro, 2011 *cit.*, pp. 159-160.

¹⁸³ Biblioteca Nazionale di Napoli, *Manoscritti e Rari*, X. AA. 28/11, f. 33, s.d.; trascrizione riportata da A. Buccaro, 2011 *cit.*, p. 160.

¹⁸⁴ C. Vecce, *Sannazaro lettore del De re aedificatoria*, in *Alberti e la cultura del Quattrocento*, a cura di R. Cardini, M. Regoliosi, Atti del Convegno internazionale di studi (Firenze, 16-18 dicembre 2004), Firenze, Ediz. Polistampa, 2007, pp. 763-784.

¹⁸⁵ Viene attribuita da alcuni a Francesco di Giorgio Martini, da altri a Fra Giocondo.

¹⁸⁶ Trascrizione riportata da A. Buccaro, *Leonardo da Vinci - il Codice Corazza*, *cit.*, p. 162.

¹⁸⁷ Il suo interesse verso il classicismo e l'architettura antica però lo porterà verso l'approfondimento dei cinquecenteschi studi archeologici di Raffaello e l'architettura di Palladio, vista come la miglior ispirazione di un linguaggio classicheggiante di respiro internazionale, complici i contatti con Bianconi e Tesi. Proprio l'adesione a questa corrente stilistica sarà protagonista nei propri carteggi con l'amico architetto Giacomo Quarenghi, chiamato come Primo Architetto dalla zarina russa Caterina II, che chiederà più volte al bolognese consigli per i propri progetti; la corrispondenza verte inoltre su numerosi dibattiti di natura teorica e su richieste da parte di Quarenghi di aggiornamenti sullo scenario architettonico napoletano e del Mezzogiorno.

¹⁸⁸ Buccaro, *Leonardo da Vinci - il Codice Corazza*, *cit.*, p. 168.

¹⁸⁹ Biblioteca Nazionale di Napoli, *Manoscritti e Rari*, XII.B.37.

¹⁹⁰ A. Buccaro, *Leonardo da Vinci - il Codice Corazza*, *cit.*, p. 169 sgg.

¹⁹¹ Trascrizione da A. Buccaro, *Leonardo da Vinci - il Codice Corazza*, *cit.*, p. 169.

¹⁹² *La Scuola d'Ingegneria in Napoli. 1811-1967*, a cura di G. Russo, Napoli, Istit. Editoriale del Mezzogiorno, 1967, p. 18.

¹⁹³ Gaspard Monge è noto, oltre che per il metodo delle proiezioni ortogonali, per aver consentito l'adozione di formule matematiche in luogo delle figure geometriche, delineando grandi innovazioni nella geometria analitica e nella rappresentazione, anche negli spazi non euclidei.

5. La figura professionale tra Sette e Ottocento

Contemporaneamente ai progressivi sviluppi dell'Accademia delle Scienze napoletana, che acquisisce sempre più il carattere di riferimento nel dibattito teorico malgrado numerose controversie¹⁹⁴, entro fine Settecento nascono nuove istituzioni dedite alla formazione di tecnici: la *Real Accademia militare*, il *Corpo degli Ingegneri Idraulici* e il *Corpo del Genio* (che ingloba il *Corpo degli ingegneri militari* nel 1796) costituiscono nuovi centri di formazione e reclutamento degli ingegneri, particolarmente di ambito militare, contribuendo alla realizzazione di una classe di professionisti altamente specializzati e con un elevato grado di aggiornamento.

Parallelamente, nell'ambito civile non esiste ancora una distinzione vera e propria tra mansioni degli ingegneri o degli architetti, essendo i ruoli spesso confusi tra loro. Agli inizi dell'Ottocento, dunque, si avverte l'esigenza di definire una figura professionale specializzata che possa assumere gli incarichi dell'*architecto vulgo ingeniero*, particolarmente per quanto riguarda le opere pubbliche; questa istanza si concretizzerà nel 1811, nel corso del periodo murattiano, con la fondazione della prima Scuola di ingegneria italiana, la cui tradizione è stata pienamente ereditata nell'attuale Collegio di Ingegneria dell'Università degli Studi di Napoli "Federico II"¹⁹⁵, come descritto in seguito. La scuola, votata alla formazione di scienziati-artisti attivi nell'ambito pubblico, figure professionali dichiaratamente caratterizzate da una bilanciata sintesi tra le due anime della professione, raccoglie perfettamente l'eredità vinciana e del Secolo dei Lumi anche nel disegno e nella metodologia di insegnamento e di indagine, definendo il cardinale punto di svolta della presente trattazione e consentendo di tracciare un convenzionale passaggio dal professionista tecnico dell'età moderna alla figura contemporanea.

Come è noto, questa istituzione sarà soggetta dopo circa un secolo ad una scissione causata dalle necessità di una sempre maggior specializzazione in un mondo ormai industriale, portando alla separazione tra gli scienziati e gli artisti del costruire. Salvo alcuni esempi virtuosi, solo tra la fine del XX e gli inizi del XXI secolo, a quasi due secoli dalla fondazione della Scuola, le due anime della professione saranno nuovamente riunite entro una singola figura, compiutamente maturata nei principi di unità della formazione professionale in

materia ingegneristico-architettonica, votata ad un perenne aggiornamento delle competenze (come testimonia l'attenzione attuale a tematiche di sostenibilità urbana, economica, sociale ed ambientale) e ad un approccio globale e sinergico ai tipici problemi di architettura e ingegneria.

Come descritto in precedenza, l'impeto teorico di fine Seicento relativo agli studi vinciani e galileiani sulle travi inflesse oltre che su archi e cupole non seguì una stagione di sperimentazione altrettanto intensa, soprattutto a causa dell'assenza di strumenti utili per una verifica delle teorie e di una parziale permanenza dei criteri proporzionali fondati sulla trattatistica cinquecentesca, non tenendo dunque in considerazione la teoria dell'elasticità e, in particolare, l'influenza almeno quadratica dei dati dimensionali degli elementi strutturali nella resistenza e rigidezza delle costruzioni.

Nel corso del Settecento, la scienza delle costruzioni evolve principalmente in Francia, con l'operato di numerosi studiosi che avviano un'iniziativa di ricerca in merito; figura di spicco in materia è Bernard Forest de Bélidor, autore nel 1729 della *Science des Ingénieurs*, trattato di riferimento fino ai primi anni del secolo successivo e strumento in grado di traghettare le dissertazioni teoriche precedenti al campo applicativo, colmando il divario tra teoria e tecnica e consentendo l'adozione di un modello matematico di verifica di una struttura¹⁹⁶. Nelle principali nazioni europee inizia a delinearsi la figura dell'ingegnere civile, che supera la corrente intuitivo-empirica di progettazione – che permarrà negli architetti di formazione accademica, contribuendo al dibattito già in corso in materia stilistica – portando nel corso dell'Impero napoleonico alla fondazione di simili istituzioni, autonome rispetto a quelle di estrazione militare¹⁹⁷. Difatti, l'introduzione di queste 'accademie' alternative a quella di architettura provoca una progressiva relegazione degli architetti verso l'elaborazione di forme – complice anche la ricerca di uno *stile nazionale* e le dinamiche formative relative, ad esempio, al *pensionamento* degli architetti in formazione a Roma – portando l'ingegnere a compiti inerenti al rapporto con le istituzioni e relativi a svariati campi di applicazione, dal calcolo statico ai programmi urbanistici.

Parallelamente, si è visto come nel Mezzogiorno si diffonda lo sperimentalismo vinciano nella pratica professionale e in alcune iniziative di ricerca e applicazione delle competenze acquisite; con il consolidamento del percorso che si sta delineando e la trasposizione delle innovazioni francesi a Napoli si assiste ad un'evoluzione dell'ingegnere-architetto erede

della tradizione vinciana e martiniana in una figura professionale che ben si adatta alle nuove esigenze progettuali, delineando nella Scuola di Applicazione di Ponti e Strade il substrato entro cui formare nuovi tecnici basati sulla medesima unità di competenze già ampiamente verificata, particolarmente nel campo delle opere pubbliche, dai principali esponenti a livello professionale dei secoli precedenti.

5.1. Luigi Vanvitelli, ultimo «architetto vulgo ingegniero» nel Mezzogiorno moderno

Figura nota nel Mezzogiorno per le proprie molteplici attività al servizio della corona, Luigi Vanvitelli rappresenta un ultimo baluardo della figura professionale dell'età moderna, radicato nella propria formazione basata sulla tecnica *nuda e cruda*, in cui le norme sono acquisite dalla pratica costruttiva piuttosto che dal calcolo o dall'elaborazione teorica: egli incarna la figura del *costruttore* vitruviano, slegato dal *peso* dovuto alla mitizzazione dell'Antico o dei rinvenimenti archeologici (dunque mai propriamente neoclassico) ma convinto di poter risalire all'Antico attraverso un classicismo con influenze ancora barocche¹⁹⁸.

Essendosi sempre basato sulla pratica, il progettista si dichiarerà incompetente – se non contrario – rispetto ai nuovi metodi matematici, con particolare riferimento al neonato metodo del calcolo differenziale, nuovo riferimento per il dimensionamento strutturale; difatti, la robustezza delle proprie strutture, tra cui si citano la Reggia di Caserta, l'Acquedotto Carolino e i relativi Ponti della Valle, segue gli stessi principi alla base della longevità delle opere di epoca romana sopravvissute nei secoli, fondando nel sovradimensionamento basato su regole empiriche la propria attività.

Insieme a Ferdinando Fuga – che però cederà¹⁹⁹ alle nuove tendenze razionaliste e antibarocche, come evidente nelle linee della facciata del Real Albergo dei Poveri – Vanvitelli rappresenta uno degli ultimi professionisti privo di un bagaglio teorico scientifico; la sua attività, scontrandosi con le nuove metodologie, lo porterà ad evitare le occasioni di collaborazione con gli scienziati anche in corrispondenza di difficili problemi strutturali, facendo prevalere la propria sensibilità malgrado il clima di fermento delle scienze teoriche e applicate tipico del suo periodo di attività per i Borbone.

5.2. Vincenzo Lamberti: nascita dello scienziato-artista

Allievo di Vito Caravelli, brillante esponente del mondo matematico napoletano citato anche da Comolli per i contributi in materia di scienze dell'architettura e dell'ingegneria, Vincenzo Lamberti rappresenta, insieme con Niccolò Carletti, uno dei primi ingegneri-architetti ad aver superato la tradizione empirica nella progettazione, muovendo i primi passi verso una completa formazione tecnica e scientifica della figura professionale.²⁰⁰

Nato nel 1740 da una famiglia di scultori, Lamberti si forma nelle scuole militari e diventa presto socio della Real Accademia delle Scienze e Belle Lettere di Napoli, entrando in contatto con personaggi di spicco in ambito matematico e fisico²⁰¹. Dalla *Bibliografia* di Comolli risulta che l'unica opera architettonica dello scienziato-artista sia la Chiesa di Santa Teresa dei Carmelitani Spagnoli, che però «*da molti non è tenuta per la miglior cosa*»²⁰² essendo più noto per gli studi scientifici, ampiamente recensiti da Comolli.

Lamberti si trova presto impegnato nella disputa relativa ai dissesti nella Chiesa del Gesù Nuovo, iniziata nel 1769, durante la quale si oppone al parere dei maggiori esponenti dello scenario tecnico napoletano²⁰³ ritenendo di poter consolidare la struttura evitandone l'abbattimento. Il giudizio dell'ingegnere-architetto è in realtà condiviso da Vanvitelli, pur se con diverse idee circa l'intervento di consolidamento: Lamberti ritiene che i pilastri su cui si impostava la cupola fossero sufficientemente resistenti da sostenere la copertura, imputando la causa del dissesto ad un cedimento in fondazione dovuto alla presenza di una cisterna del precedente Palazzo Sanseverino e delineando una proposta aggiornata in merito agli ultimi sviluppi di statica e scienza delle costruzioni (in quegli anni si sviluppano i primi metodi razionali per il calcolo degli sforzi nelle cupole, applicabili in prima approssimazione ancora oggi), individuando le contraddizioni nella proposta di Fuga per il consolidamento del pilone dissestato, dimostrandone il potenziale pregiudizio strutturale; Vanvitelli invece fonda il proprio intervento sulle teorie ormai consolidate di Bélidor (di quarant'anni precedenti), attribuendo il dissesto al terremoto del 1688 e all'incremento di peso della nuova cupola del Guglielmelli, non riconoscendo nella condizione fondale l'origine del danno e ritenendo che la proposta progettuale dello scienziato-artista sia fondata essenzialmente su citazioni teoriche prive di evidenze pratiche. Non ancora trentenne, Lamberti dimostra un'elevata perizia nella diagnosi del dissesto e nel conseguente progetto di consolidamento coniugando i principi belidoriani e del de la Hire

con gli ultimi avanzamenti della disciplina, secondo una metodologia di confronto tra nozioni consolidate e sperimentali evidentemente ispirata a quella vinciana. L'epilogo della disputa vede l'adozione della proposta di Fuga, portando alla decisione nel 1774 di abbattere la cupola, sostituita con la pseudocupola attualmente presente.



Figura 20: Vista dell'intradosso della pseudocupola nella Chiesa del Gesù Nuovo (foto Polidoro, 5 ottobre 2023).

Immerso in un continuo processo di aggiornamento, Lamberti dedica circa un decennio della propria attività teorica a problemi statici analoghi a quello della cupola, diffondendo il calcolo differenziale a Napoli e sviluppando metodi di risoluzione sempre più raffinati, mostrandosi a pieno titolo come uno dei precursori della figura dell'ingegnere formatosi nella Scuola di Applicazione di Ponti e Strade: basti pensare che la sua *Voltemetria*²⁰⁴, apprezzata da Comolli, Bernoulli e molti altri esponenti dello scenario matematico italiano

ed europeo, sarà ripubblicata a Milano nel 1840, 66 anni dopo l'edizione originale, essendo ancora un testo di riferimento nella pratica professionale²⁰⁵.

È però la *Statica degli Edifici*²⁰⁶ il testo lambertiano di maggior impatto nella diffusione della scienza e della tecnica oltre che nella conseguente evoluzione della figura professionale; esso costituisce il primo testo apparso in Europa sull'argomento, in esso la disciplina viene aggiornata applicando alle volte e alle cupole i risultati teorici delle teorie contemporanee elaborate su travi ed archi, definendo per la prima volta una trattazione sistematica sul lesionamento degli elementi strutturali: la trattazione di Lamberti parte infatti dall'intento di «*conoscere l'origine delle lesioni e degli errori, che vedeva frequentemente nella pratica di proporzionare le parti dell'edificio col costruirne alcune troppo robuste e inutili, ed altre deboli e insignificanti*»²⁰⁷. Il trattato, che avrebbe dovuto precedere un altro testo dedicato ad opere idrauliche, ponti, terrapieni e strutture lignee, riceve un'accoglienza molto positiva nella scena matematica italiana ed europea. Il grado di maggior innovazione nel documento va però riconosciuto nella qualità dello scritto: per la prima volta si riscontra in Lamberti il tentativo di realizzare un manuale pratico, utilizzabile dai tecnici del settore e consultabile liberamente da essi, adottando un lessico libero dagli impulsi di *purificazione linguistica* mossi dall'Accademia della Crusca e riferendosi a materiali e tecniche costruttive propri dell'area napoletana per specificare le proprie teorie di validità generale. Difatti, con questo trattato Lamberti punta a riferirsi agli *Architetti pratici*, ovvero quelli che fondano la propria attività sull'esperienza, piuttosto che agli *Architetti scientifici*, che possono facilmente adattarsi al linguaggio semplice del trattato; in ciò si riscontra ancora una volta un riferimento agli avanzamenti francesi, che con la pubblicazione di Bélidor del 1729 iniziano a perseguire anche l'obiettivo di riunire teoria e pratica, trasformando in norme fruibili le leggi elaborate nel corso dello sviluppo della Scienza delle Costruzioni. La *Statica degli Edifici*²⁰⁸, delineando le problematiche meccaniche dei materiali da costruzione, descrivendo il funzionamento statico e il conseguente dimensionamento dei vari elementi costruttivi e indicando un primo metodo di diagnosi dei dissesti basato sull'analisi del quadro fessurativo delle strutture, definisce un volume completo per la consultazione tecnica in materia strutturale che, attraverso l'organizzazione in una serie di problemi specifici da cui vengono ricavate leggi a valore generale, muove i primi, significativi passi verso la compiuta realizzazione dell'ingegnere-architetto contemporaneo.

*Radici e continuità dell'architetto «vulgo ingegnere» nel Mezzogiorno all'insegna di Leonardo.
L'opera di Antonio Marchesi per Santa Caterina a Formiello.*

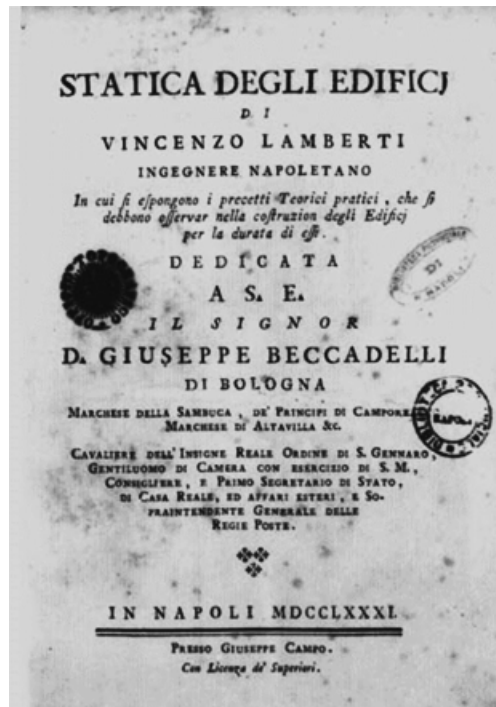


Figura 21: Frontespizio della Statica degli Edifici di Vincenzo Lamberti, del 1781 (da Google Books).

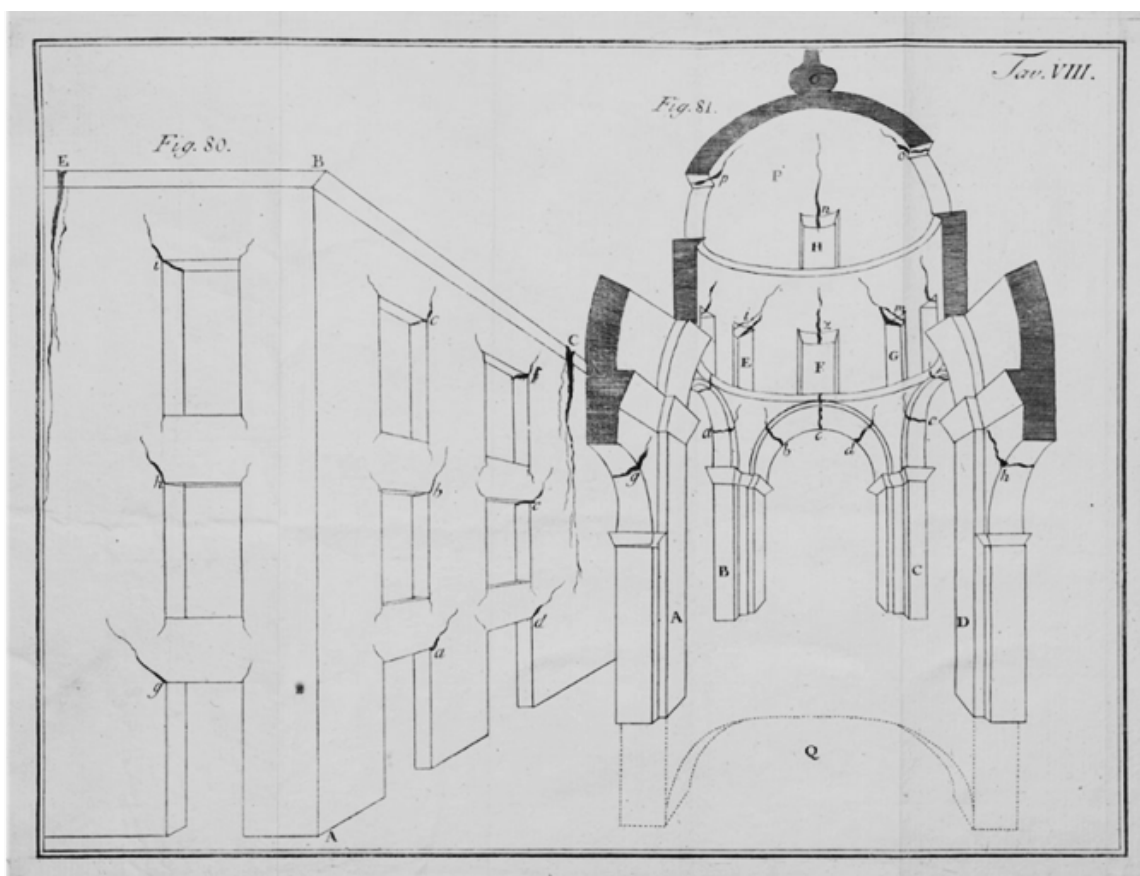


Figura 22: V. Lamberti, Statica degli edifici, tavola 8.

5.3. La formazione degli scienziati-artisti di Stato nella Scuola di Ponti e Strade

Nel contesto del Mezzogiorno italiano del XIX secolo, emerge in maniera ininterrotta il filo rosso che garantisce la continuità dell'antica unità del sapere²⁰⁹. Questa osservazione si concretizza nell'analisi del periodo compreso tra il decennio francese e l'era preunitaria, focalizzando l'attenzione sulla Scuola di Applicazione napoletana e sul Corpo di Ponti e Strade. In questo contesto, si evidenzia il proposito di preservare e addirittura esigere la pluralità delle competenze per gli ingegneri-architetti che prestavano servizio allo Stato. La perpetuazione di tale principio, almeno fino al primo dopoguerra, rappresenta per l'ingegneria meridionale un richiamo costante alle radici vinciane di questa disciplina.

Come anticipato, con il dominio napoleonico a Napoli si istituisce il *Corpo degli Ingegneri di Ponti e Strade*, fondato il 18 novembre 1808, e la *Scuola di Applicazione di Ponti e Strade*, fondata il 4 marzo 1811 con l'obiettivo di formare una nuova generazione di professionisti che avrebbero operato come Ingegneri di Stato nelle varie province del regno, confrontandosi con le amministrazioni locali e dirigendo le principali opere pubbliche. Logicamente, il *Corpo* si costituisce reclutando gli architetti-ingegneri moderni, selezionando i professionisti più preparati nelle discipline tecnico-scientifiche ed esperti in opere stradali e idrauliche; ne segue che i primi scienziati-artisti dell'Ottocento, come Giuliano de Fazio e Luigi Malesci, si formano secondo la corrente culturale settecentesca per poi assumere un ruolo dirigenziale nel sistema politico-amministrativo napoleonico. Come osserva Jean-Nicolas-Louis Durand²¹⁰, la nuova figura professionale dell'ingegnere è destinata ad affermarsi a danno di quella di architetto, essendo costituita da tecnici formati dallo Stato e distribuiti sul territorio per svolgere ruoli anche di amministrazione. Difatti, malgrado un'iniziale abrogazione di tutte le istituzioni francesi a valle della Restaurazione, non si vede alcuna interruzione dell'attività del *Corpo* o della *Scuola* anche dopo la fine del periodo murattiano, confermando anzi in molti casi le posizioni ricoperte dai vari tecnici prima del ritorno dell'assolutismo. Le attività di questo nuovo sistema proseguiranno fino all'Unità d'Italia, in cui il Corpo napoletano funge da riferimento per il *Corpo Reale del Genio Civile* del Regno d'Italia²¹¹.

In appena mezzo secolo di attività, il Corpo degli Ingegneri di Ponti e Strade diventa presto un'istituzione tra le più aggiornate d'Europa grazie alla continua applicazione delle scoperte tecnico-scientifiche dell'epoca, riuscendo in molti casi a interpretare meglio degli architetti

le istanze stilistiche borghesi, ricorrendo il più delle volte a linee di ispirazione neoclassica, interpretando il ritorno all'antico come occasione di riscoperta di schemi statici di epoca classica. In questo periodo difatti a Napoli e nel Mezzogiorno si realizzano molti impianti e attrezzature di utilità sociale, parte di un più generale programma di estensione della presenza e del controllo statali sul territorio.

La Scuola di Applicazione di Ponti e Strade tende sin dai suoi primi anni di attività alla formazione di tecnici esperti nelle scienze sperimentali, aggiornati sui modelli funzionali e distributivi delle opere oltre che nel campo della tecnologia dei materiali (anche attraverso viaggi periodici in Italia e in Europa); parallelamente, l'aspetto stilistico, pur non ricoprendo un ruolo preponderante a livello didattico, non viene trascurato (basti pensare alle opere degli stessi docenti, come De Fazio o Malesci). Tra gli anni '20 e gli anni '50 dell'Ottocento la nuova figura professionale ha l'occasione di emergere ed operare, traghettando lo scenario meridionale nei campi più aggiornati dell'architettura e dell'ingegneria civile con importanti sperimentazioni delle strutture in ferro e il superamento delle dispute stilistiche tipiche delle accademie di architettura dell'Ottocento.

Questa nuova generazione di ingegneri-architetti, formati anche in campi come l'arte, l'architettura, l'archeologia oltre che in meccanica, scienza delle costruzioni e idraulica, produce rapidamente nuovi studi di respiro europeo affiancati ad opere di assoluta innovazione nella Penisola, tra cui si intende citare: il primo carcere a sistema panottico, del 1821; la prima ferrovia, nel 1839; i primi ponti di ferro, realizzati sul Garigliano e sul Calore tra il 1832 e il 1835. In particolare, il Ponte sul Garigliano di Luigi Giura²¹² - uno dei primi studenti della Scuola di Applicazione di Ponti e Strade, autore di un importante progetto di sistemazione dell'area orientale di Napoli, direttore dal 1860 della Scuola e, con l'Unità, Ministro dei Lavori pubblici nel governo provvisorio garibaldino - rappresenta un caso di studio significativo²¹³.

Il progetto, tra il 1825 e il 1828, viene realizzato da Giura anche in base ad esperienze acquisite durante i viaggi all'estero, particolarmente in Francia ed Inghilterra²¹⁴; durante i lavori, che durano cinque anni, il progetto viene criticato da più tecnici europei, screditando sia la soluzione elaborata che, più in generale, l'ingegno napoletano. Il 10 maggio del 1832, il sovrano inaugura il ponte attraversandolo con due squadre di lancieri e sedici traini di artiglieria, effettuando una *prova di carico* che comproverà la bontà strutturale del progetto. Il ponte, unico nel suo genere in Italia, può essere considerato il

primo ponte sospeso carrabile dell'Europa continentale, essendo successivo ad alcune esperienze inglesi²¹⁵ e a dei progetti realizzati in Russia²¹⁶ pochi anni prima; crollerà solo a seguito dello scoppio di mine tedesche nel 1943; da questo evento però deriva un nuovo primato per il ponte, che sarà ricostruito nel 1998 grazie al contributo di Federico Mazzolani²¹⁷, diventando il primo ponte in alluminio realizzato in Italia e definendo una nuova importante pagina di storia tecnologica nel meridione.

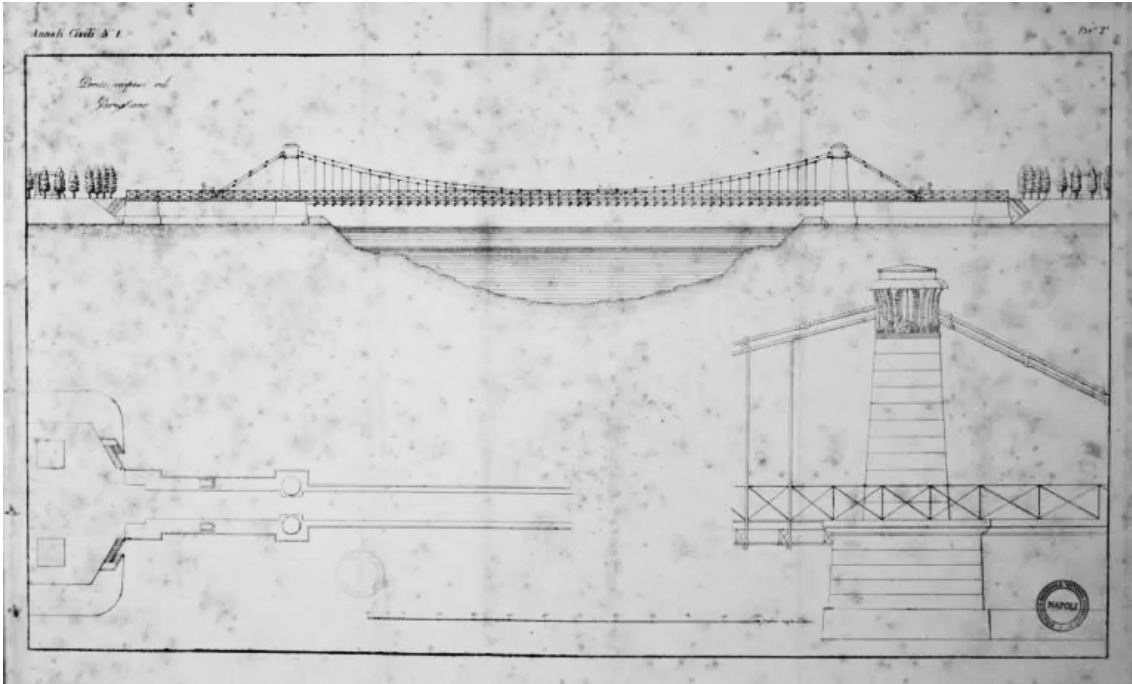


Figura 23: Luigi Giura, progetto per il ponte sul Garigliano. Biblioteca Nazionale di Napoli, Sala Farn. 62. E 36.

In questo panorama, figura di riferimento è certamente Giuliano de Fazio²¹⁸, ingegnere di notevole rilevanza nell'ambito architettonico e urbanistico del Regno di Napoli nel periodo preunitario, per il suo contributo nel dibattito e nelle realizzazioni di ambito portuale e delle strutture di igiene sociale.

Negli anni dell'età napoleonica, Giuliano de Fazio dirige la sua attenzione verso i porti dell'antica Roma, sviluppando una teoria di *archeologia idraulica* che sarà diffusa anche in Francia e in Inghilterra. Questa teoria, elaborata in numerose pubblicazioni tra il 1814 e il 1832, non solo definisce i contorni di un dibattito intorno alla progettazione portuale, ma fornisce anche il terreno fertile per un'innovativa visione tecnico-scientifica e teorico-disciplinare. de Fazio si basa sulle rovine dei porti romani sul litorale flegreo per sviluppare la sua teoria, sostenendo che tali porti sono stati costruiti con *moli a trafori*, ossia con archi

e piloni formati direttamente in mare attraverso l'uso di malta idraulica. Questo approccio teorico, intriso di un crescente entusiasmo per le tecnologie costruttive dell'età classica, propone il recupero dell'antica tecnica costruttiva come soluzione ai problemi ricorrenti degli scali del Tirreno e dell'Adriatico, come l'interrimento e la necessità di rinvigorire il commercio nelle aree circostanti la capitale. Le idee di de Fazio non rimangono confinate al dibattito accademico, ma trovano eco nelle prescrizioni di Carlo Afan de Rivera, direttore generale dell'epoca. de Fazio, convinto che i porti romani siano stati tutti costruiti utilizzando la tecnica da lui proposta, contribuisce a formulare la visione economica e politica della nuova amministrazione: a partire dagli anni Venti, infatti, l'ingegnere-architetto convince de Rivera a far rinascere l'emporio commerciale di epoca classica, struttura annessa ai principali porti dell'area flegrea, primo tra tutti quello di Pozzuoli, e parte di un sistema di commercio organizzato su più poli per il deposito e la compravendita di merci. I nuovi principi di progettazione di de Fazio vengono così adottati nei progetti per i principali porti del Regno, segnando un cambiamento significativo nell'approccio alla progettazione portuale. L'entusiasmo iniziale per la teoria di de Fazio si scontra con la dura realtà delle condizioni marine: il progetto di ripristinare gli antichi empori commerciali e promuovere il commercio attraverso il porto di Nisida si rivela un'utopia costosa e inefficace. Nonostante l'uso innovativo della malta idraulica, le strutture progettate si dimostrano vulnerabili alla variabilità delle correnti marine e crollano ripetutamente, mettendo in luce le sfide pratiche e le limitazioni della tecnologia dell'epoca e compromettendo definitivamente l'idea di un sistema interconnesso tra tutti gli impianti costieri del territorio statale che avrebbe potuto minare l'autorità dei poli già presenti in Toscana e a Venezia per il commercio con l'estero.

Parallelamente al suo impegno nella progettazione portuale, de Fazio si distingue nei progetti di lazzeretti, configurati come punti nodali del sistema appena accennato nell'ambito dell'igiene sociale. Basandosi su nuove norme igieniche, già dal 1798, in occasione del progetto per il lazzeretto di Messina, de Fazio sviluppa uno schema a raggiera innovativo rispetto al *panopticon* sviluppato da Jeremy Bentham circa un decennio prima (a sua volta preceduto dal progetto per il Real Albergo dei Poveri di Ferdinando Fuga, del 1753) anticipando soluzioni che otterranno successo in Europa e in America. In particolare, l'ingegnere-architetto sviluppa un impianto caratterizzato da elevata flessibilità funzionale, potendo essere applicato entro un qualsiasi poligono regolare e assicurando una netta

separazione degli occupanti, rendendosi applicabile ad un'elevata gamma di destinazioni d'uso (lazzaretti, ospizi, ospedali, carceri) e consentendo la realizzazione di complessi modulari. Come per il porto di Nisida, anche in questo caso de Rivera negli anni Trenta dell'Ottocento approfondirà la realizzazione del lazzaretto di Miseno previsto nel piano di de Fazio, prescrivendo ai tecnici attivi nello Stato l'applicazione del sistema in tutti gli impianti di reclusione da realizzarsi, come quelli di Campobasso e di Palermo, ancora esistenti. La sperimentazione di nuovi schemi panottici nelle carceri si rivela però controversa: nonostante la volontà di creare strutture all'avanguardia ispirate a ideali filantropici di redenzione morale della persona, il panottico diventa un ulteriore strumento coercitivo, mettendo in discussione le intenzioni filantropiche e rivelando il carattere impositivo della società dell'epoca, in cui il penitenziario diventa luogo rappresentativo del potere dello Stato.

La biblioteca storica di Ingegneria nell'Università degli Studi di Napoli "Federico II", che eredita il patrimonio bibliografico della Scuola di Applicazione di Ponti e Strade, emerge come una risorsa fondamentale nello studio della formazione del professionista integrale²¹⁹, in cui lo studio di testi internazionali di storia e critica artistica assume un ruolo di primo piano. I progressi scientifici e tecnologici degli ingegneri napoletani, tra il 1830 e il 1860, sono ben documentati in ragione del fatto che il clima culturale dell'epoca è caratterizzato da congressi scientifici e esposizioni che contribuiscono a diffondere l'importanza della scienza meridionale: Il Congresso degli Scienziati Italiani²²⁰ del 1845 – in cui si iniziano ad avvertire le tensioni sociali che sfoceranno nei moti del 1848, in cui si rende evidente il divario tra le iniziative infrastrutturali e industriali del governo e le esigenze sociali del territorio – e la Pubblica Esposizione delle Manifatture del Regno²²¹ del 1853 sono esempi di eventi che promuovono la ricerca scientifica del Mezzogiorno, portando alla rilevazione dell'esigenza di una nuova metodologia didattica. Nonostante i risultati raggiunti, gli studiosi napoletani lamentano la mancanza di centri statali di ricerca e di strumentazioni pubbliche, trovandosi limitati nelle proprie attività e dovendo spesso ricorrere alle proprie finanze per progredire nelle ricerche o pubblicare i risultati dei propri studi²²².

Dal punto di vista metodologico, alcuni giovani matematici, come Trudi e Padula, esprimono una posizione chiara e definitiva contro la scuola sintetica, contrapposta a quella analitica e ormai anacronistica. In particolare Padula, futuro direttore della Regia Scuola di Ingegneria, sottolinea l'importanza dello studio delle scienze naturali come fonte feconda

per le scoperte matematiche, riprendendo posizioni tipicamente vinciane; egli osserva che, abbandonando il sistema antico e abbracciando il calcolo, i geometri moderni sono in grado di risolvere questioni estranee alle matematiche tradizionali, gettando le basi per un progresso duraturo nel campo della fisica matematica.

¹⁹⁴ Legate ad esempio all'esclusione dall'Accademia di numerosi intellettuali di riferimento per l'epoca, in ragione di criteri di nomina non chiari. Cfr. A. Buccaro, *Leonardo da Vinci - il Codice Corazza nella Biblioteca Nazionale di Napoli*, I, Napoli, CB ed., 2011, pp. 170-174.

¹⁹⁵ Per approfondimenti in merito, v. A. Buccaro, S. D'Agostino (a cura di), *Dalla scuola di applicazione alla Facoltà di Ingegneria. La cultura napoletana nell'evoluzione della scienza e della didattica del costruire*. Benevento, Hevelius, 2003.

¹⁹⁶ Cfr. A. Buccaro, F. De Mattia (a cura di), *Scienziati-Artisti. Formazione e ruolo degli ingegneri nelle fonti dell'Archivio di Stato e della Facoltà di Ingegneria di Napoli*, Napoli, Electa, 2003. Cfr. anche A. Buccaro, A. Maglio (a cura di), *I Libri Antichi della Facoltà di Ingegneria di Napoli*, Napoli, Cuzzolin, 2013.

¹⁹⁷ Si veda in proposito: G.C. Calcagno, *La figura dell'ingegnere tra Sette e Ottocento*, in Aa.Vv., *Ingegneria e politica nell'Italia dell'Ottocento: Pietro Paleocapa*, atti del convegno (6-8 ottobre 1988), Venezia, Istituto Veneto di scienze, lettere e arti, 1990, pp. 463 sgg.; P. Morachiello-G. Teyssot, *Nascita delle città di stato. Ingegneri e architetti sotto il consolato e l'Impero*, Roma, Officina ediz., 1983; H. Verin, *La gloire des ingénieurs: l'intelligence technique du XVI au XVIII siècle*, Paris, A. Michel, 1993.

¹⁹⁸ Si vedano al riguardo Buccaro, *Leonardo da Vinci - il Codice Corazza*, cit., pp. 175 sgg.; R. De Fusco, *Vanvitelli nella storia e la critica del Settecento*, in Aa.Vv., *Luigi Vanvitelli*, Napoli, Ediz. Scientifiche Italiane, 1973, e R. Di Stefano, *Luigi Vanvitelli ingegnere e restauratore*, *ibidem*.

¹⁹⁹ A.M. Matteucci, *L'architettura del Settecento*, Torino, UTET, 1988, pp. 25 sgg.; B. Gravagnuolo, *Architettura del Settecento a Napoli dal Barocco al Classicismo*, Napoli, Guida, 2010, pp. 155-172.

²⁰⁰ Cfr. Buccaro, 2011 cit., pp. 154-159.

²⁰¹ Tra cui si segnalano Nicola Maria Cercani, Felice Sabatelli, Giuseppe Marzucco, Giuseppe Orlandi.

²⁰² A. Comolli, *Bibliografia storico-critica di architettura civile ed arti subalterne dell'Abate A.C.*, Roma, Stamperia Vaticana, 1788-92, III, p. 264.

²⁰³ Tra cui Vanvitelli e Fuga.

²⁰⁴ V. Lamberti, *Voltimetria Retta, Ovvero Misura Delle Volte di Vincenzo Lamberti, Ingegnere Napolitano: Dedicata a S. E. IL Marchese Signor D. Angelo Cavalcanti, Spettabile Luogotenente della Regia Camera della Summaria*, Napoli, Tip. G. Campo, 1774.

²⁰⁵ Cfr. *La misura delle volte rette di Vincenzo Lamberti, ristretto di Giovanni Astolfi*, Milano, Tip. Bianchi, 1840.

²⁰⁶ Per approfondimenti sull'impatto dell'opera nella tecnica di fine XVIII secolo, v. M. Lippiello, *La Statica degli Edifici dell'ingegnere napoletano Vincenzo Lamberti: un trattato teorico-pratico del tardo XVIII*

secolo, in AA.VV., *Storia dell'Ingegneria 2008 – Atti del 2° Congresso Nazionale*, I, Napoli, Cuzzolin, 2008, pp. 487-496.

²⁰⁷ A. Comolli, *Bibliografia storico-critica...*, cit., III, p.261.

²⁰⁸ V. Lamberti, *La statica degli edifici in cui si espongono i precetti teorici pratici che si debbono osservare nella costruzione degli edifici per la durata di essi*, Napoli, Tip. G. Campo, 1781.

²⁰⁹ Per uno studio più approfondito dei temi trattati in questa sezione, cfr. A. Buccaro, *Opere pubbliche e tipologie urbane nel Mezzogiorno preunitario*, Napoli, Electa Napoli, 1992; cfr. anche *Id.*, *Da architetto «vulgo ingegnere» a «scienziato-artista»: la formazione dell'ingegnere meridionale tra Sette e Ottocento*, in *Scienziati-artisti. Formazione ruolo degli ingegneri nelle fonti dell'Archivio di Stato e della Facoltà di Ingegneria di Napoli*, a cura di A. Buccaro, F. De Mattia, Napoli, Electa Napoli, 2003, pp. 17-43.

²¹⁰ J.N.L. Durand, *Lezioni di architettura*, ried. a cura di E. D'Alfonso, Milano, Clup, 1986, p. 234.

²¹¹ Buccaro, 2011 *cit.*, p.178.

²¹² Per approfondire le opere di Luigi Giura, Cfr. A. Buccaro, *Istituzioni e trasformazioni urbane nella Napoli dell'Ottocento*, Napoli, Edizioni Scientifiche Italiane, 1985.

²¹³ Per approfondimenti sulla figura di Luigi Giura, v. R. Parisi, *Luigi Giura 1795-1864. Ingegnere e architetto dell'Ottocento*, Napoli, Electa, 2003. Cfr. anche E. Cosenza, R. Parisi, *Luigi Giura: il primo ingegnere di Stato nell'Italia in costruzione*, in AA.VV., *Storia dell'Ingegneria 2008 – Atti del 2° Congresso Nazionale*, II, Napoli, Cuzzolin, 2008, pp. 959-970.

²¹⁴ A. Buccaro, *Da architetto vulgo ingegnere*, cit., p. 36.

²¹⁵ Ovvero il Winch Bridge (pedonale, 1741), l'Union Bridge (1820), il Menai Bridge (1826), il Conwy Bridge (1826), l'Hammersmith Bridge (1827).

²¹⁶ Tra cui si segnala il Ponte Počtamtskij, del 1824 e tre ponti pedonali inaugurati a San Pietroburgo nel 1826.

²¹⁷ Per maggiori informazioni sul lavoro di Mazzolani sul ponte, cfr. F. M. Mazzolani, *Il restauro strutturale del ponte "Real Ferdinando" sul Garigliano*, in *Costruzioni Metalliche*, Milano, Associazione fra i Costruttori in Acciaio Italiani, n. 2, 1990. Cfr. anche F. M. Mazzolani, L. Morrica, *Il ponte "Real Ferdinando" sul Garigliano*, Napoli, Edizioni Scientifiche Italiane, 1998.

²¹⁸ Per approfondire l'operato di Giuliano de Fazio a Napoli e nel Mezzogiorno, Cfr. A. Buccaro, *Opere pubbliche e tipologie urbane nel Mezzogiorno preunitario*, Napoli, Electa, 1992, pp. 33-135.

²¹⁹ Per approfondimenti in merito, v. A. Buccaro, A. Maglio (a cura di), *I Libri Antichi della Facoltà di Ingegneria*, cit.

²²⁰ Cfr. M. Torrini, *Scienziati a Napoli 1830-1845*, Napoli, CUEN, 1989.

²²¹ Cfr. A. Buccaro, *Saggi del progresso industriale nella Napoli preunitaria: le sedi di esposizione*, in *Napoli un destino industriale*, a cura di A. Vitale, Napoli, CUEN, 1992, pp. 343 sgg.

²²² M. Torrini, *Op. cit.*, p.38.

6. Gli studi su Leonardo nell'ambiente napoletano tra Otto e Novecento

6.1. Dopo Corazza: la trascrizione vinciana di Bossi e gli studi di Venturi

Parallelamente al significativo sviluppo della figura professionale dello scienziato-artista, nel corso dell'Ottocento si verificano nuovi importanti sviluppi nella diffusione della scienza vinciana: se è vero che la silloge vinciana di Cassiano dal Pozzo, giunta a Napoli, contribuì ulteriormente alla maturazione dello scenario culturale e della professione dell'ingegnere-architetto, pur se in maniera indiretta, bisogna considerare che l'opera donata dai Corazza alla Biblioteca Reale non fu mai oggetto di pubblicazione. Al mancato interesse dei napoletani verso l'apografo corrisponde un'attenzione particolare nel resto della Penisola, forse proprio a causa dell'impatto culturale di Vincenzo Corazza sullo scenario italiano, che promuove tentativi di ulteriore diffusione della scienza vinciana. Condividendo la sorte del manoscritto napoletano, sia Bossi che Venturi non riusciranno a pubblicare le loro opere, traslando l'effettiva disseminazione di un programma di simile portata di altri due secoli, con la pubblicazione del *Codice Corazza* a Napoli.

Come anticipato, per meglio intendere la fortuna del *Codice Corazza* nello scenario culturale italiano non è possibile evitare di riportare l'ambiziosa iniziativa dell'artista Giuseppe Bossi, segretario dell'Accademia di Brera e amico del Canova, noto per aver eseguito la copia a grandezza naturale del *Cenacolo* destinata alla realizzazione del mosaico nella Chiesa di Santo Stefano a Vienna. Sin dal 1808 infatti Bossi progetta un'operazione di trascrizione degli scritti vinciani custoditi all'Institut de France con l'intento di pubblicarli a Milano. Il programma non ha seguito, come testimonia il fatto che lo stesso artista nel 1810 è impegnato in un'analoga operazione a Napoli²²³, incentrata proprio sul *Codice Corazza*, a lui forse noto grazie ai contatti con Vincenzo Cuoco che, come testimonia il Galbiati, in quegli stessi anni *formula un preciso programma, dal Bossi utilizzato, del modo come si dovrebbe studiare Leonardo*²²⁴.

Sulla base delle ricostruzioni di Pedretti sul periodo napoletano di Bossi e le successive integrazioni di Buccaro²²⁵, si osserva che l'artista, in occasione di una visita dal duca Serra di Cassano, è in grado di ottenere la copia del *Codice Leicester* – poi Hammer – di

proprietà del duca, realizzata nel 1717 a Firenze da frate Francesco Ducci, bibliotecario della laurenziana²²⁶. L'apografo, ricco di osservazioni di scienza e di ingegneria in ambiti geologici, astronomici e idraulici sarà acquistato alla morte di Bossi dalla Biblioteca di Weimar su indicazione di Johann Wolfgang von Goethe.

Alla luce del possesso della trascrizione del *Corazza* e dell'apografo del *Leicester*, cui si aggiungono una trascrizione del *Codice Urbinate* ricevuta nel 1809 dal Marini (bibliotecario della Vaticana) e una copia del *De Lumine et umbra* (ovvero il *Ms. C* di Parigi) fornita dall'archivista Daverio dell'Ambrosiana²²⁷, si intuisce come Bossi si prefiguri un programma di pubblicazione degno di quello di Cassiano dal Pozzo, puntando all'edizione in un unico volume degli scritti in suo possesso; il programma però naufragherà alla morte del pittore nel 1815.

La fortuna critica del *Codice Corazza* si delinea anche attraverso una simile iniziativa attuata dallo scienziato emiliano Giovan Battista Venturi²²⁸, invitato nel 1796 a Parigi come segretario di Legazione dal duca di Modena Ercole III. In quest'occasione lo studioso ha un primo contatto con i manoscritti vinciani, dal quale scaturisce grazie alla possibilità di consultazione e parziale trascrizione dei codici, la pubblicazione del celebre *Essai sur les ouvrages physico-mathématiques de Léonard de Vinci*; è proprio nel corso di questo lavoro che vengono segnati i manoscritti originali con la classificazione alfabetica attualmente considerata. Con questo primo tentativo di realizzazione ottocentesca di una silloge vinciana condotta su testi autografi, mirata alla pubblicazione «*in tre compiuti Trattati tutto ciò che il Vinci ha fatto e scritto sulla Meccanica, sull'Idrostatica, e sull'Ottica*²²⁹»; va però riconosciuto un minor approfondimento rispetto alla campagna seicentesca, complice il fatto che Venturi all'epoca non è ancora al corrente del codice napoletano, di cui tenterà di ottenere una copia nel 1814 attraverso una richiesta alla Biblioteca Reale²³⁰, che non avrà seguito. Solo due anni dopo, attraverso il documento dell'amico Bossi, Venturi potrà integrare quanto trascritto dalle fonti francesi con le preziose indicazioni del *Codice Corazza*; da ciò deriva il manoscritto attualmente conservato nella Biblioteca Civica di Reggio Emilia²³¹, più completo rispetto all'opera di fine Settecento e con sufficienti informazioni per la realizzazione di una silloge organica e ordinata, particolarmente in materia di ottica. Anche attraverso la consultazione di altri materiali inediti, tra cui ricordiamo un apografo seicentesco del *Trattato della Pittura*, forse già appartenuto a Bossi, Venturi produce studi di grande importanza, come testimonia la

sua memoria sulle *Dottrine inedite di Leonardo da Vinci intorno all'ottica*, basata sull'analisi del trattato su *Ombre e Lumi*. Come per la silloge seicentesca di Cassiano dal Pozzo, anche gli studi di Venturi, soprattutto per quanto riguarda i codici parigini, si sono rivelati fondamentali per il recupero di alcuni dei testi trafugati da Guglielmo Libri intorno al 1830, soprattutto per quanto riguarda il *Manoscritto E*. Negli studi di Giovan Battista De Toni, confluiti nel 1924 nel suo *Giovan Battista Venturi e la sua opera vinciana*²³², viene evidenziato il lavoro dell'emiliano sia in materia di ottica e prospettiva che per i trattati di meccanica ed idraulica; a ciò si aggiunge un tentativo di ricostruzione della vita di Leonardo attraverso l'intersezione di appunti biografici autografi con il risultato di un confronto tra le tecniche e gli scritti vinciani, soprattutto in materia di architettura e prospettiva, con i testi cui lo scienziato-artista si ispira nei suoi studi (tra cui ricordiamo il *De divina proportione* di Pacioli o i trattati di Francesco di Giorgio Martini).

6.2. Gli iniziatori del leonardismo napoletano

All'interno del contesto scientifico e ingegneristico napoletano, l'interesse per Leonardo da Vinci conserva il proprio carattere di primo piano, permeando le istituzioni accademiche e influenzando figure di spicco. Dall'inaugurazione dell'anno accademico dell'Università di Napoli nel 1885, con il discorso di Dino Padelletti, alla riedizione del *Trattato della Pittura* da parte di Angelo Borzelli nel 1913, l'attenzione per gli studi vinciani ha seguito un percorso particolarmente intenso anche nel XX secolo. Tuttavia, è con la figura di Roberto Marcolongo che l'impatto degli studi condotti sullo scenario culturale nazionale raggiunge una nuova dimensione; le sue pubblicazioni e la partecipazione alla Reale Commissione Vinciana nel Novecento segnano una fase cruciale nello sviluppo degli studi vinciani a Napoli. In questo contesto, Leonardo da Vinci emerge come una figura ancora attuale, un precursore che continua a illuminare il cammino di una nuova generazione di scienziati-artisti. Attraverso le scoperte di questi studi, che apriranno la strada per lo sviluppo di una corrente nel segno dell'operato di Carlo Pedretti, la figura di Leonardo si presenta come un ponte tra il passato e il futuro, contribuendo a plasmare la visione moderna dell'ingegnere-architetto.

Alla fine dell'Ottocento, l'interesse per Leonardo nel mondo scientifico e ingegneristico napoletano continua a manifestarsi malgrado i numerosi sconvolgimenti sociali: emblematica in tal senso è l'inaugurazione dell'anno accademico nell'Università di Napoli del 5 gennaio 1885, a valle dell'epidemia colerica e in attesa di una legge speciale per il risanamento della città, in cui il Professore Dino Padelletti, brillante docente di meccanica razionale, pronuncia un discorso su *Le opere scientifiche di Leonardo da Vinci*²³³. Nel discorso, lo studioso punta a diffondere i recenti studi del Govi e dell'Uzielli nello scenario culturale napoletano, introducendo la possibilità di una pubblicazione nazionale dei manoscritti vinciani e tenendo conto delle recenti riedizioni e degli studi in corso sul *Trattato della Pittura*. Nel discorso si accenna anche alla segnalazione del collega fisiologo Giuseppe Albini, membro dell'Accademia delle Scienze Matematiche e Fisiche di Napoli che intendeva realizzare una copia delle tavole litografiche custodite nella biblioteca reale di Windsor aventi per oggetto i grafici anatomici di Leonardo, proponendo l'istituzione di un comitato di esperti con il supporto dell'Accademia dei Lincei. L'iniziativa, che non avrà seguito, testimonia come l'ambiente partenopeo si dimostri ancora sensibile al tema della diffusione dei precetti vinciani nell'ambiente culturale nazionale, mostrandosi inalterato negli intenti e nel carattere scientifico delineatosi nel corso dei secoli precedenti.

Nel 1913 viene realizzata, ad opera dello storico napoletano Angelo Borzelli²³⁴, una riedizione del *Trattato della Pittura*²³⁵ (che però ha i contenuti del *Libro di Pittura* di Melzi) limitata rispetto alla complessità degli studi vinciani in atto all'epoca ma estremamente significativa per il carattere economico della stampa, che consentirà un'ampia diffusione a inizio XX secolo. Come accennato in precedenza, la conoscenza dell'operato di Corazza sembra già essere svanita: fino alla metà del Novecento difatti tutti gli studiosi che si occupano di materie vinciane, Borzelli incluso, non si riferiranno mai alla silloge vinciana custodita nella Biblioteca napoletana, né tantomeno agli altri importanti contributi dell'abate bolognese²³⁶.

Un'altra traccia fondamentale che evidenzia l'attenzione alla vicenda vinciana nel Mezzogiorno è rappresentata dalla pubblicazione del taccuino del viaggio di Bossi a Roma e Napoli nel 1810, attuata da Nicodemi nel 1961²³⁷, attraverso cui Pedretti ricostruisce il soggiorno napoletano di Bossi, ponendo l'attenzione sul *Codice Corazza* e tentando di definirne una possibile cronistoria, gettando finalmente la luce sulla preziosa testimonianza documentale²³⁸.

6.3. La Real Commissione Vinciana e l'opera di Roberto Marcolongo

I contributi teorici più significativi del periodo vanno riferiti all'operato di Roberto Marcolongo²³⁹, docente di meccanica nell'Ateneo napoletano tra i più importanti esperti di materia vinciana dell'epoca. Ritenuto l'iniziatore degli studi contemporanei sulla figura di Leonardo da Vinci artista-scienziato, Marcolongo, abile storico della scienza, rileva per primo come la ricerca di Leonardo in ambito matematico e fisico non si legasse mai ad un approfondimento delle scienze pure, essendo sempre connessa ad applicazioni pratiche nei vari campi di ingegneria e architettura. Verso la fine dell'Ottocento, Marcolongo assume inoltre una posizione equilibrata – puramente leonardista – nelle dispute tra il metodo sintetico e quello analitico negli studi scientifici, ancora in corso. A partire dal 1923, è attivo nella *Reale Commissione per l'edizione nazionale dei manoscritti e dei disegni di Leonardo da Vinci*, istituita nel 1905, ed è autore di numerosi saggi di materia vinciana, tra cui si segnala, per l'importanza all'interno del presente lavoro, la pubblicazione nel 1939 *Leonardo da Vinci artista-scienziato*, edito più volte fino al 1950²⁴⁰. Il suo operato in materia inizia nel 1925, anno della pubblicazione di un suo saggio su *La prima parte del codice Arundel 263 di Leonardo da Vinci*, contributo autorevole che prelude ad un'ulteriore stagione di approfondimento della scienza vinciana nel secondo dopoguerra, incentivata ulteriormente dalla scoperta dei codici di Madrid nel 1966. Tra i lavori già citati di Marcolongo, in questa pubblicazione risalta la sua conclusione circa gli studi vinciani custoditi nel manoscritto; oltre a sottolineare i riferimenti ad Archimede e a Euclide, Marcolongo riconosce per primo il ruolo di riferimento in Leonardo del *De Ponderibus* di Nemorario, studioso medioevale. Nelle sue pubblicazioni di fine anni Venti²⁴¹, per la prima volta Marcolongo mette in relazione le osservazioni vinciane in materia di meccanica con le sue evidenze sperimentali di natura matematica e geometrica, approfondendo i postulati e i teoremi su cui Leonardo si basa per le proprie teorie (ad opera di Archimede, Euclide, Erone e altri) e che conosce tramite la collaborazione con Pacioli o la consultazione di copie possedute dai suoi contatti. Con questi lavori nasce compiutamente l'esigenza di pubblicare i manoscritti vinciani non adeguatamente studiati sul piano delle scienze matematiche e fisiche, fornendo nuove spinte alle attività della Commissione Vinciana. Un'altra pubblicazione significativa dello studioso è *La meccanica di Leonardo da Vinci*, pubblicata nel 1932 a Napoli²⁴², in cui Marcolongo sottolinea il carattere

frammentario e disordinato degli studi vinciani, mai sistematizzati malgrado i ripetuti intenti dello scienziato-artista, giungendo a ritenere i testi autografi come utili testimonianze, più che della scienza vinciana, dell'evoluzione del metodo d'indagine del toscano, riconoscendo in Leonardo da Vinci l'anticipatore, se non addirittura il fondatore, del metodo sperimentale. Nel testo si confrontano le teorie medioevali consultate dal Vinci con le sue elaborazioni, evidenziando per la prima volta come Leonardo derivi gran parte delle proprie idee dall'interrelazione tra teorie consolidate e sperimentalismo pratico, consentendo a successivi studi che porteranno a ridimensionare, soprattutto con l'operato di Bertrand Gille, l'aura *mitica* che ancora oggi circonda il genio rinascimentale, spesso ritenuto autore di veri e propri *miracoli scientifici*, privi di alcun lavoro di confronto storico e dunque lesivi per la maturazione di una vera consapevolezza sugli importanti contributi del genio vinciano sulla scienza contemporanea.

L'opera più significativa di Marcolongo è, come abbiamo detto, quella su *Leonardo da Vinci artista-scienziato*, pubblicata in contemporanea con l'allestimento dell'importante mostra su Leonardo e le invenzioni italiane nella Sala delle Arti Meccaniche del Palazzo dell'Arte di Milano²⁴³. In questo lavoro vengono presentati nel dettaglio, in forma sintetica e con intenti pienamente divulgativi, tutti i contributi vinciani per la scienza e l'ingegneria moderna e le loro connessioni con l'anima umanistica di Leonardo; l'autore inoltre definisce le dinamiche di vita ed opere di Leonardo alla luce degli studi più aggiornati, oltre che dal confronto delle fonti coeve più attendibili: viene dunque ricostruito sapientemente il periodo di formazione del Vinci, il suo trasferimento a Milano e la maturazione della propria figura di scienziato-artista, il periodo *itinerante* al servizio del *Duca Valentino* e gli anni francesi; a questa prima parte segue una sezione di approfondimento sulla scienza vinciana, illustrando nel dettaglio i risultati del genio in matematica, geometria, scienze naturali ed evidenziando come la meccanica risulti sempre il punto di partenza nei suoi studi di fisica e, al contempo, il risultato del proprio lavoro teorico, sempre tradotto in macchine e dispositivi di varia natura. Attraverso questi studi, Marcolongo riesce a riordinare la scienza vinciana custodita nei codici noti all'epoca, definendo una linea cronologica negli studi del maestro toscano ed evidenziandone i caratteri di precursore delle elaborazioni galileiane, affermando come *i principi fondamentali della statica, della dinamica, della scienza delle costruzioni e del moto delle acque*²⁴⁴ siano ancora un riferimento nelle pratiche ancora in atto in materia.

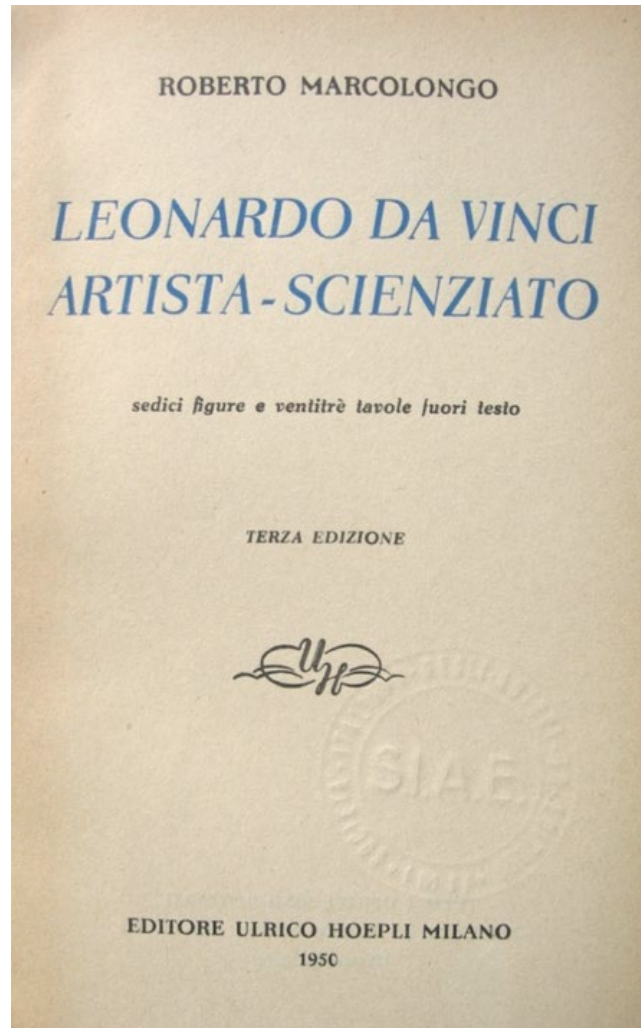


Figura 24: Quarta di copertina della terza edizione del «Leonardo da Vinci Artista-Scienziato» di Roberto Marcolongo.

Per Marcolongo, Leonardo non può essere definito un ingegnere *specialista* pur essendo, in generale, un abile *meccanico*: i suoi studi in larga parte indagano la meccanica teorica (incluso il moto dei fluidi), utilizzando i risultati ottenuti per inventare o innovare dispositivi utili per svariate applicazioni di ingegneria civile, militare, idraulica. In particolare, Leonardo è al corrente delle regole della statica antica e delle tecniche costruttive locali e deriva le proprie teorie in materia di costruzioni da studi precedenti, innovandoli e arrivando a precedere, anche di alcuni secoli, i risultati degli studiosi successivi: ad esempio, anticipa Coulomb in alcune osservazioni sulla resistenza dei materiali. In ambito urbanistico, propone diversi interventi di miglioramento per la città di Milano a valle dell'epidemia di peste del 1503, tra cui una serie di progetti di canalizzazione; in materia cantieristica inventa nuove macchine, tutte basate sul funzionamento della vite – tratta dalle macchine di sollevamento di Brunelleschi – degli

ingranaggi e di complessi sistemi di leve e carrucole, per rendere più agevoli e spedite le attività di cantiere; studia e realizza importanti avanzamenti in materia di ingegneria militare, formandosi sui testi di Vitruvio e Valturio per poi approfondire le ultime elaborazioni in materia di fortificazioni di Francesco di Giorgio Martini e Giuliano da Sangallo; in materia idraulica, Leonardo si pone ancora una volta iniziatore di una nuova corrente di pensiero per il suo approccio strettamente legato alla dimensione pratica...

Emblematica per la presente trattazione è la conclusione dell'opera di Marcolongo sul Codice Forster:

Se [le ricerche di Leonardo] fossero state più universalmente note, come lo furono quasi certamente alcune sue invenzioni e ingegnosi artifici meccanici, esse avrebbero accelerato il progresso della scienza. Dopo più di un secolo gli scienziati ritrovarono ciò che aveva trovato o divinato Leonardo e ricalcarono, con mezzi più potenti e squisiti, la stessa via che Egli aveva genuinamente indicato. Ed è ciò che mi sono sforzato di far risalire da questo lungo lavoro, augurandomi che esso possa fare altresì accrescere sempre più il numero di coloro che anelano di accostarsi con riverente commozione alle opere di Leonardo, al Corpus vincianum che, auspice il Governo Nazionale, è il più grande monumento che l'Italia eleva al genio di uno dei più grandi spiriti.²⁴⁵

Come è evidente, il vasto campo di applicazione degli studi vinciani, sempre legati ad una dimensione pratica e applicativa di natura ingegneristica e architettonica, si presenta quasi inalterato nei principi fondanti la formazione, a cinque secoli di distanza, di una nuova generazione di scienziati-artisti attenti alle varie dimensioni e ai vari aspetti della progettazione delle opere, che rappresentano una nuova figura di sintesi dei vari studi di ingegneria e architettura maturati nei secoli e radicati, come abbiamo visto, negli studi di Leonardo da Vinci.

6.4. L'eredità vinciana negli ingegneri-architetti odierni

La fine del XIX secolo è caratterizzata da sempre più ingenti spinte verso la separazione delle competenze di ingegneri e architetti, complice l'affidamento di insegnamenti di architettura nelle scuole di ingegneria a docenti delle accademie di belle arti. Detto influsso,

giustificato da una crescente necessità di specializzazione dovuta all'impatto della diffusione di nuovi materiali e tecniche costruttive sull'ingegneria e l'architettura, particolarmente negli aspetti strutturali (si richiede uno studio del comportamento strutturale del ferro e delle sue leghe nelle costruzioni, oltre che dei nuovi metodi di realizzazione delle strutture) e stilistici (non si riconosce nel nuovo materiale una dignità stilistico-architettonica, il che conduce alla realizzazione di opere strutturalmente innovative in cui il telaio metallico viene però mascherato), porta ad una prima distinzione tra l'architettura *pratica*, o *tecnica*, appannaggio degli ingegneri e votata alla realizzazione di opere tecnologicamente avanzate, e l'architettura *degli architetti*²⁴⁶, avente per oggetto temi di carattere formale e artistico. Da questa prima distinzione nasce, nella scuola napoletana come nel resto della nazione, l'Architettura Tecnica, citata nella prima volta nel 1880 all'interno dei manifesti degli studi della Scuola di Ingegneria, che si svilupperà fino al primo dopoguerra come una disciplina *bilanciata* tra le materie ingegneristiche e quelle architettoniche, coniugando lo studio dei caratteri costruttivi e dei materiali tipici di diverse opere edili e civili a metodi di calcolo e verifica delle strutture.

Questa corrente di pensiero determina negli anni Venti del Novecento una vera e propria scissione tra le due anime della professione: mentre la Scuola di Ingegneria napoletana tenta di mantenere vivo il percorso didattico *tradizionale* e unificato, contrapponendosi allo sviluppo delle figure *specialistiche* sviluppatesi negli altri settori scientifici in virtù del progresso industriale, la fondazione della Facoltà di Architettura nel 1928 segna la separazione tra la figura dell'architetto, esperto in materie storiche e stilistiche, e l'ingegnere, professionista del campo tecnico-manualistico relegato alla progettazione di opere funzionali ma meno raffinate, impedendo la formazione di un Politecnico napoletano analogo alle esperienze milanesi e torinesi²⁴⁷.

In questo contesto emergono nell'ambiente napoletano alcune eccezioni, figure professionali complete che sembrano ereditare gli influssi metodologici vinciani consolidatisi nell'esperienza preunitaria e che puntano, attraverso il loro operato, a restituire l'integrità del professionista a metà XX secolo.

Camillo Guerra, ad esempio, avverte l'esigenza di fornire una maggior preparazione architettonica agli ingegneri²⁴⁸, impegnandosi a ridefinire il protagonismo dei docenti delle accademie e degli istituti di belle arti nell'insegnamento delle materie storiche e di disegno dell'architettura e, parallelamente, a provvedere ad una solida preparazione artistica nelle

scuole di applicazione *allo scopo di esercitare l'Arte del costruire con bellezza*²⁴⁹. Le osservazioni di Guerra, da lui raccolte nell'articolo *Gli architetti e gli ingegneri... cani e gatti*²⁵⁰, mostrano come la preparazione dell'ingegnere civile nella Scuola politecnica sia ormai estremamente vasta, grazie agli sviluppi delle discipline matematiche, dell'elettrotecnica o delle materie finalizzate al calcolo delle infrastrutture; completamente arida di materie architettonico-artistiche a fronte di una ridondanza di nozioni tecniche. L'ingegnere contrappone a questo curriculum l'istituzione della *scuola specializzata del moderno ingegnere di ponti e strade e quella del moderno ingegnere architetto*, affiancata alle specializzazioni degli ingegneri industriali, chimici, aeronautici e caratterizzata da un accesso limitato a studenti dotati di una solida preparazione umanistica. L'idea di Guerra, pur essendo finalizzata alla formazione di tecnici destinati alla realizzazione esclusiva di opere pubbliche, manifesta una prima traccia di sensibilità verso la produzione architettonica degli ingegneri. Ricevuto l'incarico dell'insegnamento di Architettura tecnica e composizione architettonica, Guerra punta a sopperire alle mancanze artistiche degli insegnamenti della Scuola, cercando di far lavorare gli allievi direttamente in aula, senza sottrarre ore allo studio delle materie scientifiche²⁵¹. Con la propria impostazione didattica²⁵², basata su una rigida disciplina e l'accettazione degli elaborati redatti esclusivamente nel corso delle esercitazioni, Guerra punta a fornire una preparazione artistica e nel disegno tale da garantire un ruolo di parità dei futuri professionisti nello scenario architettonico campano; a seguito di un decennio di esperienza nel campo, nel suo libro di testo infatti scrive²⁵³:

Tutte le costruzioni edilizie vengono progettate ed eseguite con la conoscenza della Meccanica applicata alle Costruzioni, preceduta e completata da una perfetta nozione di tutto quanto viene comunemente raggruppato sotto il nome di Architettura Tecnica. Questa branca iniziale dell'arte del costruire fa conoscere: 1. Gli elementi strutturali degli edifici, i materiali che li costituiscono e la loro tecnica costruttiva; 2. Le opere di completamento degli edifici; 3. Le caratteristiche costruttive che distinguono i vari edifici nelle diverse civiltà e regioni; 4. Le modalità per redigere un progetto e per l'organizzazione esecutiva dei lavori edili. La completa ed armonica conoscenza di queste varie parti, animata dal soffio ispiratore dell'arte, dà la padronanza di progettare ed eseguire edifici solidi, comodi

e belli, ossia – per dirla con Palladio, di costruire con solidità, con comodità e con bellezza.

