



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
FIRENZE

**DIDA**  
DIPARTIMENTO DI  
ARCHITETTURA

**Il Patrimonio architettonico delle culture del Maghreb a  
rischio di scomparsa per perdita di conoscenza  
ed aggressione ambientale.  
Valutazione delle vulnerabilità e del rischio sismico  
della medina di Fes in Marocco**

Tesi di Dottorato di  
**Sara Stefanini**

Dottorato di Ricerca in  
Architettura  
Curriculum  
Strutture e Restauro dell'Architettura  
e del Patrimonio Culturale  
Ciclo XXXII  
Anni 2016/2019

Relatrice  
Prof.ssa Luisa Rovero  
(DIDA)

Correlatore  
Prof. Ugo Tonietti  
(DIDA)

Revisori  
Prof. Antonio Borri  
(Università di Perugia)

Prof. Antonio Formisano  
(Università di Napoli)



# Ringraziamenti

Vorrei ringraziare innanzitutto la Prof.ssa Luisa Rovero per avermi parlato della possibilità di provare ad intraprendere la strada del dottorato di ricerca: non avrei mai pensato che questo percorso mi avrebbe dato così tanto. Ringrazio lei ed il Prof. Ugo Tonietti per l'aiuto, il confronto, la conoscenza ed i consigli che mi hanno dato in questi anni, trasmettendomi la passione per questo ambito di ricerca.

Senza la disponibilità, l'ospitalità e la gentilezza degli abitanti della medina di Fes che mi hanno aperto la porta della loro casa questo lavoro non sarebbe stato possibile: un sincero ringraziamento va a tutti loro e alle persone che si sono lasciate intervistare offrendo occasioni di confronto e arricchimento.

Ringrazio la Prof.ssa Letizia Dipasquale per le opportunità offerte sul campo, i Proff. Paolo Costa e Michele Coppola per i loro consigli ed i suggerimenti preziosi ed i Proff. Antonio Borri e Antonio Formisano per aver letto e revisionato il mio lavoro.

Ringrazio l'Arch. PhD Gianfranco Stipo, i tecnici Aldo Regoli e Paolo Arcangioli ed il tirocinante Salar Khalilnasab, che mi hanno dato un grande aiuto nella realizzazione della campagna sperimentale in laboratorio.

Un ringraziamento particolare va a Cheima Azil, per l'aiuto che mi ha offerto con la traduzione dall'arabo delle interviste.

Grazie ai miei amici e colleghi Chiara Nuria Palazzi, Arash Boostani, Sara Barducci, Giulia Misseri e Jacopo Vitale per aver condiviso con me molti momenti durante gli anni del dottorato.

Grazie a Maria Teresa Miele, Laura D'Isita e Francesca Bonfanti, amiche preziose, trovate e rinnovate, senza le quali non so come avrei fatto a superare l'ultimo anno. A Laura va un'ulteriore ringraziamento per l'enorme aiuto, il supporto e la compagnia durante le missioni nella medina.

Grazie agli amici che sono rimasti e a quelli che ho trovato lungo il percorso.

Infine, un ringraziamento sincero va ai miei genitori Sandra e Stefano e a mia sorella Elisa per l'enorme aiuto che mi hanno dato durante l'ultimo anno. Questa tesi è dedicata a loro.

# Sommario

Il progetto di ricerca punta a sviluppare una metodologia finalizzata alla tutela del Patrimonio architettonico presente nei Paesi del Maghreb, minacciato da aggressioni sia naturali (in particolare gli eventi sismici) che antropiche (perdita di conoscenze e affermazione acritica di culture tecnologiche incompatibili con le precedenti). Lo studio ha visto come campo di applicazione la Medina di Fes in Marocco, considerata un esempio rappresentativo dei processi e delle dinamiche in atto. Il tema della conservazione del Patrimonio culturale viene investigato seguendo un approccio multidisciplinare in cui gli aspetti prettamente tecnici sono state affrontati cercando il confronto con gli aspetti socio-culturali.

Al fine di acquisire una conoscenza approfondita riguardo ai sistemi ed alle tipologie costruttive caratterizzanti l'area oggetto di indagine si è proceduto allo studio della cultura abitativa e costruttiva presente nel nord del Marocco e specificamente nella regione di Fes, ponendo l'attenzione, grazie ad investigazioni condotte sul campo, sulle principali criticità dell'edificato e sulle tecniche associabili alla "regola dell'arte", comprendendovi quei dispositivi che sembrano avere un ruolo di contrasto all'azione sismica. In aggiunta, allo stesso scopo, si è realizzata una campagna di indagini su murature tradizionali, isolate come rappresentative di tipi ricorrenti, cercando di associarvi una valutazione strutturale e verificarne le proprietà meccaniche. In particolare sono state realizzate: a) analisi fisico-mineralogiche su campioni di malta e di laterizi; b) prove di caratterizzazione meccanica, ovvero prove di compressione, di trazione indiretta e di flessioni per tre punti su campioni di laterizio; c) una valutazione dell'efficienza delle differenti tipologie murarie attraverso l'applicazione dell'Indice di Qualità Muraria (IQM) integrandolo all'interno delle schede GNDT; d) tilt test su modelli di pareti per valutare il contributo alla resistenza nel piano delle pareti da parte dei "radiciamenti"

lignei, caratteristici della tecnica costruttiva locale.

I risultati ottenuti hanno permesso di supportare la successiva fase di analisi relativa alla valutazione della vulnerabilità sismica, tematica ancora non sufficientemente approfondita nell'area del Maghreb. Viene, quindi, proposta una metodologia di valutazione della vulnerabilità sismica calibrata sui caratteri specifici degli insediamenti storici (costituiti essenzialmente da edifici a patio in aggregato) che possa essere estesa e replicata in altri contesti simili. Il metodo proposto è basato sull'Indice di Vulnerabilità GNDT di II livello ed ha permesso la realizzazione di curve di vulnerabilità, curve di fragilità, scenari di danno per diverse intensità sismiche e scenari di perdita. I risultati della valutazione della vulnerabilità sono presentati anche attraverso la loro distribuzione spaziale sottoforma di mappe realizzate in ambiente GIS.

Infine, la metodologia proposta per la valutazione della vulnerabilità sismica è stata applicata una seconda volta al caso studio immaginando di aver eseguito un consolidamento dell'edificato attraverso l'attuazione di interventi per il rinforzo strutturale, pensati coerenti e meccanicamente compatibili con l'edificato storicizzato.

# Abstract

The research project intends to develop a methodology for the conservation of the architectural heritage in the Maghreb countries, threatened by both natural (in particular seismic events) and anthropic attacks (loss of knowledge and uncritical affirmation of technological cultures incompatible with the previous ones). The field of application of the study was the Medina of Fes in Morocco, considered a representative example of the processes and dynamics in progress. The theme of preservation of cultural heritage is investigated following a multidisciplinary approach in which the purely technical aspects have been addressed by seeking comparison with socio-cultural aspects.

In order to gain an in-depth knowledge of the systems and construction types characterizing the area under investigation, it was decided to study the living and construction culture in northern Morocco and specifically in the Fes region, paying attention, thanks to field investigations, on the main critical points of the buildings and on the techniques that can be associated with the “rule of the art”, including those devices that seem to play a role in contrasting the seismic action. In addition, for the same purpose, a survey campaign was carried out on traditional masonry as representative of recurrent types, trying to associate a structural assessment with it and verify its mechanical properties. In particular, the following were carried out: a) physical-mineralogical analyses on mortar and brick samples; b) mechanical characterization tests, i.e. compression tests, indirect traction tests and three-points-bending tests for on brick samples; c) an evaluation of the efficiency of the different wall types through the application of the Wall Quality Index (IQM) integrating it into the GNDT data form; d) tilt tests on wall models to assess the contribution to the resistance in the plane of the walls by the wooden “radications”, characteristic of the local construction technique.

The results obtained allowed to support the subsequent analysis phase related to the evaluation of seismic vulnerability, a subject that has not yet been sufficiently studied in the Maghreb area. A methodology is then proposed for assessing the seismic vulnerability calibrated on the specific characteristics of historical settlements (essentially consisting of patio buildings in aggregate) that can be extended and replicated in other similar contexts. The proposed method is based on the II level GNDT Vulnerability Index and allowed the realization of vulnerability curves, fragility curves, damage scenarios for different seismic intensities and loss scenarios. The results of the vulnerability assessment are also presented through their spatial distribution in the form of maps created in the GIS environment.

Finally, the proposed methodology for the assessment of seismic vulnerability was applied a second time to the case study imagining that it had performed a consolidation of the building through the implementation of interventions for coherent and mechanically compatible with the historicized building structural reinforcement.

# Résumé

Le projet de recherche a pour objectif de développer une méthodologie visant à protéger le patrimoine architectural présent dans les pays du Maghreb, menacé à la fois par des aléas naturelles (notamment sismiques) et anthropiques (perte de connaissances et affirmation non critique de cultures technologiques incompatibles avec les précédentes). L'étude a considéré la Médina de Fès au Maroc comme le champ d'application, qui présente un exemple typique des processus et dynamiques en cours. Le thème de la préservation du patrimoine culturel est étudié selon une approche multidisciplinaire dans laquelle les aspects purement techniques ont été abordés en recherchant une comparaison avec les aspects socioculturels.

