

UNIVERSITA' DELLA CALABRIA
Dipartimento di Ingegneria Civile

Dottorato di Ricerca in
Scienze e Ingegneria dell'Ambiente, delle Costruzioni e dell'Energia

CICLO XXXI

**VERSO LA DEFINIZIONE DELLA VULNERABILITÀ URBANA DEI
NUCLEI CONSOLIDATI: UN APPROCCIO METODOLOGICO
PER LA SUA INDICIZZAZIONE**

SETTORE SCIENTIFICO DISCIPLINARE: ICAR-14

Coordinatore:

Prof. Salvatore Critelli

Supervisore:

Prof.ssa Brunella Canonaco

Co-Supervisore:

Prof. Francesco Bencardino

Dottorando:

Dott.ssa Federica Castiglione



UNIVERSITÀ DELLA CALABRIA



UNIVERSITÀ DELLA CALABRIA

Dipartimento di Ingegneria Civile

Dottorato di Ricerca in

Scienze e Ingegneria dell'Ambiente, delle Costruzioni e dell'Energia-SIACE

CICLO

XXXI

**VERSO LA DEFINIZIONE DELLA VULNERABILITÀ URBANA
DEI NUCLEI CONSOLIDATI: UN APPROCCIO METODOLOGICO
PER LA SUA INDICIZZAZIONE**

Settore Scientifico Disciplinare ICAR-14

Coordinatore:

Ch.mo Prof. Salvatore Critelli

Firma

Supervisore/Tutor:

Ch.mo Prof. Brunella Canonaco

Firma

Co-Supervisore/Co-Tutor:

Ch.mo Prof. Francesco Bencardino

Firma

Dottorando: Dott.ssa Federica Castiglione

Firma



INTRODUZIONE

PARTE 1

IL PANORAMA CULTURALE E L'AMBITO PROGETTUALE DI RIFERIMENTO

1. Verso un approccio parametrico applicato ai centri storici e alle tematiche di vulnerabilità sismica
2. Processi evolutivi nella definizione dei centri storici e della vulnerabilità sismica: dall'approccio puntuale a quello territoriale.

PARTE 2

LO STATO DELL'ARTE PER L'ESTRAPOLAZIONE DI METODI E PARAMETRI PER LA DEFINIZIONE DI UNA METODOLOGIA VALUTATIVA DELLA VULNERABILITA'

1. Sulla vulnerabilità "strutturale" e "urbana": studi, normative, progetti e protocolli

2. Criticità, considerazioni e insegnamenti: dalle serie storiche ai terremoti recenti

3. Conoscenza degli ambiti storici: aspetti morfologici, tipologici, costruttivi e antisismici

1.1. La vulnerabilità sismica

1.2. Valutazione della vulnerabilità strutturale

1.3. Approcci e esperienze per la valutazione della vulnerabilità urbana

3.1. Analisi preliminari per il costruito storico: impianti urbani, tipologie edilizie e processi aggregativi

3.2. Regola dell'arte, tecniche costruttive e materiali tradizionali

3.3. Note sui presidi antisismici e sulle tecniche di consolidamento tra tradizione e innovazione

3.4. Un'applicazione numerica sui materiali innovativi per il rinforzo degli edifici storici

PARTE 3

LA PROCEDURA METODOLOGICA PROPOSTA: APPROCCIO SPEDITIVO-SEMIQUANTITATIVO PER LA DEFINIZIONE DI UN INDICE DI VULNERABILITA' COMPLESSIVO DEI NUCLEI CONSOLIDATI

- 1.** Procedura metodologica proposta: l'approccio, il processo, il dominio e le finalità
 - 1.1. Per una nuova definizione di vulnerabilità sismica complessiva dei nuclei consolidati
 - 1.2. Fasi e livelli del processo metodologico
 - 1.3. Definizione del metodo all'interno delle classificazioni per l'indicizzazione della vulnerabilità sismica
 - 1.4. Dominio di applicabilità e finalità

- 2.** Strumenti proposti per una valutazione della vulnerabilità sismica a scala urbana: struttura e funzionamento del foglio di calcolo elettronico

- 3.** Strumenti proposti per una valutazione della vulnerabilità sismica alla scala dell'aggregato: la scheda di catalogazione

- 4.** Un'applicazione della metodologia proposta sul quartiere di San Giovanni Gerosolimitano nel centro storico di Cosenza

CONCLUSIONI

APPENDICE 1

Foglio di calcolo per la scala urbana

APPENDICE 2

Scheda di catalogazione per l'aggregato

BIBLIOGRAFIA

Introduzione

La ricerca proposta si pone il problema del peculiare rapporto tra l'esigenza della conservazione e riqualificazione architettonica e urbana dei tessuti storici e la necessità di conseguire, in tali ambiti, gli adeguati livelli di sicurezza e resilienza nei confronti degli eventi sismici. La questione della sicurezza dei centri antichi, che spesso ospitano numerosi residenti e funzioni pubbliche, si presenta con tutta la sua drammatica urgenza, poiché sono queste le parti della città che soffrono il maggior danno negli eventi tellurici. L'impellenza appare ancor più manifesta alla luce degli ultimi eventi sismici che, ripetutamente, hanno evidenziato le innumerevoli fragilità e problematiche dei nuclei densi e consolidati.

L'edilizia degli insediamenti storici è il risultato di vicende costruttive articolate e protratte nel tempo che hanno definito l'aspetto attuale del tessuto edilizio, perciò connotato da stratificazioni costruttive la cui valenza storica e testimoniale assume in generale rilevanza culturale. Tali situazioni, se messe in relazione al problema sismico, fanno emergere problematiche peculiari che ricadono sulla valutazione della sicurezza nonché, conseguentemente, sulla definizione degli interventi progettuali, che devono contemperare le esigenze della sicurezza e della tutela.

Oggi la maggior parte del patrimonio culturale e, più in generale, dei centri storici versa in condizioni degradate, che ne alterano il valore culturale e ne riducono l'efficienza strutturale, con ripercussioni negative sulla vulnerabilità rispetto alle azioni sismiche. I centri antichi hanno subito, nel tempo, un deterioramento con

conseguenti problemi strutturali, a causa della scarsa manutenzione, del degrado dei materiali costruttivi, delle aggiunte e superfetazioni, dell'inserimento di nuovi elementi tecnologici, della frammentazione e dei cambiamenti nella distribuzione e nella destinazione d'uso. Di contro, a contrastare la sempre più diffusa tendenza all'abbandono e al degrado dei nuclei storici, il panorama normativo, nazionale e europeo, incentiva e promuove il recupero del patrimonio esistente. In tal senso, appare chiaro che la valutazione del livello di vulnerabilità al quale sono esposti i centri storici è di primaria importanza, non solo nel caso in cui si vogliono attuare politiche di conservazione ma, anche, per la progettazione di azioni di ridestinazione d'uso.

I recenti indirizzi legislativi e le norme sul Paesaggio Storico Urbano dell'UNESCO, inoltre, hanno introdotto un concetto innovativo e fondamentale nella tematica dei centri storici, ovvero quello dei nuclei antichi quali "patrimonio culturale diffuso" in quanto rappresentazione, nella loro interezza, della cultura stratificata, dell'identità e della riconoscibilità di una comunità. Tale lettura auspica una conservazione integrata e complessiva, non più relativa a elementi isolati ritenuti di maggior pregio storico-artistico e culturale. E, proprio per tal motivo, anche la nozione di vulnerabilità, attraverso studi e indirizzi normativi, sta muovendosi verso un'accezione complessiva e urbana.

La tematica analizzata dal progetto di dottorato, quindi, va inquadrata non solo dal punto di vista culturale e morale, per l'importanza che assumono i nuclei consolidati e per la salvaguardia dei valori identitari di cui sono portatori ma, anche, nell'ambito delle iniziative legislative, sia cogenti che d'indirizzo, che promuovono un recupero complessivo dei comparti consolidati, nel rispetto della sicurezza sismica del patrimonio edilizio ma, soprattutto,

dell'incolumità delle vite umane.

Proprio in tale panorama si colloca la ricerca condotta, che vuole proporre una lettura innovativa con conseguente rinnovata definizione di "vulnerabilità urbana" e definire una metodologia speditiva e semi-quantitativa per il calcolo di un "indice di vulnerabilità complessiva strutturale-urbana" concepito in modo da tener conto dell'interrelazione tra tessuto urbano e tessuto costruito e le reciproche influenze.

La metodologia proposta, innanzitutto, attinge all'ampio filone architettonico, ormai consolidato da decenni, della progettazione parametrica.

La comparazione con quanto già fatto in tale ambito e con i paradigmi e gli assiomi ormai assunti all'interno di tale approccio progettuale, mette in luce l'innovazione del lavoro presentato che si pone quale pioniere nel rapportare la tematica della progettazione parametrica a quella della vulnerabilità dei contesti storici.

Facendo proprie le opportunità insite nei processi progettuali parametrici, integrando e gestendo una complessa serie di variabili proprie della vulnerabilità urbana dei contesti consolidati, infatti, la metodologia di valutazione proposta trova riscontro nell'esplorazione e nella generazione di sistemi formali "aperti" e nel controllo della complessità.

Inoltre, il contributo della seguente tesi vuole essere di nuovo respiro con la formulazione di una metodologia dai contributi innovativi. L'"indice di vulnerabilità complessiva strutturale-urbana" proposto, infatti, dipende da innumerevoli fattori: non soltanto quelli prettamente strutturali ma, anche, quelli riconducibili alle caratteristiche tipologiche, morfologiche, architettoniche ed evolutive dei siti di insediamento, dei percorsi e degli spazi aperti. Gli standard e le tipologie urbanistiche diventano i parametri

da analizzare, gli elementi che devono contribuire al mantenimento del livello di sicurezza e di funzionalità del sistema intero.

Perciò la metodologia proposta può definirsi "parametrica" nel senso di integrare, in un unico modello di "rappresentazione del reale", le molteplici variabili del progetto nei nuclei consolidati: quelle di natura geometrica, i rapporti tra forma e struttura, gli aspetti urbanistici e ambientali nonché quelli relazionati all'uso del suolo e degli edifici.

Perciò il tema di ricerca affrontato è caratterizzato da una matrice fortemente sperimentale in termini di obiettivi prefissati, ovvero della formulazione di una proposta progettuale parametrica orientata alla mitigazione del rischio e all'adattamento dello spazio urbano in scenari sismici, ma soprattutto, all'utilizzo di strumenti informatici e di calcolo per una progettazione integrata.

Tali strumenti sono pensati per assistere il progettista nella fase del metaprogetto e, in seconda istanza, per controllare e verificare la resilienza della proposta progettuale attuata.

La finalità della ricerca, infatti, consiste nella definizione di un approccio metodologico per indicizzare una vulnerabilità complessiva dei centri storici, evidenziando una possibile casistica di punti di forza e di debolezza alla luce delle esigenze di sicurezza e di primo intervento nella Condizione Limite di Emergenza (CLE) che si delinea a seguito di un evento sismico.

L'obiettivo è quello di analizzare i centri storici e/o i comparti che lo compongono attraverso tutte le specificità e gli elementi materiali e immateriali caratterizzanti al fine di delineare validi strumenti propedeutici alla conservazione delle identità e alla rigenerazione delle stesse e del loro urbano.

PARTE 1

IL PANORAMA CULTURALE E
L'AMBITO PROGETTUALE DI RIFERIMENTO

Introduzione alla parte 1

All'interno della prima parte della presente tesi di dottorato, la ricerca, che assume caratteri di nuovo respiro, è relazionata al panorama culturale e all'ambito progettuale di riferimento nonché analizzato.

La metodologia proposta, che affronta la tematica della vulnerabilità dei nuclei consolidati, innanzitutto, viene letta all'interno dell'ampio filone architettonico, ormai consolidato da decenni, della progettazione parametrica.

La comparazione con quanto già fatto in tale ambito e con i paradigmi e gli assiomi ormai assunti all'interno di tale approccio progettuale, mette in luce l'innovazione del lavoro presentato che si pone quale pioniere nel rapportare la tematica della progettazione parametrica a quella della vulnerabilità dei contesti storici.

Un ulteriore aspetto inedito della tesi, poi, si relaziona al contesto scientifico in cui si colloca e, in particolar modo, all'evoluzione che si è avuta sia del concetto di centro storico che di quello di vulnerabilità.

Se, da un lato, i nuclei consolidati oggi vengono letti nell'accezione estesa di Paesaggio Storico Urbano, comprensivo di porzioni e aspetti geografici più ampi, dall'altro il concetto di "vulnerabilità" non viene più riferito, esclusivamente, all'edificato e agli aggregati ma al contesto urbano e alla morfologia dei tessuti, che è insita nelle caratteristiche del sito e dei nuclei stessi e che, quindi, influenza i comparti costruiti. Una tale consapevolezza era stata già assunta nel passato (sin dal 1700), nei primi regolamenti edilizi storici, in cui, si vedrà, il fattore urbano era considerato e normato al fine di edificare comparti meno vulnerabili.

La presente parte, quindi, vuole collocare la ricerca

proposta nel panorama scientifico e di ricerca di riferimento, analizzandone gli aspetti di innovazione e di avanguardia.

Lo studio proposto, infatti, trova riscontro nell'esplorazione conoscitiva e nel controllo della complessità propri dei processi parametrici, rapportandosi a tali pratiche progettuali attraverso la lettura del costruito storico in relazione alle tematiche di vulnerabilità sismica.

1. VERSO UN APPROCCIO PARAMETRICO APPLICATO AI CENTRI STORICI E ALLE TEMATICHE DI VULNERABILITÀ SISMICA

Oggetto della presente tesi di dottorato è lo studio degli ambiti consolidati in relazione alle tematiche di resilienza nei confronti degli eventi sismici, al fine di esplicitare una rinnovata e innovativa definizione di vulnerabilità urbana che non consideri solamente gli aspetti strutturali ma che, in ragione di quanto ormai assunto nel panorama scientifico, tenga conto della naturale interrelazione fra tessuto costruito e tessuto dei vuoti. Il fine ultimo della ricerca, ovviamente, è quello di indirizzare e valutare accurati e consapevoli interventi di rigenerazione architettonica e urbana mirati alla riduzione del rischio nonché al miglioramento della risposta globale dei centri storici rispetto agli eventi sismici.

Per tal motivo, la definizione di vulnerabilità urbana proposta, che gemma da un'approfondita comprensione dei contesti storici e dei peculiari caratteri, viene delineata a seguito dell'individuazione di molteplici e variegati fattori, definiti "parametri", che vengono riconosciuti quali concorrenti a una maggiore vulnerabilità dei nuclei consolidati.

La metodologia che viene delineata per poter mettere in atto tali anamnesi, quindi, presuppone un processo conoscitivo ampio e interdisciplinare dei comparti urbani, che si esplica collezionando dati variegati e di natura differente relativi ai parametri individuati. La loro indicizzazione, poi, in una logica causa-effetto, consente di indirizzare scelte progettuali, valutarne in maniera immediata l'effettiva efficacia e, quindi, validarne l'applicabilità.

Una tale logica progettuale, guidata da parametri imposti dal progettista che condizionano il risultato finale e ne impongono la

verifica è riconoscibile, nel panorama culturale relativo alla progettazione architettonica e urbana, nelle metodologie e nei paradigmi propri della progettazione parametrica.

Per tal motivo, la metodologia proposta dalla presente tesi di dottorato, innanzitutto, viene letta all'interno di tale ampio filone, ormai consolidato da decenni.

La comparazione con quanto già fatto in tale ambito e con i paradigmi e gli assiomi ormai assunti all'interno di tale approccio progettuale, normalmente applicato alle costruzioni *ex novo*, mette in luce l'innovazione del lavoro presentato nel rapportare la tematica della progettazione parametrica a quella della vulnerabilità dei contesti storici. Infatti, ad oggi, le ricerche sviluppate propriamente nell'ambito delle applicazioni sul patrimonio culturale, lontane dalle logiche e dai meccanismi di standardizzazione dei processi tipici dell'edilizia contemporanea, sono ancora in erba e limitate.

I recenti sviluppi nell'architettura e nella progettazione, evoluzione di una antica progettazione "analogica", sono il risultato di un percorso di ricerca maturo supportato dagli strumenti digitali che non sono condizionanti ma, piuttosto, elementi neutrali di indagine e approfondimento¹. In tale processo evolutivo, *progettazione parametrica*, *modellazione algoritmica*, *design generativo*, *design associativo* sono le parole chiave di un nuovo paradigma in grado di rispondere alla crescente complessità dei problemi progettuali attraverso un approccio che lega, in una stretta relazione, il processo al risultato e che vede, nel *computer*, il mezzo ma non la ragion d'essere.

Negli ultimi anni, la progettazione parametrica è stata largamente usata, all'interno della pratica architettonica, associata

¹ TEDESCHI A., *Architettura parametrica. Introduzione a Grasshopper*. Edizioni Le Pensur, Potenza, 2010.

principalmente all'uso di avanzate tecnologie digitali nei progetti complessi. Tuttavia il concetto di "parametrico" e le sue applicazioni in architettura devono essere relazionati, non solo, all'utilizzo di *software* che consentono la creazione di forme assai complesse ma, soprattutto, alle relazioni tra i parametri, ovvero i dati che modificano una situazione progettuale iniziale, e il processo ideativo-progettuale. Tale definizione, tuttavia, non coglie appieno l'importanza dei parametri all'interno della fase architettonica, soprattutto se si considera che, in generale, tutti i progetti sono influenzati da condizioni esterne e che tale presupposto è, perciò, da sempre tra i cardini del momento progettuale.

L'approccio parametrico non è recente, perlomeno non contemporaneo. Già Luigi Moretti (1906-1973) parlò di architettura parametrica: elaborando progetti per stadi e rifiutando riferimenti tipologici, perseguì l'idea di generarne la forma attraverso relazioni geometriche tra parametri relativi alla visione ottimale.

Scrivendo Moretti: «I "parametri" e le loro interrelazioni divengono così l'espressione, il codice, del nuovo linguaggio architettonico... Alla determinazione dei "parametri" e loro interrapporti, debbono chiamarsi a coadiuvare le tecniche e le strumentazioni del pensiero scientifico più attuali; particolarmente la logica-matematica, la ricerca operativa e i *computers*, specie questi per la possibilità che danno di esprimere in serie cicliche autocorrettive le soluzioni probabili dei valori dei parametri e delle loro relazioni».

Negli stessi anni l'ingegnere Sergio Musmeci ribaltò l'approccio tradizionale al calcolo strutturale realizzando l'inedita struttura del ponte sul Basento a Potenza (1967-1976): ribaltando il problema strutturale, la cui soluzione era basata sostanzialmente su metodi codificati di dimensionamento e verifica di elementi, identificò la

necessità, per la Scienza delle Costruzioni, di sviluppare una vera e propria teoria delle forme, basata sulle potenzialità offerte dai calcolatori elettronici.

Per molti, però, il primo esempio di architettura parametrica nella storia è il Padiglione Philips ideato da Le Corbusier e Iannis Xenakis per l'Esposizione Internazionale di Bruxelles del 1958.

A partire da questi embrionali studi, l'architettura parametrica ha pian piano trovato la propria completa manifestazione nelle forme e nei processi generativi messi a punto dagli architetti più celebri dell'ultima decade che hanno indirizzato studi ed energie proprio su un approccio basato su "parametri" e "relazioni".

A partire dagli anni '60, l'intera avanguardia architettonica, con epicentro nella *Architectural Association School* di Londra, stabilì la centralità del concetto di diagramma (processo): il tipo non definisce più l'idea di partenza di un'opera ma è sostituito dal diagramma che indaga il sistema complesso di relazioni delle sue parti².

Nel 1990, Gross affermò le grandi potenzialità dei "parametri" nell'elaborazione di forme complesse applicabili a edifici e, poco dopo, precisamente nel 1993, Serrano fu il primo a dare un'esplicita definizione delle implicazioni che le procedure parametriche generavano in ambito progettuale.

Il digitale è diventato soltanto negli ultimi anni strumento di amplificazione e momento di verifica; la reciproca fecondazione tra teoria architettonica e possibilità offerte dal digitale ha consentito di estendere l'utilizzo del *computer* quale sistema di controllo maturo di nuove sperimentazioni formali.

Facendo riferimento alla possibilità di creare forme complesse di cui si è detto, i "processi generativi" che si innescano costituiscono

² Il concetto di diagramma, poi, ha acquistato importanza sempre maggiore negli ultimi decenni: si pensi ai diagrammi di trasformazione di Eisenmann, ai dipinti di Zaha Hadid, a Rem Koolhaas.

un approccio avanzato alla progettazione architettonica, che permette di controllare la qualità e la costruibilità dell'opera in una logica di analisi di un sistema in continua mutazione. In contrapposizione alla monotonia nonché al caos urbano del modernismo, infatti, il parametricismo³ si ispira ai processi della natura; non accosta forme predefinite e rigide ma componenti malleabili, in un gioco dinamico di risposdenze e adattabilità al contesto.

In tale approccio, quindi, i processi chiave della progettazione sono la variazione e la correlazione, ottenuti e resi possibili attraverso l'utilizzo dei *software* innovativi. Al variare di alcuni parametri di base arbitrariamente imposti, infatti, le forme si plasmano conseguentemente; la progettazione dei sistemi spaziali, quindi, è in grado di interagire mediante la riconfigurazione in tempo reale in risposta ai dati di *input* che il progettista implementa. I *software* parametrici (BIM Building Information Modeling), infatti, consentono di organizzare i progetti in sistemi associativi basati su logiche di relazione tra parti, offrendo la possibilità di alterare la configurazione complessiva di un sistema, agendo sui parametri posti alla base del processo progettuale, secondo una logica di propagazione delle modifiche da una scala più ampia sino alla congruente ridefinizione di dettagli a piccola scala.

Tale approccio, che fino ad oggi si è basato principalmente su logiche progettuali semplici, quali gli aspetti geometrici e formali,

³ Si ricorda che il primo a coniare tale termine, associandolo a un vero e proprio stile architettonico, è stato Patrik Schumacher nel 2008. Secondo Schumacher la nascita del parametricismo come stile è legittimata da dieci anni di ricerche coerenti condotte dalle avanguardie. Il suo Manifesto descrive tale stile maturo e consolidato il cui sviluppo è stato possibile grazie all'introduzione dei programmi di modellazione e dello *scripting* nei processi di progettazione architettonica. SCHUMACHER P., *Parametricism as a style-Parametricist Manifesto*. Proceedings of Dark Side Club, Venezia, 2008.

può essere potenziato dall'immissione di altri vincoli (come quelli di produzione, statici, materici) o variabili parametriche (condizioni ambientali o particolari sollecitazioni statiche) e, quindi, condurre a una strategia progettuale integrata, che tiene conto, contemporaneamente, di differenti aspetti. Una volta definito l'oggetto della progettazione, infatti, scrivendone la definizione parametrica, ovvero le "regole" che ne guidano la genesi formale, si possono concepire un numero infinito di alternative. Il modello al quale si giunge è, quindi, la sintesi di molteplici informazioni desunte dalle diverse professionalità coinvolte nel progetto giungendo così a un livello di conoscenza globale del manufatto.

Pertanto, le sperimentazioni recentemente condotte nel panorama scientifico vanno nella direzione di verificare l'adattabilità del parametricismo ai differenti ambiti coinvolti nella progettazione e in tale prospettiva innovativa vuole muoversi la presente tesi di dottorato.

Un tale approccio progettuale si sta applicando al costruito storico e ai beni culturali⁴ al fine di una maggiore conoscenza degli aspetti costitutivi e delle peculiarità del manufatto, facilitando i progettisti in tutte le valutazioni necessarie per la stesura del progetto di conservazione e tutela. Se i processi parametrici rappresentano un approccio vincente alla

⁴ Si ricordano i software H-BIM (*Historical Building Information Modeling*) e, tra gli altri, i progetti di restauro delle Pescherie di Levante (Mantova) e quello della chiesa di San Cipriano a Castelvechio Calvisio (L'Aquila).

Cfr. CONTINENZA R., GIANNANGELI A., TRIZIO I., TATA A., *H-BIM per il progetto di restauro: l'esempio della chiesa di San Cipriano a Castelvechio Calvisio (L'Aquila)*. Disegnarecon. Vol. 9, n. 16, 2016, pp. 15.1-15.9; SPALLONE R., PIANO A., PIANO S., *B.I.M. e beni architettonici: analisi e rappresentazione multi-scalare e multi-dimensionale di un insediamento storico. Il caso studio di Montemagno, Borgo Nuovo piemontese*. Disegnarecon. Vol. 9, n. 16, 2016, pp. 13.1-13.13; DI LUGGO A., SCANDURRA S., *La traduzione dal modello discreto al modello parametrico per la conoscenza del patrimonio architettonico nei sistemi H-BIM*. Disegnarecon. Vol. 9, n. 16, 2016, pp. 11.1-11.8.

progettazione integrata del nuovo, la loro applicazione all'architettura storica diviene un obiettivo strategico da perseguire.

Considerando, infatti, che le caratteristiche del patrimonio esistente di interesse culturale sono connesse tanto all'unicità della "materia dell'opera"⁵ quanto alla complessità dei valori intangibili che rappresentano, non è certo semplice conciliare i nuovi strumenti tecnologici con le questioni umanistiche naturalmente connesse alle attività che abbiano per oggetto il patrimonio culturale. Ciò nonostante, date le potenzialità dei sistemi informativi nella gestione di grandi quantità di dati eterogenei, può considerarsi ormai dimostrato il ruolo "ermeneutico" che i BIM possono svolgere nei processi di conoscenza della realtà tramite la simulazione di sistemi complessi⁶. Inoltre, favorendo l'interrelazione delle informazioni, tali sistemi sono ormai di supporto anche alle attività di analisi dello stato di conservazione e di progettazione degli interventi di recupero⁷.

In tal senso, applicazioni parametriche diffuse sul territorio consentirebbero, anche, di interfacciarsi, in caso di terremoto, con quanto collezionato precedentemente all'evento tellurico e di confrontare i dati *pre* con quelli *post* sisma.

In relazione agli applicativi volti alla prevenzione sismica, poi, recenti studi stanno validando l'utilizzo di programmi BIM come alternativa alle procedure tradizionali per la gestione

⁵ BRANDI C., *Teoria del restauro*. Einaudi, Torino, 1977, pp. 9-12.

⁶ BRUSAPORCI S., *The importance of being honest: issues of transparency in digital visualization of architectural heritage*. In IPPOLITO A., *Handbook of research on Emerging technologies for architectural and archeological heritage*. IGI Global, Hershey (PA), 2017, p. 68-96.

⁷ ACIERNO M., CURSI S., SIMEONE D., FIORANI D., *Architectural heritage knowledge modelling: an ontology-based framework for conservation process*. *Journal of cultural heritage*, vol. 24., 2017, pp. 124-133.

informatizzata del danno sismico allo scopo di ridurre i tempi e i costi associati alle attività di creazione di un quadro fessurativo e di progettazione di interventi⁸.

La sostanziale differenza tra i due processi, ovvero quello della progettazione *ex novo* e della progettazione in ambiti storici, ben espressa da Simone Garagnani⁹, risiede nel tipo di informazioni che i due modelli digitali conservano: il primo, infatti, coordina le figure professionali che partecipano alla progettazione integrata (architetti, impiantisti, strutturisti, etc.); il secondo indugia sulla fase della conoscenza geometrica, materica e storica dell'edificio, attraverso il rilievo, la definizione del tipo e dello stato di conservazione dei materiali, orientandosi alla documentazione del bene e alla pianificazione di interventi consapevoli.

Nell'applicazione al contesto storico, l'attenzione viene tralata dal modello geometrico alla creazione di un *database* in grado di raccogliere informazioni eterogenee, derivate da ambiti multidisciplinari, relative al bene da conservare, documentare, gestire: un «modello complesso [...] interattivo, manipolabile, interrogabile, navigabile, poli-visualizzabile, nucleo di aggregazione per le informazioni¹⁰».

Informazioni che non devono pensarsi necessariamente riferite ad un solo edificio ma che, invece, possono essere collezionate per ampi comparti urbani rendendo, per esempio, immediata la figurazione di mappe tematiche relative alle più svariate caratteristiche che si vogliono analizzare e studiare (tipologie

⁸ SALZANO A., MENNA C., ASPRONE D., SERRA M., COSENZA E., *Digitalizzazione del danno sismico di edifici su piattaforma BIM attraverso tecniche di intelligenza artificiale*. INGENIO Sistema integrato di Informazione Tecnica, 2018.

⁹ GARAGNANI S., *H-BIM nell'esistente storico. Potenzialità e limiti degli strumenti integrati nel recupero edilizio*. INGENIO Sistema integrato di Informazione Tecnica, 36, 2015.

¹⁰ BRUSAPORCI S., TRIZIO I., *La "Carta di Londra" e il patrimonio architettonico: riflessioni circa una possibile implementazione*. SCIRES-IT SCIENTIFIC RESEARCH and Information Technology. Vol. 3, Issue 2, 2013, p. 64.

edilizie, età, stili, materiali, ecc.).

Proprio nella caratteristica principale della progettazione parametrica applicata ai beni culturali, ovvero la conoscenza approfondita del bene, si inserisce la presente tesi di dottorato che, proponendo una metodologia basata su un'ampia e variegata anamnesi dei nuclei consolidati, può interfacciarsi con tali strumenti innovativi per la redazione degli elaborati grafici e la catalogazione dei parametri analizzati sul territorio. Non a caso, infatti, gli strumenti progettati per l'applicazione dell'approccio proposto dal seguente studio, sono delle schede tipo di catalogazione in cui raccogliere dati di diversa natura da analizzare rispetto alla scala territoriale. In tale processo di conoscenza, che prelude all'indicizzazione della vulnerabilità dei comparti urbani, poi, sono di essenziale importanza le mappe tematiche relative ai parametri da analizzare, ovvero rappresentazioni grafiche parametriche dei caratteri tipologici, morfologici, architettonici, funzionali, ecc. dell'edificato. Inoltre, rappresentazioni grafiche sono essenziali, anche, nella fase finale dell'applicazione della metodologia proposta, ovvero nella figurazione dei diversi indici di vulnerabilità ottenuti per il costruito analizzato. Proprio in tal senso, quindi, la presente tesi di dottorato si inserisce in maniera innovativa negli scenari della progettazione parametrica riferita ai beni culturali proponendo un possibile ampliamento degli ambienti H-BIM (*Historical Building Information Modeling*) alle tematiche di vulnerabilità urbana.

Aspetti chiave dell'architettura parametrica applicata al patrimonio storico costruito, inoltre, riguardano il coordinamento tra le diverse discipline e la modellazione virtuale degli scenari progettuali, prevenendo problematiche prima ancora della cantierizzazione e, quindi, garantendo un'ottimizzazione di tempi e costi.

A valle di queste considerazioni si possono delineare alcuni possibili sviluppi della ricerca relativa alla progettazione parametrica applicata al patrimonio edilizio storico esistente. Essa, infatti, potrebbe trasformarsi in un valido strumento nelle mani delle Pubbliche Amministrazioni per la digitalizzazione del patrimonio, la catalogazione intelligente del patrimonio storico, ovvero la realizzazione di una banca dati di modelli H-BIM degli edifici che necessitano di interventi, facilitando la progettazione e riducendo i tempi, le interferenze e i rischi di fallimento.

Anche in tale sviluppo scientifico della ricerca si inserisce la tesi di dottorato che, proponendo una metodologia speditiva di valutazione della vulnerabilità del patrimonio costruito vuole, fra le altre finalità, essere di supporto per indirizzare le scelte progettuali e garantire una catalogazione basata sui plurimi parametri individuati. L'approccio metodologico proposto, infatti, insiste sui temi della verifica e della validazione delle scelte progettuali ancor prima che esse diventino applicative, così come fanno le progettazioni basate sull'approccio parametrico.

Infine, approcci parametrici si stanno sviluppando anche applicati alla progettazione a scala urbana¹¹. «Un approccio discreto, come quello messo in campo dall'urbanistica ordinaria, ha spesso dimostrato forti discrepanze tra i risultati attesi e quelli ottenuti. Tuttavia, gli strumenti innovativi connessi con la prassi digitale, quali per esempio quelli legati ai *big data* e alle prassi dell'urbanistica parametrica, possono supportare un approccio innovativo al progetto urbano di natura attiva. Tale approccio attivo è orientato all'utilizzo di sistemi informatizzati e scenari continuamente implementabili, capaci di affrontare la fluidità dei

¹¹ Si veda GALLI A., *Urbanistica parametrica. Open data, strumenti e tecniche per la progettazione della città di domani*. Tesi di Laurea, Politecnico di Torino, Facoltà di Ingegneria, Relatori: Prof. C. OSTORERO, Prof. R. PAGANI, 2013.

contesti urbani contemporanei»¹².

La massa urbana viene vista, in tale approccio, come uno sciame di edifici che formano un ambiente sottoposto a continui cambiamenti che comportano mutamenti sino alla scala dell'edificio creando una relazione intricata. La stessa interrelazione alla base della definizione di vulnerabilità proposta nella tesi di dottorato che dà una lettura complessa dell'urbano e dei rapporti che intercorrono fra le parti in caso di sisma.

Per tal motivo, l'urbanistica parametrica deve essere ricercata attraverso i principi: di organicità, intesa come riconoscere ogni parte all'interno di un disegno superiore e accentuare le diversità; di figurazione ovvero analizzare l'oggetto in relazione alle influenze ambientali e a parametri dell'osservatore; di reattività ovvero adattabilità a diversi scenari di uso e occupazione¹³.

Operare sul sistema urbano con approccio parametrico, quindi, vuol dire comprenderne il suo comportamento intrinseco: il processo di adattamento e di auto-organizzazione del sistema si innesca solamente se le regole impostate dal progettista sono capaci di condizionarne il comportamento.

Un tale approccio alla scala urbana, ancora in erba, si sta sviluppando principalmente in relazione alla tematica energetica, di *smart city* e di cambiamenti climatici ma, inoltre, si possono individuare almeno altri tre ambiti applicativi¹⁴.

Il primo è relativo all'elaborazione dei *Master Plan* e, dunque, alla progettazione di una porzione urbana unitaria, sia essa riferita a un quartiere di una città esistente o a una nuova città.

Un secondo campo di utilizzo, poi, può essere rappresentato

¹² PAGANI R., CHIESA G. (a cura di), *Urban data. Tecnologie e metodi per la città algoritmica*. Edizioni Franco Angeli, Milano, 2016, p. 14.

¹³ SCHUMACHER P., *op. cit.*

¹⁴ FUSERO P., MASSIMIANO L., TEDESCHI A., LEPITI S., *Urbanistica parametrica: una nuova frontiera delle Smart Cities*. Planum. The Journal of Urbanism. Vol. 2, Issue 27, 2013, pp. 1-13.

dall'elaborazione di scenari diversi rappresentativi di soluzioni alternative all'interno dei Piani Urbanistici. Gli strumenti parametrici, in tale caso, possono essere di grande aiuto attraverso rappresentazioni efficaci e controllate che facciano capire come, agendo su alcuni parametri, si modifichi l'intero sistema. Tale concetto, in particolare, può direttamente riferirsi alla presente tesi di dottorato e alla metodologia proposta che, facilmente aggiornabile, può essere in grado di relazionare i cambiamenti della risposta del tessuto costruito consolidato alla tematica della vulnerabilità urbana.

Un terzo campo di applicazione, infine, può essere rappresentato dalla definizione delle soglie in relazione ai reali bisogni delle aree di espansione e strategiche di un PRG. Quest'ultimo tema è, dunque, applicabile a molti settori della disciplina urbanistica: da quelle determinate dal mercato immobiliare, a quelle dovute ai flussi di traffico, ai fattori di inquinamento, alle densità abitative, alla distribuzione dei servizi e delle destinazioni d'uso. Ciò potrebbe generare due ricadute: la prima è relativa all'ausilio per gli amministratori e i tecnici nel prendere decisioni consapevoli; la seconda riguarda la prospettiva di un nuovo paradigma di Piano che faccia uso di rappresentazioni dinamiche che consentano un adeguamento costante delle destinazioni d'uso e, più in generale, delle decisioni urbanistiche.

Anche in tal senso, si vedrà, la metodologia proposta può essere innovativa nel guidare le Pubbliche Amministrazioni nella valutazione di operazioni di redistribuzione delle funzioni nei centri storici e di rigenerazione urbana.

Per quanto fin qui detto, pertanto, la presente tesi di dottorato e, nello specifico, la metodologia di indicizzazione della vulnerabilità urbana che si vuole proporre e definire con caratteri innovativi, attinge all'approccio parametrico. Non ne condivide,

ovviamente, la ricerca della forma (in quanto si ha un'applicazione su contesti e nuclei consolidati) ma si rifà, piuttosto, al metodo di analisi per parametri nonché al presupposto dell'interrelazione del singolo elemento con il contesto, in continua evoluzione e al servizio della collettività.

Gli strumenti proposti per l'indicizzazione di tale vulnerabilità, uniti alle tecnologie progettuali dell'architettura parametrica, infatti, sono in grado di elaborare un processo basato non tanto sulle quantità metriche, ma sui rapporti coerenti tra gli oggetti, con possibilità di cambiamento in tempo reale per propagare le modifiche corrispondenti in tutto il sistema.

Perciò il tema di ricerca affrontato è caratterizzato da una matrice fortemente sperimentale in termini di obiettivi preposti, ovvero della formulazione di una proposta progettuale parametrica orientata alla mitigazione del rischio e all'adattamento dello spazio urbano in scenari sismici, ma soprattutto, all'utilizzo di strumenti informatici e di calcolo per una progettazione integrata.

Tali strumenti sono pensati per assistere il progettista nella fase del metaprogetto e, in seconda istanza, per controllare e verificare la resilienza della proposta progettuale attuata.

Attraverso un approccio parametrico e una codificazione informatica, come contributo innovativo, si è cercato di definire una metodologia che potesse essere un aiuto concreto alla progettazione architettonica e urbanistica in fase preliminare, indirizzandone le analisi successive e consecutive.

Il metodo proposto, inoltre, si vedrà può essere utile alla validazione (già in fase preliminare) delle scelte progettuali nella logica, propria della progettazione parametrica, dell'adattamento immediato del modello alle scelte. Una tale caratteristica, propria delle schede progettate per questo studio

di dottorato, infatti, consente di confrontare diversi possibili scenari di intervento e le dirette conseguenze, in maniera immediata e in aggiornamento continuo.

Infine, il duplice aspetto sperimentale ha riguardato, in primo luogo, la progettazione ambientale formulata a valle di recenti studi scientifici in termini di vulnerabilità sismica dei nuclei consolidati; in secondo luogo, l'adozione di un approccio informatico in un'ottica di *data design*, non direttamente legato alla "produzione finale di un oggetto", ma orientato al controllo/gestione/verifica di informazioni e situazioni già mature e esistenti.

Perciò la metodologia proposta può definirsi "parametrica" nel senso di integrare, in un unico modello di "rappresentazione del reale", le molteplici variabili del progetto nei nuclei consolidati: quelle di natura geometrica, i rapporti tra forma e struttura, gli aspetti urbani e ambientali nonché quelli relazionati all'uso del suolo e degli edifici.

La Carta di Londra¹⁵ riflette proprio sulle potenzialità dei nuovi strumenti digitali nella gestione dei "rapporti di dipendenza"¹⁶, ovvero delle relazioni tra le diverse informazioni che questi possono elaborare. Le visualizzazioni digitali vengono infatti considerate anche come potenti mezzi empirici per esplorare le implicazioni che ogni "parte di conoscenza" determina su un'altra parte di conoscenza a questa legata; pertanto, la costruzione della conoscenza di un bene del patrimonio culturale può essere

¹⁵ La Carta di Londra (<http://www.londoncharter.org/>), tradotta, poi, in diverse lingue, nonché i progetti connessi quali la Carta di Siviglia, hanno avuto un importante ruolo di catalizzatori del consenso internazionale sui principi guida delle *best practice* per l'uso delle visualizzazioni *computer-based* nei diversi ambiti disciplinari concernenti il *Cultural Heritage*, ad esempio nell'ambito della cosiddetta *Virtual Archeology*.

¹⁶ DENARD H., *A new introduction to the London Charter*, in BENTKOWSKA-KAFEL A., DENARD H., BAKER D., *Paradata and transparency in virtual heritage*. Routledge Taylor and Francis Group, London, 2016, p. 67.

molto favorita dalle possibilità che questi nuovi strumenti digitali offrono nel confronto sistematico e iterativo tra i dati e le ipotesi, per quanto inevitabile sia la soggettività delle scelte interpretative. Concludendo, le innovazioni offerte dalla progettazione parametrica, in modo particolare per gli interventi sul patrimonio costruito, richiedono un cambiamento radicale nella gestione e organizzazione dei processi rendendo necessaria, insieme al continuo sviluppo di linguaggi e protocolli condivisi, l'apertura a un maturo approccio sistemico.

In tale ottica, si pone la presente tesi di dottorato che ha come obiettivo quello di delineare un possibile approccio che coniughi le metodologie parametriche della progettazione architettonica agli ambiti storici e all'aspetto di vulnerabilità sismica, di quanto si sta già facendo in campo

2. PROCESSI EVOLUTIVI NELLA DEFINIZIONE DEI CENTRI STORICI E DELLA VULNERABILITÀ SISMICA: DALL'APPROCCIO PUNTUALE A QUELLO TERRITORIALE

Oggetto degli studi e delle analisi del seguente lavoro di ricerca sono i centri storici, i nuclei consolidati che, disseminati diffusamente sul territorio italiano, lo caratterizzano e ne sono memoria testimoniale di civiltà e di tradizioni locali, portatori di cultura e di identità. Per almeno mezzo secolo, le città storiche hanno acquisito un prestigio ineguagliato nella cultura e nella vita contemporanea, dovuto alla qualità dell'ambiente costruito, alla persistenza concreta del senso del luogo e alla concentrazione di eventi artistici e storici; andando a costituire i nuclei dell'identità di un popolo e divenendo, perciò, icona del mondo culturale¹⁷.

«I centri storici italiani, come per tutta Europa, hanno una storia lunga. Derivano da antichi impianti, spesso di epoca romana, hanno subito le ristrutturazioni medievali e le trasformazioni del Rinascimento e della Controriforma, hanno acquistato un tocco borghese nell'Ottocento»¹⁸. L'edilizia degli insediamenti consolidati, quindi, è il risultato di vicende costruttive stratificate e protratte nel tempo che hanno definito l'aspetto attuale del tessuto edilizio, connotato perciò da stratificazioni la cui valenza storica e testimoniale assume in generale rilevanza culturale.

Proporre una definizione di centro storico è, oggi, un'operazione estremamente articolata dovendo racchiudere in sé riferimenti a molteplici fenomeni complessi e per l'abbondanza di varietà tipologica, strutturale, storica, dimensionale, geografica e

¹⁷ UNESCO, *Proposte relative l'opportunità di uno Strumento Normativo per i Paesaggi Storici Urbani* (Conferenza Generale 36 a Sessione Parigi 2011) 36C/23, 18 agosto 2011.

¹⁸ GIUFFRÈ A., *op. cit.*, p. 3.

geologica degli stessi. La necessità e, al tempo stesso, la difficoltà di una definizione è spesso generata dalla consapevolezza che non si può «identificare e comporre una categoria concettuale unitaria...in cui far rientrare i vari tipi di agglomerati urbani di antica edificazione e/o di elementi interni di essi, dei quali il nostro paese presenta una fenomenologia particolarmente ricca»¹⁹.

Il concetto di **centro storico** ha subito, negli anni, un'evoluzione e un allargamento graduale tanto della sua individuazione fisica, quanto del suo significato: da semplice realtà urbanistico-architettonica con qualità culturale, è andato a includere aspetti sociali e economici. L'ampliamento del confine ideale, perciò, lo porta a essere, secondo le comuni accezioni, variamente definito. Già Roberto Pane scriveva: «...il centro antico corrisponde all'ambito della stratificazione archeologica, mentre il centro storico è la città stessa nel suo insieme, ivi compresi i suoi agglomerati moderni»²⁰. Si parla, quindi, delle «parti del patrimonio edilizio meno titolate dal punto di vista genealogico e meno nettamente identificabili dal punto di vista della tipologia urbana, che vanno dalla strada, al nucleo edilizio, al singolo episodio»²¹. Roberto Di Stefano²², inoltre, tenendo conto della variabile localizzazione geografica e dell'entità dei nuclei, suddivide i centri storici in: "insiemi architettonici indipendenti", "piccoli centri urbanizzati", "città storiche" e "quartieri storici di grande città", estendendo il concetto comune anche a singoli elementi o a parti

¹⁹ D'ALESSIO G., *I centri storici aspetti giuridici*. Giuffrè editore, Milano, 1983, p. 6.

²⁰ PANE R., *Centro storico e centro antico*, in *Napoli nobilissima*. Arte tipografica Napoli, Napoli, 1968, anno VIII, vol. V-VI, pp. 153-157.

²¹ GORIO F., *Critica dell'idea di "centro storico"*, in *Rassegna di Architettura e Urbanistica*. Edizioni Kappa, Roma, 1980, anno XVI, vol. 46, p. 55.

²² DI STEFANO R., *Il recupero dei valori: centri storici e monumenti: limiti della conservazione e del restauro*. Edizioni Scientifiche Italiane, Napoli, 1979.

isolate²³.

La seconda *Carta di Gubbio* (1960) introduce, poi, il concetto di territorio storico, inteso come «espressione complessiva dell'identità culturale...in tutte le sue parti (città esistente e periferie, paesaggi edificati, territorio rurale)»²⁴, attribuendogli un valore identitario.

Non ultima, infine, l'estensione apportata dallo *Studio propedeutico all'elaborazione di strumenti d'indirizzo per l'applicazione della normativa sismica agli insediamenti storici*²⁵, in cui viene definito l'Innesdramento Storico (IS): non soltanto il principale nucleo centrale ma, piuttosto, tanto le parti antiche quanto quelle moderne di una città, naturali appendici. Inoltre, è «il sistema degli insediamenti storici che ricadono nel Comune, che possono sostenersi a vicenda, con ruoli diversi, sia nella valorizzazione che nell'organizzazione dell'attività di prevenzione sismica...è un'unità culturale e socio-economica».

Come detto, l'evoluzione nel tempo del concetto di centro storico non ha riguardato solo l'estensione della sua delimitazione urbana. È intercorso, anche, un ampliamento del significato stesso: non più relazionato esclusivamente a caratteri storico-

²³ Vengono considerati quali "insiemi architettonici indipendenti" i castelli o i monasteri; i "piccoli centri urbanizzati" sono costituiti da poche migliaia di abitanti e sono per lo più rurali, marittimi e montani; le "città storiche" possono essere a carattere omogeneo o misto, «non sono state seriamente interessate dalla urbanizzazione e dall'esplosione demografica e non risultano molto alterate nelle loro strutture urbane»; infine, i "quartieri storici delle grandi città" vengono ulteriormente suddivisi a seconda che siano su via d'acqua, in prossimità di un insieme monumentale o archeologico di notevole interesse, in prossimità di grandi spazi verdi, oppure isolati, circondati dai quartieri moderni.

²⁴ La *Carta di Gubbio* è approvata a conclusione del *Convegno Nazionale per la Salvaguardia e il Risanamento dei Centri Storici* (Gubbio, 17-18-19 settembre 1960) promosso da un gruppo di studiosi di restauro e dai comuni di Ascoli Piceno, Bergamo, Erice, Ferrara, Genova, Gubbio, Perugia, Venezia.

²⁵ GRUPPO DI LAVORO ISTITUITO CON NOTA DEL PRESIDENTE DEL CONSIGLIO SUPERIORE DEI LAVORI PUBBLICI n. 7547 del 6.9.2010, *Studio propedeutico all'elaborazione di strumenti d'indirizzo per l'applicazione della normativa sismica agli insediamenti storici*. 20.04.2012, pp. 11-14.

artistici ma, anche, a numerosi elementi, afferenti a discipline differenti. Nel tempo, quindi, si parla di «insediamenti dotati di evidenti qualità formali e organicità strutturale»²⁶; di «tutti gli insediamenti umani titolati di testimonianza storica, architettonica e urbanistica»²⁷; di «insediamenti urbani stratificatisi attraverso i tempi»²⁸.

Importante appare, infine, la *Raccomandazione per Paesaggio Storico Urbano*²⁹ elaborata nel 2011 dall'UNESCO. L'innovazione del documento sta nell'introduzione di un concetto più vasto e complesso: il Paesaggio Storico Urbano (*Historic Urban Landscape-HUL-*), astratto e immateriale.

Tra le premesse della *Raccomandazione* si trova l'invito a riconoscere la dinamicità delle città quali organismi viventi che si pongono a congiunzione fra l'uomo e l'ambiente. A tal fine, bisogna considerare i centri urbani nella loro totalità, includendo le parti di nuova costruzione, le aree del paesaggio cosiddetto naturale e gli aspetti immateriali, memoriali e identitari, dei paesaggi urbani. Il Paesaggio Storico Urbano è, dunque, «l'area urbana intesa come risultato di una stratificazione storica di valori e caratteri culturali e naturali che vanno al di là della nozione di "centro storico" o "ensemble" sino a includere il più ampio contesto urbano e la sua posizione (*setting*) geografica. Questo

²⁶ MANIERI ELIA M., *Il problema dei centri storici minori del mezzogiorno interno*, in CIARDINI F., FALINI P. (a cura di), *I centri storici. Politica urbanistica e programma d'intervento pubblico: Bergamo, Bologna, Brescia, Como, Gubbio, Pesaro, Vicenza*. Editore Mazzotta, Milano, 1978, p. 86.