Guerra sottolinea inoltre come

costruire con bellezza [sia] la condizione più subbiettiva e dipendente dall'aspirazione dell'inventore dell'opera. Occorre che la vista di un edificio soddisfi il sentimento estetico dei contemporanei, ma soprattutto che l'edificio sia bello per la sua stessa essenza strutturale e per l'armonia ambientale che esso determina e non per sovrapposizioni di orpelli o di aggiunte inutili e superflue.²⁵⁴

Distanziandosi dall'elettismo ottocentesco, Guerra si mostra quindi pienamente in linea con le istanze razionaliste della nuova corrente modernista; lo sviluppo dell'architettura tecnica nel secondo dopoguerra seguirà questa scia, assumendo un ruolo cardine nella nuova maturazione dei principi di unità della figura professionale, tradotti nell'istituzione del corso di laurea in Ingegneria Edile-Architettura.

²²³ L'operazione è mal vista da alcuni intellettuali, come Lorenzo Giustiniani che nelle sue *Memorie storico-critiche della Real Biblioteca Borbonica* del 1818 descrive la cessione a fini di trascrizione dei manoscritti di proprietà di Corazza ad un *forestiero*, ricordando il valore riposto negli scritti dal principe ereditario Francesco e sorprendendosi dell'evento, ritenendo più appropriato un tentativo di pubblicazione autonomo della Biblioteca, che avrebbe certamente portato ancora maggior credito all'ambiente culturale napoletano. Cfr. A. Buccaro, M. Rascaglia, *Leonardo e il Rinascimento nei codici napoletani. Influenze e modelli per l'architettura e l'ingegneria*. Napoli, CB ed., 2020, p. 151.

²²⁴ G. Galbiati, *Il «Cenacolo» di Leonardo da Vinci del pittore Giuseppe Bossi nei giudizi d'illustri contemporanei*, in *Anacleta Ambrosiana*, III, Milano, Alfieri e Lacroix, 1920;

²²⁵ A. Buccaro, *Leonardo da Vinci - il Codice Corazza nella Biblioteca Nazionale di Napoli*, I, Napoli, CB ed., 2011, p.75.

²²⁶ *Leonardo e il leonardismo a Napoli e a Roma*, a cura di A. Vezzosi, Giunti-Barbera ed., 1983, p.138.

²²⁷ Buccaro, *Leonardo da Vinci - il Codice Corazza, cit.*, p. 77.

²²⁸ Per approfondimenti sugli studi vinciani di Venturi, v. Melani, *Op. cit.*

²²⁹ C. Amoretti, *Memorie storiche su la vita gli studj e le opere di Leonardo da Vinci*, Milano, G. Motta al Malcantone, 1804, p.142.

²³⁰ In una lettera del 4 novembre 1814 indirizzata al prefetto della Biblioteca Juan Andrés, che aveva già autorizzato la trascrizione di Bossi, si legge una particolare insistenza nello scienziato, che tenta a tutti i costi di far inviare una copia del codice napoletano in Emilia. In questo caso la richiesta non avrà seguito, forse a

causa delle critiche mosse ad Andrés a causa di quanto accaduto con Bossi. Cfr. Buccaro, 2020 *cit.*, pp. 157-158.

²³¹ Il manoscritto presenta il seguente appunto: «*Il signor Giuseppe Bossi pittore copiò questo manoscritto dalla Biblioteca di Napoli, ed io col permesso de' suoi eredi, da tale Copia trassi la mia presente.*» v. Reggio Emilia, Biblioteca Civica, *Ms. Regg. A 38*, segnato «Q». Cfr. Buccaro, Rascaglia, *Leonardo e il Rinascimento*, *cit.*, pp.157-158; Cfr. anche *Leonardo e il leonardismo a Napoli e a Roma*, a cura di A. Vezzosi, Giunti-Barbera ed., 1983, p. 139, scheda di Alessandro Vezzosi; A. Buccaro, *Leonardo da Vinci - il Codice Corazza*, *cit.*, p. 79.

²³² Si veda in proposito la recensione in E. Verga, *Bibliografia vinciana, 1493-1930*, Bologna, Zanichelli, 1931, p. 710.

²³³ D. Padelletti, *Le opere scientifiche di Leonardo da Vinci. Discorso per la inaugurazione degli studii nella R. Università di Napoli, letto il 5 gennaio 1885*, Napoli, Tip. R. Accademia delle Scienze, 1885.

²³⁴ Per approfondire la figura e l'attività di Borzelli, cfr. i suoi contributi in *Napoli nobilissima*, rivista fondata nel 1892 da Benedetto Croce, Michelangelo Schipa, Salvatore Di Giacomo ed altri e attiva ancora oggi.

²³⁵ *Leonardo da Vinci. Trattato della Pittura*, a cura di A. Borzelli, Lanciano, G. Carabba ed., 1913.

²³⁶ Cfr. A. Buccaro, M. Rascaglia, *Leonardo e il Rinascimento*, *cit.*, p. 172-173. Cfr. anche A. Buccaro, *Leonardo «artista-scienziato» nell'opera di Roberto Marcolongo e la permanenza del metodo vinciano nella Scuola d'Ingegneria*, in A. Buccaro, *Leonardo da Vinci - il Codice Corazza*, *cit.*, pp. 181-182.

²³⁷ G. Nicodemi, *Giuseppe Bossi. Un diario, autografi vari, il carteggio con G. G. Trivulzio e due poesie*, in *Archivio storico lombardo*, LXXXVII, s. VIII, X (1961), pp. 587-648.

²³⁸ A. Buccaro, *Leonardo da Vinci - il Codice Corazza*, *cit.*, p. 75.

²³⁹ A. Buccaro, *Leonardo da Vinci - il Codice Corazza*, *cit.*, pp. 181-189; A. Buccaro, M. Rascaglia, *Leonardo e il Rinascimento*, *cit.*, pp. 171-177; Università di Roma Sapienza, Archivio della Biblioteca del Dipartimento di Matematica "G. Castelnuovo", Fondo Marcolongo (1885-1943).

²⁴⁰ Nelle citazioni dei capitoli precedenti ci si è riferiti alla terza edizione, del 1950. La precedono l'edizione del 1939 e quella del 1943, tutte pubblicate dall'editore Ulrico Hoepli a Milano.

²⁴¹ Cfr. R. Marcolongo, *Leonardo da Vinci nella storia della meccanica e della scienza*, in *Atti del Congresso Internazionale dei Matematici* (Bologna, 3-10 settembre 1928), Bologna, Zanichelli, 1929-32; *Id.*, *Le ricerche geometrico-meccaniche di Leonardo da Vinci*, in *Atti della Società italiana delle Scienze detta dei XL*, Roma, Bardi, 1929

²⁴² R. Marcolongo, *La Meccanica di Leonardo da Vinci*, Napoli, Stabilimento delle Industrie Editoriali Meridionali (per i tipi dell'Accademia delle Scienze Fisiche e Matematiche), 1932.

²⁴³ La mostra è particolarmente significativa nella ricostruzione della storia della tecnologia vinciana per la costruzione di modelli delle macchine vinciane, tramite cui la figura di Leonardo ingegnere si diffonde nella cultura popolare. L'iniziativa, di stampo propagandistico del regime fascista, sarà riproposta a New York nel 1940 e a Tokyo nel 1941. Al ritorno dal Giappone, la nave con i modelli fu bombardata e affondò al largo dell'arcipelago asiatico. Cfr. A. Bernardoni, *Leonardo ingegnere*, Roma, Carocci ed., 2020, p. 18.

²⁴⁴ R. Marcolongo, *Il trattato di Leonardo da Vinci sulle trasformazioni dei solidi. Analisi del Codice Forster I, nel «Victoria and Albert Museum»*, Napoli, S.I.E.M., 1934, p. 141.

²⁴⁵ *Ivi*, pp. 262-263.

²⁴⁶ Cfr. A. Buccaro, *L'insegnamento dell'architettura tecnica nella Regia Scuola d'Ingegneria di Napoli*, in *Daniele Donghi. I molti aspetti di un ingegnere totale*, a cura di G. Manzi, G. Zucconi, Venezia, Marsilio 2006, pp. 220 sgg.

²⁴⁷ Volendo ripercorrere brevemente le successive evoluzioni della Scuola di Applicazione di Ponti e Strade, con l'Unità d'Italia la scuola diventa *Scuola di applicazione degli ingegneri del genio civile*, situata nell'ex convento di Santa Maria Donnaromita; nel 1863 viene adeguata al modello torinese, adottando il nome di *Scuola di applicazione per gl'ingegneri*, comune a tutte le scuole politecniche civili italiane, e viene posta sotto la dipendenza del Ministero della pubblica istruzione in luogo di quello dei lavori pubblici. A partire dal 1876 la scuola è caratterizzata da due corsi quinquennali, uno per ingegneri e l'altro per architetti, distinti per un differente *peso* affidato alle discipline scientifiche ed artistiche; è in questo periodo che si acquisiscono le tensioni tra la Scuola di applicazione e l'Istituto di belle arti, erede dell'Accademia, che però non rilascia ancora un titolo abilitante. Diventata *Scuola superiore politecnica* nel 1905, avendo incorporato in sé una sezione industriale due anni prima, la scuola acquisisce un nuovo statuto nel 1925, su iniziativa del governo fascista. A valle dello *scisma*, conseguenza dei contrasti di fine Ottocento, nel 1935 tutte le scuole politecniche italiane vengono aggregate alle rispettive università, divenendo *Facoltà di Ingegneria*; unica eccezione sono quelle di Torino e Milano, che restano autonome e conservano la denominazione di *Politecnico*, comprendendo le Facoltà di ingegneria e di architettura in una singola istituzione. Cfr. A. Buccaro, *Da «architetto vulgo ingegniero» a «scienziato-artista»: la formazione dell'ingegnere meridionale tra Sette e Ottocento*, in A. Buccaro, F. De Mattia, *Scienziati-artisti, cit.*, p. 37.

²⁴⁸ C. Guerra, *Polemiche per la specializzazione degli ingegneri in Architettura*, in *Opuscoli di Architettura Tecnica*, s.n. (1923-1928).

²⁴⁹ *Ibidem*.

²⁵⁰ *Id.*, articolo comparso sul *Giornale d'Italia* il 28 giugno 1923.

²⁵¹ Cfr. *Id.*, *Quaderni di architettura e di urbanistica napoletana raccolti dall'ing. C. Guerra*, XXX, 1935.

²⁵² Strutturata in un primo anno di ridisegno dei monumenti del passato, memore dell'esperienza delle Accademie francesi, e un secondo anno incentrato sulla redazione di un progetto fino alla scala di dettaglio, adottando temi tra i più tipici dell'edilizia pubblica e privata; il primo anno assolve anche la funzione di fornire ai futuri tecnici nozioni di carattere storico, mancando il tempo per delle vere e proprie lezioni di Storia dell'Architettura. A ciò si aggiungevano le *tipiche* lezioni di Architettura Tecnica, in cui venivano descritti materiali, elementi strutturali e tecnologie costruttive. Per approfondimenti in materia cfr. Buccaro, *L'insegnamento dell'architettura tecnica, cit.*, p. 230.

²⁵³ C. Guerra, *Architettura Tecnica*, Napoli, R. Pironti ed., 1945, p.13

²⁵⁴ Le trascrizioni derivano da A. Buccaro, *L'insegnamento dell'architettura tecnica, cit.*

Parte II

Santa Caterina a Formiello: storia e ipotesi di intervento strutturale

*« If architects can be compared to novelists, who tell a sweeping story,
then engineers surely are poets, finding beauty in economy. »*

Ahmad Rahimian

7. Studi storico-architettonici

Fondamentale testimonianza per comprendere il contesto storico e artistico della città, la Chiesa di Santa Caterina a Formiello si presenta come un esemplare raro di rinnovamento architettonico e culturale nel XV secolo²⁵⁵. Nata come Chiesa di quartiere in una zona inizialmente esterna alla città per poi essere riprogettata da Francesco di Giorgio Martini e completata da Antonio Marchesi da Settignano sul volgere del XVI secolo, la Chiesa si rivela un affascinante palinsesto delle influenze rinascimentali fiorentine che hanno plasmato la città di Napoli tra il Quattrocento e il Cinquecento.

7.1. Inquadramento storico

Come riportato dal Furnari²⁵⁶, la prima rappresentazione topografica attendibile della città che raffigura la Chiesa è la mappa cinquecentesca di Carlo Theti, in cui l'edificio viene registrato al numero 39 della legenda. La Chiesa rappresentata appare come un volume isolato che funge da testata di un lotto stretto e lungo, parallelo alle mura di città. È significativo osservare che nella rappresentazione l'ingegnere omette la cupola e il tiburio e non indica in alcun modo la zona presbiteriale, riportando invece un campanile autonomo rispetto all'impianto della Chiesa. Va però ricordato che il Theti semplifica spesso la rappresentazione degli edifici, limitandosi ai caratteri principali e tralasciando in diversi casi la presenza di cupole (come evidente per la rappresentazione di San Pietro a Majella)²⁵⁷; più significativa è l'indicazione del campanile, essendo la mappa sempre precisa ed attendibile in merito. Non essendo rappresentati gli altri corpi del complesso conventuale – a differenza degli altri aggregati di simile natura, che vengono sempre rappresentati nella loro interezza – si deduce che l'area è stata raffigurata in un momento intermedio della storia di rinnovamento dell'impianto²⁵⁸. Difatti, nella Lafréry-Duperac del 1566 si riconosce un complesso di dimensioni significativamente maggiori, con la cupola su tamburo cilindrico a copertura della crociera ma priva del campanile²⁵⁹ osservato nella raffigurazione del Theti. Con la rappresentazione di Mario Cartaro di fine Cinquecento si riconoscono ulteriori dettagli nell'insula, come la presenza di due ampie corti collegate alla Chiesa tramite un edificio con cortile interno²⁶⁰.

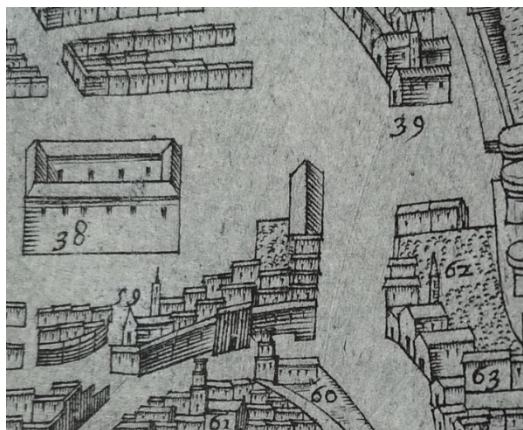


Figura 25: La Chiesa di Santa Caterina a Formiello (39) nella veduta di Carlo Theti del 1560 (Da «Santa Caterina a Formello. Vicende di un'insula napoletana», Napoli, Electa Napoli, 1996).

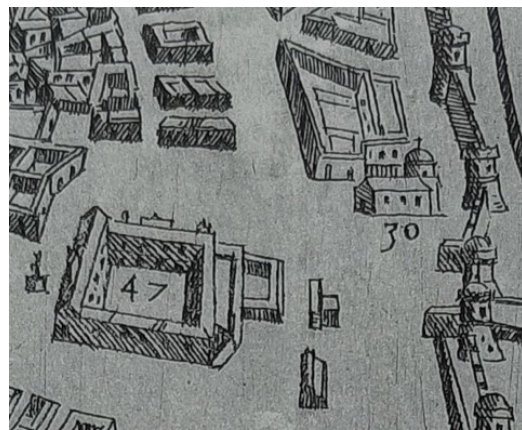


Figura 26: La Chiesa di Santa Caterina a Formiello (30) nella veduta di Lafriéry e Duperac del 1566 (Da «Santa Caterina a Formello. Vicende di un'insula napoletana», Napoli, Electa Napoli, 1996).

Con la veduta di Alessandro Baratta del 1627 si riconosce la Chiesa – pur se sintetizzata omettendo il transetto e la zona absidale e con una serie di imprecisioni – nelle sue forme attuali, includendo il nuovo campanile, ultima realizzazione della nuova fabbrica.

Edificata in una zona inizialmente *extra moenia*, la Chiesa sarà inclusa entro il circuito cittadino nel corso della campagna di espansione del confine orientale voluta dal re Ferrante per svariati motivi politici, urbanistici e militari²⁶¹, in un ambiente tra i più complessi ed interessanti della nuova addizione urbana di fine Quattrocento²⁶². La rinnovata Chiesa di Santa Caterina a Formiello rappresenta sin dalle sue origini un punto di riferimento nella definizione di uno degli spazi più rappresentativi della città, come sottolinea il Pane²⁶³:

Gli Aragonesi avevano dato decoro al più importante ingresso urbano con tre diverse fabbriche: una villa, un arco trionfale ed una Chiesa; tra Porta Capuana e la Villa di Poggioreale la strada fu poi alberata e arricchita di fontane, come si vede nella seicentesca pianta di Stopendael. Inoltre, a chi varcava Porta Capuana, si offriva, di scorcio, la prospettiva della più importante Chiesa napoletana del Cinquecento, quella di Santa Caterina a Formiello; tutto questo non sorgeva appartato, ma creava una nuova scena e un nuovo sfondo al tumultuoso andirivieni della vita popolare.

Difatti, l'edificio religioso si colloca in prossimità del principale asse di collegamento con il sistema collinare di Poggioreale e Capodichino e le province del regno, particolarmente

trafficato in virtù del collegamento tra la porta e la zona del mercato (situata in piazza San Gaetano dall'età greco-romana fino al 1270, anno del trasferimento nell'attuale piazza Mercato).

L'attuale complesso, realizzato dagli inizi del Cinquecento, sorge in luogo di un più piccolo impianto, probabilmente medioevale²⁶⁴, dedicato a Santa Caterina d'Alessandria vergine e martire, detto sin da subito *a Formiello*²⁶⁵ per la sua prossimità all'antico acquedotto della Bolla, sostituito da quello del Serino a fine XIX secolo. Le fonti storiche sulla Chiesa monumentale, attestata la sua posizione strategica, sono diverse e molto stratificate²⁶⁶; molte di queste²⁶⁷ saranno raccolte da Gennaro Aspreno Galante, che nel 1872 scrive²⁶⁸:

Presso Porta Capuana è il tempio di S. Caterina Martire detto a Formello perché eran quivi una volta i formali d'acqua della Città. In questo luogo sorgeva prima del secolo XV una chiesetta sacra a S. Caterina, patronale delle famiglie Zurlo ed Aprano, e dappresso eravi un ospedale retto da pia Congrega laicale, che avea in detta Chiesa una cappella col titolo di S. Maria dell'Ospedale. Nel 1478 vicino la Chiesa fu fabbricato un Convento, e l'uno e l'altro concessi ai Padri Celestini, che ebbero pur la cura dell'Ospedale. Nel 1489 Alfonso II tuttora Duca di Calabria [...] comprò col permesso e bolla di Papa Innocenzo VIII, per ducati 1000, il Monastero e Chiesa di S. Caterina a Formello da' Padri Celestini [...]. Ma morto Alfonso, il successore Federigo [...] donò la Maddalena ai PP. Domenicani Lombardi. [...] I Domenicani [...] riedificarono il Monastero, che si compì nel 1523; l'architettura di questa Chiesa tanto nella parte interna quanto esterna è bellissima, opera di Antonio Fiorentino di Cava; la cupola è la prima a sesto acuto che siasi veduta in Napoli, bel monumento del risorgimento delle arti; elegantissimo il frontespizio. Meriterebbe però il lato esterno della Chiesa essere sgombrato dai goffi magazzini, che ne deturpano l'eleganza architettonica.

Risulta evidente, oltre l'apparente *impasse* sulla paternità del progetto, come la Chiesa suscitò un vivo interesse nello storico, se non nei cronisti che lo hanno preceduto, particolarmente per la cupola estradossata e per il soffocamento dell'impianto architettonico dovuto al dilagante abusivismo edilizio in prossimità della cinta muraria, come testimoniano diverse vedute del largo antistante o di Porta Capuana.

La struttura, completata intorno al 1577, viene interessata da lavori di finitura e abbellimento almeno per tutto il secolo successivo, con decorazioni a stucco, affreschi e lavori di pavimentazione che adeguano la Chiesa al gusto contemporaneo, adattandola dal linguaggio rinascimentale a quello controriformistico fino ad includere elementi propri dell'ultimo periodo barocco. In particolare, risulta che la pavimentazione a inizi Seicento era in marmo bianco, successivamente sostituita da quella attuale, e che la cupola era originariamente rivestita da embrici maiolicati con costoloni in piombo, come testimoniato da fonti archivistiche che, a seguito del terremoto del 1688, citano interventi di risarcitura delle lesioni, di rivestimento in piombo per la lanterna e i costoloni della cupola e di sostituzione delle *reggiole* mancanti²⁶⁹. Realizzato il portale seicentesco d'ingresso, dal 1659 si iniziano i lavori di rivestimento delle facciate, che al secondo ordine si presentavano ancora al rustico; i padri domenicani scelsero di uniformarsi a quanto realizzato nel secolo precedente invece di determinare una sovrapposizione di stili – particolarmente comune nel periodo – adottando delle lesene in piperno in cui l'unica nota distintiva rispetto alle finiture precedenti è nel disegno dei capitelli. Completati i lavori sull'esterno, nel 1677 iniziano le attività di finitura all'interno, con cicli pittorici che vedono il pennello di Nicola Rossi e Gaetano Avandi nel coro, Luigi Garzi sulla volta della navata e i pennacchi della cupola, Francesco Solimena all'intradosso della cupola (completato da Paolo de Matteis a seguito di contrasti tra i domenicani e Solimena)²⁷⁰.

In base alle informazioni ricavate dai confronti tra un dipinto attribuito ad un ignoto del XVII secolo, la cartografia del duca di Noja e la pianta di fine Settecento di Giovanni Antonio Rizzi Zannoni, risulta la realizzazione di una cortina edilizia addossata al fianco della Chiesa a fine XVIII secolo, che saranno rimossi nel corso delle operazioni di restauro degli anni Trenta del Novecento²⁷¹.

La Chiesa subirà diversi danni a seguito di eventi naturali, tra cui il sisma del 1683, che provoca il crollo della lanterna in piperno, i cui blocchi danneggiano il rivestimento della cupola e si rompono sull'estradosso della navata, ancora scoperta; nella ricostruzione si sceglie di realizzare la lanterna nelle forme precedenti ma in mattoni anziché in pietra, così da garantire una struttura più solida e leggera²⁷². Con il terremoto del 1688, la Chiesa viene ulteriormente danneggiata, con un'importante lesione sulla cupola che viene risarcita con un vero e proprio intervento di *scuci e cucì*²⁷³. Ancora, nel 1694 un ulteriore evento

tellurico compromette la stabilità del tamburo della cupola, richiedendo un consulto che risulterà in un interessante intervento di consolidamento:

Dalla maggior parte degli Ingegneri et Architetti, fu concluso, che per riparare et assicurare detta cupola, il più sicuro rimedio, era di fasciarla, e cingerla per intiero con un grande cerchio di ferro sopra il cornicione, nel principio del tamburo.²⁷⁴

Nel 1697, in anticipo sull'analogo intervento per la cupola di San Pietro a Roma, viene dunque realizzata la cerchiatura della cupola.

A seguito della soppressione murattiana dell'Ordine domenicano del 1806, dal 1815 il monastero viene riadattato a nuovi usi dal re Ferdinando I delle Due Sicilie; tra le nuove destinazioni d'uso delle parti del complesso, particolarmente di rilievo è il Lanificio Sava, situato nel chiostro grande ed in attività tra il 1824 e il 1869, che può essere ritenuto uno dei più importanti opifici napoletani nel programma borbonico di sviluppo industriale, avviato a seguito della Restaurazione²⁷⁵.

A seguito del terremoto dell'Irpinia del 1980, la Chiesa risulta compromessa dal punto di vista statico, richiedendo un importante lavoro di restauro; nel corso degli anni Novanta viene condotta una prima campagna di operazioni – volta a garantire un parziale ripristino di sicurezza dell'edificio – cui segue un ulteriore intervento sugli affreschi nel 2007²⁷⁶.



Figura 27: Pasquale Mattei, «Mercato a Porta Capuana con Chiesa di Santa Caterina», Napoli, 1845, collezione privata (Da «Santa Caterina a Formello. Vicende di un'insula Napoletana», Napoli, Electa Napoli, 1996). Si osservi l'immagine della Chiesa nelle sue forme attuali, il corpo addossato alla sua facciata e la presenza sullo sfondo di una ciminiera del lanificio Sava.



Figura 28: Giovanni Battista Costa, Veduta di Porta Capuana, in G. B. Costa, T. Dessonlavy, F. Santarelli, P. Parboni, «Raccolta di vedute del Regno di Napoli e suoi contorni disegnate al Vero», Roma, P. D'Atri, 1850.

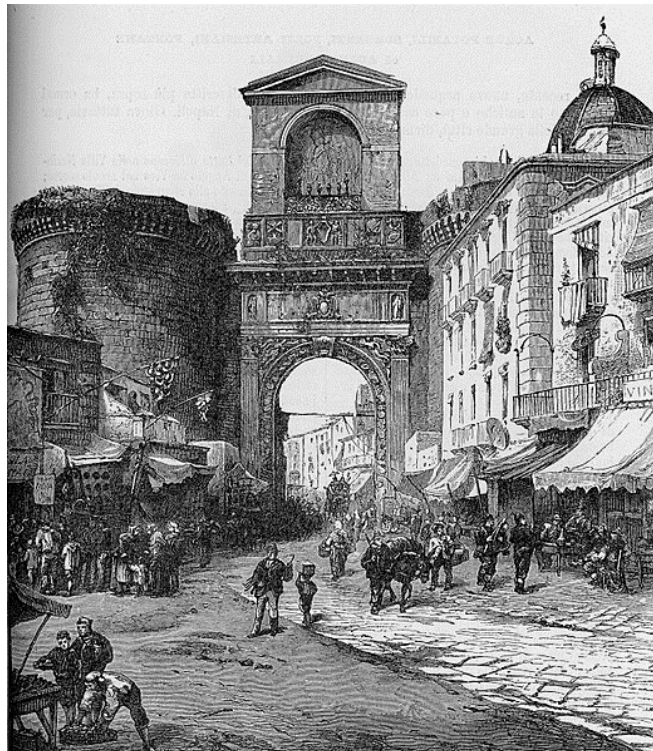


Figura 29: Veduta di Porta Capuana del 1894. Si osservi la cupola della Chiesa nascosta dagli edifici. Da G. Straffòrello, *La patria, geografia dell'Italia, Parte Quarta – Italia Meridionale*, Napoli. Unione Tipografico-Editrice, Torino, 1894.



Figura 30: Veduta della facciata esterna di Porta Capuana. Si osservi l'intervento di restauro avvenuto sulla porta negli anni '30 e la rimozione degli edifici addossati ad essa. Archivio fotografico Luce, fondo Amoroso., codice foto FA00004835.



Figura 31: Fotografia degli anni Venti di piazza Enrico De Nicola, già piazza de' Tribunali. Si osservi la cortina edilizia che maschera la facciata laterale della Chiesa. Archivio fotografico Luce, codice foto L00000291.



Figura 32: Cartolina del 1957. Si osservi la totale liberazione della zona absidale e la ciminiera del lanificio.

Avendo ricostruito sinteticamente gli sviluppi storici dell'impianto, ci si soffermerà ora sulla possibile natura del toponimo *Formiello*, rilevante per consentire uno studio approfondito del sistema statico e della natura del terreno su cui si erge la Chiesa. Difatti, il termine si ricollega al *formale*, ramo principale dell'antico acquedotto della Bolla²⁷⁷ che conduceva l'acqua alla città dalla piana di Volla. Non essendo mai stato condotto un rilievo preciso di questo tratto di canalizzazione all'interno delle mura, Frediani²⁷⁸ ripercorre gli studi e le fonti presenti in materia, ricordando il ruolo di primo piano dell'opera infrastrutturale – principale sistema di adduzione della capitale del Regno e passaggio *strategico* utilizzato dai bizantini e dagli aragonesi per impossessarsi della città aggirando le fortificazioni – e ricostruendo le possibili giaciture del canale²⁷⁹, da cui risulta che la cisterna presente al di sotto del cortile trapezoidale in vico Santa Caterina a Formiello – realizzata a partire dal 1543 per alimentare le attività del monastero – era alimentata da una diramazione minore del *Formale Reale*²⁸⁰. Non a caso, tra le opere di restauro di inizi Novecento, risulta un intervento di isolamento della Chiesa e di Porta Capuana del 1936, basato su un progetto di sistemazione redatto dal Commissariato straordinario di Governo per Napoli²⁸¹. Risulta che, in definitiva, il rapporto tra l'edificio religioso e l'infrastruttura civile deve aver definito in maniera piuttosto significativa la posizione e le modalità costruttive del complesso monastico, particolarmente per ciò che concerne le strutture di fondazione;

inoltre, piace pensare che la presenza di una fonte di approvvigionamento idrico possa aver caratterizzato la destinazione ottocentesca di parte del convento a lanificio, rendendo la Chiesa un luogo in cui il rapporto tra superficie e sottosuolo – sempre molto complesso nel centro storico di Napoli – si rivela determinante per l'evoluzione dell'intero sistema²⁸².

7.2. La struttura architettonica

La Chiesa di Santa Caterina a Formiello si compone di una pianta a croce latina con singola navata affiancata da cinque cappelle laterali su ciascun lato, un transetto con due altari laterali, un'abside di forma rettangolare e una cupola a sesto rialzato. Un ordine di paraste corinzie, poste su alti piedistalli, si alterna agli archi delle cappelle, coperte da volte a botte come la navata. Le finestre delle cappelle conservano un disegno uniforme sia all'interno che all'esterno (pur essendo decorate all'interno, con dorature e stucchi di gusto barocco), mentre quelle superiori sono a tutto sesto all'interno, integrandosi nelle lunette della volta a botte. Ogni arco, inclusi quelli che sorreggono la cupola, è sormontato da una mensola che richiama il motivo ornamentale della vicina Porta Capuana, spostata nella sua posizione

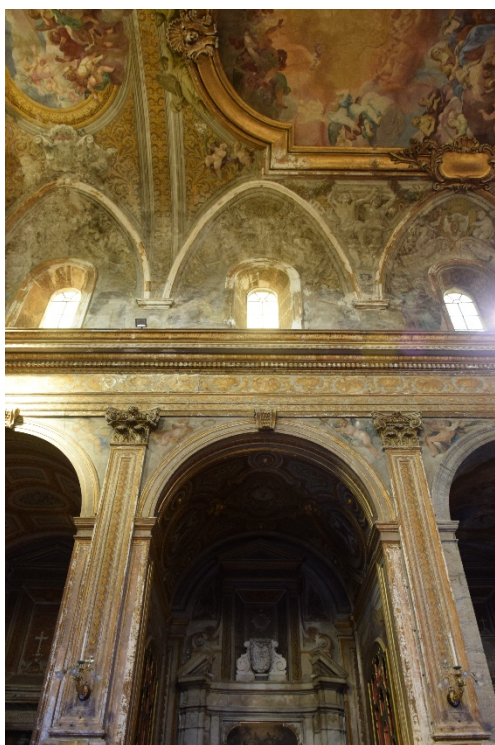


Figura 33: La copertura della navata, i due ordini di finestre e le cappelle laterali (Polidoro, 3 marzo 2024)



Figura 34: La cupola e il campanile a vela visti da via C. Rosaroll (Polidoro, 3 marzo 2024)

attuale nel 1484 a seguito dell'ampliamento delle mura cittadine ad Est, promosso da Ferdinando d'Aragona e progettato da Giuliano da Maiano.

Particolarmente significative dal punto di vista storico-architettonico sono le quattro finestre circolari, disposte in croce sulle facciate del transetto, sulla facciata principale e sulla parete di fondo dell'abside. Per ciò che riguarda le forme esterne dell'impianto, il prospetto laterale, in affaccio sulla piazza, è scandito da un doppio ordine di lesene con capitelli corinzi su un alto basamento in piperno, inquadrando diverse aree rivestite da intonaco bianco che rimandano fortemente al linguaggio rinascimentale toscano e in cui si inseriscono delle finestre a tabernacolo, con un'analogha scansione tra l'allineamento esterno delle cappelle e quello della navata, in cui ai pilastri si sostituiscono delle volute – affiancate a pinnacoli in piperno e che sorreggevano dei pinnacoli a forma di pera sormontati da sfere in pietra, purtroppo scomparsi²⁸³ – che fungono da raccordo in altezza tra i diversi volumi; in luogo di una copertura a falde estradossata, il coronamento è costituito da un parapetto in piperno su un alto cornicione, presumibilmente da intendersi come soluzione in grado di evidenziare ulteriormente in altezza la cupola. La facciata principale si organizza in un portale seicentesco sul quale si imposta una delle citate finestre circolari, a sua volta inquadrata da due lesene in piperno che sostengono il cornicione su cui si imposta la balaustra; anche in questo caso, l'accorgimento progettuale nell'attacco a cielo consente di valorizzare la cupola anche da distanze ravvicinate (forse legato alla ridotta lunghezza della piazza e della parte di via dei Tribunali da cui è possibile osservare la Chiesa²⁸⁴), sacrificando lo slancio verticale offerto dalle volute; si potrebbe leggere in questa composizione un tema tipico della progettazione dei palazzi nobiliari napoletani in cui, per consentire ai passanti di osservare la grandiosità delle residenze, si attuavano numerosi accorgimenti progettuali



Figura 35: La Chiesa vista da piazza de Nicola (Polidoro, 3 marzo 2024).

– particolarmente nelle corti interne, in affaccio sull'esterno – così da sopperire alla larghezza ridotta delle strade del centro storico, che non consentono una visione agevole delle facciate.

In virtù dell'organizzazione della Chiesa che, pur essendo a croce latina, presenta un'organizzazione planimetrica iscritta in un rettangolo, lo storico George Weise la classifica come appartenente ad uno *schema tipologico congregazionale* – caratterizzato da chiese ad aula unica con cappelle laterali, transetto contenuto nel rettangolo di pianta e cupola che domina la crociera – sviluppatosi inizialmente in Spagna per poi diffondersi nella Controriforma; a questa visione si contrappone Giuseppe Zander, che riferisce la Chiesa ad esempi italiani precedenti, come Sant'Andrea in Mantova, di Alberti; essendo realizzata nel XVI secolo, con interventi sugli spazi interni nel corso del secolo successivo, si ritiene plausibile l'ipotesi del Cilento²⁸⁵, secondo cui la Chiesa, che precede i risultati del Concilio di Trento (1545), possa esserne stata influenzata nelle sue ultime fasi costruttive, adeguandosi *in fieri* ai principi controriformistici.

Originariamente, la Chiesa – attualmente arricchita da affreschi e interventi barocchi – era adornata con sobri e lineari elementi in piperno grigio, in sintonia con l'influenza architettonica fiorentina²⁸⁶. Un intervento di restauro negli anni Settanta ha infatti rivelato, tramite la rimozione dello strato superficiale di stucco, la continuità materica e decorativa degli elementi nella navata e nelle cappelle che ripercorrono fedelmente le linee strutturali dell'edificio, offrendo una chiara visualizzazione della distribuzione delle strutture architettoniche. Nell'impianto planimetrico, gli influssi rinascimentali sono più chiaramente riconoscibili, come riscontrabile nelle cappelle laterali, di forma all'incirca



Figura 36: La Chiesa vista da piazza S. Francesco a Capuana (Polidoro, 3 marzo 2024).

quadrata, che costituiscono un modulo rispetto al quale è possibile misurare la larghezza della navata, del transetto, del coro e, quindi, della crociera, tutti pari a due moduli.

La cupola estradossata, a sesto rialzato, viene segnalata da diversi storici come *la prima che fosse stata vista in Napoli*²⁸⁷, definendo un ulteriore carattere di originalità e distacco dallo stile napoletano coevo, caratterizzato in larga parte da una commistione tra il linguaggio locale e gli influssi dei tecnici spagnoli, che ha verosimilmente suscitato l'ammirazione, se non dei cittadini, dei tecnici e dei cronisti dell'epoca. La fabbrica si completa con la realizzazione del campanile a vela nel 1593²⁸⁸; questo evento segna la nascita di uno schema caratteristico per gran parte delle chiese napoletane del Cinquecento, configurandosi come declinazione locale delle iniziative controriformistiche²⁸⁹.

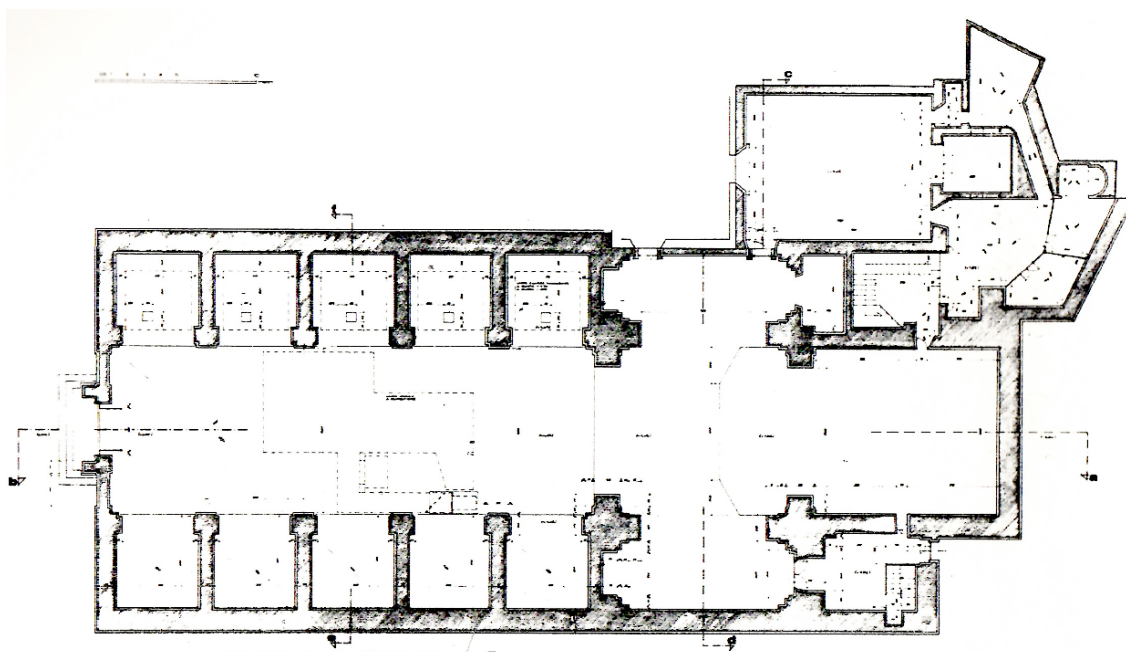


Figura 37: Planimetria della Chiesa di S. Caterina a Formiello (da Petreschi)

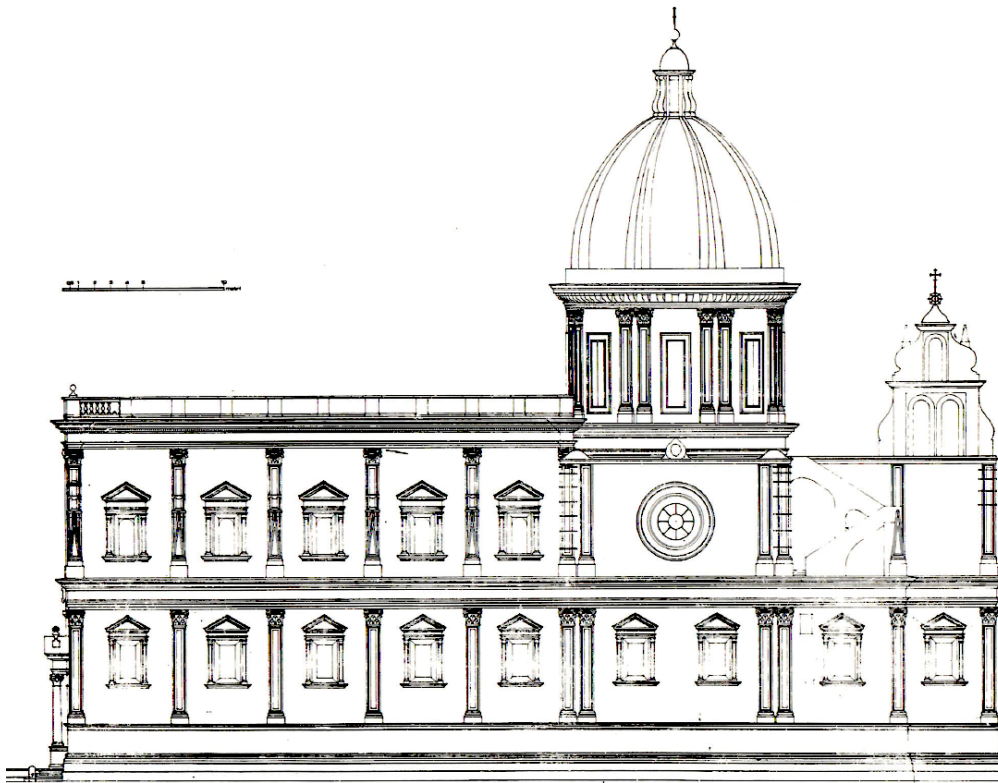


Figura 38: Prospetto della Chiesa su piazza De Nicola (da Petreschi)

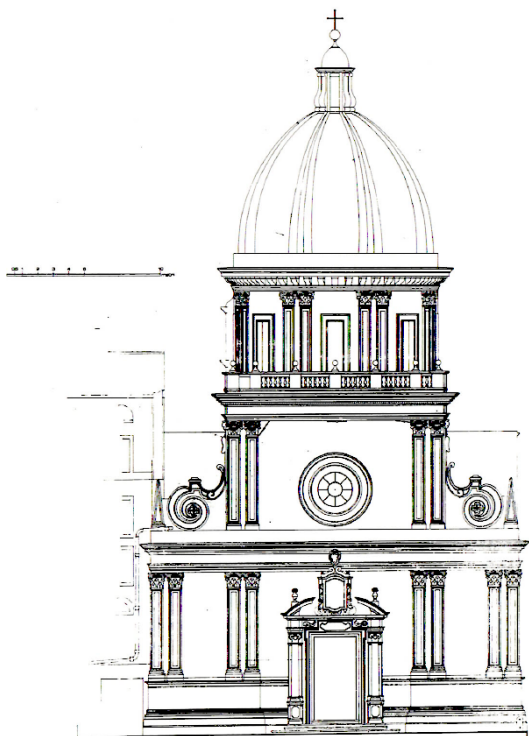


Figura 39: Prospetto su via S. Giovanni a Carbonara (da Petreschi)

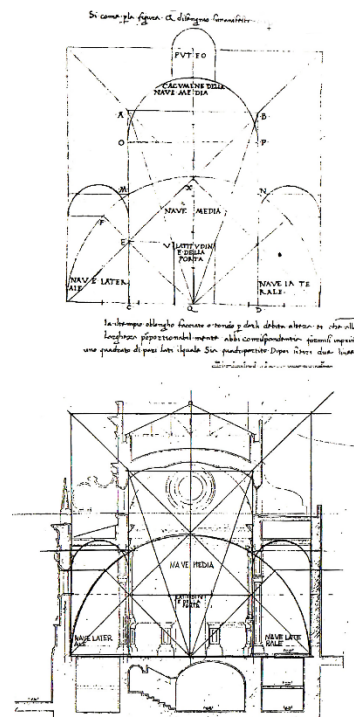


Figura 40: Confronto tra il diagramma compositivo per l'elevazione di un impianto basilicale di Francesco di Giorgio Martini e la sezione trasversale di S. Caterina a Formiello (da Petreschi)

Sotto il profilo compositivo, le descrizioni tipologiche presenti nei trattati di Francesco di Giorgio Martini confermano la stretta aderenza dell'impianto planimetrico generale della Chiesa di Santa Caterina a Formiello ai canoni proporzionali definiti in via teorica. Come riconosciuto dal Petreschi²⁹⁰, il confronto tra la pianta della Chiesa in questione e il celebre disegno antropomorfo del trattato del Martini, insieme al suo schema di proporzionamento, rivela una corrispondenza precisa tra la partizione modulare del disegno di Francesco di Giorgio e le proporzioni osservabili nella Chiesa di Napoli. I nove moduli longitudinali del diagramma di Martini trovano un riscontro diretto nei nove moduli di Santa Caterina (cinque relativi alla navata, due al transetto, due all'abside), mentre altrettanta corrispondenza è riscontrabile nei quattro moduli trasversali (due per la navata e due per le cappelle laterali). Tale parallelismo si manifesta in modo evidente anche nei punti di tangenza con le opere ecclesiastiche realizzate da Martini, con particolare riferimento, come sarà esaminato, alla Chiesa di Santa Maria delle Grazie al Calcinaio, situata nelle vicinanze della città di Cortona.

7.3. Un'analisi comparata: la Madonna del Calcinaio a Cortona di Francesco di Giorgio

Malgrado la trasformazione compositiva dell'impianto dovuta a stratificazioni edilizie e decorative, l'organismo complessivo della Chiesa di Santa Caterina a Formiello corrisponde in gran parte ai più noti modelli toscani rinascimentali. In particolare, la Chiesa appare imparentata nelle sue linee fondamentali all'opera di Francesco di Giorgio Martini,



Figura 41: Cortona, Santa Maria delle Grazie al Calcinaio, fianco occidentale (foto Bruchi, da F. P. Fiore, M. Tafuri)

particolarmente in relazione alle similitudini nell'impianto, nell'organizzazione delle facciate e in altri dettagli tipologico-formali con la Madonna del Calcinaio a Cortona.

Nella struttura ecclesiastica concepita dal Martini in Toscana, la disposizione a croce latina si caratterizza per la presenza di un doppio ordine di lesene, sia internamente che esternamente. All'interno, questi pilastri si alternano agli archi al primo ordine, mentre quelli di ordine superiore si alternano alle finestre, di cui l'immagine architettonica, salvo lievi modifiche proporzionali, presenta una corrispondenza assoluta con quella riscontrabile nelle finestre della Chiesa napoletana, sottolineata dalla analoga strombatura²⁹¹, evidentemente motivata da criteri di illuminazione e dallo spessore delle murature d'ambito, necessario per contrastare le spinte delle volte senza ausilio di catene²⁹². La presenza delle finestre circolari nei *punti topici* della croce latina – elemento comune a Cortona e Napoli – e la loro interconnessione simbolica e funzionale, conferma l'ipotesi di una diretta influenza figurativa²⁹³.

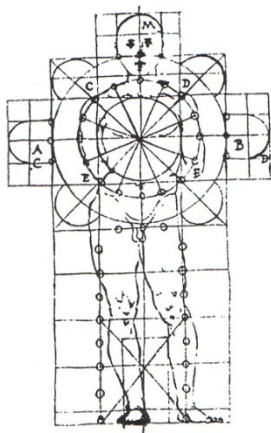


Figura 42: Francesco di Giorgio, schema di pianta di edificio Chiesastico con inserita una figura umana. Firenze, Biblioteca Nazionale Centrale, Codice Magliabechiano II. I. 141, c. 42 v (da Matracchi)

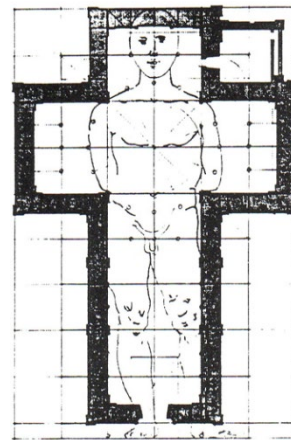


Figura 43: Studio delle proporzioni soggiacenti alla configurazione planimetrica del Calcinaio viste in rapporto allo schema martiniano a fianco (da Matracchi)

La Chiesa di Cortona, iniziata nel 1485, con lavori sulle coperture iniziati tra il 1490 e il 1491, completati nel 1515 con la realizzazione della cupola, si dimostra di poco anteriore a quella napoletana²⁹⁴.

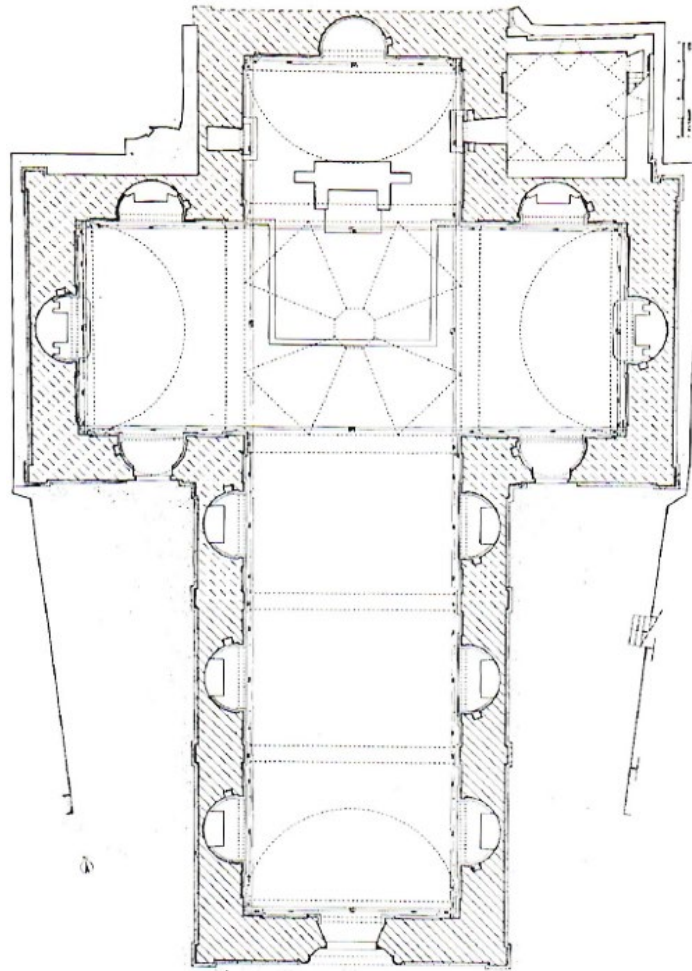


Figura 44: Planimetria della Chiesa del Calcinaio da un rilievo condotto da P. Matracchi (da F. P. Fiore, M. Tafuri)



Figura 45: Cortona, soluzione d'angolo al primo ordine (foto Bruchi, da F. P. Fiore, M. Tafuri)



Figura 46: Napoli, soluzione d'angolo al primo ordine (Polidoro, 3 marzo 2024)



Figura 47: Cortona, testata del transetto (foto Bruchi, da F. P. Fiore, M. Tafuri)



Figura 48: Napoli, testata del transetto (Polidoro, 3 marzo 2024)



Figura 49: Cortona, oculo aperto nella testata del transetto (foto Bruchi, da F. P. Fiore, M. Tafuri)

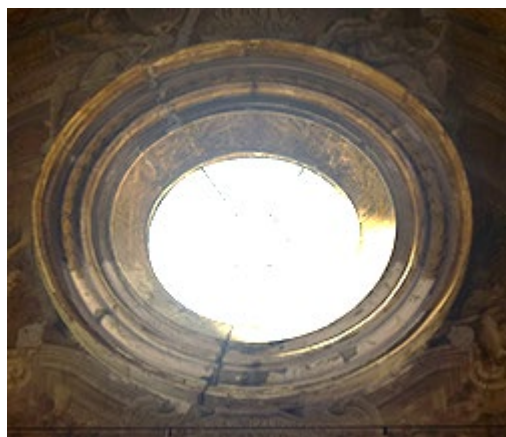


Figura 50: Napoli, oculo aperto nella testata della navata (Polidoro, 3 marzo 2024)



Figura 51: Cortona, edicola di una finestra sulla navata (foto Bruchi, da F. P. Fiore, M. Tafuri)



Figura 52: Napoli, edicola di una finestra sul transetto (Polidoro, 3 marzo 2024)

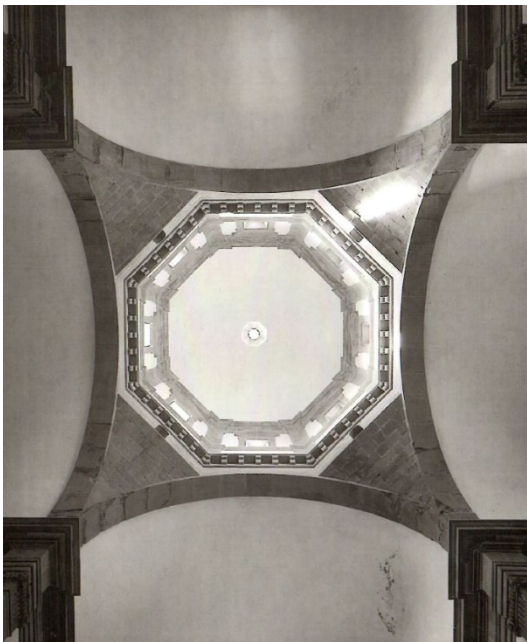


Figura 53: Cortona, interno della cupola (foto Bruchi, da F. P. Fiore, M. Tafuri)



Figura 54: Napoli, interno della cupola (Polidoro, 3 marzo 2024)

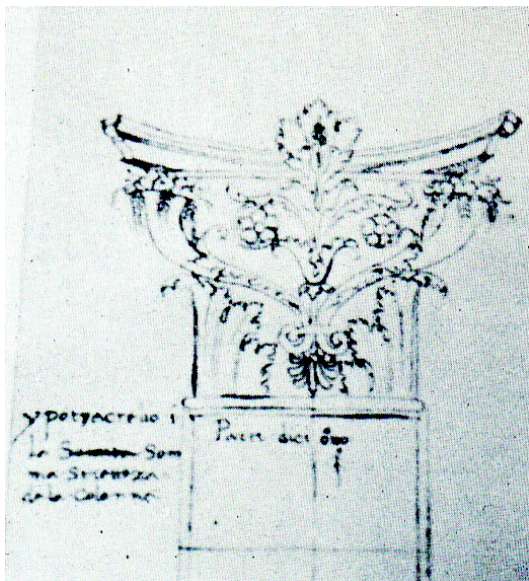


Figura 55: Francesco di Giorgio, disegno di capitello. Codice Magliab. II.I.141, c. 34v (da Matracchi)



Figura 56: Napoli, capitello di una lesena del primo ordine (Polidoro, 3 marzo 2024)



Figura 57: Cortona, la cupola e la testata del transetto (da Petreschi)



Figura 58: Napoli, la cupola e la testata del transetto (Polidoro, 3 marzo 2024)

A differenza della Chiesa napoletana, la Chiesa di Santa Maria delle Grazie al Calcinaio, realizzata in pietra serena, si colloca in un contesto sostanzialmente inalterato nei secoli, confrontandosi ancora oggi con i muretti a secco – anch'essi in pietra serena – che definiscono i terrazzamenti della collina, realizzati a partire dall'età comunale in risposta alle condizioni idrogeologiche della Val di Chiana²⁹⁵. Comune alle due chiese è però il

legame con le vie d'acqua: la Chiesa toscana, realizzata a mezza costa su una collina, è infatti attraversata in corrispondenza della navata da un cunicolo sotterraneo che incanala le acque di un ruscello che, insieme all'immagine votiva di una Madonna dipinta sulla parete di una vasca, ha suscitato un moto di devozione popolare che ha condotto alla realizzazione dell'edificio di culto²⁹⁶.

La Chiesa toscana, inoltre, presenta un innovativo accorgimento statico assente in quella napoletana: all'impiego di nicchie a pianta semicircolare sui lati interni dell'edificio corrisponde l'utilizzo di uno spessore murario costante sul perimetro della pianta, così da definire dei pilastri agli angoli della crociera con momento d'inerzia non molto superiore a quello delle membrature comprese tra le nicchie, pur dovendo apparentemente sostenere il peso della cupola oltre a quello delle volte; in realtà, la struttura spingente della crociera è assorbita anche dalle pareti delle campate adiacenti alla crociera, in quanto le finestre – di circa 70 cm di larghezza e 241 cm di altezza – sono a quota significativamente inferiore rispetto a quella d'imposta delle strutture voltate adiacenti ai pilastri d'angolo, il che consente di definire un comportamento delle pareti analogo a quello di setti murari di contropinta²⁹⁷. Un altro interessante dato dal punto di vista statico è l'adozione di pennacchi a sviluppo cilindrico per raccordare la crociera al tamburo a pianta ottagonale; essendo composti da filari orizzontali di conci lapidei e mantenendo le curvature delle volte a botte convergenti nella campata, i pennacchi non assolvono un ruolo strutturale preponderante nel trasferimento dei carichi sugli arconi sostenuti dai pilastri della crociera, a differenza di quanto accade in un sistema di pennacchi sferici; ciò è imputabile ai lavori di completamento della Chiesa, essendo la realizzazione della cupola affidata a Pietro il Norbo, che presumibilmente è intervenuto nella costruzione degli arconi, dei pennacchi di raccordo tra le volte di navata e transetto e infine su tamburo e cupola, basandosi sul disegno di Francesco di Giorgio²⁹⁸. La cupola, a quinto acuto come molte altre cupole fiorentine dell'epoca²⁹⁹, sembra esser stata realizzata con un'ossatura lignea in luogo del più semplice – ma certamente più dispendioso – sistema di centinature, il che fa pensare, come testimonia la tessitura muraria della cupola a spina di pesce, ad una struttura autoportante³⁰⁰.

Tramite il sistema di setti di contropinta, il Martini riesce ad evitare l'impiego di catene nell'edificio; il sistema di strombature e di inquadramento con ornate inserite in un sistema tabernacolare può essere quindi visto come un sistema compositivo volto a bilanciare la ridotta dimensione delle aperture³⁰¹. La forma inalterata delle cornici delle finestre

all'interno e all'esterno della Chiesa, a causa delle diverse finiture, determina un effetto decisamente meno monumentale all'esterno della Chiesa, in cui le aperture si confrontano con un rivestimento lapideo a facciavista in luogo dei paramenti intonacati interni³⁰²; in maniera simmetrica, nella Chiesa napoletana si ravvisa un effetto inverso, causato dalla massiccia presenza di affreschi barocchi, stuccature, dorature e altri elementi decorativi all'interno dell'edificio, cui corrisponde un'organizzazione lineare e austera nelle facciate esterne, fortemente caratterizzate dalla bicromia tra piperno e intonaco.

Circa il proporzionamento planimetrico della Chiesa di Cortona rispetto ai canoni martiniani, si riconosce in Figura 24 come anche questo edificio risponda perfettamente ai criteri di progettazione degli edifici religiosi teorizzati da Francesco di Giorgio, con un rapporto tra il corpo longitudinale e quello trasversale di 3:2 e con tre bracci della croce aventi lunghezza pari a un terzo dello sviluppo longitudinale della griglia³⁰³.

7.4. L'attribuzione ad Antonio Marchesi da Settignano

In base alle analisi stilistiche appena condotte, risulta evidente la paternità del progetto nelle sue linee compositive, attesi i ripetuti soggiorni dell'ingegnere-architetto senese a Napoli a fine Quattrocento che deve aver anche preso parte ai primi anni della fabbrica. Più controversa è l'attribuzione ad Antonio Marchesi da Settignano del completamento dell'impianto, essendo riportati diversi possibili autori tra i cronisti dell'epoca: Pane³⁰⁴ e Ceci³⁰⁵ attribuiscono il lavoro a Fiorentino della Cava – ritenuto dalla Maselli Campagna come uno degli pseudonimi di Antonio Marchesi³⁰⁶ – altri la attribuiscono a Romolo Balsimelli da Settignano³⁰⁷, che va però riconosciuto, come testimonia Filangieri, al più come *direttore dei lavori*, essendo stato chiamato a Napoli con ogni probabilità da Andrea da Fiesole; altri ancora affidano la paternità della Chiesa al Mormando³⁰⁸, tra i principali protagonisti dell'evoluzione della città nel primo Cinquecento³⁰⁹ e che interviene successivamente sul convento della Chiesa, come riscontrabile nelle membrature del chiostro³¹⁰. Nel dibattito, ancora oggi in corso, si ritiene più verosimile la posizione assunta da Pane e altri, complici le evidenze riconosciute nell'opera martiniana di Cortona, la ricca collaborazione tra Francesco di Giorgio Martini e Antonio Marchesi da Settignano nelle opere napoletane e la composizione della facciata, che segue i più maturi schemi del Quattrocento toscano.

Bisogna inoltre tener conto che Antonio Marchesi, pur essendo principalmente riconosciuto come ingegnere militare ed esperto di fortificazioni e infrastrutture, si diletta anche in progetti di architetture religiose: come citato dalla Rusciano³¹¹, nel 1487 il Fiorentino progetta la Chiesa di S. Maria delle Lacrime a Trevi e il complesso monastico di S. Giusto alle Mura, poco fuori Firenze, demolito nel 1529 ma di cui si conserva una descrizione del Vasari.

Inoltre, la pubblicazione nel 1996³¹² della *Historia Chronologica del convento di Santa Catarina a Formello*³¹³, composta nel 1713, offre un'importante traccia documentale a sostegno di questa tesi. Risulta infatti che l'architetto responsabile del disegno della Chiesa e dei lavori fosse *Antonio Fiorenza della città della Cava*³¹⁴, citato anche da Aspreno Galante³¹⁵. Nel documento inoltre risulta che la cupola sia stata iniziata nel 1519 e voltata in poco tempo, vedendosi completata nel 1557³¹⁶; piace pensare che nell'ultimo soggiorno del Marchesi a Napoli rientri un controllo all'avanzamento dei lavori in Santa Caterina a Formiello, oltre che nel bastione del parco della cinta di Castel Nuovo.

Senza dubbio, la Chiesa di Santa Caterina a Formiello rappresenta una traccia straordinaria del Rinascimento napoletano, amalgamando le influenze rinascimentali fiorentine³¹⁷ nel contesto locale. L'opera, che riflette la visione architettonica avanzata di Francesco di Giorgio Martini, rappresenta una significativa traccia nell'evoluzione della figura dell'ingegnere-architetto nel Mezzogiorno: il confronto con i trattati di Francesco di Giorgio, noto per la sua influenza su Antonio Marchesi, suggerisce infatti una connessione diretta tra la teoria architettonica e la pratica costruttiva nella Napoli del XV secolo, come intuibile nelle proporzioni geometriche della Chiesa che rispecchiano i moduli e gli schemi teorici delineati da Martini nei suoi scritti.

In tal modo, la Chiesa non solo incarna gli ideali rinascimentali nell'architettura napoletana ma si configura come un possibile veicolo per la diffusione delle conoscenze di Leonardo da Vinci e di Francesco di Giorgio Martini. Si ritiene che un'analisi più approfondita sul tema, attesa la vicenda napoletana relativa ai testi di Francesco di Giorgio delineata in precedenza, potrebbe svelare ulteriori connessioni tra la pratica architettonica locale e la crescente influenza della scienza e dell'ingegneria rinascimentale nell'evoluzione dell'ingegnere-architetto come figura poliedrica, capace di coniugare arte e scienza nella progettazione e nella costruzione.

Dopo aver esplorato le radici storiche e architettoniche della Chiesa nel contesto rinascimentale, ci si sposterà ora verso lo studio della sua integrità strutturale e la sua resilienza alle forze sismiche. La Chiesa di Santa Caterina a Formiello, con la sua ricca storia e la complessità delle influenze architettoniche, diventa ora un caso di studio ideale per valutare il rapporto tra gli elementi statici rinascimentali e le esigenze strutturali moderne, fornendo un utile campo di sperimentazione della *scienza vinciana* di cui si stanno delineando gli sviluppi e le evoluzioni. Attraverso un'analisi dettagliata della vulnerabilità sismica della Chiesa e la presentazione di un progetto di miglioramento sismico, il lavoro proseguirà nel mettere in relazione la rilevanza storica dell'edificio con le necessità pratiche e tecniche del suo mantenimento strutturale nel contesto contemporaneo. L'intento sarà quello di armonizzare il rispetto per la sua eredità artistica con l'esigenza di sicurezza dettata dagli strumenti normativi vigenti, creando un ponte tra passato e presente nell'applicazione del metodo vinciano ereditato nell'epoca contemporanea.

²⁵⁵ A. Ghisetti Giavarina, *Il Regno di Napoli*, in *Artigramma*, n. 23, Zaragoza, Dept° H^a Arte - Univ. Zaragoza, 2008, pp. 347-348.

²⁵⁶ AA. VV., *Santa Caterina a Formello. Vicende di un'insula napoletana*, Napoli, Electa Napoli, 1996, p. 14.

²⁵⁷ *Ibidem*.

²⁵⁸ *Ibidem*.

²⁵⁹ *Cfr. Ivi*, p.22, in cui si cita una *Historia Chronologica del convento di S. Catarina a Formello* composta dal frate archivista Fra' Tomaso Renaldi, ospite del convento a partire dal 1675, che si riferisce ad un campanile preesistente nel datare la realizzazione di quello attuale.

²⁶⁰ *Ivi*, p. 14.

²⁶¹ Per approfondimenti sulle ragioni alla base dell'espansione urbana aragonese, v. C. Rusciano, *Napoli 1484-1501. La città e le mura aragonesi*, Roma, Bonsignori, 2002, pp. 53-55.

²⁶² G. Ceci, *La Chiesa e il convento di Santa Caterina a Formello*, in *Napoli Nobilissima*, IX (1900), p. 49.

²⁶³ R. Pane, *Architettura del Rinascimento a Napoli*, Napoli, E.P.S.A. Editrice Politecnica, 1937.

²⁶⁴ Negli anni Novanta sono stati rinvenuti nell'atrio del convento una base e un fusto di pilastro in tufo giallo dalle forme goticeggianti, il che lascia pensare a strutture prerinascimentali inglobate nelle murature. *Cfr. Santa Caterina a Formello. Vicende di un'insula napoletana, cit.*, p. 86.

²⁶⁵ Dal latino *ad formis*, presso i canali.

²⁶⁶ Particolarmente significativa per lo studio della fabbrica domenicana (1498-1713) è l'*Historia Chronologica del convento di Santa Catarina a Formello* di Fra' Tomaso Renaldi, archivista del monastero, conservata nell'archivio generale dell'ordine dei Predicatori, presso la curia generalizia dei frati Domenicani

in Santa Sabina a Roma, rimasto inedito fino al 1996. Cfr. *Santa Caterina a Formello. Vicende di un'insula napoletana, cit.*, pp. 86 sgg.

²⁶⁷ Tra cui si cita: N. Rossi, *Guida de' Forestieri per la città di Napoli*, del 1788.; P. De Stefano, *Descrizione de i luoghi sacri della città di Napoli*, del 1540; D. Cesare D'Engenio Caracciolo, *Napoli Sacra*, del 1624 e la relativa *Parte Seconda...*, del 1654; C. Celano, *Delle notizie del bello e dell'Antico e del curioso della città di Napoli*, edito dal Chiarini nel 1856; Cfr. Petreschi, *La Chiesa di S. Caterina a Formiello a Napoli. Ipotesi per una attribuzione*, Roma, Officina Edizioni, 1991, p. 35 sgg.

²⁶⁸ La trascrizione è tratta da Petreschi, *La Chiesa di S. Caterina a Formiello, cit.*, pp. 41-47.

²⁶⁹ AA. VV., *Santa Caterina a Formello. Vicende di un'insula napoletana, cit.*, p. 89

²⁷⁰ *Ivi*, p. 92.

²⁷¹ *Ivi*, pp. 29-34.

²⁷² *Ivi*, p. 93.

²⁷³ *Ibidem*.

²⁷⁴ T. Renaldi, *Op cit.*, p. 131.

²⁷⁵ Per approfondire le vicende legate all'attività del lanificio, v. G. Pelosi, *Ascesa e declino del lanificio di Santa Caterina a Formello (1824-1869)*, in AA. VV., *Santa Caterina a Formello. Vicende di un'insula napoletana, cit.*

²⁷⁶ L'intervento, realizzato dalla C.S.R. Restauro Beni Culturali S.a.s., ha avuto per oggetto, tra i vari interventi, la rimozione di colature e stuccature in cemento e resine, il risarcimento di lacune nell'intonaco con malta a base di calce idraulica, la ricostruzione di porzioni di muratura mancanti e la manutenzione degli intonaci esterni del tamburo, dei finestrini e delle coperture in piombo del lanternino.

²⁷⁷ L'opera infrastrutturale è ancora oggi di difficile datazione, risalendo comunque all'epoca romana (se non greca) di sviluppo della città. Cfr. *Santa Caterina a Formello. Vicende di un'insula napoletana, cit.*, p. 43.

²⁷⁸ *Ivi*, pp. 46 sgg.

²⁷⁹ Secondo lo studio di Roberto di Stefano, esiste la possibilità che l'opera idrica si trovi sotto il convento; a ciò si contrappone il Melisurgo, che descrive due differenti diramazioni che si snodano da Porta Capuana di cui una passa sotto l'*edificio industriale* della Chiesa, come confermato da documenti sulle concessioni delle acque risultanti da un censimento del 1667 realizzato per il Tribunale di Fortificazione, Acqua e Mattonata; ciò porta Frediani a ritenere attendibile che il condotto costeggiasse il fronte orientale della Chiesa, lungo il limite del largo della Vicaria. Cfr. AA. VV., *Santa Caterina a Formello. Vicende di un'insula napoletana, cit.*, pp. 46-50.

²⁸⁰ *Ibidem*.

²⁸¹ *Ibidem*.

²⁸² Non bisogna però trascurare che la giacitura della Chiesa possa essere stata parimenti influenzata dalle strutture fondali della Chiesa preesistente o da precisi intenti progettuali, legati a considerazioni di natura urbanistica, di disegno della maglia viaria o, più semplicemente, a motivazioni puramente prospettiche e compositive, particolarmente rilevanti nella progettazione architettonica del Cinquecento.