Afin d'acquérir une connaissance approfondie des systèmes et des types de construction caractérisant la zone étudiée, nous avons procédé à l'étude de la manière d'habiter et la culture constructive présentes dans le nord du Maroc et plus précisément dans la région de Fès, en faisant attention, grâce à des investigations sur le terrain, sur les principaux points critiques du bâtiment et sur les techniques pouvant être associées à la "règle de l'art", y compris les dispositifs qui semblent jouer un rôle contre l'action sismique. De plus, dans le même but, une enquête a été menée sur la maçonnerie traditionnelle, isolée comme représentative des types récurrents, en essayant de lui associer à une série des tests qui ont été réalisés pour évaluer la structure et définir ses propriétés mécaniques. En particulier, les actions suivantes ont été réalisées: a) analyses physico-minéralogiques sur des échantillons de mortier et de brique; b) essais de caractérisation mécanique, à savoir essais de compression, essais de traction indirecte et essais de flexion trois points sur des échantillons de briques; c) une évaluation de l'efficacité des différents types de maçonneries grâce à l'application de l'indice de qualité des maçonneries (IQM) en

l'intégrant dans les fiches techniques GNDT; d) tests d'inclinaison sur des modèles de maçonneries contenant des éléments en bois ( "radiciamenti ", caractérisant la technique de construction locale) afin d'évaluer leur contribution à la résistance sur le plan murale.

Les résultats obtenus ont permis de soutenir la phase d'analyse ultérieure liée à l'évaluation de la vulnérabilité sismique, un sujet qui n'a pas encore été suffisamment étudié dans la région du Maghreb. Une méthodologie est ensuite proposée pour évaluer la vulnérabilité sismique calibrée sur les caractéristiques spécifiques des établissements historiques (consistant essentiellement en maisons à patio dans l'agrégat) qui peuvent être étendus et reproduits dans d'autres contextes similaires. La méthode proposée est basée sur l'indice de vulnérabilité GNDT de niveau II et a permis la réalisation de courbes de vulnérabilité, de courbes de fragilité, de scénarios de dommages pour différentes intensités sismiques et de scénarios de pertes. Les résultats de l'évaluation de la vulnérabilité sont également présentés à travers leur distribution spatiale sous forme de cartes créées dans l'environnement SIG.

Enfin, la méthodologie proposée pour l'évaluation de la vulnérabilité sismique a été appliquée une deuxième fois sur le cas d'étude, en imaginant qu'elle avait réalisé une consolidation du bâtiment par la mise en œuvre d'interventions de renforcement structurel, pensé cohérent et mécaniquement compatible avec l'édifice historique de différentes stratifications.

# Indice

Sommario	i
Indice	ix
Lista delle Figure	xv
Lista delle Tabelle	xxv

## Capitolo 1

<b>Introduzione</b>	<b>1</b>
1.1 - Motivazione e definizione dell'ambito di interesse	1
1.2 - Interesse scientifico e originalità	2
1.3 - Obiettivi	3
1.4 - Struttura della tesi	4

## Capitolo 2

<b>Conservazione e valorizzazione del Patrimonio in Marocco. Il caso della medina di Fes</b>	<b>7</b>
2.1 - Introduzione	7
2.2 - Inquadramento storico	7
2.3 - Nascita di una visione di conservazione del Patrimonio	12
2.3.1 - Periodo Precoloniale (prima del 1912)	13
2.3.2 - Periodo coloniale (1912-1957)	16
2.3.3 - Periodo post-coloniale (dopo il 1957)	21
2.4 - Lo studio UNESCO del '75 ed il Masterplan del '78	22
2.5 - Fes, patrimonio UNESCO (1981)	25
2.6 - La World Bank e il Fes Rehabilitation Project (1996-2006)	26
2.7 - Le tendenze attuali e le problematiche legate alla conservazione	28

<b>Capitolo 3</b>	
<b>Il contesto sociale</b>	<b>33</b>
3.1 - Introduzione	33
3.2 - La campagna di interviste	34
3.3 - Le tematiche emerse	39
<b>Capitolo 4</b>	
<b>La cultura abitativa e costruttiva</b>	<b>51</b>
4.1 - La città nei paesi a cultura islamica	51
4.2 - La tipologia edilizia residenziale della casa a patio	54
4.2.1 - L'organizzazione dello spazio	55
4.3 - La tecnica costruttiva	60
4.3.1 - Le tecniche antisismiche tradizionali	64
4.4 - Identificazione delle principali criticità dell'edificato	67
4.5 - Considerazioni conclusive	78
<b>Capitolo 5</b>	
<b>Indagini meccaniche sulle murature tradizionali</b>	<b>79</b>
5.1 - Introduzione	79
5.2 - Analisi su campioni di malta e campioni di laterizi	79
5.2.1 - Le malte	80
5.2.1.1 - Considerazioni generali sulle malte	87
5.2.2 - I mattoni	88
5.2.2.1 - Considerazioni generali sui mattoni	91
5.2.3 - Caratterizzazione meccanica dei mattoni	91
5.2.3.1 - Considerazioni sui risultati ottenuti dalle prove di caratterizzazione meccanica dei mattoni	97
5.3 - Valutazione delle proprietà meccaniche dei tipi murari	98
5.3.1 - Introduzione	98
5.3.2 - Le tipologie murarie	98
5.3.3 - Applicazione del metodo dell'Indice di Qualità Murario e proposta di un IQM Globale	99
5.4 - Il contributo dei radiciamenti lignei	106
5.4.1 - Introduzione	106
5.4.2 - La sperimentazione tramite tilt test	109
5.4.2.1 - Caratteristiche dei modelli	109
5.4.2.2 - Caratteristiche dei materiali impiegati	113
5.4.2.3 - L'apparecchiatura di prova	117
5.4.2.4 - Le prove effettuate	118
5.4.3 - Revisione critica dei risultati sperimentali	123

<b>Capitolo 6</b>	
<b>Valutazione della vulnerabilità sismica</b>	<b>131</b>
6.1 - Stato dell'arte	131
6.1.1 - Il rischio sismico	131
6.1.2 - Metodologie per la valutazione della vulnerabilità sismica	132
6.1.3 - La valutazione della vulnerabilità degli aggregati	135
6.1.4 - La metodologia adottata	138
6.1.4.1 - Evoluzione del metodo dell'Indice di Vulnerabilità	141
6.2 - Il metodo proposto	145
6.2.1 - Introduzione	145
6.2.2 - Studio dei parametri per il rilevamento della vulnerabilità	146
6.2.2.1 - Organizzazione della scheda	146
6.2.2.2 - Obiettivi e criteri adottati per la modifica dei parametri	147
6.2.2.3 - Presentazione dei parametri e delle modifiche apportate	148
6.2.3 - Valutazione dei pesi dei parametri	153
6.2.4 - Validazione del metodo	155
6.2.4.1 - L'approccio GNDT di II livello	155
6.2.4.2 - Il metodo macrosismico	157
6.2.4.3 - Confronto tra metodo dell'indice di vulnerabilità e metodo macrosismico	158
6.2.5 - Considerazioni finali	161

<b>Capitolo 7</b>	
<b>Implementazione del metodo in isolati campione della medina di Fes</b>	<b>163</b>
7.1 - Introduzione	163
7.2 - Descrizione del caso studio	163
7.2.1 - La sismicità del Maghreb e stato dell'arte sulla valutazione della vulnerabilità sismica	163
7.2.2 - Sismicità e geologia nella regione di Fes	171
7.2.3 - Gli isolati campione	176
7.2.3.1 - Criteri di scelta degli isolati campione	176
7.2.3.2 - I dati	177
7.3 - Analisi dei risultati e scenari di danno	179
7.3.1 - Vulnerabilità del campione: considerazioni generali	179
7.3.1.1 - Livello di confidenza delle informazioni	180
7.3.2 - Analisi dei risultati ottenuti per ogni parametro di vulnerabilità	184
7.3.3 - Stima del danno	193
7.3.3.1 - Distribuzione e scenari di danno	193
7.3.3.2 - Curve di fragilità	200
7.3.4 - Valutazione delle perdite	200
7.3.4.1 - Collasso e inutilizzazione degli edifici	202
7.3.4.2 - Popolazione deceduta e senzatetto	206
7.4 - Vulnerabilità e scenari di danno a seguito di interventi di rinforzo	209
7.5 - Immaginare una strategia di riabilitazione	216