²⁷ ANGELINI G., *Risanamento e recupero dei centri storici: proiezioni territoriali*, in AA.VV., *Atti del convegno: Risanamento e recupero dei centri storici minori del Lazio*. Centro regionale laziale di studi urbanistici, Roma, 1983, p. 37.

²⁸ SANFILIPPO E., *Le ragioni del recupero di centri minori meridionali*. Officina, Roma, 1983.

²⁹ UNESCO, *op. cit.* Il documento riassume i punti da tenere in considerazione per agire in modo contestuale e compatibile sul costruito, invitando alla comprensione della complessità del tema e alla coordinazione di tutte le discipline capaci di agire nell'ambito della conservazione.

più ampio contesto include la topografia, la geomorfologia, l'idrologia e le caratteristiche naturali del sito; l'ambiente costruito, sia storico che contemporaneo; le infrastrutture; gli spazi aperti e i giardini, i modelli di utilizzo del suolo e di organizzazione spaziale; le percezioni e relazioni visive. Ma, inoltre, include le pratiche e i valori sociali e culturali, i processi economici e le dimensioni intangibili del patrimonio collegate a diversità e identità»³⁰.

L'approccio incentrato sul Paesaggio Storico Urbano è, quindi, un modo innovativo per conservare e riprogettare il patrimonio che si basa su una totalità di percezioni: sociali, spirituali, storici, artistici, estetici, naturali, scientifici e, in generale, culturali.

Per tal motivo, la tendenza moderna, che si vuole perseguire nel presente lavoro di tesi, è quella di compiere ricerche sistematiche su ampie porzioni di territorio. In merito si evidenzia che «...non può essere tralasciato il tema della messa in sicurezza dei centri storici...da intendersi come “beni culturali estesi”... rappresentazione della cultura stratificata di una comunità, luogo di memorie del passato comunitarie e individuali, patrimoni identitari e di auto-riconoscibilità della popolazione»³¹.

Anche in quest'ottica, il tema dei centri storici intesi nella ampia accezione del Paesaggio Storico Urbano³² si presenta con tutta la sua drammatica impellenza, dal momento che essi, in presenza di disastri ambientali, quasi sempre subiscono i danni maggiori, con perdite umane³³.

³⁰ UNESCO, *op. cit.*, *Definizioni*, artt. 8-9.

³¹ MINISTERO PER I BENI E LE ATTIVITÀ CULTURALI, *Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale allineate alle nuove Norme tecniche per le costruzioni (D.M. 14 gennaio 2008)*. 2 dicembre 2010.

³² A seguire, in tale lavoro di tesi, si parlerà di centri storici facendo riferimento, in ogni caso, a questa accezione ampia, che include fattori e caratteri multipli.

³³ Si pensi, citando esempi recenti, alla distruzione del centro storico dell'Aquila, quasi completamente raso al suolo, oppure ai danni ingenti ai nuclei consolidati verificatisi nei terremoti dell'Emilia-Romagna o nella sequenza

Al pari del concetto di centro storico, poi, anche la **definizione di vulnerabilità** in relazione al costruito consolidato ha assunto, nel tempo, un carattere sempre più ampio, sia in termini di estensione fisica dell'oggetto studiato, sia in termini di significato.

Per quel che riguarda l'oggetto delle analisi di vulnerabilità, negli anni si è assistito a veri e propri passaggi di scala: dalle valutazioni condotte sui singoli edifici, si è giunto alla definizione dell'aggregato edilizio, fino alla scala urbana-territoriale.

Per quanto concerne, invece, le modifiche concettuali, si è verificata un'evoluzione da una vulnerabilità prettamente "strutturale", ovvero connessa alle sole caratteristiche materiche e di resistenza degli elementi portanti, a una vulnerabilità "urbana" intesa quale relazione del tessuto edificato con quello morfologico-ambientale in cui il nucleo si inserisce e persiste; accezione analizzata nella presente tesi di dottorato e delineata, anche nei regolamenti storici e nelle norme emergenziali.

A partire dall'età moderna, infatti, i terremoti che hanno colpito l'Italia, soprattutto quella meridionale³⁴ ma, anche, località Europee³⁵, hanno contribuito a ricostruire vicende di estremo interesse culturale, sfociando nella redazione di trattati, cronache e, soprattutto, "Regolamenti" e "Istruzioni"; in molti dei quali sono già contenute prescrizioni di natura urbanistica, volte a limitare l'effetto urbano e la sua influenza sulla risposta del tessuto

sismica del Centro Italia che ha comportato la distruzione di interi borghi quali Norcia, Amatrice, Castelluccio di Norcia, come si vedrà di seguito.

³⁴ Si ricordano eventi molto importanti: il terremoto garganico del 1627, quello del 1638 nella *Calabria Citra*, il terremoto del 1693 nella valle di Noto, quello nel territorio foggiano del 20 marzo 1731, il sisma del 1783 che ha investito i territori della Calabria Ultra fino a arrivare a quello dello stretto di Messina del 1908.

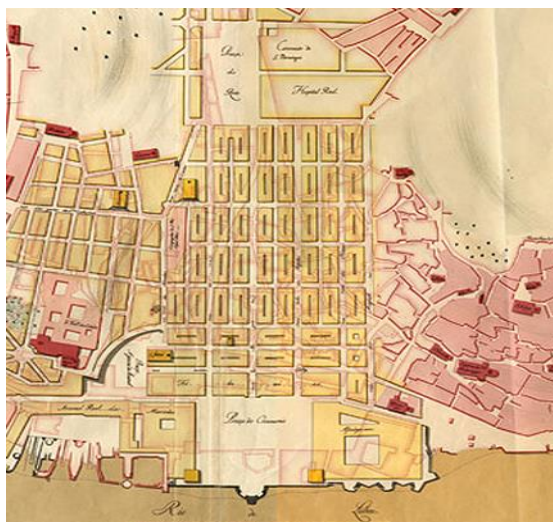
Per un catalogo completo degli eventi sismici in Italia si veda il Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani CPTI15 redatto dall'INGV, http://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/index_en.htm.

³⁵ Si pensi, per esempio, all'evento che colpì la città di Lisbona nel 1755.

costruito al sisma³⁶. Sin dalla ricostruzione di Foggia (1731), emergono iniziative incentrate su principi delineati: fronti degli edifici ridotti in rapporto alle dimensioni delle strade e cellule abitative disposte, a doppia schiera, su strade ampie e rettilinee³⁷. Nella città di Lisbona³⁸ poi, la ricostruzione si incentra su un vero e proprio piano urbanistico che prevede azioni di prevenzione volte a garantire l'evacuazione delle persone: la riduzione dell'altezza delle costruzioni, l'ampliamento delle strade e la creazione di piazze comportando una drastica riduzione della densità³⁹. Per quanto riguarda gli aspetti strutturali, invece, la ricostruzione degli edifici si basa sull'impiego della casa a *gajola* o *gabbia pombalina* con una ossatura di legno inserita nella muratura⁴⁰.



Pianta della città di Lisbona di João Nunes Tinoco (1650), Arquivo Municipal de Lisboa.



Pianta di ricostruzione di Lisbona di Eugénio dos Santos e Carlos Mardel, (1756).

³⁶ D'ANTONIO M., *Ita terrae motus damna impedire. Note sulle tecniche antisismiche storiche in Abruzzo*. Carsa Edizioni, Pescara, 2013.

³⁷ RUSSO S. (a cura di), *Storia di Foggia in età moderna*. Edipuglia, Bari, 1992.

³⁸ FRANÇA J. A., *Una città dell'illuminismo. La Lisbona del marchese di Pombal*. Roma, 1972.

³⁹ ROSSO W., *Il terremoto del 1755: una città sotto il segno della ragione*. Rassegna. Editrice CIPIA, Bologna, 1994, n°59, vol. XVI, pp. 28-43.

⁴⁰ Costituita da un insieme di pali collegati fra loro da traverse, travetti e travi in modo da comporre un'intelaiatura controventata all'interno della muratura.

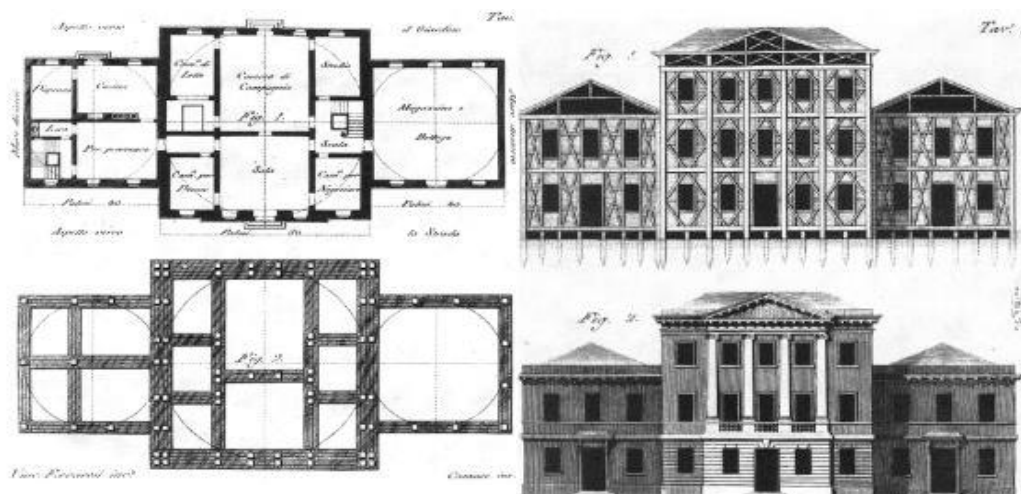
Successive innovazioni, poi, si hanno a valle della crisi sismica conosciuta come “il terremoto della *Calabria Ultra* del 1783” a seguito del quale il governo Borbonico promuove un programma di ricostruzione riguardante sia le modalità costruttive, sia la riorganizzazione urbanistica dei centri colpiti dal sisma, sia le modalità di finanziamento⁴¹. Per le riparazioni degli edifici danneggiati, le istruzioni prescrivono la demolizione dei piani oltre il primo, «Solo nelle case che faranno fronte alle strade più ampie o alle piazze si permetterà che resti, oltre i detti due piani, un mezzano di 9 o 10 palmi di altezza»; il rafforzamento mediante ampliamento della sezione muraria o con contrafforti dei muri fuori piombo; l'eliminazione di ogni oggetto e dei balconi. Infine, si dispone che le travi dei solai esistenti vengano ancorate alle murature con appositi ancoraggi metallici. Per i nuovi edifici, invece, viene prescritta la *tipologia baraccata*⁴² di due piani fuori terra al massimo, con intelaiatura lignea affogata nella muratura, strutture voltate al solo piano interrato con imposta al di sotto della quota del terreno, solai lignei e tetti con travature ancorate alle murature di appoggio⁴³.

⁴¹ Tali soluzioni confluirono in un documento ufficiale, le *Istruzioni per gli Ingegneri Commissionati nella Calabria Ulteriore*, manoscritto del 1786, conservato presso la Biblioteca Nazionale di Napoli, MS66 sezione manoscritti e rari, Biblioteca provinciale, cartaceo legato in pergamena di ff. 12, edito in *Istoria dei Tremuoti*, Atlante, Casoria, 1993.

Cfr. NIGLIO O., *La casa baraccata nella storia dell'architettura antisismica. L'esperienza calabrese dopo il terremoto del 1783*, in PARDUCCI A., *L'evoluzione delle concezioni antisismiche fra inerzie e incomprendioni. Dalle case baraccate del periodo borbonico alle nuove tecniche dell'isolamento Sismico*. Quaderni di Ingegneria dell'Università degli Studi e-campus, Città di Castello, 2009 e D'ANTONIO M., *op. cit.* pp. 66-69.

⁴² La tipologia architettonica, per come si evince dai disegni di Vivenzio, è quello di una casa *palaziata* con corpo scala interno, di modesta altezza e estrema regolarità in pianta (si noti la quadratura del cerchio).

⁴³ VIVENZIO G., *op. cit.*



Progetto di casa antisismica proposto da Vivencio.



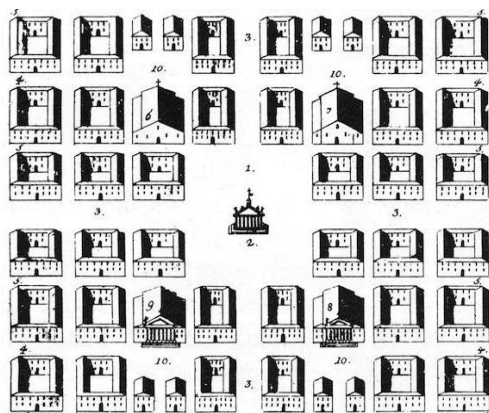
Muro baraccato a Cosenza (CS).



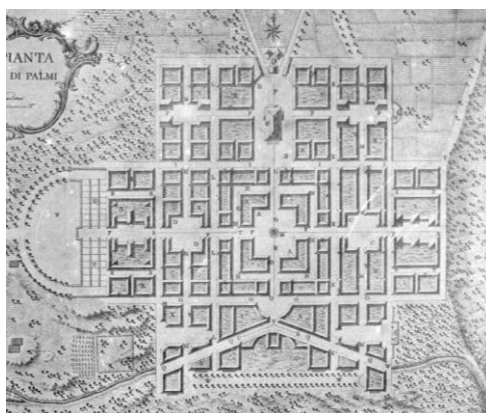
Muro baraccato a Mileto (VV).

La norma borbonica, applicata maggiormente nelle aree del reggino, poi, affronta gli aspetti urbanistici della ricostruzione, prescrivendo altezze degli edifici, distanze tra questi e dimensioni delle arterie stradali. Le città di nuova fondazione vengono organizzate in lotti squadrati a favore di una sicurezza maggiore; le sezioni stradali sono pari a 10-13 metri per le strade principali e 6-8 metri per quelle secondarie; il numero e le dimensioni delle

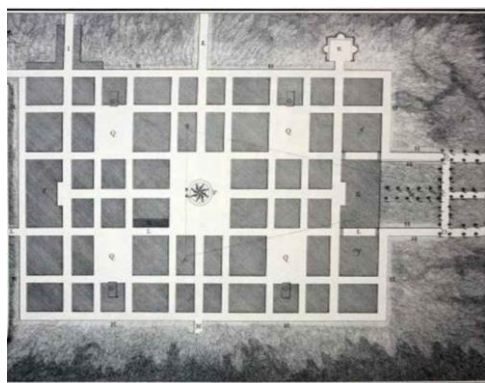
piazze sono calcolati in base al numero della popolazione per fungere da rifugio. Sono così concepite, tra le altre, le città di Filadelfia, Palmi, Mileto, Seminara, Gallina, La Carolina, Bagnara, Borgia, Cortale, Bianco e della stessa Reggio Calabria.



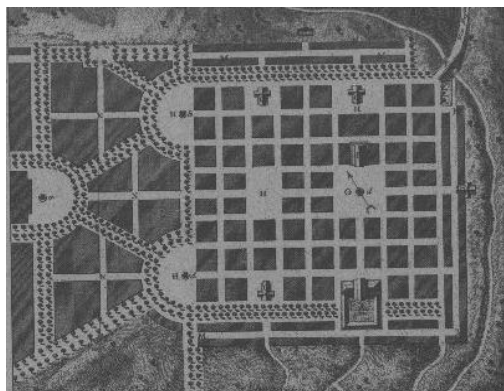
Vincenzo Ferraresi (1783): progetto di ricostruzione di Filadelfia (VV).



Giovambattista De Cosron (1783): Piano Regolatore di Palmi (RC).



Vincenzo Ferraresi (1783): progetto di ricostruzione di Mileto (VV).



Vincenzo Ferraresi (1783): progetto di ricostruzione di Seminara (RC).

Le norme tecniche emanate a valle del terremoto dello stretto di Messina del 1908⁴⁴, infine, ribadiscono i concetti tecnologici espressi nelle precedenti istruzioni borboniche e, dal punto di vista

⁴⁴ R.D. 18 aprile 1909 n.193, *portante norme tecniche ed igieniche obbligatorie per le riparazioni ricostruzioni e nuove costruzioni degli edifici pubblici e privati nei luoghi colpiti dal terremoto del 28 dicembre 1908 e da altri precedenti elencati nel R.D. 15 aprile 1909 e ne designa i Comuni*, pubblicato nella Gazzetta Ufficiale n.95 del 22 aprile 1909.

urbanistico, fissano che: «a) le strade devono essere larghe almeno 10 metri. Negli abitati aventi popolazione agglomerata inferiore ai 5000 abitanti, il prefetto o le altre autorità superiori ... possono consentire che tale larghezza minima sia ridotta a m. 8. Nel caso che siano ammesse costruzioni da un solo lato della strada, la larghezza di questa può essere tenuta anche di m. 6;

b) fermi restando i limiti massimi stabiliti dagli articoli 2 e 3 (recante l'altezza massima degli edifici fissata a 10 m.), le case non possono avere verso la strada sulla quale prospettano, altezza maggiore della larghezza della strada stessa diminuita: 1° di m. 3,50, quando si tratti di strade che devono avere una larghezza minima uguale a 10 m.; 2° di m. 2, quando si tratti di strade la cui larghezza minima può essere di 8 m.; 3° di m.1, quando si tratti di strade lungo le quali può essere costruito da un sol lato;

c) qualora si vogliano costruire fabbricati di altezza superiore a quelle stabilite dal precedente comma, essi debbono costruirsi in ritiro, per rispetto all'allineamento stradale, di una misura pari alla metà della maggiore altezza;

d) per gli edifici di altezza superiore ai 10 m., è prescritto l'isolamento da ogni parte per una larghezza non minore della loro altezza;

e) la larghezza dell'intervallo fra i muri frontali di due edifici vicini, quando l'area frapposta non debba servire a pubblico passaggio, può essere limitata alla semisomma delle loro altezze...»⁴⁵.

Le piante per la ricostruzione delle città di Reggio e di Messina, così come dopo il terremoto del 1783, appaiono estremamente regolari, geometriche e, nel caso della città siciliana, sono distinguibili interventi di sventramento volti alla realizzazione di vie più ampie e di nuovi collegamenti.

⁴⁵ *Ibidem*, art. 22.



Pianta della città di Messina: gli effetti del terremoto del 28 dicembre 1908.

Pianta della città di Messina: piano regolatore Borzi post-sisma 1908.

Il breve *excursus* storico delineato finora, quindi, dimostra come la cultura e i legislatori del passato avessero già intuito l'importanza e l'interrelazione esistente fra il tessuto urbano e il costruito, ovvero avessero anticipato il concetto di vulnerabilità urbana per come analizzata nella presente tesi.

A partire da questi importanti momenti storici, l'evoluzione culturale in materia di vulnerabilità sismica inizia un percorso articolato e complesso, nuovamente parallelo alle vicende legislative e agli eventi tellurici nazionali.

Il concetto di vulnerabilità è stato sviluppato dapprima alla scala delle singole unità abitative, intesa quale predisposizione a subire danni in funzione delle caratteristiche costruttive intrinseche e, dunque, nell'accezione "strutturale" del termine. A seguito degli eventi sismici del Friuli del 1976 e dell'Irpinia del 1980⁴⁶ nasce una

⁴⁶ Si sottolinea il fervore scientifico a seguito di tali avvenimenti sismici che ha portato alla razionalizzazione della classificazione sismica del territorio italiano sulla base dell'effettiva pericolosità del sito anziché dei soli eventi recenti,

vera e propria cultura della salvaguardia e della vulnerabilità del costruito esistente, dando il via alla messa a punto di una serie di strumenti volti a rilevare il danno subito dall'edificato e a individuarne il grado di vulnerabilità⁴⁷.

Ci vorranno quasi venti anni e un altro evento sismico per avere una nuova evoluzione sul tema. La ricostruzione post-sismica dell'Umbria e delle Marche del 1997, infatti, vede l'esplicitazione della problematica della vulnerabilità connessa agli aggregati edilizi, ad oggi, ancora non del tutto esaurita.

Tematica anticipata nell'esperienza condotta su Ortigia da Antonino Giuffrè⁴⁸, in cui l'applicazione progettuale viene messa in atto su un "comparto edilizio"⁴⁹ precursore dell'odierno aggregato, considerando sia aspetti strutturali che aspetti urbani. Tale studio e gli altri condotti dallo stesso Giuffrè, nonché da Marconi e Giovanetti⁵⁰, sui centri storici di Castelvetero sul Calore, Palermo, Matera, Roma, ecc., sono di estrema attualità e

all'aggiornamento della normativa tecnica nazionale e alla formulazione di nuovi criteri per gli interventi di recupero edilizio sul costruito storico.

⁴⁷ I primi strumenti di analisi vennero strutturati sotto forma di schede, rivolte alla raccolta di dati sulle caratteristiche tipologiche costruttive e al censimento dei danneggiamenti subiti dagli edifici. Si ricordano quelle stilate in occasione del sisma del Friuli, confluite nella banca dati *Fr.E.D (Friuli Earthquake Damages)*.

⁴⁸ GIUFFRÈ A., *op. cit.* La metodologia sperimentata da Giuffrè ha avuto differenti applicazioni (Castelvetero sul Calore, Ortigia, Matera, Palermo) dando il via a una più ampia sperimentazione che ha segnato, e ancora segna, le letture e gli studi sui nuclei consolidati. Si vedano, dello stesso autore, anche GIUFFRÈ A., ZAMPILLI M., PUGLIANO A., *Centri storici in zona sismica. Analisi tipologica della danneggiabilità e tecniche di intervento conservativo: Castelvetero sul Calore*. Università di Roma La Sapienza, Roma, 1988; GIUFFRÈ A., CERADINI V., *Vulnerabilità e conservazione nel quartiere della Graziella in Ortigia*. Edizioni Laterza, Bari, 1993; GIUFFRÈ A., CAROCCI C., *Codice di pratica per la Sicurezza e Conservazione dei Sassi di Matera*. Edizioni La Bauta, Matera, 1997; GIUFFRÈ A., CAROCCI C., *Codice di pratica per la Sicurezza e Conservazione del centro storico di Palermo*. Laterza, Bari, 1999.

⁴⁹ *Ibidem*, pp. 218-226.

⁵⁰ Si veda nota 44.

congruenti con lo studio in essere e, pertanto, ne rappresentano una solida base di ricerca e di applicazione alla quale rifarsi⁵¹.

Gli studi, condotti sui centri Irpini colpiti dal terremoto del 1980⁵² e messi in atto nella ricostruzione post-sisma dell'Umbria e delle Marche del 1997, hanno portato a una vera e propria rivoluzione nella comprensione degli edifici esistenti in muratura, sia da un punto di vista meccanico-strutturale, sia dal punto di vista dell'approccio metodologico. Si delinea, infatti, un importante metodo di valutazione della vulnerabilità finalizzata direttamente alla definizione di criteri di intervento per la "sicurezza e la conservazione"⁵³.

Al fine di assicurare l'endiadi delle due istanze, il *Codice di Pratica* delinea un metodo il cui carattere innovativo sta nella definizione di una fase conoscitiva nella quale le informazioni sono collezionate per far da supporto al giudizio e ai criteri di interventi. «Conoscere "cosa" conservare, e da tale conoscenza far scaturire il "come" conservare con sicurezza»⁵⁴. L'anamnesi, quindi, prevede: l'analisi della sismicità del sito e della storia sismica locale; la definizione delle tipologie edilizie e dello sviluppo processuale dell'edilizia in relazione al tracciato viario; l'anamnesi del lessico costruttivo e delle tecnologie; identificazione dei caratteri formali e materiali dei partiti architettonici; lo studio delle qualità meccaniche e dei meccanismi di danno.

L'immenso valore dello studio condotto dal gruppo di lavoro sotto la guida scientifica di Antonino Giuffrè, però, non riguarda solo l'aver apportato un'innovazione nell'approccio metodologico per lo studio dell'edilizia storica e l'aver introdotto nuovi elementi per

⁵¹ Per tal motivo si è deciso di dedicarvi, all'interno del capitolo, un ampio spazio e approfondite note di analisi.

⁵² È il caso dei centri di Castelvetero sul Calore e di Sant'Angelo dei Lombardi.

⁵³ GIUFFRÈ A., *op. cit.*, p. 3.

⁵⁴ *Ibidem*.

la valutazione della vulnerabilità strutturale degli edifici in muratura.

A tali meriti si aggiunge l'aver esteso le analisi al comparto edilizio configurandosi come detto, quale primo tentativo di analisi degli aggregati, ma, anche, quale primo tentativo di analisi di vulnerabilità urbana. La lettura del costruito esistente proposta nel *Codice di Pratica*, infatti, procede dalla scala dell'elemento costruttivo, a quella dell'edificio e del tessuto urbano, con una progressiva estensione dei concetti di base.

Così, la scelta progettuale proposta per la Graziella, che ha condotto a un intervento strutturale diffuso su un ampio aggregato⁵⁵ e a un progetto di rinfunzionalizzazione delle unità abitative, ha anche comportato interventi alla scala urbana.

Un peso rilevante, a tal proposito, è stato dato alle valutazioni legate alla disponibilità di percorsi liberi e alla distribuzione di strade, vicoli, ronchi e cortili. «Oltre che al problema dei crolli si deve porre infatti particolare attenzione agli aspetti legati all'esodo degli abitanti, e più ancora alla possibilità di ingresso e transito dei soccorsi». I tracciati viari, infatti, oltre a essere una inesauribile fonte di memoria e di identità, giocano un ruolo sismico notevole nel "traffico convulso dell'emergenza" «... si scopre che il problema viario è più drammatico di quello strutturale: può andare in crisi per eventi sismici che lasciano indenni le abitazioni ma provocano panico»⁵⁶.

Nell'elaborazione del progetto, pertanto, alcuni principi guida hanno riguardato: la demolizione dei volumi superfetativi estranei alle caratteristiche tipologiche e architettoniche dell'edilizia storica locale, a favore di un aumento degli spazi liberi dei ronchi e dei cortili; la demolizione delle sopraelevazioni per recuperare

⁵⁵ Di circa 2000 m² di superficie, omogeneo per caratteristiche formali e tipologiche, e composto da 44 unità immobiliari.

⁵⁶ GIUFFRÈ A., *op. cit.*, p. 6.

una compromessa sicurezza sismica e restituire agli edifici il numero di piani congruente, non solo con la tipologia base, ma, anche, con i rapporti dimensionali tra le sedi stradali e l'altezza degli edifici; la realizzazione di sottopassi al fine di pervenire a una trama viaria pedonale a maglia aperta con la realizzazione di almeno due punti di accesso e esodo per ciascun alloggio.

Un tale approccio, precursore nel definire l'interrelazione fra la vulnerabilità strutturale e quella urbana dei comparti consolidati, è stato, inoltre, applicato nei lavori condotti dalla regione Emilia-Romagna⁵⁷ su centri storici minori⁵⁸. Tali studi, quindi, aprono le porte, in maniera quasi avveniristica, alla più moderna definizioni di vulnerabilità urbana: inizialmente intesa quale sommatoria delle singole vulnerabilità "strutturali" degli edifici che compongono la città, oggi si sottolinea il carattere di interdipendenza degli edifici nella loro configurazione di insieme.

L'avvenimento che ha portato all'introduzione di tale innovazione nella definizione di vulnerabilità è stato, ancora una volta, un evento sismico. Il dibattito, nello scenario nazionale, infatti, germoglia a seguito del terremoto dell'Aquila del 2009 che ha evidenziato le criticità e i punti di debolezza comuni ai centri storici italiani: non solo relativi ai singoli comparti edilizi ma, anche, all'intera struttura urbana-funzionale, con amplificazioni degli effetti del sisma e ripercussioni nella fase di primo intervento. Ad oggi, dunque, l'approccio urbano comporta non poche difficoltà concettuali e operative presupponendo, non solo, una scala di analisi estesa a tutto il centro storico ma anche, e soprattutto, una tipologia di anamnesi connessa a molteplici fattori, non

⁵⁷ CREMONINI I. (a cura di), *Rischio sismico e pianificazione nei centri storici*. Alinea, Firenze, 1994.

⁵⁸ Tale metodologia proposta dalla Regione è stata applicata ai centri di Forlì (FC), Santa Sofia (FC), Bagno di Romagna, Offida (MC) e, di recente, sul borgo di Poggio Pienze (AQ).

esclusivamente strutturali, che afferiscono a discipline e conoscenze variegate. Tale sviluppo teorico, a dire il vero piuttosto recente, non ha ancora condotto a una vera e propria definizione univoca e, perciò in tale direzione, si vuole muovere il presente lavoro di ricerca con la formulazione di una metodologia innovativa per la definizione della vulnerabilità urbana.

Proprio in tale senso, il seguente studio vuole essere di nuovo respiro, con la formulazione di una metodologia dai contributi innovativi che affronta la tematica della vulnerabilità urbana letta nella sua accezione più ampia, sia in termini di estensione sul territorio che di significato, per come esposto finora.

PARTE 2

LO STATO DELL'ARTE PER L'ESTRAPOLAZIONE DI METODI E PARAMETRI PER LA
DEFINIZIONE DI UNA METODOLOGIA VALUTATIVA DELLA VULNERABILITA'

Introduzione alla parte 2

La ricerca, che affronta la tematica della vulnerabilità nella sua accezione "urbana" ovvero più ampia, tiene conto, non solo, dei fattori di fragilità derivanti dalle caratteristiche intrinseche al costruito ma, anche, di quelli propri del tessuto urbano, ovvero dei vuoti, e del contesto paesaggistico e morfologico in cui il nucleo stesso insiste.

È ormai opinione largamente condivisa che gli interventi di conservazione della città storica debbano confrontarsi dialetticamente con l'istanza della sicurezza sismica. «... la prima reazione dopo una catastrofe come quella che sconvolge territorio e famiglie è l'esigenza di sicurezza... Tuttavia, un'altra esigenza, sempre più chiara nella coscienza civile, oggi appare indilazionabile: è quella della conservazione della memoria storica dei nostri centri urbani»⁵⁹. Nonostante tale binomio sia stato introdotto, per la prima volta, già negli anni '80, dagli studi di Antonino Giuffrè⁶⁰, ad oggi la tematica si mostra ancora attuale e impellente, e gli intenti si rinnovano a valle di ogni evento sismico.

Lo stato dell'arte, che si vuole eseguire, mira a tracciare le orme del processo evolutivo del concetto di "vulnerabilità" in cui si inserisce la presente tesi di dottorato, attraverso il quadro normativo, i protocolli scientifici nazionali e internazionali e, non ultime, le esperienze maturate a valle degli eventi sismici storici e recenti, al fine di trarre deduzioni utili alla definizione della metodologia proposta.

Ma, inoltre, considerata la varietà di parametri che

⁵⁹ GIUFFRÈ A. (a cura di), *Sicurezza e conservazione dei centri storici. Il caso di Ortigia*. Edizioni Laterza, Bari, 1993, p. 3.

⁶⁰ L'attività di ricerca del Professore Antonino Giuffrè, come detto, costituisce riferimento costante in tale lavoro di tesi.

concorrono, necessariamente, nella definizione della vulnerabilità dei nuclei consolidati, un assunto fondamentale e indispensabile è la conoscenza dei nuclei consolidati, dal generale dell'impianto al particolare delle parti.

Tante, infatti, sono le conoscenze che bisogna collezionare per lo studio del costruito storico: da quelle sulla storia e le vicende di edificazione e riedificazione, a quelle sui materiali e sulle tecnologie costruttive; dalle morfologie urbane alle forme di primo impianto; dalle tipologie dell'edilizia di base ai processi evolutivi che portano alla configurazione del tipo maturo; dalla composizione degli elementi stilistici alla simbologia e figuratività dei particolari architettonici.

La parte della tesi di dottorato che segue sarà incentrata, pertanto, sull'anamnesi dello stato dell'arte relazionato ai metodi e alle pratiche di valutazione della vulnerabilità sismica e sul tema della conoscenza della materia storica; il tutto finalizzato all'estrapolazione di approcci, metodologie e fattori di vulnerabilità che concorreranno alla definizione della metodologia proposta.

1. SULLA VULNERABILITÀ “STRUTTURALE” E “URBANA”: STUDI, NORMATIVE, PROGETTI E PROTOCOLLI

1.1. La vulnerabilità sismica

La vulnerabilità sismica (V), la pericolosità (P) e l'esposizione (E), costituiscono le componenti del più ampio concetto di rischio sismico (R), che è espresso come:

$$R = P * E * V^{61}$$

Lo stato dell'arte sul tema mostra molteplici e spesso complementari definizioni di tali concetti.

Il rischio sismico, in generale, è definibile come «probabilità che si verifichi o che venga superato un certo livello di danno o di perdita in termini economico-sociali in un prefissato intervallo di tempo e in una data area, a causa di un evento sismico»⁶² e, nel complesso, si considerano quali “perdite” primariamente le vite umane, i beni economici, i beni storico-artistici e culturali.

All'interno dell'equazione del rischio sismico, la **Pericolosità**, è definita come «la probabilità che si verifichi in un dato luogo, o entro una data area e entro un certo periodo di tempo, un terremoto capace di causare danni»⁶³ riferendosi, quindi, al

⁶¹ Espressione definita già dal 1978 dall'UNDRO-UNESCO (United Nations Disaster Relief Organisation).

⁶² DIPARTIMENTO DELLA PROTEZIONE CIVILE, *Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica*, Parte I, paragrafo 1.4 recante “Definizioni”, 2008.

⁶³ BARAZZA F., CARNIEL R., DEL PIN E., DI CECCA M., GRIMAZ S., MARTINI F., MANAROLLA I., RIUSCETTI M., Università di Udine, Progetto Rischio Sismico, Gruppo di Ricerca in Sismologia applicata, Dipartimento di Georisorse e Territorio, 2009.

fenomeno sismico in relazione agli effetti naturali⁶⁴ e agli aspetti geo-morfologici del territorio. Dipende, perciò, solamente dall'intensità di un evento sismico che può essere misurata utilizzando scale strumentali (misure oggettive della forza del sisma) oppure scale macrosismiche (misure soggettive degli effetti prodotti dal sisma)⁶⁵.

La valutazione della pericolosità può effettuarsi secondo due approcci differenti: uno di tipo deterministico e uno probabilistico. Il primo, detto anche analisi di scenario, si basa sullo studio dei danni osservati nei terremoti storici che hanno interessato il sito, al fine di stabilire la frequenza con la quale, nel tempo, si sono ripetute scosse di uguale intensità⁶⁶. Il secondo, l'analisi di rischio, invece, determina la probabilità che in una data area e in un certo intervallo di tempo (τ) si verifichi un terremoto che superi una soglia di intensità (I), magnitudo o accelerazione di picco⁶⁷.

I due metodi di valutazione hanno differenti finalità: nel caso di

⁶⁴ In letteratura è presente la distinzione fra *pericolosità indiretta* e *indotta*, la prima relazionata alle caratteristiche dell'evento sismico e la seconda agli eventi, di natura geologica, che si innescano a seguito della scossa sismica.

⁶⁵ Le prime, si basano su parametri relativi al moto del suolo quali, per esempio, il picco di accelerazione massima (PGA-Peak Ground Acceleration), la magnitudo locale o magnitudo Richter (M), la velocità spettrale. Le scale macrosismiche, invece, sono meno accurate ma hanno il vantaggio di poter essere associate ai terremoti del passato attraverso le fonti e le cronache storiche. Fra queste si ricordano la scala Mercalli-Cancani-Sieberg (MCS) del 1923; la scala Mercalli modificata (MM) del 1931, aggiornata nel 1956; quella Medvedev-Sponheuer-Karnik (MSK) del 1964 e, la più recente, l'European Macroseismic Scale (EMS98) del 1998. Per quest'ultima si veda CONSEIL DE L'EUROPE CAHIERS DU CENTRE EUROPEEN DE GEODYNAMIQUE ET DE SEISMOLOGIE, *European Macroseismic Scale 1998*. Editor G. GRÜNTAL, Luxembourg, 1998.

⁶⁶ Tale approccio richiede la disponibilità di informazioni complete sulla sismicità locale e sui risentimenti (informazioni non sempre facilmente reperibili) e, perciò, viene generalmente preferito un metodo di tipo probabilistico.

⁶⁷ Il metodo più utilizzato è quello di Cornell (1968) che prevede l'individuazione delle aree sismogenetiche, la quantificazione del loro grado di attività e il calcolo degli effetti provocati da tali aree in relazione alla distanza dall'epicentro. CORNELL C. A., *Engineering seismic risk analysis*. Bull. Seism. Soc. Am., 58, 1583-1606, 1968.

uno studio del territorio per fini preventivi, l'analisi di rischio è preferibile, invece, per analizzare gli aspetti di gestione legati all'emergenza è più significativa un'analisi di scenario, che riproduce una distribuzione realistica degli effetti sul territorio.

Il secondo termine dell'equazione del rischio, poi, è l'**Esposizione**, cioè «la dislocazione, la consistenza, la qualità e il valore dei beni e delle attività presenti sul territorio che possono essere influenzate direttamente o indirettamente dall'evento sismico (insediamenti, edifici, attività economico-produttive, infrastrutture, densità di popolazione)»⁶⁸. Tale componente, al contrario della pericolosità, si relaziona al territorio antropizzato e riguarda ciò che può essere danneggiato dal terremoto: vite umane, edifici e infrastrutture.

La valutazione dell'esposizione può essere condotta tramite procedure semplificate, una delle quali usa un indice di esposizione (I_e), ottenuto quale prodotto fra l'indice di utenza (I_u), riguardante il numero di utenti e operatori presenti negli stessi edifici, e quello di funzione (I_f), ricavato da considerazioni qualitative sulle funzioni esercitate all'interno dei diversi edifici⁶⁹.

Il terzo termine che determina il rischio sismico, infine, è la **vulnerabilità**, che è riferita alla possibilità di danneggiamento dell'elemento, sia esso un organismo urbano, un edificio o un componente costitutivo di quest'ultimo. Esiste una distinzione fra: *vulnerabilità diretta o primaria*⁷⁰, relativa al danno fisico subito dal sistema per effetto delle azioni dinamiche dell'evento sismico; *vulnerabilità indotta o secondaria*⁷⁰, definita in base alla crisi che

⁶⁸ BARAZZA F., CARNIEL R., DEL PIN E., DI CECCA M., GRIMAZ S., MARTINI F., MANAROLLA I., RIUSCETTI M., *op. cit.*

⁶⁹ Di fondamentale importanza, in questa fase, sono i data base ISTAT dai quali si possono trarre, non solo, le informazioni sulla popolazione ma, anche, sulle caratteristiche del costruito quali, per esempio, l'anno di costruzione, la destinazione d'uso, l'utilizzo, la tipologia costruttiva, il numero di piani, ecc. Per i censimenti si veda il sito <http://censimenti.istat.it/>.

⁷⁰ DIPARTIMENTO DELLA PROTEZIONE CIVILE, *op. cit.*

viene indotta dal collasso di un singolo elemento e *vulnerabilità differita*, che definisce gli effetti che si manifestano nelle fasi successive all'evento sismico e di prima emergenza.

Al fine del presente lavoro di dottorato si vuole proporre la definizione di vulnerabilità intesa in un'ampia accezione, come unione delle tre tipologie. Infatti, si vogliono considerare non solo i fattori che generano i danni sul costruito (vulnerabilità diretta) ma, anche, quei fattori, propri del sistema urbano e, in generale, del contesto (vulnerabilità indotta), che innescano meccanismi di interrelazione con il costruito. Il tutto, nell'ottica di una suscettibilità relativa alla fase post-sismica di intervento e, dunque, di una possibile amplificazione dei danni finali a causa di rallentamenti e ritardi dei soccorsi (vulnerabilità differita).

Molte sono le definizioni di vulnerabilità presenti in letteratura; in generale, è la «propensione al danno o alla perdita di un sistema a seguito di un dato evento sismico». Emerge, quindi, il rapporto di causa-effetto tra il terremoto e il danno da esso generato, il quale varia proprio in funzione della maggiore o minore propensione al danneggiamento, cioè in funzione della vulnerabilità.

Perciò, il danno sismico D può essere espresso come il prodotto tra l'azione sismica A e la vulnerabilità sismica V :

$$D = A * V$$

Tale vincolo non è di tipo lineare: i diversi fattori che intervengono nella vulnerabilità, infatti, non agiscono con modalità omologhe, sottolineando l'estrema aleatorietà delle variabili al contorno.

Il rapporto causa-effetto, poi, è ancor più evidente se relazionato alla definizione delle scale macrosismiche. Le prime scale presentavano riferimento generico alla distribuzione del danno; con la recente EMS98, invece, il concetto di classe di vulnerabilità viene approfondito, contemplando una casistica chiara e

dettagliata di tipologie costruttive e della distribuzione di danno correlato al variare del grado di intensità⁷¹. Si ottengono, così, differenti classi di vulnerabilità che cercano di riassumere la casistica più comune nelle tecniche costruttive dell'esistente così come visibile nella figura a seguire.

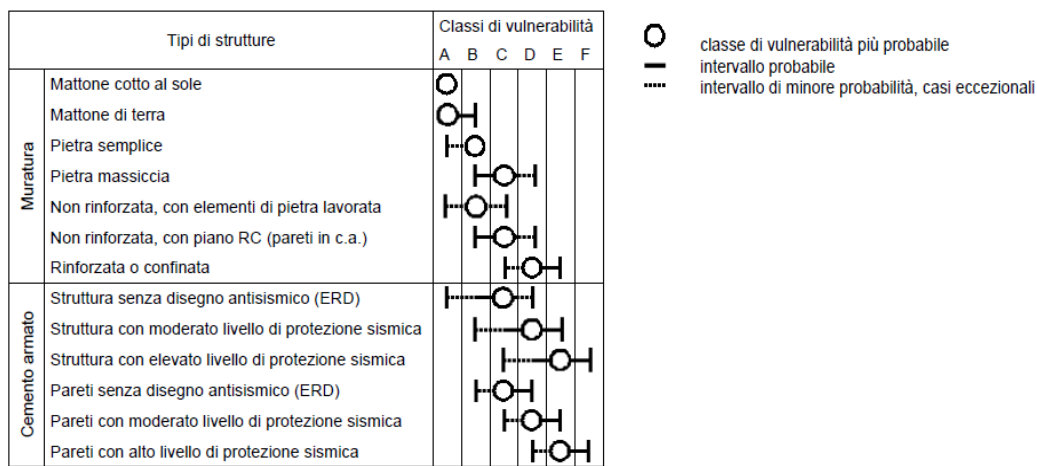


Tabella di vulnerabilità nella scala EMS98⁶⁵.

Per ciascuna classe di vulnerabilità, poi, la scala fornisce le distribuzioni del danneggiamento, articolate in cinque livelli di danno oltre a quello di danno nullo.



GRADO 1:
danno leggero



GRADO 3:
danno grave



GRADO 2:
danno moderato



GRADO 4:
danno molto grave

Gradi di danno per edifici in muratura definiti nella scala EMS98⁷². Il quinto è la distruzione.

⁷¹ Ad ogni tipologia di tecnica strutturale, distinta fra muratura, cemento armato, acciaio e legno, infatti, considerando i diversi materiali e la qualità della messa in opera e dei dettagli costruttivi, viene associato un range di classificazione di vulnerabilità con una scala crescente dalla A alla F.

⁷² Immagini (in italiano) da: MUNARI M., *Sviluppo di procedure per valutazioni sistematiche di vulnerabilità sismica di edifici esistenti in muratura*. Tesi di

A partire dalle scale macrosismiche, sono state sviluppate le *matrici di probabilità di danno* (Damage Probability Matrix-DPM) e le *curve di vulnerabilità o di fragilità*. Entrambe fanno riferimento a due diverse misure sintetiche di vulnerabilità, una di carattere qualitativo, rappresentata dalla classe di vulnerabilità, e l'altra di natura quantitativa, rappresentata dall'indice di vulnerabilità.

Le matrici DPM associano un valore numerico alle descrizioni presenti nelle scale macrosismiche utilizzando un approccio Probabilistico-Fuzzy di tipo statistico. Uno dei casi più significativi in Italia è rappresentato dalle DPM costruite da Braga *et al.*⁷³ sulla base delle schede di rilevamento dei danni di quarantuno comuni danneggiati dal terremoto dell'Irpinia del 1980⁷⁴.

Vulnerability class (EMS '98)	Macro-seismic Intensity	Level of damage					
		D0	D1	D2	D3	D4	D5
A	V	0.3487	0.4089	0.1919	0.0450	0.0053	0.0002
B		0.5277	0.3598	0.0981	0.0134	0.0009	0.0000
C		0.6591	0.2866	0.0498	0.0043	0.0002	0.0000
D		0.8587	0.1328	0.0082	0.0003	0.0000	0.0000
A	VI	0.2887	0.4072	0.2297	0.0648	0.0091	0.0005
B		0.4437	0.3915	0.1382	0.0244	0.0022	0.0001
C		0.5905	0.3281	0.0729	0.0081	0.0005	0.0000
D		0.7738	0.2036	0.0214	0.0011	0.0000	0.0000
A	VII	0.1935	0.3762	0.2926	0.1138	0.0221	0.0017
B		0.3487	0.4089	0.1919	0.0450	0.0053	0.0002
C		0.5277	0.3598	0.0981	0.0134	0.0009	0.0000
D		0.6591	0.2866	0.0498	0.0043	0.0002	0.0000
A	VIII	0.0656	0.2376	0.3442	0.2492	0.0902	0.0131
B		0.2219	0.3898	0.2739	0.0962	0.0169	0.0012
C		0.4182	0.3983	0.1517	0.0289	0.0028	0.0001
D		0.5584	0.3451	0.0853	0.0105	0.0007	0.0000

Stralcio delle matrici di Probabilità di Danno (figura da ZUCCARO G.⁷⁵).

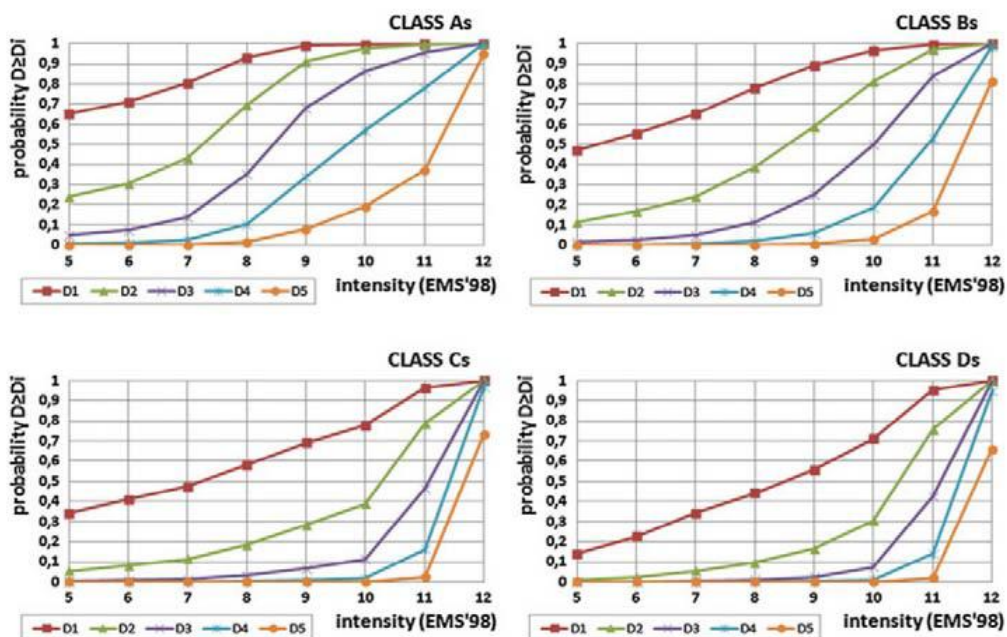
Studi recenti, poi, hanno portato all'elaborazione delle DPM per i

Dottorato in Studio e Conservazione dei Beni Archeologici e Architettonici, Università di Padova, Relatore: Prof. M. R. VALLUZZI, 2010.

⁷³ Cfr. BRAGA F., DOLCE M. LIBERATORE D., *Southern Italy November 23, 1980 Earthquake: A statistical study on damaged buildings and an ensuing review of the M.S.K.-76 scale*. CNR-PFG, 503, Roma, 1982; BRAGA F., DOLCE M. LIBERATORE D., *A statistical study on damaged buildings and an ensuing review of the M.S.K.-76 scale*. Proceedings of 7th European Conference on Earthquake Engineering, Athens, pp. 431-450, 1985.

⁷⁴ Costituiscono un aggiornamento della scala di intensità macrosismica MSK: si utilizzano, infatti, gli stessi 12 livelli di intensità previsti nella scala MSK e le stesse tre categorie di edifici ridefinite, però, in modo più completo.

terremoti più importanti avvenuti in Italia fra il 1980 e il 2008⁷⁵. Per stimare il grado di danno atteso per ogni livello di intensità sismica, invece, si costruiscono le curve di fragilità che correlano statisticamente l'intensità dell'evento a un indice di danno. In generale una curva di fragilità di un edificio rappresenta, al variare dell'intensità sismica, la probabilità che l'edificio raggiunga un particolare stato limite contemplato.