-
- ²⁸³ *Santa Caterina a Formello. Vicende di un'insula napoletana, cit.*, p. 92.
- ²⁸⁴ *Ivi*, p. 84.
- ²⁸⁵ *Ibidem*.
- ²⁸⁶ M. Petreschi, *Op. cit.*, pp. 9-11, 29.
- ²⁸⁷ G. Ceci, *La Chiesa e il convento di Santa Caterina a Formello, cit.*, p. 70. La citazione è del Celano.
- ²⁸⁸ *Ivi*, p. 71; *Cfr. Santa Caterina a Formello. Vicende di un'insula napoletana, cit.*, p.22.
- ²⁸⁹ R. Pane, *Il Rinascimento nell'Italia Meridionale*, II, Milano, Edizioni di comunità, 1975, p. 204.
- ²⁹⁰ M. Petreschi, *cit.*, p.31.
- ²⁹¹ R. Pane, *Il Rinascimento nell'Italia Meridionale, cit.*, p. 203.
- ²⁹² G. R. Coopmans de Yoldi, *Presentazione*, in P. Matracchi, *La Chiesa di S. Maria delle Grazie al Calcinaio presso Cortona e l'opera di Francesco di Giorgio*, Cortona, Calosci, 1992.
- ²⁹³ R. Pane, *Il Rinascimento nell'Italia Meridionale, cit.*, p. 203.
- ²⁹⁴ M. Gori Sassoli, *Santa Maria delle Grazie al Calcinaio, Cortona. 1484-1490*, in F. P. Fiore, M. Tafuri, *Francesco di Giorgio architetto*, Milano, Electa, 1993, pp. 264-269.
- ²⁹⁵ P. Matracchi, *Op. cit.*, pp. 11-14. L'intento di bonificare la valle, manifestato anche dallo stesso Leonardo, si tramuterà in una soluzione effettiva solo nel corso del XIX secolo; è proprio questa trasformazione della valle ad aver garantito la conservazione del contesto intorno alla Chiesa, non essendo interessato da interventi di industrializzazione dell'agricoltura.
- ²⁹⁶ *Ivi*, pp. 15, 23-27, 90-91.
- ²⁹⁷ *Ivi*, pp. 53-54.
- ²⁹⁸ *Ivi*, pp. 36-37, 62.
- ²⁹⁹ Tra cui si cita quella di Santa Maria del Fiore; *Cfr. Matracchi, cit.*, p. 63.
- ³⁰⁰ *Ivi*, pp. 63-66.
- ³⁰¹ *Ivi*, pp. 53-54.
- ³⁰² *Ivi*, p. 61.
- ³⁰³ *Ivi*, pp. 58-59.
- ³⁰⁴ R. Pane, *Architettura del Rinascimento a Napoli, cit.*
- ³⁰⁵ G. Ceci, *La Chiesa e il convento di Santa Caterina a Formello, cit.*, p. 69-70. Ceci attribuisce a «un maestro [...] della Cava a nome Fiorentino» il rifacimento del Convento ed il disegno della Chiesa nelle sue forme attuali, oltre alla vendita di pozzolana e lapillo rinvenuti nello scavo delle fondazioni. Il Ceci si mostra però critico nel riconoscere in Fiorentino della Cava il Marchesi, criticando le posizioni assunte dal Celano e dal Capasso, ritenendo che col consulto di Civitavecchia (1517) Marchesi abbia lasciato definitivamente la città di Napoli. Difatti, Ceci conclude la propria disamina attribuendo la realizzazione dell'opera al Balsimelli, ritenuto autore della decorazione marmorea della cappella dei Carafa di Santaseverina in San Domenico maggiore.
- ³⁰⁶ M. Maselli Campagna, *Marchesi, Antonio*, in *Dizionario Biografico degli Italiani*, vol. 69, Roma, Istituto della Enciclopedia Italiana, 2007; sul tema dei vari nomi con cui ci si riferisce ad Antonio Marchesi da Settignano, si vedano i vari studi sul Fiorentino: lo stesso *Foglietto del Belvedere* citato in questo lavoro di

tesi si riferisce all'ingegnere-architetto con *mag^o Antonio Fiorentino*; la citazione di Pietro Summonte in una nota lettera del 1524 parla di un *Antonio Fiorentino della Cava* figlio del maestro settignanese Giorgio di Francesco, detto anche lui *Fiorentino*, padre del Marchesi.

³⁰⁷ Tra cui si segnala L. H. Heydenreich, W. Lotz, *Architecture in Italy 1400-1600*, Hardmonworth, 1976; Ceci, *La Chiesa e il convento di Santa Caterina a Formello*, *cit.*, p.70. L'architetto, nato nel 1479, non compare nei registri dei lapicidi della Toscana e pare esser stato chiamato nel 1505 a Napoli da Andrea Ferrucci da Fiesole. Ad eccezione della Chiesa in oggetto, l'unica altra opera a lui attribuita è la cappella di Andrea Carafa di Santaseverina nella Chiesa di San Domenico Maggiore, realizzata nel 1508. L'attribuzione del lavoro su Santa Caterina a Formiello deriva da un documento, citato da Gaetano Filangieri di Satriano e menzionato in tutti gli studi successivi, in cui si attesta che egli ne dirigeva i lavori nel 1519 (cfr. G. Filangieri di Satriano, *Documenti per la storia, le arti e le industrie delle provincie napoletane*, III, Napoli 1875, pp. 13, 29, 32, 33, 34, 35; Id., *Indice degli artefici delle arti maggiori e minori...*, I, Napoli 1891, pp. 24, 393).

³⁰⁸ Presumibilmente in virtù delle similitudini – particolarmente in facciata – con la Chiesa di San Michele a Vibo Valentia, del 1519.

³⁰⁹ Ghisetti Giavarina, *Il Regno di Napoli*, *cit.*, p. 348.

³¹⁰ R. Pane, *Il Rinascimento nell'Italia meridionale*, *cit.*, II, p. 205.

³¹¹ C. Rusciano, *cit.*, p. 38.

³¹² Cfr. *Santa Caterina a Formello. Vicende di un'insula napoletana*, *cit.*, *passim*.

³¹³ Archivum Generale Ordinis Praedicatorum, Romae, XI, 1530: *Historia chronologica del convento di Santa Catarina a Formello [...] compilata in due parti dal padre fra' Tomaso Renaldi*, XVIII sec.

³¹⁴ T. Renaldi, *Op. cit.*, p. 81. Cfr. *Santa Caterina a Formello. Vicende di un'insula napoletana*, *cit.*, p. 117.

³¹⁵ Cfr. G. A. Galante, *Guida sacra alla città di Napoli*, Napoli, 1872.

³¹⁶ T. Renaldi, *cit.*, pp. 81-82.

³¹⁷ A tal punto da spingere Ceci nel riconoscere una similitudine nell'impianto con le chiese di San Lorenzo e del Santo Spirito del Brunelleschi; Cfr. Ceci, *La Chiesa e il convento di Santa Caterina a Formello*, *cit.*, p. 70.

8. Studi strutturali e progetto di miglioramento sismico

8.1. Premessa all'analisi strutturale

All'interno del discorso delineato, risulta evidente che la Chiesa di Santa Caterina a Formiello rappresenti uno dei punti nodali della diffusione del metodo vinciano nell'ingegneria e nell'architettura di Napoli e del Mezzogiorno, costituendo una delle prime testimonianze materiali dei contatti tra il Rinascimento fiorentino e la capitale del Regno aragonese ed essendo progettata da uno dei primi ingegneri-architetti della storia, protagonista della diffusione del pensiero di Leonardo nei cantieri napoletani e nella pratica edificatoria del Mezzogiorno e tra i principali attori nel processo di nobilitazione della figura professionale, come evidente nell'intento di divulgare i risultati delle proprie elaborazioni e nel continuo aggiornamento delle conoscenze acquisite nell'ambito.

8.1.1. Evoluzione degli studi sulla muratura e quadro normativo

Come descritto in precedenza, nel Settecento Napoli diventa uno dei più rilevanti poli dell'innovazione europei, particolarmente per ciò che concerne la teoria sul comportamento delle strutture in muratura: dopo Bélidor e Rondelet, bisogna infatti riconoscere nell'operato di Vincenzo Lamberti un importante contributo nella storia degli studi in materia. Volendo ricostruire una sintetica storia degli studi e delle norme sulle strutture in muratura, va ricordato che nel 1574 Palladio sottolinea la necessità di diminuire progressivamente lo spessore delle murature lungo lo sviluppo in altezza di un edificio; nel 1674 Guarini mette a punto un procedimento per il proporzionamento delle murature; a inizi Settecento De la Hire e Couplet valutano il carico ultimo a collasso del portale in muratura; con Rondelet si affina il principio di riduzione dello spessore delle murature in altezza, considerando dei nuovi coefficienti moltiplicativi delle azioni.

Evidentemente, l'evoluzione normativa in materia è strettamente legata al verificarsi di eventi sismici distruttivi: difatti, con il terremoto del 1627 si introduce nel Regno il sistema baraccato *alla beneventana*, dotato di intelaiatura lignea fissata ad un basamento in muratura e tamponata con materiali leggeri; con il terremoto di Messina e Reggio Calabria del 1783 Ferdinando IV conferma il sistema baraccato come sistema strutturale d'elezione in aree a rischio sismico. Con l'Unità d'Italia, a seguito del terremoto di Casamicciola del 1884

viene emanato il R.D. 2600, che prescrive limiti di altezza e aggetto massimi; con il terremoto di Messina del 1906 viene emanato il R.D. 193/1908 che impone delle prime norme di progettazione in zona sismica, richiedendo il calcolo di azioni dinamiche dovute al moto sismico ondulatorio, rappresentate come accelerazioni applicate alle masse del fabbricato. La prima normativa italiana in materia di edifici in muratura è la L. 64/1974, che annovera la possibilità di realizzare edifici in muratura *ex-novo* a patto di considerare le azioni sismiche applicate alla struttura, regolamentando inoltre le possibilità di sopraelevazione. A seguito del terremoto dell'Irpinia del 1980, con la L. 219/1981 e il D.M. 593/1981 lo Stato definisce delle norme sulla redazione dei progetti e sulle indagini da effettuare per definire efficacemente gli interventi di consolidamento, ponendo l'attenzione sulla capacità di ripartizione delle forze sismiche dei solai sui setti murari e l'efficacia dei collegamenti tra solai e pareti oltre che degli ammorsamenti tra pareti ortogonali.

La progettazione con il metodo semiprobabilistico e il metodo di verifica agli stati limite, attualmente rientrante nella prassi applicativa e contrapposto al metodo *deterministico* applicato fino al 2008, viene introdotta dal Decreto Ministeriale 20 novembre 1987 del Ministero dei Lavori Pubblici, in cui si ammette la possibilità di utilizzare il metodo delle tensioni ammissibili per edifici dotati di specifiche caratteristiche geometriche. Con il D.M. 16 gennaio 1996 si riprende la L. 64/1974, introducendo il *fattore di struttura* β ; con la L. 61/1998 si introducono i metodi di verifica per i setti in muratura, tenendo conto dei meccanismi di collasso prevalenti (ribaltamento, collasso a pressoflessione per azioni nel piano e fuori dal piano, crisi dei collegamenti, rottura a taglio), introducendo una formulazione semplificata per il calcolo del *coefficiente sismico* C , necessario a determinare la soglia di vulnerabilità.

Come è noto, con l'O.P.C.M. 3274/2003 l'Italia viene riclassificata dal punto di vista sismico, definendo quattro zone differenziate in base alla probabilità di accadimento di forti terremoti; ai fini delle verifiche di sicurezza, gli elementi strutturali vengono distinti tra duttili e fragili, individuando due diversi metodi di verifica. Dal primo luglio 2009, con l'entrata in vigore delle Norme Tecniche per le Costruzioni del 2008, per ogni costruzione ci si deve riferire ad una accelerazione di riferimento *propria*, dipendente dalle coordinate geografiche del sito, dalle sue condizioni stratigrafiche e topografiche e da alcune caratteristiche proprie dell'edificio stesso. Viene dunque definito un valore di pericolosità

di base per ogni punto del territorio nazionale, considerando come riferimento una maglia quadrata di 5 km di lato ai cui vertici sono calcolati degli spettri di risposta, tramite i quali si calcolano gli spettri nei punti interni alla maglia per interpolazione.

Con le Norme Tecniche per le Costruzioni del 2008 si introduce la progettazione agli stati limite con deroga alle tensioni ammissibili per alcune categorie di edifici; con l'aggiornamento del 2018 l'unico metodo di progettazione ammissibile è quello agli stati limite. I paragrafi di interesse nell'approccio a strutture in muratura sono:

- Par. 4.5 *costruzioni civili e industriali;*
- Par. 7.8 *azioni sismiche;*
- Par. 8 *costruzioni esistenti;*
- Par. 11.10 *materiali.*

A questi bisogna aggiungere le seguenti circolari esplicative:

- C8A.2 *tipologie e parametri meccanici nelle murature;*
- C8A.4 *analisi dei meccanismi di collasso negli edifici esistenti in muratura.*

Per gli edifici appartenenti al patrimonio storico e artistico italiano è necessario seguire le indicazioni della direttiva del Presidente del Consiglio dei ministri dal titolo *Linee guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle Norme Tecniche per le Costruzioni* (G.U. n.47, 26 febbraio 2011).

Nell'approccio alle strutture esistenti, una prima valutazione della qualità dell'edificio può essere condotta effettuando un confronto con le *regole dell'arte* delle costruzioni in muratura, ovvero:

- Regolarità dei corsi orizzontali;
- Squadratura regolare dei conci;
- Verticalità della muratura;
- Disallineamento dei giunti verticali;
- Qualità dei blocchi;
- Qualità della malta;
- Ammorsamento trasversale dei blocchi.

Va inoltre riconosciuto, in base agli studi di numerosi accademici – tra cui si segnalano quelli di Santiago Huerta³¹⁸ – che la duttilità delle strutture in muratura, particolarmente se vincolate iperstaticamente, è da attribuirsi alla loro capacità di deformarsi per fessurazione, soprattutto nel caso di strutture archivolte. Come testimoniato dal restauro del Pantheon del 1925 (in cui Alberto Terenzio, esaminando lesioni di dimensioni considerevoli nella cupola, ha ritenuto di attuare delle semplici applicazioni di intonaci armati piuttosto che una sarcitura delle lesioni), infatti, non sempre una lesione nella muratura, anche se rilevante, è indicativa di un incipiente collasso della struttura; in ragione del fatto che le strutture in muratura collassano tendenzialmente a seguito di fenomeni di instabilità piuttosto che per crisi di resistenza, occorre dunque saper valutare l'impatto delle soluzioni progettuali adottate per il miglioramento sismico dell'edificio nella definizione di nuovi percorsi dei carichi, così da limitare le possibilità di collasso della struttura in conseguenza dell'intervento.



Figura 59: Ispezione del 1925 di lesioni sulla cupola del Pantheon. LIFE magazine, 1925.

Avendo definito una breve panoramica dell'evoluzione degli studi in materia di analisi e progetto di strutture in muratura e dello sviluppo corrispondente di strumenti normativi, ci si occuperà ora di condurre un'analisi strutturale conforme alla normativa vigente, con l'obiettivo di valutare la vulnerabilità sismica dell'edificio nella sua conformazione attuale

e di proporre un possibile intervento di miglioramento sismico, intervento globale volto all'incremento delle prestazioni dell'edificio in risposta a terremoti, applicato per incrementare i livelli di sicurezza in misura proporzionale alla classe d'uso dell'edificio imponendo un incremento minimo del *fattore di rischio sismico*. L'analisi della struttura nel suo *stato di fatto* sarà confrontata con un'applicazione di statica grafica – primo procedimento di analisi delle strutture in muratura, particolarmente per le strutture archivoltate, applicato da Rondelet e Lamberti – così da definire una traccia di evoluzione nelle tecniche e nei risultati delle analisi, costituendo un'ulteriore verifica dello sviluppo della figura professionale che si sta delineando.

8.2. Descrizione generale dell'opera (NTC 2018, par. 8.5.1)

La Chiesa di Santa Caterina a Formiello si organizza in una struttura a pianta rettangolare di dimensioni 57,5 m x 25,0 m; in alzato, le cappelle laterali, coperte da orizzontamenti piani (sorretti da struttura lignea), si raccordano alla navata centrale, avente copertura rialzata a falde (sorretta da una struttura in acciaio), tramite dei contrafforti curvi, dotati di pennacchi alle estremità. All'interno, l'ambiente si organizza in una navata centrale e un transetto coperti da volte a botte e un sistema di volte a botte trasversali a copertura delle cappelle laterali. La crociera è coperta da una cupola a sesto rialzato ed estradossata, impostata su un alto tamburo. In base alle evidenze documentali raccolte, risulta che la struttura portante è realizzata in muratura di tufo con corsi regolari in malta di calce, soggetta a molteplici interventi di consolidamento negli anni.

8.2.1. Ricostruzione degli interventi attuati sull'opera in epoca recente

Situata in piazza E. De Nicola n. 49, dal suo completamento nel 1593 la Chiesa non subisce variazioni rilevanti del proprio impianto fino al 1659, anno di realizzazione del portale d'ingresso di Francesco Antonio Picchiatti e di radicali interventi figurativi sulla navata³¹⁹; fino a inizi Settecento sono documentati interventi di realizzazione del pulpito, rifacimento della pavimentazione e realizzazione di nuovi altari; tra il 1736 circa fino alla metà del XX secolo non risultano notizie su eventuali ulteriori lavori, presumibilmente di ridotto impatto o legati alla realizzazione di nuovi corpi addossati alla Chiesa, come evidente in Figura 12, o di superfetazioni nel chiostro, che ne hanno compromesso l'impianto compositivo originario.

La prima campagna di consolidamento dell'edificio del XX secolo si deve agli esiti dell'incursione aerea dell'11 novembre 1941, in cui la Chiesa subisce danni tali da richiedere degli interventi – eseguiti nel luglio successivo³²⁰ – di sostituzione vetri e finestre, di restauro dei cornicioni interni della cupola, di cucì e scuci per il distacco della volta a botte della navata dalla facciata principale, di sarcitura delle lesioni all'interno del parapetto e di riempimento del cavo di fondazione dell'ipogeo della prima cappella a destra e fra i pilastri di destra della crociera. Nel gennaio successivo³²¹, a seguito di una ricognizione dei danni di guerra subiti, vengono attuati ulteriori accorgimenti:

- Ripristino dei finestroni del tamburo con muratura di mattoni e malta mista a cemento;
- Consolidamento di un pilastro angolare al lato interno del cornicione con intervento di cucì e scuci con muratura di mattoni e malta;
- Cucì e scuci su lesioni in più punti della cupola e della lanterna con muratura di mattoni e malta di cemento;
- Catenelle in mattoni per risarcire alcune lesioni nella volta a botte;
- Masso in tufo e malta per realizzare un riempimento tra il muro della copertura della navata centrale e il tamburo della cupola, con analogo realizzazione in giro al tamburo e in appiombò dei pennacchi.

A fine anni Sessanta l'edificio viene chiuso al culto a causa della presenza di lesioni da schiacciamento nei pilastri della navata laterale³²²; nel 1976 si interviene nuovamente sulla Chiesa per dei lavori di consolidamento e restauro finanziati dalla cassa del Mezzogiorno, mirati al consolidamento di sette cappelle con sottomurazione delle strutture di fondazione, al restauro con sarcitura delle lesioni dell'ambiente ipogeo e al restauro della controfacciata³²³.

Complice il sisma del 1980 – da cui risulta, in una prima ricognizione dei danni, la totale compromissione statica del sistema, alla luce di lesioni da schiacciamento delle murature in elevazione (particolarmente sul lato sinistro della navata principale), distacco e rotazione delle facciate della Chiesa e dei muri perimetrali, gravi fenomeni lesionativi sul campanile (che fanno temere l'immediato pericolo di crollo), importanti quadri lesionativi nell'arcone del presbiterio e nella parete di fondo, che hanno portato alla realizzazione di lavori di somma urgenza per il puntellamento e il consolidamento della cupola – e la successiva

scossa del 1981, il 31 marzo 1981 il Comune di Napoli decreta *l'immediato sgombero del fabbricato, che presenta dissesti statici con conseguente pericolo di crollo*³²⁴. Nel sopralluogo condotto dalla Soprintendenza nel dicembre 1981, si rileva la necessità di mettere in sicurezza il tamburo e la cupola³²⁵, determinando una lunga campagna di interventi strutturali³²⁶ riguardanti:

- Consolidamento delle fondazioni;
- Cerchiaggio della cupola con trefoli pretesi, cordolo in calcestruzzo dotato di staffe di ripartizione in ferro lungo il suo sviluppo;
- Consolidamento della cupola con perforazioni armate e cementate e una cappa armata in conglomerato cementizio armato con rete elettrosaldata;
- Consolidamento del tamburo con iniezioni di cemento armato con tondini a aderenza migliorata e successivo intervento di consolidamento e incatenamento con catene lunghe tese a mano e cementate;
- Puntellamento di due lati dei quattro arconi del presbiterio con successivo consolidamento con iniezioni armate e cementate con cemento MAC-FLOW applicato all'intradosso;
- Chiodature dei quattro arconi del presbiterio all'intradosso, con barre di acciaio e cemento MAC-FLOW;
- Ancoraggi in ferro su parte dei rivestimenti in piperno e incatenamento delle strutture murarie perimetrali su due livelli, con barre passanti nello spessore dei muri per tutto il loro sviluppo;
- Incatenamento delle strutture trasversali corrispondenti alle cappelle laterali, per ripristinare la solidarietà con i muri perimetrali laterali.
- Sarcitura di lesioni ed esecuzione iniezioni armate diffuse sul prospetto d'ingresso e su quello in affaccio sulla piazza.
- Cerchiatura alla base del tamburo.

A seguito di ulteriori lavori di restauro sul sagrato, la facciata e la zona sommitale del prospetto Sud-Est³²⁷, la Chiesa viene aperta al culto il 25 dicembre 1991 malgrado il verbale di *consegna parziale* redatto dalla Soprintendenza quattro giorni prima, in cui si specifica che *le opere previste in tale perizia sono state necessariamente contenute nei limiti dei fondi disponibili... alla riapertura al culto*³²⁸; nel verbale inoltre si precisa che è consentito un uso parziale della Chiesa, lasciando interdette numerose altre zone:

Le cappelle laterali, [...] gli ambienti annessi alla Chiesa, [...] compreso il coro dove gli intonaci della volta risultano staccati e già parzialmente crollati. Inoltre, si precisa che la facciata e i prospetti laterali e posteriori...presentano allo stato attuale evidenti segni di degrado, ...dovrà quindi essere recintata una fascia di almeno due metri alla base della facciata e dei prospetti, in particolare dovrà essere protetto l'accesso alla Chiesa in attesa che vengano realizzati i lavori di restauro all'esterno³²⁹.

Il 21 dicembre 1997, pochi mesi dopo ulteriori lavori di consolidamento e restauro³³⁰, la cupola viene colpita da un fulmine nella parte più alta, danneggiando l'architrave della finestra del tamburo in affaccio sulla piazza e provocando una caduta di materiali lapidei; ne segue l'installazione di un impianto parafulmine ancorato alla copertura tramite basette in cemento e tasselli, che in corso di realizzazione hanno danneggiato la guaina impermeabilizzante, provocando delle infiltrazioni. Tra il 2000 e il 2002 si registrano degli interventi sugli stucchi e i pavimenti del coro; dal 2005 inizia un lavoro di restauro sulla cupola, ultimato nel 2007, incentrato sulle infiltrazioni e sui danni provocati dall'impatto del fulmine. Nel 2009 vengono eseguite delle indagini sulle condizioni del sottosuolo, temendosi, a seguito di una lettura del quadro fessurativo, una problematica fondazionale dovuta a cause antropiche³³¹.

Nel 2010 vengono condotte delle prove e indagini conoscitive geofisiche e geologiche³³² nelle immediate prossimità della Chiesa, necessarie per l'esecuzione di lavori d'urgenza riguardanti prove e indagini già effettuate nel 2009; infine, nel 2017 è stato presentato un progetto³³³ di conservazione, manutenzione, restauro e valorizzazione ai sensi della L. 208/15, finalizzato nei suoi aspetti strutturali alla sarcitura di ulteriori lesioni, ritenute localizzate e *di limitata importanza nel contesto statico generale dell'opera*³³⁴.

8.2.2. Condizioni del terreno di fondazione

Come testimoniato dall'allegato alla scheda di catalogazione A-CEI della Chiesa, da un sondaggio condotto nell'intersezione tra via Carbonara e vico S. Caterina a Formiello, a circa 150 m dalla Chiesa, risulta che, dopo una copertura di circa 6 m di materiale di riporto, si raggiunge uno strato di circa 12 m di materiale incoerente *ascrivibile alla Formazione del Tufo Giallo Napoletano (pozzolana) per entrare nella facies litoide*³³⁵ fino a 20 m di profondità. Detta rilevazione è sostanzialmente confermata dalle prove e indagini

conoscitive geofisiche e geologiche realizzate dalla Geoproject S.r.l.³³⁶, come testimoniato dalla relazione tecnica del 21 gennaio 2010, i cui risultati testimoniano – per il sondaggio condotto nel chiostro grande, in adiacenza alla Chiesa e all'incirca a metà dello sviluppo dell'aula – una velocità di propagazione delle onde di taglio compresa tra i 93.935 m/s (a 2.45 m di profondità) e i 195.324 m/s (a 12.55 m di profondità)³³⁷. Ai fini della valutazione delle azioni sismiche di riferimento per l'analisi strutturale, si riporta di seguito la determinazione della categoria di amplificazione sottosuolo di riferimento per il progetto ai sensi delle Norme tecniche per le Costruzioni (NTC nel seguito) 2018 e della relativa circolare esplicativa del 2019. Occorre preliminarmente definire, come indicato al paragrafo 3.2.2 delle norme, la velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio sismiche nel mezzo, basata sui risultati sperimentali di prove geologiche condotte in sito e definita dall'espressione:

$$V_{s,eq} = \frac{30}{\sum_n \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

In cui:

- $V_{s,eq}$ è la prospezione della velocità di propagazione delle onde di taglio sismiche nel mezzo per un banco di profondità H;
- H è la profondità complessiva del banco esaminato;
- h_i corrisponde all'altezza del singolo strato rilevato;
- $V_{s,i}$ corrisponde alla velocità di propagazione delle onde di taglio nel singolo strato.

Si riportano di seguito gli esiti del calcolo per una prospezione di 20 m, basata sulle evidenze del sondaggio citato.

Sondaggio S1 (2009)				
Strato n.	Profondità	h _i	V _s	V _{s,20}
[-]	[m]	[m]	[m/s]	[m/s]
1	2.45	2.5	93.935	160.502
2	4.95	3	123.242	
3	7.95	2.7	110.463	
4	10.65	1.9	171.664	
5	12.55	7.45	195.324	

Tabella 8-1: Velocità di propagazione delle onde di taglio nel terreno di fondazione.

In base alla tabella 3.2.II delle NTC, riportata di seguito, risulta che il terreno di fondazione sia di categoria D, corrispondente a *depositi di terreni [...] scarsamente addensati*.

Tab. 3.2.II – *Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.*

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.</i>
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.</i>
C	<i>Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.</i>
D	<i>Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.</i>
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.</i>

In virtù del fatto che le condizioni stratigrafiche e le proprietà del terreno possono ricondursi ad uno dei casi in tabella, ci si può quindi riferire ad un approccio semplificato nella definizione del sottosuolo e nella caratterizzazione geotecnica del terreno di fondazione. Ne segue che le azioni sismiche sono definibili come descritto al paragrafo 3.2.3 delle NTC 2018.

8.2.3. Strutture e sicurezza statica

La struttura portante originale, costituita da muratura in tufo giallo napoletano a blocchi quadrati e malta di calce a corsi regolari (come riportato nell'allegato alla scheda A-CEI della Chiesa), poggia su fondazioni continue ed è caratterizzata da diversi fenomeni fessurativi, particolarmente all'intradosso della volta a botte a copertura della navata e nei quattro archi d'imposta della cupola, in cui sono stati rilevati degli interventi di consolidamento tramite catene metalliche. Nella scheda sono inoltre descritte lesioni all'intradosso della cupola, nelle murature dei pilastri ai lati della navata, sulla controfacciata, all'intradosso delle volte a crociera della sagrestia, nelle volte a botte della cripta e sul basamento in piperno della facciata principale.

Il sistema di collegamenti verticali si concentra nella sagrestia ed è realizzato in muratura, con gradini rivestiti di piperno.

Per quanto riguarda la copertura, l'allegato alla scheda A-CEI riporta la presenza di capriate *all'inglese*³³⁸ in acciaio a sostegno della copertura a falde della navata, caratterizzata da copp

diffusamente danneggiati che hanno determinato ingenti infiltrazioni d'acqua, complice una cattiva manutenzione delle pluviali.

8.3. Tipologia degli interventi previsti

Gli interventi previsti per l'aggregato in oggetto, finalizzati al miglioramento sismico dello stesso, sono di diverse tipologie in ragione dell'estensione dell'unità strutturale di intervento. In particolare, sono stati delineati i seguenti interventi:

- Intonaco armato in corrispondenza dei campi intonacati esterni della Chiesa, al fine di conferire una maggior rigidità nella risposta alle azioni nel piano dei maschi murari;
- Cerchiatura dell'apertura di accesso al chiostro piccolo, adiacente alla facciata principale della Chiesa, e di altre aperture nel caso in cui sia necessario irrigidire significativamente alcuni pannelli murari;
- Interventi diffusi di iniezioni di nuove miscele leganti nelle pareti degli edifici dell'ospedale e della *infirmaria nova* per migliorare il comportamento monolitico dei pannelli murari ed incrementarne la rigidità;
- Irrigidimento dei solai lignei della sacrestia con intervento all'estradosso con soletta in calcestruzzo;
- Miglioramento del comportamento dei solai a putrelle e tavelloni con un miglior collegamento tra le travi e tra trave e muratura.

8.4. Normativa di riferimento

Le fasi di analisi e verifica della struttura nello stato di fatto e nello stato di progetto sono state condotte in accordo con le seguenti disposizioni normative:

- Istruzioni CNR 10028/86 *Analisi di strutture mediante elaboratore: impostazione e redazione delle relazioni di calcolo*;
- D.P.C.M. 9 febbraio 2011 (G. U. 26 febbraio 2011, n. 47, Suppl. Ord.) *Valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle «Norme Tecniche per le Costruzioni» di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008*;

- Decreto Ministeriale Infrastrutture Trasporti 17 gennaio 2018 (G.U. del 20 febbraio 2018, n. 42, Suppl. Ord.) *Aggiornamento delle «Norme tecniche per le Costruzioni»;*
- Circolare 21 gennaio 2019, n. 7 del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti (G. U. 11 febbraio 2019, n. 35, Suppl. Ord.) *Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle Norme Tecniche delle Costruzioni» di cui al D. M. 17 gennaio 2018.*

8.5. Materiali impiegati e resistenze di calcolo

8.5.1. Materiali esistenti

La conoscenza delle caratteristiche meccaniche e dello stato di degrado delle strutture portanti del fabbricato sono stati desunti da verifiche visive e da analisi di fonti d'archivio, rilievi e progetti precedenti. In accordo con le indicazioni del D.P.C.M. 9 febbraio 2011, il livello di conoscenza raggiunto in tal modo consente di riferirsi ad un fattore di confidenza $FC=1.21$. Si riassumono di seguito le caratteristiche meccaniche dei materiali.

Muratura esistente						
Nome	Tipo legame	E	Eh	G	Peso specifico	fm
		[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[kN/m ³]	[N/cm ²]
Tufo	Muratura irregolare (Turnsek/Cacovic)	1.410,00	1.410,00	450,00	16	260,00
Tufo armato (barre acciaio)	Muratura irregolare (Turnsek/Cacovic)	1.551,00	1.551,00	495,00	16	312,00
Tufo armato con iniezioni	Muratura irregolare (Turnsek/Cacovic)	1.861,20	1.861,20	594,00	16	374,40
Tufo con iniezioni	Muratura irregolare (Turnsek/Cacovic)	1.692,00	1.692,00	540,00	16	312,00

Muratura esistente				
Nome	fk	τ	FC	γm
	[N/cm ²]	[N/cm ²]		
Tufo	150,41	6,00	1,21	3,00
Tufo armato (barre acciaio)	182,00	7,20	1,21	3,00
Tufo armato con iniezioni	218,40	8,64	1,21	3,00
Tufo con iniezioni	182,00	7,20	1,21	3,00

Tabella 8-2: Caratteristiche principali delle murature impiegate nel modello di calcolo.

Acciaio strutturale						
Nome	E	G [N/mm ²]	Peso specifico [kN/m ³]	f _{ym} [N/mm ²]	f _{yk} [N/mm ²]	γ _s
S275	210.000,00	80.769,00	79	296,0	275,0	1,05
S355	210.000,00	80.769,00	79	382,0	355,0	1,05

Tabella 8-4: Caratteristiche principali degli acciai impiegati nel modello di calcolo.

Legno						
Nome	E	G [N/mm ²]	Peso specifico [kN/m ³]	f _{wm} [N/mm ²]	f _{wk} [N/mm ²]	γ _w
ACSS1 Conifere, pioppo (Abete centro sud 1)	11.000,00	690,00	3	46,0	32,0	1,50

Tabella 8-3: Caratteristiche principali del legno impiegato nel modello di calcolo.

Le proprietà meccaniche della muratura sono desunte dal programma di calcolo, riferito a sua volta alla tabella 8.5.I della circolare 2019, riportata di seguito e riferita a murature nelle seguenti ipotesi:

- Malta di calce scadente (resistenza a compressione tra 0.7 e 1.5 N/mm²);
- Assenza di ricorsi o listature;
- Muratura a due paramenti, mal collegati;
- Presenza eventuale di nucleo interno di spessore ridotto;
- Tessitura muraria a regola d'arte (per murature regolari);
- Muratura non consolidata.

In questa applicazione si è considerata una muratura a conci regolari di pietra tenera, ritenendo valide – alla luce di analisi endoscopiche e rilevamenti fotografici disponibili nell'Archivio della Soprintendenza Archeologia, Belle Arti e Paesaggio per il Comune di Napoli – le ipotesi sul materiale.

Tabella C8.5.I -Valori di riferimento dei parametri meccanici della muratura, da usarsi nei criteri di resistenza di seguito specificati (comportamento a tempi brevi), e peso specifico medio per diverse tipologie di muratura. I valori si riferiscono a: f = resistenza media a compressione, τ_0 = resistenza media a taglio in assenza di tensioni normali (con riferimento alla formula riportata, a proposito dei modelli di capacità, nel §C8.7.1.3), f_{v0} = resistenza media a taglio in assenza di tensioni normali (con riferimento alla formula riportata, a proposito dei modelli di capacità, nel §C8.7.1.3), E = valore medio del modulo di elasticità normale, G = valore medio del modulo di elasticità tangenziale, w = peso specifico medio.

Tipologia di muratura	f	τ_0	f_{v0}	E	G	w
	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(kN/m ³)
	min-max	min-max		min-max	min-max	
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	1,0-2,0	0,018-0,032	- -	690-1050	230-350	19
Muratura a conci sbozzati, con paramenti di spessore disomogeneo (*)	2,0	0,035-0,051	- -	1020-1440	340-480	20
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	2,6-3,8	0,056-0,074	- -	1500-1980	500-660	21
Muratura irregolare di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)	1,4-2,2	0,028-0,042	- -	900-1260	300-420	13 + 16(**)
Muratura a conci regolari di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.) (**)	2,0-3,2	0,04-0,08	0,10-0,19	1200-1620	400-500	
Muratura a blocchi lapidei squadriati	5,8-8,2	0,09-0,12	0,18-0,28	2400-3300	800-1100	22
Muratura in mattoni pieni e malta di calce (***)	2,6-4,3	0,05-0,13	0,13-0,27	1200-1800	400-600	18
Muratura in mattoni semipieni con malta cementizia (es.: doppio UNI foratura ≤40%)	5,0-8,0	0,08-0,17	0,20-0,36	3500-5600	875-1400	15

(*) Nella muratura a conci sbozzati i valori di resistenza tabellati si possono incrementare se si riscontra la sistematica presenza di zeppe profonde in pietra che migliorano i contatti e aumentano l'ammorsamento tra gli elementi lapidei; in assenza di valutazioni più precise, si utilizzi un coefficiente pari a 1,2.

(**) Data la varietà litologica della pietra tenera, il peso specifico è molto variabile ma può essere facilmente stimato con prove dirette. Nel caso di muratura a conci regolari di pietra tenera, in presenza di una caratterizzazione diretta della resistenza a compressione degli elementi costituenti, la resistenza a compressione f_{pu} può essere valutata attraverso le indicazioni del § 11.10 delle NTC.

(***) Nella muratura a mattoni pieni è opportuno ridurre i valori tabellati nel caso di giunti con spessore superiore a 13 mm; in assenza di valutazioni più precise, si utilizzi un coefficiente riduttivo pari a 0,7 per le resistenze e 0,8 per i moduli elastici.

Più in generale, le resistenze meccaniche dei materiali impiegati sono state determinate in base ai valori medi di norma, secondo le prescrizioni della vigente Normativa. Quest'ultima prescrive che, nel caso di strutture esistenti nello stato di fatto, la resistenza dei materiali di progetto, sia per meccanismi duttili che fragili, è pari a:

$$R_d = \frac{R_{m,k}}{\gamma_M \cdot FC}$$

In cui:

- $R_{m,k}$ è la resistenza media del materiale, ottenuta da prove in sito o *caratteristica* (in assenza di indagini);
- FC è il fattore di confidenza relativo al livello di conoscenza raggiunto.

Se $R_{m,k}$ identifica il valore caratteristico della resistenza della muratura, il coefficiente parziale di sicurezza γ_M adottato per carichi verticali è pari a 3. In condizioni sismiche tale coefficiente viene assunto, come da indicazioni normative, pari a 2.4.

Le proprietà meccaniche del materiale muratura sono definite in modo da individuarne al meglio il comportamento in campo non lineare.

Le caratteristiche principali sono:

- Rigidezza iniziale secondo le caratteristiche elastiche (fessurate) del materiale;
- Redistribuzione delle sollecitazioni interne all'elemento tali da garantire l'equilibrio;
- Settaggio dello stato di danno secondo i parametri globali e locali;
- Degradazione della rigidezza nel ramo plastico;
- Controllo di duttilità mediante la definizione di drift massimo (δ_u) differenziato secondo quanto previsto nelle normative vigenti a seconda del meccanismo di danneggiamento agente sul pannello;
- Eliminazione dell'elemento, al raggiungimento delle condizioni limite senza interruzione dell'analisi.

Il comportamento non lineare si attiva quando un valore di forza raggiunge il suo massimo valore definito come il minimo fra i criteri di resistenza pressoflessione e taglio.

Il comportamento dei maschi murari associati ai meccanismi di taglio e pressoflessione può essere descritto attraverso diversi tratti che rappresentano i progressivi livelli di danno.

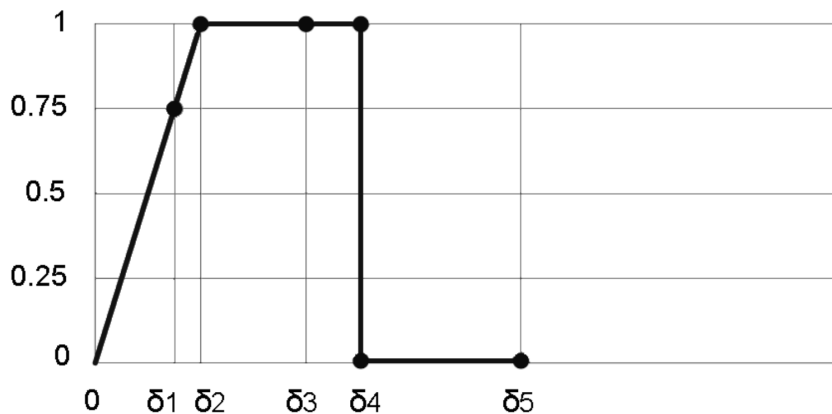


Figura 60: Maschio con meccanismo a taglio.

Il comportamento del maschio murario a taglio si può descrivere attraverso i seguenti tratti, rappresentativi dei progressivi livelli di danno relativi al diagramma precedente:

- 0 - δ_1 : elasticità;
- $\delta_1 - \delta_2$: incipiente plasticità;

- $\delta_2 - \delta_3$: comportamento plastico per taglio;
- $\delta_3 - \delta_4$: incipiente rottura per taglio;
- $\delta_4 - \delta_5$: rottura per taglio;
- $\delta_5 - \infty$: crisi grave;

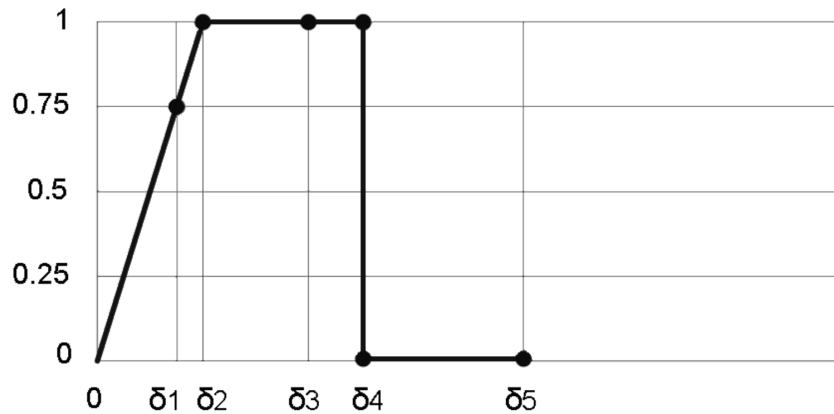


Figura 61: Maschio con meccanismo a pressoflessione.

Il comportamento del maschio murario a taglio si può invece descrivere attraverso i seguenti tratti:

- 0 - δ_1 : elasticità;
- $\delta_1 - \delta_2$: incipiente plasticità;
- $\delta_2 - \delta_3$: comportamento plastico per pressoflessione;
- $\delta_3 - \delta_4$: incipiente rottura per pressoflessione;
- $\delta_4 - \delta_5$: rottura per pressoflessione;
- $\delta_5 - \infty$: crisi grave;

Alcuni tra questi livelli di rottura sono necessari per descrivere con maggiore cura il progredire della crisi permettendo una più accurata previsione degli interventi e del livello di degrado della muratura:

- Incipiente plasticità: Quando un elemento si trova ancora in campo elastico ma è prossimo alla plasticità;
- Incipiente rottura: Quando un elemento è in campo plastico ma è prossimo alla rottura;
- Crisi grave: Quando in seguito alla rottura dell'elemento le deformazioni diventano talmente significative da poter generare un crollo locale.

Il software mette a disposizione tre categorie di legame:

- Con degrado di resistenza a un valore residuo (Legame multilineare);
- Con resistenza pari al valore residuo (Legame bilineare);
- Priva di resistenza residua.

Tra queste, le categorie di legame utilizzate all'interno del progetto in esame sono:

- Con degrado di resistenza a un valore residuo (Legame multilineare);
- Con resistenza pari al valore residuo (Legame bilineare).

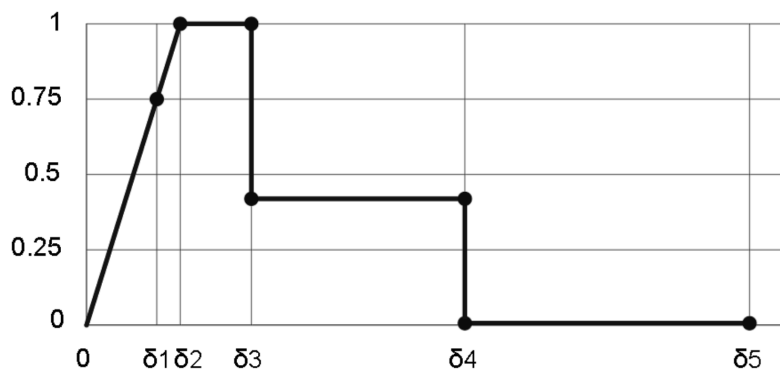


Figura 62: Legame multilineare

Questo tipo di legame è definito nella circolare 2019 al paragrafo 8.7.1.3.1 in cui si assume:

- $\delta_1 = 0.75 \delta_2$;
- $\delta_2 =$ deformazione in corrispondenza del limite elastico definito dalla rigidezza e resistenza limite;
- $\delta_3 = 0.005$;
- $\delta_4 = 0.015$;

- $\delta_5 = 2 \delta_4$.³³⁹

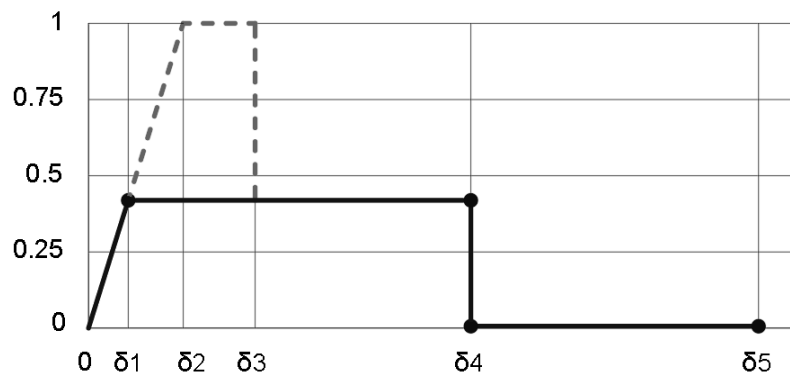


Figura 63: Legame bilineare

Questo tipo di legame è definito nella circolare 2019 al paragrafo 8.7.1.3.1, assumendo:

- $\delta_4 = 0.015$;
- $\delta_5 = 2 \delta_4$.

Questo tipo di legame è prodotto limitando il legame multilineare alla resistenza residua.

8.5.2. Materiali nuovi

L'intervento è stato attuato preferendo l'impiego di materiali analoghi a quelli esistenti per massimizzare la compatibilità in opera. Essendo state attuate delle iniezioni di miscele leganti e degli interventi di finitura con intonaco armato su alcuni maschi murari, si riporta di seguito una tabella aggiornata con i parametri meccanici di tutti i materiali post-intervento.

Muratura

Muratura esistente						
Nome	Tipo legame	E [N/mm ²]	Eh [N/mm ²]	G [N/mm ²]	Peso specifico [kN/m ³]	f _m [N/cm ²]
Tufo	Muratura irregolare (Turnsek/Cacovic)	1.410,00	1.410,00	450,00	16	260,00
Tufo armato (barre acciaio)	Muratura irregolare (Turnsek/Cacovic)	1.551,00	1.551,00	495,00	16	312,00
Tufo armato (barre acciaio)_IntonacoArmato	Muratura irregolare (Turnsek/Cacovic)	2.326,50	2.326,50	742,50	16	468,00
Tufo armato con iniezioni	Muratura irregolare (Turnsek/Cacovic)	1.861,20	1.861,20	594,00	16	374,40
Tufo con iniezioni	Muratura irregolare (Turnsek/Cacovic)	1.692,00	1.692,00	540,00	16	312,00
Tufo con iniezioni_IntonacoArmato	Muratura irregolare (Turnsek/Cacovic)	2.538,00	2.538,00	810,00	16	468,00
Tufo_IntonacoArmato	Muratura irregolare (Turnsek/Cacovic)	2.115,00	2.115,00	675,00	16	390,00

Muratura esistente				
Nome	f _k [N/cm ²]	τ [N/cm ²]	FC	γ _m
Tufo	150,41	6,00	1,21	3,00
Tufo armato (barre acciaio)	182,00	7,20	1,21	3,00
Tufo armato (barre acciaio)_IntonacoArmato	270,74	10,80	1,21	3,00
Tufo armato con iniezioni	218,40	8,64	1,21	3,00
Tufo con iniezioni	182,00	7,20	1,21	3,00
Tufo con iniezioni_IntonacoArmato	270,74	10,80	1,21	3,00
Tufo_IntonacoArmato	225,62	9,00	1,21	3,00

Tabella 8-5: Caratteristiche principali delle murature impiegate nel modello di calcolo.

Calcestruzzo

Calcestruzzo							
Nome	E [N/mm ²]	G [N/mm ²]	Peso specifico [kN/m ³]	f _{cm} [N/mm ²]	f _{ck} [N/mm ²]	γ _c	α _{cc}
C16/20	28.608,00	11.920,00	25	24,0	16,0	1,50	0,85
C25/30	31.476,00	13.115,00	25	33,0	25,0	1,50	0,85

Tabella 8-6: Caratteristiche meccaniche principali dei calcestruzzi utilizzati.

Non essendo state attuate modifiche sui materiali restanti, si rimanda alle tabelle del paragrafo 8.5.1 per le caratteristiche meccaniche degli altri elementi strutturali.

8.6. Analisi dei carichi

Si riportano di seguito i dettagli delle analisi dei carichi relativi alle singole componenti strutturali orizzontali, come riportate dal programma di calcolo.

8.6.1. Solai

N. Solaio	Posizione	Gk1 [daN/m ²]	Gk2 [daN/m ²]	Qk [daN/m ²]	Carico dominante	ψ0	ψ2
23	Livello 1 (+640 [cm])	57	200	200	Si	1,00	0,30
24	Livello 1 (+640 [cm])	232	300	200	Si	1,00	0,30
25	Livello 1 (+640 [cm])	232	300	200	Si	1,00	0,30
26	Livello 1 (+640 [cm])	232	300	200	Si	1,00	0,30
27	Livello 1 (+640 [cm])	232	300	200	Si	1,00	0,30
28	Livello 1 (+640 [cm])	232	300	200	Si	1,00	0,30
29	Livello 2 (+1.100 [cm])	232	300	200	Si	1,00	0,30
30	Livello 2 (+1.100 [cm])	232	300	200	Si	1,00	0,30
31	Livello 2 (+1.100 [cm])	232	300	200	Si	1,00	0,30
32	Livello 2 (+1.100 [cm])	232	300	200	Si	1,00	0,30
33	Livello 2 (+1.100 [cm])	232	300	200	Si	1,00	0,30
34	Livello 2 (+1.100 [cm])	232	300	200	Si	1,00	0,30
35	Livello 2 (+1.100 [cm])	232	300	200	Si	1,00	0,30
36	Livello 2 (+1.100 [cm])	232	300	200	Si	1,00	0,30
37	Livello 2 (+1.100 [cm])	232	300	200	Si	1,00	0,30
38	Livello 3 (+1.570 [cm])	232	300	200	Si	1,00	0,30
39	Livello 3 (+1.570 [cm])	232	300	200	Si	1,00	0,30
40	Livello 4 (+1.890 [cm])	232	300	200	Si	1,00	0,30
2	Livello 2 (+1.100 [cm])	37	0	200	Si	1,00	0,30
9	Livello 3 (+1.570 [cm])	57	200	200	Si	1,00	0,30
10	Livello 3 (+1.570 [cm])	57	200	200	Si	1,00	0,30
11	Livello 3 (+1.570 [cm])	57	200	200	Si	1,00	0,30
12	Livello 2 (+1.100 [cm])	57	200	200	Si	1,00	0,30
13	Livello 2 (+1.100 [cm])	57	200	200	Si	1,00	0,30
14	Livello 2 (+1.100 [cm])	57	200	200	Si	1,00	0,30
15	Livello 2 (+1.100 [cm])	57	200	200	Si	1,00	0,30
16	Livello 2 (+1.100 [cm])	57	200	200	Si	1,00	0,30
17	Livello 2 (+1.100 [cm])	57	200	200	Si	1,00	0,30
18	Livello 1 (+640 [cm])	57	200	200	Si	1,00	0,30
19	Livello 1 (+640 [cm])	57	200	200	Si	1,00	0,30
20	Livello 1 (+640 [cm])	57	200	200	Si	1,00	0,30
21	Livello 1 (+640 [cm])	57	200	200	Si	1,00	0,30
22	Livello 1 (+640 [cm])	57	200	200	Si	1,00	0,30

Tabella 8-7: Analisi dei carichi dei solai.

8.6.2. Volte

N. Volta	Posizione	Gk1 [daN/m2]	Gk2 [daN/m2]	Qk [daN/m2]	Carico dominante	ψ_0	ψ_2
41	Livello 2 (+1.100 [cm])	124	0	300	Si	1,00	0,30
42	Livello 2 (+1.100 [cm])	124	0	300	Si	1,00	0,30
47	Livello 4 (+1.890 [cm])	174	0	100	Si	1,00	0,30
48	Livello 4 (+1.890 [cm])	174	0	100	Si	1,00	0,30
49	Livello 4 (+1.890 [cm])	174	0	100	Si	1,00	0,30
50	Livello 4 (+1.890 [cm])	174	0	100	Si	1,00	0,30
51	Livello 2 (+1.100 [cm])	124	0	300	Si	1,00	0,30
52	Livello 2 (+1.100 [cm])	124	0	300	Si	1,00	0,30
53	Livello 1 (+640 [cm])	601	0	200	Si	1,00	0,30
54	Livello 1 (+640 [cm])	601	0	200	Si	1,00	0,30
55	Livello 1 (+640 [cm])	601	0	200	Si	1,00	0,30
56	Livello 1 (+640 [cm])	601	0	200	Si	1,00	0,30
57	Livello 1 (+640 [cm])	601	0	200	Si	1,00	0,30
58	Livello 1 (+640 [cm])	601	0	200	Si	1,00	0,30
59	Livello 1 (+640 [cm])	601	0	200	Si	1,00	0,30
60	Livello 1 (+640 [cm])	601	0	200	Si	1,00	0,30
61	Livello 1 (+640 [cm])	601	0	200	Si	1,00	0,30
62	Livello 1 (+640 [cm])	601	0	200	Si	1,00	0,30
63	Livello 1 (+640 [cm])	601	0	200	Si	1,00	0,30
64	Livello 1 (+640 [cm])	601	0	200	Si	1,00	0,30
65	Livello 1 (+640 [cm])	601	0	200	Si	1,00	0,30
66	Livello 1 (+640 [cm])	601	0	200	Si	1,00	0,30
67	Livello 1 (+640 [cm])	601	0	200	Si	1,00	0,30
68	Livello 1 (+640 [cm])	601	0	200	Si	1,00	0,30
69	Livello 1 (+640 [cm])	601	0	200	Si	1,00	0,30
70	Livello 1 (+640 [cm])	601	0	200	Si	1,00	0,30
71	Livello 1 (+640 [cm])	601	0	200	Si	1,00	0,30
72	Livello 1 (+640 [cm])	601	0	200	Si	1,00	0,30
73	Livello 1 (+640 [cm])	601	0	200	Si	1,00	0,30
74	Livello 1 (+640 [cm])	601	0	200	Si	1,00	0,30
75	Livello 1 (+640 [cm])	601	0	200	Si	1,00	0,30
76	Livello 1 (+640 [cm])	601	0	200	Si	1,00	0,30

N. Volta	Posizione	Gk1 [daN/m ²]	Gk2 [daN/m ²]	Qk [daN/m ²]	Carico dominante	ψ0	ψ2
77	Livello 1 (+640 [cm])	601	0	200	Si	1,00	0,30
78	Livello 1 (+640 [cm])	601	0	200	Si	1,00	0,30
79	Livello 1 (+640 [cm])	601	0	200	Si	1,00	0,30
80	Livello 1 (+640 [cm])	601	0	200	Si	1,00	0,30
33	Livello 2 (+1.100 [cm])	124	0	300	Si	1,00	0,30
34	Livello 2 (+1.100 [cm])	124	0	300	Si	1,00	0,30
35	Livello 2 (+1.100 [cm])	124	0	300	Si	1,00	0,30
38	Livello 2 (+1.100 [cm])	124	0	300	Si	1,00	0,30
39	Livello 2 (+1.100 [cm])	124	0	300	Si	1,00	0,30
40	Livello 2 (+1.100 [cm])	124	0	300	Si	1,00	0,30

Tabella 8-8: Analisi dei carichi delle volte.

8.6.3. Coperture

N. Falda	Posizione	Gk1 [daN/m ²]	Gk2 [daN/m ²]	Qk [daN/m ²]	Carico dominante	ψ0	ψ2
1	Livello 4 (+1.890 [cm])	133	0	200	Si	1,00	0,00
2	Livello 4 (+1.890 [cm])	133	0	200	Si	1,00	0,00
3	Livello 4 (+1.890 [cm])	72	375	200	Si	1,00	0,00
4	Livello 4 (+1.890 [cm])	72	375	200	Si	1,00	0,00

Tabella 8-9: Analisi dei carichi delle falde di copertura.

8.6.4. Tamburo, cupola e lanterna

Essendo il programma di calcolo limitato nella valutazione degli effetti di strutture di copertura complesse – come nel caso di cupole estradossate – si è scelto di modellarne gli effetti come carico applicato in corrispondenza dei quattro arconi della crociera. Si riporta di seguito un'analisi dei carichi applicati dalla struttura sulla Chiesa, effettuata con calcoli manuali, preliminari ad un'applicazione di statica grafica per la verifica dello stato della cupola in condizioni statiche.

Dagli elaborati di rilievo pubblicati da Petreschi e risultanti dalla ricerca archivistica, è stato effettuato un calcolo approssimato dei carichi dovuti al peso proprio della cupola e dei suoi componenti, riportato nella tabella di seguito.

8.6.4.1 Pennacchi sferici

I pennacchi sferici, elementi di raccordo tra la cupola e i pilastri della crociera, sono stati valutati considerando la differenza di volume tra il cubo di lato pari al raggio d'imposta della cupola e un ottavo della sfera che identifica l'intradosso dei pennacchi stessi. Considerando un peso proprio di 14.5 kN/m³, media delle indicazioni normative alla tabella C.8.5.I, risulta un carico complessivo di 2047.41 kN per pennacchio. In ragione del funzionamento e della geometria degli stessi, per definire un carico più vicino a quello effettivamente applicato agli arconi della crociera si immagina di schematizzare questa componente come un carico triangolare, nullo in mezzeria e massimo in corrispondenza dei pilastri, di risultante pari a metà del carico da peso proprio del singolo pennacchio.

Analisi dei carichi cupola: pennacchi sferici (G1)						
Elemento [-]	Numero elementi	Volume interno [m ³]	Volume esterno [m ³]	Peso proprio [N/m ³]	Carico [kN]	Carico tot. [kN]
Pennacchio	4	82.45	223.65	14500	204.74	818.96

Tabella 8-10: Analisi dei carichi dei pennacchi sferici.

8.6.4.2 Muratura portante

Gli elementi in muratura portante della cupola sono stati calcolati come risultanti dalla rotazione attorno ad un asse di simmetria di diverse sezioni, come evidente in tabella. Il carico è stato ripartito uniformemente sugli arconi della crociera.

Analisi dei carichi cupola: muratura portante (G1)						
Elemento [-]	Numero elementi	Spessore [m]	stanza asse sim [m]	Altezza/Raggio [m]	Peso proprio [N/m ³]	Carico [kN]
Tamburo	-	1.15	6.12	-	-	-
T-Fascia piena	8	1.15	6.12	10.58	14500	339.20
T-Fascia con finestra	8	1.15	6.12	6.42	14500	205.83
Cupola	1	0.52	6.12	8.86	14500	231.48
C-Cappa armata	1	0.15	-	-	25000	73.27
Lanterna	-	-	-	-	-	-
L-Tamburo	1	0.26	0.77	3.03	14500	5.53
L-Cupola	1	0.24	0.77	1.1	14500	2.84
L-Contrafforte	8	0.24	-	2.56	14500	2.85
L-Sfera in rame	1	-	-	0.34	87405	1.44
L-Cappa armata	1	0.15	-	-	25000	17.43
					Tot.	879.87

Tabella 8-11: Analisi dei carichi dovuti agli elementi in muratura della cupola.

I carichi sono stati valutati come segue:

- Gli elementi appartenenti al tamburo, così come quelli della porzione cilindrica della lanterna, sono stati calcolati come prodotto della rotazione del rettangolo che ne costituisce la sezione attorno all'asse di simmetria radiale della cupola. In particolare, si è discretizzato il tamburo in base a fasce prive di apertura e fasce in corrispondenza delle finestre, dividendo la circonferenza in 16 porzioni di lunghezza rispettivamente pari all'ampiezza della parte di cupola priva di aperture e alla larghezza delle finestre;
- Le due cupole ogivali, così come le cappe armate ad esse relative, sono state valutate come solidi di rotazione attorno all'asse di simmetria verticale;
- I contrafforti della lanterna sono stati valutati come elementi parallelepipedi di spessore e altezza noti e base definita dalla profondità media delle volute;
- La sfera in rame è stata ipotizzata piena.

Nel modello di calcolo, sul singolo arcone della crociera risultano dunque applicati due carichi trapezoidali simmetrici, ciascuno composto da:

- Un carico uniformemente distribuito di risultante 220 kN;

- Un carico triangolare di risultante 102.4 kN, nullo in mezzeria e massimo in corrispondenza del pilastro.

8.6.5. *Volute*

Non essendo modellabili in ambiente 3muri in virtù della labilità di un estremo del pannello murario equivalente, i contrafforti a voluta sono stati anch'essi valutati come carico applicato alla struttura, considerando un carico uniformemente distribuito dovuto a un pannello di volume equivalente a quello della singola voluta.

Analisi dei carichi: contrafforti/volute						
Lunghezza [m]	Altezza [m]	Spessore [m]	Volume [m ³]	Peso proprio [N/m ³]	Carico [kN]	Carico [kN/m]
4.7	5.5	0.8	20.68	16000	330.88	70.4

Tabella 8-12: Analisi dei carichi dovuti al singolo contrafforte a voluta.

8.6.6. *Azioni sismiche*

Come anticipato al paragrafo 8.2.2, la valutazione delle azioni sismiche può essere condotta riferendosi alle indicazioni del paragrafo 3.2.3 delle NTC 2018. Avendo definito la categoria di terreno soggiacente l'opera, è preliminarmente significativo definire anche le condizioni topografiche del sito, ricavabili in base alle indicazioni della tabella 3.2.III delle NTC.

Tab. 3.2.III – *Categorie topografiche*

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

In virtù del fatto che la Chiesa sorge su un dislivello di 4.17 m avente sviluppo longitudinale di 25.0 m³⁴⁰, da elementari calcoli trigonometrici risulta un'inclinazione media entro i 10°, implicando una categoria topografica T1.

All'interno delle NTC, l'azione sismica è caratterizzata da 3 componenti traslazionali:

- Due orizzontali, contrassegnate da X e Y;
- Una verticale, contrassegnata da Z.

Le tre componenti sono da considerarsi tra loro indipendenti; quella verticale è ritenuta significativa per le tipiche opere edili solo nei siti in cui $a_g \geq 0.15$ g; le due componenti ortogonali indipendenti che descrivono il moto orizzontale invece sono caratterizzate dallo stesso spettro di risposta³⁴¹.

Lo spettro di risposta elastico in termini di accelerazione è un grafico che riporta, in funzione del periodo naturale di vibrazione di una costruzione ipotizzata a comportamento indefinitamente elastico, l'accelerazione massima che subirà quando sarà investita da un evento sismico con una data probabilità di accadimento.

La forma dello spettro di risposta e i valori delle accelerazioni sismiche dipendono dai seguenti parametri:

- Pericolosità del sito: calcolata in funzione delle sue coordinate geografiche (latitudine e longitudine). Tutti i dati sulla pericolosità sismica del sito sono contenuti negli allegati A e B delle NTC2 008, riferiti ad un reticolo composto da 10751 punti che ricopre tutto il territorio nazionale;
- Categoria di sottosuolo;
- Condizioni topografiche;
- Probabilità di accadimento dell'evento sismico in funzione dello stato limite considerato (per Stato Limite di Salvaguardia della Vita il periodo di ritorno è di 475 anni per strutture ordinarie);
- Vita nominale dell'opera;
- Classe d'uso dell'opera;
- Valore dello smorzamento della costruzione (si assume convenzionalmente pari al 5% per le costruzioni in muratura).

Una volta noti tutti i parametri elencati, è possibile utilizzare le formule proposte dalla Normativa Tecnica per calcolare lo spettro di risposta elastico.

La definizione degli spettri di risposta di riferimento è stata condotta in questa applicazione attraverso il foglio di calcolo *Spettri NTC*³⁴², reso disponibile dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici³⁴³, che applica le prescrizioni normative interpolando gli spettri in base a un reticolo a maglie quadre di apertura 5 km, ai cui vertici sono definiti gli spettri di

riferimento; inserendo le coordinate del sito in esame, è quindi possibile ricavare gli spettri elastici di riferimento per il progetto.

8.6.6.1. Definizione degli spettri di riferimento

Come indicato nella pagina introduttiva del foglio di calcolo *Spettri NTC*, il documento fornisce gli spettri di risposta rappresentativi delle componenti orizzontali e verticale delle azioni sismiche di progetto per il generico sito del territorio nazionale, attraverso un'articolazione in tre fasi:

Come indicato nella pagina introduttiva del foglio di calcolo *Spettri NTC*, il documento consente il calcolo degli spettri di risposta rappresentativi delle componenti orizzontali e verticale delle azioni sismiche di progetto per il generico sito del territorio nazionale, attraverso un'articolazione in tre fasi:

- Individuazione della pericolosità del sito;
- Scelta della strategia di progettazione;
- Determinazione dell'azione di progetto.

Si riportano di seguito le schermate del foglio di calcolo e i parametri di riferimento per la definizione degli spettri di risposta di progetto, partendo dagli spettri di risposta elastici.

FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

Ricerca per coordinate

Ricerca per comune

LONGITUDINE: 14.26487

LATITUDINE: 40.85454

REGIONE: Campania

PROVINCIA: Napoli

COMUNE: Napoli

Elaborazioni grafiche

Grafici spettri di risposta

Variabilità dei parametri

Elaborazioni numeriche

Tabella parametri

Nodi del reticolo intorno al sito

Reticolo di riferimento

Controllo sul

- Sito esterno al reticolo
- Interpolazione su 3 nodi
- Interpolazione corretta

media ponderata

La "Ricerca per comune" utilizza le coordinate ISTAT del comune per identificare il sito. Si sottolinea che all'interno del territorio comunale le zioni sismiche possono essere significativamente diverse da quelle così individuate e si consiglia, quindi, la "Ricerca per coordinate".

INTRO
FASE 1
FASE 2
FASE 3

Figura 64: Foglio di calcolo Spettri NTC - Fase 1.

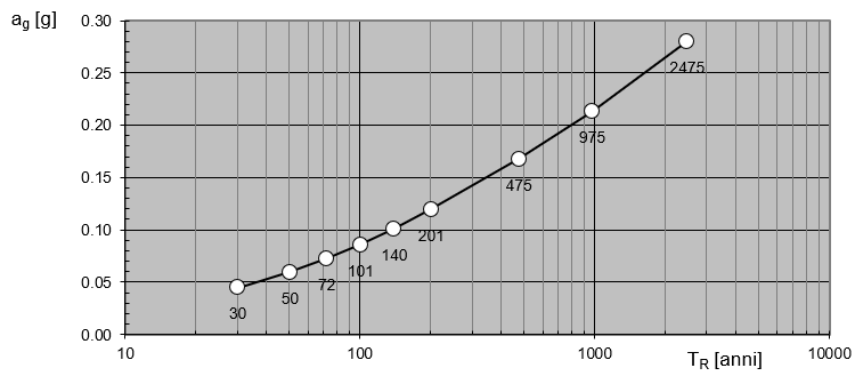


Figura 65: Variabilità di a_g col periodo di ritorno T_R .

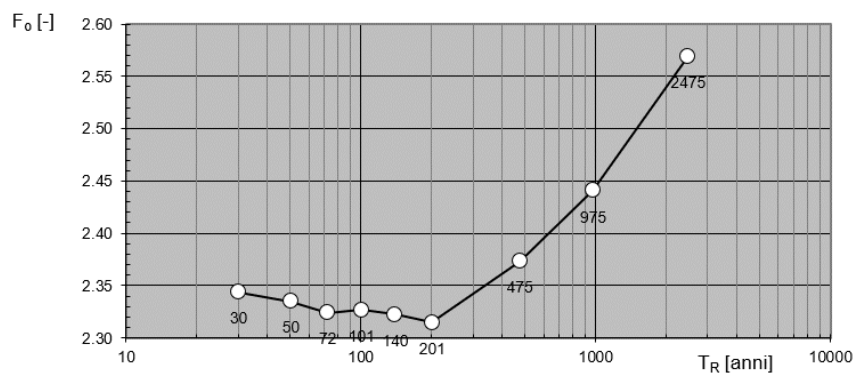


Figura 66: Variabilità di F_0 col periodo di ritorno T_R .

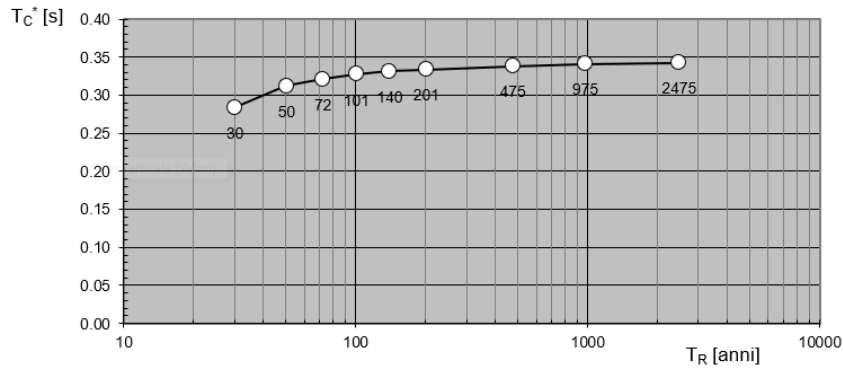


Figura 67: Variabilità di T_c^* col periodo di ritorno T_R .

T_R [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T_c^* [s]
30	0.045	2.344	0.284
50	0.059	2.335	0.312
72	0.072	2.324	0.321
101	0.086	2.327	0.328
140	0.101	2.322	0.331
201	0.120	2.315	0.334
475	0.168	2.373	0.338
975	0.213	2.441	0.341
2475	0.280	2.569	0.342

Tabella 8-13: Valori dei parametri a_g , F_0 , T_c^* per i periodi di ritorno T_R di riferimento.

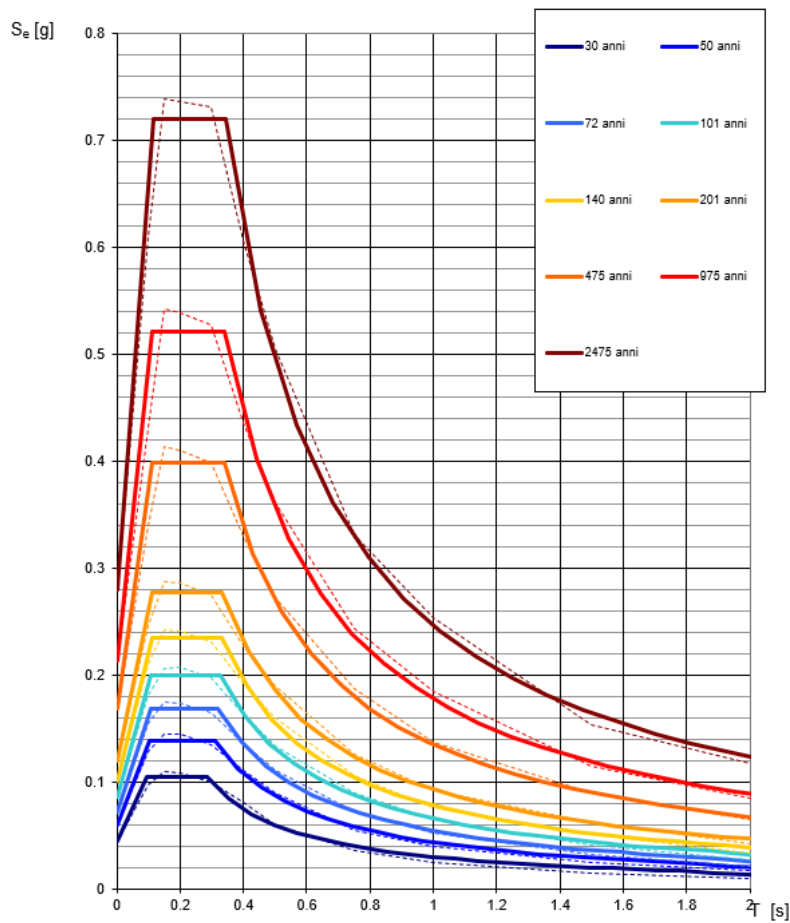


Figura 68: Spettri di risposta elastici per i periodi di ritorno T_R di riferimento.

Come è intuibile, l'azione di un terremoto ha intensità, direzione e verso variabili istante per istante; nelle tipiche applicazioni progettuali si tende a porre come riferimento l'effetto massimo in termini di accelerazione subito dalla struttura durante l'evento sismico; da ciò deriva la necessità di costruire gli spettri di risposta, definiti in base alle indicazioni normative, da cui si ricavano i valori di riferimento di accelerazione in base a due caratteristiche proprie della struttura:

- Periodo di oscillazione della struttura;
- Smorzamento: aumenta con la duttilità della struttura, consente di attenuare l'effetto della forza sismica.