<b>Capitolo 8</b>	
<b>Valutazione e sintesi dei risultati raggiunti</b>	<b>221</b>
8.1 - Sintesi del lavoro svolto e valutazione dei risultati	221
8.2 - Prospettive di lavoro future	224
<b>Riferimenti bibliografici</b>	<b>227</b>
<b>Annesso A</b>	
Trascrizione delle interviste	A.1
Introduzione - Conduzione delle interviste - Trascrizione delle interviste	A.2
Interviste brevi	A.6
P, l'artista di quartiere	A.17
A, il proprietario del riad	A.23
Y, l'insegnante filosofo	A.29
N, il giovane maalem	A.36
M, il maalem anziano	A.42
<b>Annesso B</b>	
Classificazione delle murature	B.1
Introduzione	B.2
Categorie murarie	B.2
IQM Globale	B.5
Classificazione murature portanti	B.9
<b>Annesso C</b>	
Manuale per la compilazione della scheda di vulnerabilità	C.1
Introduzione - Note esplicative generali	C.2
Sezione 1 - Sistema resistente	C.7
Sezione 2 - Solai e sistema di copertura	C.15
Sezione 3 - Irregolarità	C.17
Sezione 4 - Interazione all'interno dell'aggregato	C.26
Sezione 5 - Stato di conservazione e altri elementi	C.29
<b>Annesso D</b>	
Schede di vulnerabilità degli edifici analizzati	D.1
Introduzione	D.2
Campione-1 Area adiacente alla Moschea Qarawiyine	D.3
Campione-2 Area del quartiere La Ayoun	D.5
Schede di vulnerabilità	D.8





# Lista delle Figure

- Figura 1.1      Struttura della tesi.
- Figura 2.1      Fes durante la dinastia Idrissite (O'Meara, 2004).
- Figura 2.2      Fes durante la dinastia Merinide (O'Meara 2004).
- Figura 2.3      Fes all'inizio del XX secolo  
(<http://www.region-fes-meknes.ma/la-region/decouvrir-la-region/>).
- Figura 2.4      Vista panoramica di Fes El-Bali (<https://www.flickr.com/photos/michalo/5364182941/>).
- Figura 2.5      Fasi di edificazione della Medina (Matsubara, 2014).
- Figura 2.6      Ecochard M. (1950), Studi per le grandi vie di comunicazione per la città di Fes, Aga Khan Trust for Culture - Estratto ([https://archnet.org/collections/669/media\\_contents/93739](https://archnet.org/collections/669/media_contents/93739)).
- Figura 2.7      Vista aerea di Place R'Cif (Serageldin et al., 2001).
- Figura 2.8      Rafforzamento dell'asse commerciale est-ovest. Per raggiungere questo obiettivo veniva attuata una limitazione dello sviluppo verso sud delle attività commerciali. Il mantenimento dei commerci negli spazi tradizionali, vicino alle grandi moschee, prevedeva la riorganizzazione totale delle attività e delle associazioni commerciali e la riabilitazione della rete di foundouk tradizionali abbandonati o in stato di degrado. Un'importante azione per preservare il patrimonio era il trasferimento delle attività meccanizzate all'esterno della Medina poiché incompatibili con la morfologia dell'aggregato. (Bianca, 1980).
- Figura 2.9      Miglioramento dell'accessibilità. Per preservare il più possibile lo stato pedonale della Medina, il traffico veicolare sarebbe arrivato fino al perimetro e solo poche strade sarebbero penetrate all'interno, finendo in un cul-de-sac con punti di trasferimento ai flussi pedonali, con zone di carico e scarico delle merci. Gli accessi motorizzati avrebbero dovuto supportare ed equilibrare il dinamismo interno senza penetrare all'interno dell'aggregato, eccezion fatta solo al trasporto pubblico. Il trasporto all'interno della medina, invece, sarebbe continuato ad essere con i muli e gli asini poiché è il solo compatibile con la rete tradizionale. (Bianca, 1980)
- Figura 2.10     Piano di sviluppo della medina intramurale: AM- Zone con grandi aree pubbliche attrezzate; I- Alloggi economici da ristrutturare; IM- Zone miste (residenziale e attività artigianali);

- Figura 2.10 (segue) M1- Settore della “conservazione e/o restauro”, caratterizzato dall’importanza degli edifici religiosi e del patrimonio architettonico da salvaguardare; M2- Settore della “riabilitazione”, comprende edifici storici risalenti all’inizio del XX secolo; M3- Settore della “ristrutturazione”, zona di rinnovamento caratterizzata da condizioni di costruzione più modeste, mancanza di accessibilità e attrezzature di base; S1OM- Alloggi spontanei da attrezzare (Royaume du Maroc, 2016).
- Figura 3.1 Place Boujloud alla fine della giornata lavorativa.
- Figura 3.2 Alcuni studenti dell’UEMF durante il Workshop.
- Figura 3.3 Dei bambini giocano in una piazza all’interno dell’area di studio.
- Figura 3.4 Piazza La Ayoun: una piccola parte della piazza è stata arredata dagli abitanti con panchine e piante per creare un luogo di aggregazione.
- Figura 3.5 Edificio condiviso da più famiglie. Quando più famiglie non imparentate tra loro condividono gli spazi di un unico edificio la privacy è ricercata tramite la separazione per mezzo di lenzuoli o teli.
- Figura 3.6 Abitanti della medina.
- Figura 4.1 Esempificazione della composizione cellulare e planimetria schematica del tessuto urbano. La ripetizione di schemi simili di recinzione e inclusione, attraverso vari livelli gerarchici, si traduce in una completa integrazione strutturale. (Bianca, 2000)
- Figura 4.2 Una piazza medievale europea e una moschea circondata dal souk in una città araba (Tunisi) (Privitera, 2016)
- Figura 4.3 Struttura tipica di un gruppo di abitazioni attorno ad una via ramificata a sfondo chiuso: il derb (Bianca 2000)
- Figura 4.4 Struttura tipica di un quartiere residenziale delle città del Nord Africa, l’Hawma, composto dall’aggregazione di più derb (Bianca 2000)
- Figura 4.5 Abitazioni rurali del Rif (Euromed Heritage, Traditional Mediterranean Architecture, <http://www.medea-corpus.net/>)
- Figura 4.6 Possibili posizioni del patio (Grillo, 1988)
- Figura 4.7 Planimetria tipo di un’abitazione tradizionale (Atif 2011)
- Figura 4.8 Patio interno di un riad tradizionale
- Figura 4.9 Tipologie di patio: A) Patio con portico e galleria al primo piano; B) Patio con finestre sul portico; C) Patio con balcone senza portico; D) Finestre sul patio; E) Patio con portico e finestre al primo piano; F) Patio con portico e camere arretrate (raro) (UNESCO, 1980)
- Figura 4.10 Tipologie principali di copertura del patio: a sinistra patio con portico; a destra patio senza portico (Grillo, 1988)
- Figura 4.11 Esempi di abitazioni fassi: (A)abitazione a due piani con patio piccolo, senza portico e finestre che affacciano sul patio; (B)abitazione a due piani con patio medio, portico al piano terra e galleria al primo piano; (C) Dar Alaoui e annessi: l’abitazione a due piani è composta da due corpi principali con due pati senza portico (UNESCO, 1980)
- Figura 4.12 Tipologie murarie individuate da Grillo (1988)

- Figura 4.13 Le travi (qantra) e i travetti (gaiza) utilizzati all'interno della tecnica costruttiva fassi (rielaborazione da Grillo, 1988).
- Figura 4.14 Tipologie di solaio (rielaborazione da Grillo, 1988)
- Figura 4.15 Tipologie di avancorpi (rielaborazione da Grillo, 1988)
- Figura 4.16 Avancorpo all'interno della Medina di Fes
- Figura 4.17 Un esempio di arco di contrasto (A) e di volta di contrasto (B) presenti nella Medina di Fes.
- Figura 4.18 Passaggio coperto dove è presente anche un arco di scarico
- Figura 4.19 Tipologie di passaggi coperti (rielaborazione da Grillo, 1988)
- Figura 4.20 Elementi lignei all'interno della muratura
- Figura 4.21 Isolatori sismici presenti in due colonne della Medersa Attarine
- Figura 4.22 Dettaglio del capitello di una delle colonne del Palazzo del Dey ad Algeri (Abdessemed-foufa, 2005).
- Figura 4.23 Uno dei casi più preoccupanti di spanciamiento verticale riscontrato nella mMedina di Fes. In un derb largo circa un metro, la muratura di un edificio arriva quasi a toccare in sommità l'edificio di fronte, a circa 10-12 metri dal suolo.
- Figura 4.24 Presidi lignei all'interno della medina.
- Figura 4.25 Spanciamiento verticali nella medina.
- Figura 4.26 Spanciamiento orizzontali.
- Figura 4.27 Lesioni diagonali in alcuni passaggi coperti
- Figura 4.28 Ribaltamenti.
- Figura 4.29 Travi inflesse.
- Figura 4.30 Cedimento di un cantonale.
- Figura 4.31 Lesioni causate da cedimenti (Ruggeri, 2000)
- Figura 4.32 Azione di degrado causato dalla rottura di una tubatura.
- Figura 4.33 Degrado elevato con conseguente indebolimento degli elementi strutturali.
- Figura 4.34 Vuoti all'interno dell'aggregato causati dal crollo di alcuni edifici.
- Figura 4.35 Alcuni degli interventi non compatibili con la tipologia costruttiva rilevati all'interno della Medina di Fes: (A) apertura di numerose e/o ampie aperture nella muratura; (B) sostituzione di arcate in muratura con travi in cemento armato; (C) edificio in cemento armato costruito in aderenza ad un edificio in muratura con conseguente formazione di lesioni dovute alle diverse rigidzze; (D) struttura a telaio in cemento armato con tamponature in mattoni forati; (E) avancorpo realizzato su una soletta in cemento armato; (F) passaggio coperto realizzato su una soletta in cemento armato; (G) Inserimento di travi in cemento armato per supportare un avancorpo; (H) pilastri in cemento armato e travi in acciaio che sorreggono un solaio moderno. (I) Struttura in cemento armato e blocchi di calcestruzzo costruita sopra una muratura tradizionale; (L) strati di pavimenti aggiunti sopra al solaio ligneo originale utilizzando nuovi materiali da costruzione; (M) sopraelevazione in laterizi forati e cordolo in cemento armato; (N) stanza sulla terrazza costruita in cemento armato, particolare dell'armatura e degli "inerti";