Curve di vulnerabilità (figura da ZUCCARO G.⁷⁵).

Fra i metodi di stima di vulnerabilità visti, si possono effettuare delle **classificazioni in base alle caratteristiche**.

La stima, infatti, si può effettuare considerando due parametri: valutando i danni attesi sull'edificato (*vulnerabilità primaria*) oppure esaminando il costo per il risarcimento dei danni stessi

⁷⁵ Cfr. ZUCCARO G., *Territorial seismic risk assessment*, in MANFREDI G., DOLCE M., (a cura di), *The state of Earthquake Engineering Research in Italy; the ReLUIS-DPC 2010-2013 Project*. Doppia voce, Napoli, 2015; ZUCCARO G. CACACE F., DE GREGORIO D., *Buildings inventory for seismic vulnerability assessment at National and regional scale*. Proceedings of 15th World Conference on Earthquake Engineering, Lisbona, 24- 28 settembre 2012, pp. 1-10, 2012.

(*vulnerabilità secondaria*). Nell'ultimo trentennio sono state messe a punto diverse metodologie per la stima della vulnerabilità e fornirne una classificazione è compito complesso.

Una prima differenziazione generica si può condurre distinguendo i *metodi quantitativi* che forniscono il risultato (danno) in forma numerica (probabilistica o deterministica), dai *metodi qualitativi*, che descrivono la vulnerabilità attraverso un giudizio espresso tramite aggettivi quali "bassa", "media", "alta".

Le metodologie di analisi di vulnerabilità, poi, possono essere distinte anche in base al livello e all'estensione di analisi, differenziandosi per scale di *analisi territoriale* e *scale locali*⁷⁶.

Connessa a tale distinzione, si ha la ripartizione in *vulnerabilità strutturale* e *vulnerabilità urbana* intendendo, con il primo tipo, quella che si basa su analisi di tipo strutturale e, con il secondo tipo, quella che considera le interrelazioni tra tessuto costruito e urbano. Proprio in questo senso, la seguente tesi vuole coniugare i due aspetti e evidenziare le relazioni che naturalmente intercorrono fra essi.

Un'ultima classificazione generale, infine, distingue le metodologie *speditive*, adatte ad ambiti territoriali, da quelle *canoniche* riferite alle analisi strutturali su singole unità edilizie. Le prime sono quasi sempre di tipo qualitativo o semi-quantitativo, basate su un giudizio di valore del dato rilevato; le seconde, invece, rappresentano l'unico metodo di stima di vulnerabilità contemplato dalle normative sismiche vigenti.

Oltre alle classificazioni generali appena viste, le metodologie di valutazione della vulnerabilità sismica edilizia, in base al tipo di

⁷⁶ Questa distinzione dipende dal dettaglio dei dati disponibili e appare evidente che, un'analisi molto dettagliata, come quella a scala locale, diventa onerosa su grandi porzioni di territorio.

risultato ottenuto, si distinguono⁷⁷ in: *metodi diretti*, che analizzano, in un solo passo, la vulnerabilità attraverso la definizione della distribuzione del danno; *metodi indiretti*, che utilizzano indici di vulnerabilità ai quali correlare danno e scuotimento (effettuando un duplice passaggio valutativo); *metodi convenzionali* che forniscono un indice di vulnerabilità senza una ipotesi di danno⁷⁸.

Una seconda classificazione⁷⁹, riguardante i metodi di valutazione della vulnerabilità sismica degli edifici, poi, individua tre categorie: metodi meccanici, metodi empirici-tipologici e metodi semiotici.

I *metodi meccanici* valutano il danno tramite l'implementazione di un'analisi strutturale e si prestano, per la qualità dei dati da raccogliere, all'analisi di un singolo aggregato edilizio.

I *metodi empirici-tipologici*, invece, utilizzano un approccio basato sull'analisi statistica dei danni provocati dai terremoti e dipendono dalla disponibilità degli stessi, a volte insufficienti. Il costruito viene suddiviso in classi tipologiche alle quali è associata una matrice di probabilità di danno o una curva di vulnerabilità. Tali metodologie hanno il pregio di richiedere indagini semplificate e, perciò, di poter essere utilizzate per ambiti territoriali più ampi ma, di contro, non permettono di operare una graduatoria fra edifici.

I *metodi semiotici*, basati sul giudizio degli esperti, infine, attribuiscono a ogni edificio un indice di vulnerabilità sulla base di indicatori rappresentativi dell'idoneità a sopportare il sisma. A una maggiore rapidità di impiego associano l'introduzione di informazioni su regolarità, duttilità, resistenza del manufatto.

Infine, una classificazione più recente dei metodi di valutazione

⁷⁷ CORSANEGO A., PETRINI V., *Seismic Vulnerability of Buildings*. Proceedings of SEISMED 2nd Workshop on Earthquake Vulnerability, Trieste, 1990.

⁷⁸ Per questo motivo, tali metodi, sono utilizzati solo per confrontare strutture ubicate in aree caratterizzate da una stessa sismicità.

⁷⁹ DOLCE M., *La valutazione della vulnerabilità per le analisi di rischio e gli scenari di danno*. Proceedings of VIII Convegno Nazionale ANIDIS L'Ingegneria Sismica in Italia, Taormina, 1997.

della vulnerabilità, proposta da Irene Cremonini⁸⁰, li suddivide in:

- *Metodi diretti tipologici* (di categorizzazione, statistici): individuano classi di edifici a cui si associano matrici di probabilità del danno o curve di vulnerabilità;
- *Metodi indiretti semi-quantitativi* (di ispezione e classificazione): analizzano i principali fattori determinanti la vulnerabilità degli edifici, assegnano a ciascuna situazione di tali fattori un livello e un peso relativo al fine del calcolo di un indice di vulnerabilità;
- *Metodi diretti meccanici analitici* (quantitativi): attraverso modelli meccanici, restituiscono la vulnerabilità delle strutture. Rientra, in tale classe, l'approccio per macroelementi.

I metodi utilizzati per la valutazione della vulnerabilità sismica sono dunque, molteplici, differenti per la tipologia di dati analizzati e di risultati ottenuti ma, soprattutto, sono funzione delle conoscenze acquisite nel corso degli anni e, perciò, in continua evoluzione e trasformazione.

Al pari del concetto di vulnerabilità (si veda parte 1, cap. 2), infatti, anche i metodi per una sua valutazione mutuano nel tempo adattandosi alle evidenze che, di volta in volta, la ricerca e i rinnovati eventi sismici mettono in luce.

In tale processo evolutivo, perciò, si pone la seguente tesi di dottorato che, ripercorrendo i recenti indirizzi in materia di sicurezza del patrimonio culturale, vuole proporre una metodologia speditiva semi-quantitativa per la stima di una vulnerabilità complessiva strutturale e urbana dei nuclei consolidati.

⁸⁰ CREMONINI I. (a cura di), *Rischio sismico e pianificazione nei centri storici*. Alinea, Firenze, 1994, pp. 24-26.

1.2. Valutazione della vulnerabilità strutturale

Nel tempo (si veda la I parte) il concetto di vulnerabilità, ha avuto un'accezione principalmente strutturale, essendo data priorità al comportamento del costruito sotto forzante sismica e attribuendo le conseguenze distruttive di un terremoto alle sole caratteristiche tecnico-costruttive e di resistenza dell'edificato. Solo di recente si è intuita l'importanza di altri fattori, che potrebbero definirsi urbani, che esulano dall'aspetto strutturale.

Di seguito si riporta lo stato dell'arte relativo la definizione della vulnerabilità strutturale, la cui suddivisione e disamina avverrà, per mera chiarezza espositiva, seguendo la classificazione proposta da Irene Cremonini⁸¹ (di cui si è precedentemente detto).

I **metodi diretti tipologici** tendono a individuare classi di edifici a cui associare indici tramite matrici DPM o curve di vulnerabilità.

Se la lettura tipologica dell'architettura, introdotta da Saverio Muratori⁸² e sviluppata da Gianfranco Caniggia e Gian Luigi Maffei⁸³ è finalizzata all'individuazione delle tipologie dell'edilizie di base, nei primi studi tipologici di vulnerabilità, invece, il tentativo è quello di riconoscere le debolezze similari e diffuse nei danni post-sismici e di associarli a delle tipologie costruttive.

Il risultato di tale esperimento, in Italia, ha portato alla redazione delle schede di rilevamento GNDT (Gruppo Nazionale per la

⁸¹ Cfr. CREMONINI I. (a cura di), *Rischio sismico e pianificazione nei centri storici*. Alinea, Firenze, 1994, pp. 24-26; CREMONINI I., *La vulnerabilità dei sistemi urbani. Conoscere e valutare per poter ridurre*. INGENIO Sistema integrato di Informazione Tecnica, 29, gennaio 2015.

⁸² MURATORI S., *Civiltà e territorio*. Ist. di Metod. Arch., Roma, 1966.

⁸³ Cfr. CANIGGIA G., MAFFEI G. L., *Lettura dell'edilizia di base*. Alinea Editrice, Città di Castello, 2008; CANIGGIA G., MAFFEI G. L., *Il progetto nell'edilizia di base*. Marsilio, Venezia, 1987.

Difesa dai Terremoti⁸⁴), gemmate dai sismi del Friuli (1976) e dell'Irpinia (1980). Gli apparati schedografici realizzati, permettono una sintesi, ordinata e organizzata, dei parametri in fase di sopralluogo e, inoltre, una valutazione del livello di vulnerabilità degli edifici attraverso la definizione di differenti parametri.

Nel tempo sono state redatte diverse tipologie di schede⁸⁵, classificabili in relazione alla finalità e al grado di approfondimento: le schede di I livello vengono, in genere, utilizzate per analisi di tipo statistico su intere aree urbane, mentre quelle di II livello sono utilizzate per l'esame di singoli edifici.

La scheda **di I livello GNDT** si compone di otto sezioni all'interno delle quali ordinare le informazioni circa: la scheda; la localizzazione dell'edificio; i dati metrici; l'uso; l'età della costruzione-interventi; lo stato delle finiture e impianti; la tipologia strutturale per i diversi elementi tecnici; l'estensione e il livello del danno. Quest'ultima sezione serve per l'analisi della vulnerabilità: registrando il grado di danno nelle diverse componenti costruttive (strutture verticali, strutture orizzontali, scale, tamponature), si attribuiscono valori dalla A (nessun danno) alla F (danno totale). Associando a ciascun livello valori numerici crescenti (rispettivamente 0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1) si calcola l'indice di danno⁸⁶.

⁸⁴ È uno dei Gruppi Nazionali di ricerca scientifica di cui si avvale il Servizio Nazionale della Protezione Civile, costituito dal Consiglio Nazionale delle Ricerche.

⁸⁵ Si distinguono: scheda di I livello; scheda di vulnerabilità di II livello (una per la muratura ed una per il cemento armato); scheda per il rilievo dei Beni Culturali-Danno alle chiese; scheda di rilevamento danno, pronto intervento e agibilità per edifici ordinari nell'emergenza post-sismica (AeDES); scheda di valutazione di danno e agibilità post-sisma per edifici a struttura prefabbricata o di grande luce (GL-AeDES); scheda finalizzata alla valutazione qualitativa dei possibili effetti locali nei siti di ubicazione di edifici strategici e.

⁸⁶ CHERUBINI A., CORAZZA L., DI PASQUALE G., DOLCE M., MARTINELLI A., PETRINI V., *Vulnerabilità degli edifici in muratura* in MINISTERO DEL LAVORO E DELLA PREVIDENZA SOCIALE, DIPARTIMENTO DELLA PROTEZIONE CIVILE, GRUPPO NAZIONALE PER LA DIFESA DAI TERREMOTI, *Censimento di vulnerabilità degli edifici pubblici strategici e speciali*

Livello del danno

A Nessun danno
 B Danno lieve
 C Danno medio
 D Danno grave
 E Danno gravissimo
 F Danno totale

M = livello danno max rilevato
 E = estensione danno più diffuso
 L = livello danno più diffuso

Estensione del danno

0	≤ 10%
1	10< ≤ 20%
2	20< ≤ 30%
3	30< ≤ 40%
4	40< ≤ 50%
5	50< ≤ 60%
6	60< ≤ 70%
7	70< ≤ 80%
8	80< ≤ 90%
9	90<

N° = Numero di piani con uguale danno

INDICE DI DANNO GLOBALE

$$d = \sum_{ij} S_i F_j d_{ij}$$

S_i = rapporto fra il valore economico della componente i-esima e quello dell'edificio
 F_j = rapporto fra il volume del piano j-esimo ed il volume totale

DANNO SU UNA COMPONENTE

$$d_{ij} = e d_e + (1 - e) d_m / 3$$

d_e = livello del danno più esteso sulla componente i-esima
 e = estensione percentuale di d_e
 d_m = livello del danno massimo presente sulla componente i-esima del piano

	M	E	L	N°
308	D	6	B	2
312	B	7	A	1
316				
320				
324				

Strutture verticali

Calcolo dell'indice di danno: esempio di compilazione della scheda (strutture verticali); espressione dell'indice di danno globale e della singola componente.

Quindi, nella scheda di I livello, si crea una relazione fra l'azione sismica e lo scenario di danno rilevato che può essere espressa attraverso le matrici di probabilità di danno.

Al fine di esprimere un giudizio di agibilità dell'immobile, che resta, comunque, discrezionale per la squadra di rilevatori, è, invece, stata progettata la **scheda AeDES** che, oltre a rilevare i dati di danno, fornisce una prima valutazione dei costi di riparazione⁸⁷.

Una caratteristica peculiare, che contraddistingue la scheda AeDES, riguarda la classificazione tipologica dei diversi elementi costruttivi. Nelle schede precedenti, infatti, la tipologia è individuata sulla base delle caratteristiche materiche, con approccio puramente descrittivo, comportando una difficile applicazione e errori sistematici nell'attribuzione delle tipologie⁸⁸.

nelle regioni Abruzzo, Basilicata, Calabria, Campania, Molise, Puglia e Sicilia Orientale. Dipartimento della Protezione Civile, 1999.

⁸⁷ PRESIDENZA DEL CONSIGLIO DEI MINISTRI-DIPARTIMENTO DELLA PROTEZIONE CIVILE, *op. cit.*, 2014. La scheda è il frutto delle esperienze effettuate sul campo, attraverso la sua utilizzazione nei terremoti italiani passati (Irpinia '80, Abruzzo '84, Basilicata '90, Reggio Emilia '96). Un suo prototipo, simile a quella attuale, è stato testato, con buon esito, nei terremoti dell'Umbria-Marche '97 e del Pollino '98.

⁸⁸ Si riscontrano, infatti, importanti limiti, legati all'impossibilità di prevedere tutte le tipologie di elementi costruttivi; alla difficoltà di riconoscimento delle stesse; alla mutevolezza delle tipologie nell'ambito dello stesso edificio e alla variabilità del comportamento sismico di tipologie simili.

Nelle schede AeDES, invece, si ha il passaggio da un approccio descrittivo a uno finalizzato all'interpretazione del comportamento sismico dei diversi elementi costruttivi.

Quindi, la scheda AeDES presenta una semplificazione notevole che comporta, in generale, una maggiore affidabilità del dato, a condizione che la sintesi richiesta all'operatore (ossia il passaggio dalle caratteristiche estetiche alle caratteristiche comportamentali) sia ben guidata. Proprio a tal fine, per gli edifici murari (fra i quali si escludono quelli specialistici o monumentali) si associano le classi di vulnerabilità alle caratteristiche costruttive, in funzione dello stato di conservazione rilevato.

Le informazioni collezionate vengono ordinate nelle schede, con struttura del tutto simile a quelle di I livello, che si compongono di otto sezioni (oltre a una recante "altre osservazioni") relative alla identificazione (ubicazione, identificativo, dati catastali); alla descrizione dell'edificio (dati metrici, età, uso-esposizione); alla tipologia (matrice complessa strutture verticali/strutture orizzontali, altre strutture, coperture); ai danni a elementi strutturali e provvedimenti di pronto intervento (P.I.) eseguiti; al pericolo esterno indotto da altre costruzioni, reti, versanti e provvedimenti di pronto intervento (P.I.) eseguiti; al terreno e fondazioni (morfologia del sito, dissesti alle fondazioni) e, infine, al giudizio di agibilità (valutazione del rischio, esito di agibilità, accuratezza della visita, provvedimenti suggeriti in pronto intervento di rapida realizzazione-limitati o estesi-, unità immobiliari inagibili-famiglie e persone evacuate).

Istat Provincia Istat Comune Rilevatore N° scheda Data

SEZIONE 3 Tipologia (multiscelta; per gli edifici in muratura indicare al massimo 2 tipi di combinazioni strutture verticali-solai)

Strutture verticali / Strutture orizzontali	Non identificate	Strutture in muratura					Pilastrini isolati	Mista	Rinforzata	Altre strutture		
		A tessitura irregolare e di cattiva qualità (Pietrame non squadrato, ciottoli,...)		A tessitura regolare e di buona qualità (Blocchi; mattoni; pietra squadrata,...)						Telai in c.a.	Non regolare	Regolare
		Senza catene o cordoli	Con catene o cordoli	Senza catene o cordoli	Con catene o cordoli	E				A	B	
A	B	C	D	E	F	G	H	REGOLARITA'	A	B		
1 Non Identificate	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	SI	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2 Volte senza catene	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	G1	H1		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3 Volte con catene	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4 Travi con soletta deformabile (travi in legno con semplice tavolato, travi e volteine,...)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	NO	G2	H2		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5 Travi con soletta semirigida (travi in legno con doppio tavolato, travi e tavelloni,...)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6 Travi con soletta rigida (solai di c.a., travi ben collegate a solette di c.a.,...)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	G3	H3		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

REGOLARITA'			Non regolare	Regolare
			A	B
1	Forma pianta ed elevazione	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	Disposizione tamponature	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Copertura

- 1 Spingente pesante
- 2 Non spingente pesante
- 3 Spingente leggera
- 4 Non spingente leggera

SEZIONE 4 Danni ad ELEMENTI STRUTTURALI e provvedimenti di pronto intervento (P.I.) eseguiti

Livello - estensione / Componente strutturale - Danno preesistente	DANNO ⁽¹⁾										PROVVEDIMENTI DI P.I. ESEGUITI					
	D4-D5 Gravissimo			D2-D3 Medio grave			D1 Leggero			Nullo	Nessuno	Demolizioni	Cerchiature e/o tiranti	Riparazione	Puntelli	Trasenne e protezione passaggi
	2/3 >	1/3 - 2/3	< 1/3	2/3 >	1/3 - 2/3	< 1/3	2/3 >	1/3 - 2/3	< 1/3							
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	L	A	B	C	D	E	F
1 Strutture verticali	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2 Solai	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3 Scale	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4 Copertura	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5 Tamponature-tramezzi	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6 Danno preesistente	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>						

(1) - Di ogni livello di danno indicare l'estensione solo se esso è presente. Se l'oggetto indicato nella riga non è danneggiato campire **Nullo**.

SEZIONE 5 Danni ad ELEMENTI NON STRUTTURALI e provvedimenti di pronto intervento eseguiti

Tipo di danno	PRESENZA DANNO	PROVVEDIMENTI DI P.I. ESEGUITI					
		Nessuno	Rimozione	Puntelli	Riparazione	Divieto di accesso	Trasenne e protezione passaggi
	A	B	C	D	E	F	G
1 Distacco intonaci, rivestimenti, controsoffitti...	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2 Caduta tegole, comignoli...	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3 Caduta cornicioni, parapetti...	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4 Caduta altri oggetti interni o esterni	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5 Danno alla rete idrica, fognaria o termoidraulica	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6 Danno alla rete elettrica o del gas	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

SEZIONE 6 Pericolo ESTERNO indotto da altre costruzioni e provvedimenti di p.i. eseguiti

Causa potenziale	PERICOLO SU			PROVVEDIM. DI P.I. ESEGUITI	
	Edificio	Via d'accesso	Vie interne	Divieto di accesso	Trasenne e protez. passaggi
	A	B	C	D	E
1 Crolli o cadute da altre costruzioni	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2 Rottura di reti di distribuzione	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

SEZIONE 7 Terreno e fondazioni

MORFOLOGIA DEL SITO				DISSESTI (in atto o temibili): <input type="checkbox"/> Versanti incombenti <input type="checkbox"/> Terreno di fondazione			
1 <input type="radio"/> Cresta	2 <input type="radio"/> Pendio forte	3 <input type="radio"/> Pendio leggero	4 <input type="radio"/> Pianura	A <input type="radio"/> Assenti	B <input type="radio"/> Generati dal sisma	C <input type="radio"/> Acuiti dal sisma	D <input type="radio"/> Preesistenti

Scheda AeDES di I livello: foglio 2.

Istat Provincia	<input type="text"/>	Istat Comune	<input type="text"/>	Rilevatore	<input type="text"/>	N° scheda	<input type="text"/>	Data	<input type="text"/>
-----------------	----------------------	--------------	----------------------	------------	----------------------	-----------	----------------------	------	----------------------

SEZIONE 8 Giudizio di agibilità

Valutazione del rischio					Esito di agibilità		
RISCHIO	STRUTTURALE <small>(Sez. 3 e 4)</small>	NON STRUTTURALE <small>(Sez. 5)</small>	ESTERNO <small>(sez. 6)</small>	GEOTECNICO <small>(sez. 7)</small>			
BASSO	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	A	Edificio AGIBILE	<input type="radio"/>
BASSO CON PROVVEDIMENTI	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	B	Edificio TEMPORANEAMENTE INAGIBILE (tutto o parte) ma AGIBILE con provvedimenti di pronto intervento (1)	<input type="radio"/>
ALTO	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	C	Edificio PARZIALMENTE INAGIBILE (1)	<input type="radio"/>
					D	Edificio TEMPORANEAMENTE INAGIBILE da rivedere con approfondimento	<input type="radio"/>
					E	Edificio INAGIBILE	<input type="radio"/>
					F	Edificio INAGIBILE per rischio esterno (1)	<input type="radio"/>

(1) riportare nella colonna argomento della Sez. 9 l'esito e nelle annotazioni le parti di edificio inagibili (esiti B, C) e le cause di rischio esterno (esito F)

Sull'accuratezza della visita	1 <input type="radio"/> Solo dall'esterno	4 <input type="radio"/> Non eseguito per:	a <input type="radio"/> Sopralluogo rifiutato (SR)	b <input type="radio"/> Rudere (RU)	c <input type="radio"/> Demolito (DM)
	2 <input type="radio"/> Parziale		d <input type="radio"/> Proprietario non trovato (NT)	e <input type="radio"/> Altro (AL)
	3 <input type="radio"/> Completa (> 2/3)			

Provvedimenti di pronto intervento di rapida realizzazione, limitati (*) o estesi ()**

*	**	PROVVEDIMENTI DI P.I. SUGGERITI	*	**	PROVVEDIMENTI DI P.I. SUGGERITI
1	<input type="checkbox"/>	Messa in opera di cerchiature o tiranti	7	<input type="checkbox"/>	Rimozione di cornicioni, parapetti, aggetti
2	<input type="checkbox"/>	Riparazione danni leggeri alle tamponature e tramezzi	8	<input type="checkbox"/>	Rimozione di altri oggetti interni o esterni
3	<input type="checkbox"/>	Riparazione copertura	9	<input type="checkbox"/>	Transennature e protezione passaggi
4	<input type="checkbox"/>	Puntellatura di scale	10	<input type="checkbox"/>	Riparazioni delle reti degli impianti
5	<input type="checkbox"/>	Rimozione di intonaci, rivestimenti, controsoffittature	11	<input type="checkbox"/>	
6	<input type="checkbox"/>	Rimozione di tegole, comignoli, parapetti	12	<input type="checkbox"/>	

Unità immobiliari inagibili, famiglie e persone evacuate

Unità immobiliari inagibili	<input type="text"/>	Nuclei familiari evacuati	<input type="text"/>	N° persone evacuate	<input type="text"/>
-----------------------------	----------------------	---------------------------	----------------------	---------------------	----------------------

SEZIONE 9 Altre osservazioni

Sul danno, sui provvedimenti di pronto intervento, l'agibilità o altro			
Argomento	Annotazioni	Foto d'insieme dell'edificio	spilla
	Il compilatore (in stampatello)		Firma

Basata sui database ISTAT è, infine, la metodologia proposta da Samela et al., applicata sul patrimonio edilizio esistente di 131 comuni della regione Basilicata⁸⁹. La metodologia proposta mette a punto una procedura che, utilizzando un'importante quantità di dati di rilievo raccolti da tecnici (racchiusi nel DB-RILIEVO), consente di attribuire la vulnerabilità in maniera più accurata. I dati di rilievo⁹⁰, infatti, vengono incrociati con le tipologie definite nel database ISTAT 2001: 7 per l'epoca di costruzione, 4 per la tipologia strutturale, 3 per il numero di piani, 2 per lo stato di conservazione e 2 per la contiguità.

I **metodi indiretti semi-quantitativi** (di ispezione e classificazione), invece, analizzano i principali fattori determinanti la vulnerabilità degli edifici e assegnano un livello e un peso al fine del calcolo di un indice di vulnerabilità dell'edificio. Sono, pertanto, simili ai metodi precedenti ma, in più, restituiscono un vero e proprio indice di vulnerabilità.

Fra questi, vi è la metodologia di II livello GNDT⁹¹ che si basa sulla compilazione di schede, suddivise in 5 sezioni, in cui raccogliere le informazioni tipologiche e costruttive relative il singolo edificio.

L'indice di vulnerabilità è definito in base a undici parametri

⁸⁹ Cfr. SAMELA C., MASI A., CHIAUZZI L., TOSCO L., VONA M., *Valutazione della vulnerabilità sismica del patrimonio edilizio privato della Regione Basilicata sulla base del database Istat 2001 e di dati di rilievo*. Proceedings of GNGTS-28° Convegno Nazionale, Trieste, 16-19 novembre 2009; SAMELA C., MASI A., CHIAUZZI L., TOSCO L., VONA M., *Analisi delle caratteristiche tipologiche e valutazione della vulnerabilità sismica del patrimonio edilizio privato della regione Basilicata*. Proceedings of XIII Convegno Nazionale ANIDIS L'Ingegneria Sismica in Italia, Bologna, 28 giugno-2 luglio 2009.

⁹⁰ I dati collezionati sono stati raccolti nel database regionale sia durante indagini post-sisma sia durante censimenti condotti in vari progetti di ricerca finalizzati alla valutazione della vulnerabilità sismica.

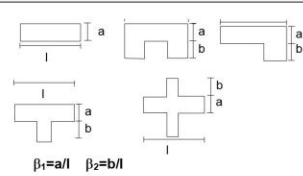
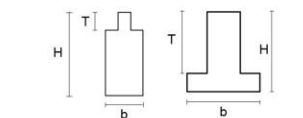
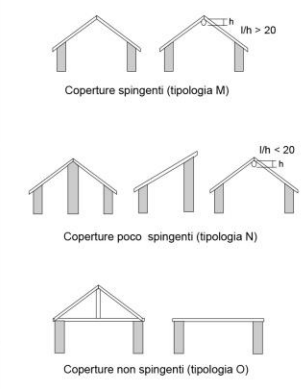
⁹¹ GRUPPO NAZIONALE PER LA DIFESA DAI TERREMOTI, *Rischio Sismico di Edifici Pubblici, Parte I: Aspetti Metodologici*. Appendice 1-Manuale per il rilevamento della vulnerabilità sismica degli edifici. Istruzione per la compilazione della scheda di 2° livello. Tipografia Moderna, Bologna, 1993.

ritenuti idonei a caratterizzare il comportamento sismico di un edificio:

1. Tipo e organizzazione del sistema resistente (S.R.): valuta l'organizzazione degli elementi verticali e le connessioni;
2. Qualità del (S.R.): tiene conto dei tipi di muratura più frequenti. Le classi sono identificate in funzione di due fattori: il tipo e la forma degli elementi costituenti; l'omogeneità di materiale e di pezzatura per tutta l'estensione della parete;
3. Resistenza convenzionale: quantifica la resistenza, nelle due direzioni perpendicolari, delle strutture in elevazione attraverso un calcolo speditivo, nell'ipotesi di comportamento scatolare;
4. Posizione dell'edificio e delle fondazioni: evidenzia alcuni aspetti geotecnici influenti sul comportamento sismico globale;
5. Orizzontamenti: considera la rigidezza nel piano e l'efficacia dei collegamenti alle strutture verticali;
6. Configurazione planimetrica: attraverso i rapporti tra i lati e le sporgenze, valuta la regolarità in pianta;
7. Configurazione in elevazione: si analizzano le discontinuità e le variazioni di masse in elevazione;
8. Distanza massima fra le murature: rapporto fra l'interasse tra i muri trasversali e lo spessore del muro maestro;
9. Copertura: evidenzia la tipologia e il peso della copertura, l'eventuale presenza di elementi spingenti e le caratteristiche del collegamento alle murature;
10. Elementi non strutturali: valuta l'influenza, il tipo e il collegamento alla struttura di tutti gli elementi non portanti;
11. Stato di fatto: si tiene conto dello stato di conservazione e di lesioni, dissesti, degrado.

G.N.D.T. – SCHEDA DI VULNERABILITÀ DI 2° LIVELLO (MURATURA)



Codice ISTAT Provincia ¹		Codice ISTAT Comune ³		Scheda N° ⁷	
PARAMETRI	Classi	Qual. Inf.	ELEMENTI DI VALUTAZIONE		SCHEMI – RICHIAMI
1	TIPO ED ORGANIZZAZIONE DEL SISTEMA RESISTENTE (S.R.)	11	22	Norme nuove costruzioni (Clas. A) ³³ 1	Parametro 3. Resistenza convenzionale Tipologia strutture verticali τ_x (t/mq) _____ _____ _____ _____ _____ Minimo tra A_x ed A_y A (mq) _____ Massimo tra A_x ed A_y A (mq) _____ Coeff. $a_0 = A/A_t$ _____ Coeff. $\gamma = B/A$ _____ $q = (A_x + A_y) h p_m / A_t + p_s$ _____ $C = \frac{a_0 \tau_k}{q N} \sqrt{1 + \frac{q N}{1,5 q_k \tau_k (1 + \gamma)}}$ $\alpha = C/0,4$ _____
				Norme riparazioni (Clas. A) 2	
				Cordoli e catene tutti i livelli (Clas. B) 3	
				Buoni ammorsam. fra muri (Clas. C) 4	
				Senza cordoli cattivi ammors. (Clas. D) 5	
2	QUALITÀ DEL S.R.	12	23	(vedi manuale) ³⁴	
3	RESISTENZA CONVENZIONALE	13	24	Numero di piani N ³⁵	Parametro 6. Configurazione planimetrica 
				Area totale coperta A_t (mq) ³⁷	
				Area A_x (mq) ⁴¹	
				Area A_y (mq) ⁴⁴	
				τ_x (t/mq) ⁴⁷	
				Alt. media interpiano h (m) ⁵⁰	
				Peso specifico pareti p_m (t/mc) ⁵²	
Carico permanente solai p_s (t/mq) ⁵⁴					
4	POSIZIONE EDIFICIO E FONDAZIONE	14	25	Pendenza percentuale del terreno ⁵⁶	Parametro 7. Configurazione in elevazione 
				Roccia Fondazioni: Si 1 No 2	
				Terr. sciolto non sping Fond. Si 3 No 4	
				Terr. sciolto spingente Fond. Si 5 No 6	
Differen. max di quota Δh (m) ⁵⁹					
5	ORIZZONTAMENTI	15	26	Piani sfalsati Si 1 No 2	Parametro 9. Copertura 
				Orizzontamenti rigidi e ben collegati ⁶³ 1	
				Orizzontam. deformabili e ben collegati 2	
				Orizzontam. rigidi e mal collegati 3	
				Orizzontam. deformabili e mal collegati 4	
% Orizzontam. rigidi e ben collegati ⁶⁴					
6	CONFIGURAZIONE PLANIMETRICA	16	27	Rapporto percentuale $\beta_1 = a/l$ ⁶⁶	Parametro 9. Copertura Copert. non sp. ⁸⁴ <input type="checkbox"/> poco sp. 1 sp. 2 Cordoli in copertura Si ⁸⁵ 1 No 2 Catene in copertura Si ⁸⁶ 1 No 2 Carico perman. copert. p_c (t/mq) ⁸⁷ Lungh. appoggio copert. l_s (m) ⁹⁰ Perimetro copertura I (m) ⁹³
				Rapporto percentuale $\beta_2 = b/l$ ⁷⁰	
7	CONFIGURAZIONE IN ELEVAZIONE	17	28	% aumento (+) o diminuzione(-) di massa ⁷⁴	
				Rapporto percentuale T/H ⁷⁷	
				Percentuale superficie porticata ⁷⁹	
				Piano terra porticato Si 1 No 2	
8	D_{max} MURATURE	18	29	Rapporto massimo I/s ⁸²	
9	COPERTURA	19	30	Copert. non sp. ⁸⁴ <input type="checkbox"/> poco sp. 1 sp. 2	
				Cordoli in copertura Si ⁸⁵ 1 No 2	
				Catene in copertura Si ⁸⁶ 1 No 2	
				Carico perman. copert. p_c (t/mq) ⁸⁷	
				Lungh. appoggio copert. l_s (m) ⁹⁰	
10	ELEM. NON STRUTT.	20	31	(Vedi manuale)	
				(Vedi manuale)	
11	STATO DI FATTO	21	32	(Vedi manuale)	
				(Vedi manuale)	

Scheda GNDT di II livello per la muratura.

Agli undici parametri, ciascuno influente con un proprio peso (P_i), viene attribuita una delle quattro classi definite (A, B, C, D) a cui corrisponde un punteggio numerico C_v variabile fra 0 e 45.

L'indice di vulnerabilità (V) è definito come somma pesata dei punteggi relativi a ogni parametro⁹² e assume valori: tra 0 e 0,1 (classe A: vulnerabilità adeguata); tra 0,1 e 0,2 (classe B: vulnerabilità bassa); tra 0,2 e 0,4 (classe B: vulnerabilità medio bassa); tra 0,4 e 0,6 (classe C: vulnerabilità media); tra 0,6 e 0,8 (classe C: vulnerabilità medio alta); tra 0,8 e 1 (classe D: vulnerabilità alta).

PARAMETRO	CLASSE CV				PESO	INDICE GLOBALE DI VULNERABILITA'
	A	B	C	D	p_i	
1 Tipo ed org. del sistema res.	0	5	20	45	1.00	$V = \sum_{i=1}^{11} C_{vi} P_i$ $0 \leq V \leq 382.5$ <p>Indice normalizzato</p> $0 \leq V \leq 100$
2 Qualità del sistema resistente	0	5	25	45	.25	
3 Resistenza convenzionale	0	5	25	45	1.05	
4 Posizione edificio e fondaz.	0	5	15	45	.75	
5 Orizzontamenti	0	5	25	45	Variab.	
6 Configurazione planimetrica	0	5	25	45	.50	
7 Configurazione in elevazione	0	5	25	45	Variab.	
8 Distanza massima murature	0	5	25	45	.25	
9 Coperture	0	15	25	45	Variab.	
10 Elementi non strutturali	0	0	25	45	.25	
11 Stato di fatto	0	5	25	45	1.00	

Calcolo dell'indice globale di vulnerabilità V . I pesi dei parametri 5, 7 e 9 variano in un intervallo compreso tra 0.133–0.261, dipendentemente dalla percentuale degli orizzontamenti rigidi e ben collegati, la presenza di porticati e il peso della copertura.

Fanno, poi, parte dei metodi indiretti semi-quantitativi le schede per il rilievo della vulnerabilità e del danno sismico elaborate dal GNDT per le chiese MODELLO A-DC⁹³. Esse individuano diciotto meccanismi di collasso fondamentali con la finalità di guidare nell'interpretazione e nell'individuazione di particolari costruttivi fondamentali nei riguardi della vulnerabilità. Nella parte introduttiva sono indicati i dati generali; la parte di analisi della

⁹² CHERUBINI A., et al., *op. cit.*

⁹³ PRESIDENZA DEL CONSIGLIO DEI MINISTRI-DIPARTIMENTO DELLA PROTEZIONE CIVILE, PAPA S., DI PASQUALE G. (a cura di), *Manuale per la compilazione della scheda per il rilievo del danno ai beni culturali Chiese MODELLO A-DC.*

scheda, invece, colleziona i dati relativi alle condizioni d'uso e allo stato di manutenzione ma, soprattutto, ai meccanismi di danno, alla condizione di agibilità, agli interventi da attuare e alla stima dei costi di riparazione. Relativamente al danno sismico, il compilatore è chiamato a individuare, per ciascuno dei 18 meccanismi, la presenza e il grado di danno (il cui punteggio varia da 0 a 5). L'indice di danno che si ricava (I_d) è dato dal rapporto fra il punteggio totale di danno (d) e cinque volte il numero di meccanismi di danno riscontrati (n).

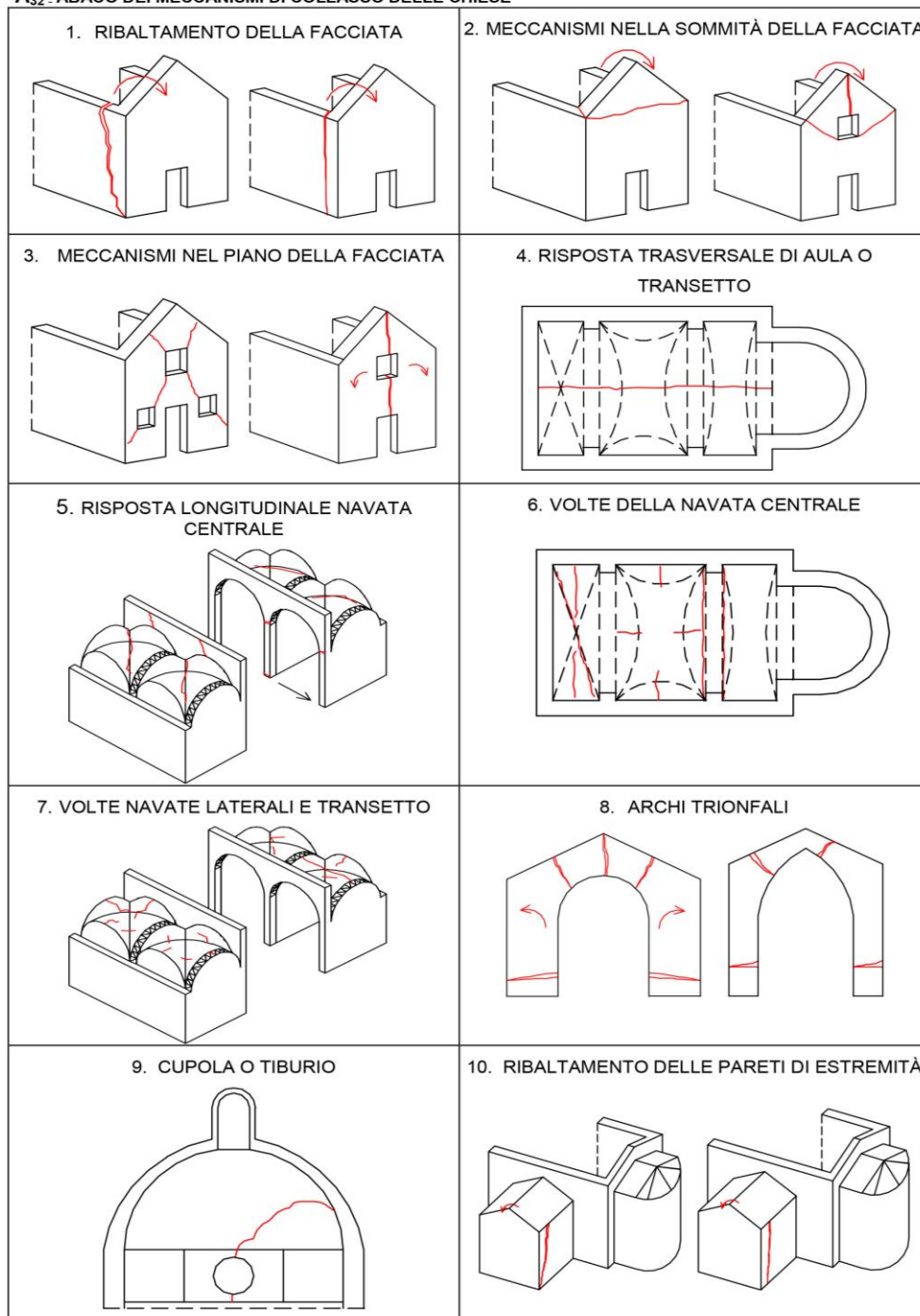
A₂₁ - DANNO SISMICO (consultare A₃₂ – Abaco dei meccanismi di collasso delle chiese)

0 - □□□□ assenza di danno 1 - ■□□□ danno lieve 2 - ■■□□ danno moderato
 3 - ■■■□ danno medio 4 - ■■■■ danno grave 5 - ■■■■■ crollo

1	RIBALTAMENTO DELLA FACCIATA	<input type="checkbox"/>
danno	DISTACCO DELLA FACCIATA DALLE PARETI	□□□□□
2	MECCANISMI NELLA SOMMITÀ DELLA FACCIATA	<input type="checkbox"/>
danno	LESIONI NELLA ZONA ALTA DELLA FACCIATA	□□□□□
3	MECCANISMI NEL PIANO DELLA FACCIATA	<input type="checkbox"/>
danno	LESIONI INCLINATE (TAGLIO) - LESIONI VERTICALI O ARCUATE (ROTAZIONE)	□□□□□
4	RISPOSTA TRASVERSALE DELL'AULA O DEL TRANSETTO	<input type="checkbox"/>
danno	LESIONI NEGLI ARCONI (CON EVENTUALE PROSECUZIONE NELLA VOLTA) - ROTAZIONI, SCHIACCIAMENTI O LESIONI A TAGLIO NELLE VOLTE DELLE NAVATE LATERALI	□□□□□
5	RISPOSTA LONGITUDINALE DELLA NAVATA CENTRALE	<input type="checkbox"/>
danno	LESIONI NEGLI ARCHI O ARCHITRAVI LONGITUDINALI - SCHIACCIAMENTI E/O LESIONI ALLA BASE DEI PILASTRI - LESIONI A TAGLIO NELLE VOLTE DELLE NAVATE LATERALI	□□□□□
6	VOLTE DELLA NAVATA CENTRALE	<input type="checkbox"/>
danno	LESIONI NELLE VOLTE DELL'AULA CENTRALE O SCONNESSIONI DEGLI ARCONI	□□□□□
7	VOLTE DELLE NAVATE LATERALI E DEL TRANSETTO	<input type="checkbox"/>
danno	LESIONI NELLE VOLTE O SCONNESSIONI DEGLI ARCONI	□□□□□
8	ARCHI TRIONFALI (DELL'AULA E DEI TRANSETTI)	<input type="checkbox"/>
danno	LESIONI NELL'ARCO, SCORRIMENTO DI CONCI - SCHIACCIAMENTO ALLA BASE DEI PIEDRITTI	□□□□□
9	CUPOLA O TIBURIO	<input type="checkbox"/>
danno	LESIONI NELLA CUPOLA, NEL TAMBURO O NELLA LANTERNA	□□□□□
10	RIBALTAMENTO DI ALTRE PARETI DI ESTREMITÀ (TRANSETTO, CAPPELLE)	<input type="checkbox"/>
danno	DISTACCO DELLE PARETI DI ESTREMITÀ DALLE PARETI ORTOGONALI	□□□□□
11	RIBALTAMENTO DELL'ABSIDE (O DEL PRESBITERIO)	<input type="checkbox"/>
danno	LESIONI VERTICALI O ARCUATE NELLE PARETI DELL'ABSIDE	□□□□□

Stralcio del foglio 3 della scheda GNDT per il rilievo del danno delle chiese: identificazione dei meccanismi di danno e del grado.

A₃₂ - ABACO DEI MECCANISMI DI COLLASSO DELLE CHIESE



Scheda GNDT per il rilievo del danno delle chiese: foglio 7. Meccanismi di collasso.

Per l'analisi dei metodi **diretti meccanici analitici**⁹⁴, i documenti a cui far riferimento sono le normative vigenti, all'interno delle quali si trovano indirizzi e orientamenti per le analisi e la metodologia da applicare. Nello specifico, le Norme Tecniche per le Costruzioni⁹⁵ (NTC 2008) che mutuano dagli Eurocodici⁹⁶.

Il quadro normativo tecnico italiano delinea il metodo per la verifica degli edifici esistenti, fornendo alcuni parametri di *input* nonché le formulazioni per la definizione degli stati di sollecitazione, per le analisi statiche e dinamiche e per la progettazione degli interventi di consolidamento⁹⁷.

La metodologia per il calcolo della vulnerabilità strutturale promossa dalla NTC 2008, prevede un *iter* procedurale consistente in: fase di conoscenza del manufatto storico; definizione del modello strutturale corrispondente allo stato di fatto; analisi di valutazione statica e dinamica dello stato di fatto e determinazione della vulnerabilità del sistema strutturale esistente; progettazione degli interventi (di adeguamento o miglioramento o locali); analisi di valutazione statica e dinamica dello stato post-intervento; confronto dei risultati pre/post-intervento.

Le analisi preliminari ovvero di conoscenza del bene stesso comprendono una successione di indagini: analisi storico-critiche;

⁹⁴ A oggi sono i metodi maggiormente utilizzati, ritenuti più affidabili e precisi.

⁹⁵ Cfr. MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI, *Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni*. D.M. 14 gennaio 2008, S.O. n. 30 alla Gazzetta Ufficiale n. 29 del 4 febbraio 2008; MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI, *Istruzioni per l'applicazione delle «Nuove norme tecniche per le costruzioni» di cui al D.M. 14 gennaio 2008*. Circolare n. 617. S.O. n. 27 alla Gazzetta Ufficiale n. 47 del 26 febbraio 2009.

⁹⁶ EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION, Cfr. *EN 1998-1: Eurocode 8-Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings*, CEN, Brussels, 2004; *EN 1998-3: Eurocode 8 -Part 3: Assessment and retrofitting of buildings*. CEN, Brussels, 2005; *EN 1990: Eurocode: Basis of structural design*. CEN, Brussels, 2002/A1:2005.

⁹⁷ Per le tecniche di consolidamento, fra gli altri, si veda anche VINCI M., *Metodi di calcolo e tecniche di consolidamento per edifici in muratura. Analisi-Esempi di calcolo-Particolari costruttivi*. Dario Flaccovio Editore, Palermo, 2012.

rilievi geometrici-strutturali; analisi di caratterizzazione dei materiali tramite verifiche visive *in situ* e indagini sperimentali semi-distruttive o NDT (*Non Destructive Testing*)⁹⁸; analisi del degrado⁹⁹; definizione dei Livelli di Conoscenza (LC) e Fattori di Confidenza (FC); individuazione delle azioni agenti sulla struttura e definizione delle combinazioni di carico.

Le informazioni raccolte nella fase d'indagine preliminare vengono tradotte in un modello di calcolo. Nel panorama della Modellazione delle strutture agli Elementi Finiti (FEM)¹⁰⁰, le tipologie di elementi cui si può ricorrere per la realizzazione del modello¹⁰¹

⁹⁸ Si ricorda che le campagne di indagine sul costruito storico possono comprendere: esami visivi tramite saggi o con endoscopio; analisi *in situ* con termocamera; prove sperimentali di caratterizzazione meccanica della muratura con i martinetti piatti; analisi di caratterizzazione chimico-fisica delle malte con analisi granulometriche, termogravimetriche o al microscopio; analisi di caratterizzazione meccanica della malta attraverso prove in laboratorio, a compressione o flessione, e *in situ* con penetrometro per elementi lapidei e malte o pistola di Windsor.

Per ciascuna prova si rimanda alla normativa di riferimento tra cui: UNI EN 13018:2004 Prove non distruttive, *Esame visivo-Principi generali*; UNI 10824-1:2000 Prove non distruttive, *Termografia all'infrarosso-Termini e definizioni*; ASTM C1196-91, *Standard test method for in-situ compressive stress within solid unit masonry-Estimated using flatjack measurements*, ASTM D4729-08 *Standard Test Method for In Situ Stress and Modulus of Deformation Using Flatjack Method*, RILEM *Technical Recommendations for the Testing and Use of Construction Materials*, LUM.D.3 *In-situ strength/elasticity tests based on the flat jack*, E & FN Spon, London, 1994; UNI 11088:2003 Beni culturali, *Caratterizzazione chimica di una malta-Determinazione del contenuto di aggregato siliceo e di alcune specie solubili*; UNI 11089:2003 Beni culturali, *Stima della composizione di alcune tipologie di malte*; UNI 11139:2004 Beni culturali, *Determinazione del contenuto di calce libera e di magnesia libera*; UNI EN 1015:2007, *Metodi di prova per malte per opere murarie*; ASTM C803/C803M-03(2010), *Standard Test Method for Penetration Resistance of Hardened Concrete*.

⁹⁹ Per l'identificazione delle patologie di degrado si rimanda alla norma UNI 11182:2006, *Materiali lapidei naturali ed artificiali. Descrizione della forma di alterazione-Termini e definizioni*, in sostituzione alla NORMAL 1/88.