Una volta definito il periodo di riferimento della struttura in base alle indicazioni normative, tramite lo spettro è possibile identificare l'accelerazione cui la struttura è soggetta in corrispondenza di un determinato stato limite, consentendo di definire l'azione sismica applicata in ogni parte dell'edificio.

Nel progredire nella definizione delle azioni sismiche di progetto agenti sulla struttura, è necessario definire il periodo di riferimento della struttura, dipendente dalla vita nominale (numero di anni nel quale si prevede che l'opera, soggetta a interventi ordinari di manutenzione, mantenga specifici livelli prestazionali) e dalla classe d'uso (dipendente essenzialmente dalla destinazione d'uso e dalla rilevanza strategica del manufatto) della costruzione. In tabella 2.4.II delle NTC 2018 sono riportati i diversi valori del coefficiente d'uso c_u al variare della classe d'uso della struttura in esame. In questo caso, come evidente in figura 46, si è scelto di adottare una vita nominale di 50 anni³⁴⁴, corrispondente a *costruzioni con livelli di prestazioni ordinari*, ed una classe d'uso III, relativa a *costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi*³⁴⁵. Ne risulta un periodo di riferimento di 75 anni, rispetto al quale si definiscono i periodi di ritorno di riferimento per la definizione dell'azione sismica ai vari stati limite come segue:

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

In cui:

- T_R è il periodo di ritorno di riferimento ad un determinato stato limite;

- V_R è il periodo di riferimento della struttura, pari al prodotto tra vita nominale e coefficiente d'uso;
- P_{VR} è la probabilità di accadimento di un terremoto, dipendente dalla vita nominale della struttura e dallo stato limite in esame.

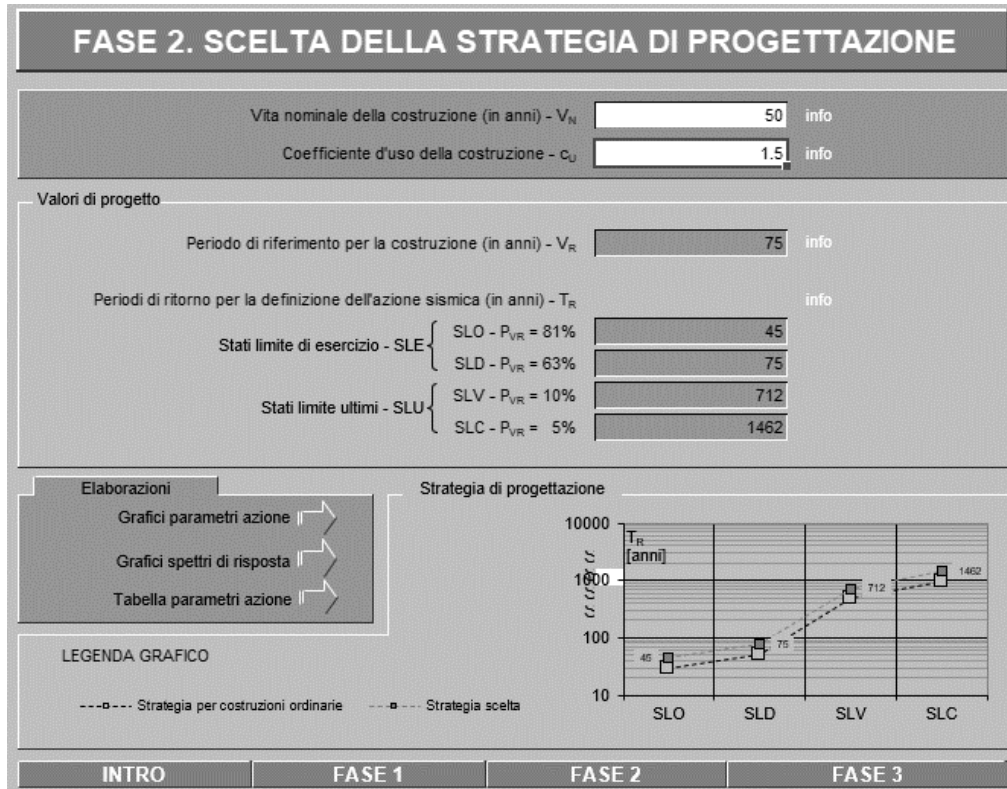


Figura 69: Foglio di calcolo Spettri NTC - Fase 2.

SLATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T_C^* [s]
SLO	45	0.056	2.337	0.306
SLD	75	0.074	2.324	0.322
SLV	712	0.192	2.411	0.340
SLC	1462	0.240	2.496	0.342

Tabella 8-14: Valori dei parametri a_g , F_0 , T_C^* per i periodi di ritorno T_R associati ai diversi stati limite.

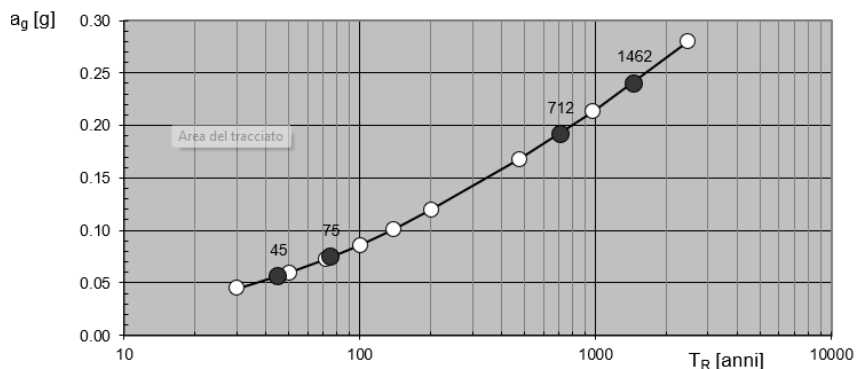


Figura 70: Valori di progetto di a_g in funzione del periodo di ritorno T_R

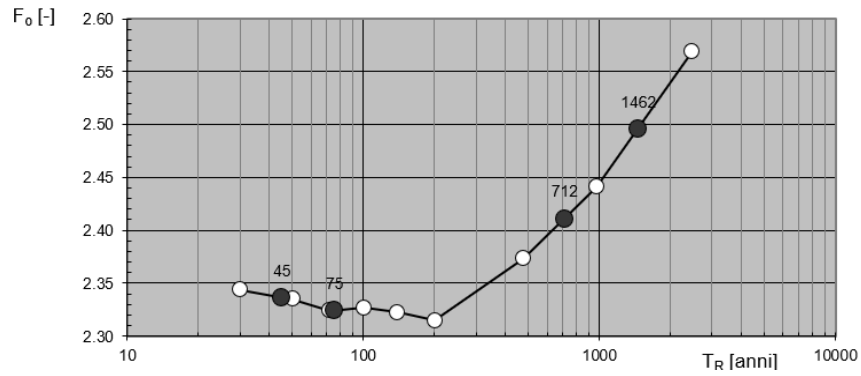


Figura 71: Valori di progetto di F_0 in funzione del periodo di ritorno T_R .

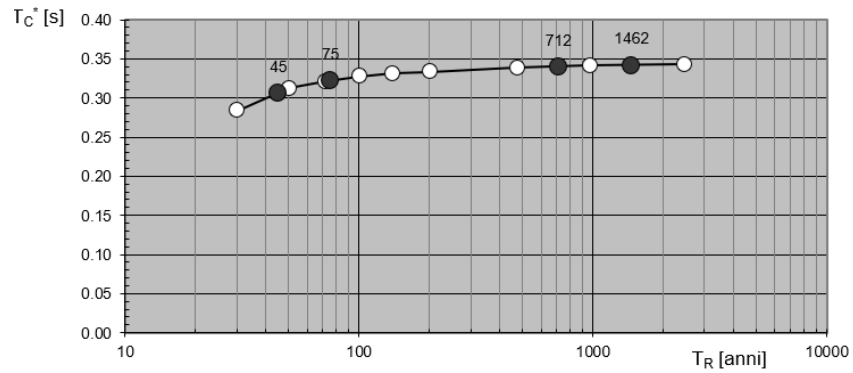


Figura 72: Valori di progetto di T_C^* in funzione del periodo di ritorno T_R .

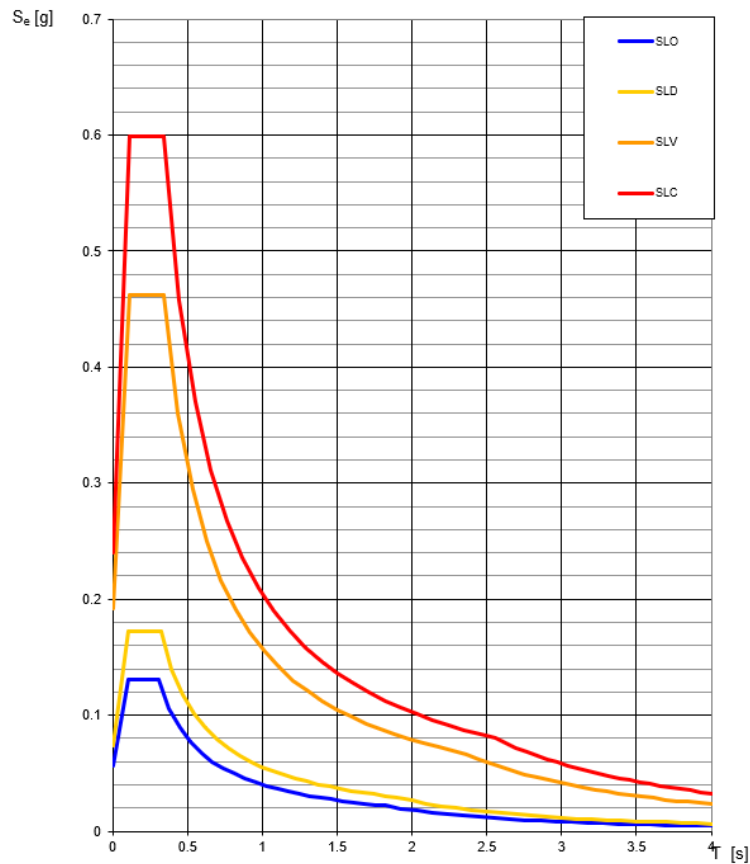


Figura 73: Spettri di risposta elastici per i diversi stati limite.

Partendo dalla definizione degli spettri di risposta elastici³⁴⁶ in termini di accelerazione relativi agli stati limite di riferimento, per poter determinare le azioni di progetto³⁴⁷, è necessario definire il *fattore di comportamento* q , fattore dipendente dalla tipologia strutturale, dal suo grado di iperstaticità e dai criteri di progettazione adottati³⁴⁸. Nel caso di strutture a comportamento dissipativo – come per le strutture ordinarie in muratura – detto fattore viene definito come segue:

$$q_{lim} = q_0 \cdot K_R$$

In cui:

- q_0 è il valore base del fattore di comportamento allo SLV, riportato dalla norma in Tabella 7.3.II, di cui si propone di seguito un estratto relativo alle diverse tecniche costruttive per strutture in muratura;
- K_R è un fattore dipendente dalle caratteristiche di regolarità in altezza della costruzione, pari ad 1 per strutture regolari e 0.8 per costruzioni non regolari in altezza.

Costruzioni di muratura (§ 7.8.1.3)	
Costruzioni di muratura ordinaria	1,75 α_u/α_1
Costruzioni di muratura armata	2,5 α_u/α_1
Costruzioni di muratura armata con progettazione in capacità	3,0 α_u/α_1
Costruzioni di muratura confinata	2,0 α_u/α_1
Costruzioni di muratura confinata con progettazione in capacità	3,0 α_u/α_1

Il rapporto α_u/α_1 , presente in tabella 7.3.II, identifica il rapporto tra il primo evento plastico e il collasso della struttura in un'analisi pushover. Mentre in ambito di ricerca il q_0 è valutato in base ad analisi non lineari sull'esistente, in un progetto di una struttura in muratura ordinaria si può scrivere:

$$q_0 = 1.75 \frac{\alpha_u}{\alpha_1} = 1.75 \cdot 1.7 = 2.975$$

Come evidente dall'elevata variabilità in termini di massa e rigidezza lungo l'altezza della Chiesa di Santa Caterina a Formiello, oltre al fatto che i sistemi sismoresistenti verticali continui lungo l'altezza si limitano alle facciate terminali di navata e transetto, si è ritenuto di considerare l'edificio come non regolare in altezza.

Infine, per poter riferire le azioni sismiche alle condizioni specifiche del sito, in base alla categoria di sottosuolo e alla categoria topografica valutate in precedenza si definisce un

coefficiente di amplificazione di sito, descritto al paragrafo 3.2.3.2.1 delle NTC 2018 e pari al prodotto tra coefficiente di amplificazione stratigrafica (definito in tabella 3.2.IV delle NTC 2018) e il coefficiente di amplificazione topografica (definito in tabella 3.2.V delle stesse norme). Si riportano di seguito le tabelle di riferimento per il calcolo dei coefficienti topografico e stratigrafico.

Tab. 3.2.IV – Espressioni di S_s e di C_c

Categoria sottosuolo	S_s	C_c
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_0 \cdot \frac{a_k}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_c^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_0 \cdot \frac{a_k}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_c^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_0 \cdot \frac{a_k}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_c^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_0 \cdot \frac{a_k}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_c^*)^{-0,40}$

Tab. 3.2.V – Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica S_T

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S_T
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media minore o uguale a 30°	1,2
T4	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media maggiore di 30°	1,4

È dunque possibile definire le azioni di progetto agenti sulla Chiesa.

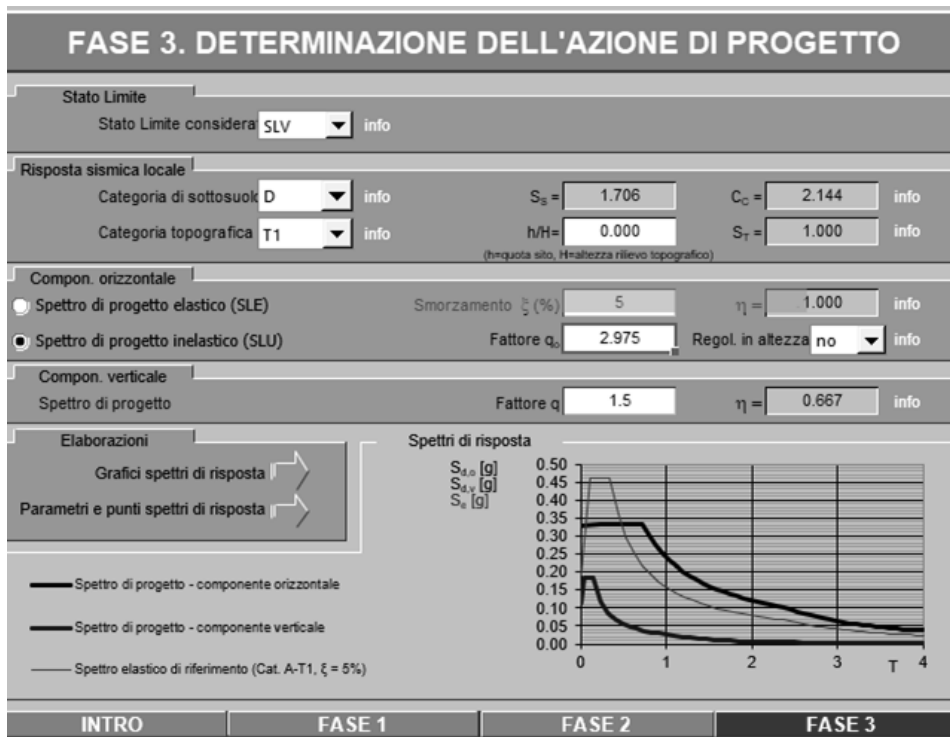


Figura 74: Foglio di calcolo Spettri NTC - Fase 3.

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_g	0.192 g
F_o	2.411
T_C^*	0.340 s
S_S	1.706
C_C	2.144
S_T	1.000
q	2.380

Parametri dipendenti

S	1.706
η	0.420
T_B	0.243 s
T_C	0.729 s
T_D	2.367 s

Tabella 8-15: Parametri dello spettro di risposta orizzontale a SLV.

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLD
a_g	0.074 g
F_o	2.324
T_C^*	0.322 s
S_S	1.800
C_C	2.203
S_T	1.000
q	2.380

Parametri dipendenti

S	1.800
η	0.420
T_B	0.236 s
T_C	0.709 s
T_D	1.896 s

Tabella 8-16: Parametri dello spettro di risposta orizzontale a SLD.

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLO
a_g	0.056 g
F_o	2.337
T_C^*	0.306 s
S_S	1.800
C_C	2.259
S_T	1.000
q	2.380

Parametri dipendenti

S	1.800
η	0.420
T_B	0.231 s
T_C	0.692 s
T_D	1.824 s

Tabella 8-17: Parametri dello spettro di risposta orizzontale a SLO.

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLC
a_g	0.240 g
F_o	2.496
T_C^*	0.342 s
S_S	1.502
C_C	2.138
S_T	1.000
q	2.380

Parametri dipendenti

S	1.502
η	0.420
T_B	0.244 s
T_C	0.731 s
T_D	2.560 s

Tabella 8-18: Parametri dello spettro di risposta orizzontale a SLC.

Si riportano di seguito i diagrammi degli spettri di risposta sismica di progetto per i quattro stati limite di riferimento.

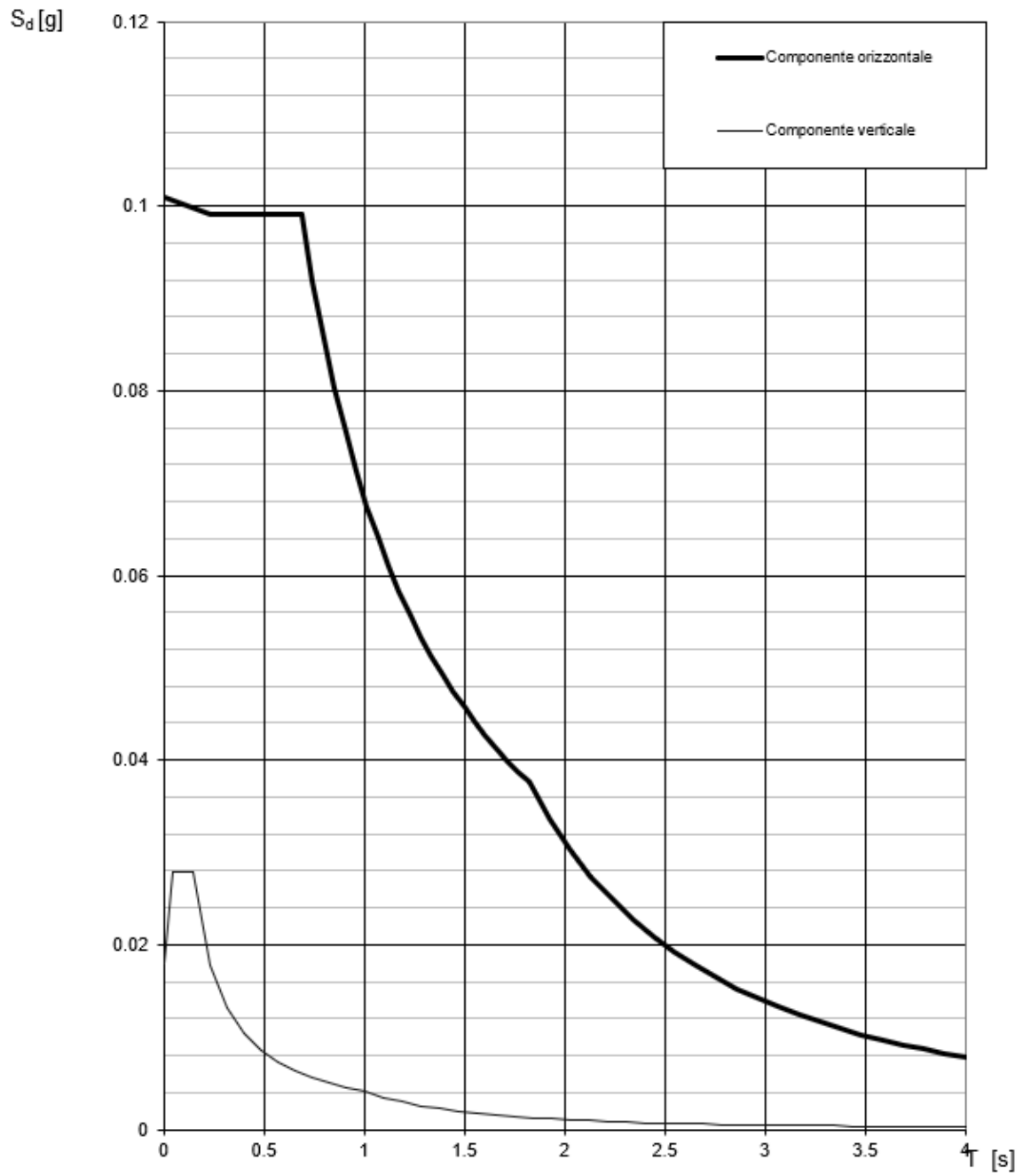


Figura 75: Spettri di risposta (componenti orizzontale e verticale) di progetto a SLO.

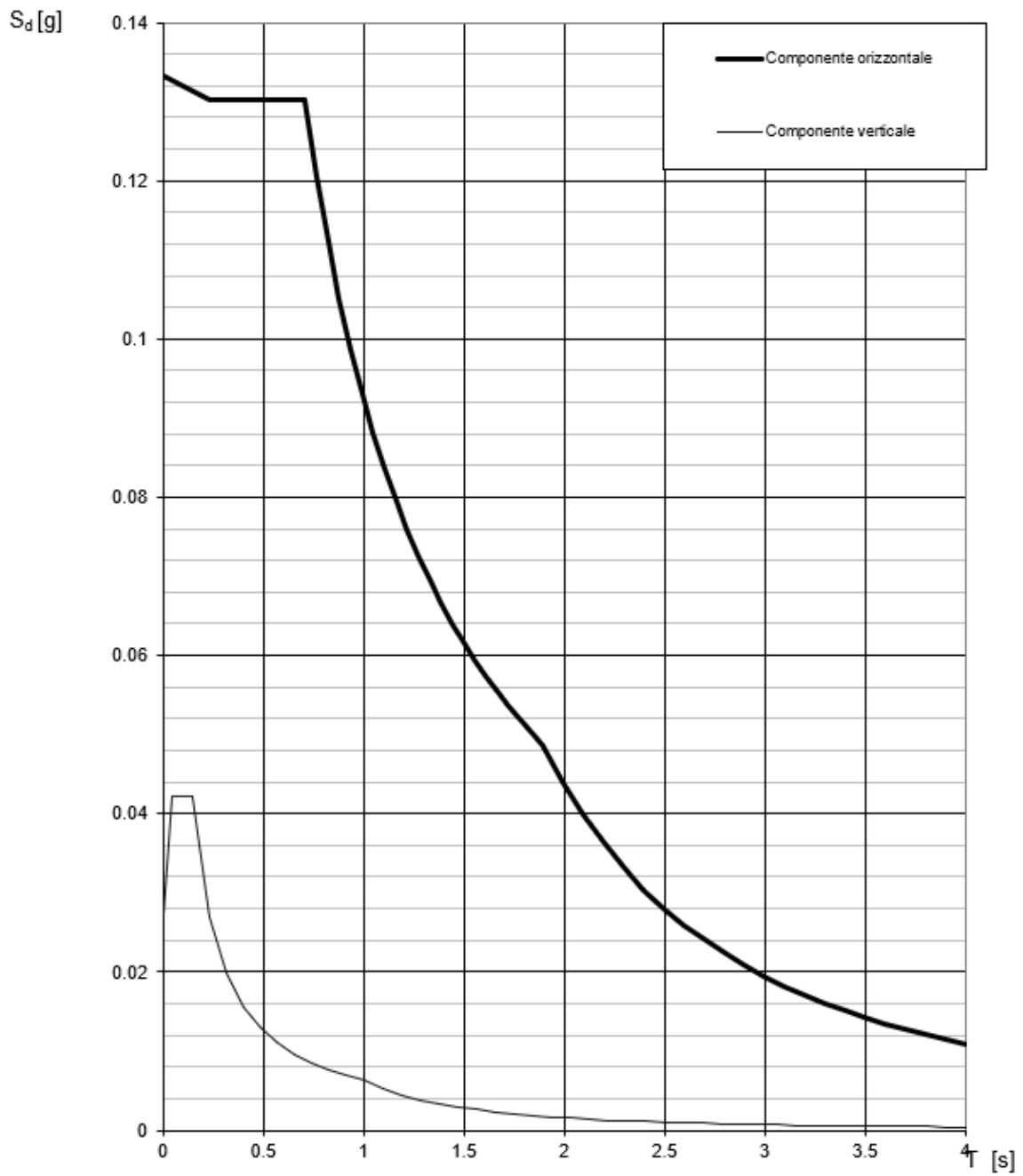


Figura 76: Spettri di risposta (componenti orizzontale e verticale) di progetto a SLD.

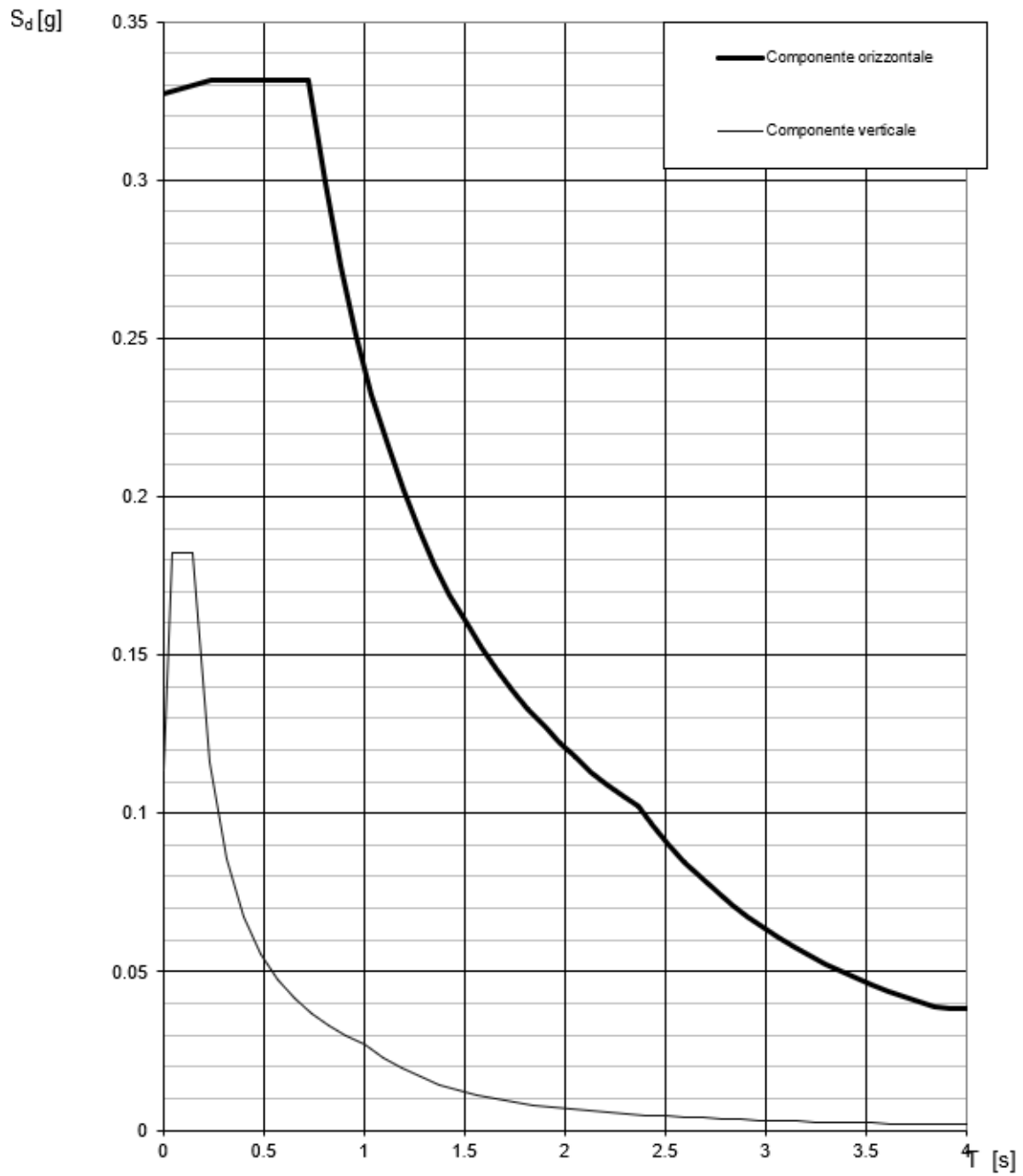


Figura 77: Spettri di risposta (componenti orizzontale e verticale) di progetto a SLV.

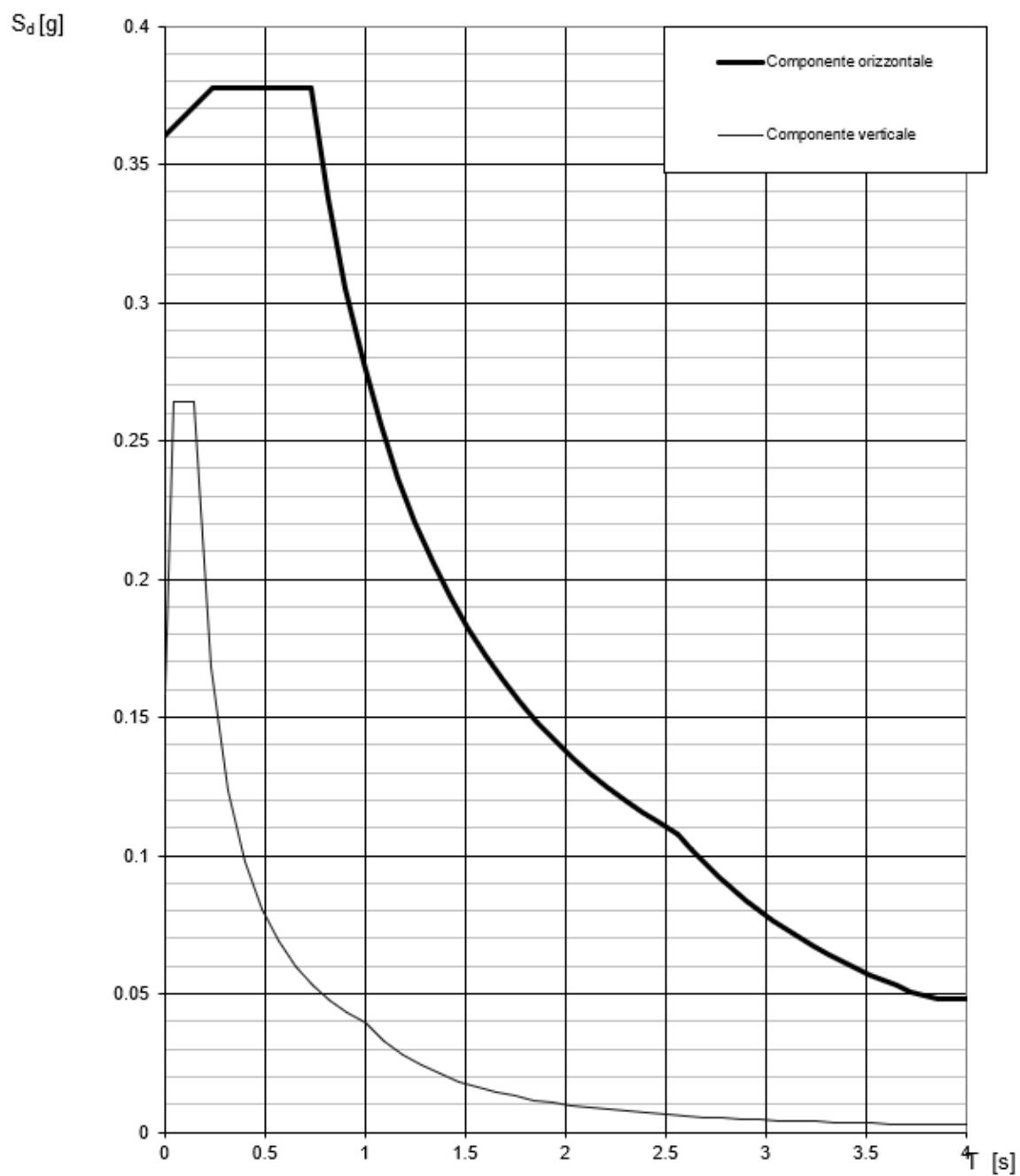


Figura 78: Spettri di risposta (componenti orizzontale e verticale) di progetto a SLC.

Gli stati limite considerati per la verifica della struttura sono:

- Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV): a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidezza nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidezza per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali.
- Stato Limite di Danno (SLD): La verifica nei confronti dello SLD è considerata solo in relazione alla perdita di funzionalità (agibilità) del manufatto, in quanto si ritiene che la danneggiabilità di una costruzione storica in muratura, specie nei riguardi di un'azione sismica frequente, sia imprescindibile per tali manufatti e, come tale, conseguenza del tutto accettabile.
- Stato Limite di Salvaguardia delle Opere d'Arte (SLA): stato limite in corrispondenza del quale, a seguito di un terremoto avente una data intensità – tipicamente pari a quella considerata per lo SLD³⁴⁹ – i beni artistici presenti nell'edificio³⁵⁰ subiscono danni di modesta entità, tali da poter essere restaurati senza una significativa perdita del valore culturale³⁵¹.

In particolare, nel caso in cui le condizioni allo SLA siano tali da lasciar presupporre un danneggiamento, la valutazione è richiesta esclusivamente a livello locale, in corrispondenza delle parti di costruzione dotate di elementi di particolare valore storico-artistico; gli organi di tutela possono prescrivere un livello di protezione differenziato in base alla rilevanza culturale dei singoli elementi, considerando talvolta come azione di riferimento l'azione sismica a SLV.

8.7. Progetto dell'intervento (NTC 2018, par. 8.7.5)

Ai sensi del paragrafo 8.4 delle NTC 2018 e dell'Art. 29, comma 4 del d.lgs. 22 gennaio 2004, n. 42 (*Codice dei Beni Culturali e del Paesaggio*), gli interventi su beni di interesse culturale si limitano al miglioramento sismico e alla relativa valutazione della sicurezza. Si riportano nel seguito i risultati delle analisi strutturali e l'evoluzione delle strategie d'intervento conseguenti.

8.7.1. Generalità

L'analisi strutturale è stata condotta attraverso l'implementazione di un modello di calcolo della struttura esistente attraverso il software 3muri versione 14³⁵², che consente di svolgere l'analisi statica non lineare e dinamica modale di strutture in muratura e miste nuove o esistenti in maniera conforme alle NTC 2018 e alla relativa circolare integrativa del 2019 con l'approccio ai macroelementi. Il programma di calcolo impiegato si basa su una procedura innovativa di analisi computazionale, il cosiddetto metodo *Frame by Macro Element* (FME), che è in grado di schematizzare l'edificio mediante *macroelementi strutturali* per analizzare nel dettaglio il comportamento sismico degli edifici in muratura.

La modellazione dell'edificio viene realizzata mediante l'inserimento di pareti che vengono discretizzate in macroelementi, rappresentativi di maschi murari e fasce di piano deformabili. Le porzioni murarie che collegano maschi e fasce sono detti pannelli nodali, i quali indicano delle zone di muratura che tipicamente sono meno soggette al danneggiamento sismico.

Il programma dispone di un modulo grafico per l'introduzione della struttura con comandi intuitivi, di un solutore per la creazione del modello di calcolo e la relativa soluzione, di un post-processore per la presentazione immediata dei risultati e la creazione della relazione di calcolo.

Con il programma 3muri sono stati implementati due modelli di calcolo: il primo rispecchia la condizione dello stato di fatto (modello di calcolo *ante operam*), mentre il secondo è rappresentativo dello stato di progetto, richiesto per incrementare la sicurezza sismica della struttura (modello di calcolo *post operam*). Dal confronto dei risultati si evince che gli interventi previsti consentono il miglioramento sismico del fabbricato.

8.7.2. Modello di calcolo ante operam – Chiesa isolata

La struttura originaria della Chiesa, costituita da muratura di mattoni in tufo a conci regolari e giunti di malta di calce a corsi regolari, si articola su due livelli – rispettivamente di 11 e 7.90 m di altezza, con un'altezza complessiva di 18.90 m al netto del colmo della copertura a falde – divisi nel modello in 4 livelli complessivi in virtù delle diverse giaciture degli orizzontamenti della sagrestia rispetto alle volte dell'aula. L'area di impronta dell'edificio religioso è all'incirca rettangolare, di dimensioni 57,5 m per 25,0 m. Le strutture orizzontali

sono essenzialmente costituite da volte a botte nell'aula³⁵³ e da solai con travetti in legno e tavolato doppio negli ambienti della sacrestia; la copertura della navata, a due falde, è costituita da solai a putrelle e tavelloni, come evidenziato dal rilievo di Petreschi, e raggiunge una quota massima di 23.80 m. Si riporta di seguito il modello FEM della struttura *ante operam*.

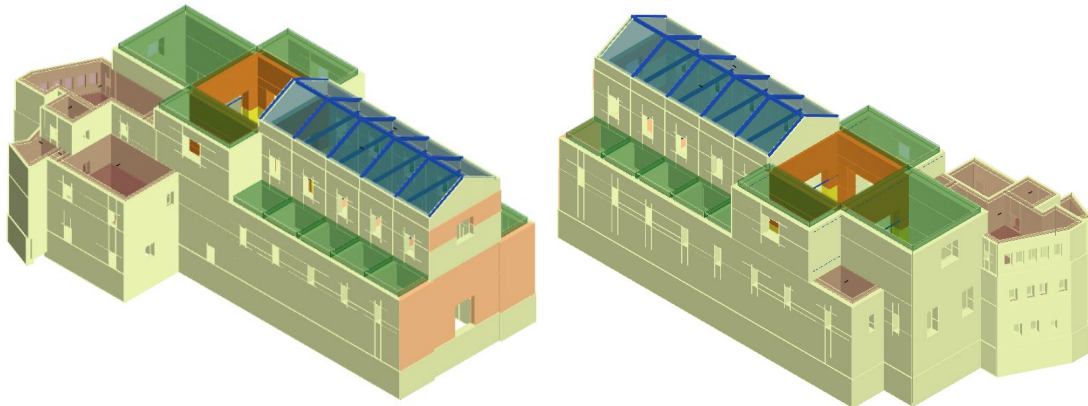


Figura 79: Vista 3D anteriore (sinistra) e posteriore (destra) del modello a macroelementi della Chiesa.

8.7.2.1. Riferimenti grafici del modello – Chiesa isolata

In base al rilievo pubblicato da Petreschi, ai documenti rinvenuti in archivio e a sopralluoghi in sito con elementari operazioni di rilievo, sono stati elaborati dei disegni tecnici di riferimento per la costruzione del modello strutturale. Partendo da un ridisegno della planimetria³⁵⁴, sono stati realizzati dei file DXF per il supporto alla costruzione del modello, in cui si sono riportate:

- Linee medie delle murature portanti;
- Posizione e dimensione delle aperture.

In ragione delle necessità costruttive del modello, sono state attuate le seguenti semplificazioni rispetto ai disegni di rilievo elaborati:

- Allineamento di pareti con rotazione relativa inferiore agli 8°;
- Determinazione di uno spessore medio per pareti a spessore variabile;

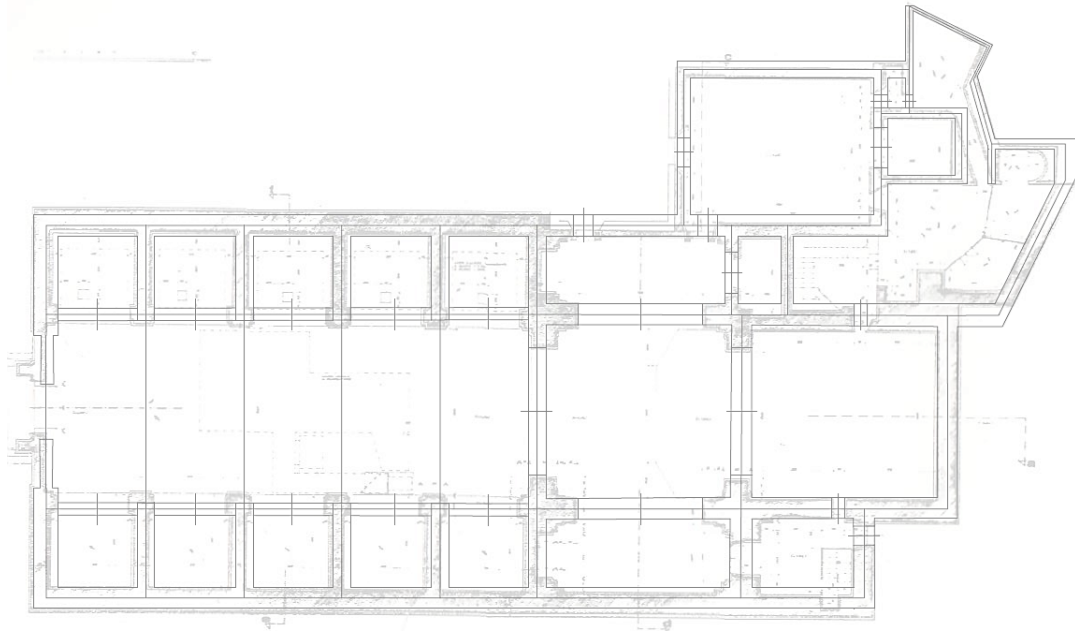


Figura 81: Planimetria DXF di riferimento per il modello strutturale sovrapposto alla pianta di Petreschi.

Dopo aver definito il modello DXF di riferimento, si riportano di seguito delle piante del modello strutturale con la definizione dei vari elementi murari (con una discretizzazione colorimetrica in base agli interventi attuati sulle singole tessiture murarie), degli orizzontamenti (in blu), delle volte (in fuxia), insieme a delle schermate che evidenziano la posizione dei nodi di riferimento per il calcolo strutturale. Si consideri come direzione X quella orizzontale, e come direzione Y quella verticale³⁵⁵; per ciò che concerne i colori utilizzati negli elaborati grafici, si riporta di seguito una legenda riepilogativa dei materiali considerati nell'elaborazione del modello *ante operam*.

Materiali esistenti		
Nome	Tipo	Colore
Tufo	Muratura	Verde chiaro
Tufo con iniezioni	Muratura	Giallo-verde
Tufo armato (barre acciaio)	Muratura	Arancione
Tufo armato con iniezioni	Muratura	Marrone
S 275	Acciaio strutturale	Blu
S 355	Acciaio strutturale	Blu scuro



Figura 82: Planimetria del livello 1 (0.00 – 6.40 m).



Figura 83: Planimetria del livello 2 (6.40 – 11.00 m).

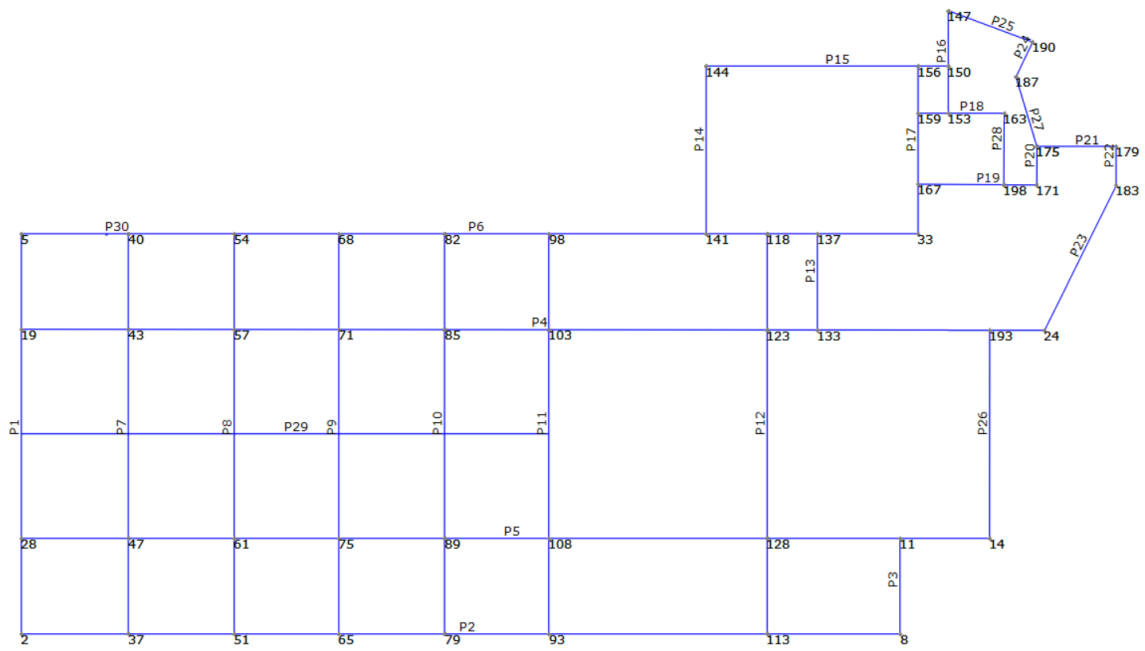


Figura 88: Nodi e pareti di riferimento del livello 1.

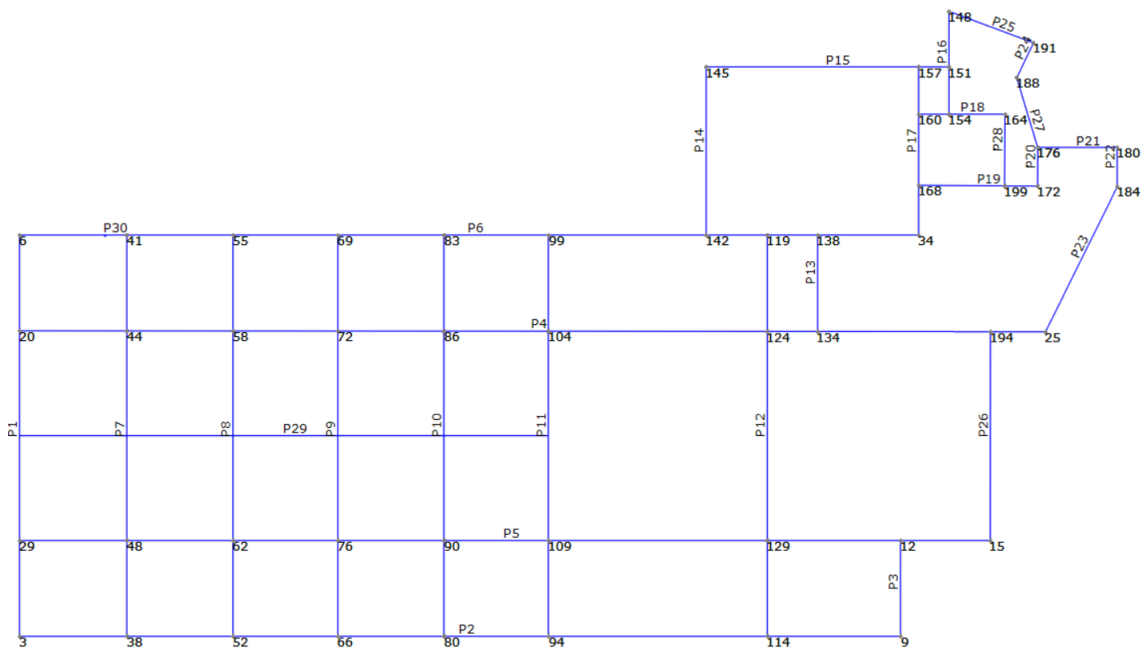


Figura 87: Nodi e pareti di riferimento del livello 2.

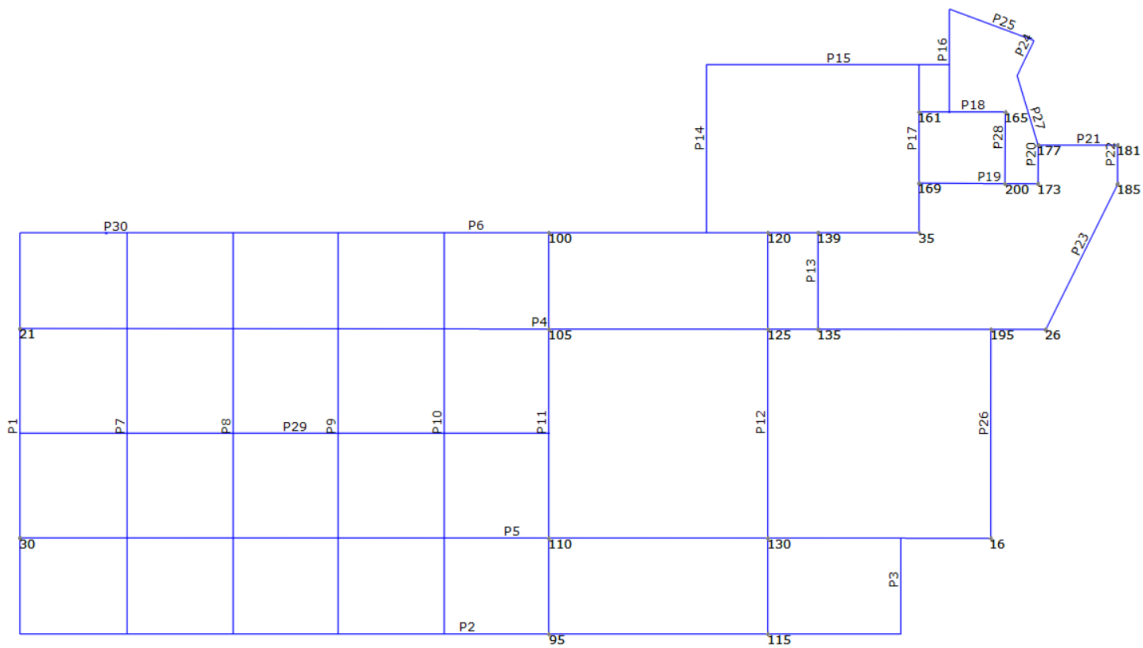


Figura 90: Nodi e pareti di riferimento del livello 3.

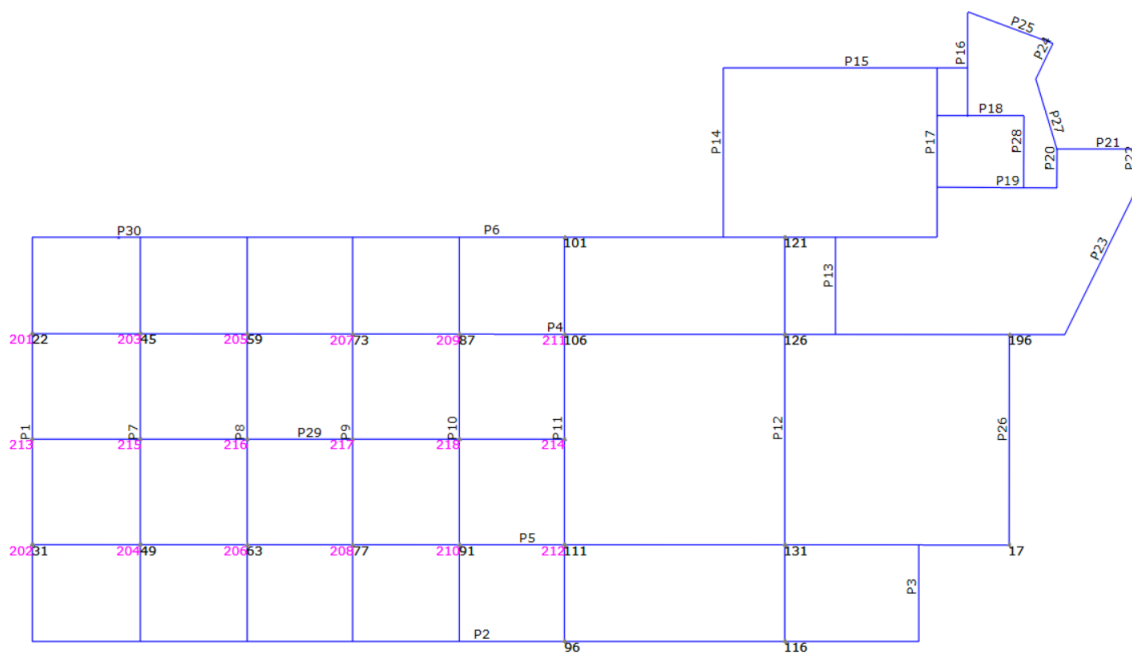


Figura 89: Nodi e pareti di riferimento del livello 4. I nodi evidenziati in fucsia si riferiscono all'ambiente tetto.

8.7.3. Modello di calcolo ante operam – aggregato

Il modello appena proposto, elaborato in ragione della storia costruttiva dell'insula³⁵⁶, presuppone che l'intera insula monumentale non si comporti come un aggregato, ma piuttosto che la Chiesa si comporti come se fosse isolata, ipotesi avallata dalla prossimità di

gran parte dell'impianto dell'aula con il chiostro piccolo. In base alle evidenze rinvenute in Archivio SABAPNa e alla recente pubblicazione della Maurea³⁵⁷, si è ritenuto di verificare l'ipotesi attraverso un modello che includesse anche il chiostro piccolo e parte degli edifici in affaccio sul chiostro grande, prescindendo dai volumi dell'ospedale, dell'*infermaria nova* e della cisterna sul limite orientale dell'insula, che costituiscono evidentemente delle unità strutturali distinte, con un effetto sismico poco significativo sul complesso.

In base alle evidenze documentali – raffrontate anche da immagini satellitari e relative restituzioni tridimensionali – risulta che l'aggregato, costituito da muratura di mattoni in tufo a conci regolari e giunti di malta di calce a corsi regolari, si articola su quattro livelli – rispettivamente di 6.40, 4.60, 4.70 e 3.20 m di altezza, con un'altezza complessiva di 18.90 m al netto del colmo della copertura a falde – divisi nel modello in altrettanti livelli complessivi. L'area di impronta dell'aggregato è all'incirca quadrata, di dimensioni 64.8 m per 62.9 m. Le strutture orizzontali degli ambienti non dedicati a funzioni religiose sono costituite da solai a putrelle e tavelloni, con volte a crociera a copertura del portico del chiostro piccolo; la copertura del corpo Ovest, a due falde, è costituita da solai a putrelle e tavelloni, come evidenziato dalle evidenze d'archivio, e raggiunge una quota massima di 22.80 m. Si riporta di seguito il modello FEM dell'aggregato *ante operam*.

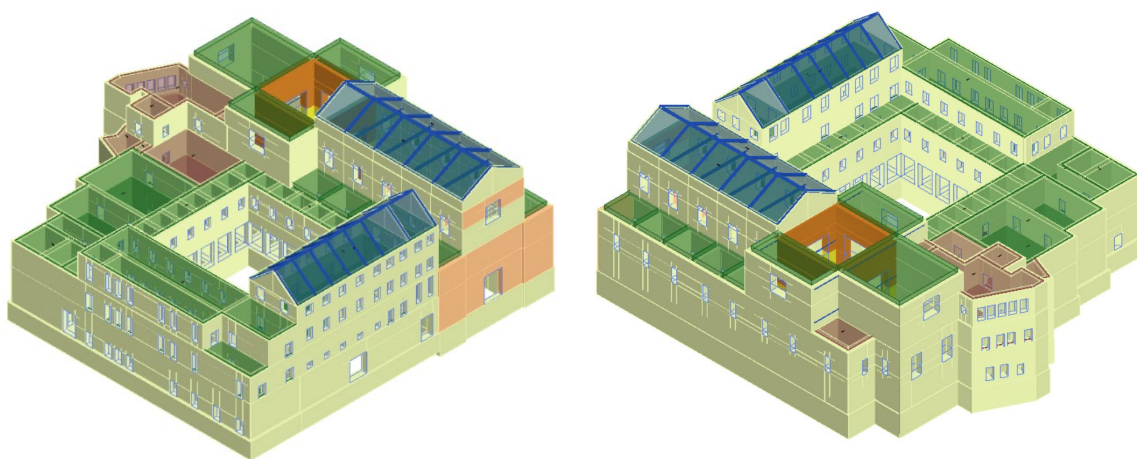


Figura 91: Vista 3D anteriore (sinistra) e posteriore (destra) del modello a macroelementi dell'aggregato.

8.7.3.1 Riferimenti grafici del modello – aggregato

Si riproducono di seguito le planimetrie del modello di calcolo relativo all'intero aggregato, con indicazioni dei materiali utilizzati conformi alla legenda del paragrafo 8.7.2. In particolare, alla luce di quanto rinvenuto tramite indagini documentali, i solai dei corpi aggiunti rispetto al modello del paragrafo 8.7.2 sono in acciaio con elementi in laterizio, conformemente alle ripetute modifiche di destinazione d'uso dei corpi di fabbrica in oggetto fino alla seconda metà del XX secolo.



Figura 92: Planimetria del livello 1 (0.00 – 6.40 m).

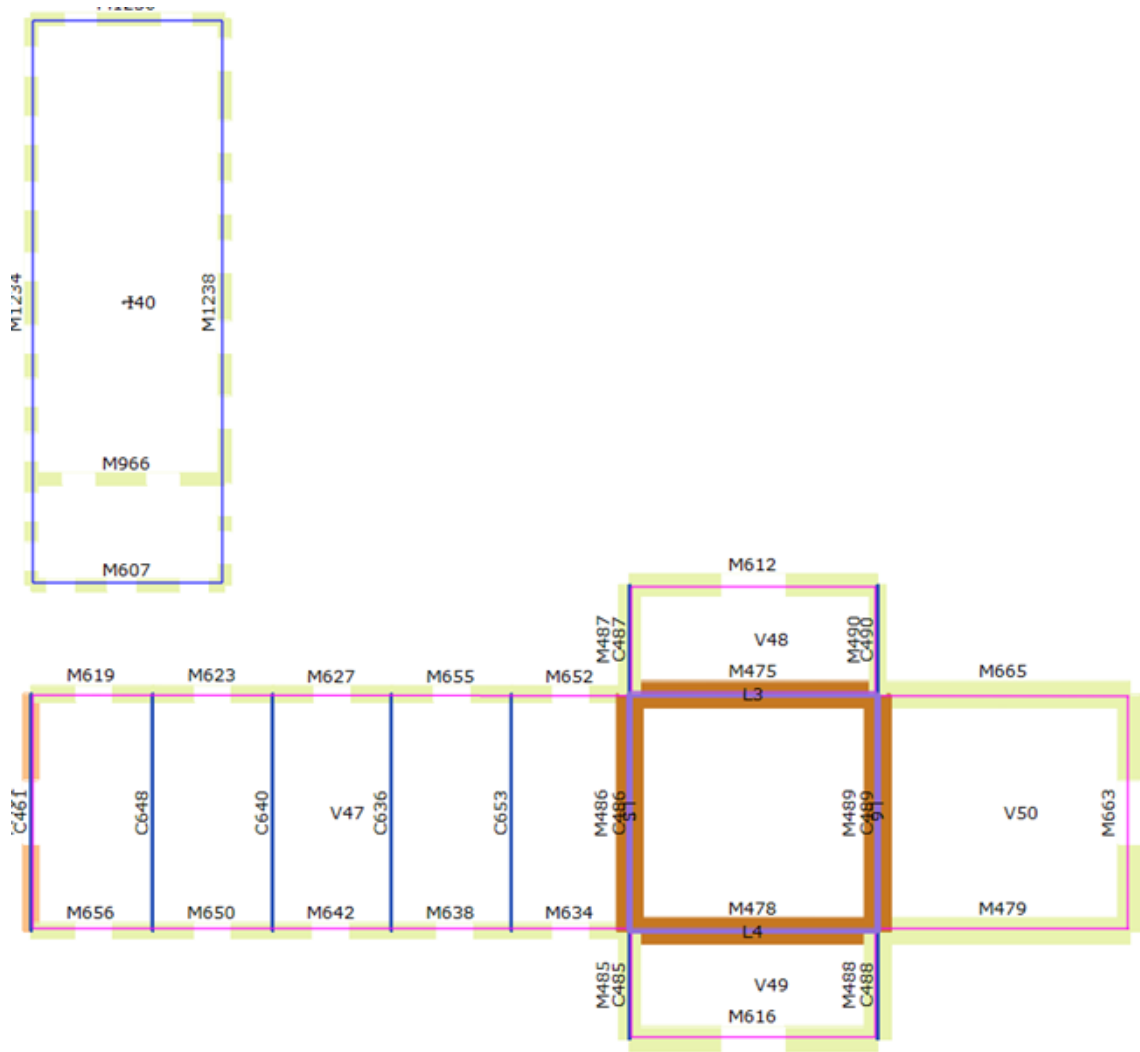


Figura 95: Planimetria livello 4 (15.70 – 18.90 m).

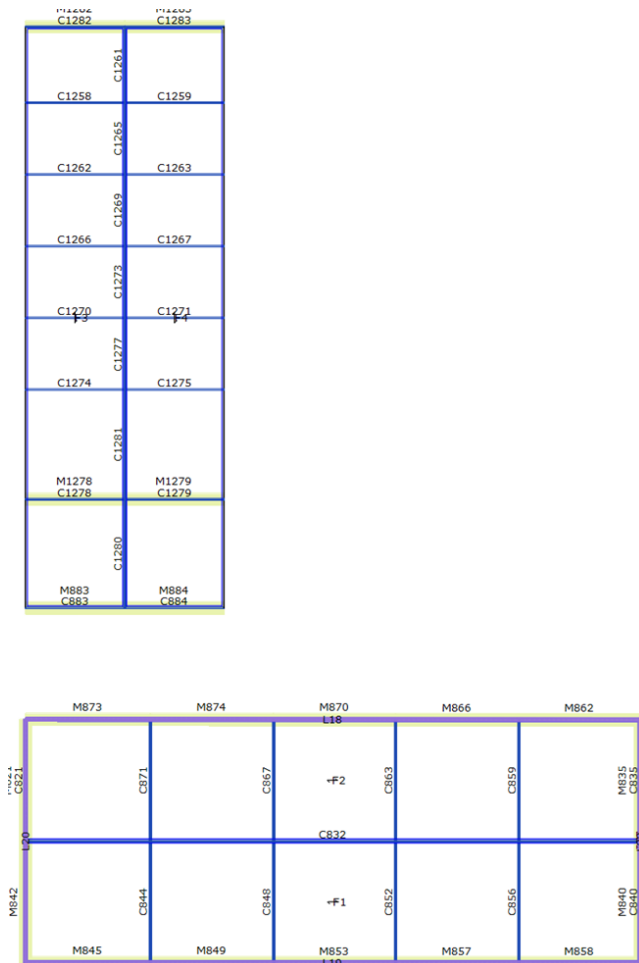


Figura 96: Copertura (18.90 – 23.80 m).

Si riportano di seguito le piante del modello strutturale con la definizione dei nodi di riferimento per il calcolo strutturale. Si consideri come direzione X quella orizzontale, e come direzione Y quella verticale³⁵⁸.

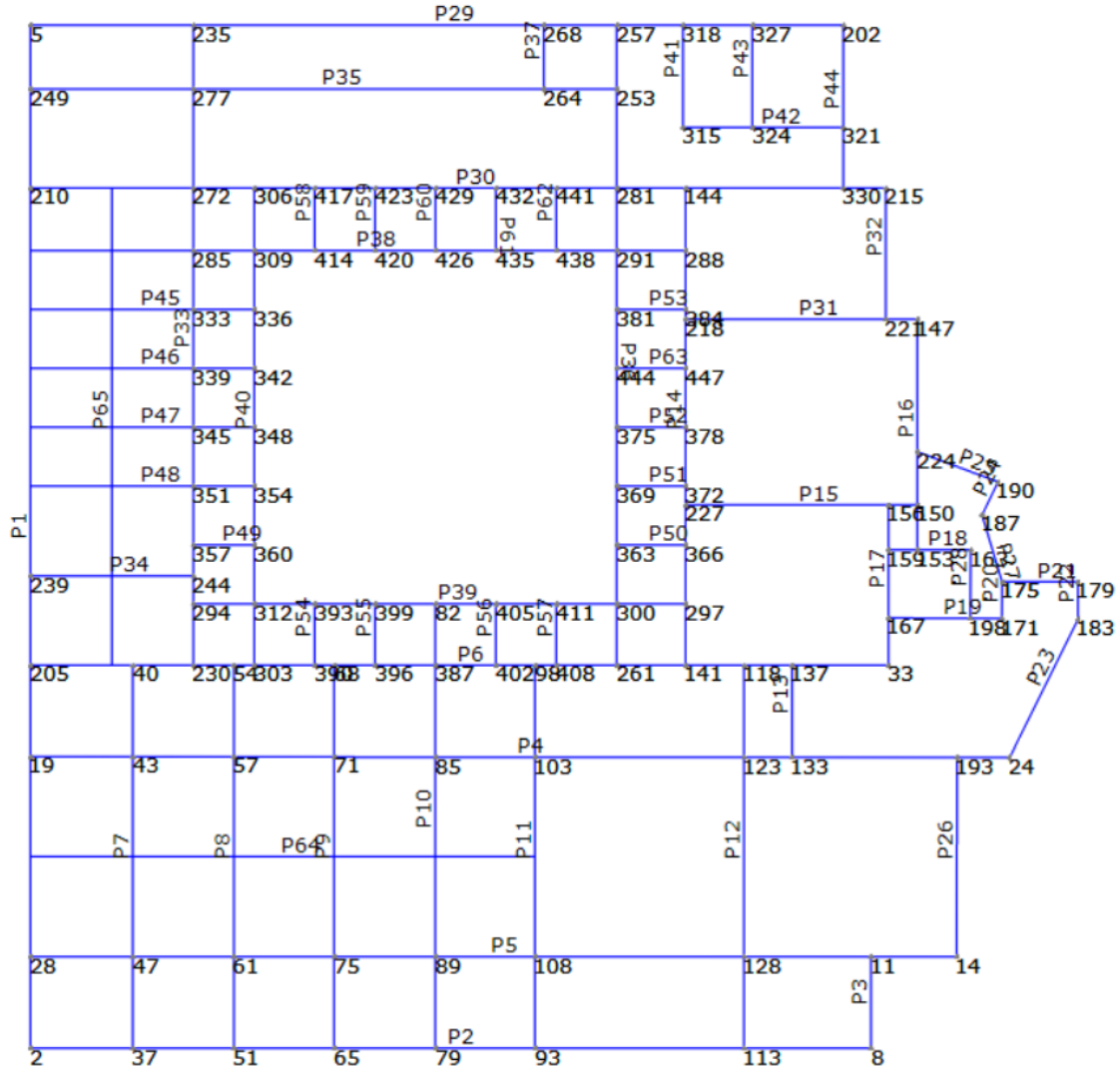


Figura 97: Nodi e pareti di riferimento del livello 1.

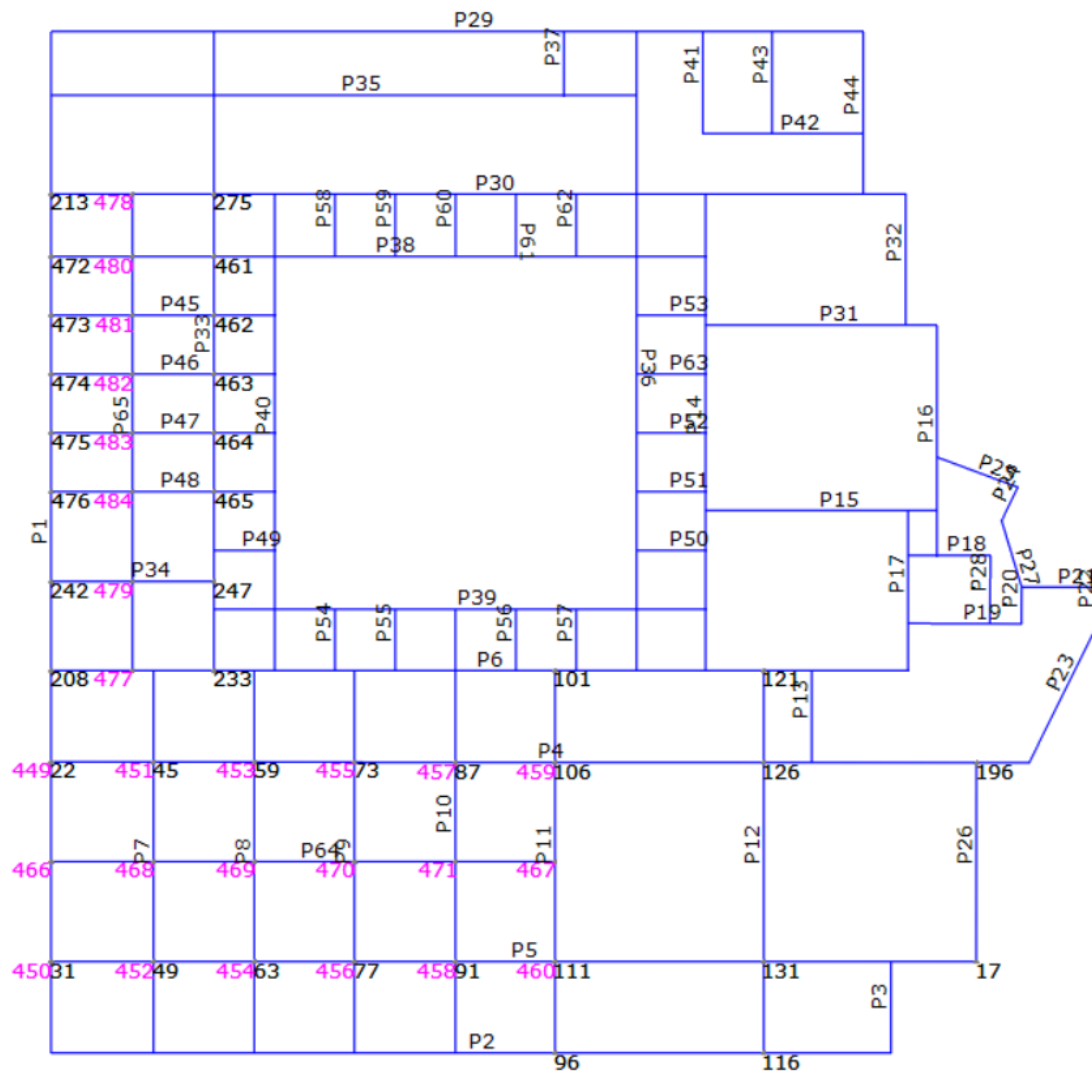


Figura 100: Nodi e pareti di riferimento del livello 4. I nodi indicati in fucsia appartengono all'ambiente tetto.