- Figura 4.35 (segue) (O) sopraelevazione con mattoni forati mal eseguita; (P) sopraelevazione in blocchi di cemento; (Q) pilastro in cemento armato gettato sopra alla muratura tradizionale; (R) telaio in cemento armato realizzato per prevenire lo spancamento della muratura.
- Figura 5.1 Campioni di malta prelevati all'interno della Medina. In grigio scuro sono evidenziate le due aree di studio analizzate.
- Figura 5.2 Campione MO1 (sezione lucida)
- Figura 5.3 Campione MO1 (sezione sottile, luce trasmessa polarizzata)
- Figura 5.4 Spettro XRD del campione MO1
- Figura 5.5 Campione MO2 (sezione lucida)
- Figura 5.6 Campione MO2 (sezione sottile, luce trasmessa polarizzata)
- Figura 5.7 Spettro XRD del campione MO2
- Figura 5.8 Campione A1 (sezione lucida)
- Figura 5.9 Campione A1, sezione sottile, luce trasmessa polarizzata
- Figura 5.10 Grumi di calce nel campione A1 (sezione sottile, luce trasmessa polarizzata)
- Figura 5.11 Resto di cottura della pietra da calce nel campione A1 (sezione sottile, luce trasmessa polarizzata)
- Figura 5.12 Spettro XRD del campione A1
- Figura 5.13 Campione A2 (sezione lucida)
- Figura 5.14 Campione A2 (sezione sottile, luce trasmessa polarizzata)
- Figura 5.15 Spettro XRD del campione A2
- Figura 5.16 Campione C1 (sezione lucida)
- Figura 5.17 Campione C1 (sezione sottile, luce trasmessa polarizzata)
- Figura 5.18 Spettro XRD del campione C1
- Figura 5.19 Campione C2 (sezione lucida)
- Figura 5.20 Campione C2 (sezione sottile, luce trasmessa polarizzata)
- Figura 5.21 Spettro XRD del campione C2
- Figura 5.22 Campione C3 (sezione lucida)
- Figura 5.23 Campione C3(sezione sottile, luce trasmessa polarizzata)
- Figura 5.24 Spettro XRD del campione C3
- Figura 5.25 Campione C4 (sezione lucida)
- Figura 5.26 Campione C4(sezione sottile, luce trasmessa polarizzata)
- Figura 5.27 Spettro XRD del campione C4
- Figura 5.28 Mattone antico "FesA"
- Figura 5.29 Mattone per il restauro "FesB"
- Figura 5.30 Spettro XRD del campione FesA
- Figura 5.31 Campione FesA (sezione lucida)
- Figura 5.32 Campione FesA(sezione sottile, luce trasmessa polarizzata)
- Figura 5.33 Spettro XRD del campione FesB
- Figura 5.34 Campione FesB (sezione lucida)
- Figura 5.35 Campione FesB(sezione sottile, luce trasmessa polarizzata)
- Figura 5.36 Prova a compressione del campione B.B.1
- Figura 5.37 Prova a trazione indiretta del campione A.4
- Figura 5.38 Prova a flessione per tre punti del campione A.A

- Figura 5.39 Grafico carico/spostamento delle prove a compressione dei provini “FesA”.
- Figura 5.40 Grafico carico/spostamento delle prove a compressione dei provini “FesB”.
- Figura 5.41 Grafico carico/spostamento delle prove a trazione indiretta.
- Figura 5.42 Grafico carico/spostamento delle prove di flessione per tre punti.
- Figura 5.43 Range delle categorie murarie IQM e delle classi di qualità proposte per l'IQM Globale
- Figura 5.44 IQM Globale secondo le combinazioni considerate.
- Figura 5.45 (A) Parete rinforzata con elementi lignei nel Palazzo del Dey, Cittadella di Algeri; (B) Struttura delle mura del Palazzo del Dey (Abdessemed-Foufa, 2005)
- Figura 5.46 Comportamento durante il sisma delle pareti rinforzate con il sistema ligneo presente nella Casbah di Algeri: (A) lesione del pannello in causa della deformazione dovuta alla tensione e alla compressione; (B) deformazioni minori nel pannello suddiviso dagli elementi lignei (Abdessemed-Foufa 2005)
- Figura 5.47 Elementi lignei nella Medina di Fes
- Figura 5.48 Elementi lignei all'interno della sezione muraria
- Figura 5.49 Schema dei prototipi di muro da sottoporre a tilt test
- Figura 5.50 Prova di scivolamento per il calcolo del coefficiente di attrito fra mattone e mattone
- Figura 5.51 Prova di scivolamento per il calcolo del coefficiente di attrito fra mattone e listelli
- Figura 5.52 Schema dell'apparecchiatura di prova; le lettere si riferiscono alle parti descritte nel testo.  
Modello del collasso.
- Figura 5.54 Prove effettuate sui modelli ad un piano
- Figura 5.54 Prove effettuate sui modelli a due piani
- Figura 5.55 Grafico dei moltiplicatori di attivazione e di collasso delle prove effettuate.
- Figura 5.56 Moltiplicatori di attivazione e di collasso delle prove effettuate sui modelli ad un piano
- Figura 5.57 Moltiplicatori di attivazione e di collasso delle prove effettuate sui modelli a due piani.
- Figura 5.58 Evoluzione delle lesioni, dal momento dell'attivazione, fino al collasso, delle prove 2.2B e 2.3.
- Figura 5.59 Confronto tra il quadro fessurativo ottenuto dalle prove sperimentali e l'angolo  $\beta$  ricavato dall'approccio di Casapulla et al. (2013): (A) Prova 1.0; (B) Prova 2.0.
- Figura 5.60 (A) Dimensioni del blocco; (B) rapporti di forma del blocco ( $\alpha_b$ ), della parete ( $\alpha_p$ ) e dell'angolo, variabile, di collasso ( $\alpha_c$ ) (Casapulla et al., 2013)
- Figura 5.61 Moltiplicatori di attivazione e di collasso e moltiplicatore di collasso calcolato per meccanismi misti rotazione-scorrimento.
- Figura 5.62 Prova 1.0 e 1.1: influenza dell'elemento ligneo nella modifica del blocco coinvolto nel meccanismo.
- Figura 5.63 Schema degli angoli significativi nella risposta nel piano.

- Figura 6.1 Schemi di blocchi di edifici a sviluppo longitudinale.
- Figura 6.2 Agglomerato complesso.
- Figura 6.3 Processo di stima dei danni e di valutazione delle perdite (rielaborazione da (Vicente 2008)
- Figura 6.4 Scheda di vulnerabilità di 2° livello (Muratura) GNDT.
- Figura 6.5 Estratto della Scheda di vulnerabilità - Scheda di acquisizione delle informazioni
- Figura 6.6 Scheda di vulnerabilità - Scheda riepilogativa
- Figura 6.7 “Diaphragm discontinuity”.
- Figura 6.8 Schema di un piano ammezzato tipicamente presente nell’edificato.
- Figura 6.9 (A) Legge deterministica accelerazione-danno; (B) legge deterministica trilineare accelerazione-danno (GNDT, 1993).
- Figura 6.10 Curve di vulnerabilità proposte da Benedetti e Petrini (1984).
- Figura 6.11 A) Distribuzioni dei danni per diversi gradi di intensità secondo la scala macroseismica EMS-98 (Grünthal, 1998) per edifici appartenenti alla classe di vulnerabilità A (Giovinazzi, 2005); (B) Intervalli percentuali e funzioni di appartenenza de termini quantitativi “Few”, “Many” e “Most” (Giovinazzi e Lagomarsino, 2004).
- Figura 6.12 Funzioni di appartenenza all’indice di vulnerabilità per le classi di vulnerabilità EMS 98 (Giovinazzi, 2005).
- Figura 6.13 Curve di vulnerabilità ottenute usando il livello GNDT II e il metodo macrosismico (Vicente, 2011).
- Figura 7.1 Modello geodinamico del confine tra la placca Africana e la placca Eurasiatica (Peláez et al., 2007). La stella indica la posizione della città di Fes.
- Figura 7.2 Mappa che mostra i terremoti catalogati da Peláez et al. (2007). La stella indica la posizione della città di Fes.
- Figura 7.3 Zonizzazione sismica da normativa RPS2011 per probabilità di superamento del 10% in 50 anni: (A) zonizzazione in velocità; (B) zonizzazione in accelerazione
- Figura 7.4 (A) Mappa delle massime intensità percepita nel nord del Marocco tra il 1901 e il 2000; (B) Mappa delle massime intensità percepita tenendo conto dei terremoti storici del 1522, 1624 e 1755 (Cherkaoui e Asebriy, 2003)
- Figura 7.5 Cronologia dei terremoti che hanno avuto effetti sulla città di Fes. Sono indicate l’intensità e la magnitudo stimata, oltre che la localizzazione dell’epicentro. I dati sono stati ricavati da: Cherkaoui e Asebriy, 2003; El Alami et al., 2004; El Alami et al., 2005; Peláez et al., 2007; Cherkaoui e El Hassani, 2012; Cherkaoui et al. (2017b) e earthquake.usgs.gov
- Figura 7.6 A: Carta geologica dell’arco di Gibilterra. Le frecce nere mostrano la direzione di convergenza Africa-Eurasia, quelle blu sono le velocità GPS. Molte strutture attive sono delineate da linee rosse; aree ombreggiate in rosso indicano le strutture offshore attive proposte come potenziale fonte del terremoto di Lisbona del 1755. B: Mappa sismotettonica del Fronte Meridionale del Rif disegnata (Poujol et al., 2017).