¹⁰⁰ Il metodo FEM permette di descrivere il comportamento di una struttura complessa tramite la definizione di quello di piccoli elementi. Attraverso un'operazione di discretizzazione, si effettua un'approssimazione del continuo quale insieme finito di elementi interconnessi in un numero chiuso di nodi.

¹⁰¹ Per una trattazione più approfondita si veda PUNZO G., *Modellazione e analisi non lineare di murature esistenti*. Tesi di Dottorato in Ingegneria Civile,

sono: elementi trave monodimensionali o *beam*, elemento piastra o *shell*, elemento 3d o *brick*¹⁰². Un'evoluzione di tali metodi è il calcolo FME (*Frame by Macro Elements*)¹⁰³ a telaio equivalente a macroelementi, che permette di individuare elementi di dimensioni ben precise modellate con i legami costitutivi propri della muratura.

Infine, nel panorama della modellazione degli edifici esistenti in muratura, rilevanza assumono quei metodi che, denominati modelli "semplificati", consentono analisi globali con un onere computazionale ridotto¹⁰⁴. Fra questi, vi sono i metodi POR¹⁰⁵, il cui scopo è di cogliere con sufficiente accuratezza il comportamento di macroelementi semplici, mediante il quale è possibile valutare la risposta globale della struttura¹⁰⁶.

Ambientale e dei Materiali, Università di Bologna, Relatore: Prof. A. BENEDETTI, 2016.

¹⁰² Utilizzando gli elementi *beam* si realizza un modello a telaio equivalente; attraverso la schematizzazione della parete mediante elementi lineari provvisti di deformazione a taglio e a flessione, si assimilano i maschi murari ai pilastri e le fasce di piano a travi di accoppiamento con differente grado di vincolo. Tale metodologia è indicata quale modellazione di riferimento nelle NTC 2008. Utilizzando elementi del tipo *shell* o *brick*, invece, la parete viene discretizzata in elementi di dimensioni ridotte, bidimensionali o tridimensionali, il cui numero dipende dalle discontinuità (geometriche, di spessore, di materiali) presenti nella struttura. L'analisi globale della struttura, quindi, viene eseguita come sommatoria delle caratteristiche dei singoli elementi.

¹⁰³ Tale metodo di calcolo è alla base del software 3muri che la S.T.A. DATA ha sviluppato in collaborazione con il team di ricerca guidato dal Prof. S. Lagomarsino insieme a altri specialisti dell'Eucentre di Pavia.

¹⁰⁴ MAGENES G., BOLOGNINI D., BRAGGIO C. (a cura di), *Metodi semplificati per l'analisi sismica non lineare di edifici in muratura*, CNR-Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti, Roma, 2000.

¹⁰⁵ Cfr TOMAŽEVIC, M., *The computer program POR*, Report ZRMK, 1978; REGIONE AUTONOMA FRIULI VENEZIA-GIULIA, *DT2-Raccomandazioni per la riparazione strutturale degli edifici in muratura*, 1978.

¹⁰⁶ Essi assumono una serie di semplificazioni: considerano le capacità resistenti dei maschi murari, di cui si esegue un'analisi non lineare taglio-spostamento distinta per ogni interpiano, trascurando la reale rigidezza delle fasce orizzontali di muratura; utilizzano solai infinitamente rigidi (condizione, questa, non sempre rispondente alla realtà) sottintendendo una modellazione in cui siano impediti le rotazioni all'estremità degli elementi murari verticali.

Nella modellazione delle costruzioni esistenti in muratura soggette a azioni sismiche, poi, si deve considerare il manifestarsi di meccanismi, sia locali che globali¹⁰⁷ e analizzarli entrambi.

La valutazione globale degli edifici in muratura è consentita, dalla NTC 2008, attraverso l'applicazione di analisi statiche lineari, dinamiche lineari, statiche non lineari (*pushover*), dinamiche non lineari¹⁰⁸.

L'analisi *pushover*, maggiormente usata per le verifiche del costruito esistente, consiste nell'applicare alla struttura i carichi gravitazionali e, per ogni direzione dell'azione sismica, un sistema di forze distribuite¹⁰⁹ che vengono fatte incrementare fino al collasso della struttura. Si determina, così, la curva di capacità dell'edificio con, in ordinata, il taglio alla base (F_b) e, in ascissa, lo spostamento del punto di controllo (d_c) corrispondente, generalmente, al baricentro delle masse dell'ultimo impalcato¹¹⁰.

La verifica globale è condotta controllando che la domanda in

¹⁰⁷ I primi, corrispondenti ai meccanismi del primo modo, interessano singoli pannelli murari o più ampie porzioni della costruzione e corrispondono a cinematismi fuori piano. Sono, quindi, fenomeni che portano a collasso la struttura per perdita di equilibrio, favoriti, per lo più, dall'assenza o scarsa efficacia dei collegamenti tra pareti e orizzontamenti e negli incroci murari. I meccanismi globali, o del secondo modo, invece, interessano la risposta delle pareti nel proprio piano e generano danneggiamenti per flessione e taglio; la rottura avviene per superamento della resistenza ultima del materiale.

¹⁰⁸ Poiché le strutture in muratura hanno un comportamento fortemente non lineare, le analisi del tipo non lineare ne colgono meglio la risposta sismica, seppur implicando un onere computazionale maggiore.

¹⁰⁹ Le forze hanno profili di carico vari. La norma diversifica due gruppi di profili di carico e stabilisce che bisogna adottare almeno un profilo per ogni gruppo. Fanno parte del primo gruppo la distribuzione proporzionale alle forze statiche (profilo crescente con l'altezza); la distribuzione di accelerazioni proporzionale al modo principale di vibrare; la distribuzione corrispondente ai tagli di piano calcolata con un'analisi dinamica. Al secondo gruppo, invece, appartengono la distribuzione uniforme di accelerazioni; la distribuzione adattiva, variabile in funzione delle plasticizzazioni della struttura.

¹¹⁰ Si sottolinea l'importanza della scelta del punto di controllo nell'analisi *pushover* al fine di ottenere una curva il più rispondente alla realtà. La scelta dello stesso deve ricadere su punti non troppo rigidi, possibilmente negli impalcati più alti evitando, però, elementi insolitamente alti, quali i torrioni.

spostamento sia inferiore alla capacità in spostamento.

Dal punto di vista tecnico e per quanto previsto dalla NTC 2008, quindi, nel caso delle analisi non lineari, l'indice di vulnerabilità è dato dal rapporto tra grandezze che misurano la capacità della struttura con quelle che ne identificano la domanda in condizioni sismiche e può essere valutato in termini di periodo di ritorno dell'evento sismico (T_R), o di accelerazioni di picco, PGA, secondo le relazioni:

$$\alpha_{TR} = T_{R(C)} / T_{R(D)} \qquad \alpha_{PGA} = PGA_{(C)} / PGA_{(D)}$$

in cui, $T_{R(D)}$ e $PGA_{(D)}$ sono rispettivamente il periodo di ritorno e l'accelerazione di picco dello spettro sismico di progetto (domanda di spostamento), mentre $T_{R(C)}$ e $PGA_{(C)}$ sono il tempo di ritorno e l'accelerazione di picco dell'evento sismico che porta la struttura al raggiungimento dello stato limite (capacità). Il valore da attribuire all'intera struttura è il minimo tra tutti quelli ottenuti su ciascun elemento; perciò, la vulnerabilità è dettata dal primo elemento che raggiunge lo Stato Limite Ultimo (SLU).

La metodologia della NTC 2008 è stata recepita dal Ministero dei Beni e delle Attività Culturali e del Turismo (MiBACT) che ha inteso redigere le Linee Guida¹¹¹ attraverso le quali fornire gli indirizzi di azione in relazione al tema della compatibilità.

Il documento introduce, quale innovazione, i Livelli di Valutazione della sicurezza sismica¹¹²: LV1, analisi qualitativa e valutazione con modelli meccanici semplificati; LV2: valutazione su singoli macroelementi (meccanismi locali di collasso); LV3: valutazione complessiva della risposta sismica del manufatto. Considerato l'elevato numero di manufatti, gli strumenti di valutazione LV1

¹¹¹ MINISTERO PER I BENI E LE ATTIVITÀ CULTURALI, *Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale allineate alle nuove Norme tecniche per le costruzioni (D.M. 14 gennaio 2008)*. 2 dicembre 2010.

¹¹² *Ibidem*, pp. 65-69.

devono essere rigorosi ma sufficientemente agili; basati su una raccolta di informazioni attraverso moduli schedografici, sull'accertamento del comportamento strutturale a seguito della conoscenza e sulla formulazione di preliminari giudizi qualitativi sul livello di rischio¹¹³. Pertanto, le Linee Guida del MiBACT sono di fondamentale importanza per la metodologia che si vuole proporre nella seguente tesi di dottorato.

Oltre ai metodi di analisi globale, infine, vi sono quelli che consentono l'analisi limite, basati su un approccio cinematico dei meccanismi locali¹¹⁴. Attraverso l'individuazione delle disconnessioni e delle carenze nei collegamenti, la valutazione finale conduce, quindi, alla definizione di un moltiplicatore di collasso che caratterizza le condizioni di equilibrio limite e ne contraddistingue l'attivazione: il cinematismo collegato al moltiplicatore più basso risulta essere il più probabile.

Tale approccio, utilizzato sugli edifici ecclesiastici consente di calcolare un l'indice di vulnerabilità (i_v)¹¹⁵, definito come segue:

$$i_v = \frac{1}{6} \frac{\sum_{k=1}^{28} \rho_k (v_{ki} - v_{kp})}{\sum_{k=1}^{28} \rho_k} + \frac{1}{2}$$

dove ρ_k è il peso assegnato a ciascun meccanismo possibile, v_{ki} il punteggio per gli indicatori di vulnerabilità e v_{kp} quello assegnato ai presidi antisismici.

¹¹³ *Ibidem*, pp. 66.

¹¹⁴ Quando l'edificio non manifesta un chiaro comportamento scatolare la verifica su un modello globale non presenta rispondenza alla realtà. In tali casi la verifica globale può essere effettuata attraverso un insieme esaustivo di verifiche locali.

Cfr. GIUFFRÈ A., *op. cit.*; CIFANI G., LEMME A., PODESTÀ S. (a cura di), *Beni monumentali e terremoto dall'emergenza alla ricostruzione*. D.E.I. Tipografia del Genio Civile, Roma, 2005; Circolare n° 617, paragrafo C8.7.1.1.

¹¹⁵ MINISTERO PER I BENI E LE ATTIVITÀ CULTURALI, *op. cit.*, allegato C, pp. 151-171.

MECCANISMO DI COLLASSO	Valore di ρ_k	Parte della Chiesa
1-ribaltamento della facciata	1	FACCIATA
2-meccanismi nella sommità della facciata	1	
3-meccanismi nel piano della facciata	1	
4-protiro-nartece	0.5÷1	
5-risposta trasversale dell'aula	1	AULA
6-meccanismi di taglio nelle pareti laterali (risposta longitudinale)	1	
7-risposta longitudinale del colonnato nelle chiese a più navate	1	
8-volte della navata centrale	1	
9-volte delle navate laterali	1	
10-ribaltamento delle pareti di estremità del transetto	0.5÷1	TRANSETTO
11-meccanismi di taglio nelle pareti del transetto	0.5÷1	
12-volte del transetto	0.5÷1	
13-archi trionfali	1	ARCO TRIONFALE
14-cupola-tamburo/tiburio	1	CUPOLA
15-lanterna	0.5	
16-ribaltamento dell'abside	1	ABSIDE
17-meccanismi di taglio nel presbiterio o nell'abside	1	
18-volte del presbiterio o dell'abside	0.5÷1	
19-meccanismi negli elementi di copertura-pareti laterali dell'aula	1	COPERTURA
20-meccanismi negli elementi di copertura - transetto	0.5÷1	
21-meccanismi negli elementi di copertura-abside e presbiterio	1	
22-ribaltamento delle cappelle	0.5÷1	CAPPELLA CORPI ANNESSI
23-meccanismi di taglio nelle pareti delle cappelle	0.5÷1	
24-volte delle cappelle	0.5÷1	
25-interazioni in prossimità di irregolarità plano-altimetriche	0.5÷1	
26-aggetti (vela, guglie, pinnacoli, statue)	0.8	
27-torre campanaria	1	AGGETTI CAMPANILE
28-cella campanaria	1	

I metodi finora analizzati fanno riferimento all'analisi di vulnerabilità di singoli edifici isolati o porzioni di essi.

Nei tessuti densi e compatti, tipici degli insediamenti storici, però prevalgono gli edifici contigui che spesso occupano un isolato¹¹⁶ racchiudendo in sé edifici dalle caratteristiche costruttive e evolutive anche molto differenti fra loro. Tali insiemi, gli aggregati edilizi, sono il risultato di una serie di trasformazioni e rifusioni che, per addizione e accostamento, hanno portato alla configurazione eterogenea e compatta dei centri storici; sono il risultato di una genesi articolata e non unitaria, dovuta a molteplici fattori (sequenza costruttiva, cambio di materiali, mutate esigenze, avvicinarsi dei proprietari, etc.)¹¹⁷.

La scala dell'aggregato, oltre alla difficoltà oggettiva di rilevare e modellare comparti edilizi piuttosto ampi, porta con sé una serie di problematiche sismiche la cui schematizzazione e interpretazione è tutt'altro che semplice. Gli edifici, quasi sempre strutturalmente interdipendenti, infatti, sono suscettibili di danni differenti rispetto alle strutture isolate riferibili, per lo più, a due aspetti: i giunti di separazione e la disomogeneità di rigidità. I fenomeni strutturali che possono ingenerarsi negli aggregati, inoltre, sono ancora più accentuati qualora siano avvenute demolizioni o ricostruzioni, soprattutto se con tipologia e materiali strutturali differenti.

Per tal motivo, il tema degli aggregati edilizi ha assunto, negli ultimi anni (a partire dal lavoro di Giuffrè), sempre maggiore interesse.

Dal punto di vista normativo, il concetto di aggregato edilizio viene introdotto per la prima volta, a livello nazionale,

¹¹⁶ Mentre il termine "isolato", inteso come insieme di unità edilizie delimitate da strade e spazi pubblici, ha una connotazione più urbanistica che costruttivo-strutturale, il termine "aggregato" rimanda proprio alla logica aggregativa e, dunque, alla processualità tipologica-evolutiva.

¹¹⁷ ORDINANZA DEL PRESIDENTE DEL CONSIGLIO DEI MINISTRI n. 3431 del 3/5/05, *Ulteriori modifiche ed integrazioni all'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n.3274 del 20 marzo 2003 recante "Primi elementi in materia di criteri per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica"*, cap. 11.5.4.3.2.

nell'Ordinanza del Presidente del 2005 in cui si specifica¹¹⁸ «...la necessità di comprendere il comportamento del singolo edificio murario in relazione al sistema complesso di cui esso fa parte, valutando le possibili interazioni derivanti dalla contiguità strutturale con gli edifici adiacenti, connessi o in aderenza a esso». Tali concetti sono stati recepiti nella NTC 2008 in cui si ribadisce di considerare le interazioni con le costruzioni limitrofe, siano esse sfavorevoli (edificio di testa o d'angolo) oppure favorevoli (edificio intercluso). Per fare ciò, viene introdotto, inoltre, il concetto di Unità Strutturale (US), intesa come la componente strutturale del singolo edificio in esame, su cui evidenziare le azioni derivanti dalle unità strutturali contigue¹¹⁹.

Il metodo meccanico descritto in precedenza per la valutazione della vulnerabilità sismica del costruito storico, quindi, non varia per gli aggregati se non per una maggiore difficoltà operativa nella fase di definizione del modello e in quella di conoscenza. Questa deve riferirsi ai processi di aggregazione dei tessuti e all'evoluzione morfologica del sistema viario; agli aspetti tipologici; all'allineamento di pareti in pianta e nei prospetti; ai disassamenti e rastremazione delle pareti in alzato, nonché ai muri in falso.

Oltre al panorama normativo, lo stato dell'arte relativo la vulnerabilità sismica strutturale è stato condotto facendo riferimento, anche, ai **progetti e protocolli applicati**.

L'importanza che ha assunto il tema della salvaguardia dei centri

¹¹⁸ *Ibidem*, Allegato 2.

¹¹⁹ La presenza di edifici in adiacenza può, infatti, generare interazioni sia di tipo statico, dovute ai carichi dei solai limitrofi o alle spinte di archi, volte, archi di contrasto o catene, sia di tipo dinamico, relative alle masse. Per tal motivo la relazione può essere simulata, all'interno del modello di calcolo, tramite l'inserimento di forze aggiuntive, eventualmente trasmesse, oppure tramite l'inserimento di vincoli orizzontali di opportuna rigidità al fine di simulare il contrasto derivante dalle strutture confinanti.

storici nel panorama culturale, ha comportato un fervore interdisciplinare e la costituzione di differenti **gruppi scientifici**.

Fra questi, il Gruppo Nazionale di Difesa dai Terremoti (GNDT)¹²⁰ che, dagli anni '80, sviluppa progetti per la creazione di *database* circa la vulnerabilità di edifici pubblici e privati e di infrastrutture¹²¹. Fra gli altri importanti risultati scientifici raggiunti dal GNDT, vi sono il progetto MAppe di Rischio Sismico (MARS) che ha condotto alla redazione di mappe di rischio per gli edifici residenziali e per gli edifici pubblici, sull'intero territorio nazionale e il progetto Strumenti Aggiornati per la Vulnerabilità sismica del patrimonio Edilizio e dei sistemi urbani (SAVE)¹²² che ha avuto come tema lo studio della mitigazione del rischio nell'edilizia civile per le regioni a maggiore rischio sismico (Abruzzo, Basilicata, Calabria, Campania, Molise, Sicilia Orientale) nonché di un Inventario degli edifici pubblici e strategici dell'Italia centro-meridionale.

Oltre al GNDT, altro gruppo di ricerca sul tema della vulnerabilità sismica è la Rete dei Laboratori Universitari di Ingegneria Sismica (ReLUIS)¹²³ che, attraverso la Task 1, affronta la valutazione della vulnerabilità di edifici in muratura, centri storici e beni culturali.

¹²⁰ Istituito dal Ministero del Lavoro e del Dipartimento della Protezione Civile.

¹²¹ Tali database, le cui elaborazioni sono state solo parziali e non diffusamente sviluppate sul territorio, pongono le basi per ulteriori e importanti indagini. Cfr. CHERUBINI A., CORAZZA L., DI PASQUALE G., DOLCE M., MARTINELLI A., PETRINI V., *Censimento di vulnerabilità degli edifici pubblici, strategici e speciali nelle regioni Abruzzo, Basilicata, Calabria, Campania, Molise, Puglia e Sicilia*. Dipartimento della Protezione Civile, Roma, 1999; DI PASQUALE G., DOLCE M., MARTINELLI A., *Censimento di vulnerabilità a campione dell'edilizia corrente dei Centri abitati nelle regioni Abruzzo, Basilicata, Calabria, Campania, Molise, Puglia e Sicilia*. Dipartimento della Protezione Civile, Roma, 2000; CHERUBINI A., DI PASQUALE G., DOLCE M., MARTINELLI A., *Censimento relativo alle emergenze a carattere monumentale e ambientale nei Comuni ricadenti all'interno di Parchi naturali nazionali e regionali*. Dipartimento della Protezione Civile, Roma, 2001.

¹²² Per ulteriori informazioni si veda:

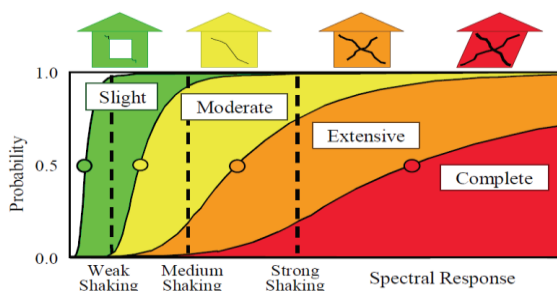
ftp://ftp.ingv.it/pro/gndt/SAVE/progetto_save.htm.

¹²³ Creata nel 2003, ha lo scopo di coordinare l'attività dei Laboratori Universitari di Ingegneria Sismica, fornendo supporti scientifici, organizzativi e tecnici nel campo dell'Ingegneria Sismica.

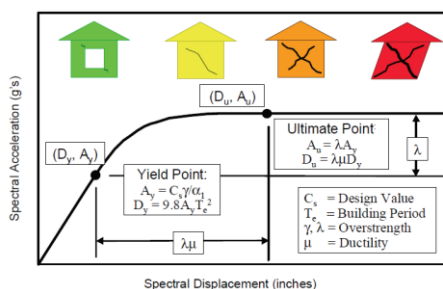
Simile al precedente è l'European Centre for Training and Research in Earthquake Engineering (EUCENTRE) che, dal 2003, promuove e sviluppa la ricerca e la formazione tese a definire specifiche linee di azione pubblica, linee guida nonché documenti normativi, sul tema della vulnerabilità sismica.

Nell'ambito dei gruppi di lavoro sono stati elaborati, poi, **modelli e metodologie per la stima speditiva della vulnerabilità**.

Fra quelli a carattere internazionale, si ricorda il software Hazus¹²⁴ utilizzato negli Stati Uniti per la valutazione delle potenziali perdite provocate da terremoto, inondazioni e uragani. Tramite il Software Geografico d'Informazione (GIS), infatti, vengono visualizzati i dati di rischio e le potenziali perdite economiche derivanti da danni a costruzioni e a infrastrutture. Nella valutazione probabilistica dei diversi livelli di danno che si possono verificare (lieve, moderato, esteso e totale), si tiene conto della variabilità tanto dell'*input* sismico, quanto delle curve di capacità delle diverse classi di edifici¹²⁵; il software restituisce una serie di risultati tra cui ipotesi di danneggiamento, perdite economiche e impatto sociale.



Curve di fragilità nel metodo Hazus.



Curve di capacità nel metodo Hazus.

¹²⁴ Sviluppato dalla Federal Emergency Management Agency (FEMA) nel 1999.

¹²⁵ Le classi di edifici sono individuate in base a alcuni parametri distintivi: la categoria strutturale (sono distinte 36 categorie, dalle villette unifamiliari in legno, ai telai in acciaio, alle costruzioni in c.a. agli edifici in muratura armata etc.), il numero di piani (sono assegnati tre intervalli di numero di piani significativi di edifici bassi, medi ed alti per ogni categoria strutturale) e l'epoca di costruzione, parametro quest'ultimo fondamentale per attribuire alle costruzioni la relativa classe normativa.

Nel panorama europeo, invece, attraverso il progetto Risk-Ue¹²⁶, è stata proposta una metodologia, applicata in sette città¹²⁷, che prevede due livelli di analisi per la valutazione della vulnerabilità sismica. Il primo è di tipo macrosismico, mentre il secondo livello è di maggiore dettaglio e prevede la definizione della geometria, dei parametri dinamici e strutturali dell'edificio. Per entrambi gli approcci, è stata determinata una matrice *Building Typology Matrix* (BTM) che descrive il costruito in 23 classi e, definita la classe di appartenenza dell'edificio, fornisce l'indice di vulnerabilità finale.

numero	Simbologia	Descrizione del tipo di costruzione	descrizione altezza		
			n. di piani	Range altezza h,(m)	Rischio
	M	Edifici in muratura			
	<i>M1</i>	muratura portante fatta di:			
1	M1.1L	pietrame	1-2	h≤6	basso
2	M1.1M		3-5	6<h≤15	medio
3	M1.2L	pietra semplice	1-2	h≤6	basso
4	M1.2M		3-5	6<h≤15	medio
5	M1.2H		+6	h>15	alto
6	M1.3L	pietra massiccia	1-2	h≤6	basso
7	M1.3M		3-5	6<h≤15	medio
8	M1.3H		+6	h>15	alto
9	<i>M2L</i>	laterizi	1-2		basso

Parte di BTM per la muratura¹²⁸.

Anche nel panorama italiano, recentemente, si sono sviluppati modelli di valutazione speditiva della vulnerabilità sismica.

Fra queste vi è VULNUS¹²⁹ che, oltre a valutare la vulnerabilità delle strutture esistenti, consente la valutazione dei miglioramenti

¹²⁶ Denominato *An advanced approach to earthquake risk scenarios with applications to different European towns*.

¹²⁷ Barcellona (Spagna), Bitola (Macedonia), Bucarest (Romania), Catania (Italia), Nizza (Francia), Sofia (Bulgaria) e Tessalonica (Grecia)

¹²⁸ Immagine da: D'AMBROSIO S., *La valutazione della vulnerabilità sismica degli edifici in c.a. attraverso modelli teorici e sperimentazione al vero*. Tesi di Laurea, Università degli Studi di Napoli Federico II, Facoltà di Ingegneria, Relatore: Prof. F. M. MAZZOLANI, 2005.

¹²⁹ Sviluppato dal 1986, presso l'Università degli Studi di Padova, Dipartimento di Costruzioni e Trasporti sotto la guida scientifica di Bernardini A., Gori R., Modena C. con contributi di Valluzzi M. R., Benincà G., Barbetta E., Munari M.

apportati da procedure di consolidamento. All'interno del modello vengono definiti tre differenti indici (I1 che è il rapporto fra la resistenza media a taglio delle pareti nella direzione maggiormente sollecitata e il peso totale dell'edificio; I2, ovvero il rapporto adimensionale fra l'accelerazione media di attivazione di meccanismi fuori dal piano e l'accelerazione di gravità; I3 cioè la somma pesata e normalizzata dei punteggi dei fattori parziali considerati nella scheda GNDT di II livello) la cui combinazione permette la definizione di una vulnerabilità complessiva.

Altra metodologia speditiva, promossa dal MiBACT, è il Sistema per la VALutazione del Rischio Sismico (SIVARS)¹³⁰, che consente di ottenere, attraverso una procedura guidata, la valutazione LV1 della sicurezza sismica dei beni vincolati, sia del singolo bene che di tutto l'aggregato, attraverso la fase di rilievo e "modellazione" delle piante all'interno del programma.

Sul tema, inoltre, si ricorda la proposta di un protocollo metodologico per la certificazione/qualificazione sismica degli edifici sotto la guida scientifica del Professore Borri con l'intento di fornire un vero e proprio attestato di vulnerabilità del costruito storico¹³¹. Tale procedura, attraverso analisi dei principali elementi di vulnerabilità e verifiche numeriche semplificate, appare particolarmente adatta alla stima della vulnerabilità degli interi insediamenti storici, tema della presente tesi di dottorato.

Nell'ottica di incentivare il recupero dei centri storici, è stato

¹³⁰ MINISTERO PER I BENI E LE ATTIVITÀ CULTURALI, *op. cit.*, pp. 345-359.

Si veda anche la pagina dedicata:

http://www.benitutelati.it/sismico_guida.asp?id=2.

¹³¹ La procedura attribuisce una classe di prestazione dell'edificio nei confronti delle azioni sismiche con un lessico simile a quello adottato per la certificazione energetica (dalla classe A+ fino alla E, la peggiore). BORRI A., DE MARIA A., *Un protocollo metodologico per la certificazione sismica degli edifici e le sue possibili applicazioni per la stima della vulnerabilità urbana*. INGENIO Sistema integrato di Informazione Tecnica, 11, aprile 2013.

recentemente emanato il Decreto Ministeriale sismabonus¹³² che definisce otto Classi di Rischio (da A+ a G) e due metodi di analisi: uno convenzionale e uno semplificato basati sulla Perdita Annuale Media attesa (PAM), che può «essere assimilata al costo di riparazione (CR) dei danni prodotti dagli eventi sismici espresso come percentuale del costo di ricostruzione»¹³³.

All'interno del D.M., il metodo convenzionale è utilizzabile per qualsiasi tipologia di costruzione alla quale viene assegnata una Classe di Rischio in funzione del parametro economico PAM e dell'indice di sicurezza della struttura IS-V¹³⁴. Alternativamente, e limitatamente alle tipologie costruttive in muratura, l'attribuzione della Classe di Rischio può essere condotta facendo riferimento al metodo semplificato basato sulla classificazione EMS98.

Infine, il metodo proposto da Mochi e Predari¹³⁵ si basa sull'analisi dei comparti storici attraverso la processualità delle trasformazioni. L'indice globale di vulnerabilità sismica per ogni aggregato viene calcolato quale sommatoria degli indici relativi ai meccanismi di danno¹³⁶, dell'indice relativo alle disconnessioni in pianta, di quello per le trasformazioni in pianta e per quelle in alzato, ciascuno ponderato attraverso pesi differenti. L'indice così ottenuto, poi, è regolato attraverso un coefficiente correttivo relativo la qualità muraria. La valutazione complessiva dà, quindi, l'idea del livello di vulnerabilità consentendo operazioni di confronto fra comparti.

¹³² MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI, *Decreto Sismabonus*, D.M. 58 del 28 febbraio 2017.

¹³³ *Ibidem*, Allegato A, p. 2.

¹³⁴ È necessario calcolare le accelerazioni di picco al suolo per le quali si raggiungono i quattro stati limite (SLO, SLD, SLV, SLC) e i corrispondenti Periodi di ritorno, utilizzando le verifiche previste dalle NTC 2008.

¹³⁵ MOCHI G., PREDARI G., *La Vulnerabilità sismica degli aggregati edilizi. Una proposta per il costruito storico*. EdicomEdizioni, Monfalcone, 2016.

¹³⁶ Si considerano il ribaltamento delle facciate, il ribaltamento del timpano, il ribaltamento da falsi puntoni, il danneggiamento a taglio, il danneggiamento per martellamento.

1.3. Approcci e esperienze per la valutazione della vulnerabilità urbana

Quanto finora analizzato ha delineato lo stato dell'arte relativamente alla vulnerabilità sismica del patrimonio costruito con un'accezione, però, esclusivamente strutturale. Se ampio e esaustivo appare il campo normativo e scientifico relativo a tale aspetto (così come visto nel capitolo precedente), altrettanto non può dirsi per la componente "urbana" della vulnerabilità, rispetto alla quale i quadri normativi sono esigui e di recentissima stesura. Inoltre, ad oggi, non è presente una vera e propria definizione di vulnerabilità urbana ma sono in corso studi in tal senso¹³⁷.

Per tal motivo, il contributo proposto dalla presente tesi di dottorato vuole essere di nuovo respiro con la formulazione di approcci e apporti innovativi.

Il concetto di "urbano", nel senso di interrelazione fra il tessuto costruito e quello dei vuoti, viene introdotto, a livello normativo, a seguito del terremoto dell'Aquila e sviluppato dal Gruppo di Lavoro istituito dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici¹³⁸.

La principale questione affrontata da tale studio riguarda il delicato passaggio dalla lettura dei tessuti edilizi per singole unità

¹³⁷ Sono da menzionare, in tal senso, i lavori recentemente condotti dal Prof. R. Castelluccio *et al.* (Università Federico II Napoli) e del Prof. E. Currà *et al.* (Università di Roma La Sapienza). Si vedano, a tal proposito, CASTELLUCCIO R. (a cura di), *Studio degli scenari di rischio a supporto del Piano di Protezione Civile del Comune di Pozzuoli*. DoppiaVoce, Napoli, 2017; CASTELLUCCIO R., *Il costruito come fattore di rischio urbano*, in *Techne*, Firenze University Press, Firenze, 2018, n°15, pp. 219-227; CASTELLUCCIO R., PASCALE F., FUMO M., POLVERINO F., *Innovative methods on territorial vulnerability study for the preparation of emergency plans*, in *TEMA*, ArTec Editor, Ancona, 2016, Vol. 2, n° 2, pp. 62-71; D'AMICO A., CURRÀ E., *Resilienza urbana dei centri storici italiani. Strategie di pianificazione preventiva*, in *Techne*, Firenze University Press, Firenze, 2018, n°15, pp. 257-268.

¹³⁸ GRUPPO DI LAVORO ISTITUITO CON NOTA DEL PRESIDENTE DEL CONSIGLIO SUPERIORE DEI LAVORI PUBBLICI n. 7547 del 6.9.2010, *Studio propedeutico all'elaborazione di strumenti d'indirizzo per l'applicazione della normativa sismica agli insediamenti storici*. 20.04.2012.

e aggregati strutturali, alla lettura in chiave urbanistica dell'Insediamiento Storico¹³⁹. A tal fine il documento delinea lo studio del "sistema urbano" come "sistema funzionale", cioè come organismo in grado di fornire tutte le funzioni che consentono la vita della comunità, distinguendo, principalmente, due sistemi: S.1 "sistemi costituiti da singoli componenti edilizi" e S.2 "sistemi costituiti da reti e nodi". Proprio l'interazione fra i due sistemi definisce la vulnerabilità acquisita quale base di partenza per il presente lavoro. Al fine di analizzare il comportamento del sistema urbano sotto sisma è necessario, innanzi tutto, stimare la vulnerabilità diretta degli elementi che lo compongono e, poi, valutare come l'organizzazione dei sistemi determini variazioni nell'esposizione delle persone. In tal modo si possono stimare i livelli di attitudine al danno dei vari sistemi funzionali e definire il livello complessivo della vulnerabilità urbana¹⁴⁰.

Per tal motivo, tale documento è assunto quale punto iniziale da cui partire per la presente ricerca.

Lo studio, inoltre, mutua dalle NTC 2008 i concetti di Stato Limite e di Livello di Conoscenza, estendendoli al contesto storico.

Rispetto al primo punto, si parte dall'assunto che, data la necessità di conservare le caratteristiche degli insediamenti storici, è sconsigliabile e antieconomico un'applicazione di livelli di sicurezza massimi che richiederebbero interventi di consolidamento tali da alterare i caratteri architettonici, tipologici, costruttivi e materici del patrimonio storico nonché i tessuti urbani storici. Pertanto, lo "Stato Limite di Danno per l'insediamento Storico (SLD_{IS})" si ha quando: «A seguito del sisma frequente,

¹³⁹ Di cui si è già detto alla parte I.

¹⁴⁰ Oltre a proporre la definizione di vulnerabilità urbana, le altre tematiche affrontate dal Gruppo di Lavoro, riguardano: l'estensione del campo di indagine da categorie applicabili all'edilizia a quelle proprie dell'urbanistica; la costruzione di uno schema logico-funzionale per l'applicabilità dei principi; la selezione di metodi di lettura e valutazione a scala urbana.

l'insediamento storico nel suo complesso subisce danni fisici e funzionali a edifici, manufatti e reti tali da non mettere a rischio gli utenti, da consentire la recuperabilità degli aspetti morfologici, costruttivi e della sostanza materica dei manufatti storici e, inoltre, tali da non compromettere l'uso delle funzioni urbane»¹⁴¹.

Analogamente, si definisce lo “Stato Limite di salvaguardia della Vita per l'insediamento Storico” (SLV_{IS}) per terremoti rari e forti per i quali il centro storico deve garantire le funzioni strategiche, l'accessibilità nonché gli approvvigionamenti energetici e idrici¹⁴². Oltre alla definizione degli Stati Limite estesi al contesto urbano, il documento, poi, si pone quale avvio di uno studio che porta alla definizione dei Livelli di Conoscenza (LC) per l'intero nucleo¹⁴³. Nonostante ciò, però, appare ancora *in itinere*, in quanto non definisce puntualmente i parametri e le loro modalità di applicazione né, tantomeno, la metodologia valutativa. Proprio in tale direzione si muove il presente lavoro che vuole definire pedissequamente gli elementi da analizzare, li vuole indicizzare secondo scale di gravità e, infine, estrapolare un indice di vulnerabilità complessivo strutturale e urbano.

Ai tre livelli conoscitivi, il documento fa corrispondere una tipologia di valutazione della vulnerabilità. Al primo livello si possono far corrispondere valutazioni qualitative, al secondo valutazioni semi-quantitative, al terzo, infine, valutazioni di tipo meccaniche, più puntuali e precise ma, anche, onerose.

Il documento, quindi, appare indispensabile al fine della presente

¹⁴¹ *Ibidem*.

¹⁴² *Ibidem*.

¹⁴³ I tre livelli di approfondimento sono: LC1: ricognizione e selezione di dati riferibili al quadro conoscitivo indispensabili alla valutazione della vulnerabilità dell'IS; LC2: sviluppo di indagini *ad hoc* per acquisire dati quali-quantitativi sistematicamente estesi all'IS finalizzati alla valutazione delle caratteristiche di esposizione e vulnerabilità; LC3: acquisizione di conoscenze complesse sulla vulnerabilità di singoli componenti dei sistemi funzionali o di singoli sottosistemi.

tesi di dottorato in quanto identifica, per i due sistemi funzionali (§.1 e §.2) e per le loro componenti, le informazioni e il grado di approfondimento relative a sei macro-aree: localizzazione, caratterizzazione funzionale, esposizione, contesto, pericolosità del sito, caratteristiche strutturali dei manufatti, come si può vedere di seguito.

TABELLA 1- QUADRO CONOSCITIVO								
		CONOSCENZE NECESSARIE PER POTER VALUTARE L'ATTITUDINE AL DANNO SISMICO DELL'INSEDIAMENTO STORICO						
Sistemi e insiemi di manufatti che costituiscono l'insediamento storico (suddivisi in base agli obiettivi di prestazioni sistemiche indicati al par. 2.1)		Livelli di approfondimento delle conoscenze		Caratterizzazione funzionale		Livelli di approfondimento delle conoscenze		
5.1 SISTEMI FUNZIONALI ESSENZIALI PER LA QUALITÀ URBANA	I Livello	Localizzazione	Caratterizzazione funzionale	Caratterizzazione dell'esposizione	Caratterizzazione del contesto	Caratterizzazione della pericolosità di sito	Caratteristiche strutturali manufatti	Tipi di valutazione di vulnerabilità urbana (combinazioni dei sei tipi di conoscenze) possibili per ogni livello di approfondimento delle conoscenze e relativo indice attendibilità delle scelte di prevenzione (Ias)
	II Livello	Individuazione dei sistemi funzionali (formati da edifici e delle loro organizzazione spaziale (controspazio))	Misure degli standard funzionali	Quantificazione dei componenti ciascun sistema	Descrizione della morfologia urbana (forma, viabilità e spazi, aggregazione, ecc.)	Intenzione dei vari sistemi con microzone qualitativamente omogenee per effetti sul moto sismico (M&L1) e con zone di pericolosità idrogeologica e irregula	Descrizione dei tipi strutturali e morfologie dominanti tra i manufatti che compongono i vari sistemi, epoche costruttive, ecc.	Valutazioni di tipo qualitativo della vulnerabilità dei sistemi funzionali urbani (con indice di attendibilità delle scelte di prevenzione - las dipendenti da quanti dei sei tipi di conoscenze sono disponibili)
	III Livello	Relazioni di causalità tra i sistemi (relazione sub-orbitale dell'is, inerienze tra sistemi, componenti)	Analisi funzionale dei sistemi: ruolo gerarchico dei componenti, ruolo nel territorio, con riferimento allo stato urbano, ridondanza e ombra	Quantificazione dei livelli di esposizione di ciascun sistema (es. presenza, intensità di uso edifici, ecc.)	Gerarchie di aggregati che interessano ciascun sistema in base a stime spettrali del livello di potenziali interazioni strutturali tra US	Quantificazione degli effetti di sito (M&L2) Stimati % di ciascun sistema sottoposto a dati FA	Valutazione speditiva del livello di vulnerabilità degli edifici, per ciascun sistema funzionale (anche con metodi comparativi)	Valutazioni di tipo semi-quantitativo della vulnerabilità dei sistemi funzionali urbani (con las dipendente dai livelli di approfondimento dei sei tipi di conoscenze si)
5.2 SISTEMI INFRASTRUTTURALI PRINCIPALI	I Livello	Individuazione dei sistemi o rete e relativo di distribuzione spaziale (controspazio)	Analisi funzionale dei sistemi a rete (es. schemi e flussi, ecc.)	lunghezza dei tratti di rete di ciascun sistema e individuazione dei nodi	Intenzione rel./idrografia, omografia qualitativamente omogenee per effetti sul moto sismico (M&L1)	Individuazione speditiva di caratteristiche tipologiche e di età dei manufatti di ciascun sistema	Valutazioni di tipo qualitativo della vulnerabilità dei sistemi a rete (con las dipendente da quanti dei sei tipi di conoscenze sono disponibili)	
	II Livello	Relazioni di coesistenza di più sistemi, Inerienze tra sistemi, componenti	Valutazione degli standard di prestazione sistemi, Inerienze quantitative (literni, servizi, gerarchie di reti e nodi, individuazione di alternative/ridondanze reali (per quantità, qualità, ubicazione))	Quantificazioni di tratti di reti di ciascun sistema in rapporto alle gerarchie di importanza dei tratti e dei nodi	Intervento rel./situazioni di contesto (es. reti elettriche-edifici, reti gas, ecc.)	Quantificazione degli effetti di sito (M&L2) Stimati dello % di ogni sistema a rete	Valutazione qualitativa del livello di vulnerabilità di reti e nodi di ogni sistema (anche con giudizi esperti).	Valutazioni di tipo semi-quantitativo della vulnerabilità dei sistemi a rete (con las dipendente dai livelli di approfondimento dei sei tipi di conoscenze)
III Livello				Eventuali approfondimenti di indagine per le situazioni di interazione più critiche	Eventuali approfondimenti di indagine per le situazioni di interazione più critiche	Eventuali verifiche qualitative di alcune reti e/o nodi (per specifiche esigenze)	Eventuali approfondimenti qualitativi o quantitativi delle vulnerabilità (limitati a parti di sistemi o ad ambiti territoriali)	

Conoscenze necessarie per valutare l'attitudine al danno sismico dell'insediamento storico.

Il concetto di vulnerabilità urbana, per come inteso nell'approccio proposto da chi scrive, inoltre, è sviluppato nella metodologia in uso nella Regione Emilia Romagna¹⁴⁴. Questa, che si configura come una valutazione semi-quantitativa della vulnerabilità sismica dei sistemi urbani, è applicata sin dagli anni 1990 e ha visto la realizzazione di una versione informatizzata del 2004¹⁴⁵.

Nell'analisi di vulnerabilità proposta dall'Emilia Romagna, "l'effetto urbano" è determinato da undici "sottosistemi urbani" (detti anche "funzioni")¹⁴⁶ identificati di seguito:

- | | |
|---|----------------------|
| 1. presenze (valutate tenendo conto dell'intensità d'uso degli edifici in rapporto alla funzione ¹⁴⁷) | |
| 2. abitativo | |
| 4. turistico | |
| 4. manifatturiero | (sistema produttivo) |
| 5. terziario | |
| 6. degli edifici di rilevante interesse (strategici per la protezione civile, critici per l'affollamento, servizi pubblici) | |
| 7. beni culturali | |
| 8. dell'accessibilità dell'esterno | |
| 9. delle reti attraversanti (strade, elettrodotti, acquedotti, metanodotti, ecc.) | |
| 10. delle vie di fuga/soccorso in terve | |
| 11. dell'accessibilità agli edifici di rilevante interesse all'interno dell'unità censita | |

Ciascun sistema è caratterizzato da consistenza e configurazione

¹⁴⁴ REGIONE EMILIA-ROMAGNA-DIREZIONE GENERALE PROGRAMMAZIONE TERRITORIALE E SISTEMI DI MOBILITÀ-SERVIZIO RIQUALIFICAZIONE URBANA, *Analisi, valutazione e riduzione dell'esposizione e della vulnerabilità sismica dei sistemi urbani nei piani urbanistici attuativi*. Bologna, 2004.

¹⁴⁵ La versione informatizzata consta di un foglio Excel preimpostato che consente il calcolo automatico degli indici. Si veda: <http://territorio.regione.emilia-romagna.it/urbanistica-ed-edilizia/temi/vulnerabilita-urbana>.

¹⁴⁶ Tale impostazione di analisi è stata, evidentemente, poi ripresa nel Gruppo di Lavoro dei LL. PP. nello Studio Propedeutico.

¹⁴⁷ Si fa uso del concetto di "presenze equivalenti" calcolate moltiplicando le presenze massime prevedibili per l'indice d'uso degli immobili, ovvero il rapporto fra le ore annue di effettivo utilizzo dell'immobile e le ore annue totali.

spaziale, organizzazione e relazioni interne e, inoltre, si lega al territorio circostante, utilizza supporti fisici che possono essere puntuali, reticolari o areali (edifici, reti infrastrutturali, aree), garantisce un certo livello di prestazione per la funzionalità urbana ma, soprattutto, si trasforma continuamente nelle dimensioni, nel modello spaziale o organizzativo e nelle prestazioni. In tale logica, la vulnerabilità sismica urbana viene letta quale «attitudine al danneggiamento fisico e funzionale di un insediamento che non dipende solo dal grado di vulnerabilità dei singoli manufatti (connesso alle loro caratteristiche morfologiche e costruttive), ma anche dall'organizzazione funzionale dei sistemi che assicurano l'effetto urbano (*standard* di funzionamento e ruolo dei singoli elementi fisici del sistema) e dalla loro organizzazione spaziale¹⁴⁸».

Per ciascun sistema, perciò, vengono analizzati i fattori di rischio:

- *esposizione fisica (E)*: dovuta alla distribuzione disuniforme dei manufatti e delle persone all'interno dell'insediamento urbano;
- *esposizione funzionale di sistema (Ef)*: relativa all'organizzazione di ciascun sottosistema e alla concentrazione nel territorio degli elementi gerarchicamente importanti;
- *standard funzionali di sistema (S)*: i vari elementi possono essere sottodimensionati oppure offrire prestazioni inadeguate e, quindi, raggiungere il collasso con modesti danni;
- *vulnerabilità diretta degli elementi componenti il sistema (V)*: definita come l'attitudine del singolo elemento fisico al danno;
- *vulnerabilità indotta da aggregazione edilizia (Vi)*: dipendente dal tipo di tessuto edilizio, dalla densità, dalla distanza tra edifici, dalla relazione tra costruito e viabilità o spazi scoperti;
- *vulnerabilità indotta da manufatti critici (Vc)*: fra questi campanili, torri, ciminiere serbatoio, ovvero quel danno

¹⁴⁸ CREMONINI I., *La vulnerabilità dei sistemi urbani. Conoscere e valutare per poter ridurre*. INGENIO Sistema integrato di Informazione Tecnica, 2015.

aggiuntivo che da un elemento si propaga a altri;

- *pericolosità sismica locale (PI)* dettata da situazioni geologiche e geomorfologiche capaci di amplificare gli effetti sismici o provocare cedimenti nel terreno.

Tali analisi, speditive e semi-quantitative, si applicano a Unità Territoriali (UT) omogenee sotto il profilo della morfologia urbana ovvero considerando i percorsi matrice, il rapporto del tessuto edilizio con essi, le dimensioni del lotto sui fronti, la relazione tra edifici e spazi scoperti nonché la relazione tra edifici.

Il metodo, perciò, consta di fasi successive tra le quali le operazioni preliminari (il reperimento delle cartografie di base, delle carte geologiche, di studi geologici, di dati ISTAT, ecc.), la delimitazione delle UT, le operazioni di rilievo, nonché la rappresentazione grafica dei differenti sistemi; tutte operazioni di anamnesi volte a raccogliere dati utili per il calcolo dell'indice.



Diagramma di flusso del processo metodologico di valutazione della vulnerabilità dei sistemi urbani.



Rappresentazione cartografica di elementi di vulnerabilità urbana (figura da: CREMONINI I.,147).

L'utilizzo, a seguito delle fasi di conoscenza, del supporto informatico proposto dall'ufficio di prevenzione sismica regionale, poi, permette di attribuire punteggi a ciascun fattore di rischio analizzato per gli 11 sistemi urbani e, quindi, di calcolare un indice di vulnerabilità totale per l'UT. Il programma, infatti, è progettato come una scheda di catalogazione in cui collezionare i dati dell'unità analizzata e inserire giudizi espressi tramite punteggi.

L'applicazione della metodologia consente, principalmente, di confrontare gli indici dei sottosistemi urbani, di formare graduatorie di vulnerabilità, di evidenziare il contributo di ciascun sistema all'interno del nucleo consolidato, di individuare, per ogni UT, i fattori più significativi per la vulnerabilità complessiva e, quindi, di avviare opportune azioni per la mitigazione degli effetti e la progettazione architettonica-urbanistica degli ambiti storici.

Oltre all'esiguo quadro normativo e scientifico appena delineato, si può, poi, far riferimento ad alcuni **progetti e protocolli** sviluppati negli ultimi anni.

Una delle principali esperienze che ha visto l'applicazione delle metodologie di valutazione della vulnerabilità sismica urbana, è lo studio sui Programmi di Recupero post-sisma del 1997, promosso dalla Regione Marche¹⁴⁹. Tramite la formazione di due unità di ricerca, una per la scala urbana e l'altra per quella edilizia, si è effettuata una disamina critica degli interventi post-sismici al fine di valutarne l'efficacia e l'effettiva capacità di ridurre la vulnerabilità sismica. A partire dai dati raccolti dai Programmi di Recupero redatti per 95 Comuni, lo studio ha valutato il livello di alcuni fattori di esposizione e vulnerabilità dei sistemi urbani sia nella situazione precedente al sisma che dopo gli interventi. Sono stati, così, ricavati alcuni dati utili alla costituzione di indicatori di esposizione e di vulnerabilità per i tre sistemi urbani principali: abitativo, produttivo e dei beni culturali.