8.7.4. Combinazioni di carico

Le analisi strutturali sono state effettuate considerando le seguenti combinazioni di carico:

1. $1,3 (G_1+G_2) + 1.5 (Q_{neve} + \psi_{02} Q_{k1})$
2. $G_1 + G_2 + \psi_{21} Q_{k1} + E_{x,m}$
3. $G_1 + G_2 + \psi_{21} Q_{k1} + E_{x,l}$
4. $G_1 + G_2 + \psi_{21} Q_{k1} - E_{x,m}$
5. $G_1 + G_2 + \psi_{21} Q_{k1} - E_{x,l}$
6. $G_1 + G_2 + \psi_{21} Q_{k1} + E_{y,m}$

7. $G_1 + G_2 + \psi_{21} Q_{k1} + E_{y,I}$
8. $G_1 + G_2 + \psi_{21} Q_{k1} - E_{y,m}$
9. $G_1 + G_2 + \psi_{21} Q_{k1} - E_{y,I}$

dove:

- E_x ed E_y indicano l'azione sismica rispettivamente in direzione x e y, mentre i pedici m e I indicano rispettivamente forze sismiche proporzionali alle masse o al I modo di vibrare;
- G_1 e G_2 indicano rispettivamente i carichi permanenti strutturali e non strutturali;
- Q_{k1} indica il sovraccarico accidentale;
- Q_{neve} indica il sovraccarico accidentale da neve;
- ψ_{21} rappresenta il coefficiente di combinazione del sovraccarico accidentale, assunto pari a 0,3 per gli ambienti di categoria A;
- ψ_{02} rappresenta il coefficiente di combinazione del sovraccarico accidentale, assunto pari a 0,7 per gli ambienti di categoria A.

Le analisi da 2 a 8 sono state ripetute considerando separatamente una eccentricità accidentale in direzione x e y rispetto alle posizioni dei centri di massa di ciascun orizzontamento per tenere conto della variabilità spaziale del moto sismico, nonché di eventuali incertezze nella localizzazione delle masse (ai sensi delle NTC 2018).

Sono state pertanto considerate allo SLU complessivamente una combinazione di carico fondamentale e ventiquattro combinazioni di carico sismiche.

8.7.5. Verifiche strutturali

Le verifiche globali degli elementi portanti della struttura muraria, con riferimento alle combinazioni di carico sopra riportate, sono state condotte mediante il programma di calcolo 3muri, in grado di effettuare la verifica strutturale degli edifici in muratura e misti calcestruzzo armato-muratura in accordo alla normativa tecnica italiana NTC 2018.

8.7.6. Analisi globali sulla struttura originaria

L'analisi del comportamento globale dell'aggregato in muratura oggetto di intervento è stata condotta mediante il software 3muri, un programma che opera utilizzando analisi statiche lineari e non lineari sia su strutture nuove che su quelle esistenti, consentendo di

valutarne il grado di vulnerabilità. Tale programma si basa su una procedura innovativa di analisi computazionale, il cosiddetto metodo “Frame by Macro Element” (FME), che è in grado di fornire tutte le informazioni richieste dai progettisti per analizzare nel dettaglio edifici in muratura, al fine di valutare correttamente il loro comportamento sismico. In particolare, il comportamento delle pareti è rappresentabile con “macroelementi”, ossia con porzioni di muratura aventi un preciso comportamento. Le pareti si possono infatti suddividere in componenti elementari: maschi, fasce ed elementi rigidi, come visibile nella figura proposta di seguito. Gli elementi “maschio” sono disposti a fianco delle aperture, mentre gli elementi “fascia” sono disposti sopra e sotto le aperture. La muratura restante che non confina con aperture e che risulta quindi contenuta, si può considerare infinitamente rigida rispetto agli altri elementi e viene modellata con elementi di rigidità infinita.

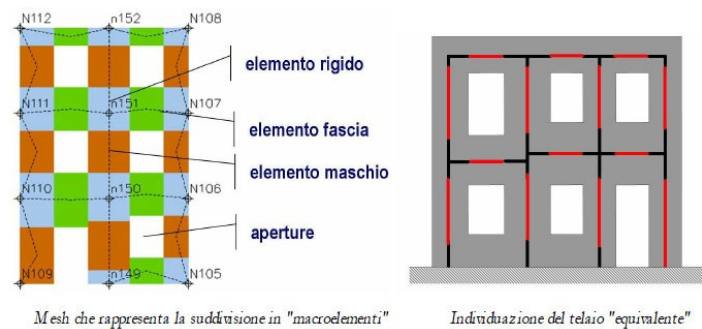


Figura 101: Modello ai macroelementi e a telaio equivalente di una parete in muratura.

La ricerca teorica e sperimentale ha confermato che il comportamento di maschi e fasce, pur coinvolgendo elementi di superficie, può essere reso equivalente ad un elemento lineare. Collegando quindi questi elementi si ottiene lo schema a telaio, detto appunto telaio equivalente. Gli elementi lineari (maschi e fasce) si schematizzano mediante un particolare tipo di elementi finiti, cosiddetto a sandwich, avente comportamento non lineare.

Se consideriamo un pannello di larghezza b e spessore s costituito da tre parti (come riportato nella figura di seguito), la deformabilità assiale è concentrata nei due elementi di estremità (e , f) di spessore infinitesimo D , infinitamente rigidi ad azioni taglienti, mentre la deformabilità tangenziale è situata nel corpo centrale, di altezza h , che, viceversa, è indeformabile assialmente e flessionalmente. Il modello cinematico completo per il

macroelemento contempla quindi i tre gradi di libertà dei nodi i e j e quelli dei nodi di interfaccia.

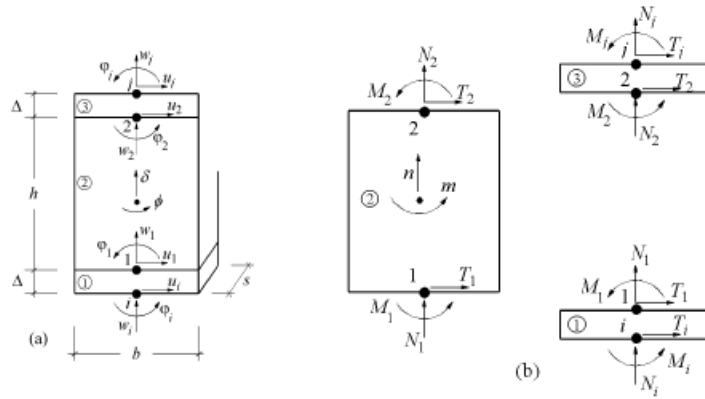


Figura 102: Elemento finito a comportamento non lineare per la schematizzazione di maschi e fasce murarie.

Il legame precedentemente descritto viene completato mediante l'inserimento di un meccanismo di collasso: coerentemente con la normativa sono definite delle deformazioni massime (*drift*) accettabili per il pannello dovute ai meccanismi di taglio e pressoflessione. Se questi valori vengono superati, il pannello non è più considerato in grado di sopportare azioni orizzontali e quindi viene ridotta o annullata la sua capacità resistente. L'elemento è sostituito pertanto da una biella in grado di trasmettere ancora forze normali, ma senza alcuna resistenza per le azioni sismiche.

Si riporta di seguito la mesh 3D del modello agli elementi finiti dell'aggregato pre-intervento (modello *ante operam*) implementato in ambiente 3muri. Si distinguono gli

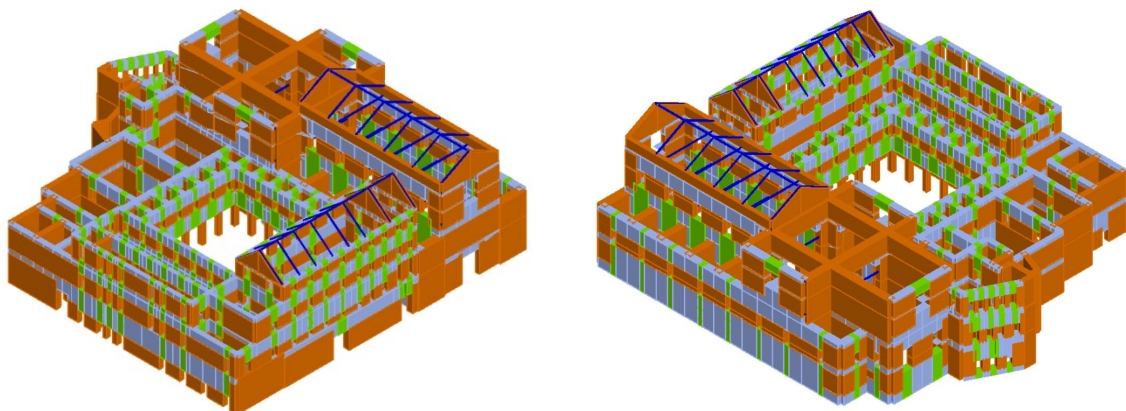


Figura 103: Vista 3D anteriore (sinistra) e posteriore (destra) del modello mesh 3D a macroelementi generato dal programma di calcolo.

elementi maschio (in arancione), fascia (in verde) e gli elementi che si comportano da nodo rigido (in azzurro).

Al fine di eseguire le dovute verifiche nei riguardi dell'aggregato in questione si è deciso di procedere con l'esecuzione di una serie di analisi statiche non lineari. Il fattore di confidenza impiegato, funzione del livello di conoscenza conseguito, è stato definito in base al D.P.C.M. 9 febbraio 2011 (G. U. 26 febbraio 2011, n. 47, Suppl. Ord.) *Valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle «Norme Tecniche per le Costruzioni» di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008*, che consentono una determinazione del fattore di confidenza risultante dalla seguente formula:

$$F_C = 1 + \sum_{k=1}^4 F_{C_k}$$

In cui i fattori parziali di confidenza F_{C_k} sono associati alle quattro categorie d'indagine riportate di seguito e al livello di conoscenza raggiunto in esse.

Rilievo geometrico	identificazione delle specificità storiche e costruttive della fabbrica	Proprietà meccaniche dei materiali	Terreno e fondazioni
rilievo geometrico completo $F_{C1} = 0.05$	restituzione ipotetica delle fasi costruttive basata su un limitato rilievo materico e degli elementi costruttivi associato alla comprensione delle vicende di trasformazione (indagini documentarie e tematiche) $F_{C2} = 0.12$	parametri meccanici desunti da dati già disponibili $F_{C3} = 0.12$	limitate indagini sul terreno e le fondazioni, in assenza di dati geotecnici e disponibilità d'informazioni sulle fondazioni $F_{C4} = 0.06$
rilievo geometrico completo, con restituzione grafica dei quadri fessurativi e deformativi $F_{C1} = 0$	restituzione parziale delle fasi costruttive e interpretazione del comportamento strutturale fondate su: a) limitato rilievo materico e degli elementi costruttivi associato alla comprensione e alla verifica delle vicende di trasformazione (indagini documentarie e tematiche, verifica diagnostica delle ipotesi storiografiche); b) esteso rilievo materico e degli elementi costruttivi associato alla comprensione delle vicende di trasformazione (indagini documentarie e tematiche) $F_{C2} = 0.06$	limitate indagini sui parametri meccanici dei materiali $F_{C3} = 0.06$	disponibilità di dati geotecnici e sulle strutture fondazionali; limitate indagini sul terreno e le fondazioni $F_{C4} = 0.03$
	restituzione completa delle fasi costruttive e interpretazione del comportamento strutturale fondate su un esaustivo rilievo materico e degli elementi costruttivi associato alla comprensione delle vicende di trasformazione (indagini documentarie e tematiche, eventuali indagini diagnostiche) $F_{C2} = 0$	estese indagini sui parametri meccanici dei materiali $F_{C3} = 0$	estese o esaustive indagini sul terreno e le fondazioni $F_{C4} = 0$

Tabella 4-19: Definizione dei livelli di approfondimento delle indagini sui diversi aspetti della conoscenza e relativi fattori parziali di confidenza ai sensi delle Linee Guida del 2011.

Tenendo conto dei dati ricavati dalle indagini archivistiche, dallo studio delle fonti e da alcuni sopralluoghi in sito, risulta:

- $F_{C1} = 0$, essendo disponibili nell'Archivio della Soprintendenza Archeologia, Belle Arti e Paesaggio per il Comune di Napoli rilievi geometrici completi con restituzione dei quadri fessurativi, aggiornati fino al 2017;
- $F_{C2} = 0.06$, assunto a vantaggio di sicurezza in ragione del limitato approfondimento dei dati materici degli elementi costruttivi nelle fonti d'archivio;
- $F_{C3} = 0.12$, essendo i dati utilizzati per il progetto desunti da rilevazioni esistenti e presenti in archivio;
- $F_{C4} = 0.03$, essendo disponibili risultati di indagini geotecniche sul terreno di fondazione ed essendo stata rilevata la struttura di fondazione.

Il fattore di confidenza utilizzato è quindi pari a 1.21.

Ai fini delle analisi sismiche è necessario considerare che l'aggregato risulta fondato su un sottosuolo di categoria D e che può ritenersi opera di importanza ordinaria, avente vita nominale non inferiore a 50 anni, con classe d'uso III.

Si riportano in tabella i risultati dell'analisi modale con riferimento alle prime trenta forme modali investigate sull'aggregato. Il primo modo che coinvolge una massa significativa della Chiesa è il numero 1 in direzione Y, con una massa partecipante del 77%. Il primo modo significativo in direzione X è invece il numero 5, con una massa partecipante del 26.29%. Essendo le masse eccitate dal I modo nelle due direzioni inferiori al 75%, ai fini dell'analisi non lineare descritta in seguito sono stati attivati tutti i modi significativi, giungendo ad una somma delle masse partecipanti del 78.51% in X e del 81.17% in Y.

Modo	T [s]	m _x [kg]	M _x [%]	m _y [kg]	M _y [%]	m _z [kg]	M _z [%]
1	0,46779	22.552	0,13	10.458.534	62,22	264	0,00
2	0,40518	1.572	0,01	2.207.203	13,13	40	0,00
3	0,39526	5.021.098	29,87	85.856	0,51	432	0,00
4	0,35757	11.879	0,07	9.59	0,06	5	0,00
5	0,33608	113	0,00	977.889	5,82	1.013	0,01
6	0,30403	181.611	1,08	690.226	4,11	473	0,00
7	0,29303	8.176.215	48,64	7.179	0,04	91	0,00
8	0,28446	738.025	4,39	485.041	2,89	16	0,00
9	0,25175	24.106	0,14	35.385	0,21	189	0,00
10	0,24867	127.269	0,76	207.962	1,24	937	0,01
11	0,23265	54.029	0,32	324.414	1,93	5.07	0,03
12	0,22711	85.423	0,51	859	0,01	1.098	0,01
13	0,21979	49.097	0,29	167.873	1,00	93	0,00
14	0,21379	15.277	0,09	40.292	0,24	20.245	0,12
15	0,20393	3.393	0,02	235.915	1,40	1.602	0,01
16	0,20075	3.045	0,02	51.109	0,30	1	0,00
17	0,18946	88.825	0,53	931	0,01	495	0,00
18	0,18836	124	0,00	55	0,00	42.388	0,25
19	0,18618	167.179	0,99	20.639	0,12	7.201	0,04
20	0,18009	49.846	0,30	129.456	0,77	6.38	0,04
21	0,17687	113.686	0,68	52	0,00	1.801	0,01
22	0,17553	4	0,00	46.542	0,28	0	0,00
23	0,16685	3.436	0,02	13.457	0,08	2.852	0,02
24	0,15937	10.686	0,06	22.804	0,14	10.016	0,06
25	0,15651	55.257	0,33	7.817	0,05	6.296	0,04
26	0,15183	4.186	0,02	5.505	0,03	7.115	0,04
27	0,15052	24	0,00	12.653	0,08	321	0,00
28	0,15032	149	0,00	6.992	0,04	18.256	0,11
29	0,14757	111.548	0,66	3.358	0,02	34.033	0,20
30	0,14193	206.289	1,23	17.824	0,11	2.621	0,02

Tabella 8-20: Dettagli dell'analisi modale condotta sul modello della Chiesa.

Ne segue che per l'esecuzione delle analisi *pushover* è necessario applicare un carico sismico proporzionale alle forze statiche applicate alla struttura, non essendo possibile l'applicazione di una distribuzione proporzionale alle forme modali della struttura in

ragione del mancato raggiungimento della soglia minima dell'85% di massa partecipante con modi aventi almeno il 5% di massa partecipante ciascuno.

A seguito dell'analisi modale, sono state eseguite analisi pushover considerando due differenti distribuzioni di forze, una proporzionale alle masse strutturali e l'altra multimodale, proporzionale al prodotto delle masse per le deformate corrispondenti ai modi di vibrare, nonché una eccentricità accidentale rispetto alle posizioni dei centri di massa di ciascun orizzontamento derivanti dal calcolo, per tenere conto della variabilità spaziale del moto sismico, nonché di eventuali incertezze nella localizzazione delle masse (NTC 2018). Come già sopra indicato, si fa presente che sono stati considerati i modi necessari a raggiungere la massa partecipante pari ad almeno l'85% per ogni direzione principale.

Le verifiche richieste, condotte agli Stati Limite di Collasso (SLC), Salvaguardia della Vita (SLV), Danno (SLD) ed operatività (SLO), si concretizzano nel confronto tra la curva di capacità, individuata mediante un diagramma spostamento-taglio massimo alla base, per le diverse condizioni previste e la domanda di spostamento prevista dalla normativa. L'analisi, eseguita in controllo di spostamento, procede al calcolo della distribuzione di forze che genera il valore dello spostamento richiesto. L'analisi viene fatta continuare fino a che non si verifica il decadimento del taglio del 20% dal suo valore di picco. Si calcola così il valore dello spostamento massimo alla base dell'edificio generato da quella distribuzione di forze. Questo valore di spostamento costituisce il valore ultimo raggiungibile dalla struttura. Lo spostamento preso in esame per il tracciamento della curva di capacità è quello di un punto dell'edificio detto nodo di controllo.

La normativa richiede il tracciamento di una curva di capacità bi-lineare di un sistema equivalente (SDOF). Il tracciamento di tale curva deve avvenire con una retta che, passando per l'origine interseca la curva del sistema reale in corrispondenza del 70% del valore di picco; la seconda retta risulterà parallela all'asse degli spostamenti tale da generare l'equivalenza delle aree tra i diagrammi del sistema reale e quello equivalente. La determinazione della curva relativa al sistema equivalente permette di determinare il periodo con cui ricavare lo spostamento massimo richiesto dal sisma, secondo gli spettri riportati sulla normativa. Al fine di individuare la condizione di carico sismico più gravosa, si è deciso di eseguire i 24 casi di analisi previsti dalla normativa vigente distinte per tipologia di carico, direzione del sisma e di eventuali eccentricità accidentali.

In tutti i casi analizzati le verifiche si concretizzano nell'andare a confrontare le curve di capacità con la domanda di spostamento prevista dalla normativa con riferimento ai seguenti stati limite:

- Stato limite Collasso (SLC):

$$D_{maxSLC} \leq D_{uSLC}$$

- D_{maxSLC} : Spostamento massimo richiesto dalla normativa individuato dallo spettro
- elastico.
- D_{uSLC} : Spostamento massimo offerto dalla struttura corrispondente al minore tra:
 - il valore del taglio di base residuo pari all'80% di quello massimo
 - il valore corrispondente al raggiungimento della soglia limite della deformazione angolare a SLC in tutti i maschi murari verticali di qualunque livello in una qualunque parete ritenuta significativa ai fini della sicurezza.

$$q^* < 4,0$$

q^* : rapporto tra la forza di risposta elastica e la forza di snervamento del sistema equivalente.

- Stato limite di Salvaguardia della Vita (SLV):

$$D_{maxSLV} \leq D_{uSLV}$$

- D_{maxSLV} : Spostamento massimo richiesto dalla normativa individuato dallo spettro elastico.
- D_{uSLV} : Spostamento massimo offerto dalla struttura individuato in corrispondenza di 0,75 D_{uSLC} .

$$q^* < 3,0$$

q^* : rapporto tra la forza di risposta elastica e la forza di snervamento del sistema equivalente.

- Stato limite di Danno (SLD):

$$D_{maxSLD} \leq D_{uSLD}$$

- D_{maxSLD}: Spostamento massimo richiesto dalla normativa, calcolato in base allo spettro sismico definito per lo stato limite di danno.
- D_{uSLD}: Spostamento minore tra:
 - quello corrispondente al limite elastico della bilineare equivalente definita a partire dallo spostamento ultimo a SLC.
 - quello corrispondente al raggiungimento della resistenza massima a taglio in tutti i maschi murari verticali in un qualunque livello di una qualunque parte ritenuta significativa ai fini dell'uso della costruzione (e comunque non prima dello spostamento per il quale si raggiunge un taglio di base pari a 0,75 del taglio di base massimo).
- Stato limite di Operatività (SLO):

$$D_{\max SLO} \leq D_{uSLO}$$

- D_{maxSLO}: Spostamento massimo richiesto dalla normativa, calcolato in base allo spettro sismico definito per lo stato limite di operatività.
- D_{uSLO}: Spostamento pari a 0,667 di quello allo SLD.

Per ciascuno stato limite eseguito viene calcolato l'*indice di rischio* α (α_{SLC} , α_{SLV} , α_{SLD} , α_{SLO}). Questi parametri sono calcolati come indicato di seguito:

$$\alpha_{SLC} = \frac{PGA_{CLC}}{PGA_{DLC}}; \alpha_{SLV} = \frac{PGA_{CLV}}{PGA_{DLV}}; \alpha_{SLD} = \frac{PGA_{CLD}}{PGA_{DLD}}; \alpha_{SLO} = \frac{PGA_{CLO}}{PGA_{DLO}};$$

Si definiscono *accelerazioni di capacità* l'entità massima delle azioni, considerate nelle combinazioni di progetto previste, che la struttura è capace di sostenere.

- PGA_{CLC} : accelerazione di capacità corrispondente a SLC;
- PGA_{CLV} : accelerazione di capacità corrispondente a SLV;
- PGA_{CLD} : accelerazione di capacità corrispondente a SLD;
- PGA_{CLO} : accelerazione di capacità corrispondente a SLO.

Si definiscono *accelerazioni di domanda* i valori di riferimento delle accelerazioni dell'azione sismica; tali valori vengono definiti a partire dal carico sismico definito nella forma dello spettro.

- PGA_{DLC} : accelerazione di domanda corrispondente a SLC;
- PGA_{DLV} : accelerazione di domanda corrispondente a SLV;

- PGA_{DLD} : accelerazione di domanda corrispondente a SLD;
- PGA_{DLO} : accelerazione di domanda corrispondente a SLO.

Valori di α prossimi a zero indicano condizioni ad elevato rischio, mentre valori superiori all'unità sono rappresentativi di casi con assenza di rischio.

Si riportano di seguito i risultati delle 24 analisi *pushover* condotte sul modello *ante operam*, che risultano non soddisfatte ad alcuno stato limite, con un indice di rischio minimo di 0.282 a SLV.

N.	Dir. sisma	Carico sismico	Ecc. [cm]	Dmax SLC [cm]	Du SLC [cm]	q* SLC	SLC ver.	Dmax SLV [cm]	Du SLV [cm]	q* SLV	SLV ver.
1	+X	Uniforme	0,0	5,40	1,70	3,64	No	4,61	1,28	3,19	No
2	+X	Forze statiche	0,0	6,09	1,65	3,60	No	5,21	1,24	3,16	No
3	-X	Uniforme	0,0	5,48	1,65	3,66	No	4,68	1,24	3,21	No
4	-X	Forze statiche	0,0	6,03	1,82	3,50	No	5,15	1,37	3,07	No
5	+Y	Uniforme	0,0	9,16	10,19	6,03	No	7,97	7,65	5,29	No
6	+Y	Forze statiche	0,0	9,99	3,15	6,52	No	8,71	2,36	5,71	No
7	-Y	Uniforme	0,0	9,00	15,94	6,18	No	7,83	11,95	5,42	No
8	-Y	Forze statiche	0,0	9,99	3,06	6,62	No	8,70	2,30	5,81	No
9	+X	Uniforme	180,3	5,54	2,45	4,00	No	4,74	1,84	3,51	No
10	+X	Uniforme	-180,3	5,21	1,48	3,51	No	4,44	1,11	3,08	No
11	+X	Forze statiche	180,3	6,23	2,49	3,96	No	5,35	1,87	3,47	No
12	+X	Forze statiche	-180,3	5,93	1,67	3,65	No	5,07	1,25	3,20	No
13	-X	Uniforme	180,3	5,56	2,41	3,86	No	4,76	1,81	3,38	No
14	-X	Uniforme	-180,3	5,21	1,43	3,45	No	4,44	1,07	3,03	No
15	-X	Forze statiche	180,3	6,26	1,88	3,78	No	5,37	1,41	3,31	No
16	-X	Forze statiche	-180,3	5,91	1,29	3,82	No	5,06	0,97	3,35	No
17	+Y	Uniforme	317,0	9,54	2,46	7,21	No	8,31	1,85	6,32	No
18	+Y	Uniforme	-317,0	8,76	3,08	5,57	No	7,60	2,31	4,88	No
19	+Y	Forze statiche	317,0	10,51	3,05	6,89	No	9,17	2,29	6,04	No
20	+Y	Forze statiche	-317,0	9,65	1,79	6,84	No	8,41	1,34	6,00	No
21	-Y	Uniforme	317,0	9,31	27,09	7,00	No	8,11	20,32	6,13	No
22	-Y	Uniforme	-317,0	8,71	2,18	5,52	No	7,56	1,64	4,84	No
23	-Y	Forze statiche	317,0	10,28	2,61	6,92	No	8,96	1,95	6,07	No
24	-Y	Forze statiche	-317,0	9,64	1,99	6,73	No	8,39	1,50	5,90	No

Tabella 8-21: Dettagli analisi *pushover* a SLC e SLV.

N.	Dir. sisma	Carico sismico	Ecc. [cm]	Dmax SLD [cm]	Dd SLD [cm]	SLD ver.	Dmax SLO [cm]	Do SLO [cm]	SLO ver.
1	+X	Uniforme	0,0	1,17	0,64	No	0,72	0,43	No
2	+X	Forze statiche	0,0	1,39	0,82	No	0,89	0,55	No
3	-X	Uniforme	0,0	1,20	0,76	No	0,73	0,51	No
4	-X	Forze statiche	0,0	1,35	0,82	No	0,88	0,55	No
5	+Y	Uniforme	0,0	2,73	1,06	No	1,94	0,71	No
6	+Y	Forze statiche	0,0	3,06	1,14	No	2,21	0,76	No
7	-Y	Uniforme	0,0	2,68	0,83	No	1,90	0,55	No
8	-Y	Forze statiche	0,0	3,06	0,96	No	2,21	0,64	No
9	+X	Uniforme	180,3	1,28	0,69	No	0,77	0,46	No
10	+X	Uniforme	-180,3	1,09	0,74	No	0,68	0,49	No
11	+X	Forze statiche	180,3	1,50	0,87	No	0,93	0,58	No
12	+X	Forze statiche	-180,3	1,35	0,77	No	0,84	0,51	No
13	-X	Uniforme	180,3	1,26	0,61	No	0,75	0,41	No
14	-X	Uniforme	-180,3	1,08	0,76	No	0,69	0,51	No
15	-X	Forze statiche	180,3	1,48	0,79	No	0,92	0,52	No
16	-X	Forze statiche	-180,3	1,37	0,67	No	0,83	0,45	No
17	+Y	Uniforme	317,0	2,92	0,94	No	2,10	0,63	No
18	+Y	Uniforme	-317,0	2,55	0,92	No	1,80	0,61	No
19	+Y	Forze statiche	317,0	3,27	1,17	No	2,37	0,78	No
20	+Y	Forze statiche	-317,0	2,94	0,93	No	2,12	0,62	No
21	-Y	Uniforme	317,0	2,82	0,93	No	2,02	0,62	No
22	-Y	Uniforme	-317,0	2,53	0,92	No	1,78	0,61	No
23	-Y	Forze statiche	317,0	3,18	0,97	No	2,30	0,65	No
24	-Y	Forze statiche	-317,0	2,94	0,94	No	2,11	0,62	No

Tabella 8-22: Dettagli analisi pushover a SLD e SLO.

Come anticipato, gli indici di rischio – riportati nella tabella di seguito – sono il fondamentale riferimento per l’analisi di vulnerabilità sismica: essi costituiscono il rapporto tra la accelerazione di picco al suolo (PGA – *peak ground acceleration*) di riferimento allo stato limite considerato e la corrispondente accelerazione di capacità, ovvero l’entità massima delle azioni – considerate nelle combinazioni previste al paragrafo 8.7.4 – che la struttura è in grado di sostenere³⁵⁹.

N.	Dir. sisma	Carico sismico	Ecc. [cm]	α SLC	α SLV	α SLD	α SLO
1	+X	Uniforme	0,0	0,423	0,407	0,688	0,600
2	+X	Forze statiche	0,0	0,378	0,365	0,710	0,619
3	-X	Uniforme	0,0	0,410	0,395	0,796	0,695
4	-X	Forze statiche	0,0	0,407	0,391	0,715	0,624
5	+Y	Uniforme	0,0	0,664	0,568	0,484	0,422
6	+Y	Forze statiche	0,0	0,346	0,308	0,447	0,391
7	-Y	Uniforme	0,0	0,648	0,554	0,391	0,341
8	-Y	Forze statiche	0,0	0,337	0,301	0,378	0,329
9	+X	Uniforme	180,3	0,522	0,487	0,729	0,636
10	+X	Uniforme	-180,3	0,404	0,393	0,831	0,725
11	+X	Forze statiche	180,3	0,479	0,447	0,737	0,643
12	+X	Forze statiche	-180,3	0,387	0,373	0,698	0,609
13	-X	Uniforme	180,3	0,517	0,484	0,633	0,552
14	-X	Uniforme	-180,3	0,397	0,388	0,845	0,737
15	-X	Forze statiche	180,3	0,396	0,378	0,653	0,570
16	-X	Forze statiche	-180,3	0,329	0,322	0,622	0,543
17	+Y	Uniforme	317,0	0,291	0,262	0,404	0,353
18	+Y	Uniforme	-317,0	0,394	0,356	0,451	0,394
19	+Y	Forze statiche	317,0	0,317	0,282	0,423	0,369
20	+Y	Forze statiche	-317,0	0,223	0,204	0,390	0,341
21	-Y	Uniforme	317,0	0,572	0,489	0,417	0,364
22	-Y	Uniforme	-317,0	0,301	0,276	0,452	0,395
23	-Y	Forze statiche	317,0	0,283	0,253	0,364	0,318
24	-Y	Forze statiche	-317,0	0,244	0,222	0,394	0,344

Tabella 8-23: Definizione degli indici di rischio ai vari stati limite.

Si riporta di seguito una panoramica delle curve pushover per i casi di carico analizzati.

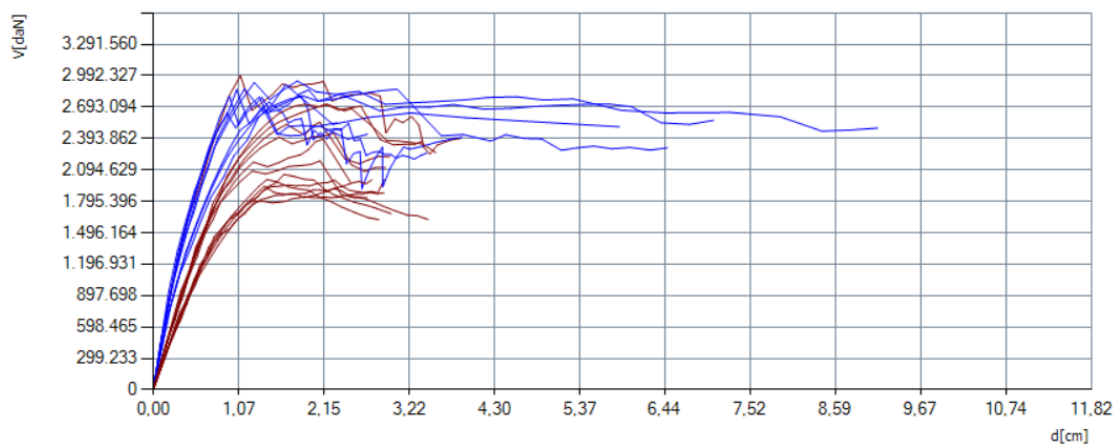


Figura 104: Curve pushover in direzione X (in blu) e Y (in rosso). Sono escluse dall'immagine le curve relative alle analisi 4, 11, 15, per le quali si registra uno spostamento di capacità rispettivamente di 237.06, 41.92 e 43.16 cm, con valori di picco del taglio paragonabili a quelli delle analisi nella medesima direzione.

Gli indicatori di rischio più bassi allo SLV sono quelli che contraddistinguono le analisi n. 12 (0.373, in direzione X) e 19 (0.282, in direzione Y). La Chiesa dunque non è in grado di sopportare il sisma di progetto in nessuna delle sue due direzioni principali e risulta più vulnerabile in direzione Y. I risultati delle analisi in termini di curva pushover e di meccanismi di collasso sono riportati nelle figure seguenti.

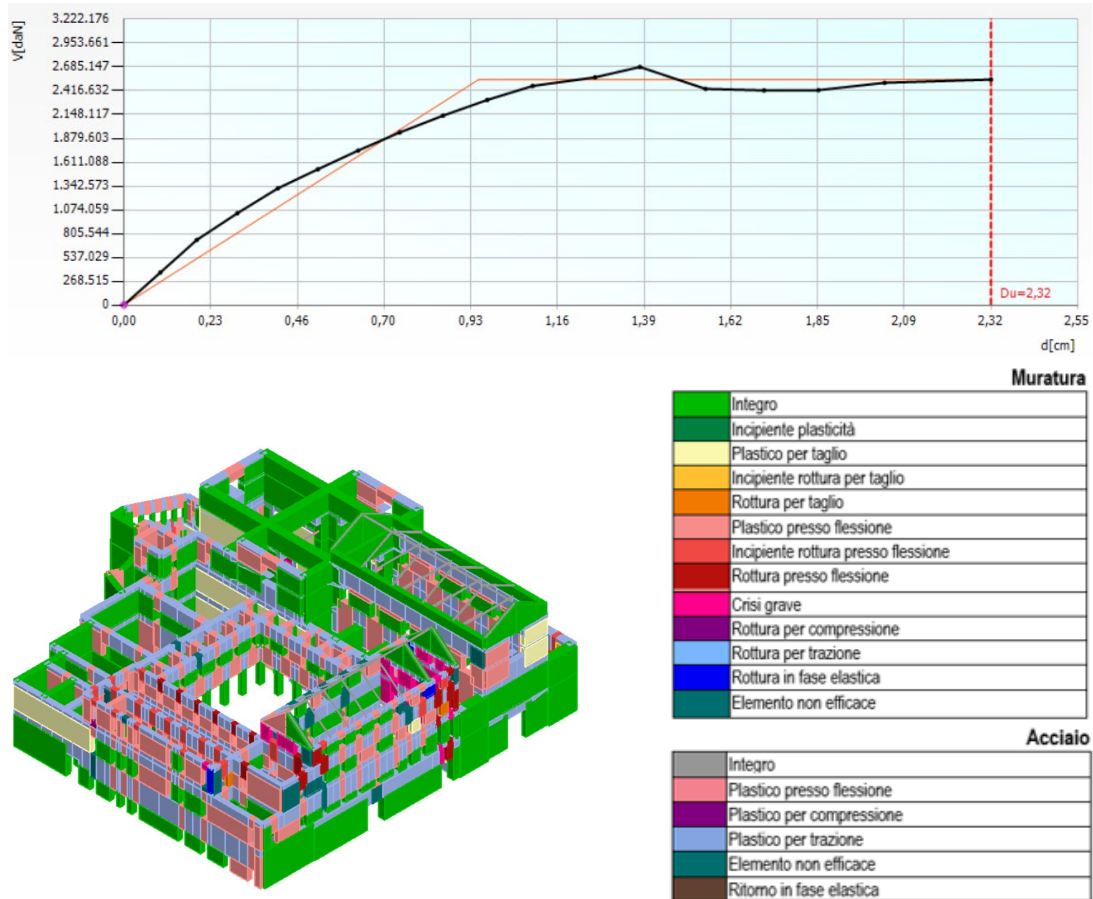


Figura 105: Risultati dell'analisi più gravosa in direzione X (n. 12) sulla Chiesa nel modello ante operam.

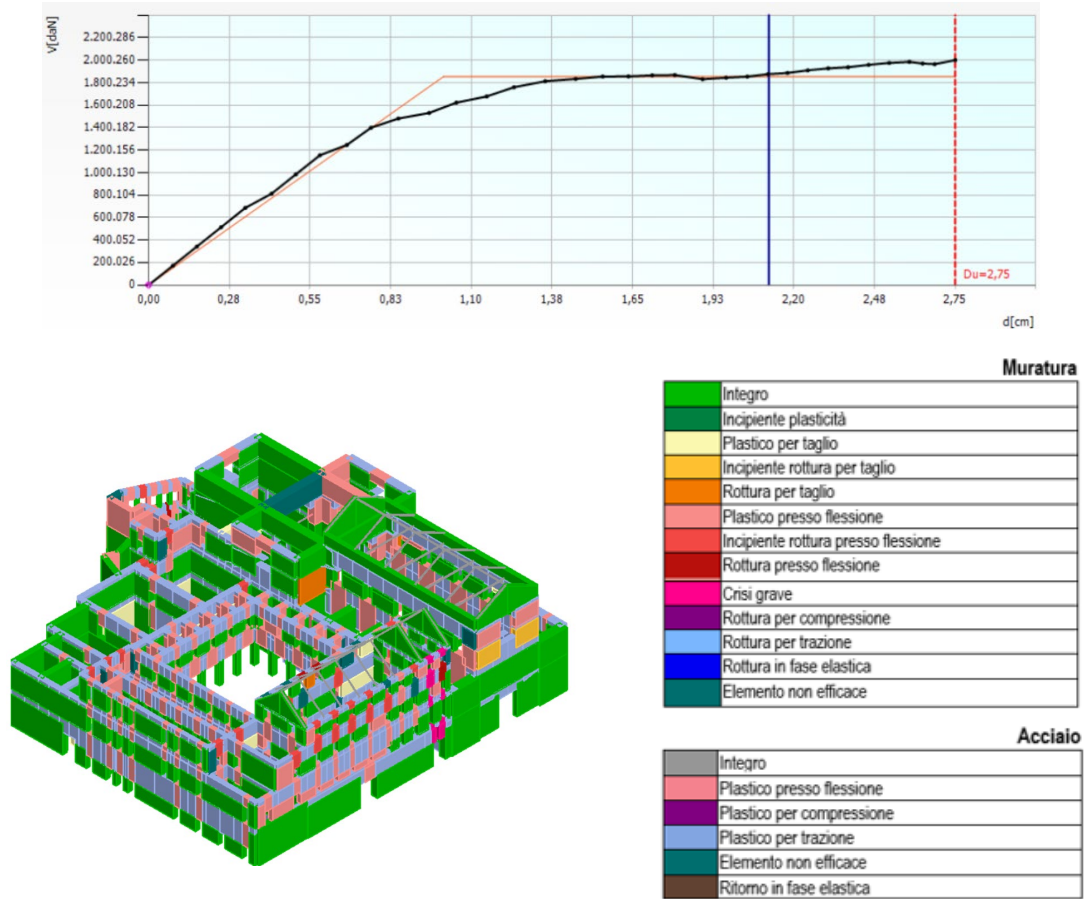


Figura 106: Risultati dell'analisi più gravosa in direzione Y (n. 19) sulla Chiesa nel modello ante operam.

8.7.6.1. Vulnerabilità sismica: commento ai risultati dell'analisi n. 12

	TR C	TR D	α TR	PGA D [m/s ²]	PGA C (TR) [m/s ²]	FO (TR)	T* C (TR)	α PGA (TR)	PGA C [m/s ²]	α PGA
SLC	109	1462	0,0746	2,3534	0,8751	2,33	0,33	0,3718	0,9761	0,4148
SLV	75	712	0,1053	1,8825	0,7250	2,32	0,32	0,3851	0,7267	0,3860
SLD	37	75	0,4933	0,7250	0,4934	2,34	0,29	0,6806	0,4957	0,6838
SLO	13	45	0,2889	0,5494	0,3278	2,34	0,28	0,5967	0,3278	0,5967

Tabella 8-24: Confronti tra capacità e domanda rispetto alla PGA calcolata su suolo rigido.

	TR C	TR D	α TR	PGA D [m/s ²]	PGA C (TR) [m/s ²]	FO (TR)	T* C (TR)	α PGA (TR)	PGA C [m/s ²]	α PGA
SLC	109	1462	0,0746	3,5310	1,5751	2,33	0,33	0,4461	1,4646	0,4148
SLV	75	712	0,1053	3,2121	1,3049	2,32	0,32	0,4062	1,2400	0,3860
SLD	37	75	0,4933	1,3049	0,8882	2,34	0,29	0,6806	0,8923	0,6838
SLO	13	45	0,2889	0,9888	0,5901	2,34	0,28	0,5967	0,5901	0,5967

Tabella 8-25: Confronti tra capacità e domanda rispetto al periodo di riferimento ricalcolato.

Le tabelle appena riportate consentono di definire gli indici di vulnerabilità con due approcci differenti:

- α PGA ricavato da PGAc

Con PGAc si intende l'accelerazione di capacità prodotta mantenendo uno spettro sismico coincidente con quello del reticolo di riferimento scalando il valore di a_g fino al raggiungimento della condizione corrispondente allo stato limite considerato. Il valore di accelerazione (a_g) ottenuto rappresenta la PGAc.

- α PGA(TR): Ricavato da PGAc(TR)

Con PGAc(TR) si intende l'accelerazione di capacità prodotta ricalcolando il TR in modo da ottenere uno spettro sismico che conduce alla condizione corrispondente allo stato limite considerato.

8.7.6.2. Vulnerabilità sismica: commento ai risultati dell'analisi n. 19

	TR C	TR D	α TR	PGA D [m/s ²]	PGA C (TR) [m/s ²]	FO (TR)	T* C (TR)	α PGA (TR)	PGA C [m/s ²]	α PGA
SLC	70	1462	0,0479	2,3534	0,6995	2,33	0,32	0,2972	0,7655	0,3253
SLV	46	712	0,0646	1,8825	0,5562	2,34	0,30	0,2955	0,5517	0,2931
SLD	10	75	0,1333	0,7250	0,3185	2,34	0,28	0,4393	0,3212	0,4431
SLO	< 10	45	< 0,2222	0,5494	0,2965	2,34	0,28	0,5397	0,2124	0,3867

Tabella 8-26: Confronti tra capacità e domanda rispetto alla PGA calcolata su suolo rigido.

	TR C	TR D	α TR	PGA D [m/s ²]	PGA C (TR) [m/s ²]	FO (TR)	T* C (TR)	α PGA (TR)	PGA C [m/s ²]	α PGA
SLC	70	1462	0,0479	3,5310	1,2590	2,33	0,32	0,3566	1,1485	0,3253
SLV	46	712	0,0646	3,2121	1,0012	2,34	0,30	0,3117	0,9413	0,2931
SLD	10	75	0,1333	1,3049	0,5733	2,34	0,28	0,4393	0,5782	0,4431
SLO	< 10	45	< 0,2222	0,9888	0,5337	2,34	0,28	0,5397	0,3824	0,3867

Tabella 8-27: Confronti tra capacità e domanda rispetto al periodo di riferimento ricalcolato.

8.7.7. Progetto degli interventi

Come effettuato al paragrafo 8.7.3, si riporta di seguito il modello FEM di calcolo dell'aggregato nella sua conformazione *post operam*. Ci si riferisca alla legenda allegata per comprendere la distribuzione degli interventi attuati.

Materiali esistenti		
Nome	Tipo	Colore
Tufo	Muratura	Verde
S 275 ($t \leq 40\text{mm}$)	Acciaio strutturale	Blu
S 355	Acciaio strutturale	Blu
Tufo armato (barre acciaio)	Muratura	Arancione
Tufo armato con iniezioni	Muratura	Marrone
Tufo con iniezioni	Muratura	Giallo
Tufo_IntonacoArmato	Muratura	Grigio
Tufo armato (barre acciaio)_IntonacoArmato	Muratura	Arancione
Tufo con iniezioni_IntonacoArmato	Muratura	Giallo

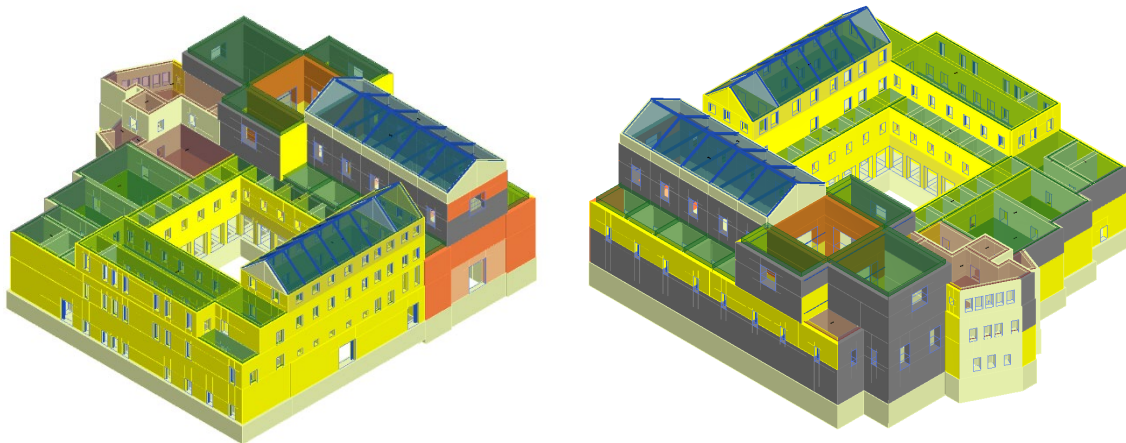


Figura 107: Vista 3D anteriore (sinistra) e posteriore (destra) del modello a macroelementi dell'aggregato.

Evidentemente, le piante del modello strutturale con indicazione dei nodi di riferimento – così come il modello mesh – sono i medesimi riportati al paragrafo 8.7.3.



Figura 108: Planimetria del livello 1 (0.00 – 6.40 m).

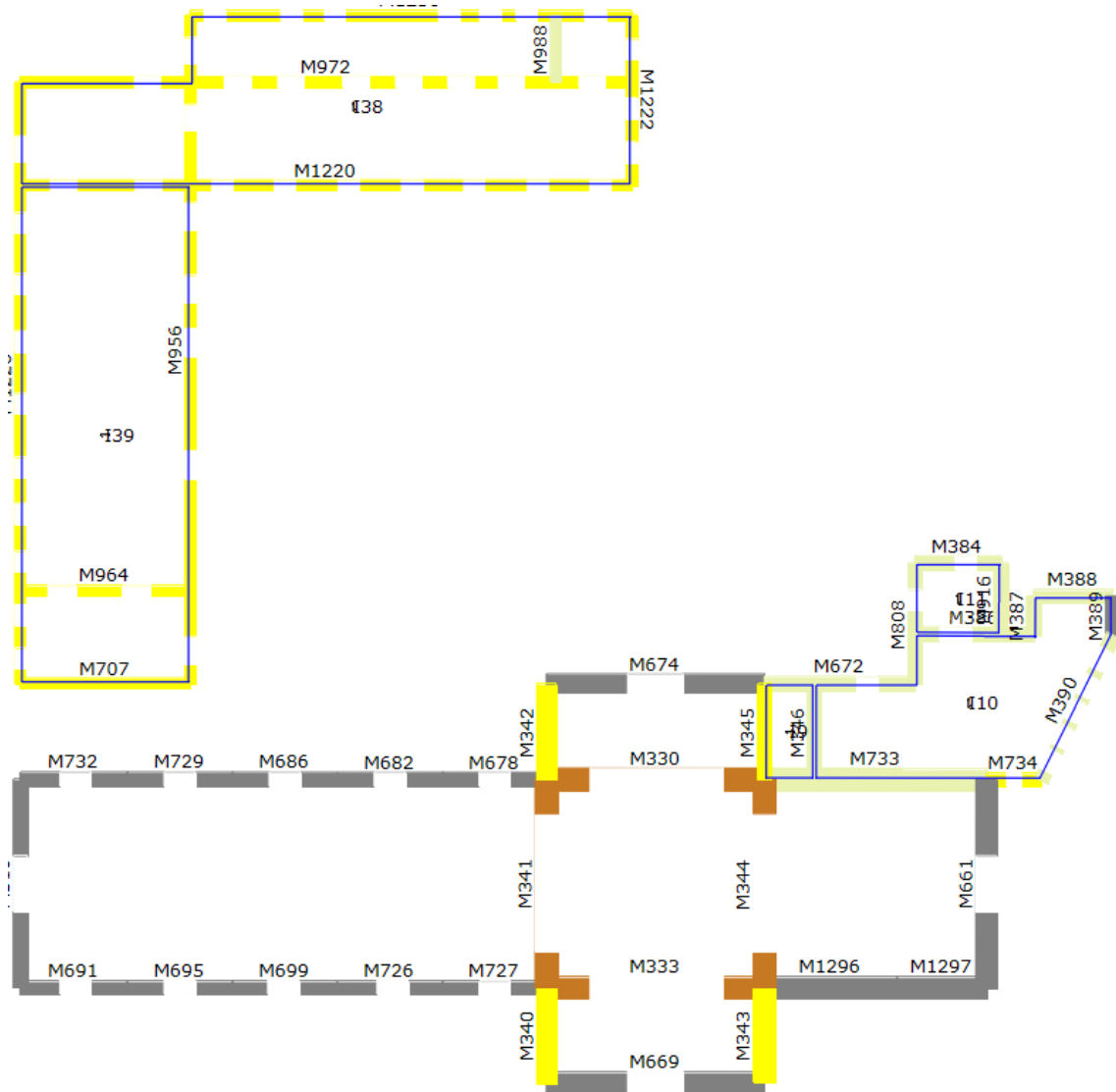


Figura 110: Planimetria del livello 3 (11.00 – 15.70 m).

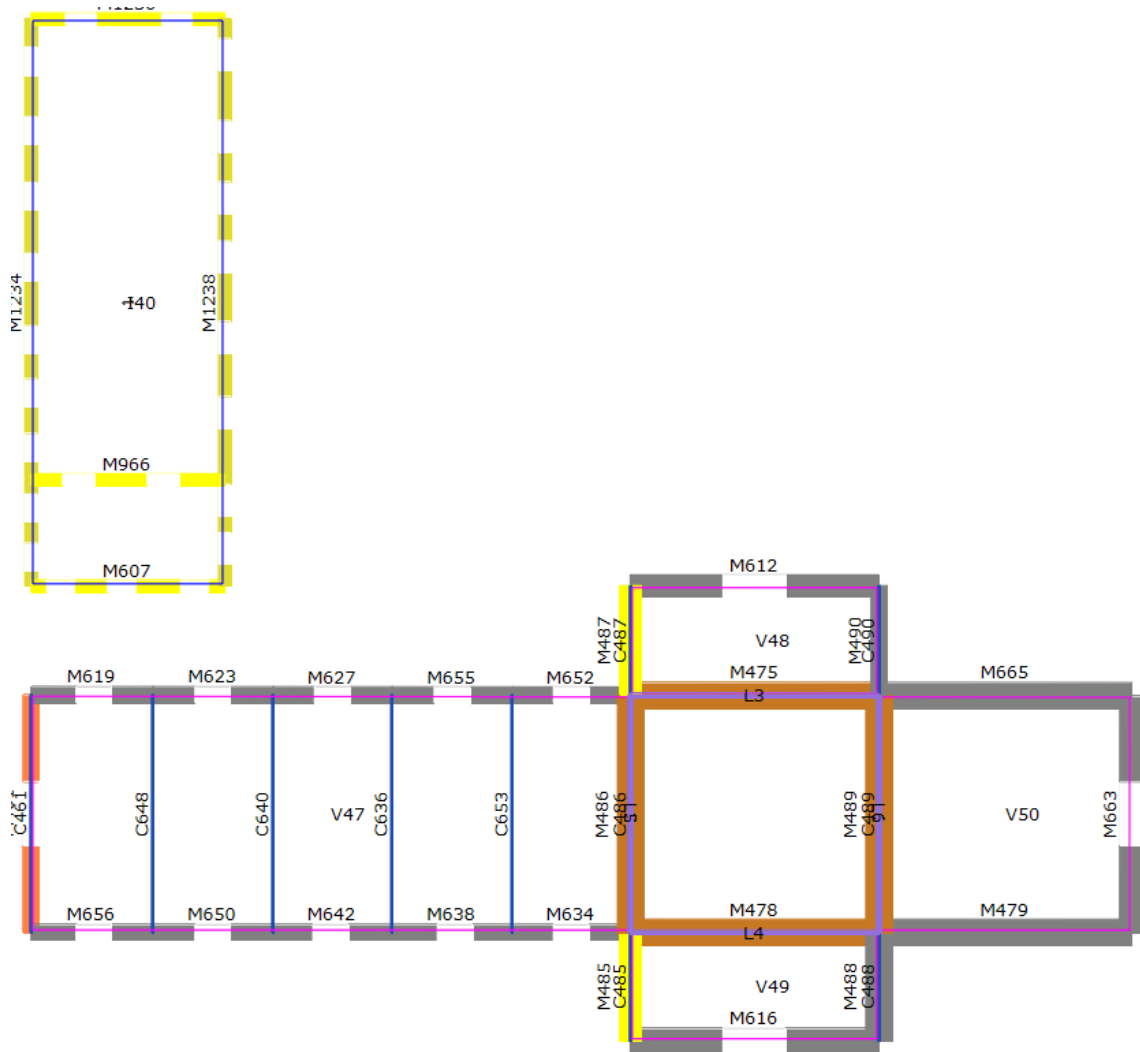


Figura 111: Planimetria livello 4 (15.70 – 18.90 m).

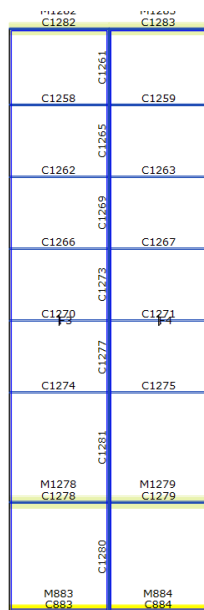


Figura 112: Copertura (18.90 – 23.80 m).

Attesa l'elevata storicità e l'elevato valore storico-architettonico della Chiesa, si è scelto di concentrare gli interventi più invasivi sugli edifici ad essa adiacenti – che hanno subito numerose e significative variazioni di destinazione d'uso negli anni, portando a totali stravolgimenti della fabbrica originaria senza costituire allo stato attuale elementi di particolare pregio, attesa l'assenza, in base ai rinvenimenti documentali, di elementi di archeologia industriale – così da limitare il più possibile l'impatto sull'opera in oggetto. In particolare, sono state attuate:

- Diffuse campagne di iniezioni di nuove miscele leganti nei corpi a Nord e a Ovest, con inserimento di cerchiature in diverse aperture;
- Intonacatura armata dei fronti esterni della Chiesa, con iniezioni di nuove miscele leganti su una fascia del fronte Sud – particolarmente critica nelle verifiche strutturali – in affaccio sulla piazza;

- Cerchiatura delle finestre al primo ordine della facciata Sud, con elementi inseriti nello spessore della muratura, finalizzata ad un irrigidimento della parete, particolarmente suscettibile alle azioni orizzontali;
- Iniezioni di nuove miscele leganti in corrispondenza delle pareti estradossate del transetto, al fine di delineare dei presidi sismoresistenti trasversali con migliori caratteristiche meccaniche;
- Irrigidimento dei solai lignei con soletta di spessore 5 cm in calcestruzzo armato di classe C 25/30, al fine di incrementare la rigidità di piano e il grado di incastro tra le pareti adiacenti;
- Irrigidimento dei solai a putrelle e tavelloni con interventi di collegamento tra le travi con bandelle in acciaio, per la medesima motivazione.

Detti interventi risultano dallo stato di danneggiamento e dagli spostamenti di interpiano registrati nel modello *ante operam*, da cui è risultata una particolare criticità per il fronte Sud (in affaccio sulla piazza) e il fronte Ovest (caratterizzato dagli elementi di maggior altezza della fabbrica), con spostamenti di interpiano significativi in presenza delle strutture spingenti dell'aula religiosa.

In ottemperanza alla normativa vigente, l'iniezione di nuova malta nelle murature viene condotta attraverso l'accoppiamento di un miscelatore ed un compressore, praticando una maglia di fori nella parete attraverso cui iniettare una boiaccia di calce (compatibile con la muratura esistente), ponendo particolare attenzione alla pulizia dei fori (da condursi con acqua) per limitare l'assorbimento nella muratura dell'acqua di impasto. L'intervento è dunque compatibile, non reversibile e non distinguibile. A livello normativo, essa determina un coefficiente migliorativo delle caratteristiche meccaniche della parete su cui si interviene pari a 2.0, come riportato in tabella C.8.5.II della Circolare 2019.

L'intonaco armato è una tecnologia basata sull'utilizzo di una rete in polimeri fibrorinforzati (FRP) inserita in una matrice di malta ad uso strutturale, eventualmente additivata anch'essa di microfibre. Con questa tecnologia, la rete – saldamente ancorata alla muratura esistente – assorbe parte dei carichi di trazione affidati alla muratura, garantendo un'uniformità nella trasmissione dei carichi anche in corrispondenza di lesioni. Per massimizzare la compatibilità dell'intervento, si immagina di realizzare un intervento a base di malta di calce e fibre aramidiche, così da garantire una certa reversibilità all'intervento,

il cui impatto si limiterebbe all'inserimento di tasselli chimici nella muratura. Al netto del livellamento della muratura esistente, l'intervento assume uno spessore compreso tra i 3 ed i 5 cm; ai sensi della tabella C.8.5.II, all'intonaco armato corrisponde un parametro migliorativo di 1.5.

L'intervento di cerchiatura prevede la realizzazione di un telaio MRF in acciaio S355. L'intervento è stato attuato in ragione di quanto osservato nell'analisi modale e nello studio del danneggiamento delle pareti, da cui risultava evidente la necessità di incrementare la rigidezza e resistenza dei pannelli murari senza ricorrere a interventi più invasivi sulla muratura, con l'intento di limitare l'uso di soluzioni tecniche non reversibili. Le cerchiature, in ragione della loro caratteristica costruttiva, si qualificano di per sé come interventi a carattere prettamente locale (stanti le variazioni di rigidezza e resistenza rispetto al modello ante operam)³⁶⁰.

I principali metodi di modellazione, prendendo in considerazione un singolo pannello murario, sono i seguenti:

- Modello ad incastro-incastro: il maschio può essere considerato come vincolato con incastro alla base e incastro scorrevole in sommità (comportamento alla Grinter). In questo caso si ipotizza che le fasce di piano (intese come le fasce orizzontali continue sopra le aperture) siano assimilabili a dei traversi rigidi a flessione (modello "shear type").

La rigidezza del paramento può essere ottenuta facendo il rapporto fra la forza F applicata in sommità e lo spostamento δ :

$$K = F / \delta$$

Dove:

$$\delta = \delta_F + \delta_T = \frac{Fh^3}{12 EJ} + \frac{F\chi h}{GA}$$

È lo spostamento dovuto al contributo flessionale (δ_F) e tagliante (δ_T).

Si ottiene dunque la rigidezza del pannello murario:

$$K = \frac{1}{\frac{h^3}{12 EJ} + \chi \frac{h}{GA}}$$

In cui:

- h = altezza del maschio murario
 - A = area sezione orizzontale del maschio murario
 - J = momento di inerzia della sezione orizzontale del maschio murario
 - X = fattore di taglio (pari a 1,2 per sezioni rettangolari)
 - E = modulo di elasticità del materiale
 - G = modulo di elasticità tangenziale
- Modello a mensola: nel caso in cui le fasce di piano non siano in grado di creare un opportuno vincolo rotazionale alle estremità delle pareti, è possibile modellare i maschi murari come delle mensole incastrate alla base.

Tenuto sempre in considerazione il contributo tagliante, la rigidezza del maschio murario K si ottiene attraverso la seguente formula:

$$K = \frac{1}{\frac{h^3}{3 EJ} + \chi \frac{h}{GA}}$$

Il calcolo della rigidezza di un'intera parete si ottiene attraverso la somma delle rigidezze dei singoli maschi murari.

A seguito della modifica o creazione di nuove aperture, la configurazione della parete risulterà modificata rispetto alla condizione originaria, essendo ad esempio formata da maschi murari differenti in geometria e/o in numero e pertanto il suo comportamento globale risulterà modificato rispetto a quello originario. Risulta necessario procedere al calcolo della rigidezza a seguito delle modifiche della nuova configurazione, in modo da confrontarla con quella iniziale.

In questo frangente, è molto importante considerare correttamente l'altezza dei maschi murari per il calcolo della rigidezza pre e post-intervento. In questa applicazione, essendo l'elaborazione legata ai risultati del programma, si è scelto di operare nell'ipotesi di fasce di

piano rigide, implicando che i pannelli murari abbiano altezza pari all'altezza delle aperture adiacenti.

La rigidità richiesta alla cerchiatura può essere calcolata con la formula seguente:

$$K_T = \frac{12 E \sum J_p}{H^3}$$

Dove:

- E = modulo elastico acciaio dei piedritti costituenti la cerchiatura;
- $\sum J_p$ = sommatoria dei momenti di inerzia dei piedritti;
- H = altezza dei piedritti.

Analogamente alla rigidità, occorre mettere a confronto le prestazioni della parete anche in termini di resistenza pre e post-intervento, in modo da valutare il contributo di rinforzo fornito dalla cerchiatura metallica.

Il calcolo della resistenza alle azioni orizzontali delle pareti può essere eseguito considerando separatamente i maschi murari e le eventuali fasce di piano.

Per i maschi murari sarà necessario verificare i meccanismi di rottura facendo riferimento ai metodi di calcolo impiegati per le strutture in muratura, in accordo alle NTC2018, fra cui:

- crisi per pressoflessione (formula [7.8.2] – NTC 2018);
- crisi per taglio da scorrimento (formula [7.8.3] – NTC 2018);
- crisi per taglio per fessurazione diagonale (es. formula [C8.7.1.16] – Circolare 2019).

Una volta dimensionato opportunamente la cerchiatura al fine di ripristinare la perdita di rigidità e di resistenza della parete, si può procedere con le verifiche di resistenza del telaio in acciaio in accordo al par. 4.2 delle NTC2018.

Particolare attenzione dovrà essere prestata per le seguenti verifiche:

Verifiche di resistenza e stabilità delle membrature:

- Verifica a taglio dei piedritti (4.2.4.1.2.4 – NTC2018);
- Verifica a presso-flessione dei piedritti (4.2.4.1.2.7 – NTC2018);

- Verifica a flessione e taglio del traverso (4.2.4.1.2.6 – NTC2018);
- Verifica stabilità a presso-flessione dei piedritti (4.2.4.1.3.3 – NTC2018);
- Verifica stabilità flesso-torsionale del traverso (4.2.4.1.3.2 – NTC2018).

Verifiche dei collegamenti:

- Verifica collegamento saldato piedritto-traverso con cordoni d'angolo;
- Verifica collegamento alla base dei piedritti.

Le verifiche sono state condotte tramite i fogli di calcolo resi disponibili dalla Fondazione Promozione Acciaio, a seguito di un dimensionamento di massima fondato sul miglioramento del comportamento dei singoli pannelli. Si riportano in appendice i dettagli del dimensionamento delle singole cerchiature, perlopiù costituite da montanti HE B 100 e traversi IPE 200, in acciaio S355.

8.7.8. Analisi globali sulla struttura post-intervento

Come fatto per il modello *ante operam*, si riportano di seguito i risultati delle 24 analisi *pushover* condotte sul modello, che risultano non soddisfatte ad alcuno stato limite, con un indice di rischio minimo di 0.384 a SLV.

N.	Dir. sisma	Carico sismico	Ecc. [cm]	D _{max} SLC [cm]	D _u SLC [cm]	q* SLC	SLC ver.	D _{max} SLV [cm]	D _u SLV [cm]	q* SLV	SLV ver.
1	+X	Uniforme	0,0	5,19	2,80	3,44	No	4,42	2,10	3,02	No
2	+X	Forze statiche	0,0	6,01	3,76	3,68	No	5,15	2,82	3,23	No
3	-X	Uniforme	0,0	5,28	2,62	3,48	No	4,50	1,96	3,05	No
4	-X	Forze statiche	0,0	6,19	3,38	3,82	No	5,31	2,54	3,35	No
5	+Y	Uniforme	0,0	6,30	2,79	3,96	No	5,41	2,09	3,47	No
6	+Y	Forze statiche	0,0	7,26	3,18	3,99	No	6,25	2,38	3,50	No
7	-Y	Uniforme	0,0	6,39	2,82	4,07	No	5,50	2,11	3,57	No
8	-Y	Forze statiche	0,0	7,29	3,45	4,17	No	6,29	2,59	3,66	No
9	+X	Uniforme	309,3	5,25	2,37	3,64	No	4,48	1,78	3,19	No
10	+X	Uniforme	-309,3	5,20	3,56	3,62	No	4,43	2,67	3,17	No
11	+X	Forze statiche	309,3	6,16	2,70	3,82	No	5,28	2,03	3,35	No
12	+X	Forze statiche	-309,3	5,93	3,70	3,52	No	5,07	2,77	3,09	No
13	-X	Uniforme	309,3	5,28	2,29	3,67	No	4,51	1,71	3,22	No
14	-X	Uniforme	-309,3	5,26	2,81	3,48	No	4,48	2,11	3,05	No
15	-X	Forze statiche	309,3	6,31	2,85	3,98	No	5,41	2,13	3,49	No
16	-X	Forze statiche	-309,3	6,04	4,68	3,78	No	5,17	3,51	3,32	No
17	+Y	Uniforme	317,0	6,42	2,63	4,25	No	5,52	1,97	3,73	No
18	+Y	Uniforme	-317,0	6,20	3,02	3,77	No	5,32	2,26	3,30	No
19	+Y	Forze statiche	317,0	7,25	2,64	4,29	No	6,25	1,98	3,76	No
20	+Y	Forze statiche	-317,0	7,20	2,68	4,07	No	6,21	2,01	3,57	No
21	-Y	Uniforme	317,0	6,48	2,55	4,63	No	5,59	1,92	4,06	No
22	-Y	Uniforme	-317,0	6,28	3,03	3,86	No	5,39	2,28	3,39	No
23	-Y	Forze statiche	317,0	7,45	3,81	4,33	No	6,43	2,85	3,80	No
24	-Y	Forze statiche	-317,0	7,21	2,50	4,27	No	6,22	1,88	3,74	No

Tabella 8-28: Dettagli analisi pushover a SLC e SLV.

N.	Dir. sisma	Carico sismico	Ecc. [cm]	Dmax SLD [cm]	Dd SLD [cm]	SLD ver. No	Dmax SLD [cm]	Dd SLD [cm]	SLO ver. No
1	+X	Uniforme	0,0	1,07	0,61	No	0,68	0,40	No
2	+X	Forze statiche	0,0	1,38	0,89	No	0,86	0,59	No
3	-X	Uniforme	0,0	1,10	0,76	No	0,70	0,51	No
4	-X	Forze statiche	0,0	1,46	0,89	No	0,89	0,60	No
5	+Y	Uniforme	0,0	1,55	0,80	No	0,98	0,53	No
6	+Y	Forze statiche	0,0	1,88	0,90	No	1,24	0,60	No
7	-Y	Uniforme	0,0	1,59	0,74	No	1,02	0,49	No
8	-Y	Forze statiche	0,0	1,92	0,92	No	1,27	0,62	No
9	+X	Uniforme	309,3	1,13	0,71	No	0,68	0,47	No
10	+X	Uniforme	-309,3	1,11	0,71	No	0,67	0,47	No
11	+X	Forze statiche	309,3	1,45	0,88	No	0,89	0,59	No
12	+X	Forze statiche	-309,3	1,32	0,92	No	0,85	0,61	No
13	-X	Uniforme	309,3	1,14	0,71	No	0,68	0,47	No
14	-X	Uniforme	-309,3	1,10	0,62	No	0,69	0,42	No
15	-X	Forze statiche	309,3	1,52	0,87	No	0,95	0,58	No
16	-X	Forze statiche	-309,3	1,40	0,86	No	0,86	0,58	No
17	+Y	Uniforme	317,0	1,62	0,86	No	1,05	0,58	No
18	+Y	Uniforme	-317,0	1,48	0,81	No	0,93	0,54	No
19	+Y	Forze statiche	317,0	1,92	0,87	No	1,28	0,58	No
20	+Y	Forze statiche	-317,0	1,87	0,94	No	1,24	0,63	No
21	-Y	Uniforme	317,0	1,69	0,79	No	1,11	0,53	No
22	-Y	Uniforme	-317,0	1,52	0,93	No	0,96	0,62	No
23	-Y	Forze statiche	317,0	1,99	0,90	No	1,34	0,60	No
24	-Y	Forze statiche	-317,0	1,90	0,88	No	1,26	0,59	No

Tabella 8-29: Dettagli analisi pushover a SLD e SLO.

Come anticipato, gli indici di rischio – riportati nella tabella di seguito – sono il fondamentale riferimento per l’analisi di vulnerabilità sismica: essi costituiscono il rapporto tra la accelerazione di picco al suolo (PGA – *peak ground acceleration*) di riferimento allo stato limite considerato e la corrispondente accelerazione di capacità, ovvero l’entità massima delle azioni – considerate nelle combinazioni previste al paragrafo 8.7.3 – che la struttura è in grado di sostenere³⁶¹.

N.	Dir. sisma	Carico sismico	Ecc. [cm]	α SLC	α SLV	α SLD	α SLO
1	+X	Uniforme	0,0	0,619	0,578	0,683	0,596
2	+X	Forze statiche	0,0	0,680	0,623	0,792	0,691
3	-X	Uniforme	0,0	0,580	0,544	0,838	0,731
4	-X	Forze statiche	0,0	0,609	0,560	0,764	0,667
5	+Y	Uniforme	0,0	0,512	0,474	0,645	0,563
6	+Y	Forze statiche	0,0	0,499	0,458	0,569	0,497
7	-Y	Uniforme	0,0	0,508	0,469	0,584	0,510
8	-Y	Forze statiche	0,0	0,529	0,482	0,584	0,510
9	+X	Uniforme	309,3	0,540	0,508	0,801	0,699
10	+X	Uniforme	-309,3	0,736	0,675	0,806	0,704
11	+X	Forze statiche	309,3	0,517	0,481	0,763	0,666
12	+X	Forze statiche	-309,3	0,681	0,626	0,828	0,722
13	-X	Uniforme	309,3	0,523	0,493	0,795	0,693
14	-X	Uniforme	-309,3	0,613	0,572	0,688	0,600
15	-X	Forze statiche	309,3	0,523	0,485	0,732	0,639
16	-X	Forze statiche	-309,3	0,807	0,730	0,771	0,673
17	+Y	Uniforme	317,0	0,479	0,443	0,686	0,599
18	+Y	Uniforme	-317,0	0,555	0,512	0,664	0,580
19	+Y	Forze statiche	317,0	0,430	0,397	0,563	0,491
20	+Y	Forze statiche	-317,0	0,440	0,407	0,606	0,529
21	-Y	Uniforme	317,0	0,459	0,423	0,630	0,549
22	-Y	Uniforme	-317,0	0,550	0,507	0,755	0,658
23	-Y	Forze statiche	317,0	0,559	0,506	0,551	0,481
24	-Y	Forze statiche	-317,0	0,415	0,384	0,570	0,497

Tabella 8-30: Definizione degli indici di rischio ai vari stati limite.

Si riporta di seguito una panoramica delle curve pushover per i casi di carico analizzati.