- Figura 7.7 Mappa semplificata del Fronte Meridionale del Rif Cherkaoui et al. (2017b).
- Figura 7.8 Sismicità di Fes e dintorni tra il 1901 e il 2016. La stella rossa mostra la probabile posizione dell'epicentro del terremoto del 1624, il terremoto più distruttivo per la città dopo quello del 1755. L'esame della mappa mostra: (i) una concentrazione di epicentri nel nord-est dell'area; (ii) a sud dell'area, un secondo gruppo di epicentri, situato sul confine meridionale e occidentale del Medio Atlante; (iii) un importante allineamento di epicentri NO-SE che, dalle vicinanze della città di Fes a sud-est, attraversa Ouezzane a nord-ovest e prosegue fino al golfo di Cadice. (Cherkaoui et al., 2017b).
- Figura 7.9 Estratto della zonizzazione geotecnica della Città di Fes. Fonte: Mappa geotecnica di Fez INRA 1965 Rabat (Royaume du Maroc, 2016).
- Figura 7.10 Estratto della mappa geologica della zona intorno alla città di Fès. Fonte: Suter G., "Notes et Mémoires n° 245a", Ministère de l'énergie et des mines du Maroc, 1980 (Achiou, 2016).
- Figura 7.11 Mappa geotecnica della zona di Fes: 1) area di calcare giurassico Jbel Tghat; 2) aree di scisti marnosi verdastri; 3) aree di marne blu e marne gialle di sabbia del Miocene; 4) aree di conglomerati; 5) aree di tufo e limo rosa, bianco, giallo e/o grigio; 6) area di calcare lacustre; 7) aree di travertino; 8) aree di argille di diversi colori (rosso, mattone, marrone e/o nero); 9) aree alluvionali attuali; 10) aree paludose (El Boumeshouli et al., 2015).
- Figura 7.12 Distribuzione spaziale delle prove geotecniche del suolo effettuate da (El Boumeshouli et al., 2015).
- Figura 7.13 Mappa sintetica delle tre aree a rischio naturale nella città di Fez: 1) Area ad alto rischio; 2) Area a rischio medio; 3) Area a basso rischio (El Boumeshouli et al., 2015).
- Figura 7.14 Differenti tipologie strutturali all'interno della Medina. (rielaborazione da Bianca, 1980)
- Figura 7.15 Inquadramento delle aree di studio all'interno della Medina
- Figura 7.16 Istogramma di distribuzione dell'Indice di Vulnerabilità del campione di edifici analizzato.
- Figura 7.17 Mappa della vulnerabilità del Campione-1.
- Figura 7.18 Mappa della vulnerabilità del Campione-2
- Figura 7.19 Mappa della vulnerabilità del Campione-1: edifici più vulnerabili
- Figura 7.20 Mappa della vulnerabilità del Campione-2: edifici più vulnerabili
- Figura 7.21 Istogramma del livello di confidenza ottenuto per gli edifici analizzati.
- Figura 7.22 Istogramma delle classi di vulnerabilità del parametro 1.1
- Figura 7.23 Istogramma delle classi di vulnerabilità del parametro 1.2
- Figura 7.24 Distribuzione spaziale delle classi di vulnerabilità del parametro 1.2: (A) Campione-1; (B) Campione-2.
- Figura 7.25 Istogramma delle classi di vulnerabilità del parametro 1.3
- Figura 7.26 Istogramma delle classi di vulnerabilità del parametro 1.4
- Figura 7.27 Istogramma delle classi di vulnerabilità del parametro 1.5
- Figura 7.28 Distribuzione spaziale delle classi di vulnerabilità del parametro 1.5: (A) Campione-1; (B) Campione-2.
- Figura 7.29 Istogramma delle classi di vulnerabilità del parametro 2.1

Figura 7.30	Istogramma delle classi di vulnerabilità del parametro 2.2
Figura 7.31	Istogramma delle classi di vulnerabilità del parametro 3.1
Figura 7.32	Istogramma delle classi di vulnerabilità del parametro 3.2
Figura 7.33	Distribuzione spaziale delle classi di vulnerabilità del parametro 3.3: (A) Campione-1; (B) Campione-2.
Figura 7.34	Istogramma delle classi di vulnerabilità del parametro 3.3
Figura 7.35	Istogramma delle classi di vulnerabilità del parametro 3.4
Figura 7.36	Istogramma delle classi di vulnerabilità del parametro 3.5
Figura 7.37	Istogramma delle classi di vulnerabilità del parametro 3.6
Figura 7.38	Istogramma delle classi di vulnerabilità del parametro 3.7
Figura 7.39	Istogramma delle classi di vulnerabilità del parametro 4.1
Figura 7.40	Istogramma delle classi di vulnerabilità del parametro 4.2
Figura 7.41	Istogramma delle classi di vulnerabilità del parametro 4.3
Figura 7.42	Istogramma delle classi di vulnerabilità del parametro 5.1
Figura 7.43	Istogramma delle classi di vulnerabilità del parametro 5.2
Figura 7.44	Distribuzione spaziale delle classi di vulnerabilità del parametro 5.2: (A) Campione-1; (B) Campione-2.
Figura 7.45	Istogramma delle classi di vulnerabilità del parametro 5.3
Figura 7.46	Distribuzione spaziale delle classi di vulnerabilità del parametro 5.3: (A) Campione-1; (B) Campione-2.
Figura 7.47	Curve di vulnerabilità per l'edificato campione della Medina di Fes
Figura 7.48	Stima della distribuzione del danno per IEMS-98 = VII, per $I_{vmedio} = 37.61$ .
Figura 7.49	Stima della distribuzione del danno per IEMS-98 = VIII, per $I_{vmedio} = 37.61$ .
Figura 7.50	Stima della distribuzione del danno per IEMS-98 = IX, per $I_{vmedio} = 37.61$ .
Figura 7.51	Scenario di danno per IEMS-98 = VII
Figura 7.52	Scenario di danno per IEMS-98 = VIII
Figura 7.53	Scenario di danno per IEMS-98 = IX
Figura 7.54	Scenario di danno per IEMS-98 = X
Figura 7.55	Curve di fragilità per $I_{vmedio} = 37.61$ .
Figura 7.56	Curve di fragilità per $I_{vm} + \sigma = 45.28$ .
Figura 7.57	Curve di fragilità per $I_{vm} + 2\sigma = 52.95$ .
Figura 7.58	Stima degli edifici collassati per diversi valori di $I_v$ .
Figura 7.59	Stima degli edifici inutilizzabili per diversi valori di $I_v$ .
Figura 7.60	Scenario di perdita: edifici inutilizzabili per IEMS-98 = VIII
Figura 7.61	Scenario di perdita: collasso per IEMS-98 = VIII
Figura 7.62	Scenario di perdita: collasso per IEMS-98 = IX
Figura 7.63	Scenario di perdita: collasso per IEMS-98 = X
Figura 7.64	Stima dei decessi e dei feriti gravi per diversi valori di $I_v$ .
Figura 7.65	Stima dei senzatetto per diversi valori di $I_v$ .
Figura 7.66	Scenario di perdita: morti e feriti grav per IEMS-98 = X
Figura 7.67	Scenario di perdita: senzatetto per IEMS-98 = VIII
Figura 7.68	Scenario di perdita: senzatetto per IEMS-98 = X
Figura 7.69	Istogramma di distribuzione dell'Indice di Vulnerabilità del campione di edifici analizzato a seguito i interventi di consolidamento