Per quanto concerne i fattori di esposizione si sono considerati:

- l'esposizione fisica, rappresentata dal numero di residenti relazionato al numero di edifici;
- l'esposizione funzionale dei sistemi produttivi e dei servizi, ovvero il numero di edifici non residenziali danneggiati rispetto al numero totale di edifici;
- il fattore di esposizione del sistema dei beni culturali, espresso quale rapporto tra il numero di beni danneggiati e quello totale di edifici;

¹⁴⁹ Cfr. CAROCCI C., CERADINI V., PANZETTA M., CREMONINI I., MAZZOTTI P., SMARGIASSO M., *Recupero e riduzione della vulnerabilità dei centri storici danneggiati dal sisma del 1997: rassegna ragionata dei programmi di recupero post sisma: attività di ricerca promossa dal Comitato tecnico scientifico per la ricostruzione post sisma nelle Marche*. Regione Marche, Ancona, 2004; MARINO F., MORETTI A., *La conservazione del patrimonio architettonico: buone pratiche per l'analisi di vulnerabilità sismica e del debito manutentivo: definizione di metodi operativi per il rilevamento e il controllo della vulnerabilità sismica e delle condizioni manutentive del patrimonio architettonico: attività di ricerca promosso dal Comitato Tecnico Scientifico per la ricostruzione post sisma nelle Marche*. Regione Marche, Ancona, 2007.

- il fattore di standard funzionale (importanza) del sistema dei beni culturali, ricavato valutando il numero di edifici soggetti a vincolo monumentale.

Quali fattori di vulnerabilità, invece, si sono considerati: quello relativo all'edilizia residenziale, espresso come rapporto tra la volumetria residenziale e il numero di residenti individuati nella stessa perimetrazione; la vulnerabilità aggiuntiva indotta dalla contiguità e dovuta alla vicinanza tra edifici e al rapporto con le strade strette; il fattore di amplificazione della vulnerabilità sismica, composto da tutti quegli indicatori di pericolosità locale quali, ad esempio, il dissesto idrogeologico.

Il protocollo in analisi, applicato dalla Regione Marche, ha quindi individuato alcuni degli indicatori utili per lo studio di una vulnerabilità urbana e rappresentativi di quelle criticità, più volte menzionate, alla base della metodologia proposta dalla scrivente. Tali fattori rappresentano gli elementi essenziali per la definizione di una vulnerabilità urbana, per come intesa dalla presente tesi di dottorato, pur non essendo, però, gli unici elementi valutati.

Nell'applicazione della Regione Marche, poi, vengono individuate sei classi di vulnerabilità crescenti, che permettono di esprimere il grado di propensione al danneggiamento, fisico e funzionale, di ciascun sistema e di effettuare un confronto fra gli indici di vulnerabilità¹⁵⁰ ottenuti per gli tutti i centri analizzati.

La ricerca, poi, individua i fattori di vulnerabilità relativi al rapporto fra l'insediamento e la morfologia del sito, attraverso l'individuazione del "tipo morfologico urbano". Tale analisi, fondata sulle classificazioni degli insediamenti effettuate da Muratori e Caniggia, è stata condotta suddividendo i centri abitati secondo precise tipologie morfologiche e elaborando i dati

¹⁵⁰ Il valore degli indici di vulnerabilità varia fra 11 e 66 (massima vulnerabilità). Essi sono, inoltre, raggruppati in una scala di riferimento qualitativa distinta in: vulnerabilità bassa, medio-bassa, medio-alta, alta, molto alta.

relativi ai diversi fattori di vulnerabilità¹⁵¹.

La metodologia di valutazione della vulnerabilità sismica urbana adottata nella rassegna ragionata dei Programmi di Recupero delle Marche, quindi, costituisce una prima applicazione che coniuga l'approccio strutturale con quello urbano, così come alla base di quanto proposto dalla presente ricerca di dottorato. Pone, infatti, l'attenzione sia sugli aspetti costruttivi dell'edilizia storica, sia su alcuni fattori che ne caratterizzano il rapporto con il contesto geomorfologico, urbano nonché con le classi d'uso.

Altro progetto avviato con finalità simili è, infine, il Progetto System Integrated for Security Management Activities (SISMA)¹⁵² applicato in via sperimentale ai centri storici di Santa Sofia (FC), di San Piero in Bagno (comune di Bagno di Romagna-FC) e di Forlì¹⁵³. Il test ha prodotto verifiche e integrazioni alla versione del metodo valutativo regionale dell'Emilia-Romagna (analizzato in precedenza) al fine di: consentire l'applicazione ai centri di dimensioni demografiche maggiori; inserire nelle valutazioni le informazioni di microzonazione sismica; affinare le valutazioni sul comportamento sismico delle reti tecnologiche nonché produrre valutazioni semi-quantitative della vulnerabilità indotta dalla contiguità edilizia.

Il Progetto SISMA ha applicato tutte le fasi del processo metodologico promosso dalla Regione Emilia-Romagna finalizzate

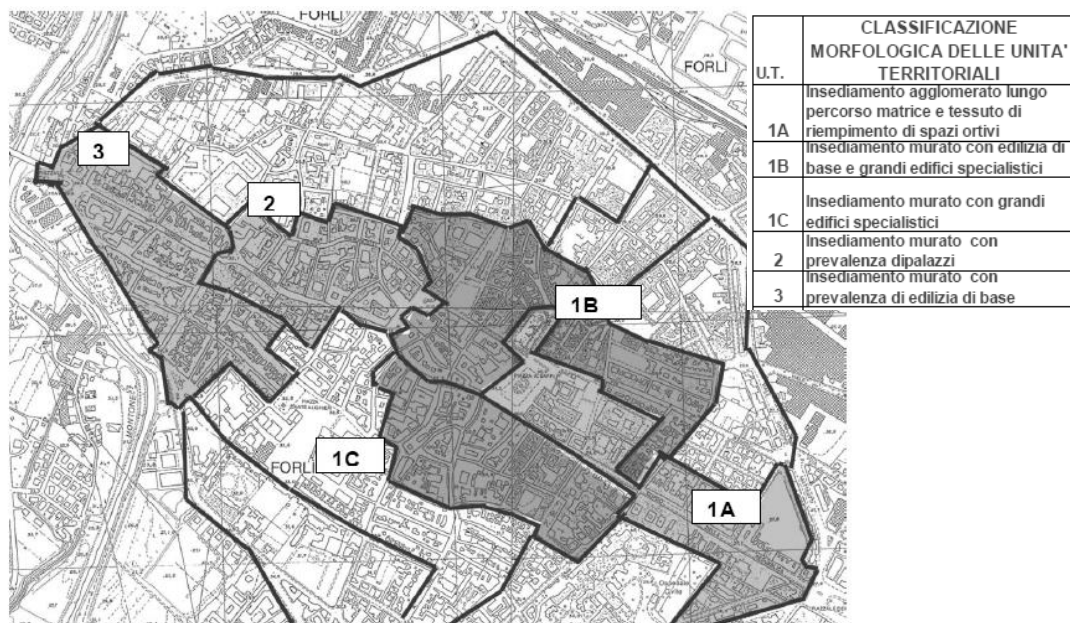
¹⁵¹ Si è riscontrato, in generale, che nei centri urbani di crinale, promontorio e contro crinale la vulnerabilità prevalente è quella indotta dovuta alla contiguità delle costruzioni, generalmente aggregate linearmente su pendio. Rilevante è inoltre la vulnerabilità dovuta a pericolosità locale, negli insediamenti di fondovalle, in cui è alto il rischio geologico.

¹⁵² Collocato nella linea di finanziamento Interreg. IIIB–asse 4-Misura 2 Promozione della gestione del rischio e prevenzione delle calamità–con la Regione Umbria come Lead Partner, ha visto la partecipazione di altre tre regioni italiane tra cui l'Emilia-Romagna.

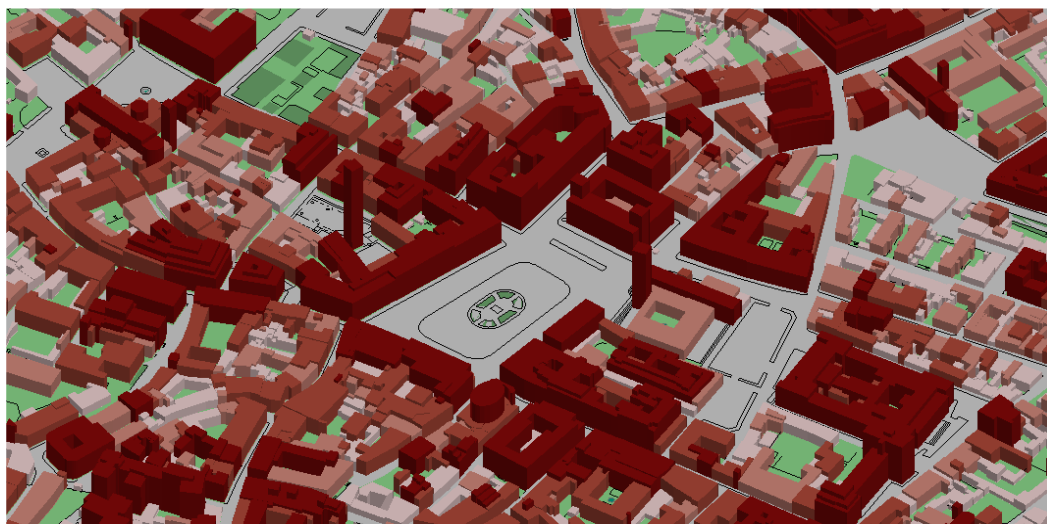
¹⁵³ REGIONE EMILIA-ROMAGNA-COMUNE DI FORLÌ, *Progetto di sviluppo del sistema di analisi, valutazione e riduzione dell'esposizione e della vulnerabilità sismica dei sistemi urbani nel centro storico*. 2007.

98 Verso la definizione della vulnerabilità urbana dei nuclei consolidati: un approccio metodologico per la sua indicizzazione

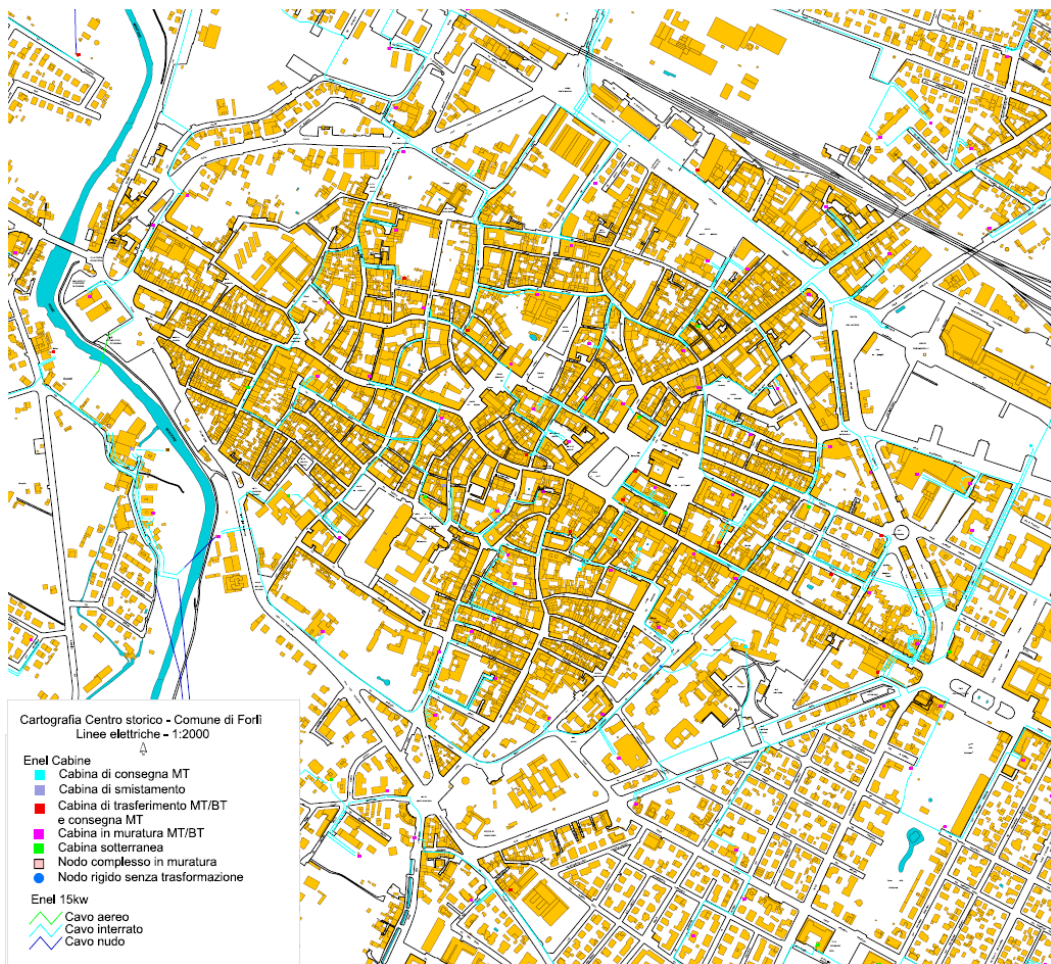
alla valutazione e indicizzazione della vulnerabilità del sistema centro storico.



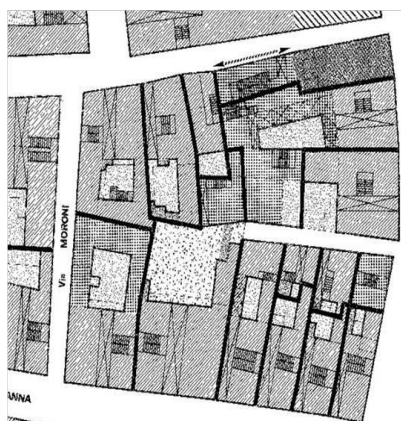
Forlì: suddivisione del centro in UT omogenee.



Forlì: indicazione planivolumetrica della vulnerabilità indotta da elementi "critici".



Forlì: indicazione dei servizi a rete.



Forlì: elaborati utilizzati per l'individuazione dei tipi edilizi: stralcio della carta delle classi di altezza degli edifici e stralcio della tavola della variante generale al PRG.

Concludendo l'anamnesi sviluppata in tale capitolo ha voluto mettere in evidenza le diverse tipologie di valutazioni della vulnerabilità, sia strutturale che urbana, oggi utilizzate.

Il confronto fra le esperienze esaminate rappresenta una valida base per la definizione di un metodo di valutazione di una vulnerabilità complessiva strutturale-urbana dei nuclei antichi, finalità della tesi.

I fattori di vulnerabilità e i parametri di cui si tiene maggiormente conto nei differenti metodi di valutazione con accezione strutturale, si è visto, riguardano le tipologie portanti per i differenti elementi tecnici, i materiali e le tecniche costruttive, le tecniche di rinforzo tradizionali e gli interventi di consolidamento con tecnologie innovative, le tipologie stratigrafiche dei piani di fondazione, le regolarità geometriche nonché le relazioni che intercorrono fra la singola Unità Strutturale e l'intero aggregato.

Sono, questi, solo alcuni dei fattori che possono influire negativamente sul bilancio finale di un evento sismico o sulla fase di intervento post-sismica e che saranno considerati, nello studio, nella definizione di un indice di vulnerabilità complessiva.

La ricerca condotta nel capitolo, poi, ha messo in evidenza come sia lenta e ancora *in itinere* l'evoluzione verso un'accezione "urbana" della vulnerabilità. Nonostante ciò, lo stato dell'arte ha consentito di estrapolare valide basi e una metodologia con la quale raffrontare quella che si vuole proporre nella presente tesi di dottorato. In tale ottica, la metodologia dell'Emilia-Romagna, dalla quale, come visto, mutuano i progetti applicativi e le linee guida ministeriali, rappresenta, nella sua unicità, un modello inesauribile di informazioni dal quale attingere e di cui riproporre la caratteristica tipologica, gli elementi analizzati, la processualità e l'impostazione, la fase pratico-applicativa, nonché, gli scopi e gli obiettivi.

2. CRITICITA', CONSIDERAZIONI E INSEGNAMENTI: DALLE SERIE STORICHE AI TERREMOTI RECENTI

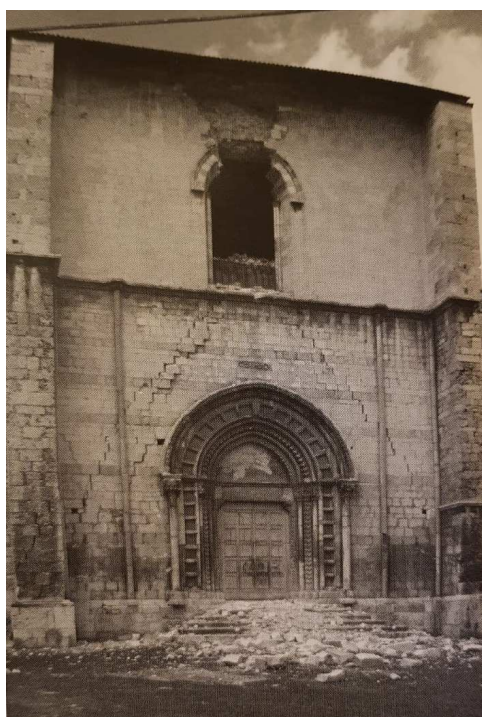
La storia sismica italiana, come già visto in precedenza, è costellata da eventi tellurici di elevata potenza che, al di là dei disastri, in taluni casi sono stati motori di sviluppo culturale e scientifico, aprendo la strada per un nutrito *corpus* di normative, regolamenti e studi di cui si è detto precedentemente.

Nell'ambito disciplinare della sismologia storica l'interconnessione tra i fenomeni tellurici e le ripercussioni, può portare alla valutazione qualitativa degli elementi soggetti a un rischio elevato nella città stratificata (centri antichi, centri storici, beni architettonici, artistici, storici, tracciati viari di primo impianto, ecc.), unitamente alla stima, sempre qualitativa, della vulnerabilità, tema della presente tesi di dottorato. Infatti, le procedure analitiche condotte relazionando la città stratificata ai terremoti storici consentono, non solo, la buona conoscenza delle problematiche inerenti, ma essenzialmente permettono di valutare la capacità degli edifici di rispondere alle azioni sismiche e il danno atteso.

Inoltre, l'analisi degli eventi sismici che storicamente hanno interessato un sito costituisce un indicatore in grado di fornire informazioni sui condizionamenti che l'evento può aver prodotto sulle tecniche costruttive locali (per esempio con l'emanazione di regolamenti edilizi o con l'evoluzione delle tecniche di rinforzo). Quindi, lo studio dei terremoti storici attraverso le fonti documentali permette l'individuazione degli interventi di consolidamento realizzati nel passato e degli elementi strutturali coinvolti, la loro localizzazione, il periodo di realizzazione e la verifica della loro efficacia nel tempo. Sono, queste, informazioni

indispensabili al fine della metodologia progettata in questo studio per la valutazione della vulnerabilità dei nuclei consolidati.

Relazionare la storia dell'edificio con le vicende sismiche di un luogo è, infine, utile per analizzare e verificare i possibili meccanismi di collasso¹⁵⁴. Si possono, infatti, estrapolare informazioni utili sullo stato di danno verificatisi in passato che potrebbe riverificarsi a seguito di un evento futuro¹⁵⁵. Emblematico, in tal senso, appare il confronto di alcune foto storiche di edifici danneggiati dal terremoto che colpì l'Aquila nel 1915 con le foto post sisma del 2009 nelle quali risultano visibili meccanismi e danni pressoché identici.



L'Aquila: confronto dei meccanismi di danno della chiesa di S. Domenico nel terremoto della Marsica del 1915 e in quello del 2009 (figura da D'ANTONIO M., *op. cit.*, p. 130).

¹⁵⁴ GRUPPO DI LAVORO ISTITUITO CON NOTA DEL PRESIDENTE DEL CONSIGLIO SUPERIORE DEI LAVORI PUBBLICI N° 7547 DEL 6.9.2010. *op. Cit.*

¹⁵⁵ È, soprattutto, il caso delle chiese in cui i ribaltamenti delle facciate o dei muri d'ambito, piuttosto che i danni ai campanili, sono ripetuti nel tempo e quindi, presumibilmente potrebbero ricorrere in futuro.

Dunque, la ricerca storica è una costante anche per gli studi sismici, per trarre informazioni essenziali al fine di una valutazione di vulnerabilità speditiva quale quella qui presentata.

Al fine della seguente tesi, quindi, lo studio dei terremoti, storici¹⁵⁶ e recenti, vuole fungere da base per avviare una serie di riflessioni sulle conseguenze e problematiche che gli eventi hanno, di volta in volta, messo in evidenza. Non una mera analisi storica, dunque, ma un'anamnesi ragionata degli scenari sismici e delle criticità rilevate, al fine di evidenziare e estrapolare quei fattori, urbani, tecnologici e strutturali, che hanno influenzato negativamente e amplificato gli effetti sul patrimonio edilizio e sulle vite umane, sia in fase sismica che in quella post-sismica.

Con riferimento al XX secolo, la successione degli eventi sismici abbattutisi sulla Penisola si apre con quello dello **Stretto di Messina del 28 dicembre 1908**¹⁵⁷ (magnitudo pari a 7.1¹⁵⁸) che, seguito da maremoto, provocò una grave catastrofe, con distruzioni estese fra il 70% e il 100% della totalità delle costruzioni in 76 località della provincia di Reggio Calabria e in 14 della provincia di Messina.

¹⁵⁶ CANONACO B., BILOTTA F., CASTIGLIONE F., *Earthquakes and knowledge: comparison between two realities*, in CAMPANELLA L., PICCIOLI C. (a cura di), *Diagnosis for the conservation and valorization of Cultural Heritage*, Atti del Sesto Convegno Internazionale, Napoli, 10-11 dicembre 2015, Aracne Editrice, Roma, dicembre 2015, pp. 01-10.

¹⁵⁷ Dal punto di vista scientifico, il terremoto è stato oggetto di numerosi studi sulle modalità di propagazione delle onde sismiche condotti da Giuseppe Mercalli, Mario Baratta e Giovanni Platania che studiò gli effetti del maremoto.

¹⁵⁸ Tutti i valori di magnitudo riportati e le informazioni geologiche sono tratti dal Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani CPTI15 redatto dall'INGV. Si veda http://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/index_en.htm.



Messina: vista della città distrutta.



Messina: edifici distrutti in via Cardines.



Pellarò (RC): barca trascinata dal maremoto all'interno di una chiesa.

Un importante documentazione testimonia gli effetti del sisma sulle costruzioni storiche¹⁵⁹, tracciando una dettagliata descrizione dei danni nelle province più colpite e permettendo di evidenziare, al

¹⁵⁹ Da tale relazione, per esempio, si apprende che a Messina tutte case, eccetto due, crollarono totalmente o ne rimasero in piedi solo le pareti esterne. MINISTERO DEI LAVORI PUBBLICI-DIREZIONE GENERALE DEI SERVIZI SPECIALI, *L'opera del Ministero dei Lavori Pubblici nei comuni colpiti dal terremoto del 28 dicembre 1908*. Tipografia dell'Unione editrice, 1912.

fine dell'anamnesi ragionata prefissatasi per il lavoro di tesi, l'influenza negativa di alcuni fattori tipici del costruito storico.

Fra questi, la presenza di terreni alluvionali o di riporto¹⁶⁰, la scarsa qualità dei materiali da costruzione, nonché l'eccessiva altezza degli edifici appesantiti da sovrelevazioni poco congrue.

L'evento sismico, inoltre, permette di porre l'attenzione sulla sicurezza degli edifici strategici o a grande affollamento, con riferimento all'evento del crollo della caserma Mezzacapo di Reggio Calabria, e sull'amplificazione degli effetti per l'ingenerarsi di un secondo evento di natura geologica, ovvero il maremoto che fece numerose vittime tra le persone scampate ai crolli.

Si può dire, dunque, che l'evento dello Stretto si pone quale enorme fonte di informazioni, non solo rispetto ai danni e ai meccanismi di collasso del patrimonio costruito ma, anche, rispetto agli effetti urbani, per come definiti nella seguente tesi.

Non distante dall'evento sismico dello Stretto, fu quello della **Piana del Fucino**¹⁶¹ del **1915** di magnitudo momento 7.0.

Al pari del precedente terremoto, le ripercussioni strutturali sull'edificato furono imputabili alle cattive tecniche costruttive, alla scarsa qualità dei materiali nonché all'errata stratigrafia di fondazione. Oddone¹⁶², infatti, notò che i centri danneggiati erano posizionati su terreni alluvionali o al contatto tra depositi soffici e falde di detrito; mentre, per quanto riguarda le tipologie costruttive, rimarcò la cattiva qualità dei materiali e le cattive tecniche di realizzazione quali fondazioni insufficienti, gravi difetti strutturali nelle travature e nelle compagini murarie, presenza di sbalzi, volte pesanti e tetti fortemente spingenti.

¹⁶⁰ È il caso di Reggio Calabria in cui, durante la fase di ricostruzione post-sisma del 1783, l'andamento delle vie era stato corretto con estesi lavori di sterro.

¹⁶¹ Provocò danni gravissimi ad Avezzano, in tutta la piana e in numerose località della Valle Roveto e della media Valle del Liri.

¹⁶² ODDONE E., *Gli elementi fisici del grande terremoto marsicano-fucense del 13 gennaio 1915*. Boll. Soc. Sismol. It., n. 19, pp. 71-216, 1915.



Avezzano: vista aerea dopo il terremoto.



Avezzano: il castello Orsini prima e dopo il sisma.

Al fine dell'analisi svolta per l'individuazione dei fattori di vulnerabilità da considerare nella presente tesi, dunque, il terremoto della Marsica ha rimarcato l'importanza delle tecniche costruttive, della qualità dei materiali e della loro messa in opera, nonché sottolineato le criticità dovute a elementi di chiusura orizzontale fortemente spingenti o mal connessi.

Un altro evento che scosse fortemente il territorio italiano è stato quello siciliano del **Belice** del **1968** di magnitudo momento stimata pari a 6.3¹⁶³. La disastrosa sequenza interessò l'area compresa fra le province di Agrigento, Trapani e Palermo: dei quindici paesi interessati, dieci furono quelli maggiormente colpiti e, fra questi, quattro furono completamente distrutti: Gibellina, Montevago, Salaparuta e Poggioreale. Il 98% dei fabbricati, realizzati in muratura ordinaria, subì ingenti rovine.

Le testimonianze colte nelle cronache del tempo riguardo i rallentamenti dovuti alle macerie riversatesi per strada¹⁶⁴ e all'insufficienza dei collegamenti, hanno consentito di porre l'accento, nella tesi, sull'importanza dello stato di conservazione e mantenimento delle vie di comunicazione, nonché sul numero di punti di accesso ai nuclei consolidati. Tali fattori, infatti, sono preponderanti ed essenziali nella fase di soccorso post-sisma.

Il terremoto del Belice¹⁶⁵, inoltre, mostra l'importanza dei luoghi sicuri, spazi che devono essere, ampi, facilmente raggiungibili, sgomberi e aperti.

¹⁶³ A tal proposito si ricorda che il terremoto ha causato una grave crisi economica favorita dallo spopolamento post-sismico e, soprattutto, la scomparsa degli antichi centri abbandonati in favore di nuove città.

¹⁶⁴ I primi soccorritori trovarono le strade quasi inghiottite dalla terra; le lacerazioni dei tessuti urbani erano aggravate dal fatto che le case, in tufo e impasto di terra, si polverizzarono ingombrando le vie. Per tal motivo, molti paesi erano ancora irraggiungibili ventiquattro ore dopo il violento sisma.

¹⁶⁵ Le cronache raccontano che, nell'avvertire le prime scosse, tanta gente decise di trascorrere la notte all'aperto: fu per questo motivo che si contarono "solo" 300 morti quando la terra tornò a tremare il giorno successivo.



Terremoto del Belice: vista d'insieme di uno dei centri colpiti.



Poggioreale: la chiesa matrice e la piazza prima e dopo il sisma.

Pochi anni dopo il terremoto del Belice (1976), un'altra regione fu scossa da un evento sismico distruttivo (magnitudo 6.5): il **Friuli**.

Il terremoto è ancora oggi ricordato per la virtuosa ricostruzione che, non solo, impiegò trenta anni¹⁶⁶ contro i cinquanta del terremoto del Belice, ma, inoltre, seguì i principi dell'anastilosi e del "dov'era e com'era" scongiurando l'abbandono dei centri antichi.

Gli effetti più distruttivi si verificarono nella zona a nord di Udine, lungo la valle del Tagliamento, dove interi paesi furono distrutti: Gemona, Forgaria, Osoppo, Venzone, Trasaghis, Artegna, Buia, Magnano in Riviera, Majano, Moggio Udinese e molti altri. I danni furono amplificati dalle particolari condizioni del suolo e dalla posizione dei paesi colpiti, quasi tutti posti in cima ad alture, ponendo l'accento sull'influenza negativa dell'orografia¹⁶⁷.



Terremoto del Friuli: vista di Venzone dall'alto.

¹⁶⁶ Ma già a 10 anni dal sisma molti centri erano totalmente ricostruiti e sui giornali dell'epoca si legge «Gruppi di turisti fotografano il Duomo e portici ... che sembrano così com'erano prima del 6 maggio 1976».

¹⁶⁷ Si vuole ricordare che, nel caso degli edifici posti in altura possono verificarsi "fenomeni di cresta" che amplificano la potenza delle onde.



Gemona: il duomo subito dopo il sisma e ricostruito.

La penisola italiana tornò a tremare nuovamente con un'elevata magnitudo (pari a 6.9) in **Irpinia**¹⁶⁸ **(1980)**: novantanove comuni riportarono danni alle strutture.

Così come già avvenne nel terremoto del Belice, un elemento che aggravò gli effetti della scossa fu il ritardo dei soccorsi. I motivi principali di tale dilazione temporale furono due: il cattivo stato delle infrastrutture e la mancanza di un'organizzazione, quale la

¹⁶⁸ Il terremoto colpì le province di Avellino, Salerno e Potenza. I paesi più feriti, oltre a quelli dell'epicentro, furono Laviano, Lioni e Sant'Angelo dei Lombardi; ma crolli si verificarono anche a Napoli.

Protezione Civile, capace di coordinare risorse e mezzi.

L'esempio del terremoto dell'Irpinia, dunque, per le finalità della seguente tesi, ha rafforzato le considerazioni espresse in merito alle vie d'accesso con particolare riferimento alla tipologia, quantità, morfologia e stato di conservazione, evidenziandole quali elementi critici nella fase post-sismica di intervento e di soccorso.



Sant'Angelo dei Lombardi: veduta e vista aerea del centro dopo il sisma.

Altro evento analizzato è la sequenza sismica, la cui scossa più forte ebbe magnitudo 6.0, del biennio **1997-1998 nell'Umbria e nelle Marche**¹⁶⁹.

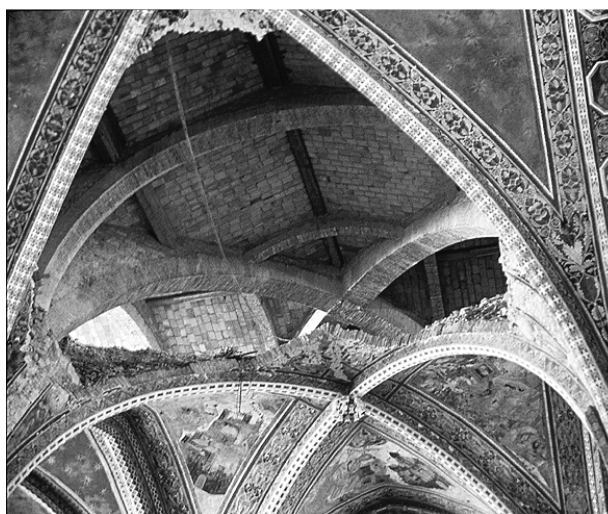
I danni principali furono arrecati al patrimonio storico-artistico di cui queste regioni sono ricchissime¹⁷⁰ sottolineando, al fine della presente tesi, la tematica della vulnerabilità dei beni culturali e degli edifici al cui interno si conservano opere d'arte (musei,

¹⁶⁹ I comuni colpiti furono quarantotto, fra cui Assisi, Gubbio, Foligno, Norcia, Valfabbrica, Gualdo Tadino, Nocera Umbra e Sellano, Serravalle del Chienti, Camerino, Fiordimonte, Castelsantangelo sul Nera.

¹⁷⁰ Si ricorda, a titolo esemplificativo, la cima del campanile della cattedrale di Foligno, la torre di Nocera Umbra, i numerosi musei e teatri storici, il complesso francescano di Assisi in cui i danni più gravi si ebbero nella Basilica superiore.

pinacoteche, edifici ecclesiastici¹⁷¹. Per tal motivo, sempre più interventi si stanno muovendo nella direzione della tutela dei beni mobili e della messa in sicurezza degli edifici "contenitori". Esempi ne sono gli isolatori montati sulle opere del Museo Nazionale D'Abruzzo (L'Aquila) o quelli progettati per le basi dei Bronzi di Riace (Reggio Calabria) nonché le analisi tensionali effettuate sul David di Michelangelo (Firenze) per la verifica del comportamento della statua in caso di scossa tellurica¹⁷².

Le cronache del terremoto, infine, restituiscono la decisione del sindaco di Foligno di chiudere tutti gli istituti scolastici, se pur la crisi sismica sembrava fosse finita, ponendo l'accento sulla tematica della distribuzione delle funzioni pubbliche e a alto grado d'affollamento all'interno dei nuclei antichi, di primaria importanza nella progettazione urbana.



Basilica di S. Francesco d'Assisi: crollo della volta.

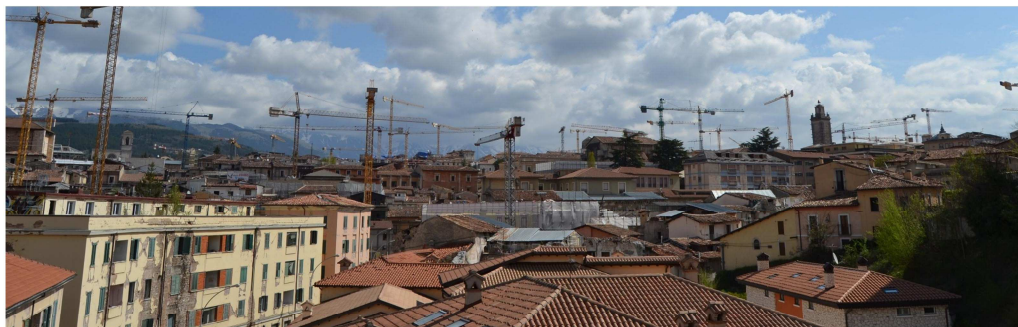


Foligno: campanile danneggiato.

¹⁷¹ Si ricorda che, all'interno delle Linee Guida promosse dal MiBACT è stato definito uno Stato Limite di Danno per i beni Artistici (SLA). MINISTERO PER I BENI E LE ATTIVITÀ CULTURALI, *op. cit.* 2 dicembre 2010, pp. 23-24.

¹⁷² Cfr. BORRI A (a cura di), *La stabilità delle grandi statue: il David di Michelangelo*. Editore DEI, Roma, 2005; BORRI A., *Valutazione del comportamento statico e sismico della Galleria Nazionale dell'Umbria a Perugia*. Università degli Studi di Perugia. Dipartimento di Ingegneria. Convenzione Rep. n. 21/2011 del 26/10/2011.

Il terremoto che ha fornito, poi, il maggior numero di dati e che più ha ispirato la metodologia proposta dalla seguente tesi è quello dell'**Abruzzo** studiato sul campo da chi scrive dal 2015¹⁷³. Nella notte del 6 aprile 2009 una violenta scossa (magnitudo momento 6.3) ha colpito e devastato la città dell'Aquila e diversi comuni della provincia¹⁷⁴.



¹⁷³ L'esperienza è stata condotta in collaborazione con la Soprintendenza Unica per l'Aquila e il Cratere sotto la guida dell'Architetto funzionario Corrado Marsili. Molte considerazioni, pertanto, sono tratte da quanto visto di persona e/o emerso dalle testimonianze di quanti incontrati durante tale percorso.

¹⁷⁴ Una vasta area di oltre 30 km in direzione NO-SE, parallelamente all'asse della catena appenninica, identificato come cratere sismico.

L'Aquila: vedute d'insieme del centro storico.



L'Aquila: particolari fessurativi del centro storico.



Viste del cratere sismico aquilano.

Per la vastità e la varietà del territorio interessato, tale evento ha permesso l'anamnesi di fattori di differente natura e afferenti a

scienze diverse, utili per la formulazione del metodo proposto.

A differenza degli altri eventi analizzati, tale sisma ha permesso di studiare anche il comportamento sismico degli edifici in cemento armato. Il centro storico, infatti, se pur costituito per lo più da strutture in muratura, presenta numerosi edifici a struttura intelaiata; l'Aquila, dunque, si pone quale esempio di quel Paesaggio Storico Urbano di cui si è detto precedentemente (si veda la parte 1 § 2) che racchiude in sé, non solo, i centri storici ma, anche, quelle appendici moderne limitrofe.

Il maggior numero di crolli sulle strutture in cemento armato, è imputabile, non solo alle caratteristiche costruttive, alla tipologia dei materiali usati e all'insufficienza dei dettagli, ma, anche, alle fondazioni costruite su sedimenti "soffici", quali terreni di riporto.

L'evento ha, perciò, consentito un ampio studio dei meccanismi di collasso degli edifici a struttura intelaiata evidenziando, in numerosi casi, un comportamento di *soft-story* (piano soffice)¹⁷⁵.



¹⁷⁵ Fra questi, alcuni esempi si sono osservati a Pettino e San Gregorio, con l'evidenza che il collasso è stato accelerato dall'irregolarità in elevazione; altri, nel centro dell'Aquila, sono la casa dello studente e l'Hotel Duca degli Abruzzi, quest'ultimo crollato per una combinazione di meccanismi di piano morbido esacerbati dalla topografia inclinata. Cfr. D'AYALA D. F., PAGANONI S., *Assessment and analysis of damage in L'Aquila historic city centre after 6th April 2009*. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 9, 81–104, 2011; RICCI, P., DE LUCA, F., VERDERAME G. M., *6th April 2009 L'Aquila earthquake, Italy: reinforced concrete building performance*. *Bulletin of Earthquake Engineering* 9, 285–305, 2011.

L'Aquila: hotel Duca degli Abruzzi.

I terreni soffici di natura alluvionale sono stati, poi, la causa dei danni sull'edificato di Onna, una piccola frazione che ha subito la distruzione totale del costruito e il maggior numero di vittime.

La tipologia di suolo, quindi, si è mostrata, anche nel terremoto del 2009, una caratteristica influente al fine della vulnerabilità del costruito storico.



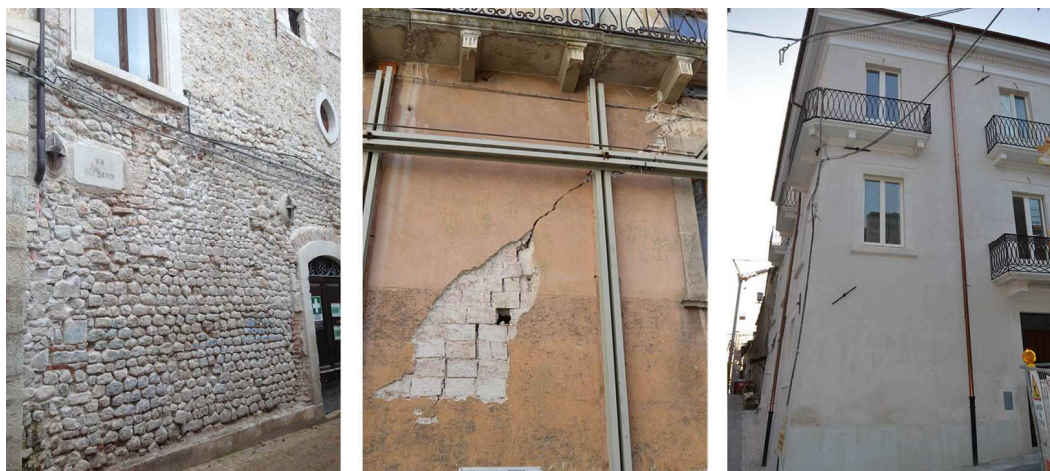
Onna: veduta di una via della frazione.

L'analisi degli scenari sismici e dei quadri fessurativi degli edifici, con particolare riferimento a quelli in muratura, invece, hanno sottolineato l'influenza, non solo, delle tecniche di costruzione ma, anche, degli interventi di rinforzo tradizionali e innovativi¹⁷⁶.

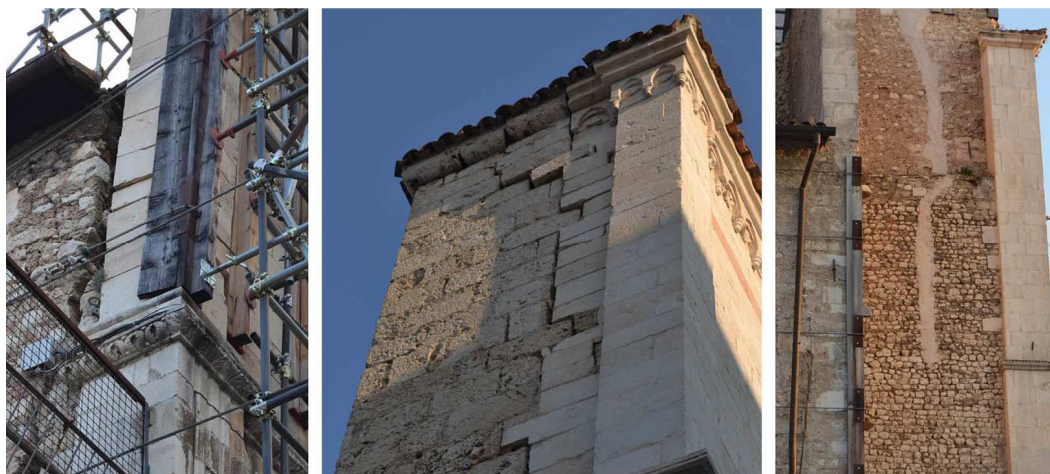
I crolli che hanno interessato la maggior parte del costruito, soprattutto quello di base, hanno sottolineato la fragilità delle murature con tessitura disordinata, influenzata da fattori di

¹⁷⁶ CANONACO B., CASTIGLIONE F., *Building materials and "spontaneous" building methods. The seismic response of the technical elements in L'Aquila city center*, in GAMBARDELLA C., *World heritage and degradation- Smart Design, planning and Technologies*. Proceedings of XIV International Forum Le Vie dei Mercanti, Napoli-Capri, 16-17-18 giugno 2016, La scuola di Pitagora Editrice, Napoli, giugno 2016, pp. 465-474.

degrado e di impoverimento della malta¹⁷⁷. Importante contributo, invece, hanno dato le tecniche di rinforzo tradizionali: i cantonali, i contrafforti, i muri a scarpa, gli ammorsamenti a pettine fra i muri d'ambito delle aule ecclesiali e le facciate, che ne hanno impedito il ribaltamento.



L'Aquila: differenti tipologie di murature (*apparecchio aquilano* e mattoni in foglio) e muri a scarpa.



L'Aquila: ammorsamenti a pettine tra la facciata e le pareti laterali delle aule ecclesiali.

Valutazioni qualitative si possono esprimere, poi, anche a riguardo degli orizzontamenti voltati: se le strutture portanti si sono

¹⁷⁷ I muri così realizzati si sono sgretolati; migliore resistenza hanno opposto quelli costruiti con la tecnica dell'*apparecchio aquilano* con conci sbazzati di pietra.

dimostrate particolarmente resistenti rimanendo per lo più intatte, lo stesso non si può dire di quelle leggere costruite con mattoni in foglio che, sono crollate rovinosamente, confermando la loro funzione non strutturale.

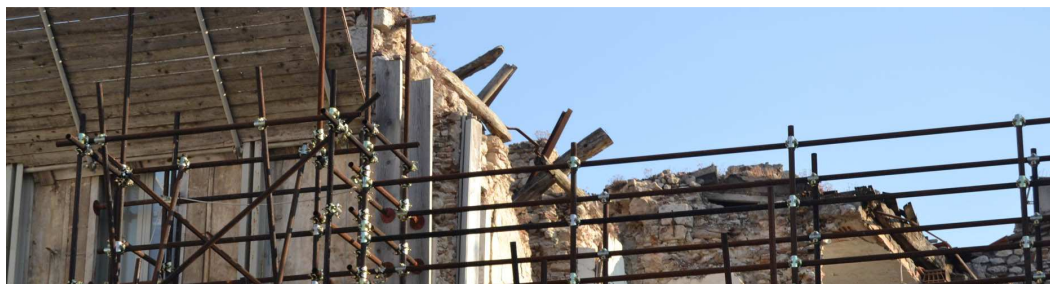


L'Aquila: comportamento delle volte leggere in mattoni in foglio.

Importante, poi, è stato l'apporto dei presidi sismici inseriti nel costruito quali radicamenti, capriate *impalettate* o inchiavardate, catene e cerchiature: si pensi, per esempio, a quelle lignee presenti nelle cupole delle Chiese delle Anime Sante e di S. Bernardino.

Maurizio D'Antonio, a proposito, afferma «Al riguardo va evidenziato che il mancato generalizzato ribaltamento delle facciate degli edifici storici del centro storico aquilano sulle strade, verificatosi puntualmente in altri precedenti terremoti, come per esempio quello di Messina, va ascritto proprio alla presenza nella compagine muraria di catene e radicamenti¹⁷⁸».

¹⁷⁸ D'ANTONIO M., *op. cit.* p. 14.



L'Aquila: radiciamenti ed esempio di casa baraccata.



L'Aquila: capriata *impalettata*.

Inoltre, l'analisi del terremoto dell'Aquila non può prescindere dal sottolineare come la risposta sismica degli edifici sia stata, in svariati casi, ampiamente influenzata e condizionata dalla presenza di elementi non compatibili con le finalità della conservazione riconfermando l'inefficienza, l'inconciliabilità e, in alcuni casi, la dannosità degli interventi di consolidamento e sostituzione di parti strutturali con elementi in cemento armato.

Molti edifici nel centro storico dell'Aquila, infatti, sono crollati totalmente o parzialmente per la presenza di solai e tetti pesanti che hanno sgretolato le murature sottostanti; di cordoli non chiusi e travi, che hanno azionato una forza martellante a testa di ariete sulle facciate; di interi corpi scala che, oscillando secondo i modi propri del cemento armato, hanno sventrato rovinosamente le porzioni di strutture limitrofe.



L'Aquila: effetti del tetto pesante sulle murature d'ambito.

Oltre alle riflessioni condotte sulle tecnologie costruttive, sui materiali e sulle tecniche di rinforzo, nell'ottica di individuare i fattori di vulnerabilità dei nuclei consolidati, gli avvenimenti che hanno coinvolto gli immobili pubblici (Palazzo del Governo, caserma dei Vigili del Fuoco e l'ospedale¹⁷⁹) hanno rimarcato l'importanza degli edifici assistenziali, militari e di coordinamento. Sono, infatti, queste le strutture maggiormente coinvolte nella fase post-sismica e dalle quali devono essere coadiuvate tutte le operazioni e, pertanto, non dovrebbero essere altamente vulnerabili.

¹⁷⁹ Si ricorda che tutti hanno subito danni, crolli parziali o totali; nel caso del Palazzo del Governo, divenuto tragicamente immagine del sisma del 2009, l'inagibilità ha rallentato la macchina dei soccorsi e il suo coordinamento.

Legata alla tematica della dislocazione delle funzioni pubbliche a alto grado di affollamento nei centri storici è, poi, la considerazione, constatata sul campo, che il bilancio finale delle vittime sarebbe stato più alto se il sisma fosse avvenuto nelle ore diurne. Il centro storico dell'Aquila, infatti, al momento del terremoto era sede di innumerevoli edifici scolastici, di uffici amministrativi, di poli economici-finanziari, di attrattori culturali aperti al pubblico e di facoltà universitarie; tutti luoghi altamente frequentati durante il giorno e nei quali, visti i danni subiti dagli edifici, si sarebbe certamente mietuto un numero elevato di vittime.

Infine, ampliando lo sguardo sul cratere sismico, importanti osservazioni si sono potute trarre riguardo l'influenza delle infrastrutture "pericolose" o dell'innescarsi di altri rischi geologici. Nel caso del territorio abruzzese, infatti, il rischio frane, ingeneratosi in differenti punti del territorio, ha creato non pochi disagi. Fra questi, un esempio è il comune di Fossa (AQ) in cui la frana che si è staccata dal monte Circolo, che domina l'abitato, ha danneggiato alcuni edifici e ha reso obbligatoria l'evacuazione dell'intero centro storico.

Importante, infine, è stato l'episodio riguardante l'invaso di Campotosto (AQ), costantemente monitorato sia durante il terremoto del 2009 che in quello più recente del 24 agosto 2016, per scongiurarne il cedimento¹⁸⁰. Nel caso di un forte terremoto provocato dalla faglia limitrofa, infatti, la diga non dovrebbe più sopportare solo uno scuotimento, ma dovrebbe reggere anche allo spostamento del terreno sottostante e al peso dell'enorme massa di acqua contenuta nel bacino.