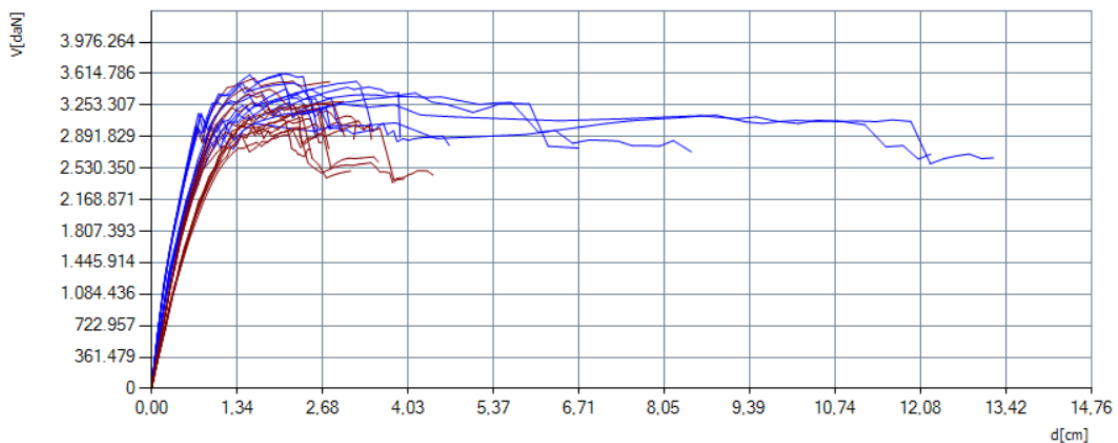


Figura 113: Curve pushover in direzione X (in blu) e Y (in rosso).

Gli indicatori di rischio più bassi allo SLV sono quelli che contraddistinguono le analisi n. 11 (0.481, in direzione X) e 24 (0.384, in direzione Y). I risultati delle analisi in termini di curva pushover e di meccanismi di collasso sono riportati nelle figure seguenti.

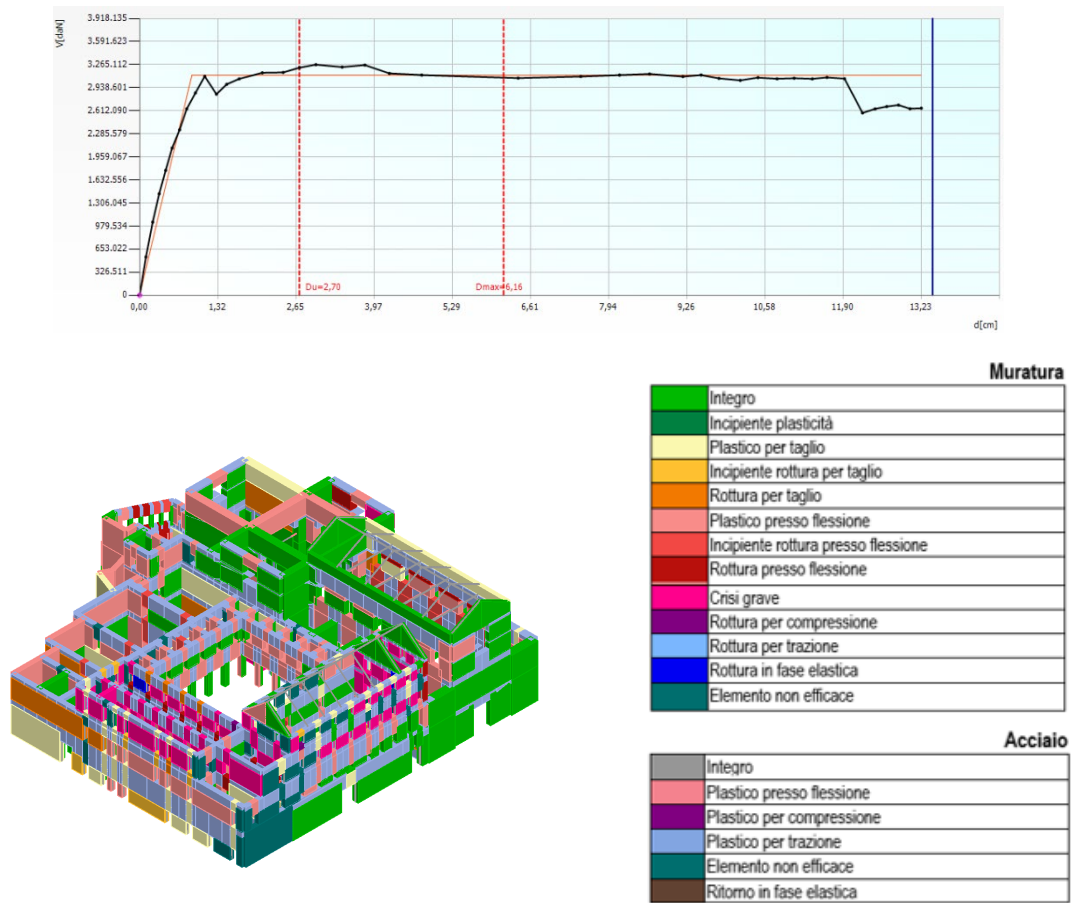


Figura 114: Risultati dell'analisi più gravosa in direzione X (n. 11) sulla Chiesa nel modello post operam.

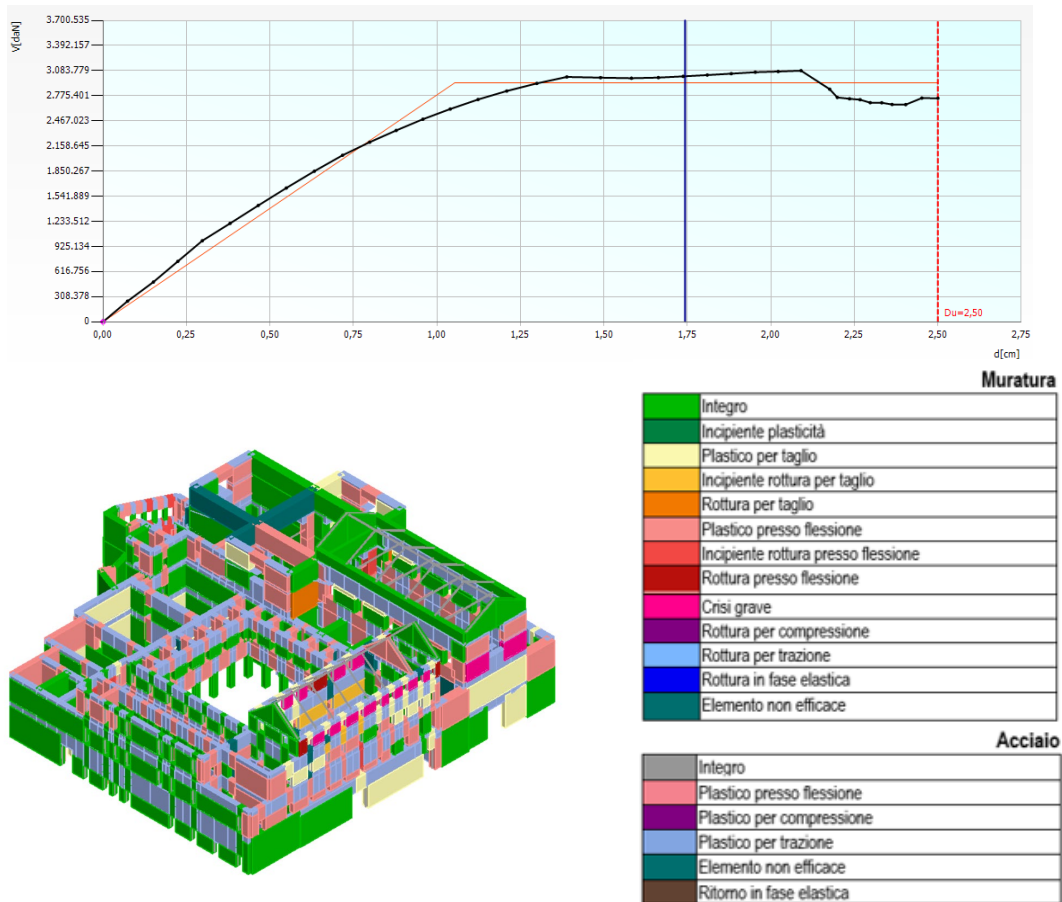


Figura 115: Risultati dell'analisi più gravosa in direzione Y (n. 24) sulla Chiesa nel modello post operam.

8.7.8.1. Vulnerabilità sismica: commento ai risultati dell'analisi n. 11

	TR C	TR D	α TR	PGA D [m/s ²]	PGA C (TR) [m/s ²]	FO (TR)	T* C (TR)	α PGA (TR)	PGA C [m/s ²]	α PGA
SLC	175	1462	0,1197	2,3534	1,1007	2,32	0,33	0,4677	1,2157	0,5165
SLV	113	712	0,1587	1,8825	0,8907	2,33	0,33	0,4732	0,9057	0,4811
SLD	44	75	0,5867	0,7250	0,5425	2,34	0,30	0,7483	0,5534	0,7633
SLO	17	45	0,3778	0,5494	0,3659	2,34	0,28	0,6661	0,3659	0,6661

Tabella 8-32: Confronti tra capacità e domanda rispetto alla PGA calcolata su suolo rigido.

	TR C	TR D	α TR	PGA D [m/s ²]	PGA C (TR) [m/s ²]	FO (TR)	T* C (TR)	α PGA (TR)	PGA C [m/s ²]	α PGA
SLC	175	1462	0,1197	3,5310	1,9812	2,32	0,33	0,5611	1,8239	0,5165
SLV	113	712	0,1587	3,2121	1,6033	2,33	0,33	0,4992	1,5455	0,4811
SLD	44	75	0,5867	1,3049	0,9765	2,34	0,30	0,7483	0,9961	0,7633
SLO	17	45	0,3778	0,9888	0,6587	2,34	0,28	0,6661	0,6587	0,6661

Tabella 8-31: Confronti tra capacità e domanda rispetto al periodo di riferimento ricalcolato.

8.7.8.2. Vulnerabilità sismica: commento ai risultati dell'analisi n. 24

	TR C	TR D	α TR	PGA D [m/s ²]	PGA C (TR) [m/s ²]	FO (TR)	T* C (TR)	α PGA (TR)	PGA C [m/s ²]	α PGA
SLC	109	1462	0,0746	2,3534	0,8751	2,33	0,33	0,3718	0,9758	0,4146
SLV	73	712	0,1025	1,8825	0,7151	2,32	0,32	0,3799	0,7230	0,3841
SLD	19	75	0,2533	0,7250	0,4096	2,34	0,28	0,5650	0,4131	0,5699
SLO	< 10	45	< 0,2222	0,5494	0,2965	2,34	0,28	0,5397	0,2732	0,4973

Tabella 8-33: Confronti tra capacità e domanda rispetto alla PGA calcolata su suolo rigido.

	TR C	TR D	α TR	PGA D [m/s ²]	PGA C (TR) [m/s ²]	FO (TR)	T* C (TR)	α PGA (TR)	PGA C [m/s ²]	α PGA
SLC	109	1462	0,0746	3,5310	1,5751	2,33	0,33	0,4461	1,4641	0,4146
SLV	73	712	0,1025	3,2121	1,2873	2,32	0,32	0,4008	1,2337	0,3841
SLD	19	75	0,2533	1,3049	0,7373	2,34	0,28	0,5650	0,7437	0,5699
SLO	< 10	45	< 0,2222	0,9888	0,5337	2,34	0,28	0,5397	0,4918	0,4973

Tabella 8-34: Confronti tra capacità e domanda rispetto al periodo di riferimento ricalcolato.

8.7.9. Conclusioni

La progettazione strutturale è stata condotta facendo riferimento ai metodi della Scienza e della Tecnica delle Costruzioni. La procedura di calcolo è stata sviluppata avvalendosi del programma 3MURI per l'analisi globale dell'aggregato oggetto di intervento. Tutte le procedure di verifica, in accordo alla normativa di riferimento vigente, sono state condotte tramite il "Metodo agli stati limite" ed i risultati ottenuti sono stati illustrati seguendo le indicazioni della norma CNR 10024/86.

Le ipotesi di calcolo assunte nelle analisi numeriche contenute nella presente relazione di calcolo corrispondono ai dati di progetto ed i programmi di calcolo adottati sono di riconosciuta affidabilità ed hanno fornito sollecitazioni compatibili con le resistenze assunte per i materiali impiegati. Pertanto, in relazione all'output ottenuto e sulla base degli accertamenti e delle verifiche eseguite localmente per ogni singolo elemento, i risultati riportati nella presente relazione si ritengono soddisfacenti ed affidabili nel rispetto della normativa vigente.

In deroga alle NTC 2018, le linee guida per la valutazione e la riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale consentono di riferirsi ad una vita nominale minore di quella di progetto per l'attuazione di interventi meno invasivi di quelli richiesti, evitando che

l'esigenza di sicurezza dal punto di vista strutturale comprometta il valore storico e artistico dell'opera. In tal senso, ci si è prefigurati di intendere un *miglioramento sismico* analogo a quello abitualmente condotto per strutture di classe d'uso II, ponendosi come obiettivo l'incremento dell'indice di rischio sismico di almeno 0.1. Pur avendo attuato questa importante deroga rispetto alle prescrizioni normative, giustificabile da una ridotta affluenza nella Chiesa e dalla destinazione prevalentemente residenziale del complesso, l'intervento attuato risulta significativamente impattante sulla Chiesa e sull'aggregato, richiedendo una campagna di iniezioni di miscele leganti estremamente diffusa sui pannelli murari, ritenuta eccessivamente impattante a fronte dei risultati ottenuti. Tenuto conto della natura parziale dei dati ottenuti dalle indagini documentali attuate e dalla conseguente modellazione ad elevato vantaggio di sicurezza degli ambienti privati del complesso – in cui la presenza di ulteriori pareti interne, estremamente probabile in ragione delle elevate luci di diverse campate modellate – è però plausibile che la richiesta in termini prestazionali dei pannelli murari su cui si è scelto di intervenire sia in realtà già parzialmente integrata da tramezzature o sistemi strutturali secondari, non presenti nei documenti consultati. In tal senso, la presente proposta di miglioramento sismico intende fornire una possibile direzione e dinamica di intervento, limitando le azioni all'interno delle singole unità immobiliari e consentendo – al netto di verifiche più approfondite – un completo miglioramento del fabbricato, rispondente ai limiti di norma imposti.

8.8. Valutazione PAM e IS-V del modello ante e post operam

8.8.1. Metodo convenzionale

Per la valutazione della classe di rischio, per il caso in esame, è stato adoperato il metodo convenzionale di cui si descrivono brevemente le fasi operative. Per determinare la classe di rischio si fa riferimento a due parametri, il primo economico e il secondo di sicurezza:

- La Perdita Annuale Media attesa (PAM), che tiene conto delle perdite economiche associate ai danni agli elementi, strutturali e no, e riferite al costo di ricostruzione (CR) dell'edificio privo del suo contenuto;
- L'indice di sicurezza (IS-V) della struttura, definito come il rapporto tra l'accelerazione di picco al suolo (*PGA*, *Peak Ground Acceleration*) che determina il raggiungimento dello Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV), PGA_C (di

capacità) e la PGA che la norma indica, nello specifico sito in cui si trova la costruzione e per lo stesso stato limite, come riferimento per la progettazione di un nuovo edificio, PGA_D (di domanda).

La classe di rischio si determina mettendo in relazione questi due parametri e privilegiando, nel confronto, la classe di rischio minore ovvero quella corrispondente al rischio maggiore.

Il parametro PAM può essere assimilato al costo di riparazione dei danni prodotti dagli eventi sismici che si manifesteranno nel corso della vita della costruzione, ripartito annualmente ed espresso come percentuale del costo di ricostruzione. Esso può essere valutato, così come previsto per l'applicazione del metodo convenzionale, come l'area sottesa alla curva rappresentante le perdite economiche dirette, in funzione della frequenza media annua di superamento (pari all'inverso del periodo medio di ritorno) degli eventi che provocano il raggiungimento di uno stato limite per la struttura. Tale curva, in assenza di dati più precisi, può essere discretizzata mediante una spezzata. Minore sarà l'area sottesa da tale curva, minore sarà la perdita media annua attesa (PAM). I valori di riferimento per la definizione delle Classi PAM sono riportati di seguito.

Perdita Media Annua attesa (PAM)	Classe PAM
$PAM \leq 0,50\%$	A^+_{PAM}
$0,50\% < PAM \leq 1,0\%$	A_{PAM}
$1,0\% < PAM \leq 1,5\%$	B_{PAM}
$1,5\% < PAM \leq 2,5\%$	C_{PAM}
$2,5\% < PAM \leq 3,5\%$	D_{PAM}
$3,5\% < PAM \leq 4,5\%$	E_{PAM}
$4,5\% < PAM \leq 7,5\%$	F_{PAM}
$7,5\% < PAM$	G_{PAM}

Tabella 8-35: Classificazione PAM.

Analogamente, i valori di riferimento dell'indice di sicurezza da cui derivare la Classe IS-V, legata alla salvaguardia della vita umana, sono riportati nella tabella 8-37.

Per la valutazione della Classe PAM e della Classe IS-V, necessarie per l'individuazione della Classe di Rischio, è sufficiente fare uso dei metodi indicati dalle vigenti Norme Tecniche per le Costruzioni, procedendo come segue:

1. Si effettua l'analisi della struttura e si determinano i valori delle accelerazioni al suolo di capacità, PGA_C (SLi), che inducono il raggiungimento degli stati limite indicati dalla norma (SLC, SLV, SLD, SLO). È possibile, in via semplificata, effettuare le verifiche limitatamente allo SLV (stato limite per la salvaguardia della vita) ed allo SLD (stato limite di danno).
2. Note le accelerazioni al suolo, PGA_C , che producono il raggiungimento degli stati limite sopra detti, si determinano i corrispondenti periodi di ritorno, T_{rC} , associati ai terremoti che generano tali accelerazioni. In assenza di più specifiche valutazioni, il passaggio dalle PGA_C ai valori del periodo di ritorno può essere eseguito utilizzando la seguente relazione:

$$T_{rC} = T_{rD} (PGA_C / PGA_D)^\eta$$

$$\text{con } \eta = 1/0,41$$

3. Per ciascuno dei periodi sopra individuati, si determina il valore della frequenza media annua di superamento:

$$\lambda = 1/T_{rC}$$

4. Per ciascuno degli stati limite considerati si associa al corrispondente valore di λ il valore della percentuale di costo di ricostruzione secondo la seguente tabella:

Stato Limite	CR (%)
SLR – Soglia di Convenienza demolizione e ricostruzione	100%
SLC – Prestazione prossima al Collasso	80%
SLV – Soglia di salvaguardia della Vita	50%
SLD – Soglia di Limitazione del Danno strutturale e non strutturale	15%
SLO – Soglia di Limitazione del Danno non strutturale	7%
SLID – Soglia di Inizio del Danno non strutturale	0%

Tabella 8-36: Percentuale del costo di costruzione (CR), associata al raggiungimento di ciascuno stato limite.

5. Si valuta la PAM (in valore percentuale), ovvero l'area sottesa alla spezzata individuata dalle coppie (λ , CR) per ciascuno dei sopra indicati stati limite, a cui si aggiunge il punto ($\lambda=0$, CR=100%), mediante la seguente espressione:

$$PAM = \sum_{i=2}^5 [\lambda (SL_{i+1}) - \lambda (SL_i)] \cdot \frac{[CR\%(SL_i) + CR\%(SL_{i+1})]}{2} + \lambda (SLC) \cdot CR\%(SRL)$$

dove l'indice "i" rappresenta il generico stato limite (i=5 per lo SLC i=1 per lo SLID).

6. Si individua la Classe PAM mediante la tabella 8-35, che associa la classe all'intervallo di valori assunto dal PAM.
7. Si determina l'indice di sicurezza per la vita IS-V, ovvero il rapporto tra la PGA_C (di capacità) che ha fatto raggiungere al fabbricato lo stato limite di salvaguardia della vita umana e la PGA_D (di domanda) del sito in cui è posizionato la costruzione, con riferimento al medesimo stato limite.
8. Si individua la Classe IS-V, mediante la tabella di seguito che associa la classe all'intervallo di valori assunto dall'Indice di sicurezza per la vita IS-V, valutato come rapporto tra la PGA_C (SLV) e PGA_D (SLV).

Indice di Sicurezza	Classe IS-V
$100\% < IS-V$	A^+_{IS-V}
$80\% < IS-V \leq 100\%$	A_{IS-V}
$60\% < IS-V \leq 80\%$	B_{IS-V}
$45\% < IS-V \leq 60\%$	C_{IS-V}
$30\% < IS-V \leq 45\%$	D_{IS-V}
$15\% < IS-V \leq 30\%$	E_{IS-V}
$IS-V \leq 15\%$	F_{IS-V}

Tabella 8-37: Classi di rischio in funzione dell'indice di Sicurezza.

9. Si individua la Classe di Rischio della costruzione come la peggiore tra la Classe PAM e la Classe IS-V.

Il valore della Classe di Rischio attribuita a ciascuna costruzione, come detto, può essere migliorato a seguito di interventi che riducono il rischio della costruzione e, quindi, che

incidono sul valore PAM e/o sulla capacità che la struttura possiede rispetto allo stato limite della salvaguardia della vita, valutato come rapporto tra la PGA_C (SLV) e PGA_D (SLV).

8.8.2. Valutazione PAM e IS-V del modello ante operam

Nel caso in esame, si è provveduto a valutare la classe PAM e l'Indice di Sicurezza sia in relazione allo stato di fatto che allo stato di progetto della struttura.

Nello specifico, tramite il software 3Muri, adoperato per la modellazione della struttura, si ricava il valore della PGA_C in riferimento all'analisi pushover maggiormente gravosa. Lo stesso software permette di ricavare anche i periodi di ritorno corrispondenti T_{rc} e relativi ai diversi stati limite. Sono state calcolate le classi di rischio corrispondenti alle analisi statiche non lineari che risultavano più gravose nelle due direzioni di spinta x e y e si è fatto riferimento alla più bassa.

Si riportano di seguito i risultati ottenuti per lo stato di fatto.

	CR (%)	T_{rc}	T_{rd}	PGA_c	PGA_d	n	λ	IS-V		PAM (%)	IS-V (%)
SLR	100	883.7379033	1462				0.0011		X	73.57	22.57
SLC	80	883.7	1462	0.875	3.53	2.44	0.0011			0.00	Classe PAM
SLV	50	392.0	712	0.725	3.21	2.44	0.0026	0.226		0.14	G
SLD	15	69.2	75	0.493	1.30	2.44	0.0145			0.39	Classe IS-V
SLO	7	36.4	45	0.328	0.99	2.44	0.0275			0.09	E
SLID	0	36.39	45				0.0275			0.11	

Tabella 8-38: Calcolo della PAM - Analisi 12 (in direzione X).

	CR (%)	T_{rc}	T_{rd}	PGA_c	PGA_d	n	λ	IS-V		PAM (%)	IS-V (%)
SLR	100	1059.88	1462				0.0009		Y	9.89	29.55
SLC	80	1059.88	1462	0.7	2.35	2.44	0.0009			0.00	Classe PAM
SLV	50	513.09	712	0.556	1.88	2.44	0.0019	0.295		0.05	G
SLD	15	80.36	75	0.319	0.73	2.44	0.0124			0.34	Classe IS-V
SLO	7	59.23	45	0.297	0.55	2.44	0.0169			0.07	E
SLID	0	59.23	45				0.0169			0.09	

Tabella 8-39: Calcolo della PAM - Analisi 19 (in direzione Y).

Classe di rischio IS-V			
Stato Limite	PGA _C	PGA _D	IS-V (PGA _C /PGA _D)
SLV	0.725	3.21	0.226
Classe di rischio PAM			
Stato Limite	CR (%)	T _{RC} (SL)	λ _{SL} =1/T _{RC} (SL)
SLR	100%	884	0.0011
SLC	80%	884	0.0011
SLV	50%	392	0.0026
SLD	15%	69	0.0145
SLO	7%	36	0.0275
SLID	0%	36	0.0275

Tabella 8-40: Valutazione PAM e IS-V nel modello ante operam.

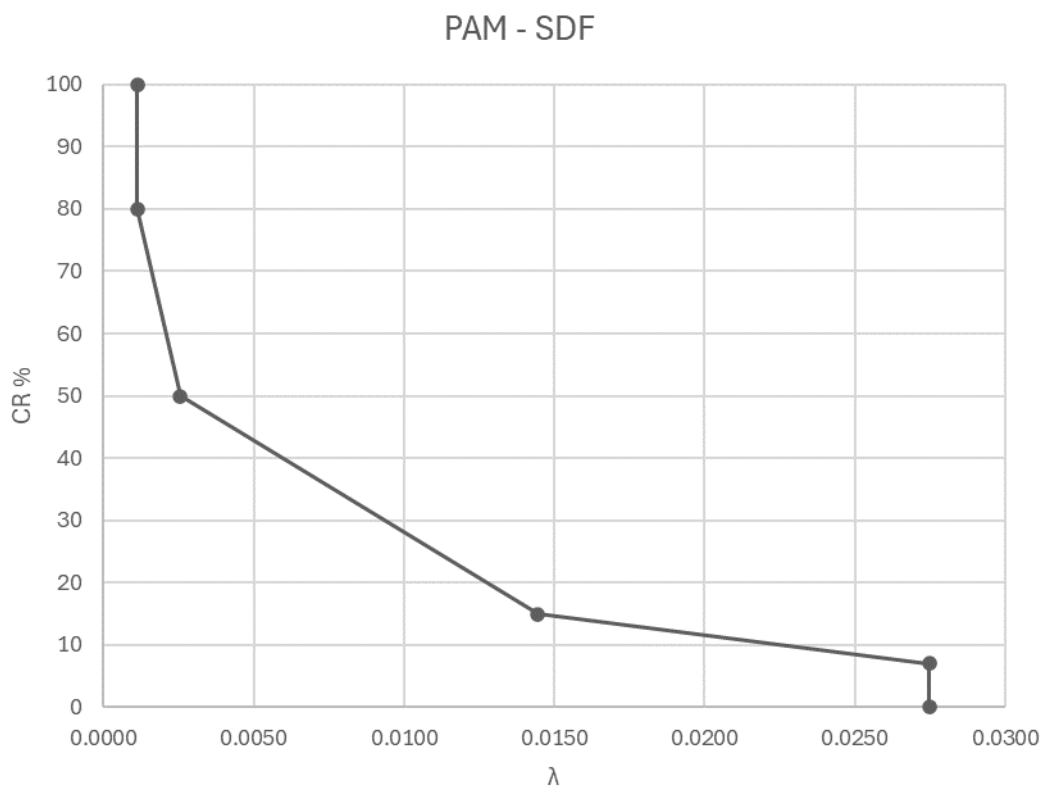


Figura 116: Curva della PAM del modello ante operam.

Ne risulta in definitiva che il modello nella sua configurazione *ante operam* presenta una classe di rischio G, essendo la PAM di classe G_{PAM} e lo IS-V di classe E_{IS-V}.

8.8.3. Valutazione PAM e IS-V del modello post operam

Analogamente a quanto presentato nel paragrafo 8.8.2, si riportano di seguito i risultati ottenuti per il modello nella sua configurazione *post operam*.

	CR (%)	T _{rc}	T _{rd}	PGA _c	PGA _d	n	λ	IS-V		PAM (%)	IS-V (%)
SLR	100	1668	1462				0.0006		X	36.81	47.31
SLC	80	1668	1462	1.101	2.35	2.44	0.0006			0.00	Classe PAM
SLV	50	822	712	0.891	1.88	2.44	0.0012	0.473		0.07	G
SLD	15	137	75	0.543	0.73	2.44	0.0073			0.20	Classe IS-V
SLO	7	73	45	0.366	0.55	2.44	0.0137			0.04	C
SLID	0	73	45				0.0137			0.06	

Tabella 8-41: Calcolo della PAM - Analisi 11 (in direzione X).

	CR (%)	T _{rc}	T _{rd}	PGA _c	PGA _d	n	λ	IS-V		PAM (%)	IS-V (%)
SLT	100	1326	1462				0.0008		Y	7.94	37.99
SLC	80	1326	1462	0.875	2.35	2.44	0.0008			0.00	Classe PAM
SLV	50	660	712	0.715	1.88	2.44	0.0015	0.380		0.08	G
SLD	15	103	75	0.41	0.73	2.44	0.0097			0.27	Classe IS-V
SLO	7	59	45	0.297	0.55	2.44	0.0169			0.05	D
SLID	0	59	45				0.0169			0.08	

Tabella 8-42: Calcolo della PAM - Analisi 24 (in direzione Y).

Classe di rischio IS-V			
Stato Limite	PGA _c	PGA _d	IS-V (PGA _c /PGA _d)
SLV	0.8907	1.88	0.473
Classe di rischio PAM			
Stato Limite	CR (%)	T _{RC} (SL)	λ _{SL} =1/T _{RC} (SL)
SLR	100%	1668	0.0006
SLC	80%	1668	0.0006
SLV	50%	822	0.0012
SLD	15%	137	0.0073
SLO	7%	73	0.0137
SLID	0%	73	0.0137

Tabella 8-43: Valutazione PAM e IS-V nel modello post operam.

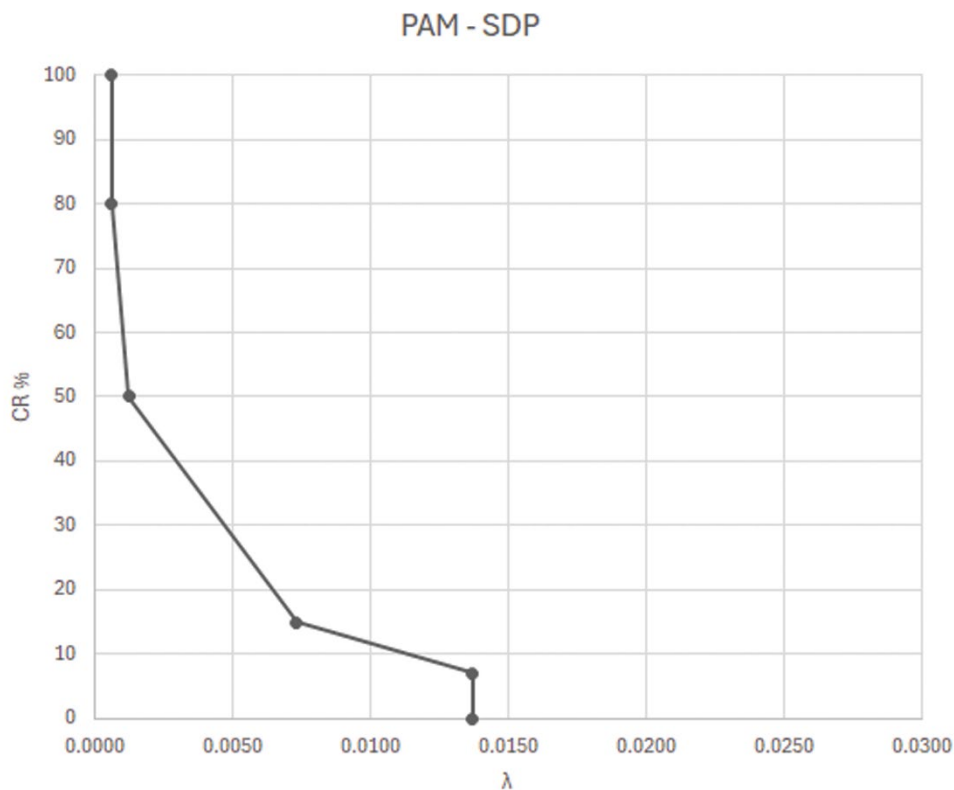


Figura 117: Curva della PAM del modello post operam.

Ne risulta in definitiva che il modello nella sua configurazione *ante operam* presenta una classe di rischio G, essendo la PAM di classe G_{PAM} e lo IS-V di classe D_{IS-V} nell'analisi più gravosa. È però interessante notare come nell'analisi 24 si sfiori un passaggio di classe nella valutazione della PAM, implicando una significativa riduzione della perdita annuale media associata alla specifica combinazione di carico.

8.9. Analisi statica grafica della cupola

8.9.1. Funzionamento statico delle cupole: la teoria membranale

Una cupola di rotazione, salvo specifiche condizioni al contorno, è sempre funicolare di un qualsiasi sistema di carichi distribuiti; a differenza dell'arco, che richiede una congruenza tra la propria forma e il poligono funicolare dei carichi cui è soggetto, la cupola è *automaticamente* funicolare dei propri carichi, sia propri che accidentali, in virtù degli stati di coazione ingenerati tra gli elementi costruttivi³⁶².

Secondo la teoria *membranale*, una cupola può essere considerata come un insieme di macroelementi individuati da una scomposizione della superficie media nei suoi meridiani e paralleli; in questo modo, gli sforzi interni della struttura si trasferiscono lungo le frontiere degli elementi – implicando un annullamento delle tensioni tangenziali in condizioni di carico assialsimmetrico – definendone di conseguenza l'equilibrio. Ne segue che, in una cupola di rotazione, due meridiani consecutivi individuano un arco di larghezza variabile, massima all'imposta e nulla in chiave, mentre due paralleli individuano al loro interno un anello chiuso (salvo che per cupole fratturate). Gli archi così individuati trasmettono i carichi della cupola all'imposta, mentre negli anelli si sviluppano delle azioni interne le cui componenti radiali rendono funicolare la curva del parallelo corrispondente³⁶³.

Si intuisce che le azioni lungo i paralleli più prossimi all'imposta sono di trazione, diminuendo verso l'alto fino ad annullarsi – ad una altezza dipendente dalla forma della cupola, dai materiali di cui è composta, dalle condizioni di carico e da quelle di vincolo – per poi definire delle azioni interne di compressione fino in chiave. Con una simile analisi *in regime di membrana* è possibile definire in maniera semplificata il comportamento dell'elemento strutturale, offrendo un'idea intuitiva ma esaustiva degli sforzi che si generano al suo interno³⁶⁴. In questo elementare studio dell'equilibrio è però evidente che le azioni interne determinano stati tensionali di trazione, incompatibili con le caratteristiche di resistenza della muratura, alla base della cupola, la cui frattura è ineluttabile.



Figura 118: Semplificazione di una cupola in meridiani e paralleli nella teoria membranale (da J. Heyman, «The masonry arch», Ellis Horwood series in engineering science, John Wiley and Sons, Chirchester, 1982).

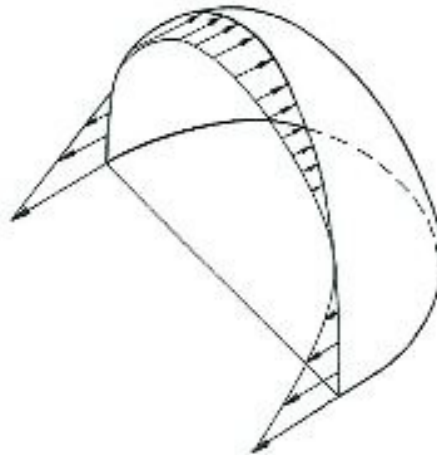


Figura 119: Tensioni interne nelle direzioni dei paralleli, necessarie per l'equilibrio di una cupola emisferica soggetta al peso proprio (da Heyman, 1982).

Difatti, tutte le cupole in muratura presentano fratture lungo i piani meridiani, almeno fino all'altezza in cui le forze di trazione coincidono con la resistenza a trazione della malta; dette lesioni, variabili per numero ed ampiezza a seconda delle caratteristiche del sistema, trasformano la cupola in un insieme di archi a sezione variabile, mutuamente contrastanti in corrispondenza degli anelli *in compressione*³⁶⁵. Va notato che la larghezza della fascia fessurata lungo i meridiani può essere più alta di quella realmente tesa, in virtù del fatto che il meccanismo innescato dalla fessurazione implica un'inflexione dei meridiani, che si fratturano più in alto in ragione delle deformazioni dell'eventuale tamburo alla base, che portano la cupola ad aprirsi e a suddividersi in spicchi convergenti nel colmo, che si comportano come archi indipendenti e in cui il poligono delle pressioni determina una spinta all'imposta, non trovandosi più sulla superficie media della cupola³⁶⁶.

La teoria appena introdotta rappresenta il risultato di secoli di studio del problema, culminati nello sviluppo e nell'integrazione di equazioni differenziali, risultanti dall'osservazione delle strutture e del loro quadro fessurativo, che sin dai primi studi in materia ha lasciato intendere una dinamica strutturale analoga a quella dell'arco, portando ad una proficua produzione scientifica sullo studio del suo equilibrio³⁶⁷. Volendo riferire la teoria membranale alle strutture in muratura, per una cupola emisferica vale la relazione³⁶⁸:

$$\sigma_{cr} = k \cdot E \left(\frac{t}{R} \right)$$

In cui:

- σ_{cr} è la tensione critica del materiale;
- k è una costante, variabile a seconda degli autori, generalmente posta pari a 0.25;
- E è il modulo di rigidezza del materiale;
- t è lo spessore della cupola;
- R è il raggio della cupola.

Nelle tipiche analisi membranali si tende a ragionare in termini di risultanti $N=\sigma t$, da cui anche i carichi propri sono tipicamente espressi in termini di peso per unità di area $w=\gamma t$ (con γ pari al peso per unità di volume della muratura), da cui risulta che l'equazione di equilibrio della struttura può scriversi come $N=wA$ ³⁶⁹.

Nel visualizzare la cupola come insieme di meridiani e paralleli, ogni punto all'interno del meridiano di raggio R può essere individuato dall'angolo ϕ , complementare della latitudine; per valutare l'azione delle risultanti nella superficie, si può considerare un elemento infinitesimo definito da due meridiani e due paralleli adiacenti, individuabile in base a ϕ e all'analogia grandezza definita lungo i paralleli, θ . Le risultanti degli sforzi definite lungo i meridiani e i paralleli agiscono sull'elemento, intervenendo nel suo equilibrio in ragione del peso proprio. Come riportato dalla Ottoni³⁷⁰, dall'analisi risulta che le tensioni lungo i meridiani sono di compressione e crescono dal colmo verso l'imposta, mentre quelli lungo i paralleli sono di compressione fino a $\phi=51.82^\circ$, per poi trasformarsi in sforzi di trazione, che aumentano rapidamente di valore verso l'imposta, richiedendo tipicamente interventi di rinforzo strutturale (come le cerchiature di acciaio: con questi studi è possibile infatti dimensionare le catene per il consolidamento della muratura).

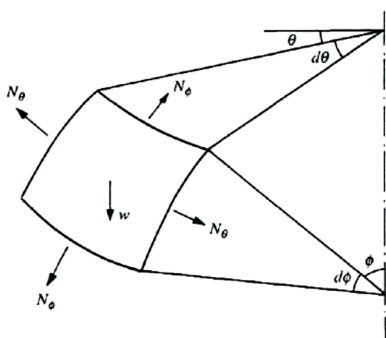


Figura 120: Equilibrio di un elemento infinitesimo di cupola (da Ottoni, 2008).

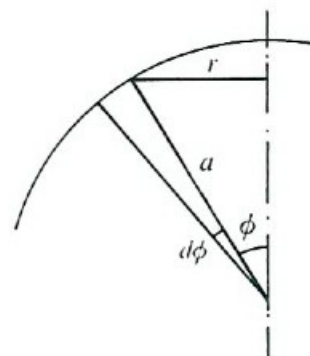


Figura 121: Identificazione degli elementi infinitesimi di cupola lungo un meridiano (da Ottoni, 2008).

In generale, l'approccio membranale non è applicabile alle strutture in muratura in virtù dell'incompatibilità delle tensioni di trazione in prossimità dell'imposta con la scarsa resistenza del materiale (la teoria membranale difatti presuppone l'applicazione a materiali con comportamento elastico lineare, con resistenze apprezzabili sia a trazione che a compressione); detto approccio però, se affiancato alla teoria di Heyman, è utile per lo studio delle condizioni di rottura; in base alle indicazioni appena definite è sufficiente valutare se la curva delle pressioni è tangente all'estradosso o l'intradosso della cupola stessa, condizioni limite di esercizio.

L'approccio elastico appena introdotto, pur se elementare e legato ad ingenti semplificazioni, coincide sostanzialmente con ciò che si effettua tipicamente nelle schematizzazioni e modellizzazioni di una struttura in muratura per l'elaborazione di modelli di calcolo agli elementi finiti.

8.9.2. Gli studi rinascimentali sul funzionamento delle cupole

Bisogna considerare che la muratura, essendo eterogenea e dotata di resistenza a trazione estremamente ridotta, è un materiale mal interpretato dalle classiche teorie risolutive della Scienza delle Costruzioni. Ne segue che, sotto la lente del calcolo strutturale, il materiale va studiato in relazione alle conoscenze meccaniche degli ingegneri che hanno realizzato le singole opere, interrelando l'osservazione del passato agli attuali modelli semiprobabilistici, in cui l'organismo strutturale è valutato fissando le azioni applicate ad esso e demandando il rispetto di determinate prestazioni, sulla base di normative tecniche che definiscono i limiti – sulla base di teorie scientifiche consolidate – entro cui poter operare.

Come è evidente nei primi capitoli della presente trattazione, le prime considerazioni sul progetto di edifici – così come di sistemi urbani – sono basate su concezioni geometriche ideali; solo con le prime sperimentazioni empiriche e l'osservazione di crolli e ricostruzioni la geometria diventa *strumento*, e non *fine*, di indagini che anticipano il calcolo differenziale. In maniera piuttosto interessante, va riconosciuto che, essendo il problema delle strutture antiche essenzialmente di equilibrio statico, le strutture in muratura possono essere ancora risolte correttamente con il metodo proporzionale³⁷¹.

Una delle prime e più importanti regole empiriche per la definizione dello spessore dei piedritti degli archi deriva dalle intuizioni di Vitruvio sull'azione spingente delle volte sull'imposta, tradotte nel Medioevo in un procedimento grafico di dimensionamento utilizzato fino al 1760³⁷²: dividendo l'arco in tre parti uguali, si individuano quattro punti da cui, puntando il compasso in corrispondenza di uno dei due punti all'imposta e tracciando il cerchio di raggio pari al segmento congiungente il punto suddetto con quello ad esso adiacente nello sviluppo dell'arco, il punto in cui la circonferenza interseca il prolungamento del raggio identifica lo spessore del piedritto.

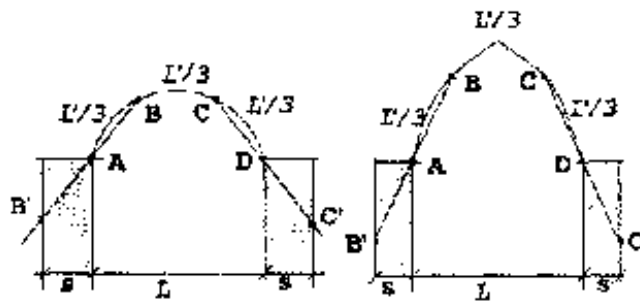


Figura 122: La regola geometrica medioevale per determinare lo spessore dei piedritti (da Ottoni, 2008).

Rondelet criticherà i risultati di questa regola, citata invece dal Bélidor; in ogni caso, il criterio è il più applicato dagli architetti, vedendosi riproposto in numerosi trattati fino all'avvento delle *Accademie* e alla nascita dell'ingegneria *contemporanea*.

Fino allo sviluppo delle teorie galileiane, era concezione comune che strutture geometricamente simili avessero lo stesso comportamento strutturale, ignorando l'effetto almeno quadratico della variazione dimensionale degli elementi. In realtà già Vitruvio era giunto ad un risultato simile, affermando che:

Non tutte le opere si possono mettere in pratica basandosi sui medesimi principi poiché alcune opere, una volta rapportate in scala maggiore partendo da un modello di piccole dimensioni, funzionano in modo efficace; altre non possono essere rappresentate con dei modelli ma vengono costruite indipendentemente da questi; altre ancora, infine, sembrano funzionare nei modelli, ma quando si inizia ad ingrandirne le dimensioni diventano inapplicabili³⁷³

L'idea preponderante di metà Cinquecento è però quella del Palladio, rigidamente ancorata alla teoria delle proporzioni tra elementi, del *modulo* adimensionale e che governa l'*ordine* nell'opera architettonica; solo con la nascita della Scienza delle Costruzioni a detta teoria succederanno criteri di dimensionamento legati alla resistenza del materiale – come anticipato da Galileo – con prime valutazioni di *resistenze limite*. Come anticipato, le strutture voltate in muratura non recepiscono efficacemente la modellizzazione strutturale contemporanea, fondata sul calcolo di resistenze e rigidzze, carichi limite e spostamenti, ma risultano ancora legate a criteri geometrici di equilibrio.

In questo discorso rientrano, evidentemente, Francesco di Giorgio Martini e Leonardo: il Martini affianca alle regole di proporzionamento *ideale* delle prime valutazioni sui baricentri; Leonardo, avendo contribuito al dibattito sulla cupola del Duomo di Milano, afferma:

*L'architetto doveva sapere bene quali fossero le cagioni che tengano lo edificio insieme, e che lo fanno permanente, e che natura sia quella del peso, e quale sia il desiderio della forza, e in che modo si debbono contessere e collegare insieme, e congiunte che effetto partorischino.*³⁷⁴

Come anticipato, Leonardo si interroga sulla stabilità degli archi ed è tra i primi a studiare le caratteristiche dei materiali, coadiuvato da Pacioli nello studio degli antichi; per lo scienziato-artista, una cupola è sostanzialmente costituita da archi che si intersecano tra loro.

Nel *Codice di Madrid*, su ispirazione delle indicazioni di Nemorario, Leonardo tratta delle fratture nei muri d'appoggio degli archi, partendo da considerazioni empiriche e tentando di quantificare le forze che le provocano, studia i meccanismi di rottura degli archi a tutto

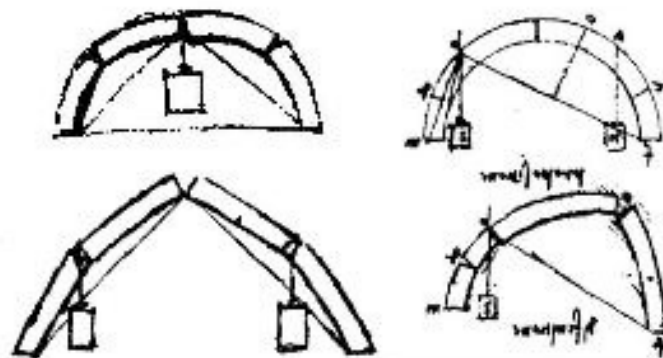


Figura 123: Alcuni meccanismi di rottura degli archi rappresentati da Leonardo nel Codice di Madrid (da Ottoni, 2008).

sesto, sembra anticipare i concetti di forza e resistenza (da considerarsi però in relazione a uno squilibrio delle forze, e non legata a considerazioni legate alle proprietà meccaniche del materiale); in questi studi figura una perfetta corrispondenza con i metodi contemporanei, utilizzati fino a inizi '900 e ripresi di recente per le analisi statiche grafiche.

A ciò si aggiunge anche una regola empirica di dimensionamento degli archi, secondo cui la stabilità di un arco è garantita finché la congiungente tra il punto d'imposta e la chiave dell'estradosso dell'arco non risulti tangente all'arco di intradosso³⁷⁵.

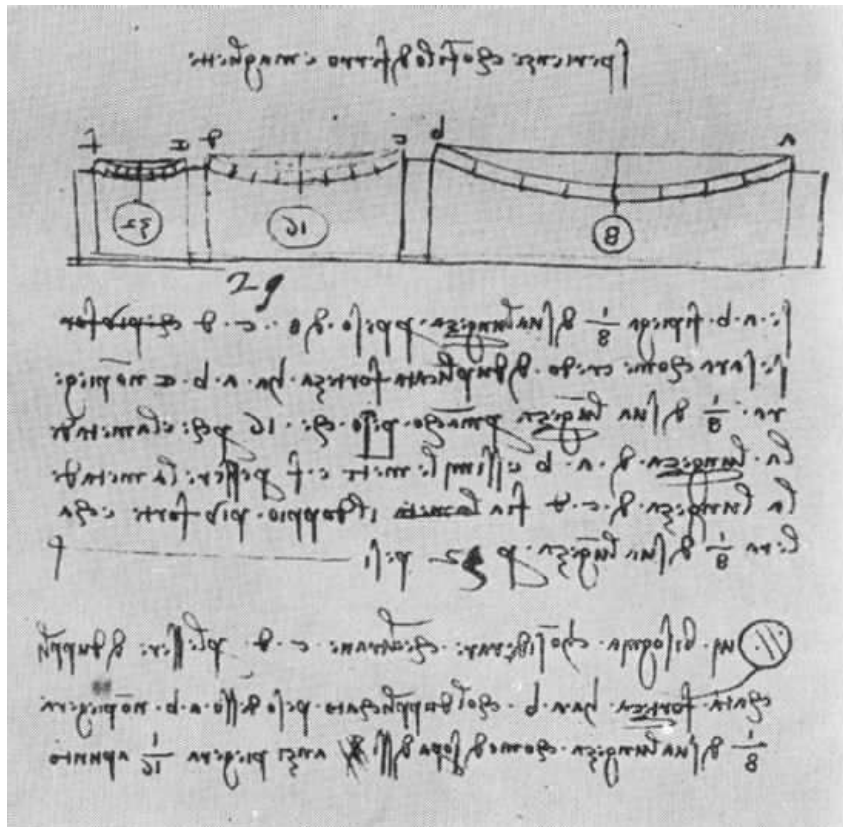


Figura 124: Disegno di Leonardo sull'effetto in termini di deformazione dell'aumento di dimensioni degli elementi strutturali.

Alberti, considerando l'arco come un elemento monolitico, non troppo differente dall'architrave, comprende il meccanismo di rottura dell'elemento, dovuto alla formazione di quattro cerniere nel suo sviluppo; in base allo studio di questo meccanismo si comprende la natura geometrica del problema: per determinare lo spessore dei conci e dei piedritti necessario ad impedire il ribaltamento della volta, bisogna verificare che gli sforzi normali tra blocchi adiacenti – necessariamente di compressione in assenza di leganti – siano applicati all'interno del nocciolo d'inerzia delle singole sezioni³⁷⁶. Ritenendo l'arco monolitico più resistente di un arco composto da conci, Alberti scrive:

*E consideriamo bene il fenomeno. Il concio posto in cima, unico nel punto di mezzo dell'arco, non si vede come posa trovare la forza di spinger fuori i conci che lo fiancheggiano; così come questi, per quanta pressione facciano, non potranno mai scalzare quello dal posto che occupa; quelli poi che fanno seguito ad essi occupando i fianchi dell'arco, verranno agevolmente tratti nell'ambito della loro funzione dall'equilibrarsi dei pesi; infine, i conci posti alle due estremità inferiori, non si comprende come possano spostarsi una volta che gli altri sopra di essi, restino fermi al loro posto. Pertanto gli archi interi non abbisognano di corda (catena, n.d.a.) poiché essi sono in grado di mantenersi intatti da sé.*³⁷⁷

Le regole pratiche dedotte dall'Alberti sul funzionamento degli archi individuano in maniera chiara il ruolo assunto da ogni singolo concio; sulla base di queste, nel trattato sono definite indicazioni sulle modalità di disarmo delle centine, fondamentali per la stabilità dell'arco.

È proprio Alberti, inoltre, a raffrontare i risultati della teoria degli archi alle cupole, immaginandole come prodotto della rotazione di un arco attorno ad un asse verticale e anticipando i risultati della teoria membranale, affermando che il singolo concio appartiene *a molti archi ed anelli*. Difatti, la principale differenza nel funzionamento statico di cupole e archi è nelle componenti orizzontali di tensione, che tendono a far spanciare le strutture voltate³⁷⁸.

Come affermato dalla Ottoni³⁷⁹, a partire dal XVII secolo, lo studio dell'equilibrio di archi, volte e cupole segue due direttrici di ricerca:

- Quella inaugurata da Leonardo, sulla stabilità e le verifiche di sicurezza;
- Quella geometrica, fondata sulla natura del materiale e sulle sue proprietà, ricercando la *forma migliore* per garantire la stabilità della struttura.

Anche in questo caso, gli studi vinciani rappresentano un punto cardine per l'evoluzione della professione e degli studi in materia.

8.9.3. Heyman e la teoria dell'equilibrio degli archi in muratura

La *teoria elastica* codificata a fine Ottocento per calcolare gli sforzi interni agli archi, basata sull'interrelazione tra equazioni di equilibrio, le leggi del legame costitutivo elastico lineare

e alcune ipotesi sulla compatibilità delle deformazioni, pur essendo in grado di definire una soluzione unica, confrontabile con valori ammissibili di resistenza del materiale, non consente di valutare appieno l'equilibrio statico delle strutture voltate in muratura, essendo troppo ancorata al rispetto di specifiche condizioni al contorno. In questo contesto interviene Heyman, con la sua *teoria dell'equilibrio*, in cui si esamina il collasso delle strutture ad arco nell'ipotesi di materiale infinitamente resistente a compressione³⁸⁰, osservando che la struttura perde la propria funzione statica quando in essa si formano delle cerniere in grado di attivare un determinato cinematicismo.

In ciò sono insite le già citate considerazioni di Huerta sull'*elasticità* delle murature: basti pensare al disarmo di un arco, evento in corrispondenza del quale l'elemento inizia ad esercitare la propria azione spingente; i piedritti su cui esso poggia iniziano a deformarsi, portando ad un impercettibile aumento della luce e alla nascita di tre fessure: una all'intradosso della chiave di volta, le altre in corrispondenza dei piedritti, all'estradosso. In questa condizione, essendosi generate tre cerniere, dalle infinite linee delle pressioni possibili in un arco ideale – sistema iperstatico – solo una risulta compatibile: quella passante per le tre cerniere. Analogamente, quale che sia la condizione di carico, si può costruire una corrispondenza tra quadro fessurativo e linea delle pressioni, consentendo di risolvere il problema in diverse condizioni di esercizio.

Poiché, come osservato da Heyman, quando la curva delle pressioni tocca l'intradosso o l'estradosso dell'arco si crea una cerniera, atteso che tre cerniere rendono il sistema isostatico, il collasso si verifica non appena si riscontra la presenza di una quarta labilizzazione.

È proprio la formazione di cerniere (corrispondenti alla fessurazione del materiale) che consente l'adattamento delle strutture in muratura alle diverse condizioni cui esse sono soggette, permettendo inoltre di determinare l'andamento della linea delle pressioni, certamente all'interno dello spessore dell'arco se esso non è collassato.

All'interno della sua trattazione del 1982, Heyman afferma che se è possibile trovare un sistema interno di forze in equilibrio con i carichi applicati a un arco, la struttura non collasserà. Con questa affermazione, i teoremi fondamentali della Scienza delle Costruzioni possono essere tradotti anche nelle strutture in muratura, essendo possibile calcolarne la sicurezza, che torna a legarsi a considerazioni di natura geometrica.

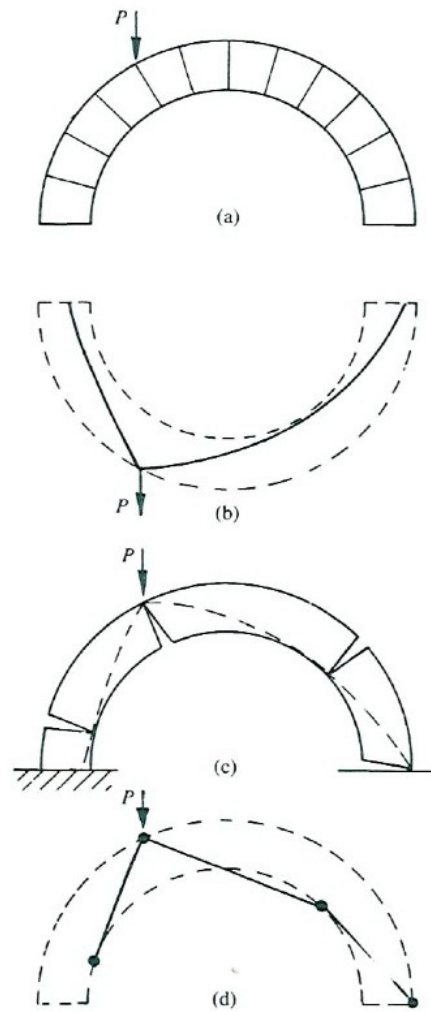


Figura 125: Collasso di un arco soggetto a carico decentrato (da Heyman, 1982)

Difatti, la necessità di contenere la linea delle pressioni nello spessore dell'arco – idealmente, nel *terzo medio*, ovvero nella regione costituita dalla composizione dei noccioli d'inerzia delle sezioni dell'arco – è legata a considerazioni puramente geometriche: definito *arco limite* l'arco di spessore tale da poter contenere una sola linea delle pressioni, per ogni tipologia di arco è possibile definire uno *spessore limite*, pari allo spessore del suo arco limite³⁸¹, al di sotto del quale l'elemento strutturale non può che collassare; ne segue che più un arco è spesso rispetto al suo spessore limite, più esso è sicuro, essendo in grado di accogliere un maggior numero di linee delle pressioni al suo interno. Da queste considerazioni, Heyman determina un approccio per *stabilità* nel dimensionamento di archi, in cui si demanda che lo spessore di un arco sia pari ad almeno due volte il suo spessore limite per essere stabile³⁸².

Immaginando, come detto, di scomporre la cupola in una serie di archi, e applicando la teoria dell'equilibrio di Heyman, è quindi possibile valutare anche l'equilibrio delle cupole: se è possibile disegnare una linea delle pressioni in uno degli archi di cui è composta la cupola, allora essa ha almeno un possibile stato di equilibrio, implicandone la stabilità. Logicamente, l'identificazione della condizione di equilibrio deriva da un attento esame del dissesto, delle fessurazioni radiali su tamburo e cupola.

8.9.4. Applicazione alla cupola di Santa Caterina a Formiello

Noti i carichi dovuti al peso proprio della struttura (v. paragrafo 8.6.4), è possibile applicare la teoria di Heyman al caso di Santa Caterina a Formiello, avente cupola a sesto ogivale. Da un'analisi del quadro fessurativo della cupola, parte degli elaborati di rilievo custoditi in archivio, risultano delle lesioni lungo la direzione dei meridiani dall'imposta e per circa 7 m di altezza (ovvero per la quasi totalità dello sviluppo verticale della cupola) in corrispondenza del passaggio tra fasce *piene* e aree finestrate del tamburo e nella metà della cupola in affaccio sulla facciata principale; l'altra metà, pressoché intatta, presenta una sola lesione verticale significativa al di sotto della finestra del tamburo diretta verso Porta Capuana. Non rilevando simmetria nell'apertura a *spicchi* della cupola, si ritiene presumibile – alla luce delle lesioni da schiacciamento di uno dei quattro pilastri rinvenute negli anni Sessanta – che, complice il sesto rialzato della stessa, la struttura non presenti un pregiudizio in termini di stabilità anche in assenza delle cerchiature effettuate sul tamburo e sulla calotta stessa, ritenendo più probabile una problematica fondazionale, relativa a cedimenti differenziali tra i diversi pilastri della crociera che hanno portato ad un percorso dei carichi dissimmetrico, caricando maggiormente il pilastro lesionato e provocando il quadro fessurativo appena descritto. Per validare detta ipotesi, nell'applicazione si è immaginato di trascurare gli effetti degli interventi effettuati sulla cupola, verificando la stessa in base a considerazioni puramente geometriche, scomponendola in un numero di paralleli tale da rendere la dimensione dei singoli elementi paragonabile a quella di un moderno concio di tufo (24 cm). Ne risulta la suddivisione riportata alla figura seguente – in cui la cupola è divisa in 42 parti uguali – dalla quale si ricava la schematizzazione di riferimento per l'analisi statica grafica³⁸³, in cui alla lanterna è sostituito un carico

uniformemente distribuito di risultante 3.76 kN^{384} , un ottavo del peso proprio della lanterna valutato al paragrafo 8.6.4.

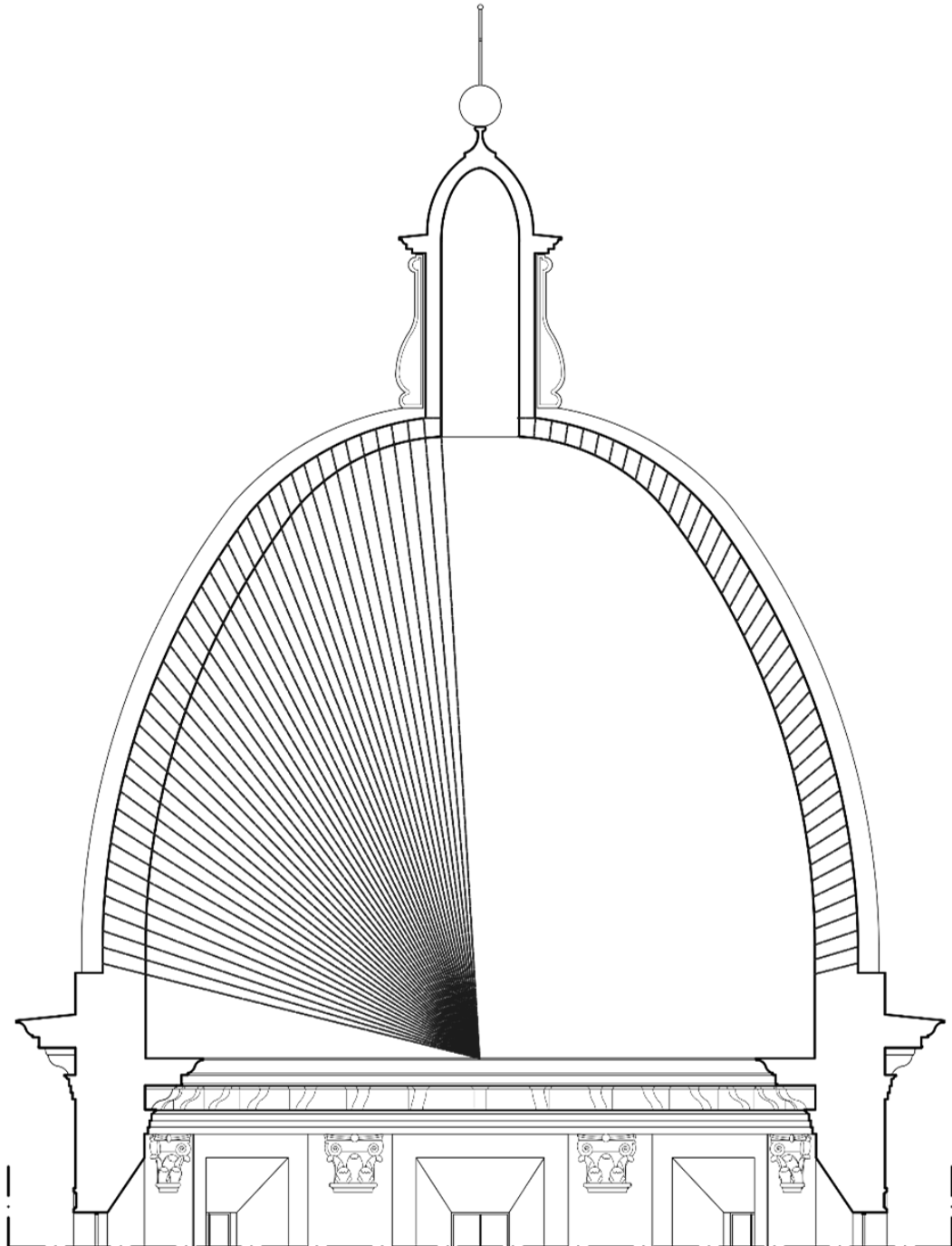


Figura 126: Discretizzazione degli elementi della cupola per l'analisi statica grafica.

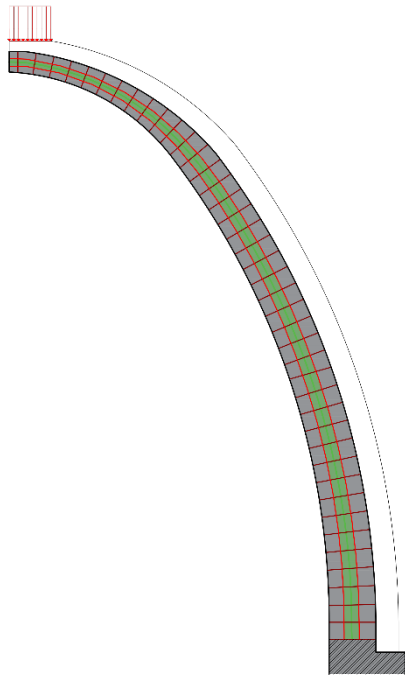


Figura 127: Individuazione dell'arco di riferimento per l'applicazione di statica grafica. Sull'arco è evidenziato in verde il cosiddetto "terzo medio".

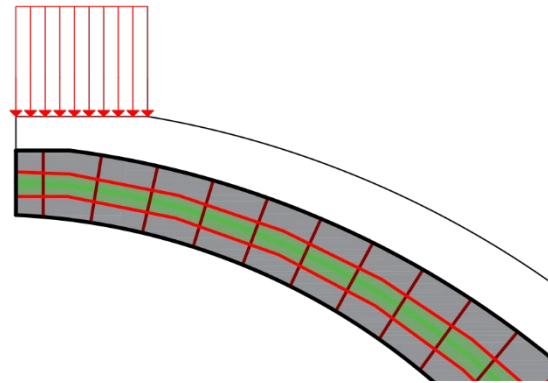


Figura 128: Arco di riferimento - ingrandimento in prossimità della lanterna.

Come evidente nell'ingrandimento dell'arco in prossimità della lanterna, il carico distribuito appena definito insiste sui primi tre concio (di cui i primi due possono essere assimilati ad un unico concio di chiave, di dimensione maggiore. Ne segue che l'equilibrio di questi va valutato in ragione delle *risultanti parziali* applicate, calcolate di seguito.

Carico Lanterna	Risultante [kN]	Lunghezza [m]	Rapporto Lunghezze	q [kN/m]
Totale	3.76	0.64	1	5.88
Concio 1	2.29	0.39	0.61	5.88
Concio 2	1.47	0.25	0.39	5.88

Tabella 4-44: Calcolo delle risultanti verticali applicate ai concio in chiave.

A queste, si aggiunge come azione verticale il peso proprio di ciascun concio, i cui calcoli sono presentati in appendice. È interessante notare l'andamento crescente ma irregolare dello spessore dei concio appena determinati progredendo dalla chiave verso l'imposta. In particolare, come evidenziato nel grafico di seguito, risulta che i concio decrescono di spessore piuttosto lentamente fino al concio 13 – corrispondente ad un'altezza rispetto

all'imposta di circa 7.30 m e a una latitudine di 68° – in corrispondenza del quale lo spessore della volta decresce molto rapidamente.

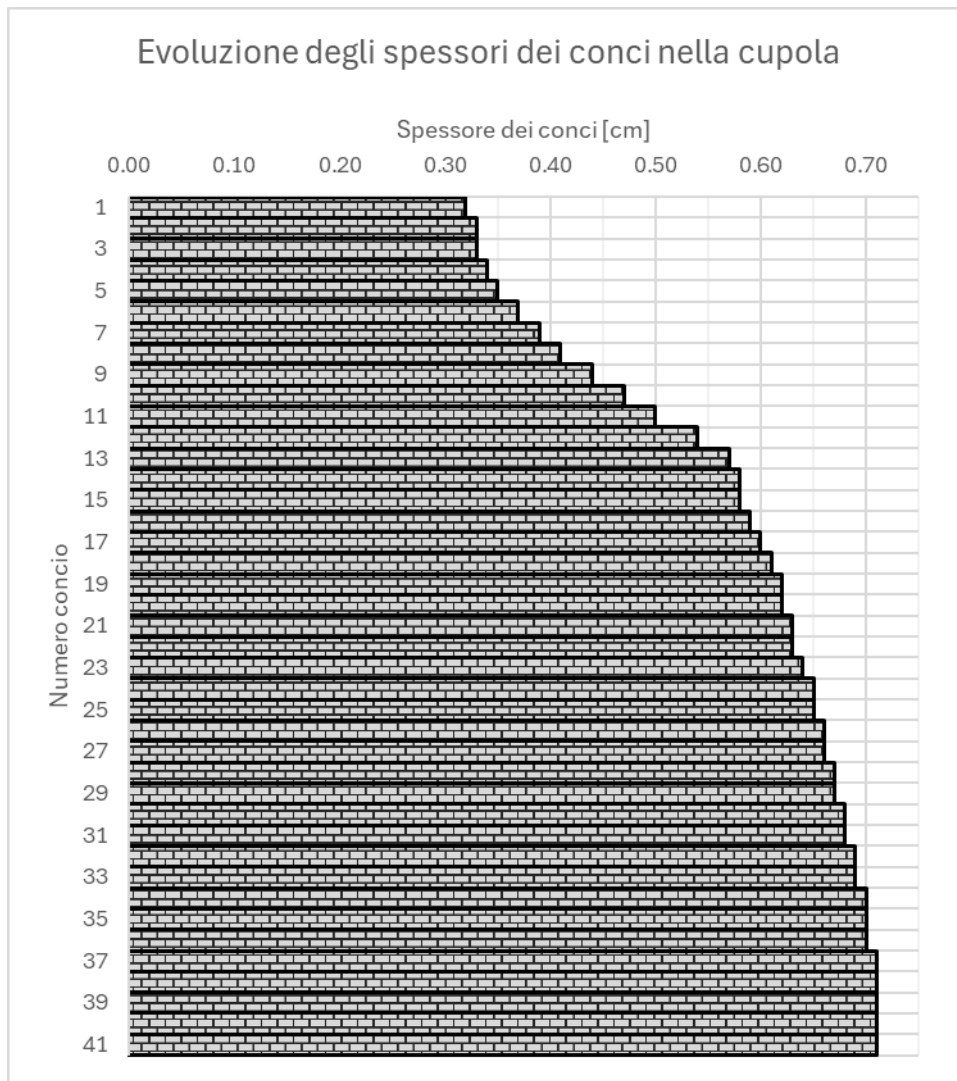


Figura 129: Andamento dello spessore della cupola con l'altezza.

È quindi possibile procedere nell'applicazione, i cui calcoli per i singoli conci sono riportati in appendice; risulta in definitiva che la cupola è stabile, ma molto prossima alle sue condizioni di collasso, particolarmente nel concio 9 e dal 29 in poi. Risulta però che, complice il sesto rialzato e lo spessore variabile, la cupola entra in regime di trazione in corrispondenza del concio 19, ovvero a soli 5.90 m di altezza dall'imposta. Come anticipato nel paragrafo 8.9.1, l'altezza maggiore delle lesioni è imputabile all'instaurarsi di un regime flessionale all'interno della calotta, oltre al regime tensionale dei conci in prossimità della chiave, che risentono del peso della lanterna.