- Figura 7.70 Mappa della vulnerabilità del campione di edifici dopo gli interventi di consolidamento ipotizzati.
- Figura 7.71 Curve di vulnerabilità per l'edificato campione della medina di Fes a seguito di interventi di consolidamento
- Figura 7.72 Scenario di danno a seguito del rinforzo per IEMS-98 = VII
- Figura 7.73 Scenario di danno a seguito del rinforzo per IEMS-98 = VIII
- Figura 7.74 Scenario di danno a seguito del rinforzo per IEMS-98 = IX
- Figura 7.75 Scenario di danno a seguito del rinforzo per IEMS-98 = X
- Figura 7.76 Curve di fragilità a seguito del consolidamento, per  $I_{v\text{medio}} = 25.71$
- Figura 7.77 Curve di fragilità a seguito del consolidamento, per  $I_{vm} + \sigma = 30.86$ .
- Figura 7.78 Curve di fragilità a seguito del consolidamento, per  $I_{vm} + 2\sigma = 36.02$ .
- Figura 7.79 Stima degli edifici collassati a seguito del consolidamento, per diversi valori di  $I_v$
- Figura 7.80 Stima degli edifici inutilizzabili a seguito del consolidamento, per diversi valori di  $I_v$ .
- Figura 7.81 Stima dei decessi e dei feriti gravi a seguito del consolidamento, per diversi valori di  $I_v$
- Figura 7.82 Stima dei sensatetto a seguito del consolidamento, per diversi valori di  $I_v$ .
- 
- Figura A.1 Scheda riepilogativa delle nozioni di base per gli intervistatori.
- Figura A.2 Scheda con il promemoria della condotta da tenere durante il primo contatto con gli intervistati, le domande iniziali da porre e le impressioni conclusive.
- Figura A.3 Traccia dell'intervista fornita agli studenti.
- Figura A.4 Place Lalla Yeddoura.
- Figura A.5 Appunti dell'intervista con il giovane maalem: radiciamenti lignei.
- Figura A.6 Appunti dell'intervista con il giovane maalem: radiciamenti lignei nella muratura e negli archi.
- Figura A.7 Appunti dell'intervista con il giovane maalem: avancorpi e passaggi coperti.
- Figura A.8 Appunti dell'intervista con il giovane maalem: struttura di rinforzo dei minareti.
- Figura A.9 Appunti dell'intervista con il maalem anziano: apparecchiatura dei filari e sezione di un solaio.
- Figura A.10 Appunti dell'intervista con il maalem anziano: orditura di un solaio e muro in sezione.
- Figura A.11 Appunti dell'intervista con il maalem anziano: spanciamiento ed elementi lignei in prospetto e nella sezione del muro.
- Figura A.12 Appunti dell'intervista con il maalem anziano: passaggio coperto in sezione.
- 
- Figura B.1 Curva di correlazione tra il valore medio di  $f$  e l'IQM verticale (Borri e De Maria, 2019).
- Figura B.2 Curva di correlazione tra il valore medio di  $\tau_0$  e l'IQM nel piano (Borri e De Maria, 2019).
- Figura B.3 Curva di correlazione tra il valore medio di  $f_{V0}$  e l'IQM nel piano (Borri e De Maria, 2019).

- Figura B.4 Curva di correlazione tra il valore medio di G e l'IQM nel piano (Borri e De Maria, 2019).
- Figura B.5 Curva di correlazione tra il valore medio di E e l'IQM verticale (Borri e De Maria, 2019).
- Figura C.1 Distanza massima tra le pareti: schema in pianta ed in sezione
- Figura C.2 Pianta e sezione di un'abitazione di Chefchaouen
- Figura C.3 Dall'alto: pendenza critica del terreno (vista dall'alto); condizione di spinta del suolo; differenze di livello tra le fondazioni
- Figura C.4 Alcune geometrie comuni di edifici di pianta. Nel caso in cui siano presenti sporgenze planimetriche di lunghezze differenti si assuma come valore di b quella massima.
- Figura D.1 Inquadramento delle aree di studio all'interno della Medina
- Figura D.2 Analisi delle pendenze delle due aree campione
- Figura D.3 Esempio di scheda
- Figura D.4 Planimetria dell'area adiacente alla Moschea Qarawiyine (di colore verde). Le planimetrie degli edifici sono state ricavate da Bianca (2000) e corrette laddove sono state riscontrate delle modifiche.
- Figura D.5 Foto che ritraggono la dualità dell'area adiacente alla moschea Qarawiyine: la via del percorso turistico e uno dei derb residenziali.
- Figura D.6 Foto della piazza presente all'interno del quartiere prossimo alla moschea Qarawiyine.
- Figura D.7 Planimetria dell'isolato all'interno del quartiere La Ayoun con indicazione dei fotopiani in Figura D.7. Le planimetrie degli edifici sono state ricavate dal rilievo realizzato dagli studenti del Workshop "Patrimoine Bâti et Développement Durable".
- Figura D.8 Place La Ayoun nel maggio 2017 (in alto), nel settembre 2018 (al centro) e nell'aprile 2019 (in basso).
- Figura D.9 Una pianta in un derb del quartiere La Ayoun, segno di appropriazione dello spazio da parte della popolazione residente.
- Figura D.10 Alcuni fotopiani di Aïn Labral. Dall'alto: Fotopiano A; Fotopiano B e Fotopiano C.

# Lista delle Tabelle

Tabella 2.1	Criteri per quali la Medina di Fes è iscritta nella lista dei siti Patrimonio mondiale UNESCO.
Tabella 3.1	Traccia dell'intervista effettuata con gli abitanti della Medina.
Tabella 3.2	Traccia dell'intervista effettuata con i maestri costruttori. Le domande relative alla cultura costruttiva affrontate con i Maalem si vanno ad aggiungere alle domande definite per gli abitanti della Medina.
Tabella 5.1	Caratteristiche fisiche del mattone antico FesA
Tabella 5.2	Caratteristiche fisiche del mattone utilizzato nel restauro, FesB
Tabella 5.3	Provini rivacati dai mattoni prelevati nella Medina
Tabella 5.4	Prova a compressione, risultati finali
Tabella 5.5	Prova a trazione indiretta, risultati finali
Tabella 5.6	Prova a flessione per tre punti, risultati finali
Tabella 5.7	Risultati finali delle prove di caratterizzazione meccanica: resistenza a compressione e resistenza a trazione
Tabella 5.8	Classificazione delle murature presenti nel territorio marocchino
Tabella 5.9	Punteggi da attribuire ai parametri della regola dell'arte
Tabella 5.10	Attribuzione delle categorie murarie con il metodo dei punteggi
Tabella 5.11	Combinazioni considerate per la definizione dell'IQM Globale.
Tabella 5.12	Risultati ottenuti dall'analisi della qualità muraria sulle tipologie considerate dalla Regione Toscana (2003) e sui tipi presenti nel territorio analizzato.
Tabella 5.13	Modelli ad un piano realizzati
Tabella 5.14	Modelli a due piani realizzati
Tabella 5.15	Caratteristiche geometriche dei mattoni
Tabella 5.16	Caratteristiche geometriche dei tozzetti
Tabella 5.17	Caratteristiche geometriche dei listelli di legno
Tabella 5.18	Prove attrittive mattone/mattone
Tabella 5.19	Prove attrittive mattone/listelli
Tabella 5.20	Tabella riassuntiva delle caratteristiche degli elementi impiegati nelle prove sperimentali
Tabella 5.21	Angoli di attivazione e di collasso delle prove realizzate sui muri ad un piano e relativi moltiplicatori.
Tabella 5.22	Angoli di attivazione e di collasso delle prove realizzate sui muri a due piani e relativi moltiplicatori.

Tabella 6.1	Metodologie di valutazione del danno in base alla loro scala di analisi e all'obiettivo. Le metodologie assegnate con la stella sono quelle utilizzate al di fuori del loro obiettivo iniziale. (Chever, 2012)
Tabella 6.2	Revisione della letteratura sulla tematica della valutazione della vulnerabilità sismica degli aggregati. La letteratura considerata essenziale per questa tesi è contrassegnata con una stella *.
Tabella 6.3	Parametri considerati da Benedetti e Petrini (1984)
Tabella 6.4	Parametri considerati da GNDT (1993)
Tabella 6.5	Parametri per la valutazione della vulnerabilità dell'edificio considerati da Vicente (2008)
Tabella 6.6	Parametri per la valutazione della vulnerabilità della facciata considerati da Vicente (2008)
Tabella 6.7	Parametri per la valutazione della vulnerabilità dell'aggregato considerati da Vicente (2008)
Tabella 6.8	Parametri per la valutazione della vulnerabilità considerati da Formisano et al. 2011
Tabella 6.9	Comparazione dei valori di K della Figura 5.6 secondo diverse normative sismiche ( <a href="https://www.slideshare.net/gaya30/comparison-of-seismic-codes-of-china-india-uk-and-usa-structural-irregularities">https://www.slideshare.net/gaya30/comparison-of-seismic-codes-of-china-india-uk-and-usa-structural-irregularities</a> )
Tabella 6.10	Pesi attribuiti ai diversi parametri
Tabella 6.11	Correlazione tra grado di danno Dk e indice di danno economico di secondo diversi autori.
Tabella 6.12	Correlazione tra gli indici di vulnerabilità e le classi di vulnerabilità definite in termini di scala EMS-98
Tabella 7.1	Cronologia dei terremoti che hanno avuto effetti sulla città di Fes.
Tabella 7.2	Revisione della letteratura sulla tematica della valutazione della vulnerabilità sismica a scala territoriale nell'area del Maghreb. La letteratura di riferimento per questa tesi è contrassegnata con una stella *.
Tabella 7.3	Influenza dei diversi parametri nel calcolo dell'Indice di Vulnerabilità
Tabella B.1	Punteggi da attribuire ai parametri della regola dell'arte (Borri et al., 2011).
Tabella B.2	Attribuzione delle categorie murarie con il metodo dei punteggi (Borri et al., 2011).
Tabella B.3	Classi di qualità dell'IQM Globale.
Tabella B.4	Abaco delle murature presenti nel Manuale di compilazione della scheda GNDT (Regione Toscana, 2003).
Tabella C.1	Definizione delle classi di vulnerabilità per il parametro 1.1
Tabella C.2	Definizione delle classi di vulnerabilità per il parametro 1.2
Tabella C.3	Descrizione delle murature di classe A
Tabella C.4	Descrizione delle murature di classe B
Tabella C.5	Descrizione delle murature di classe C
Tabella C.6	Descrizione delle murature di classe D