¹⁸⁰ La Protezione Civile, dopo l'evento del 6 aprile, ha incaricato l'Eucentre di fare degli studi approfonditi sull'invaso; gli studiosi, pur mettendo in evidenza la complessità del problema, non hanno però potuto escludere il peggiore degli scenari: il cedimento della diga.

Altre importanti considerazioni per gli studi condotti nella presente tesi si sono tratte, poi, dagli eventi sismici del **20 e 29 maggio 2012** dell'**Emilia Romagna**.

Il quadro dei danni causati dal terremoto (due scosse di magnitudo 5.6) costituisce un'occasione di studio importante. Infatti, il terremoto, per le caratteristiche del costruito interessato, ha consentito di studiare il comportamento degli edifici in muratura di mattoni pieni, essendo l'unico evento che ha interessato centri per lo più edificati con tale tecnica costruttiva¹⁸¹. Gli edifici esistenti in muratura hanno mostrato, a seguito del sisma, difetti tipici e mancanza di dettagli costruttivi adeguati che ne hanno aumentato la vulnerabilità¹⁸².

Ad esempio, la presenza di tetti in legno spingenti o instabili ha causato numerosi crolli locali in edifici residenziali identificandosi come le cause principali dei collassi parziali delle facciate. Tale tipo di danno ha interessato anche gli edifici strategici (tra i quali il municipio di Moglia), rendendoli inutilizzabili durante il periodo di emergenza e sottolineando, ancora una volta, la loro fragilità e importanza al fine di coadiuvare e gestire le fasi di intervento.

Quegli edifici, invece, che non hanno subito il meccanismo di ribaltamento del timpano sono collassati per lo più per i meccanismi di taglio nel piano localizzati, soprattutto, nelle fasce di piano; solo nel caso di fasce di piano forti si è osservata la rottura a taglio nei maschi dei primi livelli.

¹⁸¹ I centri coinvolti dai terremoti precedentemente analizzati, infatti, erano costruiti per lo più con murature miste di pietra e malta.

¹⁸² Cfr. MILANI G., *Lesson learned after the Emilia-Romagna, Italy, 20–29 May 2012 earthquakes: a limit analysis insight on three masonry churches*. Engineering Failure Analysis 34, 761–778, 2013; PENNA A., MORANDI P., ROTA M., MANZINI C. F., DA PORTO F., MAGENES G., *Performance of masonry buildings during the Emilia 2012 earthquake*. Bulletin of Earthquake Engineering 5, 2255–2273, 2014.



Collapsi delle fasce di piano a Mirandola (figura da PENNA A. 179).

L'irregolarità in pianta e in elevato, per gli edifici in muratura, e i dettagli costruttivi per quelli in cemento armato sono stati indicati, dagli studiosi, come altri fattori di vulnerabilità.

Anche l'evento dell'Emilia-Romagna, poi, ha visto verificarsi una grave perdita al patrimonio culturale delle aree colpite¹⁸³. Tali danni sono, spesso, attribuibili a diffusi episodi di liquefazione delle sabbie¹⁸⁴, un altro fenomeno geologico che può ingenerarsi a seguito delle onde sismiche e, quindi, ascrivibile quale fattore di amplificazione della vulnerabilità di un sito.

Anche nell'evento del 2012, poi, sono risultati gravemente danneggiati o inagibili numerosi edifici pubblici (per esempio gli edifici scolastici, l'università e l'ospedale della città di Ferrara), rimarcando quanto già detto sull'importanza della sicurezza dei luoghi affollati, di assistenza e di primo soccorso.

Infine si analizzano, per individuare i fattori di vulnerabilità utili per la definizione del metodo proposto, i recenti **eventi sismici del**

¹⁸³ In particolare, sono risultati seriamente danneggiati o parzialmente crollati gran parte dei monumenti e dei luoghi di interesse compresi in un'ampia area, da Mantova, a Modena, a Ferrara, a alcuni comuni della provincia di Bologna.

¹⁸⁴ La liquefazione delle sabbie è il comportamento dei terreni che, per un aumento della pressione interstiziale, passano da uno stato solido a uno fluido.

Centro Italia del 2016 e del 2017, ovvero la sequenza sismica Amatrice-Norcia-Visso¹⁸⁵. Il terremoto ha causato danneggiamenti al patrimonio culturale delle aree colpite raggiungendo, nei comuni di Amatrice e Arquata del Tronto, il X grado della EMS-98. Ad Amatrice, corso Umberto è diventato il simbolo della devastazione della scossa del 24 agosto: soltanto la torre civica e la chiesa di Sant'Agostino sono rimaste in piedi. Il campanile di Accumoli, invece, fa riflettere sull'importanza assunta dagli elementi predominanti nello skyline di un costruito denso (torri, campanili, antenne, cisterne) e sugli effetti nell'area d'influenza.



Amatrice: torre civica prima del terremoto, dopo la scossa del 24 agosto e a seguito dell'evento del 30 ottobre.

L'evento sismico, inoltre, ha colpito in maniera ragguardevole anche il costruito pubblico e le infrastrutture. Infatti, è stato gravemente danneggiato e, conseguentemente evacuato, il principale ospedale dell'area laziale-marchigiana e grossi danni si sono riscontrati alle vie d'accesso alle aree colpite, ai viadotti e, in generale, a buona parte della viabilità secondaria. Così come per il terremoto dell'Irpinia, anche se con rallentamenti minori dati i

¹⁸⁵ Gli epicentri sono situati tra l'alta valle del Tronto, i Monti Sibillini, i Monti della Laga e i Monti dell'Alto Aterno, creando, dunque, un cratere sismico in intersezione con quello del terremoto dell'Aquila del 2009 e quello del terremoto dell'Umbria e delle Marche del 1997.

mezzi di soccorsi odierni, quindi, il numero, lo stato di mantenimento e la morfologia delle vie di accesso alle zone terremotate hanno rappresentato una vulnerabilità aggiuntiva dell'evento stesso.

Le repliche susseguites, inoltre, per l'importanza e l'alta valenza culturale delle aree colpite, hanno arrecato un danno inestimabile al patrimonio storico-artistico. Simbolo è la Basilica di San Benedetto a Norcia, di cui rimane intatta solo la facciata.



Norcia: Basilica di San Benedetto.

Ma indiscutibile è, anche, la perdita arrecata, dal terremoto, al patrimonio paesaggistico. Si pensi, per esempio, al borgo di Castelluccio di Norcia, arroccato sulla collina e affacciato sulla vallata, scorcio conosciuto in tutto il mondo per la caratteristica fioritura primaverile. Tale vista, emblema del concetto di Paesaggio Storico Urbano e della relazione fra il costruito umano e la natura circostante, è stata snaturata e, oggi, non si presenta più nella forma conosciuta e riconosciuta dalla collettività.

Il bilancio delle vittime dello sciame sismico, aggravato dal triste evento dell'hotel Rigopiano, infine, ha sottolineato la tragica influenza, sugli effetti del sisma, dei grandi attrattori turistici, individuando nell'affollamento un rilevante fattore di vulnerabilità.



Castelluccio di Norcia: il borgo prima e dopo l'evento sismico.



Castelluccio di Norcia: immagine rappresentativa del concetto di Paesaggio Storico Urbano; scorcio riconosciuto dalla collettività.

In conclusione, lo studio conoscitivo sviluppato in tale capitolo ha voluto individuare alcuni fattori, di svariata natura, che hanno reso gli effetti dei terremoti maggiormente dannosi.

L'analisi ha evidenziato alcuni elementi di similitudine negli eventi sismici che hanno afflitto il territorio italiano.

I fattori di vulnerabilità emersi dall'anamnesi condotta, utili al fine della presente tesi per la definizione di un indice di vulnerabilità complessiva, sono, quindi, stati identificati in: tipologie strutturali, materiali e tecniche costruttive, tecniche di rinforzo tradizionali e innovative, tipologie stratigrafiche del suolo di fondazione, rischi geologici, morfologia e tipologia delle vie di comunicazione, presenza e morfologia dei luoghi sicuri, destinazione d'uso degli edifici, grado di affollamento, presenza di elementi vulnerabili nel contesto denso, diffusione e sicurezza dei beni culturali.

Sono, questi, solo alcuni dei fattori che possono influire negativamente sul bilancio finale di un evento sismico e sulla fase di intervento post-sismica e di cui, perciò, si terrà conto nella metodologia proposta.

3. CONOSCENZA DEGLI AMBITI STORICI: ASPETTI MORFOLOGICI, TIPOLOGICI, COSTRUTTIVI E ANTISISMICI

3.1. Analisi preliminari per il costruito storico: impianti urbani, tipologie edilizie e processi aggregativi¹⁸⁶

I nuclei consolidati sono da considerarsi come interazione tra uomo e natura e tra uomo e tecnica, e sono la rappresentazione sintetica di caratteri invarianti e varianti che testimoniano la crescita di un territorio e i sedimenti culturali di una società.

La conoscenza, sia puntuale che estesa all'intero tessuto urbano, è un passaggio metodologico ormai assunto, nel tempo, quale essenziale e alla base di un corretto intervento di recupero e riqualificazione. In generale, l'intervento sul patrimonio esistente induce a predisporre *in primis* una base conoscitiva storico-critica e procede con l'acquisizione di dati, anche diversi tra loro, attraverso varie operazioni analitiche: ricerca bibliografica, lettura delle fonti documentarie e comparazione della cartografia, analisi della composizione formale del brano storico e dei caratteri dell'edilizia di base, analisi tipologica, analisi dei sistemi costruttivi, studio dei materiali impiegati, lettura dello stato di degrado, analisi strutturale.

¹⁸⁶ Quanto scritto nel presente paragrafo racchiude alcune riflessioni espresse in differenti pubblicazioni. Si vedano, fra le altre: CANONACO B., CASTIGLIONE F., *Notes on the qualitative assessment of the seismic vulnerability in the historical centers through historical series and archival documents. An application case in Southern Italy*, in GAMBARDELLA C., *World heritage and disaster: Knowledge, Culture and Representation*, Atti del XV International Forum Le Vie dei Mercanti, Napoli-Capri, 15-17 giugno 2017, La scuola di Pitagora Editrice, Napoli, 2017, pp. 441-448; CANONACO B., BILOTTA F., CASTIGLIONE F., *Esigenze del vivere contemporaneo e dicotomie del restauro: nuove proposte per la fruizione e la sicurezza degli ambiti consolidati*, in *Eresia ed Ortodossia nel Restauro. Progetti e Realizzazioni*, Collana Scienza e Beni Culturali, Giornate di Studi Atti Bressanone, 28 giugno-1° luglio 2016, Edizioni Arcadia Ricerche, Venezia, 2016, pp. 547-556.

Anche nelle tematiche relative la sicurezza e la conservazione dei beni architettonici dal rischio sismico, un passaggio fondamentale si configura nella conoscenza puntuale degli elementi caratterizzanti l'architettura storica. Al fine della presente tesi, quindi, un'anamnesi approfondita, condotta alle differenti scale (quella territoriale, quella urbana e quella dell'aggregato), viene posta quale base della metodologia proposta per l'estrapolazione dell'indice di vulnerabilità complessiva (si veda la parte III, §1.1). Dall'applicazione delle procedure conoscitive, infatti, si possono trarre i dati, qualitativi e quantitativi, da associare ai parametri che compongono la vulnerabilità per come proposta dalla scrivente, permettendone una quantificazione.

Nelle analisi preliminari, come visto, una importante fase fa riferimento alla lettura tipologica e morfologica del tessuto costruito e del sistema dei vuoti, nonché alle fasi aggregative.

Una ricognizione delle tipologie non è avulsa dalle analisi di vulnerabilità ma, piuttosto, introduce una chiave di lettura spesso strettamente correlata agli assemblaggi, evidenziando punti di carenza e discontinuità strutturale che vengono indagati nella metodologia proposta dalla scrivente.

L'intera città, con riferimento ai nuclei storici, è un'organizzazione complessa e continua di spazi pubblici, semipubblici e privati che nascono, sia dalla necessità abitativa, sia dalla consapevolezza del vivere sociale. Il processo di urbanizzazione rappresenta un momento determinante per la comunità; è il processo di trasformazione del territorio che avviene in un preciso contesto ambientale, sociale, di conoscenze tecniche. Ciò implica, quindi, una specificità territoriale e temporale dei metodi di edificare che, in ogni caso, fanno riferimento a archetipi antichi, i "tipi" appunto, che sono comuni a tutti i luoghi.

A seconda che gli insediamenti storici muovano dalla volontà di

assumere una precisa funzione (per esempio difensiva o di città ideale), o siano plasmati dalla forma del territorio (è il caso di buona parte di essi), la struttura del comparto urbano presenta, comunque, una stretta relazione fra gli spazi costruiti e i percorsi, legati in una endiadi imprescindibile.

Proprio tale aspetto è approfondito all'interno dell'analisi proposta, volendo prescindere da una lettura meramente tipologica edilizia e/o urbana¹⁸⁷ ma, piuttosto, volendo cogliere il legame che sussiste fra il sistema dei vuoti e quello dei pieni, finalizzando lo studio alla valutazione del rapporto biunivoco che esiste tra tipologie edilizie e tessuto urbano, inteso come spazio sociale.

Analizzare i comparti urbani significa, quindi, capire le componenti di un insieme strutturato dall'uomo. Nella comprensione processuale di tali componenti Caniggia individua quattro momenti: «edifici come individuazione di tipi edilizi; aggregati come individuazione di tessuti tipici; organismo insediativo e urbano come individuazione di connessioni tipiche tra aggregati; organismo territoriale come individuazione di connessioni tipiche tra organismi insediativi e urbani concorrenti con organismi viari produttivi», sottolineando, dunque, una stretta relazione fra le parti (gli edifici) e il tutto (il centro storico).

Nel leggere la città, importanza rilevante deve essere data al tessuto urbano inteso come «forma insediativa nella quale è riconoscibile una stretta congruenza tra impianto viario e trama

¹⁸⁷ Per le quali si rimanda a testi specifici tra cui: CANIGGIA G., MAFFEI G. L., *Lettura dell'edilizia di base*. Alinea Editrice, Città di Castello, 2008. CANIGGIA G., MAFFEI G. L., *Il progetto nell'edilizia di base*. Marsilio, Venezia, 1987.; MURATORI S., *Civiltà e territorio*. Ist. di Metod. Arch., Roma, 1966; STRAPPA G., *Unità dell'organismo architettonico. Note sulla formazione e trasformazione dei caratteri degli edifici*. Dedalo, Bari, 1995; BROGIOLO G.P., GELICHI S. (a cura di), *La città nell'alto Medioevo italiano*. Archeologia e storia. Laterza, Bari, 1998; GUIDONI E., *La città dal Medioevo al Rinascimento*. Laterza, Bari, 1985; GUIDONI E., *L'arte di progettare le città: Italia e Mediterraneo dal Medioevo al Settecento*. Kappa, Roma, 1992.

edilizia, che non si limita alla giustapposizione ordinata tra vie, isolati e lotti, ma che si evidenzia anche nel fatto che gli assi stradali e gli assi di giacitura dei corpi edilizi sono prevalentemente paralleli»¹⁸⁸.

L'analisi morfologica urbana si esegue tramite l'anamnesi dei differenti elementi costitutivi: le parti urbane omogenee, gli assi infrastrutturali e le centralità urbane, distinte in relazione alle funzioni, al rango e alla conformazione. La struttura urbana di ogni città, infatti, è legata, non solo, ai caratteri propriamente morfologici-evolutivi ma, anche, agli aspetti relazionati agli usi, da sempre preponderanti nel dare forma alla città fisica nel suo complesso e ai suoi spazi collettivi e centrali in particolare.

La lettura della forma urbana si basa, così come quella tipologica, in primo luogo sui documenti storici (documenti d'archivio, catastali, vedute, ecc.). Il ricorso all'approccio storico consente di comprendere sia il nesso tra la rete degli insediamenti e il territorio, sia le modalità di trasformazione dell'assetto originario. In tal senso, di elevata importanza sono le vedute e i catastali storici che, se letti criticamente e comparati tra loro, restituiscono le fasi evolutive, le trasformazioni e le permanenze del tessuto tutto.

Nella lettura proposta sulle tipologie edilizie e urbane, si parte dall'assunto che il tessuto viario sia fortemente influenzato dalla morfologia del territorio: per tal motivo i percorsi matrice¹⁸⁹ seguono le isoipse di crinale o di valle e l'andamento del terreno e le sue sinuosità. Un tale presupposto, dunque, non solo consente di individuare i percorsi di primo impianto ma, anche, ha come diretta conseguenza il fatto che spesso gli inurbamenti, i lotti e gli edifici

¹⁸⁸ CAPPUCCITI A., *Tessuti e centralità nella morfologia urbana di Roma*. Aracne, Roma, 2006.

¹⁸⁹ Si ricorda la distinzione fatta da Caniggia tra percorso matrice, che esiste prima che intervenga la costruzione; percorsi di impianto edilizio che dipendono dall'edificazione in profondità; percorsi di collegamento che uniscono tra loro quelli precedenti; percorsi di ristrutturazione che avvengono quando è attuata la pressoché totale edificazione. CANIGGIA G., *op. cit.*, pp. 144-145.

presentino caratteri varianti al tipo di base.

Inoltre, l'andamento dei percorsi matrice determina la conformazione della morfologia urbana che, pertanto, può presentarsi a sviluppo lineare (a fuso lineare o cardo-decumanico) oppure radiocentrico (radiale o organico)¹⁹⁰.



Impianto a fuso lineare: Isernia (IS)



Impianto a fuso lineare: Troia (FG)



Impianto a scacchiera: Crevalcore (BO)



Impianto a scacchiera: Lucca (LU);

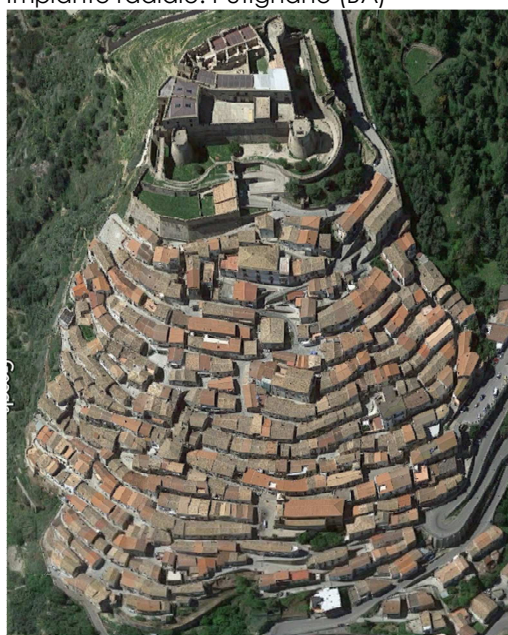
¹⁹⁰ Si distinguono quattro principali tipi di impianti: radiale, tipico di numerosissimi poli urbani, indirizzato dalla morfologia territoriale o prestabilito; assiale, dove un segno principale diventa l'indice delle diramazioni; cardo-decumanico, tipico delle città romane dove due vie il cardo, asse nord-sud, e il decumano, asse est-ovest, si incrociano; organico, ovvero che si adatta alla morfologia del sito.



Impianto radiale: Putignano (BA)



Impianto radiale: Locorotondo (BA)



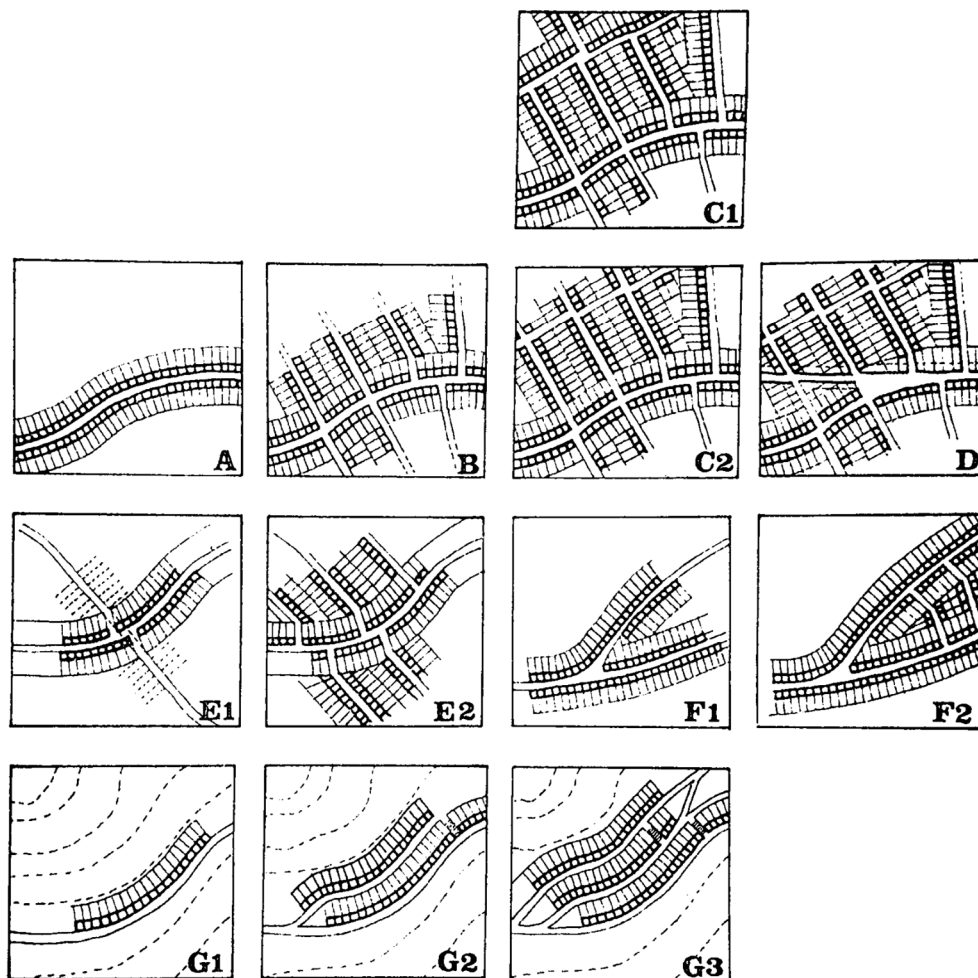
Impianto organico: Rocca Imperiale (CS)



Impianto organico: Fontecchio (AQ)

Determinato il generatore, è possibile procedere con la fase successiva, ovvero quella di effettiva lettura della morfologia di impianto, del come la struttura edilizia si distribuisce all'interno delle tracce di riferimento.

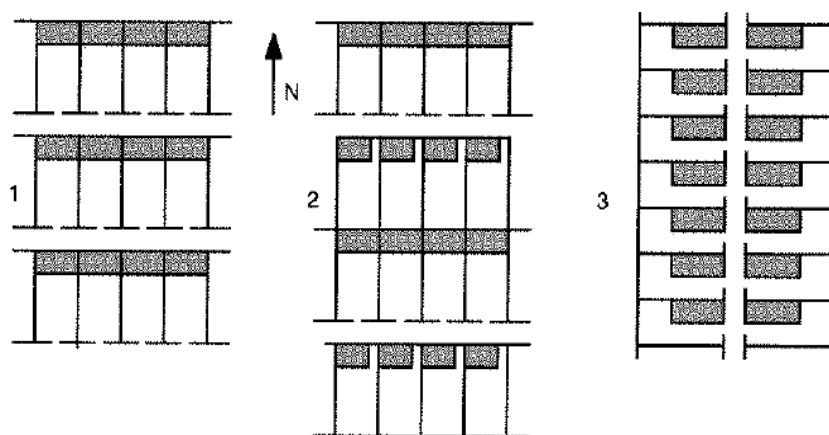
Il primo modo attraverso il quale la trama viaria influenza il tessuto costruito è rappresentato dal processo di lottizzazione e, come conseguenza, dalla posizione dei fronti edificati.



Posizione dei fronti edificati: **A.** edilizia su percorso matrice; **B.** edilizia su percorso di impianto edilizio; **C1.** edilizia su percorso di collegamento tra p. d'impianto con formazione successiva; **C2.** formazione dei percorsi di collegamento tra p. d'impianto successivi al prolungamento dei p. d'impianto; **D.** percorso di ristrutturazione; **E1-E2.** Edilizia su percorso matrice e su percorsi d'impianto derivati, nel caso d'intersezione tra due puri percorsi preesistenti; **F1-F2.** edilizia su percorsi matrice e su p. d'impianto derivati, nel caso di biforcazione di un puro percorso preesistente; **G1-G2-G3.** Edilizia su percorso matrice e gemmazione progressiva di p. d'impianto in area a forte pendio (figura da CANIGGIA G.²⁰⁹).

Se nel tipo a schiera, l'ottimizzazione degli spazi urbani comporta la presenza delle aree di pertinenza sul retro e la persistenza, sulla strada, del lato corto dell'edificio, nel tipo a corte il ruolo della *insula* appare ancora più predominante. «Il ruolo delle *insulae* nella

formazione del tessuto, il loro rapporto col tipo base vigente, varia in funzione della maggiore o minore pianificazione dell'aggregato edilizio, dell'orografia del terreno, della presenza polarizzante di edilizia specialistica»¹⁹¹. Nella disposizione della porzione costruita all'interno del recinto della casa a corte, infatti, il tracciato viario appare determinate per due motivi: l'orientamento e la presenza di una o due arterie. Per quanto riguarda il primo aspetto, facendo seguito anche a motivazioni di isorientamento solare¹⁹², se il percorso è orientato in senso nord-sud, il costruito occupa di preferenza il lato parallelo alla direzione d'ingresso mentre si dispone lungo il tratto perpendicolare se è orientato in direzione est-ovest. La presenza di un secondo percorso, invece, crea la distinzione tra un'edificazione in serie aperta o chiusa.



Aggregati in *domus* elementari: 1. in serie chiusa su percorso orientato est-ovest; 2. in serie aperta su percorso orientato est-ovest; 3. in serie chiusa su percorso orientato nord-sud (figura da STRAPPA G.²¹⁵).

Il secondo momento in cui il tessuto viario interviene a influenzare la tipologia edilizia è la fase di aggregazione dei tipi elementari; «alla formazione del tipo di aggregazione, concorrono le forme di

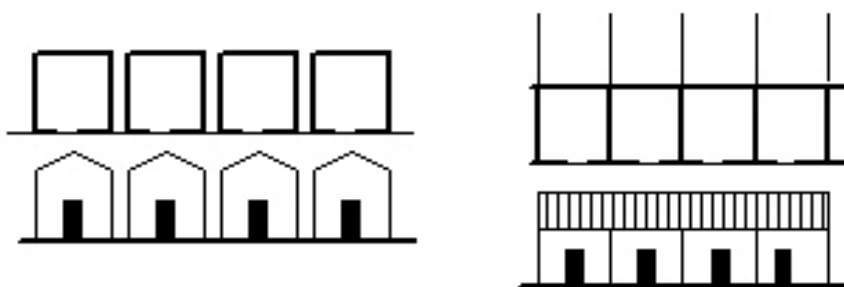
¹⁹¹ STRAPPA G., *op. cit.*, p. 118.

¹⁹² ZAMPILLI M., *Lo sviluppo processuale dell'edilizia di base*, in GIUFFRÈ A., *op. cit.*, p. 43.

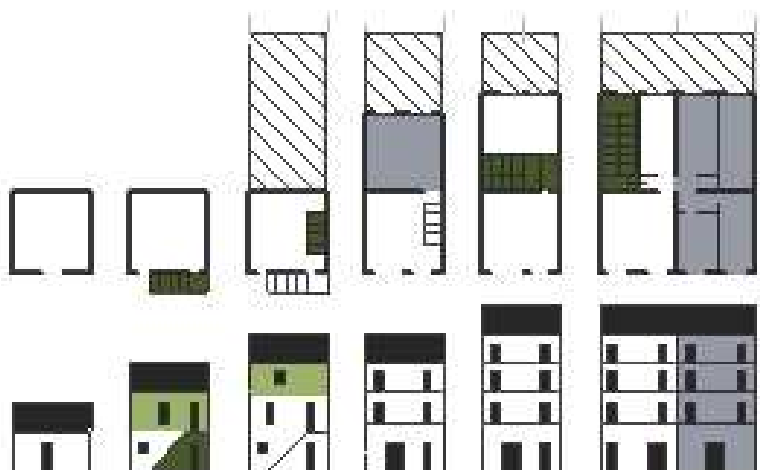
perimetrazione e utilizzazione del territorio¹⁹³».

Proprio l'aggregazione di tipi elementari dà vita alle tipologie complesse che hanno rilevanza predominante all'interno di una valutazione di vulnerabilità sismica in quanto presentano una serie di disconnessioni dovute alle fasi evolutive di aggiunta.

Nel caso di aree in cui non esiste il problema della limitazione dello spazio disponibile, il raddoppio¹⁹⁴ avviene prevalentemente in orizzontale, seguito da una fase successiva in altezza con collegamento interno; il che fa prevalere i tipi a schiera o a corte.



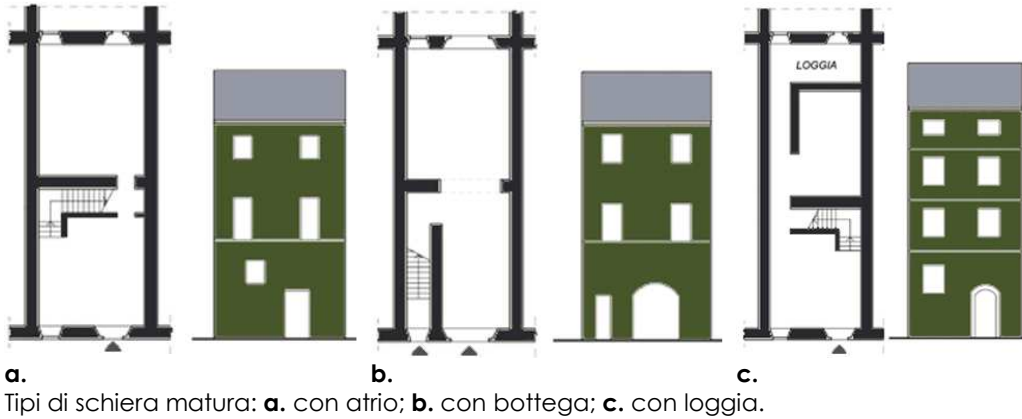
a. Case a schiera unicellulari: **a.** separate da *ambitus*; **b.** aggregate con parete comune e rotazione dell'inclinazione delle falde (figura da STRAPPA G.²¹⁵).



Processo evolutivo della casa a schiera: dalla cellula elementare fino alla casa in linea. In verde scuro il posizionamento del corpo scala; in verde chiaro i raddoppi verticali e in grigio quelli orizzontali (figura rielaborata da STRAPPA G.²¹⁵).

¹⁹³ STRAPPA G., *op. cit.*, p. 114.

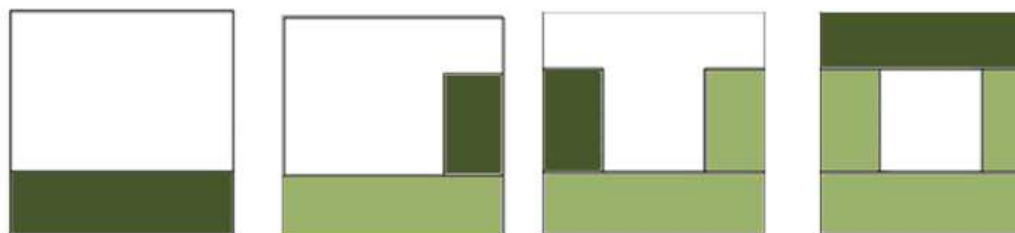
¹⁹⁴ Secondo Caniggia, infatti, il passaggio da un tipo a quello successivo avviene con la legge dei successivi raddoppi. CANIGGIA G., *op. cit.*, p. 183.



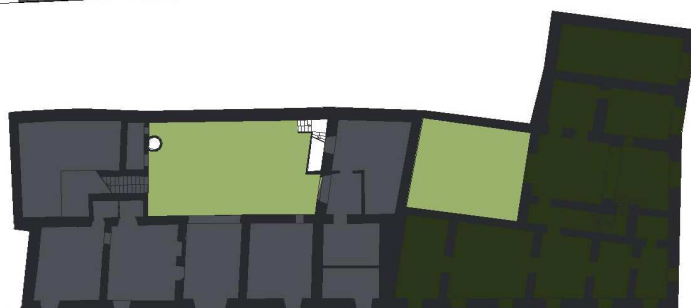
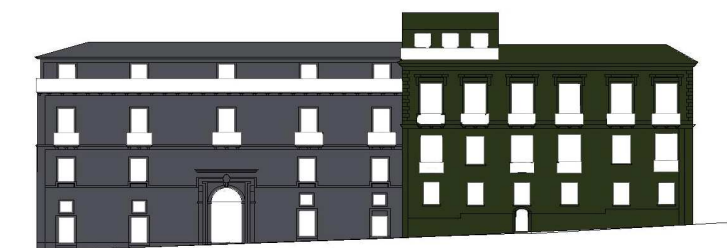
Le tipologie a schiera, attraverso processi di rifusione e unificazione dei fronti stradali, possono generare le tipologie *palaziate*¹⁹⁵ in una variante impura; quelle a corte, attraverso fasi di intasamento dell'*insula*, sfociano nella corte matura ovvero nelle tipologie *palaziate* a corte.



¹⁹⁵ Tale dicitura si riscontra nei documenti d'archivio della città di Cosenza nel sud Italia. Nel contesto aquilano, per esempio, viene riportata quale *palaziata*.



Casa a corte: fasi diacroniche di intasamento dell'*insula*. Aggiunte successive in verde scuro.

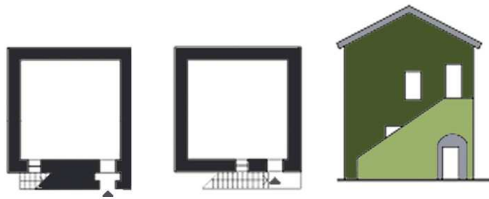


Centro storico di Cosenza: aggregazione di due case con corte (indicata in verde chiaro).

Dove l'uso del suolo è più intenso, il tessuto viario è più denso o sussistono condizioni di orografia a pendio, invece, il tipo edilizio sempre a partire dalla cellula elementare, si evolve secondo uno sviluppo verticale dando vita al tipo base su pendio o alla casa a profferlo.



a. Tipo base su pendio: **a.** con unico ingresso e scala interna; **b.** con doppio ingresso.



Tipo base a profferlo.

D'altronde, dagli studi caniggiani, all'interno di ciascun tipo vi sono già i presupposti affinché sia atto a costituire un tessuto. Egli fa, a tal proposito, l'esempio del tipo a schiera che presenta un fronte libero per l'affaccio esterno e l'accesso, uno sull'area di pertinenza e gli altri due, quelli lungo i quali avverrà l'aggregazione, ciechi¹⁹⁶. La relazione tra urbano e costruito, poi, è ancor più chiara negli impianti di natura islamica (presenti anche in molti borghi italiani, soprattutto del Sud¹⁹⁷) in cui le strade entrano a far parte dell'edificato e, pertanto, appaiono diffuse tipologie con ingressi che affacciano nei supportici o con percorsi che corrono lungo le coperture piane. In tali impianti, che richiamano le strutture della *ksar* con al suo interno la *kasbah*, le strade molto spesso rientrano nella dimensione privata della casa, configurandosi come arterie per lo più cieche a servizio del costruito. Anche negli impianti di matrice araba la componente bioclimatica gioca un ruolo importante: l'andamento non rettilineo dei percorsi e, di conseguenza del costruito, è frutto della volontà di incanalare i venti e agevolarne la circolazione nonché di evitare la monotona esposizione degli isolati e degli edifici che ne fanno parte. La compattezza del costruito e la dimensione limitata delle vie favoriscono, altresì, l'ombreggiamento delle facciate per ampi

¹⁹⁶ CANIGGIA G., *op. cit.*, p. 127.

¹⁹⁷ Un esempio famoso in Italia è la *kasbah* di Mazara del Vallo (TP) nel quartiere di S. Francesco caratterizzato da stradine strette e tortuose per meglio difendersi dal sole, dal vento e dagli attacchi dei nemici, vicoli ciechi, cortili con pozzi e pile, arcate in tufo e scalette in pietra.

periodi della stagione calda.

Se la configurazione dei percorsi e la morfologia del territorio influenzano le tipologie edilizie dal punto di vista della conformazione planimetrica, dell'orientamento e delle fasi di aggregazione, le funzioni e gli usi delle strade e dei vuoti urbani sono i fattori che, invece, determinano la sussistenza e la prevalenza di un tipo piuttosto che di un altro. Tale relazione è, per altro, accentuata da un diretto collegamento con il substrato sociale che abita il quartiere.

Elemento principale nel sistema urbano dei vuoti è da sempre la piazza, che «costituisce di per sé, il luogo della rappresentazione, della centralità e della presenza delle pubbliche istituzioni civili e religiose. Luogo di riunioni, di spettacoli, di prediche, di cerimonie, la piazza è anche il luogo privilegiato dello scambio e dell'attività commerciale, del contatto con il mondo esterno»¹⁹⁸.

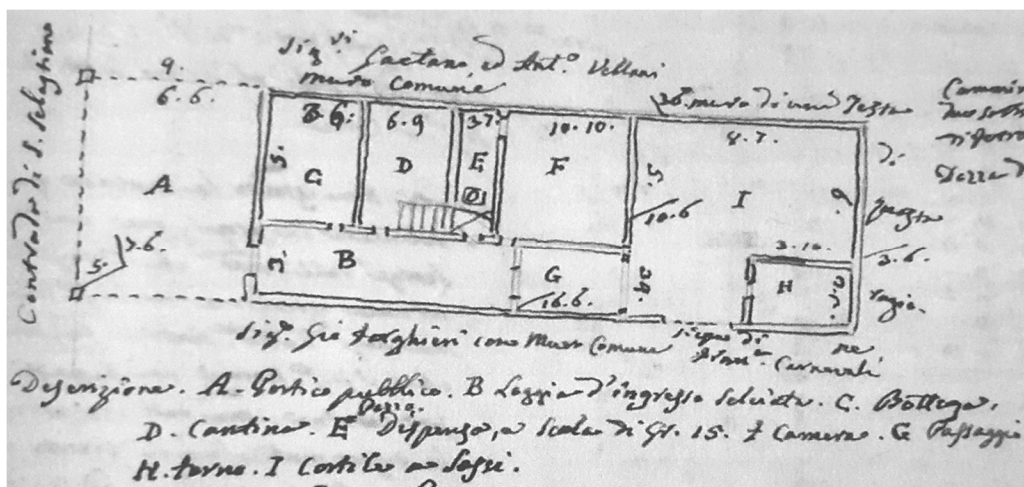
Le piazze, soprattutto quelle del Sud d'Italia, sono spesso scenari per gli edifici civici, per quelli ecclesiastici e per le abitazioni nobiliari, al fine di darvi importanza e visibilità prospettica. Quest'ultime assumono sempre la tipologia *palaziale* e presentano, in prospetto, tutti gli elementi che servono a rimarcare l'importanza della casata: il portale d'ingresso, lo stemma nobile, paraste, marcapiani, decori, fregi alle finestre e ai balconi. A volte, a arricchire il tutto, possono aggiungersi loggiati arcati o balconi sovrastanti il portale d'ingresso.

Se gli edifici nobiliari, associati a un substrato sociale ricco, sono direttamente collegati alle piazze o, comunque, alle arterie di rappresentanza, le strade di uso commerciale e lavorativo, vissute da classi sociali meno abbienti, invece, sono quasi sempre

¹⁹⁸ GUIDONI E., *Gli spazi, i monumenti, i materiali, storia e interpretazione, La piazza come luogo del progetto*, in BARBIANI A. (a cura di), *La piazza storica italiana-Analisi di un sistema complesso*, Marilio, Venezia, 1992, p. 51.

caratterizzate dalla casa a schiera nella variante con bottega. A seconda che le arterie sulle quali prospetta la schiera siano una sola o due, il tipo può presentare l'ingresso all'abitazione e alla bottega sullo stesso fronte piuttosto che sui fronti opposti.

Una variante della schiera con bottega, poi, presente soprattutto nei contesti del Nord Italia, mostra un porticato coperto antistante che diviene la naturale prosecuzione dello spazio di commercio e di scambio¹⁹⁹.



Tipo a schiera con bottega porticata: **A.** Portico pubblico; **B.** Loggia d'ingresso; **C.** Bottega. Perizia estimativa datata 1794 di un edificio di Modena (MO) (figura da Mochi G., PREDARI G., op. cit., p. 63).

Ovviamente tale caratterizzazione tipologica fa riferimento ai primi impianti; in seguito, nel processo evolutivo, si hanno una serie di rifusioni e saturazioni che possono trasformare, come visto, una cortina edilizia di case a schiera in una tipologia palaziale in linea. In alcuni contesti, in cui prevale la vocazione mercantile della popolazione, infine, si può riscontrare la prevalenza della casa a corte in cui, però, questa viene intesa come estensione dello spazio pubblico: non cortili privati, chiusi e inaccessibili ma, piuttosto,

¹⁹⁹ Una tale configurazione delle case a schiera si identifica, per esempio, nelle province di Bologna, Padova, Pisa, Pavia, Modena.

aperti, punti di commercio sui quali affacciano le botteghe²⁰⁰.

La lettura proposta, dunque, ha voluto mettere in relazione le morfologie urbane e i percorsi generatori con le tipologie edilizie evidenziando, sia, le relazioni che intercorrono tra il tessuto viario e quello costruito, sia l'influenza assunta dall'utilizzo che si fa del vuoto urbano.

L'analisi della vulnerabilità di un ambito consolidato e di un aggregato edilizio non può prescindere da analisi di questo tipo, dalle quali trarre le fasi evolutive degli edifici e del tessuto viario.

Nel primo caso, le informazioni raccolte saranno di essenziale importanza per comprendere i punti di discontinuità nelle soluzioni costruttive, quei giunti "naturali" che comportano, non solo, una maggiore vulnerabilità ma, anche, un grado di vincolo differente fra le Unità Strutturali contigue.

Nel secondo caso, invece, studi sull'evoluzione del tessuto consentono di validare una serie di interventi progettuali a carattere urbano, per la riduzione del rischio quali, per esempio, la demolizione di celle di saturazione, la riprogettazione e rifunzionalizzazione dei percorsi e degli attraversamenti, la ridefinizione degli assetti viari. Sono questi, si vedrà, alcuni degli sbocchi progettuali della presente tesi di dottorato.

Infine, lo studio delle tipologie di impianto dei nuclei consolidati permette di trarre conclusioni circa la vulnerabilità complessiva degli stessi: appare chiaro, infatti, che tessuti lineari o del tipo cardo-decumanico, maggiormente regolari e strutturati, siano meno vulnerabili di quelli di tipo radiale, più disordinati e compatti. Per tal motivo, all'interno della tesi, si è effettuata un'ampia trattazione a riguardo.

²⁰⁰ Un tale utilizzo della casa a corte, per esempio, si riscontra nella città dell'Aquila (AQ) la cui economia era fortemente basata sul commercio.

3.2. Regola dell'arte, tecniche costruttive e materiali tradizionali

Nelle tematiche relative la sicurezza e la conservazione dei beni architettonici dal rischio sismico, un passaggio fondamentale si configura, poi, nella conoscenza puntuale degli elementi caratterizzanti l'architettura storica. Un dettagliato *dossier* di note e dati sull'aggregazione dell'oggetto di interesse, sui sistemi costruttivi, sulla qualità dei materiali utilizzati, sulle tipologie strutturali, sulle condizioni di benessere degli edifici, sulle condizioni di stabilità si ottiene, come visto, attraverso operazioni di analisi.

Le Norme Tecniche italiane (si veda la parte II, §1), sottolineano, infatti, come per la valutazione della sicurezza sismica e il progetto degli interventi di miglioramento sia necessaria un'adeguata consapevolezza storica e strutturale dell'organismo architettonico, che può essere ottenuta, oltre che attraverso le fasi di rilievo e di caratterizzazione meccanica dei materiali costituenti, tramite il riconoscimento dell'utilizzo della regola dell'arte.

Speciale attenzione deve essere riservata alla valutazione delle tecniche costruttive, tenendo conto dei modi di costruire tipici di uno specifico territorio e individuando le proprietà geometriche e materiche dei singoli componenti, oltre che le modalità di assemblaggio. Gli edifici storici, infatti, non sono stati edificati utilizzando i principi della meccanica dei materiali e della scienza delle costruzioni moderna, bensì con un approccio basato sull'intuizione e l'osservazione, utilizzando i principi dell'equilibrio dei corpi rigidi e sperimentando il comportamento delle costruzioni già realizzate. Tutto ciò ha progressivamente portato ad affinare criteri esecutivi e di proporzioni geometriche, configurabili come la **“regola dell'arte”**.

Tali sistemi costruttivi, definibili “spontanei”, dettati da osservazioni dirette e da regole tramandate oralmente, mostrano una

specificità locale, frutto di un progressivo affinamento nell'uso dei materiali disponibili in zona, e un'affidabilità dettata dal "collaudo" della storia, di cui l'esistenza stessa della costruzione ci fornisce testimonianza. Il *Codice di Pratica* redatto per Ortigia sottolinea l'importanza della cultura popolare locale, la tecnica del passato viene paragonata alla lingua parlata "usata da molti popoli ma particolareggiata da ciascuno di essi", riconoscendone, dunque, una matrice comune con sfaccettature differenti in base alla collocazione geografica e temporale²⁰¹.

La regola dell'arte, che nella letteratura scientifica è relazionata per lo più alle modalità di realizzazione del paramento murario (resistenza dei materiali, lavorazione degli elementi, ordine e disposizione, ammorsamento e ingranamento), deve essere riferita, invece, all'intero edificio, andando a considerare quelle caratteristiche che ne favoriscono e incrementano il comportamento statico e la risposta all'evento sismico. È, soprattutto, "l'assemblaggio strutturale" e, dunque, la mancanza di connessioni tenaci tra le parti che compongono l'organismo strutturale, la caratteristica che funge maggiormente da comune denominatore per le costruzioni murarie²⁰².

Per tal motivo, le caratteristiche individuate al fine di poter verificare la rispondenza o meno di un edificio alla regola dell'arte vengono riassunte come di seguito riportate²⁰³:

- Composizione degli elementi della muratura: tipologia e omogeneità dei componenti, forma e dimensione degli elementi, qualità e proprietà meccaniche dei materiali (si

²⁰¹ Le riflessioni di Giuffrè sulle caratteristiche costruttive, dunque, hanno portato a individuare l'esistenza di caratteristiche generalizzabili delle costruzioni storiche in zona sismica, quali il limitato numero di piani; il modulo delle cellule non superiore a 5-6 m; la snellezza dei muri non inferiore a 1/7.

²⁰² *Ibidem*.

²⁰³ La seguente è una proposta di definizione e classificazione del presente studio.

veda quanto riportato di seguito in merito);

- Organizzazione degli elementi della muratura e ingranamento delle parti: tessitura e apparecchiatura, orizzontalità dei filari, sfalsamento dei giunti verticali, presenza di elementi ortogonali al piano della muratura, presenza di diatoni di connessione nei paramenti delle murature a sacco;
- Dimensioni delle strutture murarie ovvero il concetto di snellezza;
- Collegamenti e ammorsamento delle pareti confluenti: presenza di cantonali e angoli a pettine, rientranza degli elementi di almeno 1/3 nel muro confluyente;
- Collegamento delle strutture orizzontali e contrasto delle spinte;
- Presidi antisismici tradizionali che irrobustiscono il costruito e ne garantiscono la stabilità (si veda §3.2 del seguente capitolo).

La regola dell'arte, perciò, si configura come quella serie di accorgimenti, espedienti tecnici e tecnologici, accortezze nella scelta, nella lavorazione e nella posa in opera dei materiali che incoraggiano, non solo, il comportamento monolitico dei muri d'ambito e di spina ma, anche, il comportamento scatolare dell'intero edificio. Nello specifico, i primi tre punti favoriscono la compattezza della muratura prevenendone lo smembramento e il disfacimento; gli ultimi tre racchiudono tutti quegli elementi che favoriscono il comportamento globale della struttura.

L'aderenza alla regola dell'arte corrisponde al moderno soddisfacimento dei dettagli costruttivi previsti dalle norme, pertanto le sue prescrizioni sono sufficienti a limitare, entro confini accettabili, il danno prodotto dalle forze esterne²⁰⁴. Per questo motivo, sebbene tale approccio non sia scientificamente rigoroso

²⁰⁴ GIUFFRÈ A., *Op. cit.*, p. 7.

e risulti affidabile solo se utilizzato all'interno dei limiti di validità, riconoscere in una costruzione la sussistenza di tali requisiti prestazionali può condurre a utili valutazioni circa la vulnerabilità del patrimonio, soprattutto al fine di ottenerne una stima qualitativa, quale quella proposta nella presente tesi di dottorato. Per quanto concerne il miglioramento del comportamento monolitico dei paramenti murari, come scrive Giuffrè, «la caratteristica meccanica di un muro eseguito a regola d'arte è quella di arrivare a collasso attraverso la realizzazione di cinematismi che comportano la formazione di cerniere cilindriche, mentre le porzioni comprese tra le fessure offrono un comportamento tipo corpo rigido... la minor qualità del muro, il suo discostarsi dalla regola dell'arte, gli toglie tale caratteristica... quanto minore è la qualità del muro tanto è prematura la conclusione rovinosa del moto cinematico che viene innescato dalle azioni esterne»²⁰⁵. Considerando dunque la capacità della costruzione muraria di comportarsi come un insieme di parti assemblate tra loro, è possibile studiarne il collasso scindendola nei cosiddetti "macroelementi", cioè in porzioni dotate di un comportamento autonomo nei confronti del sisma²⁰⁶. Si comprende, allora, come le variabili che determinano il differente grado di danneggiamento di un edificio murario non siano definibili solo attraverso un valore dell'accelerazione sismica²⁰⁷ ma

²⁰⁵ *Ibidem*.