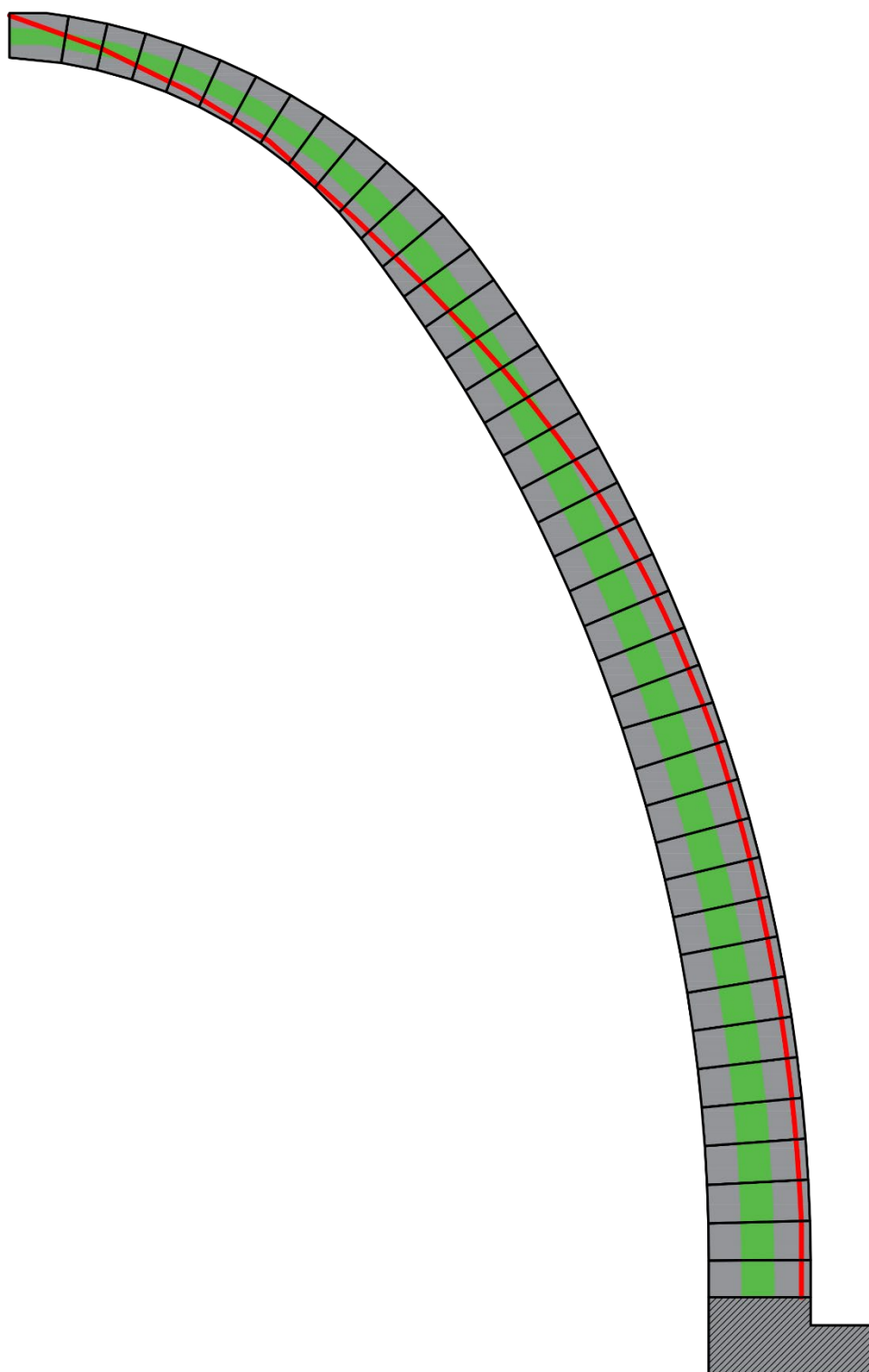


Figura 130: Poligono funicolare delle pressioni agenti nella cupola di Santa Caterina a Formiello.

È significativo commentare l'andamento delle pressioni e delle tensioni radiali nei conci, dal quale si evince la maestria tecnica nel progetto della cupola, la cui geometria – complice il sesto ogivale e lo spessore variabile – limita fortemente l'insorgere di trazioni radiali nella direzione dei paralleli.

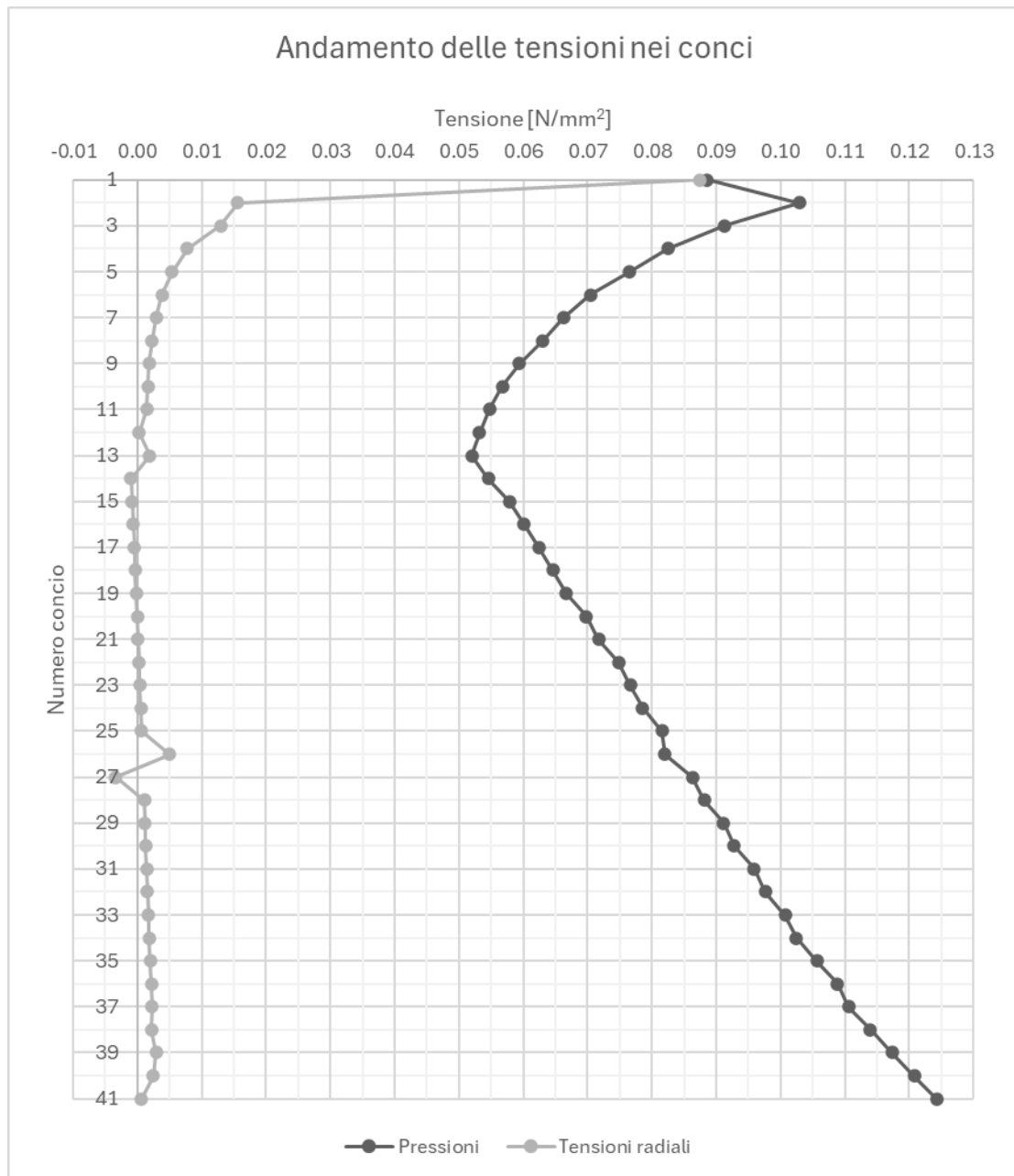


Figura 131: Andamento delle tensioni radiali e delle pressioni nei conci della cupola.

Come evidente dai calcoli presentati in appendice, risulta infatti che le tensioni radiali sono in compressione ad eccezione che nei conci 14-19 – con tensioni entro i 0.99 kN/mm^2 – e nel concio 27, in cui le tensioni di trazione non superano i 3.38 kN/mm^2 . Ciò è

evidentemente imputabile alla variazione di spessore della calotta lungo l'altezza, che implica una maggiore inerzia e un ulteriore effetto stabilizzante dovuto all'incremento di peso proprio dei singoli conci; interrelando queste proprietà con la geometria della cupola – il cui sesto ogivale, pur se evidentemente soggetto ad una deformazione di lungo periodo dovuta al peso della lanterna e un probabile incremento dello *spanciamento* a causa dell'effetto cerchiante delle barre metalliche inserite all'imposta, offre caratteristiche di resistenza per forma significativamente maggiori di una cupola di dimensioni paragonabili ma a tutto sesto – si riscontra un effetto combinato di soluzioni atte a ridurre gli effetti dei regimi tensionali indesiderati in una struttura in muratura che dimostrano come l'*ingegno* dei professionisti rinascimentali attivi a Napoli nel Cinquecento, intriso della *scienza* vinciana e dell'intersezione tra conoscenze consolidate nella trattatistica e osservazione delle evoluzioni delle fabbriche del tempo, rappresenti ancora oggi un esempio di capacità tecniche e un'ispirazione per la pratica professionale, attesa anche la recente rivalutazione dei metodi di dimensionamento utilizzati dagli ingegneri-architetti dell'epoca per le strutture in muratura.

³¹⁸ Ci si riferisce, in particolare, ad un seminario sulla meccanica delle strutture in muratura tenuto il 24 febbraio 2024 presso il Dipartimento di Strutture per l'Ingegneria e l'Architettura dell'Università degli Studi di Napoli "Federico II". Tra le numerose pubblicazioni di Huerta sul tema, v. S. Huerta, *Viollet-le-Duc and the élasticité of Gothic structures*, in J. Mascarenhas-Mateus, A. Paula Pires, *History of Construction Cultures*, I, Londra, CRC Press, 2021, pp. 433-439.

³¹⁹ Notizie riportate nell'allegato alla scheda di catalogazione A-CEI della Chiesa, compilata nel 2013. La scheda di catalogazione è parte costitutiva del censimento delle Chiese attuato da parte della Conferenza Episcopale Italiana.

³²⁰ Archivio della Soprintendenza Archeologia, Belle Arti e Paesaggio per il Comune di Napoli (nel seguito, SABAPNa), *Chiesa di Santa Caterina a Formiello*, stralcio di contabilità del 15 luglio 1942.

³²¹ SABAPNa, *Chiesa di Santa Caterina a Formiello*, lavori di ricognizione danni di guerra della Chiesa, del 13 gennaio 1943.

³²² SABAPNa, *Chiesa di Santa Caterina a Formiello*, verbale di sopralluogo dei vigili del fuoco del 14 maggio 1969.

³²³ SABAPNa, *Chiesa di Santa Caterina a Formiello*, rilievo e progetto dell'Arch. Marco Petreschi, dicembre 1976.

³²⁴ Decreto Sindacale del Comune di Napoli, prot. N. 19033 del 31 marzo 1981.

³²⁵ *Verbale di sopralluogo* redatto dalla Soprintendenza per i beni artistici e storici della Campania, Napoli, 16 dicembre 1981.

³²⁶ SABAPNa, *Chiesa di Santa Caterina a Formiello*, Verbale di constatazione del 10 dicembre 1980 dell'Arch. Ugo Carughi; *Ibidem*, verbali sugli interventi effettuati tra il 1981 e il 1986; *Ibidem*, progetto di Restauro e consolidamento della Chiesa ex L. 219/81.

³²⁷ SABAPNa, *Chiesa di Santa Caterina a Formiello*, elaborati di progetto dell'Arch. Adele Pezzullo. Febbraio 1992.

³²⁸ Citazione riportata nell'allegato alla scheda di catalogazione A-CEI della Chiesa.

³²⁹ *Verbale di consegna parziale* della Soprintendenza, del 21 dicembre 1991.

³³⁰ SABAPNa, *Chiesa di Santa Caterina a Formiello*, elaborati di progetto dell'Arch. Gennaro Napolitano, marzo 1997.

³³¹ SABAPNa, *Chiesa di Santa Caterina a Formiello*, progetto dell'Ing. Michele Candela.

³³² SABAPNa, *Chiesa di Santa Caterina a Formiello*, Prove e indagini conoscitive geofisiche e geologiche ad opera della GEOPROJECT S.r.l.

³³³ SABAPNa, *Chiesa di Santa Caterina a Formiello*, Interventi di conservazione, manutenzione, restauro e valorizzazione, ai sensi art. 1 c. 338 L. 208/15, della Chiesa S. Caterina a Formiello sita in Napoli alla Piazza Enrico de Nicola n° 49, sottoposta alle disposizioni di tutela previste dal Decreto Legislativo 22.01.2004 n° 42; Arch. Grazia Pellegrino, Ingg. Alessia Spadaro, Andrea Vincenzo Spadaro.

³³⁴ *Ivi*, relazione tecnica, p. 23.

³³⁵ Allegato alla scheda di catalogazione A-CEI della Chiesa, par. 4.

³³⁶ L'intervento ha previsto: un'indagine georadar; due perforazioni ad andamento verticale fino a 20 m di profondità; nove prove SPT (Standard Penetration Test); due misurazioni con piezometri di Casagrande; otto rilievi di falda (quattro per ciascun sondaggio); nove tomografie geoelettriche; sedici indagini endoscopiche ed un'analisi fotografica dei fenomeni fessurativi nella cripta.

³³⁷ È stato preferito questo sondaggio al sondaggio S2, situato in prossimità di Porta Capuana, in ragione della maggior vicinanza all'impianto ecclesiastico e al suo posizionamento in prossimità del baricentro geometrico della pianta. Inoltre, i risultati del sondaggio S1 restituiscono valori di velocità di propagazione delle onde di taglio significativamente minori rispetto a quelli del sondaggio S2; dunque, è lecito riferirsi al sondaggio suddetto anche per garantire una valutazione a vantaggio di sicurezza delle azioni sismiche applicate.

³³⁸ La tipologia di capriata, riconoscibile nei disegni di rilievo conservati in SABAPNa, prevede il collegamento tra i puntoni superiori e il tirante di base tramite un sistema di maglie triangolarizzate a singola diagonale, speculari rispetto al colmo e convergenti verso il basso.

³³⁹ Questo valore di deformazione rappresenta lo stato di *crisi grave*, non richiesta in normativa ma utile come segnalazione per il progettista.

³⁴⁰ I dati dimensionali sono ricavati dal rilievo di Petreschi.

³⁴¹ NTC 2018, p.47.

³⁴² In questa applicazione è stata utilizzata la versione 1.0.3.

³⁴³ Il foglio di calcolo è disponibile ad accesso libero alla pagina cslp.mit.gov.it/pareri/costruzioni-zona-sismica.

³⁴⁴ In base alle indicazioni delle *Linee Guida* del 2011, è ritenuto ammissibile considerare una *vita nominale ridotta*, anche inferiore a 50 anni, in considerazione del fatto che – anche se la vita nominale di un bene culturale dovrebbe essere molto lunga, così da garantirne la conservazione nel tempo anche in caso di azioni sismiche con periodo di ritorno elevato – la definizione di una vita nominale più lunga comporta verifiche sismiche più gravose e interventi troppo invasivi per l'opera (pur se limitati al miglioramento sismico). Adottando quindi una vita nominale di durata inferiore è possibile certificare la sicurezza di un intervento meno invasivo ma in grado di tutelare la costruzione nella durata citata, consentendo di posticipare eventuali interventi più incisivi ad un periodo in cui, complice la costante evoluzione conoscitiva e tecnologica, sarà auspicabilmente possibile adottare tecniche prestazionalmente compatibili con le esigenze di tutela e comparativamente meno invasive delle odierne soluzioni progettuali.

³⁴⁵ NTC 2018, p. 37.

³⁴⁶ Lo spettro di risposta elastico in termini di accelerazione è un grafico che riporta, in funzione del periodo naturale di vibrazione di una costruzione ipotizzata a comportamento indefinitamente elastico, l'accelerazione massima che subirà quando sarà investita da un evento sismico con una data probabilità di accadimento. Esso dipende essenzialmente dalla pericolosità del sito (calcolata in funzione delle sue coordinate geografiche) e dalla probabilità di accadimento dell'evento sismico in funzione dello stato limite considerato.

³⁴⁷ Lo spettro di risposta di progetto è ottenuto a partire dallo spettro elastico tenendo conto di alcuni parametri specifici del sito o della costruzione, come la tipologia di sottosuolo, le condizioni topografiche, la vita nominale e la classe d'uso dell'opera e il valore dello smorzamento della costruzione (convenzionalmente assunto pari al 5% per le costruzioni in muratura).

³⁴⁸ NTC 2018, p.216.

³⁴⁹ Di norma, per la verifica a SLA ci si riferisce ad azioni sismiche con la stessa probabilità di eccedenza dello SLD ma valutate su un periodo di riferimento per i beni artistici pari ad n volte V_R , con il parametro n – cui possono corrispondere anche valori non interi – definito dall'Amministrazione deputata alla tutela, in ragione della natura del bene e del suo stato di conservazione, a seguito di specifiche ispezioni dirette o strumentali. L'obiettivo è quello di assumere un periodo di ritorno – e dunque un'azione sismica di riferimento – maggiore in presenza degli elementi ritenuti più significativi dal punto di vista culturale. Non essendo disponibili dati utili alla valutazione di n , in questa applicazione si è assunto $n=1$.

³⁵⁰ Ovvero apparati decorativi, superfici pittoriche, elementi architettonici di pregio (altari, organi, balaustre, pavimentazioni, ecc.), beni mobili pertinenziali (pale d'altare, fonti battesimali, statue, ecc.)...

³⁵¹ Riprendendo dal D.P.C.M. 9/02/2011: «In genere i danni agli apparati decorativi diventano significativi e non accettabili in presenza di danni gravi agli elementi strutturali, quelli che vengono presi come riferimento per decidere in merito all'agibilità della costruzione. In questi casi, per le verifiche dello SLA possono essere adottati i modelli di verifica dello SLD, precisando specifici valori limite per fessurazioni e deformazioni. Esistono tuttavia situazioni nelle quali il danno agli apparati decorativi può verificarsi anche in assenza di un danno strutturale (ad esempio, stucchi di notevole spessore e insufficientemente collegati alla struttura) o viceversa non è sensibile a questo (apparati non completamente vincolati e quindi in grado di

assecondare lesioni e deformazioni strutturali) o ancora, beni artistici dotati di un comportamento strutturale autonomo (pinnacoli o altri elementi che possano essere considerati come appendici strutturali). In questi casi dovranno essere sviluppati criteri e strumenti di valutazione specifici per lo SLA.»

³⁵² La specifica versione utilizzata è la 14.2.0.4.

³⁵³ Richiamando il paragrafo 4.10.4, si ricorda infatti che la cupola estradossata non è parte del modello, essendo stata oggetto di verifica tramite un'applicazione di statica grafica.

³⁵⁴ v. Appendice, Modulo A, A11.

³⁵⁵ La distinzione “orizzontale”-“verticale” è riferita all’orientamento dei diagrammi sul foglio, e non alle direzioni di riferimento per l’applicazione delle azioni sismiche agenti sul modello, evidentemente a giacitura orizzontale nelle tre dimensioni.

³⁵⁶ Cfr. AA. VV., *Santa Caterina a Formello... cit., passim*; v. anche M. Maurea, *Il caso del complesso di Santa Caterina a Formiello*, in F. Iuliano, M. Maurea, *Progettare nella città antica*, Napoli, fedOA press, 2023, pp. 93 sgg, con una riproduzione grafica delle fasi costruttive dell’insula monumentale alle pp. 96-97.

³⁵⁷ M. Maurea, *cit.*

³⁵⁸ La distinzione “orizzontale”-“verticale” è riferita all’orientamento dei diagrammi sul foglio, e non alle direzioni di riferimento per l’applicazione delle azioni sismiche agenti sul modello, evidentemente a giacitura orizzontale nelle tre dimensioni.

³⁵⁹ Ai sensi delle Norme Tecniche per le Costruzioni, ogni nuova realizzazione deve garantire indici di rischio almeno unitari, ovvero in cui l’edificio è in grado di resistere in maniera almeno unitaria alle azioni di progetto. Per ciò che concerne l’esistente, e in particolare per gli edifici storici, questo valore di soglia è evidentemente raggiungibile solo a seguito di interventi estremamente invasivi e onerosi; per questo motivo, oltre all’*adeguamento sismico* (che prevede un adeguamento alle norme vigenti, ammettendo una soglia minima di 0.80 per costruzioni ad uso scolastico o di importanza strategica) è stata prevista la possibilità di attuare interventi di *miglioramento sismico* – che, nel caso dei beni vincolati, rappresentano l’unica modalità di intervento globale attuabile sulla struttura – in cui i livelli di sicurezza sono aumentati in misura proporzionale alla classe d’uso, richiedendo un fattore di rischio sismico almeno pari a 0.6.

³⁶⁰ La presente sezione, relativa ai metodi di modellazione e dimensionamento delle cerchiature metalliche previste, è riportata dal sesto numero dei *Quaderni di progettazione strutturale* della Fondazione Promozione Acciaio, parte 2.

³⁶¹ Ai sensi delle Norme Tecniche per le Costruzioni, ogni nuova realizzazione deve garantire indici di rischio almeno unitari, ovvero in cui l’edificio è in grado di resistere in maniera almeno unitaria alle azioni di progetto. Per ciò che concerne l’esistente, e in particolare per gli edifici storici, questo valore di soglia è evidentemente raggiungibile solo a seguito di interventi estremamente invasivi e onerosi; per questo motivo, oltre all’*adeguamento sismico* (che prevede un adeguamento alle norme vigenti, ammettendo una soglia minima di 0.80 per costruzioni ad uso scolastico o di importanza strategica) è stata prevista la possibilità di attuare interventi di *miglioramento sismico* – che, nel caso dei beni vincolati, rappresentano l’unica modalità

di intervento globale attuabile sulla struttura – in cui i livelli di sicurezza sono aumentati in misura proporzionale alla classe d'uso, richiedendo un fattore di rischio sismico almeno pari a 0.6.

³⁶² F. Ottoni, *La lunga vicenda delle fabbriche cupolate. Note storiche sulla stabilità, tra dibattito e innovazione*, Parma, Tesi di dottorato in Forme e Strutture dell'Architettura (XXI Ciclo), 2008, p. 7.

³⁶³ *Ivi*, pp. 7 sgg.

³⁶⁴ *Ibidem*.

³⁶⁵ *Ibidem*.

³⁶⁶ *Ivi*, p. 157.

³⁶⁷ *Ivi*, pp. 7 sgg.

³⁶⁸ *Ivi*, p. 406 sgg.

³⁶⁹ *Ibidem*.

³⁷⁰ *Ibidem*.

³⁷¹ A meno degli effetti delle azioni sismiche, che richiedono valutazioni significativamente più complesse.

³⁷² Ottoni, *cit.*, p. 56

³⁷³ *Ivi*, pp. 57-58.

³⁷⁴ *Ivi*, p. 60.

³⁷⁵ *Ivi*, pp. 68-69.

³⁷⁶ *Ivi*, pp. 60 sgg.

³⁷⁷ *Ibidem*.

³⁷⁸ *Ivi*, p. 74.

³⁷⁹ *Ivi*, pp. 71-72.

³⁸⁰ L'ipotesi è verosimile per le classiche strutture in muratura, in cui i carichi applicati generano tensioni tipicamente più ridotte della tensione di rottura del materiale.

³⁸¹ Ad esempio, lo spessore limite di un arco a tutto sesto è pari a circa 1/18 della sua luce.

³⁸² A questo criterio si può associare un approccio per resistenza, in cui lo spessore dell'arco viene aumentato fino al raggiungimento di un valore ammissibile di sforzi interni in ciascuna sezione.

³⁸³ Le linee individuate intersecano la linea media della cupola in corrispondenza del baricentro geometrico della sezione di ciascun concio.

³⁸⁴ Si è considerato un arco di spessore pari alla minima distanza tra due lesioni consecutive, di circa 70 cm, da cui risulta che, essendo il carico circolare applicato su una circonferenza media di raggio 90 cm, la risultante calcolata al paragrafo 4.10.4 deve essere ripartita in 8 differenti porzioni.

Conclusioni

L'esplorazione dell'evoluzione della figura dell'ingegnere-architetto nel Mezzogiorno italiano attraverso i secoli ci ha accompagnati in un percorso intriso di sfide, cambiamenti e continuità, seguendo il filo rosso delle idee vinciane. Nell'analizzare questo lungo arco temporale, emergono connessioni significative tra le metodologie di indagine scientifica proposte da Leonardo da Vinci e la formazione tecnica, le pratiche professionali e gli sviluppi architettonici nel Mezzogiorno.

Il Rinascimento rappresenta un periodo chiave in cui la figura dell'ingegnere-architetto inizia a definirsi. Leonardo da Vinci incarna la sintesi geniale tra arte e scienza, sottolineando l'importanza di un approccio metodologico basato sulla stretta interrelazione tra sperimentalismo e studio delle fonti teoriche, sull'osservazione attenta della natura e sull'applicazione rigorosa dei principi matematici nella rappresentazione prospettica, fondamento della sua scienza. I successori di Leonardo, tra cui Martini, Marchesi, Nigrone, Stigliola e Zaccolini, fungono da tramite tra la visione vinciana e la realizzazione di opere che celebrano la simbiosi tra teoria e pratica, tra induzione e deduzione, tra ragione e *sperienza*. Questo connubio tra sperimentalismo e studio delle conoscenze consolidate precedenti, nelle sue prime trattazioni a carattere divulgativo, consente di definire il termine *a quo* l'identità dell'ingegnere-architetto inizia a consolidarsi nella regione, plasmando il volto dell'architettura meridionale e delle relative teorie attraverso i secoli.

Il periodo tardobarocco introduce un importante punto di svolta sul piano scientifico, evidente con la figura di Vanvitelli. Pur nell'elevata raffinatezza delle sue opere, la sua posizione contraria agli sviluppi delle moderne scienze costruttive, che porteranno alla redazione di progetti fondati sul calcolo e sulla realizzazione di modelli analitici, segna un cambiamento di rotta a partire dal quale i risultati delle ricerche scientifiche prendono il sopravvento sull'applicazione empirica delle *regole dell'arte* tramandate o acquisite con l'esperienza diretta sul cantiere. Al progettista della Reggia di Caserta si contrappone, tra gli altri, l'operato di Vincenzo Lamberti, riconoscibile come primo scienziato-artista contemporaneo. Tra i vari, importanti contributi, Lamberti è infatti autore del primo trattato in materia di statica degli edifici finalizzato ad una diffusione generalizzata degli

ultimi avanzamenti nel campo delle strutture, fornendo un manuale di importanza cardinale per gli sviluppi contemporanei dell'architettura e dell'ingegneria napoletana anche grazie all'adozione di un lessico d'uso comune e alla scelta di organizzare il testo partendo da problemi specifici per poi derivare dei principi generali applicabili in diverse condizioni.

Nel contesto immediatamente successivo all'età napoleonica, spicca la figura di Giuliano de Fazio. Il suo impegno nello studio dei porti flegrei dell'antica Roma, basato su una teoria di *archeologia idraulica*, rappresenta un importante passaggio ispirato alla visione tecnico-scientifica di Leonardo, che interseca le conoscenze antiche con le sfide pratiche dell'epoca. Come già accennato, le sperimentazioni di de Fazio purtroppo falliscono in molti casi, evidenziando le limitazioni dell'approccio scientifico nell'architettura dell'epoca; la loro trattazione però evidenzia un momento significativo nell'evoluzione della figura professionale e nella ricerca di un equilibrio tra scienza e arte del costruire.

Il progresso scientifico nel XIX secolo trova espressione nella Scuola di Ponti e Strade, crocevia di competenze in cui si introduce definitivamente l'approccio scientifico-analitico nell'architettura e nell'ingegneria di Napoli e del Mezzogiorno. La formazione qui impartita plasmerà una nuova generazione di ingegneri-architetti con una solida base scientifica e tecnologica. L'eredità di questa formazione si manifesta attraverso ingegneri come Luigi Giura, autore di opere all'avanguardia come il Ponte sul Garigliano, progetto che rappresenta un punto di svolta tecnologico e testimonia l'influenza duratura della Scuola di Ponti e Strade nella trasformazione del panorama ingegneristico.

Nell'ampliare il quadro di riferimento, si è evidenziato come l'attenzione verso le teorie vinciane abbia avuto un suo focolare proprio a Napoli che, senza soluzione di continuità, perdura anche nel XX secolo: si è accennato al lavoro di Albini, professore dell'Università degli Studi di Napoli "Federico II", alle dinamiche della Real Commissione Vinciana, all'impatto dell'opera di Roberto Marcolongo sugli studi attualmente in corso inaugurati dalla florida attività di Carlo Pedretti e che da circa un ventennio vedono una stagione particolarmente proficua. Questo contribuirà a una comprensione più approfondita del contesto storico e scientifico, arricchendo ulteriormente la trama di connessioni che caratterizzano l'evoluzione della figura dell'ingegnere-architetto nel Mezzogiorno italiano.

In chiusura, l'analisi di questo percorso storico riflette la complessità dell'evoluzione della figura dell'ingegnere-architetto nel Mezzogiorno. Il filo rosso vinciano delineato emerge particolarmente vivido nel costante richiamo alla sintesi tra arte e scienza, definendo un percorso che ha attraversato epoche e movimenti. Mentre guardiamo al futuro e ai prossimi passaggi nell'evoluzione della professione, è fondamentale riconoscere questa eredità e bilanciarla con le sfide contemporanee, mantenendo viva la connessione tra la metodologia di indagine scientifica di Leonardo e la pratica dell'ingegneria e dell'architettura moderna.

Il percorso descritto, sintetizzato nei suoi passaggi chiave, sarà ora esteso al napoletano Luigi Cosenza – ingegnere-architetto progettista di varie opere, tra cui il Politecnico di Piazzale Tecchio – individuando nei suoi contributi un legame diretto con l'eredità vinciana. L'analisi delle concezioni di Cosenza, in particolare, rivelerà la persistenza di una sensibilità scientifica e artistica, segnalando una continuità con i principi instaurati da Leonardo da Vinci. Questo approfondimento conclusivo mira a consolidare la comprensione dell'influenza vinciana nel contesto dell'architettura e dell'ingegneria nel Mezzogiorno, offrendo una prospettiva più completa sulle radici di questa figura professionale e definendo una perfetta continuità di quanto trattato, che confluisce nel corso di Ingegneria Edile-Architettura attualmente attivo nella scuola napoletana, erede diretto del percorso descritto.

Progettista formatosi all'interno della Scuola di Ingegneria, Cosenza si dimostra erede di una tradizione culturale che, partendo dalla lezione vinciana e sviluppandosi nei secoli successivi, si traduce in un *razionalismo critico* dell'architettura, scevro da implicazioni *internazionaliste* e strettamente legato ai caratteri del contesto in cui i progetti sono collocati³⁸⁵; in ragione della propria filosofia progettuale di sintesi matura tra ingegneria e architettura, è significativo citare, tra i suoi contributi teorici negli accesi dibattiti di ingegneria e di architettura di metà Novecento, un passaggio dalle sue *Esperienze di architettura*³⁸⁶:

Diversità di idee e di indirizzo solo apparenti, nei loro aspetti di prevalenza della tecnica o dell'arte, ciascuno teso ad integrare, a proporzionare, ad orientare, i propri metodi di insegnamento, traendo suggerimenti dalle esperienze dell'altro, per tendere in ultimo al comune obiettivo di formare dei tecnici che abbiano i requisiti morali e culturali per assolvere al loro delicatissimo compito.

In questa analisi, Cosenza mostra una posizione teorica che anela alla formazione di *scienziati-artisti*, professionisti in grado di comprendere la natura comune delle idee alla base dell'arte e della tecnica del costruire. Nei suoi scritti dedicati alle due figure professionali, Cosenza infatti torna spesso sull'esigenza di formare tecnici completi³⁸⁷:

Lo sviluppo critico degli studi teorici e artistici giova alla formazione culturale degli architetti, l'ampiezza delle conoscenze nel campo delle tecniche più svariate pone nelle mani dell'ingegnere strumenti di inestimabile valore per modellare un'opera nello spazio. Ma una formazione completa non sarà possibile né all'uno, né all'altro, se essi quei mezzi non li possederanno tutti, se non sapranno vederli in una sintesi.³⁸⁸

Tramite il caso studio della Chiesa monumentale di Santa Caterina a Formiello – testimonianza fisica di assoluto rilievo per evidenziare il momento storico *a quo* si ritiene che la scienza vinciana si intreccia con l'evoluzione della figura professionale a Napoli e nel Mezzogiorno – si è tentato di offrire una possibile declinazione pratica di questa profonda tradizione, recuperando ed applicando la metodologia d'indagine vinciana sia nella redazione di un progetto di miglioramento sismico conforme alle normative vigenti che nell'utilizzo di strumenti di studio di antica origine, la cui evoluzione nei secoli ha determinato metodi ancora oggi all'avanguardia per lo studio di edifici in muratura.

In chiusura, si auspica che il percorso delineato in queste pagine possa contribuire alla piena rinascita di una figura professionale consapevole della propria storicità e padrona delle proprie competenze, nuovamente unificate, oltre che ad un rinnovamento della tradizione dell'ingegneria e dell'architettura nel Mezzogiorno, così da consentire la prosecuzione di un percorso radicato e persistente, particolarmente adatto a raccogliere le sfide progettuali della società odierna in cui la necessità di integrazione tra forma e funzione, tra struttura e arte, tra bellezza e esigenze di comfort, connessa a nuove esigenze di sostenibilità ed efficienza, ha determinato una frammentazione delle competenze e una moltiplicazione dei professionisti coinvolti in un progetto³⁸⁹, richiedendo la completa maturazione di una figura di riferimento che sappia coordinare sinergicamente i contributi di ognuno e sintetizzarli in opere complete, in cui nessun aspetto della progettazione è trascurato.

³⁸⁵ Cfr. A. Buccaro, *L'opera di Cosenza nella tradizione dell'architettura degli ingegneri: dal criticismo illuministico al razionalismo 'critico'*, in *Luigi Cosenza oggi. 1905-2005*, a cura di A. Buccaro, G. Mainini, Napoli, Clean Edizioni, 2006, pp. 182-189.

³⁸⁶ L. Cosenza, *Esperienze di architettura*, Napoli, Macchiaroli, 1950, pp. 14-15.

³⁸⁷ È proprio sulla base di queste visioni che nasce l'idea di Cosenza per la nuova sede della Facoltà di Ingegneria, ancora oggi attiva, in cui i diversi elementi architettonici e strutturali, tra loro integrati, rivelano all'osservatore le diverse possibilità della pratica progettuale, acquisendo il carattere di un vero e proprio manuale pratico di ingegneria e architettura oltre che di luogo di formazione tecnica e dimostrando la possibilità di integrare in una stessa opera arte, architettura, ingegneria e scienza, nel rispetto dei criteri funzionali di un'istituzione che, dopo più di settant'anni e a fronte di un cospicuo aumento degli iscritti, si dimostra ancora oggi rispondente ai criteri funzionali e alle esigenze accademiche.

³⁸⁸ *Luigi Cosenza. Scritti e progetti di architettura*, a cura di F.D. Moccia, Napoli, Clean Edizioni, 1994, p.167.

³⁸⁹ Come evidente, ad esempio, negli ultimi sviluppi sulla progettazione degli edifici alti, ormai considerati come edifici a carattere urbanistico, in cui bisogna garantire la presenza di spazi pubblici e aree verdi per garantire un'elevata qualità della vita e l'integrazione di più sistemi in un organismo edilizio particolarmente complesso.

Fonti bibliografiche

- AA. VV. (1996). *Manuale del recupero delle antiche tecniche costruttive napoletane*. Napoli: CUEN.
- Amoretti, C. (1804). *Memorie storiche su la vita, gli studj, e le opere di Lionardo da Vinci*. Milano: G. Motta al Malcantone.
- Baglioni, L., Fasolo, M., & Mancini, M. F. (2019). A Contribution to the History of Representation. The Unpublished Treatise by Matteo Zaccolini. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 809, 1825-1836.
- Bell, J. (1985). The Life and Works of Matteo Zaccolini (1574-1630). *Regnum Dei*, 41, 227-258.
- Bell, J. (1988). Cassiano dal Pozzo's Copy of the Zaccolini Manuscripts. *Journal of the Warburg and Courtauld Institutes*, Vol. 51, 103-125.
- Bell, J. (1991). Zaccolini and Leonardo's Manuscript A. In M. T. Fiorio, & P. C. Marani, *Il collezionismo dei leonardeschi a Milano e la Madonna Litta* (p. 183-193). Milano: Electa.
- Bell, J. (1992). Filippo Gagliardi on Leonardo's Perspective. *Achademia Leonardi Vinci*, 5, 117-119.
- Bell, J. (1993). Zaccolini's Theory of Color Perspective. *The Art Bulletin*, 75, 1, 91-112.
- Bell, J. (2009). Zaccolini and the Trattato della Pittura of Leonardo da Vinci. In A. VV., *Re-Reading Leonardo. The Treatise on Painting across Europe*, (p. 127-146). Surrey: Ashgate Publishing.
- Bell, J. (2018). A Treatise on Mirrors Attributed to Matteo Zaccolini. *Nuncius. Journal of the Material and Visual History of Science*, 33, 563-584.
- Bell, J. (2019). Zaccolini, dal Pozzo, and Leonardo's writings in Rome and Milan. *Mitteilungen des Kunsthistorischen Institutes in Florenz*, 61, 309-334.
- Bell, J. (2020). Zaccolini e Milano: nuove indagini, nuove attribuzioni. *L'eredità culturale e artistica di Matteo Zaccolini* (p. 43-82). Cesena: Biblioteca Malatestiana.
- Bernardoni, A. (2020). *Leonardo ingegnere*. Roma: Carocci.
- Buccaro, A. (1991). *Il borgo dei Vergini. Storia e struttura di un ambito urbano*. Napoli: CUEN.
- Buccaro, A. (1992). *Opere pubbliche e tipologie urbane nel Mezzogiorno preunitario*. Napoli: Electa Napoli.

- Buccaro, A. (1992). Saggi del progresso industriale nella Napoli preunitaria: le sedi di esposizione. In A. Viale, *Napoli. Un destino industriale* (p. 343-349). Napoli: CUEN.
- Buccaro, A. (2003). Da «architetto vulgo ingegnere» a «scienziato artista»: la formazione dell'ingegnere meridionale tra Sette e Ottocento. In A. Buccaro, & F. De Mattia, *Scienziati-artisti. formazione e ruolo degli ingegneri nelle fonti dell'Archivio di Stato e della Facoltà di Ingegneria di Napoli*. (p. 17-43). Napoli: Electa.
- Buccaro, A. (2003). *Istituzioni e trasformazioni urbane nella Napoli dell'Ottocento*. Napoli: Electa Napoli.
- Buccaro, A. (2006). L'insegnamento dell'architettura tecnica nella Regia Scuola d'Ingegneria di Napoli. In G. Mazzi, & G. Zucconi, *Daniele Donghi. I molti aspetti di un ingegnere totale* (p. 219-232). Venezia: Marsilio.
- Buccaro, A. (2011). *Leonardo da Vinci. Il Codice Corazza nella Biblioteca Nazionale di Napoli*. Poggio a Caiano: CB Edizioni, Edizioni Scientifiche Italiane.
- Buccaro, A. (2015-2016). Dallo scienziato artista all'architetto integrale. Problematiche e ambiguità della figura professionale in Italia tra Otto e Novecento. *Gustavo Giovannoni e l'architetto integrale* (p. 303-308). Roma: Accademia Nazionale di San Luca.
- Buccaro, A. (2018). Influenze vinciane e martiniane sui modelli di fortificazioni urbane nel Mezzogiorno tra '400 e '500. Note dallo studio in corso. *History of Engineering. International Conference on History of Engineering. Atti del VII Convegno di Storia dell'Ingegneria* (p. 189-202). Napoli: Cuzzolin.
- Buccaro, A. (2018). Leonardo e «mag.^o Antonio fiorentino». Cenni su codici vinciani perduti nel Foglietto del Belvedere dell'Archivio Pedretti. *ArcHistoR - architettura storia restauro*(10), 26-57.
- Buccaro, A. (2021). Dall'Occidente antico al mondo islamico e ritorno attraverso la meccanica di Leonardo e degli ingegneri rinascimentali. *Achademia Leonardo Vinci, Nuova serie, 1*, 127-140.
- Buccaro, A., & D'Agostino, S. (2003). *Dalla scuola di applicazione alla Facoltà di Ingegneria. La cultura napoletana nell'evoluzione della scienza e della didattica del costruire*. Benevento: Hevelius.
- Buccaro, A., & Maglio, A. (2013). *I libri antichi della Facoltà di Ingegneria di Napoli*. Napoli: Cuzzolin.
- Buccaro, A., & Mainini, G. (2006). *Luigi Cosenza oggi. 1905/2005*. Napoli: Clean.
- Buccaro, A., & Rascaglia, M. (2020). *Leonardo e il Rinascimento nei Codici napoletani. Influenze e modelli per l'architettura e l'ingegneria*. Poggio a Caiano: CB Edizioni.

- Canonico, M., Cilento, G., Frediani, G., Furnari, M., Gambardella, C., Pelosi, G., & Rossi, P. O. (1996). *Santa Caterina a Formello. Vicende di un'insula napoletana*. Napoli: Electa Napoli.
- Ceci, G. (IX (1900)). La Chiesa e il Convento di Santa Caterina a Formello. *Napoli Nobilissima*, 49-51; 67-71;.
- Ceci, G. (X (1901)). La Chiesa e il Convento di Santa Caterina a Formello. *Napoli Nobilissima*, 35-39; 101-105; 178-183.
- Chastel, A. (1987). *Luigi d'Aragona. Un cardinale del Rinascimento in viaggio per l'Europa*. Bari: Laterza.
- Como, M. (2010). *Statica delle costruzioni storiche in muratura. Archi, volte, cupole, architetture monumentali, edifici sotto carichi verticali e sotto sisma*. Roma: Aracne.
- Cosenza, L. (1950). *Esperienze di architettura*. Napoli: Macchiaroli.
- Costa, G. B., Dessonlavy, T., Bossi, S., Santarelli, F., & Parboni, P. (1850). *Raccolta di vedute del Regno di Napoli e suoi contorni disegnate al Vero*. Roma: P. D'Atri.
- D'Agostino, S. (A cura di). (2008). *Storia dell'Ingegneria 2008 – Atti del 2° Congresso Nazionale*. Napoli: Cuzzolin.
- de Dominici, B. (1743). *Vite de' pittori, scultori, ed architetti napoletani, Non mai date alla luce da Autore alcuno, dedicate agli eccellentiss. signori, eletti della fedelissima città di Napoli. Tomo II*. Napoli: Stamperia Ricciardi.
- De Nicolo, B., & Meloni, D. (2005). Modellazione FEM di archi e volte in muratura. *Convegno CIAS*, (p. 122-147). Sassari.
- de Seta, C. (Ottava edizione, 2016). *Napoli*. Napoli: Editrice Politecnica Napoli.
- De Sivo, B. (1992). *Il restauro degli edifici in muratura: la formazione del direttore dei lavori di recupero*. Palermo: D. Flaccovio.
- Ferriello, G. (2021). Ruote per il moto perpetuo in manoscritti persiani inediti e il passaggio al Rinascimento: meccanismi e macchine. *Achademia Leonardi Vinci, Nuova serie, 1*, 141-168.
- Filangieri di Candida, R. (1931). Antonio Marchesi da Settignano, architetto militare del Rinascimento. *Rivista di artiglieria e genio, LXX*, 473-479.
- Filangieri di Candida, R. (1931). *Critiche amene all'opera di Castel Nuovo. Questioni storiche e criteri di restauro*. Genova: Industrie tipografiche ed affini.
- Filangieri di Candida, R. (1934). *Castel Nuovo, reggia angioina ed aragonese di Napoli*. Napoli: Editrice Politecnica S. A.
- Filangieri di Satriano, G. (1875). *Documenti per la storia, le arti e le industrie delle provincie napoletane*. Napoli: Tipografia dell'Accademia Reale delle Scienze.

- Filangieri di Satriano, G. (1891). *Indice degli artefici delle arti maggiori e minori...* Napoli: Tipografia dell'Accademia Reale delle Scienze.
- Fiore, F. P., & Tafuri, M. (1993). *Francesco di Giorgio architetto*. Milano: Electa.
- Fondazione Promozione Acciaio. (2022). Interventi locali mediante cerchiature metalliche. In *Quaderni di progettazione strutturale* (Vol. 6).
- Galbiati, G. (1920). Il «Cenacolo» di Leonardo da Vinci del pittore Giuseppe Bossi nei giudizi d'illustri contemporanei. *Anacleta Ambrosiana*.
- Ghisetti Giavarina, A. (2008). Il Regno di Napoli. *Artigrama*(23), 327-358.
- Ghisetti Giavarina, A., Mangone, F., & Pane, A. (2019). *Da Palazzo Como a Museo Filangieri: Storia, tutela e restauro di una residenza del rinascimento a Napoli*. Napoli: Grimaldi & C.
- Gille, B. (1972). *Leonardo e gli ingegneri del Rinascimento*. Milano: Feltrinelli.
- Gravagnuolo, B. (2010). *Architettura del Settecento a Napoli dal Barocco al Classicismo*. Napoli: Guida.
- Guerra, C. (1923-1928). Polemiche per la specializzazione degli ingegneri in Architettura. *Opuscoli di Architettura Tecnica*.
- Guerra, C. (1935). *Quaderni di architettura e di urbanistica napoletana raccolti dall'ing. C. Guerra*. Napoli.
- Guerra, C. (1945). *Architettura Tecnica*. Napoli: R. Pironti.
- Guidolin, F. (2015, febbraio 9). *Il colore della lontananza: Matteo Zaccolini, pittore e teorico di prospettiva*. Tratto da Archivio istituzionale ad accesso aperto dell'Università Ca' Foscari di Venezia: <http://hdl.handle.net/10579/5621>
- Heyman, J. (1982). *The Masonry Arch*. Chirchester: E. Horwood.
- Huerta, S. (2021). Viollet-le-Duc and the élasticité of Gothic structures. In J. Mascarenhas-Mateus, & A. Paula Pires, *History of Construction Cultures* (p. 433-439). Londra: CRC Press.
- Leone, T. (1999). *Il palazzo Serra di Cassano. Struttura, passato e presente*. Napoli: Istituto Italiano per gli Studi Filosofici.
- Marcolongo, R. (1929). Le ricerche geometrico-meccaniche di Leonardo da Vinci. *Atti della Società italiana delle Scienze detta dei XL*. Roma: Bardi.
- Marcolongo, R. (1929-1932). Leonardo da Vinci nella storia della meccanica e della scienza. *Atti del Congresso Internazionale dei Matematici (Bologna, 3-10 settembre 1928)*. Bologna: Zanichelli.
- Marcolongo, R. (1932). *La meccanica di Leonardo da Vinci*. Napoli: S.I.E.M, Tip. Accademia delle Scienze Fisiche e Matematiche.

- Marcolongo, R. (1934). *Il trattato di Leonardo da Vinci sulle trasformazioni dei solidi. Analisi del Codice Forster I, nel «Victoria and Albert Museum»*. Napoli: S.I.E.M.
- Marcolongo, R. (terza edizione, 1950). *Leonardo da Vinci artista-scienziato*. Milano: Ulrico Hoepli.
- Maselli Campagna, M. (2012). *L'attività di Antonio Marchesi da Settignano nell'Italia centro-settentrionale*. Palermo: Caracol.
- Matracchi, P. (1992). *La Chiesa di S. Maria delle Grazie al Calcinaio presso Cortona e l'opera di Francesco di Giorgio*. Cortona: Calosci.
- Matteucci, A. M. (1988). *L'architettura del Settecento*. Torino: UTET.
- Maurea, M. (2023). Il Complesso di Santa Caterina a Formiello. In F. Iuliano, & M. Maurea, *Progettare nella città antica* (p. 93-136). Napoli: fedOA Press.
- Mazzolani, F. (1990). Il restauro strutturale del ponte "Real Ferdinando" sul Garigliano. *Costruzioni Metalliche*.
- Mazzolani, F., & Morrica, L. (1998). *Il ponte "Real Ferdinando" sul Garigliano*. Napoli: Edizioni Scientifiche Italiane.
- Melani, M. (2023). Venturi disegna Leonardo. La “vicendevole chiarezza” tra testi e disegni. *Eikonocity*, 9-22.
- Moccia, F. D. (1994). *Luigi Cosenza. Scritti e progetti di architettura*. Napoli: CLEAN.
- Modesti, P. (2014). *P. Modesti, Le Delizie Ritrovate: Poggioreale e la villa del Rinascimento nella Napoli aragonese*. Firenze: Leo S. Olschki.
- Mollo, G. (2008). Carlo Theti. I discorsi delle fortificazioni di un ingegnere militare del XVI secolo. In A. Buccaro, G. Cantone, & F. Starace, *Storie e teorie dell'architettura dal Quattrocento al Novecento: Ricerche di dottorato* (p. 83-132). Pisa: Pacini.
- Nicodemi, G. (1961). Giuseppe Bossi. Un diario, autografi vari, il carteggio con G. G. Trivulzio e due poesie. *Archivio storico lombardo*, 587-648.
- Ottoni, F. (2008). *La lunga vicenda delle fabbriche cupolate. Note storiche sulla stabilità, tra dibattito e sperimentazione*. Parma: Università degli Studi di Parma.
- Padelletti, D. (1885). *Le opere scientifiche di Leonardo da Vinci. Discorso per la inaugurazione degli studii nella R. Università di Napoli, letto il 5 gennaio 1885*. Napoli: Tip. R. Accademia delle Scienze.
- Pane, R. (1937). *Architettura del Rinascimento in Napoli*. Napoli: E.P.S.A. Editrice Politecnica.
- Pane, R. (1975). *Il Rinascimento nell'Italia meridionale*. Milano: Ed. di comunità.
- Parisi, R. (2003). *Luigi Giura 1795-1864. Ingegnere e architetto dell'Ottocento*. Napoli: Electa Napoli.

- Pavlovic, M. (2013). Alcune considerazioni sul comportamento meccanico di cupole storiche. *TECNologos*.
- Pedretti, C. (1962). *A Chronology of Leonardo da Vinci's Architectural Studies after 1500*. Ginevra: Librarie E. Droz.
- Pedretti, C. (1964). *Leonardo da Vinci On Painting a lost Book (libro A) reassembled from the Codex Vaticanus Urbinas 1270 and from the Codex Leicester/with a Cronology of Leonardo's "Treatise on Painting"*. Berkeley-Los Angeles: University of California Press.
- Pedretti, C. (1972). *Leonardo da Vinci. The Royal Palace at Romorantin*. Cambridge (massachusetts): Belknap Press Harvard.
- Pedretti, C. (1973). The Zaccolini Manuscripts. *Bibliothèque d'Humanisme et Renaissance*, 39-53.
- Pedretti, C., & Vecce, C. (1995). *Leonardo da Vinci: Libro di Pittura*. Firenze: Giunti.
- Petreschi, M. (1991). *La Chiesa di S. Caterina a Formiello a Napoli. Ipotesi per una attribuzione*. Roma: Officina edizioni.
- Rusciano, C. (2002). *Napoli, 1484-1501. La città e le mura aragonesi*. Roma: Bonsignori Editore.
- Russo, G. (1967). *La scuola d'Ingegneria in Napoli. 1811-1967*. Napoli: Istit. Editoriale del Mezzogiorno.
- Strafforello, G. (1894). *La patria, geografia dell'Italia, Parte Quarta - Italia Meridionale, Napoli*. Torino: Unione Tipografico-Editrice.
- Torrini, M. (1989). *Scienziati a Napoli 1830-1845*. Napoli: CUEN.
- Verde, P. C. (2007). *Domenico Fontana a Napoli. 1592-1607*. Napoli: Electa Napoli.
- Vezzosi, A. (1983). *Leonardo e il leonardismo a Napoli e a Roma*. Firenze: Giunti Barbera.
- Visone, M. (2013). La villa di Poggio Reale. Decadenza e trasformazione dal XVI al XIX secolo. *Rendiconti della Accademia di Archeologia e Belle Arti, LXXVII*, pp.79-94.
- Visone, M. (2016). Poggio Reale rivisitato: preesistenze, genesi e trasformazioni in età vicereale. In E. Sánchez García, *Rinascimento Meridionale: Napoli e il Viceré Pedro de Toledo (1532-1553)* (p. 771-798). Napoli: Tullio Pironti.
- Visone, M. (2020). Napoli aragonese e le delizie di Campovecchio. *La corona d'Aragona e d'Italia. Atti del XX Congresso di Storia della Corona d'Aragona* (p. 1457-1478). Perugia: Stabilimento Tipografico «Pliniana».

Fonti iconografiche

Figura 1: "Nacque un mio nipote, figliuolo di ser Pietro mio figliuolo, a dì 15 d'aprile in sabato a ore 3 di notte. Ebbe nome Lionardo [...]". Registro cartaceo notarile antecosimiano, Archivio di Stato di Firenze.....	2
Figura 2: Paesaggio del Valdarno. Firenze, Galleria degli Uffizi, Gabinetto dei Disegni e delle Stampe.....	3
Figura 3: Studi di Marcolongo su costruzioni geometriche vinciane per lo studio di lunule presenti in vari fogli del Codice Atlantico. In R. Marcolongo, «Leonardo da Vinci Artista-Scienziato», Milano, Ulrico Hoepli ed., 1950 (terza edizione), p. 132.....	9
Figura 4: La Cappella Pontano.....	15
Figura 5: Palazzo Como.....	15
Figura 6: La villa di Poggioreale nella veduta di Alessandro Baratta del 1629 (ingrandimento da Visone, 2016).....	17
Figura 7: Disegni di bastioni e casematte nel Codice Magliabechiano di Francesco di Giorgio Martini (da Buccaro, 2011).....	19
Figura 8: Anonimo, il Foglietto di Belvedere (da Buccaro & Rascaglia, 2020).....	20
Figura 9: Il diario di de Beatis (da Buccaro & Rascaglia, 2020).....	23
Figura 10: Studi di luci e ombre nel Codice Fridericiano (eCo - collezioni digitali della Federico II).....	24
Figura 11: Una delle macchine idrauliche rappresentate nel trattato di Nigrone (da Buccaro, 2011).....	27
Figura 12: Nomina di Bartolomeo Picchiatti «Architecti majoris (Vulgo Ingeniero)», 1628. Napoli, Archivio di Stato, Cancelleria e Consiglio del Collaterale, Offic. suae majestatis, n. 10 (da Buccaro, 2011).....	29
Figura 13: Francisco de Hollanda, Castello Novo. D. Napoles, 1540 ca. Madrid, Real Biblioteca del Monastero de San Lorenzo de El Escorial (da Buccaro in ArchHistoR, anno V, n. 10, p. 51).....	39
Figura 14: Pianta e spaccato della villa di Poggioreale nel trattato di Sebastiano Serlio (da Buccaro, 2011).....	40
Figura 15: Vista esterna della cappella di San Giacomo della Marca nella Chiesa di Santa Maria la Nova.....	43
Figura 16: Il palazzo Carafa di Santaseverina.....	43

Figura 17: Frontespizio del Codice Corazza (da Buccaro, 2011).....	49
Figura 18: Frontespizio della prima edizione italiana del Trattato della Pittura, del 1733 (da Buccaro, 2011).....	54
Figura 19: Studi di ombre nel Codice Zaccolini (da Baglioni, Fasolo, Mancini, 2019)...	59
Figura 20: Vista dell'intradosso della pseudocupola nella Chiesa del Gesù Nuovo (foto Polidoro, 5 ottobre 2023).....	77
Figura 21: Frontespizio della Statica degli Edifici di Vincenzo Lamberti, del 1781 (da Google Books).....	79
Figura 22: V. Lamberti, Statica degli edifici, tavola 8.....	79
Figura 23: Luigi Giura, progetto per il ponte sul Garigliano. Biblioteca Nazionale di Napoli, Sala Farn. 62. E 36.....	82
Figura 24: Quarta di copertina della terza edizione del «Leonardo da Vinci Artista-Scienziato» di Roberto Marcolongo.....	93
Figura 25: La Chiesa di Santa Caterina a Formiello (39) nella veduta di Carlo Theti del 1560 (Da «Santa Caterina a Formello. Vicende di un'insula napoletana», Napoli, Electa Napoli, 1996).....	102
Figura 26: La Chiesa di Santa Caterina a Formiello (30) nella veduta di Lafréry e Duperac del 1566 (Da «Santa Caterina a Formello. Vicende di un'insula napoletana», Napoli, Electa Napoli, 1996).....	102
Figura 27: Pasquale Mattei, «Mercato a Porta Capuana con Chiesa di Santa Caterina», Napoli, 1845, collezione privata (Da «Santa Caterina a Formello. Vicende di un'insula Napoletana», Napoli, Electa Napoli, 1996). Si osservi l'immagine della Chiesa nelle sue forme attuali, il corpo addossato alla sua facciata e la presenza sullo sfondo di una ciminiera del lanificio Sava.....	105
Figura 28: Giovanni Battista Costa, Veduta di Porta Capuana, in G. B. Costa, T. Dessonlavy, F. Santarelli, P. Parboni, «Raccolta di vedute del Regno di Napoli e suoi contorni disegnate al Vero», Roma, P. D'Atri, 1850.....	106
Figura 29: Veduta di Porta Capuana del 1894. Si osservi la cupola della Chiesa nascosta dagli edifici. Da G. Strafforello, La patria, geografia dell'Italia, Parte Quarta – Italia Meridionale, Napoli. Unione Tipografico-Editrice, Torino, 1894.....	106
Figura 30: Veduta della facciata esterna di Porta Capuana. Si osservi l'intervento di restauro avvenuto sulla porta negli anni '30 e la rimozione degli edifici addossati ad essa. Archivio fotografico Luce, fondo Amoroso., codice foto FA00004835.....	107

Figura 31: Fotografia degli anni Venti di piazza Enrico De Nicola, già piazza de' Tribunali. Si osservi la cortina edilizia che maschera la facciata laterale della Chiesa. Archivio fotografico Luce, codice foto L00000291.....	107
Figura 32: Cartolina del 1957. Si osservi la totale liberazione della zona absidale e la ciminiera del lanificio.....	108
Figura 33: La copertura della navata, i due ordini di finestre e le cappelle laterali (Polidoro, 3 marzo 2024).....	109
Figura 34: La cupola e il campanile a vela visti da via C. Rosaroll (Polidoro, 3 marzo 2024).....	109
Figura 35: La Chiesa vista da piazza de Nicola (Polidoro, 3 marzo 2024).....	110
Figura 36: La Chiesa vista da piazza S. Francesco a Capuana (Polidoro, 3 marzo 2024).....	111
Figura 37: Planimetria della Chiesa di S. Caterina a Formiello (da Petreschi).....	112
Figura 38: Prospetto della Chiesa su piazza De Nicola (da Petreschi).....	113
Figura 39: Prospetto su via S. Giovanni a Carbonara (da Petreschi).....	113
Figura 40: Confronto tra il diagramma compositivo per l'elevazione di un impianto basilicale di Francesco di Giorgio Martini e la sezione trasversale di S. Caterina a Formiello (da Petreschi).....	113
Figura 41: Cortona, Santa Maria delle Grazie al Calcinaio, fianco occidentale (foto Bruchi, da F. P. Fiore, M. Tafuri).....	114
Figura 42: Francesco di Giorgio, schema di pianta di edificio Chiesastico con inserita una figura umana. Firenze, Biblioteca Nazionale Centrale, Codice Magliabechiano II. I. 141, c. 42 v (da Matracchi).....	115
Figura 43: Studio delle proporzioni soggiacenti alla configurazione planimetrica del Calcinaio viste in rapporto allo schema martiniano a fianco (da Matracchi).....	115
Figura 44: Planimetria della Chiesa del Calcinaio da un rilievo condotto da P. Matracchi (da F. P. Fiore, M. Tafuri).....	116
Figura 45: Cortona, soluzione d'angolo al primo ordine (foto Bruchi, da F. P. Fiore, M. Tafuri).....	117
Figura 46: Napoli, soluzione d'angolo al primo ordine (Polidoro, 3 marzo 2024).....	117
Figura 47: Cortona, testata del transetto (foto Bruchi, da F. P. Fiore, M. Tafuri).....	117
Figura 48: Napoli, testata del transetto (Polidoro, 3 marzo 2024).....	117

Figura 49: Cortona, oculo aperto nella testata del transetto (foto Bruchi, da F. P. Fiore, M. Tafuri).....	117
Figura 50: Napoli, oculo aperto nella testata della navata (Polidoro, 3 marzo 2024)	117
Figura 51: Cortona, edicola di una finestra sulla navata (foto Bruchi, da F. P. Fiore, M. Tafuri).....	118
Figura 52: Napoli, edicola di una finestra sul transetto (Polidoro, 3 marzo 2024).....	118
Figura 53: Cortona, interno della cupola (foto Bruchi, da F. P. Fiore, M. Tafuri).....	118
Figura 54: Napoli, interno della cupola (Polidoro, 3 marzo 2024).....	118
Figura 55: Francesco di Giorgio, disegno di capitello. Codice Magliab. II.I.141, c. 34v (da Matracchi).....	119
Figura 56: Napoli, capitello di una lesena del primo ordine (Polidoro, 3 marzo 2024).	119
Figura 57: Cortona, la cupola e la testata del transetto (da Petreschi).....	119
Figura 58: Napoli, la cupola e la testata del transetto (Polidoro, 3 marzo 2024).....	119
Figura 59: Ispezione del 1925 di lesioni sulla cupola del Pantheon. LIFE magazine, 1925.....	130

Allegati grafici

Figura 60: Maschio con meccanismo a taglio.....	141
Figura 61: Maschio con meccanismo a pressoflessione.....	142
Figura 62: Legame multilineare.....	143
Figura 63: Legame bilineare.....	144
Figura 64: Foglio di calcolo Spettri NTC - Fase 1.....	154
Figura 65: Variabilità di ag col periodo di ritorno TR	154
Figura 66: Variabilità di F_0 col periodo di ritorno TR	154
Figura 67: Variabilità di TC^* col periodo di ritorno TR	155
Figura 68: Spettri di risposta elastici per i periodi di ritorno TR di riferimento.....	155
Figura 69: Foglio di calcolo Spettri NTC - Fase 2.....	157
Figura 70: Valori di progetto di ag in funzione del periodo di ritorno TR	157
Figura 71: Valori di progetto di F_0 in funzione del periodo di ritorno TR	158
Figura 72: Valori di progetto di TC^* in funzione del periodo di ritorno TR	158
Figura 73: Spettri di risposta elastici per i diversi stati limite.....	158
Figura 74: Foglio di calcolo Spettri NTC - Fase 3.....	160
Figura 75: Spettri di risposta (componenti orizzontale e verticale) di progetto a SLO..	162
Figura 76: Spettri di risposta (componenti orizzontale e verticale) di progetto a SLD...	163
Figura 77: Spettri di risposta (componenti orizzontale e verticale) di progetto a SLV...	164
Figura 78: Spettri di risposta (componenti orizzontale e verticale) di progetto a SLC...	165
Figura 79: Vista 3D anteriore (sinistra) e posteriore (destra) del modello a macroelementi della Chiesa.....	168
Figura 80: Ridisegno della planimetria di S. Caterina a Formiello con sovrapposizione dell'elaborato di Petreschi e indicazione delle volte a copertura dell'aula e delle cappelle laterali.....	169
Figura 81: Planimetria DXF di riferimento per il modello strutturale sovrapposto alla pianta di Petreschi.....	170
Figura 82: Planimetria del livello 1 (0.00 – 6.40 m).....	171

Figura 83: Planimetria del livello 2 (6.40 – 11.00 m).....	171
Figura 84: Planimetria del livello 3 (11.00 – 15.70 m).....	172
Figura 85: Planimetria del livello 4 (15.70 – 18.90 m).....	172
Figura 86: Copertura (18.90 – 23.80 m).....	172
Figura 87: Nodi e pareti di riferimento del livello 2.....	173
Figura 88: Nodi e pareti di riferimento del livello 1.....	173
Figura 89: Nodi e pareti di riferimento del livello 4. I nodi evidenziati in fuxia si riferiscono all'ambiente tetto.....	174
Figura 90: Nodi e pareti di riferimento del livello 3.....	174
Figura 91: Vista 3D anteriore (sinistra) e posteriore (destra) del modello a macroelementi dell'aggregato.....	175
Figura 92: Planimetria del livello 1 (0.00 – 6.40 m).....	176
Figura 93: Planimetria del livello 2 (6.40 – 11.00 m).....	177
Figura 94: Planimetria del livello 3 (11.00 – 15.70 m).....	178
Figura 95: Planimetria livello 4 (15.70 – 18.90 m).....	179
Figura 96: Copertura (18.90 – 23.80 m).....	180
Figura 97: Nodi e pareti di riferimento del livello 1.....	181
Figura 98: Nodi e pareti di riferimento del livello 2.....	182
Figura 99: Nodi e pareti di riferimento del livello 3.....	183
Figura 100: Nodi e pareti di riferimento del livello 4. I nodi indicati in fucsia appartengono all'ambiente tetto.....	184
Figura 101: Modello ai macroelementi e a telaio equivalente di una parete in muratura.....	186
Figura 102: Elemento finito a comportamento non lineare per la schematizzazione di maschi e fasce murarie.....	187
Figura 103: Vista 3D anteriore (sinistra) e posteriore (destra) del modello mesh 3D a macroelementi generato dal programma di calcolo.....	187
Figura 104: Curve pushover in direzione X (in blu) e Y (in rosso). Sono escluse dall'immagine le curve relative alle analisi 4, 11, 15, per le quali si registra uno spostamento di capacità rispettivamente di 237.06, 41.92 e 43.16 cm, con valori di picco del taglio paragonabili a quelli delle analisi nella medesima direzione.....	197

Figura 105: Risultati dell'analisi più gravosa in direzione X (n. 12) sulla Chiesa nel modello ante operam.....	198
Figura 106: Risultati dell'analisi più gravosa in direzione Y (n. 19) sulla Chiesa nel modello ante operam.....	199
Figura 107: Vista 3D anteriore (sinistra) e posteriore (destra) del modello a macroelementi dell'aggregato.	201
Figura 108: Planimetria del livello 1 (0.00 – 6.40 m).....	202
Figura 109: Planimetria del livello 2 (6.40 – 11.00 m).....	203
Figura 110: Planimetria del livello 3 (11.00 – 15.70 m).....	204
Figura 111: Planimetria livello 4 (15.70 – 18.90 m).....	205
Figura 112: Copertura (18.90 – 23.80 m).....	206
Figura 113: Curve pushover in direzione X (in blu) e Y (in rosso).....	214
Figura 114: Risultati dell'analisi più gravosa in direzione X (n. 11) sulla Chiesa nel modello post operam.....	215
Figura 115: Risultati dell'analisi più gravosa in direzione Y (n. 24) sulla Chiesa nel modello post operam.....	216
Figura 116: Curva della PAM del modello ante operam.....	223
Figura 117: Curva della PAM del modello post operam.....	225
Figura 118: Semplificazione di una cupola in meridiani e paralleli nella teoria membranale (da J. Heyman, «The masonry arch», Ellis Horwood series in engineering science, John Wiley and Sons, Chirchester, 1982).....	226
Figura 119: Tensioni interne nelle direzioni dei paralleli, necessarie per l'equilibrio di una cupola emisferica soggetta al peso proprio (da Heyman, 1982).....	227
Figura 120: Equilibrio di un elemento infinitesimo di cupola (da Ottoni, 2008).....	228
Figura 121: Identificazione degli elementi infinitesimi di cupola lungo un meridiano (da Ottoni, 2008).....	228
Figura 122: La regola geometrica medioevale per determinare lo spessore dei piedritti (da Ottoni, 2008).....	230
Figura 123: Alcuni meccanismi di rottura degli archi rappresentati da Leonardo nel Codice di Madrid (da Ottoni, 2008).....	231
Figura 124: Disegno di Leonardo sull'effetto in termini di deformazione dell'aumento di dimensioni degli elementi strutturali.....	232

Figura 125: Collasso di un arco soggetto a carico decentrato (da Heyman, 1982).....	235
Figura 126: Discretizzazione degli elementi della cupola per l'analisi statica grafica.....	237
Figura 127: Individuazione dell'arco di riferimento per l'applicazione di statica grafica. Sull'arco è evidenziato in verde il cosiddetto "terzo medio"	238
Figura 128: Arco di riferimento - ingrandimento in prossimità della lanterna.....	238
Figura 129: Andamento dello spessore della cupola con l'altezza.	239
Figura 130: Poligono funicolare delle pressioni agenti nella cupola di Santa Caterina a Formiello.....	240
Figura 131: Andamento delle tensioni radiali e delle pressioni nei conci della cupola...	241

Sitografia

1. Enciclopedia Italiana, voce «Leonardo da Vinci», del 1933.
https://www.treccani.it/enciclopedia/leonardo-da-vinci_%28Enciclopedia-Italiana%29/
2. Enciclopedia dell'Italiano, voce «Leonardo da Vinci», del 2010.
[https://www.treccani.it/enciclopedia/leonardo-da-vinci_\(Enciclopedia-dell'Italiano\)/](https://www.treccani.it/enciclopedia/leonardo-da-vinci_(Enciclopedia-dell'Italiano)/)
3. Leonardo da Vinci, *Codice di Madrid*, in *The Internet Archive*.
<https://archive.org/details/codex-madrid/mode/2up>
4. I manoscritti di Leonardo da Vinci della Reale Biblioteca di Windsor: Dell'Anatomia, fogli B, in *The Internet Archive*.
<https://archive.org/details/imanoscrittidile00leon/mode/2up>
5. Leonardo da Vinci, *Codice Atlantico*, estratto in *The Internet Archive*.
<https://archive.org/details/codex-atlanticus-leonardo-da-vinci/mode/2up>
6. *The Internet Archive*.
<https://archive.org/search>
7. Biblioteca Leonardiana, *E-Leo. Digital archive of history of technology and science*.
<https://www.leonardodigitale.com/en/browse/>
8. Luca Pacioli, *De Divina Proportione*, in *The Internet Archive*.
<https://archive.org/details/de-divina-proportione/mode/2up>
9. Anonimo, *Codice Fridericiano A1/1*, in *eCo-Collezioni digitali della Federico II*.
<http://www.eco.unina.it/items/show/5#?c=0&m=0&s=0&cv=0&z=-0.2484%2C-0.0615%2C1.4968%2C1.2292>
10. Istituto Treccani, Dizionario Biografico degli Italiani.
https://www.treccani.it/enciclopedia/elenco-opere/Dizionario_Biografico/
11. Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, Costruzioni in zona sismica.
<https://cslp.mit.gov.it/pareri/costruzioni-zona-sismica>
12. G. Patraccone, «Il primo ponte sospeso d'Italia: il Ponte Sul Garigliano», 28 giugno 2023.
<https://www.calcolostrutturale.com/ponte/>