Tabella C.7	Definizione delle classi di vulnerabilità per il parametro 1.3
Tabella C.8	Definizione delle classi di vulnerabilità per il parametro 1.4
Tabella C.9	Definizione delle classi di vulnerabilità per il parametro 1.5
Tabella C.10	Definizione delle classi di vulnerabilità per il parametro 2.1
Tabella C.11	Definizione delle classi di vulnerabilità per il parametro 2.2
Tabella C.12	Definizione delle classi di vulnerabilità per il parametro 3.1
Tabella C.13	Tipologie di avancorpi.
Tabella C.14	Definizione delle classi di vulnerabilità per il parametro 3.2
Tabella C.15	Definizione delle classi di vulnerabilità per il parametro 3.3
Tabella C.16	Definizione delle classi di vulnerabilità per il parametro 3.4
Tabella C.17	Definizione delle classi di vulnerabilità per il parametro 3.5
Tabella C.18	Definizione delle classi di vulnerabilità per il parametro 3.6
Tabella C.19	Definizione delle classi di vulnerabilità per il parametro 3.8
Tabella C.20	Definizione delle classi di vulnerabilità per il parametro 4.1
Tabella C.21	Definizione delle classi di vulnerabilità per il parametro 4.2
Tabella C.22	Definizione delle classi di vulnerabilità per il parametro 4.3
Tabella C.23	Definizione delle classi di vulnerabilità per il parametro 5.1
Tabella C.24	Definizione delle classi di vulnerabilità per il parametro 5.2
Tabella C.25	Definizione delle classi di vulnerabilità per il parametro 5.3



“Why do we acknowledge only our textual sources but not the ground we talk, the ever-changing skies, mountains, rocks and trees, the houses we inhabit and the tools we use not to mention the innumerable companions, both non-human animals and fellow humans, with which and with whom we share our lives?”

(Tim Ingold (2011), *Being Alive. Essays on movement, knowledge and description*, London and New York, Routledge)

“Stavo lì a sedere sulla soglia e osservavo casa nostra come se non l'avessi mai vista. La prima cosa da guardare era il cortile rigido e squadrato, dove ogni cosa era governata dalla simmetria. Persino la bianca fontana di marmo che si trovava al centro, col suo perpetuo gorgogliare, pareva ammansita e sotto controllo. La fontana era decorata, lungo la circonferenza, da un sottile fregio di ceramica bianca e blu, che riproduceva il motivo inserito tra le mattonelle di marmo quadrate del pavimento. Il cortile era circondato da un colonnato ad archi, con quattro colonne per lato, che avevano base e capitelli di marmo, e nel mezzo erano rivestite di ceramica bianca e blu il cui disegno riprendeva quello della fontana e del pavimento. Vi si affacciavano quattro enormi saloni, che si fronteggiavano a due a due. Ogni salone aveva una grande entrata centrale che dava sul cortile, con due ampie finestre laterali. Al mattino presto, e durante l'inverno, i saloni erano ben chiusi da battenti di legno di credo intagliato a motivi floreali. D'estate restavano aperti, e calava un sipario di drappi pesanti, trine e velluto, che lasciava passare l'aria, riparando da luce e rumori. Le finestre del salone avevano, all'interno, delle imposte di legno intagliato, simili alle porte, ma dall'esterno si vedevano solo delle inferriate di ferro battuto placcato in argento, sormontate da lunette di vetro dipinte a splendidi colori. Amavo quei vetri colorati per il modo in cui il sole, sorgendo, sfumava di continuo i rossi e i blu, e attenuava i gialli. Come i pesanti battenti di legno, anche le finestre si lasciavano aperte d'estate, e le tende venivano calate solo di notte o durante il riposo pomeridiano, a proteggere il sonno. Alzando gli occhi verso il cielo, si poteva ammirare un'elegante struttura a due piani dov'era ripetuto il geometrico colonnato ad archi del cortile, cui si aggiungeva, a completarlo, un parapetto in ferro battuto placcato d'argento. E finalmente il cielo – sospeso al di sopra di ogni cosa, ma sempre rigidamente squadrato, come tutto il resto, e saldamente racchiuso in un fregio ligneo a disegni geometrici di una pallida tinta color oro e ocre. Guardare il cielo dal cortile era un'esperienza travolgente.”

(Fatima Mernissi (1994), *La terrazza proibita. Vita nell'harem*, Giunti Editore)



## Capitolo 1

# Introduzione

Il progetto di ricerca nasce a seguito dell'attribuzione di una delle dieci borse straordinarie di dottorato dedicate dall'Ateneo di Firenze nel 2016 a temi interdisciplinari di interesse strategico e si inserisce nell'ambito delle ricerche promosse dal Centro Interdipartimentale INN-LINK-S (*Local and Indigenous Knowledge Systems and Innovation*).

Lo stimolo principale della ricerca muove dalla preoccupazione circa le serie minacce che mettono a rischio Patrimoni architettonici preziosi e testimonianze di civiltà e culture splendide. Le fondamentali criticità riguardano la velocità con cui processi di trasformazione socio-economica e tecnologica rischiano di travolgere i lasciti del passato quando questi si incarnano in sistemi edificati e in modellazioni paesistiche strettamente collegate a saperi e a sistemi culturali in via di scomparsa.

I Paesi del Maghreb sono caratterizzati da un Patrimonio culturale costruito di enorme importanza, spesso realizzato con tecniche e materiali frutto di culture locali, anche tacite, la cui vulnerabilità è molto alta. La storia di questi anni, i cambiamenti epocali in atto prodotti dalla globalizzazione, la perdita di conoscenze millenarie stanno fortemente minacciando la sopravvivenza di queste testimonianze, fonte indiscussa di identità e di suggerimenti preziosi per l'abitare anche contemporaneo.

### 1.1 - Motivazione e definizione dell'ambito di interesse

Il progetto di ricerca è finalizzato allo sviluppo di strumenti innovativi per la conservazione, la valorizzazione e la gestione dei sistemi di conoscenza locali intesi come espressione di diversità culturali nella relazione fra società e natura. Nello specifico, esso intende sviluppare una strategia di intervento tesa al riconoscimento e alla tutela del Patrimonio architettonico del Maghreb. Tale patrimonio, costituito da centri storici, monumenti e

insediamenti vernacolari è infatti minacciato da aggressioni sia naturali (in particolare gli eventi sismici) che antropiche (perdita di conoscenze e affermazione acritica di culture tecnologiche incompatibili con le precedenti).

La necessità di identificare un campo di indagine significativo e rappresentativo dei processi descritti, ma allo stesso tempo limitato e capace di consentire indagini dirette e relazioni plausibili con il contesto, ha portato a scegliere la *medina* di Fes in Marocco, Patrimonio UNESCO dal 1981, come campo di applicazione dello studio. La *medina* rappresenta, infatti, un esempio sintomatico dei processi e delle dinamiche in atto che rischiano di mettere a repentaglio gran parte del Patrimonio architettonico del Maghreb. La scelta è inoltre stata favorita dall'accordo di collaborazione culturale e scientifica istituito nel 2016 tra il Dipartimento di Architettura di Firenze (DIDA) e l'*Université Euro-Méditerranéenne de Fès (UEMF)*, fatto che ha promosso una serie di iniziative al contorno e di scambi con la cittadinanza e le istituzioni locali.

## 1.2 - Interesse scientifico e originalità

In un contesto che vede una crescente consapevolezza riguardo alla necessità di riabilitazione del Patrimonio esistente, sia in ambito internazionale che locale, il progetto di ricerca si inserisce nel filone di studi relativi alle tematiche della conservazione e della valorizzazione del Patrimonio architettonico. In particolare, tali tematiche sono state investigate prendendo atto del fatto che, in tali ambiti, la sfera tecnico-scientifica e quella umanistico-sociologica sono connesse in modo intrinseco ed essenziale: le questioni prettamente tecniche sono state affrontate cercando il continuo confronto con gli aspetti legati alla cultura e allo stile di vita. Per questi motivi, il metodo proposto dalla ricerca si caratterizza per un approccio sistemico orientato all'integrazione di strumenti di ricerca scientifico-sperimentali quantitativi con procedure qualitative e di gestione della conoscenza. In questo modo è stato possibile analizzare la vulnerabilità sismica dell'edificato realizzando al contempo una sistematizzazione delle conoscenze relative al Patrimonio.