²⁰⁶ Tale approccio è oggi parte integrante della normativa sismica vigente e oggetto di numerosi approfondimenti. Si pensi alle analisi per macroelementi proposte per gli edifici ecclesiastici. Cfr. CIFANI G., LEMME A., PODESTÀ S. (a cura di), *Beni monumentali e terremoto dall'emergenza alla ricostruzione*. D.E.I. Tipografia del Genio Civile, Roma, 2005; PRESIDENZA DEL CONSIGLIO DEI MINISTRI-DIPARTIMENTO DELLA PROTEZIONE CIVILE, PAPA S., DI PASQUALE G. (a cura di), *Manuale per la compilazione della scheda per il rilievo del danno ai beni culturali Chiese MODELLO A-DC*.

²⁰⁷ Giuffrè fissa al IX grado della scala Mercalli la soglia di resistenza dell'edilizia storica media, cioè di quella di scarsa qualità. Una struttura muraria eseguita a regola d'arte supera indenne il IX grado e, come ha dimostrato la cattedrale di Sant'Angelo dei Lombardi, subisce danni significativi solo con il X grado. Tali

dipendano anche e soprattutto dalle caratteristiche costruttive. Al fine di perseguire tali finalità, la regola dell'arte differenzia i principi a seconda che si parli di muratura in materiale ordinato, in materiale disordinato o a sacco. E, a guardar bene, già la messa in opera ordinata dei differenti elementi che costituiscono la muratura è, di per sé, una prima rispondenza alla regola dell'arte. Nel primo caso l'apparecchiatura è in naturalmente disposta correttamente, con regolare alternanza fra diatoni e ortostati mentre la malta svolge solo la funzione di regolarizzare il letto di posa. Per queste tipologie di murature i principi da seguire riguardano l'orizzontalità dei filari, l'inserimento di pietre disposte trasversalmente, lo sfalsamento dei giunti verticali e la rinzeppatura delle cavità maggiori rispetto al piano di posa. Diverso è, invece, il caso in cui le murature siano composte da materiale incoerente per le quali, alle prescrizioni precedenti, si aggiunge la necessità di realizzare, ricorsi in mattoni o in pietra. L'efficacia di tali ricorsi si manifesta sia in condizioni statiche che in condizioni dinamiche: nel primo caso l'effetto è quello di regolarizzare i carichi mentre, nel secondo caso, essi individuano assi orizzontali intorno ai quali il muro ruota monoliticamente²⁰⁸. Infine, per quanto riguarda le prescrizioni per l'esecuzione a regola d'arte delle murature a sacco, importante appare l'inserimento di elementi trasversali a collegamento delle cortine del muro così da assicurare la monoliticità della parete che, in caso di sisma, oscilla attorno alla posizione di equilibrio senza disgregarsi. Dunque, per stimare in modo qualitativo la vulnerabilità muraria, l'attenzione deve essere rivolta non solo alla tessitura, ma

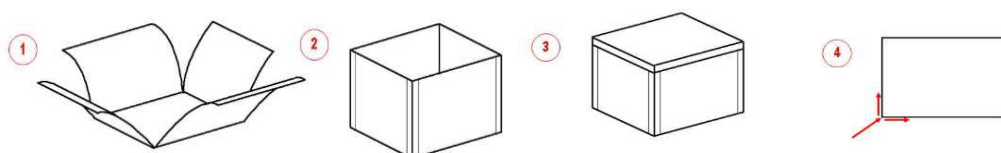
affermazioni scaturiscono, come afferma lo stesso Giuffrè, dall'osservazione e la valutazione dei terremoti storici e hanno il supporto oggettivo delle valutazioni macrosismiche eseguite da accreditati sismologi.

²⁰⁸ BORRI A. (Direttore scientifico), *Manuale delle murature storiche*. Volume I. D.E.I. Tipografia del Genio Civile, Roma, 2011, p. 106.

soprattutto al grado di coesione trasversale, alla qualità dei componenti costitutivi, nonché alla qualità della malta in opera.

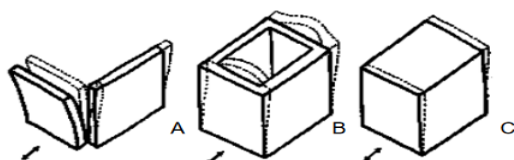
Per quanto concerne, invece, gli accorgimenti della regola dell'arte tesi a migliorare il comportamento scatolare dell'intero edificio, è noto che questo sia di fondamentale importanza per una risposta globale alle forze sismiche

Per comprendere bene questo concetto si può fare un'analogia con l'esempio di una scatola realizzata in carta per come visibile nella figura a seguire: 1) ogni parete, cioè ogni foglio esaminato singolarmente, offre scarsa resistenza alle sollecitazioni; 2) collegando le pareti tra loro si ottiene un considerevole aumento di resistenza; 3) la presenza di un elemento orizzontale (coperchio) aumenta ancora la resistenza globale; 4) la ragione di questa capacità offerta dal comportamento scatolare è comprensibile considerando che ogni forza può essere scomposta in due componenti parallele ai piani delle pareti sfruttando, in questo, modo la massima capacità di resistenza di ogni singola parete.



Comportamento scatolare degli edifici in muratura: analogia della scatola.

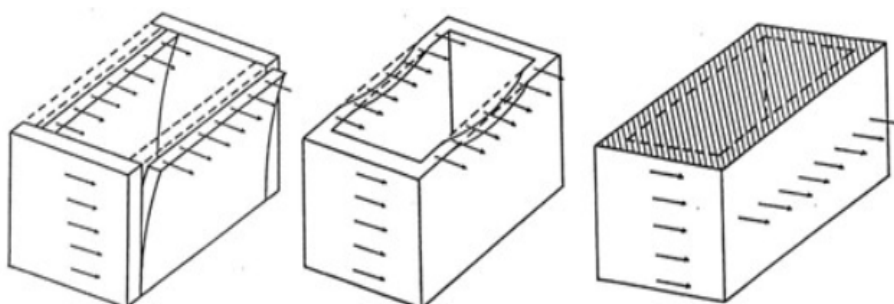
Quindi, in generale, al fine di ottenere un comportamento scatolare della struttura, è necessaria la connessione fra i muri e fra questi e gli elementi orizzontali, siano essi di piano o di copertura.



Comportamento di un edificio
 A – a pareti indipendenti;
 B – effetto dei **vincoli verticali**
 C – effetti dei **collegamenti orizzontali di piano**

Comportamento scatolare degli edifici in muratura: effetto dell'ammorsamento fra pareti e col solaio.

La necessità di ammortamento tra le pareti perpendicolari e tra i muri e i solai consente, inoltre, la migliore distribuzione dei carichi verticali trasmessi, non solo, nella zona di incidenza ma, anche, nelle zone limitrofe. Al fine di ripartire i carichi in modo equo, poi, è necessario un'altra caratteristica riferibile alla regola dell'arte del solaio, ovvero che esso sia sufficientemente rigido nel proprio piano. L'ipotesi di impalcato rigido, infatti, favorisce una distribuzione iperstatica delle forze orizzontali tra i pannelli murari resistenti a taglio; i solai deformabili, al contrario, permettono una redistribuzione isostatica. La sovrapposizione di due tavolati lignei orditi nelle direzioni perpendicolari assolve proprio a tale scopo.



Influenza del grado di vincolo tra gli elementi sulla risposta sismica.

Da sinistra a destra: pareti non vincolate o ammortate, pareti ammortate con orizzontamento flessibile; pareti ammortate con impalcato rigido.

È importante sottolineare come le partizioni interne orizzontali svolgano una funzione determinante; la conoscenza di questi elementi strutturali, per tal motivo, oltre all'identificazione della tipologia costruttiva e dei materiali costituenti, deve spingersi nell'individuazione del grado di vincolo presente e della sua realizzazione nonché nel riscontro dell'eventuale comportamento rigido a piastra. Questi fattori, infine, risultano importanti perché principalmente interessati dalle verifiche per i soli carichi di esercizio.

Inoltre nell'analisi di vulnerabilità degli edifici in muratura, importanti

note devono cogliersi dall'**anamnesi dei materiali e delle tecniche costruttive**²⁰⁹.

Si vuole, pertanto, delineare un'ampia definizione tipologica relativa alle tecniche e ai materiali utilizzati per gli elementi portanti che compongono gli edifici in muratura, riconoscendo, comunque, la possibilità di infinite soluzioni dettate dalle influenze territoriali. Partendo dalle fondazioni, le più usate sono quelle continue con struttura diretta: la maggior parte del costruito storico, infatti, si sviluppa poggiando i muri d'ambito direttamente sul suolo a una profondità che si attesta intorno al mezzo metro. I materiali usati e gli spessori sono gli stessi dei muri in elevazione; solo in alcuni casi si riscontra l'utilizzo di materiale di pezzatura più grossa.

Altra tipologia riscontrabile è, poi, quella delle fondazioni profonde ad arco (o a pozzo), realizzate con archi di scarico, solitamente in mattoni, a volte connessi da archi rovesci.



Alternative tecniche per le fondazioni: strutture ad arco oppure dirette.

Varietà costruttiva più ampia si ha, invece, nella definizione delle strutture di elevazione e dei partiti murari che variano a seconda delle aree geografiche e della loro caratterizzazione litologica.

Una prima tipologia, molto diffusa, ad esempio, nel materano o nel

²⁰⁹ Si veda BENCARDINO F., CASTIGLIONE F., *Materiali e tecniche tradizionali e innovative per la conservazione e la sicurezza strutturale dei nuclei antichi*, in FREGA G. (a cura di), *Tecniche per la difesa dall'inquinamento*, Atti del 37° corso di aggiornamento, EdiBios, Cosenza, giugno 2016, pp. 491-504.

leccese, consta di paramenti murari in blocchi di pietra a facciavista, realizzati con geometrie più o meno squadrate e messi in opera con configurazioni differenti. I componenti litici utilizzati sono, per lo più, l'arenaria, la pietra calcarea oppure il tufo (relativamente alle regioni con cave vulcaniche quali la Campania e la Sicilia). Altra tipologia largamente utilizzata è, poi, il paramento murario misto in pietra e malta di calce che può comporsi di ciottoli di fiume, lì dove si è prossimi a corsi d'acqua²¹⁰, oppure di pietra di cava, da spacco o sbazzata, messa in opera in maniera più o meno ordinata a seconda delle dimensioni dell'aggregato.

Alla tipologia dei muri misti afferiscono, anche, i paramenti in pietra e laterizio. In questo caso si possono avere differenze a seconda che il laterizio sia usato come rinzeppatura dei vuoti fra gli aggregati disomogenei; come listatura del partito murario, garantendo una distribuzione più uniforme dei carichi; oppure come fodera, posta in qualità di ringrosso dello spessore murario.

L'utilizzo dei soli mattoni pieni, invece, dà vita a un paramento murario spesso lasciato a facciavista, tipico soprattutto nelle aree geografiche del nord Italia (per esempio, l'Emilia Romagna) ma impiegato, anche, in alcuni centri storici del Sud a partire dal '700.

Una distinzione, all'interno di tali paramenti murari, poi, può eseguirsi per l'impiego di mattoni crudi (*adobe*), tecnica di derivazione araba diffusa nelle regioni meridionali²¹¹. Composti da un impasto di argilla, sabbia e paglia essiccato al sole, i mattoni di

²¹⁰ È questo il caso, per esempio, della città di Cosenza (CS) in cui gli atti notarili riportano: «essendo tutte le fabbriche di detta Città fatte di pietra viva et molto pesante come comincia una a levarse dal suo loco tutte le altre poi vengono a rovinare così per il suo peso come per la mala lega che fanno con la calce». Si veda A.S. CS. Not. Francesco Maria Scavelli n° 243, 21 settembre 1639.

²¹¹ Nel contesto calabrese tale materiale da costruzione viene indicato coi nomi di "brest", "bresta" o "mato". Presenta una forma irregolare, le cui dimensioni, in linea di massima, sono di 20x10x10 cm o di 15x15x30 cm. Se ne riscontra la presenza anche a Palermo dove prende il nome di "tayu". Cfr. INGV, *Modello di caratterizzazione tipologica a scala nazionale*.

terra cruda sono tipici delle aree molto secche e dei contesti agricoli²¹².

Tipologia muraria differente è, invece, la muratura a sacco composta da due partiti murari esterni, solitamente realizzati in pietra, e da un nucleo interno di pietrame di granulometria ridotta misto a calce. Come visto, l'esecuzione a regola d'arte prevede la connessione delle facce esterne tramite elementi trasversali.

Diversa è, infine, la tecnica muraria che prevedeva l'utilizzo di intelaiature di travi orizzontali e verticali in legno, all'interno delle quali si disponevano tamponature in muratura. Identificata col nome di *casa baraccata*, questa tipologia costruttiva ebbe massimo sviluppo dopo il terremoto calabro del 1783, a seguito del quale ne fu prescritto l'utilizzo (si veda la parte I, §2).

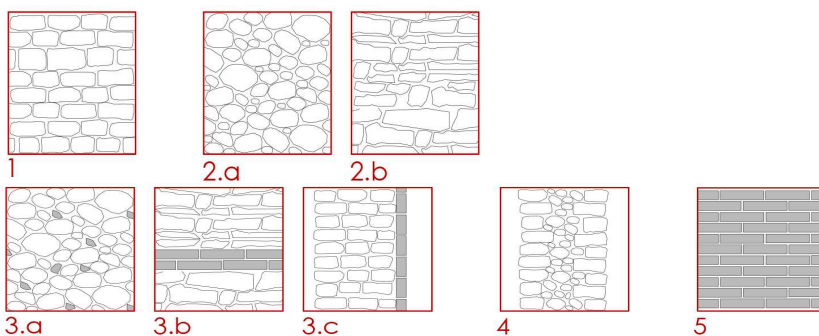
Una definizione esauriente di tale tecnologia si può riscontrare nei documenti d'archivio in cui si parla di *«Intelajate tessite con listoni di legname castagno della grossezza in quadro palmi 0,4 lasciando gli spazi tra gli stessi di palmi 5 in quadro... compreso ammicciatura, chiodi ed i quadri col corrente agli angoli delle riquadrature... fabbrica di mattoni da eseguirsi nei spazi del descritto armaggio di listoni per le intelajate...»*²¹³.

Di seguito si riporta un quadro sinottico delle diverse tipologie di apparecchiature murarie di cui si è appena detto con supporti grafici e fotografici.

²¹² Ve ne sono esempi nelle campagne di S. Marco Argentano (CS).

²¹³ A.S.CS. Corpo degli Ingegneri di ponti e strade, B. 41, F. 25g.

1. Paramento murario in blocchi di pietra a faccia vista:
 - Blocchi di Arenaria;
 - Blocchi di Pietra Calcareo;
 - Blocchi di Tufo (Campania, Sicilia);
2. Paramento murario misto in pietra:
 - a. Ciottoli di fiume;
 - b. Pietra sbazzata di cava;
3. Paramento murario misto in pietra e laterizio :
 - a. Disomogeneo in ciottoli o pietra sbazzata di cava con rinzeppo in laterizio;
 - b. Listato;
 - c. Con fodere di mattoni;
4. Paramento murario a sacco:
 - Con diatoni trasversali;
 - Senza diatoni trasversali;
5. Paramento murario in mattoni pieni;
6. Paramento murario in mattoni crudi o terra cruda;
7. Muro baraccato.



1.



2.a.



2.b.



3.a.



3.b.



3.c.

Alternative tecniche comuni nel costruito storico per le strutture di elevazione.

All'interno delle strutture portanti in elevazione, poi, particolare importanza assumono, le soluzioni adottate nei cantonali che assolvono funzione di collegamento e di irrigidimento della struttura di fondamentale importanza per la risposta della stessa al sisma. Per via dell'importante ruolo rivestito, ai cantonali è, di solito, riservata un'attenzione costruttiva maggiore, che comporta la messa in opera di elementi lapidei più grandi, lavorati più accuratamente e con proprietà meccaniche migliori. A volte il cantonale, enfatizzato, diviene a pieno titolo un elemento del lessico formale e connota l'impaginato architettonico dei fronti.



Particolari di alcuni cantonali: soluzioni tecnologiche, materiche e decorative.

Oltre alle strutture di fondazione e alle partizioni verticali, ruolo preponderante assumono, nelle costruzioni murarie, le strutture orizzontali, sia quelle interne, cioè i solai di piano, che quelle esterne di copertura.

I primi, per materiali e tecniche costruttive, possono classificarsi in

solai lignei (a semplice o doppia orditura) e in solai misti in ferro-laterizio (in putrelle e tavelloni oppure in putrelle e voltine realizzate con mattoni in foglio); quest'ultimi impiegati a partire dall'Ottocento, ovvero dopo l'industrializzazione e l'inizio dell'impiego del ferro nelle costruzioni²¹⁴.

Non è raro, però, riscontrare, all'interno dei centri storici, soprattutto negli edifici nobiliari e in contesti più ricchi, solai voltati che possono distinguersi in volte strutturali, se realizzate in pietra o in mattoni posti di taglio, oppure in finte volte leggere se realizzate con mattoni in foglio o con la tecnica dell'*incannucciato*²¹⁵. Già conosciuta dagli Etruschi e molto utilizzata nel Meridione d'Italia sicuramente fino a metà Ottocento, ha origine dall'*Opus craticium*, cioè un telaio ligneo autoportante i cui riquadri sono tamponati con materiali di diversa natura a secondo delle risorse disponibili.

Quando il tamponamento è costituito da un impasto di argilla cruda sgrassata da paglia, steso su un micro telaio formato da canne intrecciate, si definisce *incannucciato*²¹⁶. Tali strutture, inoltre, per le ottime capacità termiche, di leggerezza e flessibilità, si riscontrano utilizzate, molto spesso, non solo per gli elementi di partitura orizzontali ma, anche, per la realizzazione di setti di divisione interna e, a volte, di paramenti esterni.

Di seguito un riassunto delle tipologie di solai finora viste raggruppate per tipologie e documentate con esempi grafici e fotografici.

²¹⁴ Tale tecnologia costruttiva viene impiegata fino ai primi del novecento con l'aggiunta della soletta cementizia.

²¹⁵ Anche chiamato *camorcanna*.

²¹⁶ Nel contesto Cosentino se ne trova riscontro nei documenti d'archivio sui danni del sisma del 1854 in cui è spesso riportata la dicitura «Costruzione della volta a botte eseguita a telaio da impostarsi sui rinfianchi esistenti nell'antica volta con telaio di legname di castagno».

1. Solai lignei:

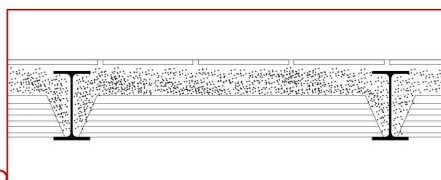
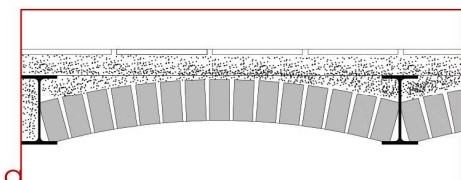
- A semplice orditura;
- A doppia orditura;

2. Solai misti ferro- laterizio:

- 2.a. In putrelle e tavelloni;
- 2.b. In putrelle e voltine;

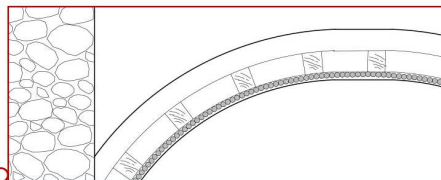
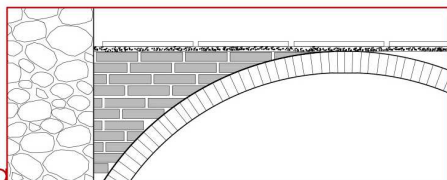
3. Solai voltati:

- 3.a. Strutturali (in pietra o in mattoni posti di taglio);
- 3.b. Non strutturali (in mattoni in foglio, in incannucciato);



2.a

2.b



3.a

3.b



1. In legno a semplice orditura 1. In legno a doppia orditura



2.a

2.b



3.a Volte in mattoni di taglio



3.a Volte in blocchi di pietra



3.a Volte in pietrame misto



3.b Volte in mattoni in foglio



3.b Incannucciato

Alternative tecniche comuni nel costruito storico per le partizioni orizzontali interne.

Infine, nell'analisi degli elementi tecnologici che compongono l'edificio, assumono rilevanza anche le strutture di copertura, solitamente realizzate con strutture spingenti o, nei contesti più ricchi, con capriate lignee.

Il tetto è un elemento della massima importanza per garantire la buona conservazione di tutto l'edificio. Esso, infatti, protegge le facciate dalle azioni meteorologiche e, dunque, dalle infiltrazioni e dallo scolo di acque piovane sui muri d'ambito. È la parte che per prima soffre della mancanza di manutenzione; un'infiltrazione d'acqua porta ad un progressivo degrado strutturale, con deformazioni e collassi dapprima locali e, poi, globali.

Inoltre, la connessione tra la copertura e le pareti sommitali è fondamentale. Se le travi non sono adeguatamente vincolate ingenerano spinte localizzate e elevate tensioni sulle murature che tenderanno a ribaltare verso l'esterno.



Tetto spingente



Capriata

Alternative tecniche comuni nel costruito storico per le partizioni orizzontali esterne.

Al fine di ottenere un'accurata conoscenza del bene e del comportamento meccanico, oltre all'anamnesi delle tecniche costruttive e delle tipologie di elementi tecnologici messi in opera, però, è necessaria una **caratterizzazione meccanica dei materiali** impiegati e un'**analisi del comportamento degli elementi portanti**.

Partendo dalle fondazioni, la configurazione “povera” di tale elemento tecnologico negli edifici storici fa sì che raramente esse possano considerarsi strutture distinte. La tecnica più diffusa, come visto, consiste nella continuazione dei muri perimetrali al di sotto del terreno che conferisce il grado di vincolo incastro.

Lo stato delle fondazioni è raramente la sola o la principale causa dei dissesti. Se non intervengono cause che modificano lo stato di sollecitazione o le caratteristiche del terreno²¹⁷, in genere non

²¹⁷ Si ricorda che ristrutturazioni, cambi di destinazione d'uso, sopraelevazioni o cause esterne quali gli eventi sismici o le sollecitazioni dinamiche del traffico o variazioni dello stato del sottosuolo comportano spesso modificazioni all'equilibrio globale che si forma nel sistema struttura-fondazione-terreno con l'effetto di provocare stati di sollecitazione che possono generare cedimenti.

subiscono nel tempo decadimento delle caratteristiche di resistenza. Il comportamento è ancor più invariato nel caso di edifici che poggiano su roccia affiorante che raramente, anche in caso di sisma, subiscono cedimenti.

Più complesso appare, invece, lo studio delle strutture in elevazione che, per la varietà tipologica ampia e non sempre catalogabile a causa delle differenze locali, presentano caratteristiche meccaniche e risposte alle sollecitazioni spesso molto differenti.

La muratura è un materiale composito, anisotropo, con resistenza a trazione quasi nulla e la cui resistenza, in genere, dipende, non solo, dall'entità dei carichi ma, anche, dalla loro direzione.

Dal punto di vista statico, la funzione principale delle murature portanti è quella di trasmettere i carichi trasferiti dai solai al terreno. Sono, perciò, strutture resistenti per massa il cui comportamento è, principalmente, di due tipi: di schiacciamento per pressione eccentrica (nelle strutture tozze) e per sovraccarico localizzato o per peso proprio (nelle strutture snelle) oppure di pressoflessione e carico di punta, comportamento tipico nei soli elementi snelli.

Dal punto di vista del comportamento di un pannello murario alle sollecitazioni sismiche, invece, la risposta che si può avere è nel piano del pannello, ovvero a taglio, oppure fuori dal piano.

Nella risposta del pannello alle sollecitazioni, soprattutto a quelle che ricadono nel piano della parete (secondo la direzione verticale o orizzontale) rilevante importanza assumono le caratteristiche meccaniche proprie della muratura derivanti dai materiali e dalla tipologia di messa in opera.

Se si dispone di una conoscenza limitata del bene e non si ha la possibilità di eseguire prove e analisi approfondite, la NTC 2008²¹⁸

²¹⁸ MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI, *Istruzioni per l'applicazione delle «Nuove norme tecniche per le costruzioni» di cui al D.M. 14 gennaio 2008. Circolare n. 617. S.O. n. 27 alla Gazzetta Ufficiale n. 47 del 26 febbraio 2009, pp. 402-406.*

fornisce i parametri meccanici per le tipologie di murature più diffuse sul territorio Nazionale: i valori minimi e massimi del modulo elastico normale (E), del modulo elastico tangenziale (G), della resistenza a compressione (f_m), della resistenza a taglio (τ_0) ed il valore medio del peso specifico (w). Tali valori (relativamente alle prime sei tipologie) sono da riferirsi a condizioni di muratura con malta scadente, giunti non particolarmente sottili e in assenza di ricorsi o listature. Inoltre si assume che manchino sistematici elementi di connessione trasversale (o di ammorsamento per ingranamento tra i paramenti murari).

Tipologia di muratura	f_m	τ_0	E	G	w
	(N/cm ²)	(N/cm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	
	Min-max	min-max	min-max	min-max	
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	100	2,0	690	230	19
	180	3,2	1050	350	
Muratura a conci sbozzati, con paramento di limitato spessore e nucleo interno	200	3,5	1020	340	20
	300	5,1	1440	480	
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	260	5,6	1500	500	21
	380	7,4	1980	660	
Muratura a conci di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)	140	2,8	900	300	16
	240	4,2	1260	420	
Muratura a blocchi lapidei squadrati	600	9,0	2400	780	22
	800	12,0	3200	940	
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	240	6,0	1200	400	18
	400	9,2	1800	600	
Muratura in mattoni semipieni con malta cementizia (es.: doppio UNI foratura $\leq 40\%$)	500	24	3500	875	15
	800	32	5600	1400	
Muratura in blocchi laterizi semipieni (perc. foratura < 45%)	400	30,0	3600	1080	12
	600	40,0	5400	1620	
Muratura in blocchi laterizi semipieni, con giunti verticali a secco (perc. foratura < 45%)	300	10,0	2700	810	11
	400	13,0	3600	1080	
Muratura in blocchi di calcestruzzo o argilla espansa (perc. foratura tra 45% e 65%)	150	9,5	1200	300	12
	200	12,5	1600	400	
Muratura in blocchi di calcestruzzo semipieni (foratura < 45%)	300	18,0	2400	600	14
	440	24,0	3520	880	

Valori di riferimento dei parametri meccanici (minimi e massimi) e peso specifico medio per diverse tipologie di muratura riportati nella tab. C8A.2.1 della NTC 2008.

Nel caso in cui la muratura presenti proprietà migliori rispetto ai suddetti elementi di valutazione, le caratteristiche meccaniche saranno ottenute, a partire dai valori della Tabella C8A.2.1, applicando coefficienti migliorativi indicati nella Tabella C8A.2.2

Tipologia di muratura	Malta buona	Giunti sottili (<10 mm)	Ricorsi o listature	Connessione trasversale	Nucleo scadente e/o ampio	Iniezione di Miscela leganti	Intonaco armato ¹
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	1,5	-	1,3	1,5	0,9	2	2,5
Muratura a conci sbazzati, con parametro di limitato spessore e nucleo interno	1,4	1,2	1,2	1,5	0,8	1,7	2
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	1,3	-	1,1	1,3	0,8	1,5	1,5
Muratura a conci di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)	1,5	1,5	-	1,5	0,9	1,7	2
Muratura a blocchi lapidei squadriati	1,2	1,2	-	1,2	0,7	1,2	1,2
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	1,5	1,5	-	1,3	0,7	1,5	1,5

Coefficienti correttivi dei parametri meccanici indicati in tab. C8A.2.2.

La Normativa, poi, in base ai Livelli di Conoscenza, chiarisce a quali valori della Tabella C8A.2.1 fare riferimento (se i valori minimi, medi o massimi) e, inoltre, specifica a quali parametri (di resistenza o moduli elastici) applicare i coefficienti correttivi della Tabella C8A.2.2.

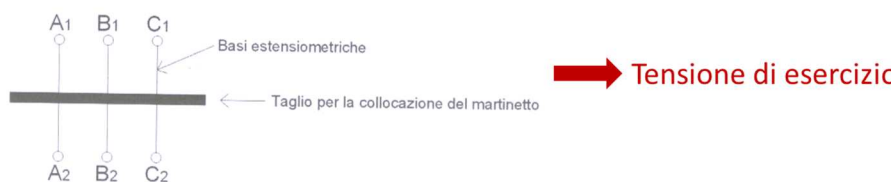
Livello di Conoscenza	Geometria	Dettagli costruttivi	Proprietà dei materiali	Metodi di analisi	FC
LC1	Rilievo muratura, volte, solai, scale. Individuazione carichi gravanti su ogni elemento di parete Individuazione tipologia fondazioni. Rilievo eventuale quadro fessurativo e deformativo	verifiche in situ limitate	Indagini in situ limitate Resistenza: valore minimo di Tabella C8A.2.1 Modulo elastico: valore medio intervallo di Tabella C8A.2.1	Tutti	1,35
LC2			Indagini in situ estese Resistenza: valore medio intervallo di Tabella C8A.2.1 Modulo elastico: media delle prove o valore medio intervallo di Tabella C8A.2.1		1,20
LC3		verifiche in situ estese ed esaustive	Indagini in situ esaustive - caso a) (disponibili 3 o più valori sperimentali di resistenza) Resistenza: media dei risultati delle prove Modulo elastico: media delle prove o valore medio intervallo di Tabella C8A.2.1 - caso b) (disponibili 2 valori sperimentali di resistenza) Resistenza: se valore medio sperimentale compreso in intervallo di Tabella C8A.2.1, valore medio dell'intervallo di Tabella C8A.2.1; se valore medio sperimentale maggiore di estremo superiore intervallo, quest'ultimo; se valore medio sperimentale inferiore al minimo dell'intervallo, valore medio sperimentale. Modulo elastico: come LC3 – caso a). - caso c) (disponibile 1 valore sperimentale di resistenza) Resistenza: se valore sperimentale compreso in intervallo di Tabella C8A.2.1, oppure superiore, valore medio dell'intervallo; se valore sperimentale inferiore al minimo dell'intervallo, valore sperimentale. Modulo elastico: come LC3 – caso a).		1,00

Livelli di conoscenza e fattori di confidenza per edifici in muratura riportati in tab. C8A.1.1 della NTC 2008.

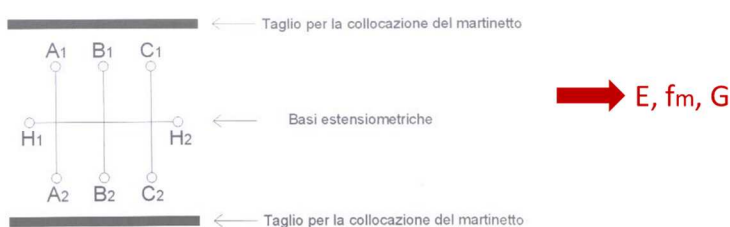
Una conoscenza più approfondita, sempre auspicabile, si ottiene, invece, effettuando prove di caratterizzazione meccanica. Nel caso delle murature quella maggiormente utilizzata, soprattutto perché realizzabile *in situ*, è la prova semi-distruttiva con martinetti

piatti²¹⁹. La prova può essere svolta con uno o due martinetti. Con uno solo (fase 1) è possibile definire la sola tensione di esercizio, mentre con due martinetti (fase 2 e 3) si possono determinare tutte le caratteristiche meccaniche della muratura.

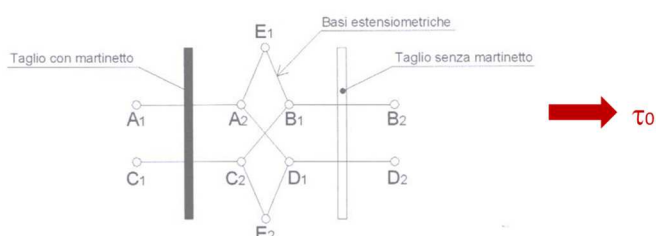
I fase



II fase



III fase



Prove sperimentali con i martinetti piatti: fasi della prova e risultati ottenuti.

L'individuazione delle caratteristiche meccaniche della muratura, il più rispondente possibile alla realtà è un presupposto fondamentale per la corretta modellazione. La sperimentazione numerica condotta (si veda §3.4 del seguente capitolo) su una semplice struttura ad un piano, regolare e simmetrica in pianta (così da evitare l'ingenerarsi di effetti dovuti a rigidzze e geometrie differenti) ha evidenziato, infatti, sensibili variazioni dell'indice di vulnerabilità (α), dato dal rapporto tra la capacità della struttura e

²¹⁹ VINCI M., *Metodi di calcolo e tecniche di consolidamento per edifici in muratura. Analisi-Esempi di calcolo-Particolari costruttivi*. Dario Flaccovio Editore, Palermo, 2012, pp. 35-49.

la domanda, con riferimento al parametro spostamento, al solo variare delle caratteristiche meccaniche e della tipologia della muratura.

Tipo	Dir. sisma	Carico sismico proporzionale	Dmax SLV [cm]	Du SLV [cm]	α SLV	α SLD	α SLO
MURATURA IN MATTONI	+X	Masse	0,33	1,2	1,787	1,916	2,501
	+X	1° modo	0,33	1,2	1,787	1,916	2,501
	-X	Masse	0,33	1,2	1,787	1,916	2,501
	-X	1° modo	0,33	1,2	1,787	1,916	2,501
	+Y	Masse	0,33	1,2	1,785	1,912	2,495
	+Y	1° modo	0,33	1,2	1,785	1,912	2,495
	-Y	Masse	0,33	1,2	1,785	1,912	2,495
	-Y	1° modo	0,33	1,2	1,785	1,912	2,495
MURATURA DISORDINATA	+X	Masse	1,14	1,2	1,023	1,749	2,139
	+X	1° modo	1,14	1,2	1,023	0,89	1,159
	-X	Masse	1,14	1,2	1,023	1,622	2,139
	-X	1° modo	1,14	1,2	1,023	1,304	1,713
	+Y	Masse	1,14	1,2	1,021	0,793	1,03
	+Y	1° modo	1,14	1,2	1,021	1,461	1,924
	-Y	Masse	1,14	1,2	1,021	1,238	1,626
	-Y	1° modo	1,14	1,2	1,021	2,13	2,18
MURATURA A SACCO	+X	Masse	1,3	1,2	0,953	1,785	2,111
	+X	1° modo	1,3	1,2	0,953	1,983	2,111
	-X	Masse	1,3	1,2	0,953	1,958	2,078
	-X	1° modo	1,3	1,2	0,953	1,364	1,78
	+Y	Masse	1,3	1,2	0,953	1,883	2,109
	+Y	1° modo	1,3	1,2	0,953	1,957	2,109
	-Y	Masse	1,3	1,2	0,953	1,288	1,68
	-Y	1° modo	1,3	1,2	0,953	1,808	2,109

Confronto degli spostamenti e degli indici di vulnerabilità fra tre differenti tipologie di muratura.

Se per le strutture murarie si hanno indicazioni normative a cui far riferimento per la caratterizzazione muraria, differente è, invece, il caso delle partizioni orizzontali sia esterne che interne.

Quando i solai sono del tipo piano in legno, la difficoltà maggiore

è quella, innanzitutto, di verificare un reale comportamento a piastra dello stesso. Infatti, tendono a rilassarsi e a vibrare, soddisfacendo tale requisito solo se in presenza di un assito di tavole doppiamente ordito nelle due direzioni e con sezioni adeguate. Inoltre, la caratterizzazione meccanica del legno segue una iniziale individuazione della specie arborea messa in opera e, in tale fase, possono essere d'aiuto, oltre alle analisi di laboratorio e alle normative, quali la UNI 11118:2004²²⁰, i documenti d'archivio dai quali si traggono importanti note sui materiali da costruzione. Nota l'essenza arborea si possono ricavare i valori caratteristici dalla norma UNI-EN-338:2009²²¹ e, per il legno cresciuto in Italia, valgono le regole di classificazione e i profili prestazionali contenuti nella UNI 11035-2²²².

Classi di resistenza secondo EN 338, per legno di conifere e di pioppo

Valori di resistenza modulo elastico e massa volumica		C14	C16	C18	C20	C22	C24	C27	C30	C35	C40	C45	C50
Resistenze [MPa]													
flessione	$f_{m,k}$	14	16	18	20	22	24	27	30	35	40	45	50
trazione parallela alla fibratura	$f_{t0,k}$	8	10	11	12	13	14	16	18	21	24	27	30
trazione perpendicolare alla fibratura	$f_{t90,k}$	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
compressione parallela alla fibratura	$f_{c0,k}$	16	17	18	19	20	21	22	23	25	26	27	29
compressione perpendicolare alla fibratura	$f_{c90,k}$	2	2,2	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,1	3,2
taglio	$f_{v,k}$	3	3,2	3,4	3,6	3,8	4	4	4	4	4	4	4
Modulo elastico [GPa]													
modulo elastico medio parallelo alle fibre	$E_{0,mean}$	7	8	9	9,5	10	11	11,5	12	13	14	15	16
modulo elastico caratteristico parallelo alle fibre	$E_{0,05}$	4,7	5,4	6	6,4	6,7	7,4	7,7	8	8,7	9,4	10	10,7
modulo elastico medio perpendicolare alle fibre	$E_{90,mean}$	0,23	0,27	0,3	0,32	0,33	0,37	0,38	0,4	0,43	0,47	0,5	0,53
modulo di taglio medio	G_{rmean}	0,44	0,5	0,56	0,59	0,63	0,69	0,72	0,75	0,81	0,88	0,94	1
Massa volumica [kg/m³]													
massa volumica caratteristica	ρ_k	290	310	320	330	340	350	370	380	400	420	440	460
massa volumica media	ρ_m	350	370	380	390	410	420	450	460	480	500	520	550

Parametri di resistenza per legno di conifere e di pioppo riportati nella UNI EN 338:2016.

²²⁰ UNI 11118:2004, *Beni culturali-Manufatti lignei-Criteri per l'identificazione delle specie legnose*. 2004.

²²¹ UNI EN 338:2016 *Legno strutturale-Classi di resistenza*. 2016.

²²² UNI 11035-2, *Legno strutturale-Regole per la classificazione a vista secondo la resistenza e i valori caratteristici per i tipi di legname strutturale italiani*. 2010.

Essendo, poi, il legno un materiale facilmente deteriorabile, è essenziale, nell'attribuzione delle caratteristiche meccaniche, una verifica dello stato di degrado e di ammaloramento e della sua influenza sulla riduzione delle caratteristiche.

Nell'appendice D delle istruzioni CNR-DT 206 R1/2018²²³, a riguardo delle caratteristiche meccaniche del legno si specifica quanto segue: «Nei casi in cui lo stato di conservazione sia oggettivamente giudicato buono (limitato degrado biologico e meccanico), appare giustificato il ricorso a prove e criteri che possano consentire di stimare o misurare le effettive caratteristiche meccaniche degli elementi in esame... per la elaborazione di un corretto progetto di riabilitazione delle strutture».

Qualora i solai siano costruiti con putrelle e elementi di laterizio, invece, le caratteristiche meccaniche vanno associate all'ossatura portante, ovvero agli elementi in ferro. In tal caso, utili informazioni si possono trarre, soprattutto se trattasi di acciai del '900, dalle normative²²⁴, dai prontuari e dai manuali dell'epoca che restituiscono i valori di resistenza.

Diverso, infine, è il comportamento dei solai a struttura voltata che resistono più per forma che per massa. In tali casi, quindi, sono essenziali le caratteristiche dei materiali ma, anche, le linee geometriche messe in opera che rappresentano le direzioni preferenziali per le sollecitazioni.

²²³ CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE, *Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo delle Strutture di Legno*. 2018.

²²⁴ Per un confronto fra le diverse normative sugli acciai in Italia si veda: VERDERAME G. M., STELLA A., COSENZA E., *Mechanical properties of reinforcing steel adopted in R.C. structures in the age '60 (in Italian)*. Proceedings of the National ANIDIS Conference: Seismic Engineering in Italy, ANIDIS, Pisa, 2001, pp. 9-13.

3.3. Note sui presidi antisismici e sulle tecniche di consolidamento tra tradizione e innovazione ²²⁵

Per comprendere i principi costruttivi adottati dagli architetti e dai “mastri” dell'antichità è bene distinguere fra criteri costruttivi antisismici e presidi antisismici, per evitare di ridurre i principi generali della prevenzione sismica all'insieme di accorgimenti spesso adottati come interventi correttivi o di riparazione.

La prevenzione sismica, infatti, si attua a un livello superiore, attraverso scelte che riguardano la forma, le dimensioni e le proporzioni della costruzione, ovvero, la regola dell'arte (di cui si è detto precedentemente) e solo quando emergono carenze, originarie o sopraggiunte a causa di eventi calamitosi o per stato di vetustà, i presidi antisismici possono costituire rimedi risolutivi.

I **presidi antisismici** possono essere relativi alle modalità costruttive di un manufatto architettonico, essere cioè inseriti nella costruzione, ovvero riguardare la collocazione dell'edificio nel contesto ambientale. Possono, quindi, essere di tipo architettonico o di tipo urbanistico, cioè inerenti al disegno della città²²⁶.

Tra i presidi urbanistici rientrano certamente l'ampiezza delle sezioni delle strade, l'altezza dei fronti costruiti, la dislocazione degli spazi aperti; caratteristiche, queste, che verranno tutte considerate al fine della definizione di vulnerabilità complessiva proposta nella seguente tesi di dottorato.

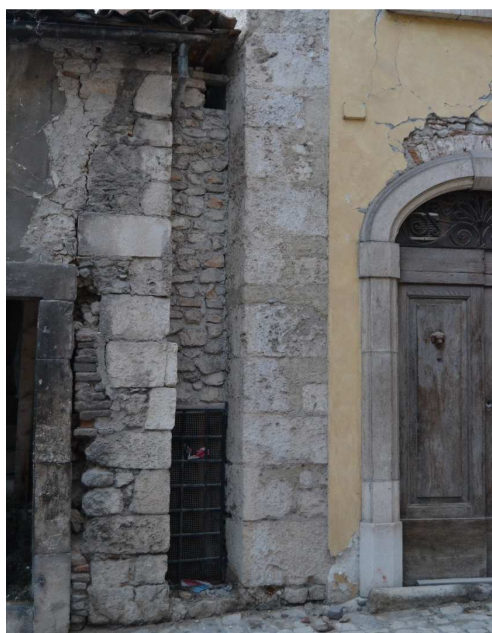
La necessità di strade ampie, per lo più rettilinee, non implica necessariamente che gli impianti più compatti, caratterizzati da

²²⁵ Quanto scritto nel presente paragrafo racchiude alcune riflessioni pubblicate in: BENCARDINO F., CASTIGLIONE F., *Materiali e tecniche tradizionali e innovative per la conservazione e la sicurezza strutturale dei nuclei antichi*, in Frega G. (a cura di), *Tecniche per la difesa dall'inquinamento*, Atti del 37° corso di aggiornamento, 15-18 giugno 2016, EdiBios, Cosenza, giugno 2016, pp. 491-504.

²²⁶ D'ANTONIO M., *Op. cit.* p. 37.

percorsi stretti e irregolari, non siano del tutto idonei dal punto di vista della sicurezza. Molti di essi, infatti, hanno sviluppato nel tempo accorgimenti antisismici a scala urbana. Tali presidi sono riconoscibili nelle intercapedini tra un edificio e l'altro²²⁷: le *rue* o *rughe*, utilizzate per lo smaltimento delle acque meteoriche che assolvono, anche, a funzioni statiche, configurandosi quali giunti tecnici di separazione fra costruzioni contigue.

Si possono ascrivere alla stessa tipologia di presidi, inoltre, gli archi o le volte soprastrada impiegati per collegare gli edifici e dare continuità alle volte presenti negli edifici ma, anche, per eliminare le spinte fra le facciate di edifici opposti.



Presidi antisismici urbani: *rue* e archi soprastrada.

Se da un lato, quindi, le maestranze del passato cercavano di perseguire regole nella definizione del rapporto edificio-urbano, dall'altro sviluppavano tecniche antisismiche in relazione al contesto geografico e alle materie prime reperibili nonché

²²⁷ Con principale riferimento alle cortine edilizie di case a schiera.

all'esperienza corroborata dagli eventi sismici passati. In tal senso si può evidenziare come in aree ad alta sismicità, caratterizzate dalla possibilità di terremoti violenti e significativi con una certa frequenza, l'esperienza ha portato a mettere a punto soluzioni costruttive efficaci per la riduzione della vulnerabilità, che diventano parte integrante delle regole di esecuzione.

Tra i presidi antisismici costruttivi, oltre agli accorgimenti suggeriti dalla regola dell'arte, si possono annoverare: il rinforzo delle strutture verticali con elementi in muratura (speroni, muri a scarpa, contrafforti); l'utilizzo di elementi resistenti a trazione (catene, radicamenti, cerchiature, tirantature); l'incatenatura dei solai o delle capriate alle pareti perimetrali; l'impiego del legno.

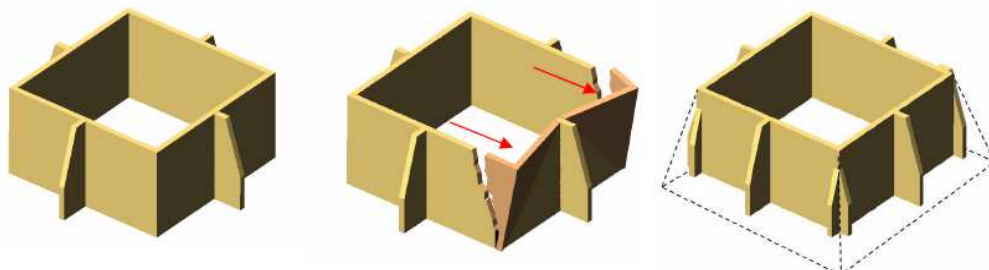
Fra i primi presidi adottati nel tempo vi sono i rinforzi con elementi in muratura. I muri a scarpa al pari dei contrafforti e degli speroni, impediscono la rotazione delle facciate e correggono gli evidenti fuori piombo; mentre, nel caso degli edifici in pendio, evitano lo scivolamento rendendone più solida la base.



Esempi di contrafforti e muri a scarpa.

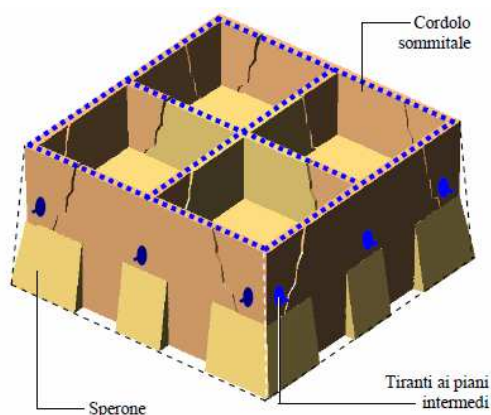
Il comportamento di tali elementi permette di riprodurre un modello troncopiramidale, all'esterno della fabbrica in sostituzione del

nucleo interno. Speroni e contrafforti derivano pertanto da un modello elementare che è indice di stabilità e di sicurezza²²⁸.



Consolidamento di strutture a maglia unica mediante l'applicazione di contrafforti e speroni esterni, per riprodurre lo schema troncopiramidale all'esterno della costruzione in assenza del nucleo interno (da CANGI A., *op. cit.*).

Nel tempo, per l'impossibilità di estendere la base degli speroni compatibilmente con la sezione stradale, si ha l'introduzione di elementi di trattenuta ai piani intermedi e sommitali. Vengono, così, introdotti nella pratica costruttiva una serie di presidi atti a contrastare le spinte e a resistere a trazione.



Speroni applicati all'esterno di costruzioni: l'impossibilità di estenderne la base impone l'applicazione di elementi di trattenuta ai piani intermedi e sommitali, dove gli speroni non producono effetti stabilizzanti (da CANGI A., *op. cit.*).

Radicamenti, cerchiature, tirantature e catene sono elementi già utilizzati nel Quattrocento e realizzati inizialmente in legno; nel

²²⁸ Si veda CANGI G., *Tecniche antisismiche nell'antichità*, in CENTRONI A., FILETICI M.G., *Attualità delle aree archeologiche-Esperienze e proposte*. Pubblicazione atti del VII Convegno Nazionale ARCo 2013, Cangemi Editore, Roma, 2014.