Indice dei nomi

‘Abd al-Aziz; 5

A

Abraham bar Hiyya; 5
Abū Ma’shar; 5
Agellio, Giuseppe; 184
Alberti, Leon Battista; 5; 11; 13; 21; 50;
182; 185; 191; 192; 193; 197; 199
Albini, Giuseppe; 216; 227
al-Farghānī; 5
Al-Hāzen; 4; 5
al-Kindī; 5
Amboise, Charles de; 15; 16; 24; 25
Angiò, Carlo II di; 35
Aragona, Alfonso I di; 12; 33
Aragona, Alfonso II di; 13; 15; 16; 31;
32; 35; 42
Aragona, Ferrante di; 6; 15; 19; 30; 41;
49
Aragona, Isabella di; 3
Aragona, Luigi di; 19; 29
Archimede; 5; 7; 19; 217
Arconati, Galeazzo; 180
Arconati, Luigi Maria; 177; 179; 180;
181; 196
Aristotele; 5; 7
Asburgo, Carlo V di; 19
Aspreno Galante, Gennaro; 42; 61
Avandi, Gaetano; 43
Avicenna; 5

B

Baratta, Alessandro; 15; 28; 35; 41
Barberini, Francesco; 177; 180
Bélidor, Bernard Forest de; 62; 201;
203; 205

Bell, Janis; 186; 197
Bentham, Jeremy; 209
Bianconi, Carlo; 187; 188; 189; 199
Biffi, Marco; 2
Borbome, Ferdinando I di; 44
Borbome, Ferdinando IV di; 63; 195;
196
Borgia, Cesare; 4; 29; 218
Borgia, Rodrigo; 19
Bossi, Giuseppe; 213; 214; 215; 216;
223
Botticelli, Sandro; 2
Bracciolini, Poggio; 1
Bramante, Donato; 3
Brunelleschi, Filippo; 1; 24; 169; 185;
219
Buccaro, Alfredo; I; III; 10; 18; 25; 27;
28; 29; 30; 37; 38; 195; 196; 197;
198; 199; 210; 211; 212; 213; 223;
224; 225; 229; 796
Burley, Walter; 7

C

Canova, Antonio; 213
Capua, Antonello da; 16
Carafa, Giovanni, duca di Noja; 15; 28;
36; 43; 195
Carafa, Isabella; 183
Caravelli, Vito; 203
Carletti, Niccolò; 36; 199; 203
Cartaro, Mario; 26; 40
Carusi, Enrico; 2; 181; 196
Cassiano de Silva, Francesco; 35
Ceci, Giuseppe; 60; 166; 168; 169
Cellini, Benvenuto; 191
Cesi, Federico; 24; 26
Chastel, André; 20; 29
Chiaromonte, Scipione; 186
Cilento, Gerardo; 50

Codazzi, Viviano; 36; 187
Collecini, Francesco; 195
Colonna, Francesco; 20
Comolli, Angelo; 187; 190; 203; 204;
211
Corazza, Vincenzo; II; III; 10; 28; 29;
30; 177; 178; 179; 180; 181; 183;
187; 188; 189; 190; 191; 192; 193;
194; 196; 197; 198; 199; 210; 213;
214; 216; 222; 223
Cordova, Consalvo di; 33
Cosenza, Luigi; III; 211; 228; 229; 797
Croce, Baldassarre; 186
Cuoco, Vincenzo; 213

D

dal Pozzo Toscanelli, Paolo; 19
dal Pozzo, Cassiano; II; 26; 177; 178;
180; 181; 183; 184; 196; 197; 198;
213; 214; 215
David, Ludovico Antonio; 178; 802
de Beatis, Antonio; 4; 16; 19; 20; 27;
29; 180
De Dominici, Bernardo; 18; 28; 199
de Fazio, Giuliano; 205; 208; 209; 212;
227
de Rivera, Carlo Afan; 208; 209
de' Medici, Lorenzo; 3; 13; 39
della Francesca, Piero; 6; 185; 198
della Porta, Giovan Battista; 23; 24; 30;
187
Donatello; 1; 13
Du Fresne, Raphael; 11; 20; 177; 190
Duperac, Etienne; 40
Durand, Jean-Nicolas-Louis; 24; 205;
211

E

Erone d'Alessandria; 5; 6; 217
Escrivà, Pedro Luis; 33
Este, Borso di; 12
Este, Lionello di; 12
Euclide; 5; 6; 7; 24; 194; 217

F

Favaro, Antonio; 181; 196
Ferrucci, Andrea; 36; 37; 60; 169
Filangieri di Candida, Riccardo; 28; 32;
33; 37; 38
Fontana, Domenico; I; 21; 22; 23; 25;
27; 29
Francesco di Giorgio Martini
Martini, Francesco di Giorgio; 155
Frediani, Gianluca; 47; 167
Fuga, Ferdinando; 202; 203; 204; 209;
211
Furnari, Michele; 40

G

Gaddi, Niccolò; 20; 26
Galilei, Galileo; 25; 26
Gaurico, Luca; 7; 15; 19; 20; 24
Gaurico, Pomponio; 19
Genovesi, Gaetano; 189; 194
Ghiberti, Lorenzo; 1
Ghisetti Giavarina, Adriano; 27; 28; 36;
39; 166; 169
Gille, Bertrand; 9; 11; 218
Giocondo, Giovanni; 15; 16; 17; 18; 26;
35; 192; 199
Giovio, Paolo; 2
Giura, Luigi; III; 206; 207; 211; 227
Goethe, Wolfgang von; 182; 214
Grimaldi, Francesco; 27; 39; 183
Guarini, Guarino; 63
Guerra, Camillo; 221; 222; 225

H

Huerta, Santiago; 65; 169

J

Jacopo, Mariano di; 5; 6; 19; 24; 196

L

Lafréry, Antoine; 26; 40
Lamberti, Vincenzo; II; III; 62; 66; 199;
203; 204; 211; 226

Laurana, Francesco; 12
 Laurana, Luciano; 12
 Leonardo
 Vinci, Leonardo da; 155
 Leonardo da Vinci; III; 1; 9; 10; 26; 28;
 29; 30; 61; 190; 194; 196; 197; 198;
 199; 210; 215; 216; 217; 218; 220;
 223; 224; 226; 228; 242
 Libri, Guglielmo; 177; 184; 215
 Lussemburgo, Luigi di; 4

M

Maiano, Giuliano da; 6; 12; 13; 14; 15;
 16; 32; 33; 35; 39; 49
 Malesci, Luigi; 205; 206
 Marchesi, Antonio; I; III; 3; 12; 13; 16;
 17; 18; 23; 26; 31; 32; 33; 34; 35; 36;
 37; 38; 39; 40; 42; 60; 61; 168; 169;
 175; 226
 Marcolongo, Roberto; III; 6; 10; 215;
 217; 218; 219; 223; 224; 227
 Martini, Francesco di Giorgio; I; 3; 5; 6;
 7; 9; 12; 15; 16; 17; 18; 21; 23; 24;
 26; 28; 31; 32; 33; 35; 36; 39; 40; 53;
 54; 59; 60; 61; 168; 185; 191; 192;
 199; 215; 219; 226
 Masaccio; 1
 Masti, Paola; 35
 Mazzolani, Federico; 207; 211; 212
 Mengs, Anton Rafael; 187
 Michelozzo; 13
 Möller, Emil; 1
 Mormando, Giovanni Francesco; 60

N

Nemorario, Giordano; 217
 Nicodemi, Giorgio; 216; 223
 Nigrone, Giovanni Antonio; I; 21; 23;
 24; 27; 30; 226
 Norbo, Pietro il; 59
 Novara, Campano da; 16

P

Pacioli, Luca; 3; 4; 6; 7; 10; 16; 18; 20;
 29; 35; 39; 185; 215; 217; 242
 Padelletti, Dino; 215; 216; 223
 Palladio, Andrea; 62; 189; 199; 222
 Pane, Roberto; 27; 28; 38; 39; 41; 60;
 166; 168; 169
 Parini, Giuseppe; 187
 Parrino, Domenico Antonio; 36; 182;
 197
 Pedretti, Carlo; 10; 28; 29; 38; 184;
 196; 197; 198; 213; 215; 216; 227
 Pertini, Paolo; 36
 Perugino, Pietro; 2
 Petreschi, Marco; 53; 167; 168
 Picchiatti, Bartolomeo; I; III; 25; 27; 67
 Piccolomini, Innico; 20
 Pindemonte, Ippolito; 187
 Pinelli, Gian Vincenzo; 20; 21; 26; 181
 Plinio il Vecchio; 5; 10
 Pollione, Marco Vitruvio; 1; 5; 6; 185;
 189; 219
 Pontano, Giovanni; 6; 36
 Poussin, Nicolas; 177; 182; 183; 184;
 198

Q

Quarenghi, Giacomo; 187; 191; 199

R

Regio, Paolo; 23
 Rizzi Zannoni, Giovanni Antonio; 43
 Rondelet, Jean-Baptiste; 24; 62; 63; 66
 Rossellino, Antonio; 13
 Rossi, Nicola; 43

S

Sacrobosco, Giovanni di; 186
 Sanfelice, Ferdinando; 182
 Sangallo, Antonio il Giovane da; 18; 32;
 34
 Sangallo, Giuliano da; 3; 5; 15; 192; 219
 Sannazzaro, Jacopo; 6; 192

- Sassonia, Alberto di; 7
Serlio, Sebastiano; 15; 35; 192
Sforza, Costanzo; 31
Sforza, Francesco; 3
Sforza, Gian Galeazzo; 3
Sforza, Ludovico; 3
Solimena, Francesco; 43; 182
Spadaro, Micco; 36
Stigliola, Colantonio; I; 26; 27; 30; 187;
226
Stopendael, Daniel; 36; 41
- T**
- Tartaglia, Niccolò; 33
Terenzio, Alberto; 65
Theti, Carlo; I; 14; 21; 22; 27; 28; 29;
33; 35; 40
Toledo y Zuniga, Pedro Alvarez de; 18;
21; 28; 32; 33; 34; 39
- V**
- Vaccaro, Domenico Antonio; 182
Valla, Giorgio; 7
Valois, Carlo VIII di; 3; 16; 17; 31
Valois, Francesco I di; 16
Valois, Luigi XII di; 15; 33
Valturio, Roberto; 5; 10; 219
Vanvitelli, Luigi; III; 176; 202; 203;
210; 211; 226
Vasari, Giorgio; 2; 13; 26; 36; 61; 186;
191
- Vecce, Carlo; 7; 10; 191; 192; 196; 198;
199
Venturi, Giovan Battista; 181; 196; 213;
214; 215; 223
Verrocchio, Andrea del; 2; 5; 24
Vico, Giovan Battista; 23; 194
Vinci, Leonardo da; I; II; III; 1; 2; 3; 4;
5; 6; 7; 8; 9; 10; 11; 12; 15; 16; 17;
18; 19; 20; 21; 24; 25; 26; 27; 28; 29;
30; 32; 38; 61; 62; 168; 177; 178;
179; 180; 181; 182; 184; 185; 186;
187; 189; 190; 191; 192; 193; 194;
196; 197; 198; 199; 210; 213; 214;
215; 216; 217; 218; 219; 220; 223;
224; 226; 227; 228; 242; 810; 814
Vinci, Pierino da; 23
Vinci, Piero da; 1
Visone, Massimo; 28; 35; 38; 39; 797
von Pastor, Ludwig; 20
- W**
- Weise, George; 50
Winckelmann, Johann Joachim; 189
- Z**
- Zacchioli, Francesco; 188
Zaccolini, Matteo; II; 183; 184; 185;
186; 187; 197; 198; 226
Zander, Giuseppe; 50

Ringraziamenti

In questi anni, ho avuto modo di consultare “fonti bibliografiche” di varia natura relative a scritti simili a quello di cui mi sto accingendo ora alla composizione; ad eccezione di qualche lacrima e un bel sentimento nel cuore non son riuscito a carpirne gli intimi segreti, le indicazioni per un’efficace composizione, ed è forse per questo che ritengo questa sezione una delle più difficili – se non la più difficile – da scrivere.

Alla luce della rarità di una laurea quinquennale in un *mare magnum* di 3+2, più che ringraziare chi ha contribuito – più o meno direttamente – alla realizzazione di questo traguardo, contribuendo a rendere più bella la vita universitaria e ad ampliare le proprie visioni, avverto la necessità di mostrare il mio riconoscimento verso le persone che, attraverso le loro azioni, hanno inevitabilmente plasmato parte di me, diventando parte del mosaico della mia interiorità. Evidentemente, questo mio *sentire* è strettamente intrecciato alle persone che mi hanno sostenuto, mi hanno ispirato e mi hanno spinto ad andare sempre avanti, dritto alla meta; come forse sapete, però, quando una precisazione è importante per me tendo sempre a rimarcarla!

Il mio primo pensiero va a chi, in questi anni di studio e di lavoro, ha dedicato tempo ed energie per indicarmi ed illuminarmi la via, consentendomi una maturazione critica e tecnica tale da permettermi di realizzare questo lavoro, preparandomi a quel che verrà.

Al Professore Buccaro, guida sin dai primi mesi in questo Corso di Laurea, che mi ha fatto riscoprire ed amare la mia città con le sue intime contraddizioni, le sue infinite sfumature, la stratificazione storica delle gestualità quotidiane che talvolta acquisiscono caratteri rituali. È grazie ad una delle sue lezioni se, a inizi novembre 2019, mi si velarono gli occhi e si svelò in me la realizzazione di aver scelto un percorso di laurea a me affine, il mio posto nel mondo, un’oasi isolata in un mondo di corsi troppo distanti dal mio modo di sentire. A prescindere dai meriti accademici, professionali e personali che le riconosco in questo lavoro e in questo percorso, ma di cui non è possibile lasciare un’esauriente traccia scritta, grazie a lei ho trovato la forza di seguire le mie passioni nonostante tutto, la forza di affrontare i sacrifici necessari alla realizzazione dei propri sogni; sotto la sua illuminata guida ho avuto modo di andare sempre avanti in questi anni, anche nei momenti di maggior timore e disorientamento.

Al Professore Formisano, docente fuori da ogni schema che mi ha insegnato ad andare oltre le apparenze e le convenzioni puntando sempre ad essere diretti e concreti, portandomi a maturare un senso puramente ingegneristico di approccio alla vita di tutti i giorni. Grazie a lei ho potuto scoprire la bellezza della progettazione strutturale, dei fenomeni alla base dell'esistenza materiale di tutto ciò che ci circonda; forse sempre a causa sua ho sviluppato quel *morbo* che porta a schematizzare quasi tutto ciò che si vede in uno schema strutturale, portando alla fascinazione verso le più elementari applicazioni strutturali tradotte in casi reali. Grazie di avermi insegnato ad andare *oltre le norme* e i regolamenti, puntando a capire veramente come funzionano le cose prima di difendere un qualunque intervento.

Al Professore Maglio, che ha dovuto sopportare i miei inviti per un caffè o altre perdizioni per decisamente troppo tempo e che mi ha fatto scoprire una serie di nuovi aspetti su Napoli di cui non avevo la minima idea: chi avrebbe detto che, a parte Cosenza e il razionalismo, a Napoli c'era una serie sterminata di opere, tradizioni, fenomeni culturali radicati nella contemporaneità? Prima del secondo anno, io no di certo. La ringrazio inoltre per le ripetute occasioni di dialogo sui temi più disparati, dalla Storia dell'Architettura alla cinematografia passando per discorsi più emotivi o suggerimenti per la mia vita in ambito accademico; sento che i suoi contributi abbiano permesso la maturazione della mia figura professionale nei suoi aspetti metodologici e di approccio, portandomi ad essere la figura globale che sento di avere in me; non posso però evitare di pensare ai nostri ripetuti confronti sul senso della vita, su ciò che ci accade e su come, alla fine di tutto, il nostro tempo sul pianeta è scandito da eventi imprevedibili e dall'assoluto dominio dell'irrazionalità. Spero di poterla importunare ancora, per invitarla ad altri caffè addolciti dal cioccolato fuso.

Al Professor Visone, che mi ha permesso di esplorare in maniera inedita gli spazi del nostro Ateneo e di scoprire parti (e storie) della città a me poco note, portandomi ad analizzare il tessuto urbano e le ragioni alla base delle scelte architettoniche nel tempo; grazie a lei ho appreso la possibilità di entrare in connessione col proprio inconscio, la propria parte irrazionale per affrontare al meglio e in maniera inedita le sfide della vita, ho imparato a mettermi in gioco e ho scoperto come utilizzare l'ansia da palcoscenico al meglio. Ho trovato in lei una figura di supporto e confronto, e apprezzerò sempre il suo punto di vista inedito e diverso, che suscita sempre in me attente riflessioni. JOLIFANTI BAMBLA!

Al Professor Amore che, quasi di nascosto, ha contribuito in maniera sostanziale nella realizzazione di questo traguardo: senza le sue consulenze tecniche, i confronti sulle fonti e sugli interventi di restauro nella nostra contemporaneità, questo lavoro che testimonia il mio passaggio ad un nuovo capitolo della mia vita non sarebbe stato completo. Grazie anche per l'atmosfera di cordialità e *gioco* nelle occasioni accademiche esterne alla vita nelle aule, per l'indicazione di un approccio pratico e concreto alle problematiche del restauro, votato alla risoluzione dei problemi delle persone che usufruiscono degli edifici senza cancellare la memoria custodita dagli edifici stessi; grazie per avermi aiutato a trovare una via, una visione in quella che per me è una delle più raffinate espressioni del fare Architettura, in cui tutto ciò che si è appreso si sintetizza e si armonizza in un'unica sinfonia di tecnica, estro, Storia, rispetto.

Alla Professoressa La Rocca, senza la quale non avrei mai potuto immaginare una città non centrata sul traffico automobilistico, un ringraziamento per l'attenzione alla sostenibilità, per le lezioni dettagliate e rivolte ad un pubblico di futuri tecnici più che di studenti, per il continuo supporto e per le molteplici occasioni di incontro fuori dalle aule per discutere di "massimi sistemi" universitari. Ho sempre apprezzato il suo approccio innovativo e sempre volto all'aggiornamento nelle lezioni, credo però che il dono più grande che abbia ricevuto da lei sia, oltre il citato approccio da tecnico che ho acquisito nel prendere decisioni, il sostegno e il lavoro di *consulenza* in ambito politico.

Al Professore Fistola, che con il suo sostegno della cultura *open source* e l'attenzione rivolta sempre ai ragazzi mi ha permesso di scoprire opportunità nuove e che ritenevo irraggiungibili. Le interrelazioni tra pianificazione urbanistica e politica mi portano a ringraziarla anche e soprattutto per i nostri incontri tra aprile e ottobre 2023, in cui ho trovato un sostegno per il mio sconforto verso l'attuale coscienza politica dei miei concittadini e uno sprono ad andare avanti, a combattere sempre per gli ideali di democrazia e giustizia in cui credo fermamente.

Alla Professoressa Batà, che mi ha mostrato il lato bello della legalità e del mondo giuridico. Il mio interesse per la giurisprudenza, come ben sa, era già vivo e motivato da una fiamma nata durante gli anni del liceo e incentrata sul combattere per la giustizia ad ogni costo in spregio a tutte le vessazioni, col fervore tipico di chi è animato da forti ideali. Grazie a lei la fiamma si è animata di nuova forza, avendo avuto modo di toccare con mano gli

strumenti di lavoro (e di vederli nella loro bellezza, spogliati di ogni sopruso che, purtroppo, spesso li avvolge nella pratica) e, nelle pause, di confrontarmi su temi di attualità, politica, economia e di vita civica da cittadino consapevole di ciò che accade intorno a sé. Il suo entusiasmo verso i miei aggiornamenti periodici, sulle notizie della mia carriera e l'attenzione critica verso le mie idee in riguardo a ciò che accade intorno a noi mi hanno permesso di coltivare una coscienza civica completa e di proseguire nella direzione *giusta*, puntando sempre a perseguire lealtà e giustizia, nonostante tutto. Diceva un saggio: *il mondo è nelle mani di coloro che hanno il coraggio di sognare e di correre il rischio di vivere i propri sogni*; la ringrazio di avermi permesso di realizzarne alcuni.

Al Professor Gugg, che mi ha fatto scoprire come la vita di ciascuno di noi sia unica e preziosa e come sia inutile, se non controproducente, tentare di recuperare il *tempo perso* nei rapporti con una città che, oggi, sento veramente mia. Grazie di avermi insegnato a conoscere meglio gli altri e, parallelamente, a conoscere meglio me stesso. Il suo corso è stato per me incredibilmente illuminante, ha sovvertito molti dei miei pensieri e mi ha portato ad interrogarmi sul senso di ogni cosa che faccio. Spero vivamente di aver assimilato al meglio la sua lezione, perché ritengo che con il suo approccio allo studio delle *alterità*, la sua attenzione verso le culture diverse da quella in cui riteniamo di identificarci e consideriamo comune, la sua trasmissione di un approccio incentrato sul rispetto degli altri in qualsiasi condizione di vita essi si trovino mi sembra di poter maturare un'attitudine progettuale rivolta verso il benessere della collettività, di tutte le persone che vivranno o esperiranno ciò che viene progettato.

Alla Professoressa Amirante, che col suo *amiranteggiare* mi ha spesso condotto in stati meditativi di assimilazione di conoscenze e attenzioni progettuali che ritengo fondanti nelle mie idee e nel mio avvicinarsi ai problemi progettuali. I suoi consigli di lettura, il suo approccio quasi filosofico all'architettura e la sua attenzione verso il *testo* mi hanno portato verso una coscienza capace di astrarre la tematica progettuale specifica e di condurla in una dimensione altra, dalla quale è possibile studiare ogni caso in maniera non banale. Non ho mai capito come sia riuscita ad unire quest'anima estremamente artistica a quella molto più logica con cui ci indicava la via nella progettazione degli spazi – particolarmente i bagni – ma sono estremamente felice del risultato: molti dei problemi apparentemente più banali (e quindi trascurati) di un progetto sono oggi per me un esercizio sempre divertente, che porta la memoria a quelle revisioni e quelle correzioni. Come ben sa il mio ringraziamento

non si esaurisce qui, come testimoniano i nostri primi contatti e il suo supporto nel mio avvicinamento al mondo della rappresentanza o i nostri caffè ad architettura e dintorni; spero però di poterla ringraziare compiutamente, nel modo che sappiamo, nel prossimo futuro.

Alla Professoressa Pascariello, che mi ha accompagnato a più riprese in questi anni assistendo alla crescita professionale di uno studente e fornendo sempre indicazioni e supporto; ricordo caramente i nostri incontri durante i sopralluoghi al centro storico e ad Ischia, le nostre telefonate sulla Storia del Disegno, le occasioni di scambio al CIRICE e alla mostra-esame di Composizione Architettonica, e la ringrazio per il suo atteggiamento quasi materno nel seguire i miei progressi e nell'incitarmi sempre ad andare avanti, a fare il prossimo passo anche nei momenti più difficili. Non so se ne ha ancora il ricordo, ma nell'unica telefonata della mia vita universitaria in cui posso dire di aver pianto davanti a un professore ho trovato l'ispirazione per recuperare le forze, rimettermi in sesto e proseguire nel mio percorso di studi, di rappresentanza, di vita.

Alla Professoressa Mele, che mi ha permesso di scoprire l'intima bellezza della progettazione strutturale di opere complesse portandomi a sviluppare l'intuito progettuale, l'istinto tipico dei più grandi ingegneri che scompongono i problemi statici in principi ed elementi più semplici che però schematizzano egregiamente il comportamento della struttura. È grazie a lei se oggi sento di avere in me la capacità di comprendere a grandi linee la realtà che si cela dietro le cose, permettendomi di comprendere anche fenomeni non legati alle applicazioni civili e edili ma che nella loro natura *ingegneristica* hanno necessariamente dei principi e dei punti comuni.

Al Professore Polverino, il cui acume e la cui filosofia di vita (*ciò che viene conviene*, disse in un nostro incontro di qualche anno fa) sono stati per me ispirazione e mantra quotidiano. Grazie a lei ho sviluppato, più che un'attenzione progettuale *tout-court* che tiene conto di tutte le problematiche di realizzazione di un manufatto, una fine attenzione politica che mi ha permesso di ricoprire al meglio il mio incarico nei consessi di cui ho fatto parte. Non dimenticherò mai i nostri incontri all'ottavo piano, in cui sento di aver avuto la possibilità di partecipare attivamente al miglioramento del Corso di Laurea cercando soluzioni innovative e inedite ai problemi che volta per volta si presentavano; spero che

queste occasioni di confronto, dialogo e insegnamento possano ripetersi ancora nel tempo, auspicando che il corso di Ingegneria Edile – Architettura acquisisca il valore che merita.

Un sentito ringraziamento va anche a chi, trovandosi sul percorso tra discenza e docenza, ha dedicato il proprio prezioso tempo per fornire degli importanti strumenti di approccio e di lavoro: ringrazio la Dr. Ing. Arch. Veronica Vitiello, il Dr. Ing. Francesco Sommesse, il Dr. Ing. Francesco Esposito, la Dr. Ing. Diana Faiella, la Dr. Ing. Arch. Emilia Meglio, la Ing. Arch. Roberta di Chicco, l'Ing. Fabrizio Ascione e tutti coloro che hanno accolto le mie domande irriverenti, la mia fame di sapere, la mia ricerca continua di forme di conoscenza più definite, magari accondiscendendo alle mie insolite modalità di miscelazione tra studio e svago. Grazie, inoltre, per avermi parallelamente spinto ad andare oltre, a dare di più: se grazie alle vostre indicazioni mi si sono fortemente ampliati gli orizzonti nell'approccio ai tipici problemi di architettura e ingegneria, con i vostri impulsi ho avuto modo di sfidare me stesso, sperimentare l'inesplorato, mettermi sempre più in gioco e scoprire appieno le mie potenzialità nel settore. Spero di poter continuare a confrontarmi con voi, con il sogno di poter un giorno contribuire attivamente alla conversazione.

Tengo a ringraziare le persone con cui ho avuto l'onore di collaborare – negli stessi consessi, o comunque nell'ottica del miglioramento del Corso – e che mi hanno trasmesso parte delle loro esperienze di vita: pur non avendo avuto l'occasione di apprendere nelle modalità più canoniche, i nostri momenti di confronto sono stati per me vitali per la mia crescita come uomo e come rappresentante; spero che questi anni di lavoro possano costituire la base per successive occasioni di dialogo, senza perdersi mai veramente di vista.

Grazie a chi mi ha permesso, insieme ai miei sodali, di vivere appieno l'università e di immergermi in essa, scoprendo passaggi e luoghi segreti, assistendo a interventi di manutenzione e sostituzione, chiacchierando in orari improbabili, ricevendo talismani ed oggetti introvabili e che ancora oggi suscitano tanta curiosità. Caro Totore, grazie di aver reso l'università il posto più bello e felice del mondo, senza di te penso che Piazzale Tecchio non sarebbe mai stata la seconda casa in cui ho vissuto.

Non posso concludere i miei ringraziamenti verso le personalità del mondo universitario senza citare il mio angelo custode, il Dott. Ciro Marino. Grazie infinite per il supporto di questi ultimi mesi, grazie per la complicità, grazie per la tolleranza verso i miei (e i nostri,

riferendomi all'associazione) eccessi nel periodo elettorale. Sento di non poter racchiudere appieno in queste poche parole tutto ciò che provo, per questo mi limiterò a citare e ricordare il nostro incontro del 21 giugno, quando mi ha permesso di passare nuovamente notti tranquille dopo due mesi di insonnia. In confronto a tutto questo, perdere un baffo o andare a cavare oro per fare una statua nell'atrio è ben poca cosa.

Vorrei ringraziare i miei docenti del liceo, protagonisti del passaggio dal ragazzino all'uomo. In particolare, terrei a ringraziare la Professoressa Moccia, che ha destato la mia passione per l'Architettura e la Storia dell'Arte consentendo, attraverso un metodo *sui generis*, di conservare una testimonianza di quelle bellissime ore di lezione e insegnandomi la disciplina, il rispetto dei tempi e delle persone che si hanno intorno e la scrittura in stampatello secondo le norme UNI (senza quest'ultimo, vitale passaggio la mia scrittura sarebbe oggi indecifrabile anche a me stesso); la Professoressa Iacomino che, col suo rigore durante le lezioni misto a atteggiamenti materni e una grande umanità fuori dai momenti di lavoro, mi ha permesso di maturare consapevolmente l'interesse verso le scienze matematiche – malgrado i miei continui errori di calcolo – ispirandomi nella ricerca di *quel che c'è dietro le cose*, nei motivi alla base dei fenomeni che caratterizzano la nostra vita; la Professoressa Bizzarro, di cui ricordo caramente le matinée di trekking verso il Liceo passate con rapidi scambi di Storia e Filosofia, che nelle sue interrogazioni di fine anno ha fatto sbocciare il mio spirito di ricerca e approfondimento definendo al contempo un'attenzione umanistica verso lo studio, portandomi a contestualizzare sempre ciò che ho davanti con i contributi di tutte le persone che mi hanno preceduto e a confrontarmi con le grandi domande sulla vita tipiche dell'adolescenza e dei primi anni dell'adulthood senza cadere in crisi esistenziali troppo ingenti: grazie a lei ho imparato a definire una rotta e a non perdere il senno anche nelle situazioni più incerte, puntando sempre all'autorealizzazione; la Professoressa de Crescenzo, che con le sue pillole di cultura e di classicismo mi ha spinto alla curiosità e alla ricerca del sapere come nutrimento per la mente, portandomi ad un'inclinazione intellettuale quasi eterea ed avulsa dai ritmi frenetici della vita quotidiana – che non amo – consentendomi di ritagliare uno spazio tutto mio in cui definire il mio andamento, perseguire i miei interessi e seguire la corrente dei pensieri; il Professore Cava, che non è ancora riuscito a sequestrarmi il telefono e che mi ha insegnato nei suoi modi di confrontarsi *da pari* con noi studenti un modo sottile di fare

politica, di veicolare messaggi e di parlare col prossimo (emblematica la storia del *pellegrino russo...*); la Professoressa Goretti, che mi ha insegnato come l'abilità e il talento senza un atteggiamento parimenti consono portano poco lontano e che mi ha permesso di scoprire la gravità del mio essere logorroico e del parlare a voce alta; il Professore Samà che, complici le interruzioni delle lezioni tra novembre e dicembre, mi ha permesso di non perdere mai la mia idea di istruzione, fondata sulla crescita personale e sul divertimento, ideali capaci di formare, oltre che lo studioso, il cittadino e l'uomo. Ringrazio tutti gli altri docenti, membri del personale tecnico-amministrativo e A.T.A. che, in modalità e occasioni troppo disparate da poter elencare in queste pagine, hanno contribuito a realizzare l'uomo che cinque anni fa si è affacciato in questo mondo nuovo e che oggi, dopo numerosi altri cambiamenti, si vede sulla cima del promontorio della propria giovinezza e guarda il paesaggio che ha davanti, le strade che si aprono nel futuro e le possibilità che attendono di essere realizzate. Se alla fine del liceo mi sentivo protagonista di una nota opera di Caspar David Friedrich, oggi sento che la nebbia si è in buona parte diradata; forse il paesaggio è meno scenico di quel che era quando era avvolto da un'aura di mistero, ma sento grazie a voi nuova sicurezza nell'affrontare l'ignoto che attende.

Un grandissimo grazie a tutti quelli che, avendo visto un uomo senza baffi e con degli occhiali rettangolari argentati, hanno scelto di accompagnare la mia vita in università, di condividere esperienze, di sopportare insieme tutte le peripezie, di affrontare ogni giorno l'avventura su cui oggi, con una punta d'agrodolce, vedo calare il sipario.

Ai miei ragazzi, colleghi, amici IEAR: ci siamo conosciuti in momenti diversi del percorso, abbiamo intersecato diverse storie di vita e diverse conoscenze per creare sempre qualcosa di bello. Abbiamo vissuto viaggi insieme, siamo stati in gruppo, avete sopportato i miei scantonamenti, la mia pigrizia e tanti altri difetti e siete sempre stati il mio porto sicuro, la mia certezza tra le mura di Piazzale Tecchio. Con voi ho condiviso la malsana abitudine di toccare i muri, di emozionarmi per le pareti-lavagna del cortile, di innamorarmi davanti a video di cantieri e di autogru, di inveire contro gli orari e posti improponibili delle nostre avventure fuoriporta e di concludere le stesse con un caffè, una birra e un sentimento unico di appagamento. Spero di avere la possibilità di assistere alle vostre carriere e a condividere con voi i successi e la gloria che ci aspetta, spero di poter collaborare e litigare ancora per

mille altri progetti (chissà, magari retribuiti) e spero che l'unione maturata in questi anni non si affievolisca mai.

Cara Annaré, ci siamo conosciuti nell'unico giorno di tutti e cinque gli anni in cui nessuno dei due ha fatto tardi a lezione. Quel faticoso giorno in cui ci anticipammo di tre ore, avendo ritardato di tre giorni, ho sentito nascere l'intesa che ci ha accompagnati in questi cinque anni, portandoci a sapere sempre cosa pensa l'altro e a spalleggiarci sempre. Sono estremamente felice di averti al mio fianco in ogni battaglia, di aver condiviso con te tutte – ma proprio tutte – le avventure di questi anni, di averti avuta come mia confidente, come mia coscienza e come contrappeso ai miei accessi di follia, delle nostre serate ai giardinetti di via Andrea d'Isernia o seduti sulle scalette a parlare della vita e del tempo che scorre, di aver mangiato caprese e patate al forno per pranzo, preso toast dopo visite a serbatoi, di aver realizzato un culto esoterico verso un cubetto di calcestruzzo e molte, molte altre cose che sappiamo. Spero di aver acquisito almeno un po' della tua testardaggine, del tuo essere sempre diretta in ogni cosa che fai; sei una persona meravigliosa, la cui compagnia mi ha permesso di evitare di impazzire in questo folle e bellissimo manicomio. Non vedo l'ora di condividere almeno i prossimi trentatré anni, in attesa di costruire una casa azzurra e una rosa su due isole private vicine tra loro, magari nell'Egeo.

È estremamente difficile ringraziare l'ottima Sandra Tosi senza cercare di prenderla in giro, soprattutto a seguito di un rapporto solidamente fondato sul battibeccare in maniera infantile e accorata anche sullo spostamento di 2 cm di una porta. Ricorderò sempre la nostra prima grande disputa sull'albero che doveva assolutamente attraversare due solai, sulle scale non a norma, sulla piscina a forma di gocciola e il percorso museale della nostra villetta per un artista; ancor di più però ho nel cuore una persona che, con le sue idee così diverse dalle mie, ha permesso la realizzazione di piccoli capolavori architettonici, in cui ogni aspetto viene trattato attentamente e in cui il risultato ha sempre superato le più rosee aspettative. Siamo un grande duo, spero che continueremo ad esserlo e ti ringrazio di esser sempre stata la *cacacazza* che sei, senza perdere mai la tua autenticità. Non so se voglio dilungarmi anche in ciò che ho trovato in te fuori dalle aule, sul piano umano: va a finire che ti senti troppo trionfante e orgogliosa e vieni a rinfacciarmi le parole dolci che uso per poi correggermi tutti i termini a tuo avviso *indecenti*... L'occasione di litigare anche su questo però, tutto sommato, mi tenta. Sono felice del fatto che, quando non dovevamo

realizzare progetti o rispettare consegne, ho trovato in te un'intima amica, un riferimento sempre affettuoso e volto alla mutua crescita, un sostegno nei momenti più duri. Avrei tanto voluto poter passare più tempo insieme e vedere quando saremmo definitivamente impazziti per questo rapporto altalenante, in cui è sempre tutto o estremamente rilassante, carino, dolce e armonico o... lo sai. Ti voglio bene Sandrato', spero di poter continuare a viaggiare con te sulle ali di questa strana amicizia.

Al mio socio Pasqual8, persona di rara classe e cultura, un grande grazie per la sua pazienza infinita e la sua capacità di accettare sempre tutto e andare avanti, di seguire sempre i suoi principi in *barba* a qualsiasi regola o convenzione stabilita. Non so come hai fatto a restare sempre calmo e imperturbabile, anche e soprattutto nei miei confronti; grazie di aver portato in questi anni una stabilità e un senso a tutto, grazie a te ho trovato una calma e una tranquillità anche nei momenti più insoliti di questo viaggio. La tua raffinatezza culturale è seconda solo a quella progettuale; spero di poter un giorno essere ospite di una delle tue opere (e di poterla postare su Instagram). MO' FACIMM' PAUSA BOMBOLON'!

Al geometra Lettieri, che di geometra per quanto mi riguarda ha ben poco. Poeta e artista prestato alle applicazioni edili, ho scoperto in te una persona totalmente irrazionale volta alla ricerca di un senso e di una razionalità che mi ha aiutato a scoprire la praticità di quel che progettavamo e la filosofia che si nasconde in ogni cosa. Forse un po' da Bukowski, hai portato una nuova e importante luce sulla mia vita in università. Grazie anche per le volate di drone, il cazzeggio e gli esaurimenti nervosi condivisi, urlando e correndo via dalle aule. Certe esperienze traumatiche, se non condivise, non sono divertenti. È UNA VERGOGNA!

A Giorgia, mia metà nel *mito di Ariante e Polidoro*, che ho sempre apprezzato per la schiettezza e sfrontatezza in ogni singola situazione. Sei per me un riferimento e un modello da seguire, il tuo stile di vita mi ha permesso di capire come molte delle preoccupazioni che ci affliggono giorno per giorno siano inutili. Mi dispiace molto che ci siamo scoperti ottimi compagni di gruppo solo in quest'ultimo anno, ma confido che questa sia la base per un'amicizia e una collaborazione florida tra ingegneria e architettura: il nostro percorso, malgrado le differenze, è parallelo, siamo animati dalle stesse passioni e dallo stesso fuoco, e mi auguro di poter continuare ad alimentare questa fiamma negli anni, guardando indietro a quello appena passato come l'inizio di un percorso lungo e duraturo.

Magari, idealmente, senza chiese sperdute e sconosciute (ma anche conosciute!) di mezzo. Grazie, inoltre, per la fiducia: spesso, come abbiamo avuto modo di scoprire, bisogna compiere delle azioni un po' strane, magari anche apparentemente controproducenti; avere al proprio fianco qualcuno che comprende come tutto nasconda sempre dietro un'idea strategica è vitale per poter veramente portare un miglioramento alla situazione, e per uscirne quasi illesi. Spero che questa nostra complicità possa proseguire, magari senza eventi simili a quelli che l'hanno determinata.

A Donny, persona di cui ho visto la crescita in tutti questi anni e di cui ho sempre apprezzato lo stile e l'attenzione architettonica, impareggiabili. Sono felice di aver potuto trovare occasione di confrontare le nostre idee progettuali, di imparare dal tuo stile (non solo progettuale, sei un modello anche di abbigliamento!) e di aver condiviso con te anche le nostre anime più terrene e semplici, che vedono massima felicità in una porchetta alla brace accarezzati da un vento estivo in mezzo alla campagna. Non vedo l'ora di vedere dove ci porta quest'avventura, e spero di poter vivere con te le esperienze dei prossimi anni.

Ad Ari: con la tua espressione sempre accigliata mi hai portato inizialmente a pensare a te come una persona cattivissima di cui aver paura; il tuo sorriso mi ha fatto scoprire la persona di buon cuore che sei. Sono pochi gli episodi che ci hanno visti insieme, ma sono stati tutti estremamente intensi – particolarmente quello che ha coinvolto una volante della municipale, senza dimenticare un bellissimo pranzo con “sorpresa” finale sul conto – e li annovero tra i più bei ricordi di questo periodo trascorso insieme. Le avventure delle zie hanno sempre allietato il mio percorso, e spero di poter continuare a vivere questi momenti, tra una tartare, un calice di vino e un buon *inciucio*.

A Giulia, grazie per lo stile haute couture, la passione per i gatti, il sonno perenne e le dormite condivise in aula, la classe, le esperienze insieme – come dimenticare l'escursione a Ischia a notte fonda tra buio, fulmini e saette e fantasmagoriche sostanze psicotrope in corpo e la cena che ne è seguita – e soprattutto le sessioni di *inciucio* davanti a una tazzina di caffè (o una tazza di spritz). La nostra amicizia è nata subito e non ha fatto che crescere, come la mia stima nei tuoi confronti. Il tuo modo di pensare e progettare mi fa pensare a Zaha e Odile; ti ringrazio per avermi insegnato a seguire i miei sogni e a credere sempre nel futuro e nel grande piano delle cose, sorridendo davanti ai piccoli incidenti di percorso.

A Caterina, che in questi ultimi mesi si è rivelata una preziosissima risorsa per evitare di perdere definitivamente il cervello. Grazie per aver sempre portato il sorriso e la positività, anche quando non sembrava esserci nulla di cui ridere; grazie di aver mitigato la mia impulsività e emotività nei momenti di smarrimento, grazie di esserci stata in quest'ultimo periodo, che abbiamo affrontato insieme, compatti. È proprio vero: sono le situazioni di elevato stress a cementare le più solide alleanze; sono felice che la nostra recente esperienza ci abbia permesso di scoprirci.

A Sabrina, senza la quale questo corso probabilmente sarebbe crollato. Le tue abilità organizzative, la tua presenza a te stessa, la tua prontezza nel calcolo, nella definizione di date e nella pianificazione hanno permesso a Edile-Architettura di andare avanti, di progredire e di evolvere in quel che è diventato oggi. Non so se son riuscito a imparare qualcosa da te, in quanto sento ancora di essere un grandissimo *scombinato*, ma ti ringrazio di avermi mostrato la via delle persone organizzate. Se ci fossero più persone come te il mondo sarebbe un posto migliore e più funzionante, spero che queste tue abilità applicate all'ingegneria possano ispirare gli altri almeno quanto hanno ispirato me.

Ad Alessio, Stefania, Carmela, Caterina C, Annalisa (tranne per il tuo cognome che mi ha sempre fatto confondere negli appelli), Manuela, Rossana, Valeria, Marco, Carlo, Emilio, Fabiana, Federica, Ivan, Maria, Mariateresa. Siete la ciurma di questa grande barca in cui ci siamo trovati dentro per tutti questi anni, che oggi è per me in fase di attracco. A causa vostra non ho la minima voglia di lasciare questo timone, ma sono felice e commosso di questa tristezza: significa che in questi anni passati insieme ho trovato una piccola famiglia, un gruppo compatto in cui credere e a cui affidare tutto me stesso. Come ho anticipato, non vedo l'ora di rivederci negli anni che ci aspettano, con i nostri sogni realizzati e con tanti altri ricordi da condividere.

Grazie Vica, Francesca, Marti, Marghe, Carmencita, Dina, Marzia e tutte le mie matricoline preferite; siete state le prime a vedermi come riferimento, la mia prima esperienza di insegnamento in aula, le prime persone con cui ho vissuto i sopralluoghi con un altro occhio. Ho molto apprezzato il tempo passato insieme in cui ho finto di far parte del vostro anno, al punto che in più momenti ho pensato: “perché non son nato dopo?”. Siete un gruppo fantastico e unito, e sono molto felice di avervi conosciuti: incarnate perfettamente lo spirito che sognavo per Edile – Architettura, siete un faro.

Ad Eva, Giorgia, Anna, Alex, Alessandro, Letizia, Viviana, Cami. Grazie per i confronti, la stima, i momenti passati insieme tra e dopo le lezioni (tra cui un'incursione a Tecnica delle Costruzioni, momenti di... relax psicotropo nel cortile, caffè insieme, momenti di confronto e consulenza...). Spero di esser stato una guida e un riferimento almeno quanto lo siete stati voi per me, negli aspetti emotivi come in quelli progettuali, organizzativi e di rappresentanza, e spero che possiate portare in alto il nome di Edile – Architettura negli anni a venire.

Ai referenti IEAR, che mi hanno accompagnato nel miglioramento del corso e nella ricerca di innovazioni. Senza di voi non penso avremmo potuto portare cambiamenti così epocali e passare da un corso sconosciuto e bistrattato ad uno di quelli di maggior rilievo del dipartimento. Spero che questo piccolo gruppo possa continuare a ispirare e tracciare la rotta per il miglioramento. Grazie Eugenio, Antonio G. R., Giorgio, Anna, Gigi, Martina, Margherita, Samantha, Giulia, Alessandro, Alex, Delia, Benedetta, e *ad maiora!*

Ad ASSI ingegneria, che mi ha accolto impaurito nelle sue stanze e mi ha cresciuto e accompagnato fino ai *piani alti* dell'associazione e dell'Università. Nella vecchia ASSI ho trovato maestri, colleghi con cui confrontarmi e una meravigliosa palestra politica in cui ho imparato quasi tutto quel che so e applico oggi nella vita. Nella nuova, ho trovato una famiglia con cui condividere le vittorie, imparare dalle sconfitte e crescere, insieme (no, non ASSIeme). In questi ultimi anni ho appreso sempre più cosa significa convivere con il peso delle responsabilità, con il dover definire linee di indirizzo e una rotta da seguire nell'ignoto, con persone che dipendono e si affidano ad una guida. Non avrei mai pensato di sentirmi contemporaneamente uno dei "piccoli" e dover indicare la via in momenti difficili, ma la fiducia che ho sentito riposta in me mi ha sempre spinto a fare meglio, per noi e per gli studenti di cui siamo il riferimento. Ringrazio quelle quattro mura e i suoi occupanti, che sento come miei familiari, che mi hanno portato ad essere quel che sono oggi. Senza di voi sarei ancora uno studentello impaurito in balia della burocrazia, non sarei in grado di orientarmi nelle situazioni più complesse e non avrei potuto condividere nessun successo, nessuna bella esperienza nello stesso modo con cui mi son ritrovato a vivere questi momenti insieme. ASSI non è un hobby, è una vocazione, ma sa diventare una delle porzioni più importanti, felici e dense della propria vita. Grazie di avermi

permesso di congiungermi con voi e di crescere insieme (no, non ASSIeme), non vedo l'ora di vedere questo spirito crescere e maturare e gioire, anche se da lontano e in silenzio; non vedo l'ora di festeggiare in disparte per i vostri, i nostri futuri successi. Caro associato (no, non ASSIociato), ovunque e chiunque tu sia sappi che sempre e per sempre, dalla stessa parte, mi troverai. P.S: quel che ho sempre detto in queste quattro mura è vero: ASSI è e sarà sempre una seconda casa in cui, cercando bene tra gli scaffali, leggendo le scritte sui muri ed esplorando bene ogni angolo, si trovano tanti piccoli tesori... non ultimo un testo per me utilissimo nella redazione di questa tesi, che non riesco a trovare né nelle biblioteche dell'Università né su internet... Ho detto tutto!

Un grandissimo ringraziamento a Mirko e Adriano, che mi hanno accolto e cresciuto in questo mondo, formando la figura politica che sono oggi. Siete la matrice dei miei successi, delle mie strategie, delle mie competenze e, di conseguenza, del bene che ho portato in questa associazione e in questo Ateneo. Sono felice e soddisfatto della persona che son diventato, e per questi aspetti devo ringraziare soprattutto voi.

Grazie anche a Fluvio e Machi, mia prima interfaccia di confronto e crescita. Il vostro punto di vista, il vostro incitarmi a fare sempre di più mi ha portato a conseguire risultati ben oltre le aspettative di chiunque. Dopotutto, *nessuno conosce le proprie possibilità finché non le mette alla prova*; grazie di avermi permesso di farlo.

Caro Peppe, la nostra strada si è intrecciata in uno dei modi più strani e insoliti della mia vita. Pur “rimpiangendolo”, devo ammettere che apprezzo moltissimo le nostre similitudini e ancor di più le nostre differenze. Sei la visione strategica per la mia tattica, la ragione che incanala i miei impeti passionali, la fredda analiticità che bilancia il mio approccio emotivo e da testa calda. In te ho scoperto una sorta di fratello maggiore, un pari che è anche guida e riferimento e una delle poche persone al mondo che è in grado di apprezzare e criticare con raro acume le mie posizioni, a prescindere dall'argomento. Spero che questo curioso sodalizio possa consolidarsi nel tempo, portandoci a realizzare i nostri sogni condivisi e a continuare insieme a godere del dono della vita, tra un Macallan's 12 anni, una sera a teatro e una notte accompagnata da una panchina e una Peroni in mano. Non credo esista altra persona al mondo in grado di condividere così tanto, e credo che questo sia uno dei più grandi regali di questo quinquennio.

Grazie Giulia per i tuoi LALALALALLA, i reel, la techno, lo stile, le uscite insieme a festeggiare. Il tuo spirito, festaiolo da una parte e da mamma apprensiva dall'altra, ha definito in più momenti la linea tra equilibrio e sregolatezza. Non vedo l'ora di impazzire ancora con te (dalle 18.30 in poi) e di partecipare ad altre pazze feste, soprattutto per i momenti condivisi sulla fida auto blu *chiattilla*.

Caro Albe, sei sempre stato in cuor mio uno dei *riferimenti* della vecchia guardia, una figura di riferimento verso cui ho sempre nutrito grande rispetto. Crescendo, ho trovato un amico con cui festeggiare, con cui sparare a palla eurobeat, con cui correre per le strade a notte fonda, con cui parlare di fotografia, motori, abusivismo edilizio e Budapest. Sei diventato rapidamente una delle persone che ho più care, e sono felice di aver avuto la possibilità di incontrarti e di ricevere i tuoi preziosi consigli; non vedo l'ora di continuare a parlare con te e confrontarci sui rispettivi piani.

A Cate, la mia *compagna Stakanov*, ispirazione nei momenti in cui credevo di essermi perso. Saper di star condividendo con qualcuno i ritmi frenetici, la corsa e lo studio costante da bilanciare con la rappresentanza e vederti sempre col sorriso a portar gioia alle persone che ti circondano mi ha infuso speranza, portandomi ad andare sempre avanti, ad andare oltre.

A Benni con la i, la cui allegria costante e il dispotismo ecologista sono stati sempre per me motivo di allegria e gioia. Grazie di aver portato sempre un po' di colore anche nelle faccende più serie e di aver permesso a questa associazione di crescere in armonia e allegria (e in ordine, malgrado i miei attentati).

Grazie, Andre. Qualcuno una volta mi disse: “*Ah, conosci Andrea, sai che secondo me vi somigliate? Siete entrambi un po' irriverenti, ma lottate sempre per migliorare il vostro corso col sorriso stampato in faccia, con allegria e la battuta sempre pronta*”; credo che questa affermazione ci sintetizzi più che bene. Apprezzo di aver avuto la possibilità di crescere al tuo fianco, con il tuo supporto e il tuo continuo approfondimento sul lato tecnico e manageriale della rappresentanza sento di aver avuto la possibilità di cogliere e portare a risultato tutte le opportunità che ci siamo trovati davanti.

Grazie, Nico, per le nostre chiacchierate a metà tra organizzazioni di stampo mafioso, olive, offshore, consulenze tecniche ingegneristiche e chi più ne ha più ne metta. La tua faccia da talebano, da minatore tolkienano, nasconde un grande cuore e una delle persone

con la maggior integrità che conosco. Grazie alla tua stabilità, ho avuto modo di riflesso di acquisire anch'io una maggior unità e concretezza in ciò che faccio.

Cara Robs, la tua gioia pervadente è seconda solo alla tua abilità persuasiva e alla tua testardaggine. La tua energia e la tua personalità verace, così lontane dalla mia, mi hanno portato ad adottare un punto di vista differente, ad affrontare le cose *di petto* e a *sfondare di mazzate* (figurative) tutti quelli che fanno ingiustizie. Sei per me un modello di comunione tra eleganza e impulsività, e ti stimo per il tuo essere sempre diretta e chiara. Non vedo l'ora di prenderci altre birre insieme.

Raffi, Raffi, Raffi. La nostra storia è una di quelle da raccontare dopo tanti anni con occhi velati e leggerezza nel cuore. Ci siamo incontrati in un momento di instabilità di entrambi e, come un arco, da due debolezze abbiamo creato una fortezza (per dirlo con le parole di Leonardo). Sono felice di sapere di potermi confrontare con te di tutto senza filtri, di poter condividere le nostre profonde visioni di vita e i nostri dubbi esistenziali, di poter chiacchierare fino a notte fonda di qualsiasi cosa. Come una cometa, il nostro rapporto è comparso dal nulla ed è cresciuto esponenzialmente, spero di poter continuare a brillare con te e condividere i nostri momenti.

A Camiu, con cui ho condiviso i valori della vita *naturale* all'insegna del buon vino e delle occasioni di convivialità. Abbiamo un'amicizia genuina, trasparente, semplice e tranquilla, e sono felice di sapere che continueremo sempre ad essere così. Abbiamo condiviso momenti molto carini e sempre *sobri* e conviviali, grazie a te ho sempre trovato modo di entrare in contatto col mio lato più genuino e autentico, malgrado le esigenze della vita mondana e politica. Grazie di avermi permesso di staccare dall'essere Riccardo Maria Polidoro – rappresentante degli studenti in seno a questo e quell'altro consiglio, studente di questo, quell'altro e tutto il resto – per essere, semplicemente, Riccardo.

A Sveva, mia musa e riferimento quando le discussioni politiche si animavano troppo o il clima in associazione era troppo teso. Sono felice di aver potuto sfogare con te le mie crisi e di aver trovato una spalla cui affidarsi nei momenti di necessità. Sei un raggio di sole e illumini tutte le persone che incontri, sono estremamente grato di averti incontrata.

Un altro grande geometra ha pervaso questa mia vita accademica: l'irriverente Rocco, la cui colonna sonora è *Lady* di Modjo e il cui personaggio di riferimento è Patrick Bateman. Il tuo essere uscito praticamente da un film, il tuo credere sempre nella giustizia e nei sacri

valori dell'edilizia del casertano mi hanno fatto trovare una figura di confronto, uno specchio in cui accedere ai miei lati più nascosti e folli. Grazie di aver condiviso con me i tuoi progetti e lavori, di avermi permesso di dire la mia e di confrontarci su questioni edili applicative durante i miei studi. Peccato tu ti sia iscritto a Biomedica, amico mio.

A HECTOR/Paolo, Nico, Giovanni, Anita, Rossana, Irene, Alberto, Matteo, Celeste, Ciro, Davide, Federica, Kekko, Flavio, Francesca, Francesco D. L., Gianluca, Giusy, Luciana, Lux, Marco, Maria, Michela, Paola, Pasquale, Salvatore, Sergio, Sveva, Tizio e tutti gli altri associati che son entrati – mio e loro malgrado – a far parte della mia sfera di amicizie, di rapporti che vanno oltre la semplice colleganza. Siete famiglia, sono felice di aver vissuto con voi questi anni, di aver assaggiato i vostri manicaretti, di aver riso e sorriso insieme e di aver condiviso i consigli, le elezioni. Abbiamo traghettato questa bagnarola in nuovi mari ed esplorato nuovi orizzonti; custodirò questi anni insieme per sempre.

Ai BAFFI DEL DISTCEA, il mio squadrone di esecuzione: non credevo possibile creare una squadra compatta e unita che persegue innanzitutto il benessere degli studenti; oggi scopro di aver trovato in voi amici con cui condividere le esperienze della vita. Cari Antonio A., Antonio P. R., ACIAT (sempre sia lodato!), Ferruccio o' guaglione ro Nord (che ringrazio anche per le delizie scozzesi, per la cultura pianistica e musicale, per le scappatelle cantieristiche, per i viaggi della speranza, per la consulenza perfetta sul TPL e per la goliardica amicizia che ci ha riuniti sotto il regime dirigista), Bea, Francesca, Gaia, Gio, Giusjay (scusa, dovevo), Guido, Lux (maledetta umbertina, che però rispetto e stimo), Maria, Sergio il traditore, Antonio A, vi ringrazio di aver condiviso con me quest'ultimo, speciale anno. In molti di voi vedo il germe del futuro del DISTCEA, la base della prossima generazione di eroi che si battono per gli studenti. Non vedo l'ora di vedere quel che succederà.

Alle mie due spice girls, Anna e Franci, con cui ho condiviso dal giorno zero quest'avventura e con cui ho affrontato l'organizzazione di un'elezione. Questo trio ha fatto faville, vi ringrazio per la costante fiducia e per la razionalità con cui mi avete rimesso in carreggiata quando stavo deragliando. Mi avete infuso di speranza, voglia di fare e responsabilità, e vi ringrazio per aver condiviso con me questo periodo.

Cara roscia, grazie di aver condiviso con me i tuoi pensieri per il futuro, di esserti confidata con me a più riprese sulle scale antincendio e di tutti i momenti in cui, lontano dai riflettori,

ci siamo parlati faccia a faccia di tutto. Sei una preziosa compagna e amica, e spero che i tuoi progetti possano realizzarsi al meglio.

Grazie, inoltre, a chi mi ha fatto capire quanto sia importante la diagonale del quadrato, cosa che per me era totalmente scontata. Cara Lux, maledetta impertinente, ogni capriccio un riccio, sporca umbertina e molto altro, grazie per le nostre pause in cui ritrovavo *il genio* di fare le cose, grazie delle nostre chiamate in cui mi obbligavi a ripetere SdC per capire un attimo cosa stessi facendo, grazie per il supporto psicologico e per aver scelto anche tu di affidarti un po' a me: la reciprocità è la base fondamentale di ogni buon rapporto, come le forze interne ad aste inclinate di 45° in una trave reticolare in equilibrio.

Ringrazio anche il gruppo che non esiste, la *Cantera*, i cui membri, essendo immaginari e inesistenti (pavoni alati, comici milanesi-giuglianesi, ex vicepresidenti appassionati di piante e gatti, di strutturisti, ambientali, civili, edili e non solo), mi hanno permesso di perdere completamente il cervello, di mangiare pizze, di giocare a gartic phone, di ubriacarmi e bruciare neuroni. Grazie per i bei momenti passati insieme, per le serate di gioco e per l'esser partiti e cresciuti, da una piccola combriccola di otto anime, a un gruppo di... persone che in realtà non esistono e che quindi non ha senso contare. A quando la prossima pizza?

Infine, al mio amato settore Didattica: spero di avervi trasmesso al meglio quel che ho imparato e capito in questi anni, di avervi passato un modo di fare rappresentanza che possa esservi utile nel vostro lavoro e nella vostra vita, di non avervi fatto pesare troppo le attività di settore e di avervi fornito tutti gli strumenti per poter progredire al meglio nelle vostre carriere. Sono fiero e orgoglioso di quel che siete diventati, dei ragionamenti politici condivisi con alcuni di voi e della maturità che avete raggiunto. Sono ancora più felice di aver imparato da voi, di aver costruito insieme il cuore pulsante della vita rappresentativa dell'associazione, di aver messo sul tavolo una struttura su cui poter costruire e realizzare progetti sempre più ambiziosi. Ringraziarvi singolarmente mi è difficile (perché mi stanno venendo le lacrime agli occhi mentre scrivo, ma questa parentesi non la leggerò), grazie di aver riposto la vostra fiducia in me, di avermi sorretto nei momenti di difficoltà e di aver lavorato sempre in armonia, come un unico organismo compatto. Spero solo di non esser stato troppo rigido nei momenti di crisi; non vedo l'ora di vedervi crescere. Grazie Alberto, Alessandra, Antonio, Benni, Giulia, Cami, Daniele *bella topolona*, Daria, Davide,

Delia, Franci, Luciana, Mariagiovanna, Massimiliano, Matteo, Mattia, Nicolas, Paolo, Robs. Vi auguro che le esperienze maturate qui vi siano utili nella carriera e nella vita.

Mentre scrivo sto notando che quando si cammina in un percorso “quinquennale”, le persone da ringraziare diventano veramente tante. La necessità di un ordine logico mi ha suggerito un’organizzazione a cascata, che vede in quest’ultima porzione le persone che, nel mondo universitario e non, hanno occupato un ruolo più o meno importante in questi anni. Ognuno nel proprio piccolo, anche senza incontri assidui, avete portato la vostra essenza negli anni universitari e mi avete donato la vostra forza e il vostro punto di vista, contribuendo a formare la persona che oggi sono.

Vorrei innanzitutto ringraziare la persona che mi ha accompagnato, mi ha tenuto per mano per la quasi totalità di questo percorso. Dal giorno del test di ingresso al terzo anno, e dal quarto fino ad oggi sei stata un supporto, una confidente, un porto sicuro in cui trovare sempre, a prescindere dalle nostre alterne vicende, un punto fermo, un riferimento, un’ancora in cui poter lasciare tutto il mondo fuori e trovare la propria pace. Ci conosciamo da quando non eravamo altro che preadolescenti con grandi sogni e ideali, impegnati sul territorio e pronti a cambiare tutto quello che non va. Abbiamo visto nascere e crescere un collettivo e un giornale studentesco, abbiamo mobilitato gli animi, partecipato a manifestazioni, siamo cresciuti insieme e nel tempo abbiamo imparato a conoscerci e sviluppare un’intesa unica e irripetibile. Siamo diventati adulti, ma abbiamo stranamente conservato i sogni e gli ideali, abbiamo continuato a lavorare per la giustizia, abbiamo esplorato e scoperto nuovi luoghi insieme e ci siamo supportati sempre a vicenda nei momenti di maggiore incertezza. Grazie di avermi sempre offerto la tua spalla (anche quando, ciecamente, la rifiutavo in malo modo), di aver sempre condiviso con me le tue visioni, i tuoi progetti e le tue idee sui miei, grazie di esser stata la mia coscienza quando la mia testa smetteva di funzionare, grazie di avermi sempre rassicurato quando mi sentivo perso, grazie di avermi mostrato la tua creatività e di esserti aperta a me, di avermi accolto con tutti i miei difetti. Cara Giupis, senza di te credo che questi ultimi dieci anni sarebbero stati molto più grigi, molto meno emozionanti. Certe unioni, quale che sia la loro connotazione, hanno un valore unico e indissolubile, e son convinto che la nostra è una di queste. Spero che, a prescindere da tutto, non ci perdiamo mai di vista, continuando a conservare il rapporto e l’intesa che abbiamo; non vedo l’ora di continuare questa breve vita con te al mio fianco e di condividere con te le gioie, i dolori, i successi, i fallimenti e

tutte le altre esperienze di vita con lo stesso spirito con cui ci siamo conosciuti e su cui abbiamo continuato a costruire ciò che abbiamo.

Caro Alfonsino pane e vino, sono felice di aver condiviso con te la stessa spiaggia con mare diverso dell'università. I nostri caffettini, memori di quelli liceali, degli aeroplanini di carta coi nostri numeri di telefono lanciati verso le dolci donzelle del Pagano-Bernini, dei momenti di follie, note disciplinari e compiti in classe copiati, sono stati dei piccoli momenti di pausa e relax e di consolidamento della nostra preziosa amicizia. Grazie di essere *jufenstail* come sei, non vedo l'ora di proseguire nei nostri percorsi dadaisti e di creare tante cose belle. Sei la raffinatezza di Michelangelo Buonarroti.

Caro Tony-sorb, generale dell'esercito del frutto dell'esistenza. La nostra solida unione basata sul limone quadrupede si è sviluppata in una delle amicizie più belle e autentiche che ho. Grazie di tutte le cavolate che abbiamo fatto, dei crimini di guerra, delle avventure in giro per l'Europa, del supporto durante la maturità e in tutti i passaggi della vita.

“Giochi a Minecraft?”. Chi avrebbe detto che questa frase, in terza media, avrebbe portato a un'amicizia duratura come la nostra, caro Serio il sergio. Grazie di aver creato la lore di uno dei problemi spaziotemporali più intricati dell'universo, di esserci sempre stato e di esser cresciuto insieme a me. Avere amici come te fa comprendere a pieno il valore stesso dell'amicizia.

A Luxor, genio matematico, compagno anti-impazzimento e co-ideatore del babà a massa negativa. Il nostro essere due *sfrantummati* e disorganizzati ha visto curiosi fenomeni di sinergia nello studio di materie comuni e di ingegneria applicata alle batterie nella realizzazione di progetti di falegnameria avanzata. Purtroppo, siamo due disorganizzati idioti per cui non ci vediamo mai, ma ti voglio un bene dell'anima e son felice di avere una di quelle amicizie in cui, nonostante il tempo, sembra non esser passato neanche un secondo.

A Leo, ex commilitone di karate diventato fratello acquisito e futuro medico, un ringraziamento speciale: grazie di non avermi mai lasciato, di non avermi mai fatto sentire giù, di non avermi scorrazzato qua e là per poi abbandonarmi. Grazie di non avermi mai fatto piangere, grazie di non avermi mai detto addio, grazie di non avermi mai mentito per poi ferirmi. Sappi che questo ringraziamento va tradotto in inglese e letto in chiave musicale.

A Simo, il *Leonardo di Caprio della Federico II*, mio maestro, mentore e amico: grazie per avermi assistito nei miei progetti, avermi aiutato nella delineazione delle linee (lol) strategiche e nella creazione di qualcosa di bello. Il tuo inguaribile ottimismo e il tuo essere una persona di rara raffinatezza, insieme alla nostra intesa – particolarmente per quanto riguarda le battute sconce – ci ha permesso di costruire nel tempo qualcosa di *veramente* bello, solido e duraturo. Spero che, oltre ai nostri obiettivi e progetti comuni, avremo la possibilità di continuare a perdere tempo quando non dovremmo, a furia di fare battute e discorsi divertenti e interessanti, tra un panino di Puok e una coca-cola consumati in luoghi inopportuni per le nostre conversazioni.

A Tommaso, tecnico, modellista strutturale e mio contrappeso negli accessi architettonico-urbanistici. Grazie di aver creduto in me e nelle mie idee strane di schemi strutturali, di aver tradotto in realtà i concetti immaginati, di avermi seguito per consentirmi di maturare consapevolezza strutturale... Grazie per avermi condiviso informazioni preziose di uno spaccato di vita per certi (pochi) versi simile al mio, grazie di avermi spinto a seguire la mia anima anche strutturale, evitando di farmi perdere l'equilibrio tra ingegneria e architettura. Sei un grande amico, sarai un grande tecnico. Chill uomo, a botta di 8 penso di aver fatto grazie a te uno spiegone a buffo che non ci dimenticheremo mai. Michiamojennifer o morte. Sesso e purtuall'. Non ti ringrazio per il bullismo.

A Mike, grazie di esserti assunto la colpa delle rapine che abbiamo fatto con Tommo; grazie per i caffè offerti, per esserti subito le mie modifiche artistiche al tuo desktop, per i momenti di confronto su questa gabbia di matti in cui ci siamo trovati e per il costante supporto nel sopportare quel porcellaneo di un Tommaso. Spero per te di non vederti nel mondo delle strutture, perché quando lavori tutto assorto viene troppo la voglia di scombinarti tutti i piani, è più forte di me.

A Marietta da Casoria, la mia bibliofila/filologa/... preferita. Grazie per il supporto e la guida bibliografica, per le chiamate di studio, per le chiacchierate culturali ed esistenzialiste, per i confronti politici da opposizione nel Consiglio degli Studenti... Grazie, anche e soprattutto, per le preziose indicazioni su come orientarsi nel misterioso mondo delle biblioteche: senza di te, questa mia prima ricerca sarebbe andata molto meno lontano. Il nostro rapporto, improbabile e shakespeariano, è stato per me una delle recenti e più interessanti scoperte (avrei voluto metterci un anacoluto qui), e anche se a più riprese mi

hai detto che quasi sicuramente finirai dall'altra parte d'Italia per tua vocazione, mi auguro di vederti presto dietro qualche cattedra in centrale. Aver condiviso la partecipazione a convegni, le risate, i nostri momenti di confronto, le uscite in giro per la città, i caffè, le giornate passate in biblioteca, mi ha portato ben oltre i rigidi limiti della politica universitaria (distinta e separata, sottolineo), permettendomi di costruire un rapporto di rara fattura in cui credo fino in fondo; spero vivamente che avremo entrambi una storia di vita tale da consentirci di continuare a vivere di pane, sofismi e umanesimo, con una *sana* dose di colazione *alla Camus*. Grazie, inoltre, per la tua sconfinata pazienza e per il tuo supporto in uno dei periodi più caotici della mia vita; grazie per aver accolto le mie follie con razionalità, e grazie di avermi aiutato a capire ciò che non si riesce mai veramente a capire. Non ti ringrazio, invece, per i ripetuti commenti sul mio naso e i miei *buchi in faccia*.

Alla Dottoressa Melani, o meglio, a Margherita: le esperienze di vita che hanno portato ad incontrarci mi portano a pensare a te più come amica che come collega, spero che il pensiero sia reciproco. Grazie per le brigidine il giorno del nostro incontro, grazie per i confronti rapidi, scattanti, diretti; grazie per il coinvolgimento nelle tue attività e l'interesse verso questo mio umilissimo lavoro. Grazie, soprattutto, per la vitalità e la gioia che porti ovunque vai: l'idea di poter lavorare in un ambiente così fa pensare ad un luogo in cui *non si lavorerà nemmeno per un giorno*, essendo costantemente stimolati a pensare meglio e di più, senza perdere mai le energie. Spero di poter continuare a costruire questo rapporto all'insegna degli studi vinciani, dei giretti per Napoli e dei *valori immateriali* campani e toscani, mantenendo sempre il sorriso stampato in faccia.

Grazie al compagno di mille avventure, di mille notti, di mille giorni di stress e follia... Caro caffè, grazie di avermi accompagnato in questi anni di corsa folle, di avermi donato la tua caffeina per permettermi di andare avanti, di portare a termine le consegne e i progetti, di tollerare anche le più lente ore di lezione.

Infine, grazie alla mia famiglia. Ai miei genitori, primi sostenitori e confidenti, che con mille sacrifici si son premurati di dedicarsi a questo grande, meraviglioso progetto di cui, sotto sotto, sarò eternamente grato: a mamma, per il sostegno, i confronti, le dispute letterarie durante la correzione delle bozze e le diatribe sui più minimi dettagli di questo percorso universitario, grazie per avermi permesso di diventare ciò che sono oggi, uomo indipendente e pronto ad affrontare una delle cose più terrificanti della vita: le pubbliche

relazioni; a papà, grazie per la posizione sempre razionale (secondo me a volte un po' rigida) e il punto di vista analitico in tutti i miei lavori, per il confronto continuo sui vari temi dell'ingegneria e della pratica professionale, per aver costruito una vera e propria *palestra* parallela ai miei studi. A mia sorella, donna testarda dalla risposta sempre pronta, il cui acume e la cui abilità dialettica sono sempre stati per me motivo di grande orgoglio fraterno. Sapere di avere un'alleata così potente da esser capace di malmenare fisicamente e psicologicamente i genitori di chi commette ingiustizie, perseguendo ideali di lealtà e giustizia (quasi divina), costi quel che costi, mi infonde di speranza, di gioia e di sicurezza. Sono felice di avere tutti voi al mio fianco, del vostro supporto e della vostra pazienza nei miei momenti psicotici di ricerca della conoscenza. A Ragù, mio fratellino a quattro zampe, un grazie per avermi ascoltato ad ogni ripetizione orale dei miei esami con curiosità e interesse, oltre che per essermi venuto a chiamare con una pallina in bocca quando ero immerso nei miei studi per un momento di gioco, aiutandomi a staccare e ricaricare le batterie.

A chi sta seguendo questo traguardo dall'alto, che ha visto germogliare i primi semi di quel che compone la persona che è qui oggi, grazie di aver incoraggiato i miei studi, di aver animato la mia fame di conoscenza, di aver contribuito alla formazione di quel bambino curiosissimo che è ancora dentro di me e che ancora oggi mi anima dal profondo.

Infine, grazie a tutti quelli che hanno scelto di salire su una carrozza del treno della mia vita e di aver scelto di restarci. Sono felice di avervi al mio fianco, di poter condividere con voi la mia vita, le mie idee e le mie esperienze; sono grato di poter apprendere dalle vostre. Mi auguro di poter continuare a coltivare il nostro rapporto e di condividere nuove esperienze.