Gli elementi di originalità del progetto di ricerca sono, oltre all'approccio multidisciplinare:

- classificazione e valutazione della qualità delle murature tradizionali prevalenti in Marocco tramite l'introduzione di un Indice di Qualità

Muraria Globale;

- prove sperimentali per lo studio del contributo degli elementi lignei caratteristici della cultura costruttiva tradizionale;
- proposta di aggiornamento del metodo dell'Indice di Vulnerabilità per la valutazione degli edifici in muratura in aggregato:
  - riorganizzazione e semplificazione della scheda di rilevamento della vulnerabilità;
  - introduzione di nuovi parametri per la descrizione della vulnerabilità;
  - considerazione di parametri relativi all'aggregato edilizio.
- implementazione del metodo al caso studio della *medina* di Fes per la valutazione di scenari di danno.

### 1.3 - Obiettivi

La valutazione del rischio sismico nell'area del Maghreb è una tematica ancora non sufficientemente approfondita, soprattutto se si ritiene indispensabile ancorarla alle tipologie abitative e costruttive che caratterizzano quell'area e quella cultura; e questo nonostante le *medine* che la rappresentano siano testimonianze architettoniche ed urbane di eccezionale valore, ma anche agglomerati densissimamente abitati. Per questo motivo l'obiettivo principale che si pone la ricerca è quello di individuare uno strumento di analisi della vulnerabilità sismica calibrato sui caratteri specifici di quegli insediamenti storici (costituiti essenzialmente da edifici a patio in aggregato) che si inserisca nell'ottica della salvaguardia delle conoscenze e delle tecniche tradizionali e che possa essere esteso e replicato in altri contesti simili. In aggiunta, gli obiettivi specifici sono:

- realizzazione di una campagna di interviste tese alla raccolta delle conoscenze che identificano la cultura architettonico-costruttiva ed il rapporto che gli abitanti hanno con tale cultura;
- sistematizzazione delle informazioni sul patrimonio architettonico esistenti acquisite durante la ricerca;
- approfondimento delle conoscenze relative alla cultura e alla tecnica costruttive locali ed in particolare del contributo che tali tecniche forniscono nella riduzione della vulnerabilità sismica;
- applicazione del metodo proposto per la valutazione della vulnerabilità sismica ad un campione di edifici;
- definizione degli scenari di danno per il campione di edifici;

## 1.4 - Struttura della tesi

La tesi è strutturata secondo i seguenti passaggi (Figura 1.1):

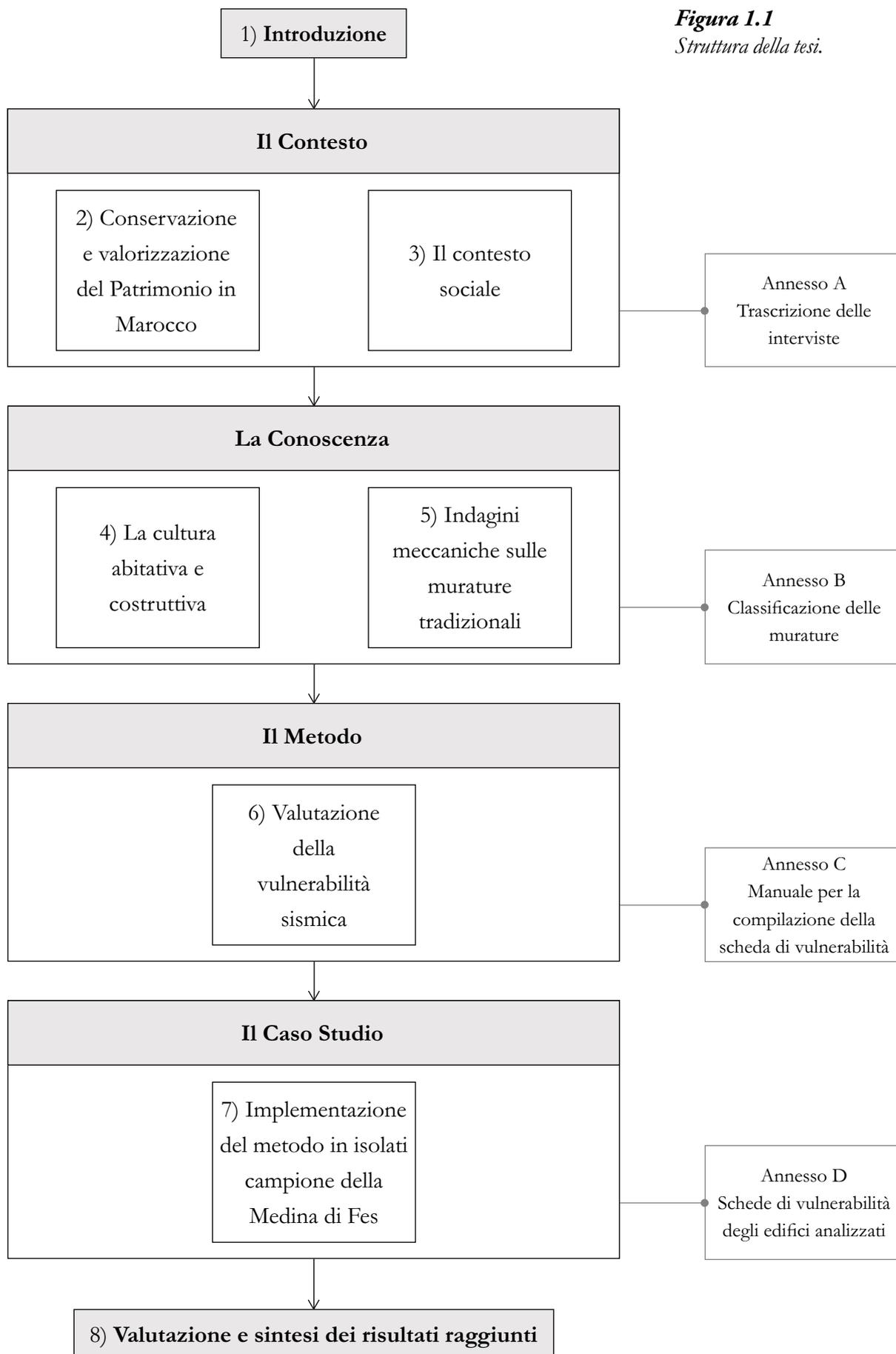
- a) definizione del contesto dentro cui la ricerca si inserisce;
- b) acquisizione della conoscenza relativa al contesto indagato;
- c) definizione di un metodo di analisi della vulnerabilità sismica;
- d) applicazione del metodo al caso studio;
- e) valutazione dei risultati raggiunti.

Il contributo di questo lavoro inizia con un'analisi dei processi che si sono sviluppati negli ultimi decenni e delle attuali tendenze che contraddistinguono i temi della conservazione e della valorizzazione del Patrimonio in Marocco, ponendo l'attenzione sulle problematiche ad esso legate (Capitolo 2). Il contesto socio-culturale in cui la ricerca si inserisce viene poi approfondito attraverso indagini sul campo, svolte conducendo una campagna di interviste realizzata sia con abitanti che con maestri costruttori della *medina* di Fes (Capitolo 3).

Per acquisire una profonda conoscenza del caso analizzato si è proceduto da un lato allo studio della cultura abitativa e costruttiva prevalente in Marocco (Capitolo 4), ponendo l'attenzione su quelle tecniche tradizionali che possono avere un ruolo antisismico e sulle principali criticità dell'edificio; dall'altro si è realizzata una campagna di indagini sui materiali e sulle murature tradizionali campione cercando di dedurre il comportamento strutturale e le proprietà meccaniche (Capitolo 5). I risultati ottenuti grazie alla strutturazione delle informazioni raccolte sulla base delle molteplici indagini realizzate hanno permesso di supportare la fase di analisi.

Successivamente viene proposta una metodologia di valutazione della vulnerabilità sismica basata sull'Indice di Vulnerabilità GNDT di II livello (Capitolo 6). Il metodo proposto è stato applicato ad un campione di edifici all'interno della *medina* di Fes (Capitolo 7) ed ha permesso la realizzazione di curve di vulnerabilità, curve di fragilità, scenari di danno per diverse intensità sismiche e scenari di perdita. I risultati della valutazione della vulnerabilità sono presentati anche attraverso la loro distribuzione spaziale sottoforma di mappe realizzate in ambiente GIS, strumento utile nel supportare l'attuazione delle strategie di mitigazione del rischio e di pianificazione delle emergenze.

In seguito, la metodologia proposta per la valutazione della vulnerabilità sismica è stata applicata una seconda volta al caso studio immaginando



**Figura 1.1**  
Struttura della tesi.

di aver eseguito un consolidamento dell'edificio attraverso l'attuazione di interventi per il rinforzo strutturale, pensati coerenti e meccanicamente compatibili con l'edificio storicizzato. I risultati di questa seconda applicazione, confortanti se paragonati a quelli ottenuti precedentemente, hanno offerto lo spunto per tratteggiare una strategia per la tutela e la valorizzazione del Patrimonio oggetto della ricerca.

Infine (Capitolo 8), oltre ad una sintesi del lavoro svolto, è stata realizzata una valutazione dei risultati raggiunti, delineando le prospettive di lavoro che la ricerca offre per il futuro.