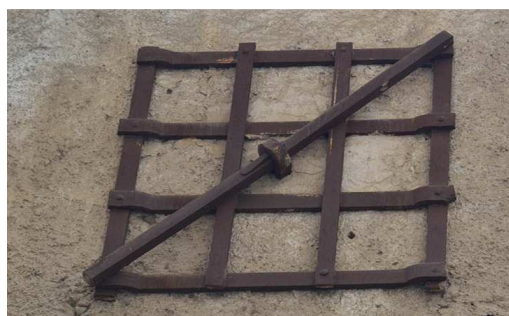
Settecento si affiancano le nuove tecnologie in ferro.

La tecnica dei radicamenti, travature lignee inserite longitudinalmente nello spessore dei muri, al fine di creare una struttura resistente collegata e scatolare al pari di un cordolo, appare molto antica: fu sviluppata nel Medioevo e se ne riscontrano testimonianze nei trattati di Viollet-le-Duc. Tale tecnica, poi, viene migliorata tramite l'inserimento di connessioni fra le travi ortogonali realizzate con chiodature o zanche di ferro.

Sempre fra i presidi antisismici resistenti a trazione si possono annoverare, infine, le cerchiature utilizzate principalmente nei tamburi delle cupole delle chiese²²⁹.

Tiranti in legno e quelli più moderni in ferro furono impiegati, poi, negli edifici con la funzione di collegare i muri paralleli. Nella maggior parte dei centri storici italiani tale presidio è ampiamente diffuso e, ancora oggi, continua a essere privilegiato quale tecnica antisismica tradizionale anche nelle mense in sicurezza.

L'evoluzione della tecnica ha portato, inoltre, all'utilizzo di differenti tipologie di bolzoni: da quelli semplici a paletto, a quelli finemente decorati, fino a quelli con elementi di ripartizione oppure ai più recenti a piastra.



²²⁹ Si ricordano le cerchiature lignee trovate nella cupola di S. Bernardino all'Aquila (AQ) ovvero in quella delle Anime Sante. Bossi M. B., *La Basilica di San Bernardino all'Aquila. Cronaca della messa in sicurezza e del restauro del tamburo e della chiesa*. Verdone Editore, Castelli, 2012.



Varietà di capochiavi nel centro storico di Cosenza (CS).

Uguale tecnologie, applicate però ai solai e ai tetti, assolvono, invece, la finalità di connetterli ai muri d'ambito così da implementarne il comportamento scatolare e, anche, evitarne lo sfilamento in caso di sisma. Si annovera, fra tali presidi antisismici, la tecnica della capriata *impalettata* o *inchiavardata*, utilizzata quale soluzione statica ai tetti spingenti. La problematica delle spinte dei puntoni che, molto spesso, provoca quadri fessurativi nelle semplici condizioni di esercizio, fu sapientemente arginata nei secoli con l'utilizzo di capriate la cui catena viene ancorata alla muratura tramite bolzoni lignei o metallici. La struttura di copertura, così realizzata, combina, alla staticità dello schema reticolare, la funzione di tirantatura dell'elemento catena che, collegando le pareti parallele, ne evita lo sfilamento rendendo sincrone le oscillazioni dei due maschi murari.



Capriate *impalettate* nel contesto aquilano (Paganica-AQ).

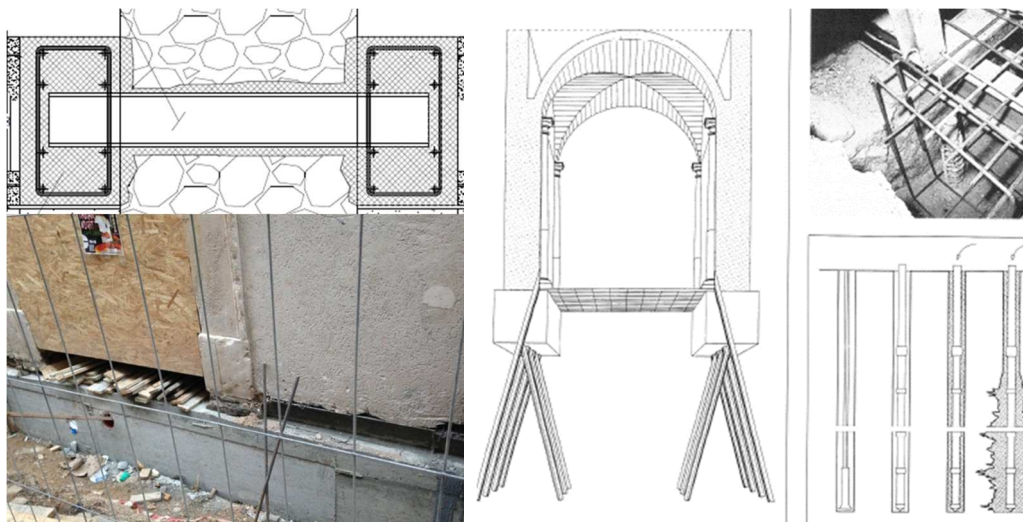
L'uso del legno quale elemento di presidio antisismico, anticipa, la dottrina della *casa baraccata*. Con tale tipologia costruttiva l'utilizzo del legno quale materiale costruttivo raggiungerà il suo massimo apice, divenendo parte integrante e portante della muratura.

Ai presidi antisismici antichi, primitive tecniche di consolidamento, sono seguite evoluzioni che hanno portato a sviluppare tecniche di intervento sempre più all'avanguardia.

Seguendo quanto incoraggiato dalle Linee Guida MiBACT²³⁰ si vuole effettuare, a seguire, una catalogazione ragionata delle **tecniche tradizionali di consolidamento**.

I provvedimenti maggiormente impiegati per il potenziamento delle fondazioni afferiscono, principalmente, a tre tipologie: allargamento alla base con travi in cemento armato e cordoli di collegamento; inserimento di micropali profondi (intervento applicabile nei terreni incoerenti); consolidamento del terreno fondale. Particolare attenzione deve essere data, in fase di esecuzione, al collegamento fra le travi di fondazione e le murature.

²³⁰ MINISTERO DEI BENI E DELLE ATTIVITÀ CULTURALI E DEL TURISMO, *Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale allineate alle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 14 gennaio 2008)*.2010.



Consolidamento delle fondazioni: realizzazione della trave (a sinistra) e Inserimento di micropali (a destra).

Così come numerose sono le tipologie costruttive per la realizzazione delle murature portanti, allo stesso modo variegata sono le tipologie di intervento. Si annoverano, fra queste: la ristilatura dei giunti; la tecnica dello scuci e cuci per risarcire le lesioni; le iniezioni di malta armate o non; l'inserimento di tiranti; la realizzazione di cordoli di sommità; l'intonaco armato. Gli interventi devono essere vagliati in base alla tipologia di muratura: una ristilatura ha senso solo nel caso di partiti murari regolari; l'intonaco armato, di contro, meglio si confà alle murature disordinate.

Al fine di rendere compatibili gli interventi, è auspicabile l'utilizzo di leganti a base calce, e non cementizia, chimicamente conciliabili con le malte antiche²³¹.

²³¹ Si ricordano, fra le analisi di individuazione chimica delle malte, l'analisi granulometrica (mediante staccatura) e la termogravimetrica; fra le analisi di caratterizzazione meccanica delle malte in laboratorio la prova di compressione e quella di flessione oppure l'utilizzo della tecnica NDT *in situ* ovvero la Pistola di Windsor per giunti di malta. Norme di riferimento sono: UNI 10924:2001 *Beni culturali-Malte per elementi costruttivi e decorativi-Classificazione e terminologia*; UNI 11088:2003 *Beni culturali-Caratterizzazione chimica di una malta-Determinazione del contenuto di aggregato siliceo e di alcune specie solubili*; UNI 11089:2003 *Beni culturali-Stima della composizione di alcune tipologie di*

Particolare attenzione, infine, deve porsi all'impiego dell'intonaco armato e dei cordoli di sommità. Sebbene le normative e le linee guida ne consentano l'utilizzo, la prima tecnica risulta invasiva e non applicabile nel caso di partiti murari antichi da lasciare a vista, o di intonaci storici.

Per quanto concerne i cordoli di sommità, invece, sono da preferirsi quelli in muratura armata ben connessi ai muri sottostanti: grazie a un nucleo interno di cemento armato ridotto, assolvono alle stesse funzioni di quello interamente in conglomerato cementizio ma con pesi, rigidità e sezioni minori.

	Tipologia di muratura	Malta buona
	Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	1,5
	Muratura a conci sbozzati, con parametro di limitato spessore e	1,4
	Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	1,3
	Muratura a conci di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)	1,5
	Muratura a blocchi lapidei quadrati	1,2
	Muratura in mattoni pieni e malta di calce	1,5

Ristilatura dei giunti: tecnica di messa in opera (a sinistra) e coefficienti correttivi proposti dalla NTC 2008 (a destra).

	Tipologia di muratura	Intonaco armato *
	Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	2,5
	Muratura a conci sbozzati, con parametro di limitato spessore e	2
	Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	1,5
	Muratura a conci di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)	2
	Muratura a blocchi lapidei quadrati	1,2
	Muratura in mattoni pieni e malta di calce	1,5

Intonaco armato: tecnica di messa in opera (a sinistra) e coefficienti correttivi proposti dalla NTC 2008 (a destra).

malte; UNI 11139:2004 Beni culturali-Determinazione del contenuto di calce libera e di magnesia libera; UNI EN 1015:2007 Metodi di prova per malte per opere murarie.



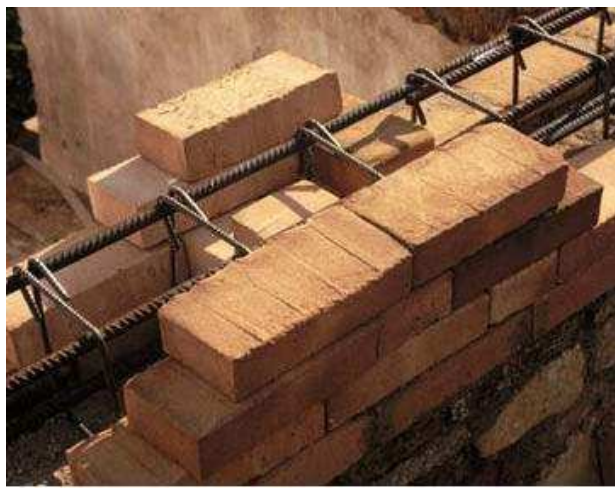
Tipologia di muratura	Iniezioni di miscele leganti
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	2
Muratura a conci sbozzati, con parametro di limitato spessore e	1,7
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	1,5
Muratura a conci di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)	1,7
Muratura a blocchi lapidei squadrati	1,2
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	1,5

Iniezioni di malta: tecnica di messa in opera (a sinistra) e coefficienti correttivi proposti dalla NTC 2008 (a destra).



Tipologia di muratura	Connessione trasversale
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	1,5
Muratura a conci sbozzati, con parametro di limitato spessore e	1,5
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	1,3
Muratura a conci di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)	1,5
Muratura a blocchi lapidei squadrati	1,2
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	1,3

Inserimento di tiranti: tecnica di messa in opera (a sinistra) e coefficienti correttivi proposti dalla NTC 2008 (a destra).

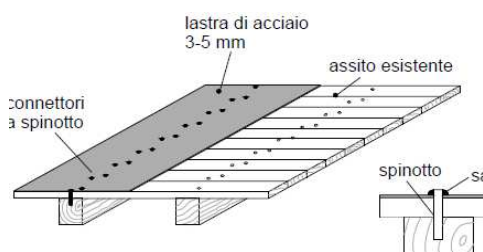
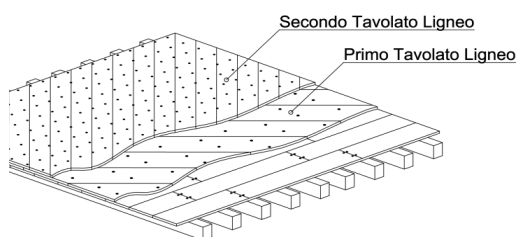


Tecniche di consolidamento dei paramenti murari: scuci e cuci (a sinistra) e cordolo in muratura armata di sommità (a destra).

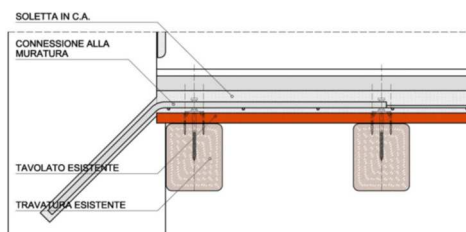
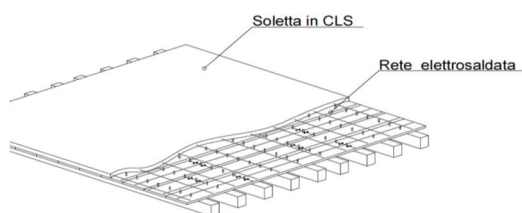
Fra gli interventi tradizionali volti a ridurre l'eccessiva deformabilità dei solai e la carenza delle connessioni con i muri d'ambito, invece, si annoverano: la sostituzione delle teste delle travi ammalorate con elementi in legno di essenze arboree simili o di lamellare; il rinforzo e ripristino della sezione resistente della trave, eventualmente assottigliata per l'attacco di insetti xilofagi; l'irrigidimento all'estradosso tramite l'inserimento di un secondo tavolato, oppure di bande metalliche all'intradosso; l'irrigidimento all'estradosso tramite inserimento di soletta collaborante in calcestruzzo alleggerito (cappatura) collegata ai muri d'ambito con connettori d'acciaio; la realizzazione di cordoli di piano.



Recupero dei solai: sostituzione delle teste delle travi (a sinistra) e ripristino della sezione resistente (a destra).



Irrigidimento dei solai: con doppio tavolato (a sinistra) e con bande metalliche (a destra).



Irrigidimento dei solai con soletta collaborante. A destra particolare dell'ancoraggio ai muri.

Qualora le strutture di partizione orizzontale interna siano voltate, le tecniche tradizionali di consolidamento prevedono: l'inserimento di frenelli, di rinfianchi e riempimenti alleggeriti; le iniezioni di malte nella volta o nei rinfianchi; l'inserimento di cappatura alleggerita; la collocazione di tirantatura metallica; la ricomposizione degli incannucciati. Anche in questo caso, al fine di garantire le caratteristiche di compatibilità e reversibilità, particolare cura si deve riservare alla scelta delle malte e dei calcestruzzi per la cappatura, da preferirsi alleggeriti per non incrementare i carichi gravanti sulla struttura. La tipologia tecnologica prescelta, inoltre, dovrà tenere conto della presenza di eventuali apparati decorativi all'intradosso che comportano la possibilità di intervenire unicamente dall'estradosso, la necessità di interrompere le microiniezioni qualche centimetro prima del substrato pittorico e l'utilizzo di pressioni di iniezioni controllate.

La sostituzione di riempimenti pesanti con frenelli e rinfianchi cellulari, invece, comporta una maggiore leggerezza e stabilità della struttura voltata, grazie alla riduzione delle componenti di spinta che vengono a gravare sulle masse murarie di spalla della volta.

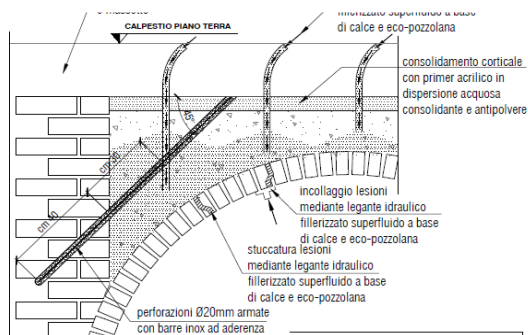
Se efficacemente vincolati alla volta, i frenelli, inoltre, riducono la possibilità di deformazione della struttura, trasformando le volte in soole curve nervate. Tale tecnica di consolidamento, però, è applicabile esclusivamente qualora la volta conservi una stabilità sufficiente e presenti limitate deformazioni della sezione: questo perché il minor carico permanente rende la struttura maggiormente sensibile a quelli accidentali²³².

²³² BORRI A. (Direttore scientifico), DONÀ C., DE MARIA A. (a cura di), *Manuale delle murature storiche*. Volume II. D.E.I. Tipografia del Genio Civile, Roma, 2011, p. 314.

178 Verso la definizione della vulnerabilità urbana dei nuclei consolidati: un approccio metodologico per la sua indicizzazione



Recupero dei solai voltati: inserimento frenelli (a sinistra) e iniezioni dall'intradosso (a destra).



Recupero dei solai voltati: cattura dall'estradosso (a sinistra) e inserimento di catene (a destra).

Per quanto riguarda il consolidamento delle strutture di copertura mediante sistemi tradizionali, infine, si deve far riferimento agli interventi riguardanti la sostituzione delle teste delle travi negli appoggi o il collegamento e il rinforzo degli elementi tramite l'inserimento di fasce, grappe e piastre metalliche.

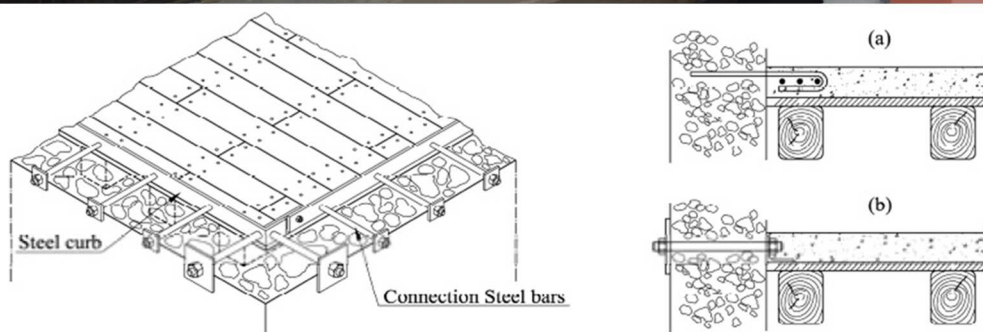


Recupero delle capriate: sostituzione delle teste travi (a sinistra) e inserimento delle fasce in acciaio (a destra).

Le **tecniche di consolidamento innovative**, invece, si differenziano dalle precedenti principalmente per l'impiego di materiali di nuova generazione e leggeri, pur utilizzando le stesse logiche e modalità d'intervento tradizionali²³³.

Fra questi, l'acciaio, e in particolare quello inox, ha permesso di sviluppare tecnologie innovative tra le quali, per esempio, la realizzazione dei cordoli di piano che, costruiti con piatti o profili connessi ai paramenti, talvolta controventati, forniscono una certa rigidezza flessionale fuori dal piano della parete e ostacolano lo sviluppo di meccanismi di rottura delle fasce di piano.

Tale tecnologia è da preferirsi ai cordoli in breccia in c.a. evitando, non solo, il taglio delle murature per l'inserimento dello stesso ma, anche, di appesantire la struttura.



Inserimento cordoli in acciaio: esempio applicativo su un edificio in c.a. (in alto) e dettagli costruttivi (in basso).

²³³ LOMBARDO S., CHIOFALO T., *Manuale del rinforzo strutturale. Guida all'adeguamento sismico con sistemi compositi e tecniche tradizionali*. Dario Flaccovio Editore, Palermo, 2014.

Per quanto riguarda le pareti, poi, la tecnica più innovativa che prevede l'utilizzo di elementi metallici è, sicuramente, il metodo CAM (Cuciture Attive dei Manufatti)²³⁴ che realizza un reticolo tridimensionale di tirantature in tensione di nastri di acciaio, dello spessore di 1 mm, disposti lungo le pareti, sulle due facce e nella profondità, che, presollecitate singolarmente, avvolgono volumi limitati di struttura muraria. L'utilizzo di tale tecnologia costruttiva, dato il carattere invasivo e snaturante nei confronti delle murature antiche e del loro comportamento, è da valutarsi con attenzione.



Metodo CAM: intervento su una muratura (a sinistra) e particolare costruttivo (a destra).

Reversibile e poco invasivo è, invece, l'intervento sulle coperture realizzato con tiranti in acciaio tesi. Nel caso dei tetti spingenti, possono essere inseriti in sostituzione della catena; nel caso delle capriate, invece, i cavi possono essere disposti con configurazioni reticolari così da assorbire gli sforzi gravanti sugli elementi lignei²³⁵.

²³⁴ MARNETTO R., VARI A., LEONORI M., *Il sistema CAM. Cuciture Attive dei Manufatti*. Edizioni PRE progetti, Roma, 2014.

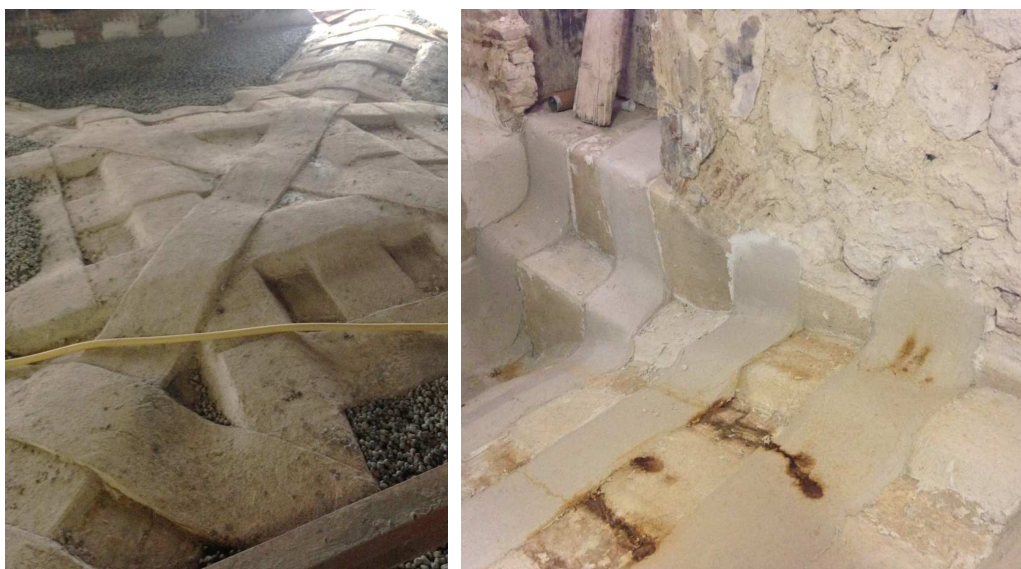
²³⁵ JURINA L., *Tecniche innovative nel consolidamento di capriate e solai in legno*. Proceedings of C.I.A.S. Evoluzione nella sperimentazione per le costruzioni, Crociera sul Mediterraneo, 26 settembre-3 ottobre 2004.



Recupero delle coperture con tiranti d'acciaio: intervento su una copertura (a sinistra) e particolare costruttivo (a destra).

Nel contesto tecnologico moderno, però, i materiali maggiormente innovativi sono quelli compositi a matrice organica/inorganica, di cui si approfondirà la trattazione nel paragrafo a seguire.

Gli elementi compositi, oggi, vengono utilizzati per i rinforzi in fasce, per l'inserimento di diatoni artificiali, per la realizzazione di connettori interni alla muratura o di giunzione fra elementi differenti, per la realizzazione di perforazioni armate (in sostituzione delle barre d'acciaio). Per assicurare quest'ultima caratteristica, un'accurata attenzione deve essere posta alla scelta della matrice.



Rinforzo dei solai voltati con fibre: applicazione delle fasce all'estradosso (a sinistra) e particolare del risvolto sulle murature d'ambito (a destra).

Sempre con i materiali compositi, infine, le “cerchiature esterne” sono realizzate tramite l’inserimento di piste sui maschi murari e sulle fasce di piano eventualmente connesse tramite elementi trasversali sfioccati²³⁶. La struttura reticolare, così ottenuta, permette un efficace collegamento tra murature ortogonali o nei martelli murari e incrementa le risposte degli elementi deboli. L’utilizzo di tale metodo di consolidamento, meno invasivo in quanto interessa aree meno estese, deve essere ben calibrato al fine di conseguire gli incrementi di resistenza effettivamente richiesti (pressoflessione, taglio, ecc..) e evitare l’insorgere di concentrazioni di tensioni in corrispondenza degli spigoli eliminabili, ad esempio, con opportuni elementi di ripartizione o con il loro smusso.



Realizzazione di cerchiature esterne: applicazione sull'intera facciata (a sinistra) e particolare costruttivo (a destra).

Le tecniche di consolidamento, tradizionali e innovative, appena viste, sono innumerevoli e in continua evoluzione.

Nell’ampia casistica disponibile, di cui si è detto, gli interventi sulle strutture sono da valutarsi nel quadro generale della conservazione

²³⁶ GIANNANTONI A., BORRI A., CASTORI G., GRAZINI A., *Miglioramento di un edificio storico con nastri SRG pretensionati*. Proceedings of XII Convegno Nazionale L’ingegneria Sismica in Italia, ANIDIS, Pisa, 10-14 giugno 2007.

del bene architettonico. La scelta della strategia e della tecnica d'intervento dipende dalla consapevolezza e dal livello di conoscenza raggiunto nella fase di analisi. L'obiettivo principale da perseguire è la conservazione, non solo, della materia ma anche del funzionamento strutturale.

«L'esigenza di conservazione del patrimonio edilizio storico impone che gli interventi diretti a garantire la sicurezza sismica degli edifici esistenti nei centri urbani mantengano, per quanto possibile, la natura originale della costruzione»²³⁷. Per tal motivo, come le Norme Tecniche raccomandano, gli interventi devono essere preferibilmente rivolti a parti del manufatto, contenendone l'estensione e il numero, evitando di alterare, in negativo, la distribuzione di massa e rigidità. L'intervento, inoltre, deve essere proporzionato agli obiettivi di sicurezza e durabilità, contenendo le azioni così da produrre il minimo impatto sul manufatto storico²³⁸.

La scelta fra le diverse alternative disponibili deve, innanzitutto, dipendere dagli obiettivi e dalle finalità che si vogliono raggiungere: la distinzione fra miglioramento e adeguamento, nonché fra interventi per contrastare i meccanismi nel piano o quelli fuori dal piano appare, in tal caso, fondamentale.

Ciascuna tecnica precedentemente vista, infatti, presuppone quadri fessurativi e vulnerabilità statiche e dinamiche differenti. In alcuni casi, poi, una stessa tecnica può avere valenza di consolidamento sia globale che locale a seconda della messa in opera per come visibile nel quadro sinottico riportato di seguito.

²³⁷ GIUFFRÈ A., *op. cit.*, p. 151.

²³⁸ Una manutenzione costante può, spesso, evitare crolli parziali e rappresenta, sicuramente, il primo atto di tutela del patrimonio culturale.

MECCANISMI NEL PIANO	MECCANISMI FUORI DAL PIANO
Ristilatura di giunti con malte compatibili	
Iniezioni di malta compatibile con o senza armatura	
Scuci e cuci	
Intonaco armato	Intonaco armato SE connesso ai muri perpendicolari
	Inserimento di tiranti
	Cordoli di sommità
Rinforzo maschi murari e fasce di piano con materiali compositi	Rinforzo maschi murari e fasce di piano con materiali compositi SE connesse ai muri perpendicolari
Cuciture Attive delle Murature (CAM)	Cuciture Attive delle Murature (CAM)
Inserimento di diatoni artificiali in materiali compositi	

Confronto fra le tecniche di consolidamento in relazione alle verifiche da soddisfare.

Gli obiettivi, poi, devono essere sempre valutati in chiave dei principi cardine della progettazione degli ambiti consolidati che, come ricorda Carbonara²³⁹, possono essere riassunti come: autenticità; attualità espressiva; compatibilità meccanica, chimico-fisica e costruttiva, durabilità; efficacia; minimo intervento; reversibilità.

Quindi, rispettare la struttura significa non soltanto che bisogna calibrare gli interventi laddove necessario ma, anche, che non tutte le tecniche e i materiali possono essere utilizzati indifferentemente. Nella concezione del restauro, infatti, gli

²³⁹ CARBONARA G., *Trattato di restauro architettonico*. UTET, Torino, 1996, vol. III, pp. 507-525.

interventi devono essere valutati caso per caso e, nell'utilizzo di tecniche e materiali innovativi, si deve verificare l'efficacia, i limiti, gli effetti collaterali, considerando gli esiti sperimentali ma, anche, le prestazioni sul campo e gli effetti a lungo termine²⁴⁰.

In sostanza, la progettazione dell'intervento strutturale di consolidamento dipende dalla lettura e dall'importanza storico-architettonica dell'edificio, dagli obiettivi che si vogliono perseguire in ragione di una efficacia duratura nel tempo, riuscendo contestualmente a limitarne l'invasività formale e strutturale, nonché dal rapporto costi-benefici.

Un'analisi comparativa di differenti tecniche possibili è, perciò, indispensabile in fase di progettazione al fine di valutare i reali incrementi di resistenza, le migliorie apportate al comportamento strutturale dell'edificio ma, anche, il peso economico.

Particolare attenzione deve essere posta, infine, alla fase esecutiva degli interventi per assicurare la reale efficacia degli stessi e evitare dissesti che peggiorino le caratteristiche della muratura o del funzionamento degli elementi costruttivi o la rovina di apparati decorativi e elementi di pregio storico-artistico.

In generale, gli interventi ammissibili per ciascuna forma di vulnerabilità sono più d'uno e devono essere valutati in termini di efficacia, invasività, reversibilità, compatibilità, durabilità e costi.

²⁴⁰ La Carta del Restauro di Cracovia (2000), nell'articolo 10 ricorda che «il ruolo delle tecniche nell'ambito della conservazione e del restauro è strettamente legato alla ricerca scientifica interdisciplinare sugli specifici materiali e sulle specifiche tecnologie utilizzate nella costruzione, riparazione e restauro del patrimonio costruito. L'intervento scelto deve rispettare la funzione originale e assicurare la compatibilità con i materiali, le strutture e i valori architettonici esistenti. I nuovi materiali e le nuove tecnologie devono essere rigorosamente sperimentati, comparati e adeguati alle reali necessità conservative».

3.4. Un'applicazione numerica sui materiali innovativi per il rinforzo degli edifici storici

La sperimentazione numerica proposta nel presente paragrafo, che ha riguardato l'uso di materiali innovativi per il rinforzo delle murature storiche, è stata condotta per sottolineare il carattere interdisciplinare della presente tesi e per rispondere, inoltre, alle necessità del dottorato di ricerca che è caratterizzato dall'unione di differenti settori disciplinari²⁴¹.

Il mercato odierno fornisce un'ampia casistica di materiali compositi tra cui scegliere per la realizzazione dei rinforzi con fasce o reti di fibre. Nella scienza dei materiali, un materiale composito è un materiale eterogeneo, cioè costituito da due o più fasi con caratteristiche fisiche differenti, le cui proprietà sono migliori di quelle delle singole fasi che lo costituiscono. I materiali che formano i compositi, ovvero i costituenti, a seconda della loro funzione prendono il nome di matrice e fibra (o rinforzo). Il rinforzo, presente in forma discontinua, è caratterizzato da elevate proprietà meccaniche; la matrice, identificabile come un elemento continuo, è di solito meccanicamente più debole delle fibre ma assolve fondamentali compiti: tenere uniti fra loro rinforzo ed elemento strutturale rinforzato, trasmettere le sollecitazioni dalla struttura alla fibra, proteggere le fibre dagli agenti esterni.

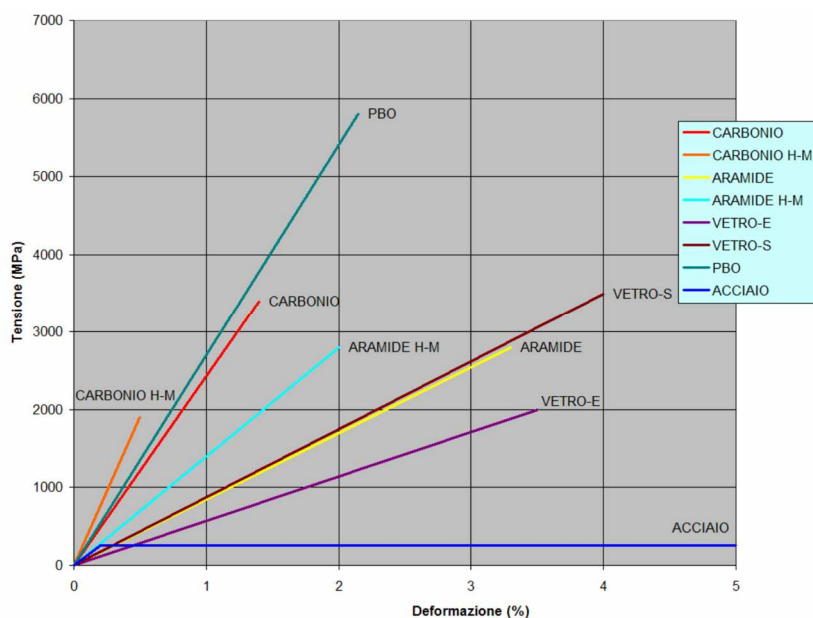
Una prima classificazione si può eseguire considerando la natura delle fibre. In tal caso si possono avere compositi con fibre di:

- Steel (S);
- Carbon (C): Carbon-HM, Carbon-HS;
- Glass (G): E-Glass, ECR-Glass, S-Glass, S-2 Glass, C-Glass, AR-Glass, R-Glass, Te-Glass;

²⁴¹ La seguente sperimentazione è stata condotta sotto la guida scientifica del co-tutor Prof. Ing. F. Bencardino.

- Aramid (ARomeric poly-AMIDes- A): Kevlar, Twaron;
- Basalt (B);
- Mineral (M);
- PBO (poliparafenilenbenzobisoxazolo).

Oltre ai materiali sopraindicati, si stanno diffondendo fibre di origine naturale, come la canapa o il lino, che possono essere ricavate dal gambo (bambù), dal frutto (cocco) o dal seme (cotone) di alcune specie vegetali, con proprietà meccaniche sensibilmente inferiori. Ciascuno di questi materiali ha proprietà chimico-fisiche differenti ma, soprattutto, caratteristiche meccaniche e di resistenza diverse che li rendono più o meno prestazionali e adatti al consolidamento delle strutture esistenti. Il parametro principale che definisce le caratteristiche di un rinforzo fibroso non è la resistenza a trazione, che risulta essere ben al di sopra dei tassi di lavoro cui sono soggette le fibre, bensì il modulo elastico; infatti, più tale valore è elevato maggiore sarà il contributo irrigidente che il rinforzo potrà fornire all'elemento strutturale sul quale è applicato.



Confronto fra i diagrammi tensione-deformazione di differenti fibre e quello dell'acciaio (ACI 440R-96²⁴³).

MATERIALE	DENSITA' [g/cm ³]	MODULO ELASTICO [GPa]	RESEISTENZA A TRAZIONE [GPa]	DEFORMAZIONE A ROTTURA [%]	ASSORBIMENTO UMIDITA' [%]
VETRO E	2,58	73,00	2000,00	3,50	0,50
VETRO S	2,58	86,00	3500,00	4,00	0,30
CARBONIO	1,78	240,00	3400,00	1,40	0,10
CARBOIO HM	1,83	640,00	1900,00	0,50	0,10
ARAMIDE	1,44	80,00	2800,00	3,30	4,50
ARAMIDE HM	1,45	125,00	2800,00	2,00	2,50
PBO	1,56	270,00	5800,00	2,15	0,60
ACCIAIO	7,85	200,00	300,00-600,00	25,00	-

Confronto fra le caratteristiche meccaniche delle fibre (tabella da ALVARO V.²⁴²).

Generalmente per il rinforzo di strutture in c.a. si preferiscono fibre sia con resistenza a trazione medio-alta (>2000 MPa) che con modulo elastico medio-alto (E=170-250 GPa), mentre per il recupero degli edifici in muratura o con struttura in legno si scelgono fibre con modulo di elasticità più basso (E=80 GPa), tipo quelle aramidiche, che meglio si accordano con la rigidità propria del supporto rinforzato²⁴².

La maggior parte dei materiali compositi ha comportamento elastico. La natura eterogenea dei materiali compositi fornisce meccanismi di elevato assorbimento di energia su una micro-scala, paragonabili al processo di snervamento del metallo²⁴³.

Le fibre di **carbonio**, altamente utilizzate per il rinforzo strutturale, possono essere di due tipi: quelle ad alto modulo (Carbon-HM) e quelle ad alta resistenza (Carbon-HS). La differenza di proprietà tra i due tipi è il risultato delle differenze nella microstruttura della fibra. Queste proprietà derivano dalla disposizione degli strati di grafene

²⁴² ALVARO V., *Materiali compositi a matrice cementizia per i rinforzi strutturali*. Tesi di Laurea in Materiali Innovativi e Riabilitazione Strutturale, Università di Bologna, Relatore: Prof. G. PASCALE, 2007.

²⁴³ AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, *ACI 440R-96. State-of-the-art report on fiber reinforced plastic (FRP) reinforcement for concrete structures*. 1996, pp.11-12.

(esagonale) presenti nella grafite.

Le fibre di carbonio sono usate per la fabbricazione di compositi ad elevate prestazioni. Esibiscono un comportamento a rottura fragile caratterizzato da un assorbimento di energia relativamente modesto anche se le tensioni di rottura sono elevate; risultano, però, le meno sensibili (rispetto alle fibre di vetro ed aramide) ai fenomeni di scorrimento viscoso (*creep*) e di fatica essendo contraddistinte da una modesta riduzione della resistenza a lungo termine.

MATERIALE	DENSITA' [Kg/m ³]	MODULO ELASTICO [GPa]	RESEISTENZA A TRAZIONE [MPa]	DEFORMAZIONE A ROTTURA [%]	RESISTENZA SPECIFICA [MPa*m ³ /kg]
CARBONIO AD ALTA RESISTENZA	1800,00	230,00	5000,00	2,00	2,78
CARBONIO HM	1850,00	400,00	3000,00	0,90	1,62
CARBONIO AD ALTISSIMO MODULO	2100,00	700,00	1500,00	0,30	0,71
ACCIAIO FeB44K	7850,00	210,00	540,00	20,00	0,07

Confronto tra le fibre di carbonio più comuni e l'acciaio da costruzione (tabella da ALVARO V.²⁴²).

Il **vetro** è la fibra predominante in molte applicazioni dell'ingegneria civile grazie all'equilibrio fra il costo e le proprietà di resistenza. Sfruttando la composizione chimica del vetro, si possono modulare le proprietà chimico-fisiche dando vita, così, a differenti tipologie di fibre.

E-Glass: famiglia di vetri silicati di allumina-calcio. Comprende circa l'80-90% della produzione commerciale in fibra di vetro. La nomenclatura "vetro ECR" è utilizzata per il vetro di tipo E senza boro; tale formulazione offre una migliore resistenza alla corrosione dalla maggior parte degli acidi.

S-Glass: è una formulazione di magnesio allumino-silicato che consente di ottenere un'elevata resistenza e prestazioni termiche

più alte. S-Glass e S-2 Glass hanno la stessa composizione, ma utilizzano diversi trattamenti superficiali. S-Glass è il rinforzo in fibra di vetro più costoso ed è prodotto per soddisfare le specifiche militari. C-Glass: ha una composizione soda-calce-borosilicato e viene utilizzato, per la sua stabilità, chimica in ambienti corrosivi. Altre composizioni in fibra di vetro includono le famiglie AR, R e Te. Le fibre di vetro hanno un modulo di Young (E) inferiore a quello delle fibre di carbonio e di aramide, offrono una resistenza all'abrasione relativamente modesta, che richiede una certa cura nella manipolazione durante la messa in opera; questo tipo di fibra ha una pronunciata attitudine allo scorrimento viscoso ed una modesta resistenza a fatica.

MATERIALE	DENSITA' [Kg/m ³]	MODULO ELASTICO [GPa]	RESEISTENZA A TRAZIONE [MPa]	DEFORMAZIONE A ROTTURA [%]	RESISTENZA SPECIFICA [MPa*m ³ /kg]
E-GLASS	2550,00	70,00	3500,00	3,80	1,37
S-GLASS	2500,00	90,00	4700,00	5,50	1,88
ACCIAIO FeB44K	7850,00	210,00	540,00	20,00	0,07

Confronto tra le fibre di vetro più comuni e l'acciaio da costruzione (tabella da ALVARO V.²⁴²).

Ci sono diverse fibre organiche disponibili che possono essere utilizzate per applicazioni strutturali. Tuttavia, i costi e, in alcuni casi, i fattori di temperatura o di durata, limitano il loro utilizzo a specifiche applicazioni. La più popolare fra le fibre organiche è **l'aramide**, un poli-para-fenilene tereftalammide, noto come PPD-T. Le fibre aramidiche sono prodotte commercialmente da DuPont (Kevlar™) e Akzo Nobel (Twaron™).

Queste fibre appartengono alla classe dei polimeri a cristalli liquidi la cui struttura ad anello aromatico²⁴⁴ contribuisce ad un'elevata stabilità termica, alta resistenza e alto modulo.

Le fibre aramidiche hanno modulo elastico superiore a quello delle fibre di vetro ma pari a circa 1/3 di quelle di carbonio; anche la loro resistenza a trazione risulta superiore a quella del vetro ma inferiore a quella del carbonio, proprio per questi motivi il loro impiego non è competitivo nel ripristino del cemento armato ma lo è in quello degli edifici in muratura.

MATERIALE	DENSITA' [Kg/m ³]	MODULO ELASTICO [GPa]	RESEISTENZA A TRAZIONE [MPa]	DEFORMAZIONE A ROTTURA [%]	RESISTENZA SPECIFICA [MPa*m ³ /kg]
KEVLAR 29	1440,00	70,00	3600,00	3,60	2,50
KEVLAR 39	1450,00	140,00	3600,00	1,90	2,48
KEVLAR 149	1470,00	160,00	3200,00	1,50	2,18
ACCIAIO FeB44K	7850,00	210,00	540,00	20,00	0.07

Confronto tra le fibre aramidiche più comuni e l'acciaio da costruzione (tabella da ALVARO V.²⁴²).

Le fibre di **PBO** (Poliparafenilenbenzobisoxazolo), infine, sono l'ultimo ritrovato nel campo dei rinforzi strutturali. Tale fibra presenta tenacità, modulo elevato, resistenza all'abrasione, al taglio e ai raggi UV di gran lunga superiori a qualsiasi fibra, oltre ad avere un'elevata resistenza al calore e un bassissimo assorbimento in ambiente umido (0,60%).

MATERIALE	DENSITÀ [Kg/m ³]	MODULO ELASTICO [GPa]	RESEISTENZA A TRAZIONE [MPa]	DEFORMAZIONE A ROTTURA [%]	TEMPERATURA DI DECOMPOSIZIONE [°C]
PBO	1560,00	270,00	5800,00	2,15	650

Caratteristiche delle fibre di PBO (tabella da ALVARO V.²⁴²).

²⁴⁴ In chimica organica si intende una struttura formata da atomi di carbonio disposti ai vertici di un esagono con legami C-H a cui si dà il nome di benzene.

Una seconda distinzione fra i materiali compositi oggi disponibili, poi, può essere effettuata in base alla natura della matrice utilizzata:

- **Organica:**

- Polimeri (resine epossidiche, vinilestere, poliestere)

- FRP (Fiber Reinforced Polymer): tessuti unidirezionali o bidirezionali di fibre di varia natura legati alla superficie con una matrice polimerica. A seconda del tipo di fibra usata si può avere:

SRP (Steel Reinforced Polymer)

GFRP (Glass Fiber Reinforced Polymer)

CFRP (Carbon Fiber Reinforced Polymer)

BFRP (Basalt Fiber Reinforced Polymer)

AFRP (Aramid Fiber Reinforced Polymer)

PBO-FRP (PBO Fiber Reinforced Polymer)

- **Inorganica o Minerale**

- Matrice cementizia

- FRCM (Fiber Reinforced Cementitious Matrix): tessuti unidirezionali o bidirezionali di fibre di varia natura legati alla superficie con una matrice cementizia. A seconda del tipo di fibra usata si può avere:

S-FRCM (Steel Fiber Reinforced Cementitious Matrix)

G-FRCM (Glass Fiber Reinforced Cementitious Matrix)

C-FRCM (Carbon Fiber Reinforced Cementitious Matrix)

B-FRCM (Basalt Fiber Reinforced Cementitious Matrix)

A-FRCM (Aramid Fiber Reinforced Cementitious Matrix)

PBO-FRCM (PBO Fiber Reinforced Cementitious Matrix);

- CMG (Cementitious Matrix Grid system): tecnica innovativa di rinforzo consistente in una griglia di fibra in vetro alcali-

resistente (AR) e una matrice cementizia polimero-modificata rinforzata con fibra AR-vetro²⁴⁵;

- CFCM(Carbon Fiber Cement Matrix): consiste in tessuti di carbonio incorporati in una matrice a base di cemento. Questo sistema è particolarmente indicato per l'applicazione sui muri di tompagno delle strutture in c.a.²⁴⁶.
- IMG (Inorganic Matrix Grid system): materiale composito costituito da una speciale matrice inorganica a due componenti e una griglia in fibra di vetro. La matrice è fatta di calce idraulica²⁴⁷ e sabbia con fibre di vetro aggiunte e mescolate con lattice e acqua. La griglia è composta da un vetro bidirezionale alcali-resistente²⁴⁸;
- MBC (Mineral Based Composites): griglia composita in fibra legata alla superficie mediante un legante cementizio e un primer per superfici in calcestruzzo²⁴⁹;

²⁴⁵ Cfr. PROTA A., MARCARI G., FABBROCINO G., MANFREDI G., CALDEA C., *Experimental in-plane behavior of tuff masonry strengthened with cementitious matrix-grid composites*. J. Compos. Constr., 10, 223–233, 2006; LIGNOLA G. P., PROTA A., MANFREDI G., *Nonlinear Analyses of Tuff Masonry Walls Strengthened with Cementitious Matrix-Grid Composites*. J. Compos. Constr., 13, 243-251, 2009; AUGENTI N., PARISI F., PROTA A., MANFREDI G., *In-Plane Lateral Response of a Full-Scale Masonry Subassemblage with and without an Inorganic Matrix-Grid Strengthening System*. J. Compos. Constr. 15, 578-590, 2011.

²⁴⁶ KOLSCH H., *Carbon fiber cement matrix overlay system for masonry strengthening*. J Compos Constr., 2, 105–109, 1998.

²⁴⁷ Più tardi si dirà che la calce idraulica è comunque una miscela a base cementizia.

²⁴⁸ Cfr. PARISI F, LIGNOLA GP, AUGENTI N, PROTA A, MANFREDI G., *Nonlinear behavior of a masonry subassemblage before and after strengthening with inorganic matrix-grid composites*. J Compos Constr.,15, 821–832, 2011; AUGENTI N., PARISI F., PROTA A., MANFREDI G., *op. cit.*

²⁴⁹ OMBRES L., *Flexural analysis of reinforced concrete beams strengthened with a cement based high strength composite material*. Compos. Struct., 94, 143–155, 2011.

- TRC (Textile Reinforced Concrete): tessuti multiassiali legati alla superficie con un calcestruzzo a grana fine e ad alta resistenza²³¹;
 - FRC (Fiber Reinforced Concrete): è un calcestruzzo cementizio additivato con fibre corte di acciaio, di materiale polimerico, di materiale inorganico quale carbonio o vetro, o di materiali naturali²⁵⁰.
- Malta polimero-modificata
- TRM (Textile Reinforced Mortar): usa tessuti tessili e una malta polimero-modificata come legante²³¹.
- Calce
- FRG (Fiber Reinforced Grout)/FRM²⁵¹ (Fiber Reinforced Mortar): fibre di varia natura legate alla superficie con una matrice a reattività pozzolanica.
SRG (Steel Reinforced Grout)
- Geopolimeri
- SRGM (Steel Reinforced Geopolymeric Matrix): Il sistema di rinforzo SRGM è costituito da un tessuto in acciaio a alta resistenza e da una matrice geopolimerica. Può essere applicato con la tecnica EB (Externally-Bonded) o IRS (Inhibiting-Repairing-Strengthening)²⁵².

²⁵⁰ Cfr. CNR DT204-2006 *Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione e il Controllo di Strutture di Calcestruzzo Fibrorinforzato*. Roma, p. 7; WU H. C., ASCE M., SUN P., TENG J., *Development of Fiber-Reinforced Cement-Based Composite Sheets for Structural Retrofit*. J. Mater. Civ. Eng., 22, 572-579, 2010.

²⁵¹ L'acronimo, in alcuni report, indica rinforzi a matrice cementizia.

²⁵² Cfr. BENCARDINO F., CONDELLO A., *Eco-friendly external strengthening system for existing reinforced concrete beams*. Composites Part B, 93, 163-173, 2016; BENCARDINO F., CONDELLO A., CASTIGLIONE F., *An Innovative Solution for the Structural Consolidation of RC Modern Cultural Heritage*. International Journal of Architectural Heritage Conservation, Analysis, and Restoration, 11, 829-842, 2017.

Matrice	CEMENTIZIA	RESINA EPOSSIDICA
Modulo elastico [GPa]	6,00	2,70-3,60
Resistenza a trazione [MPa]	3,50	40,00-82,00
Resistenza alle alte temperature	uguale al supporto	perde caratteristiche strutturali e adesione da 80°
Umidità del supporto	favorisce l'adesione	non tollerata
Lavorabilità	ampio <i>post-life</i>	ridotto <i>post-life</i>
Tossicità	nulla	per contatto e inalazione
Comportamento a rottura	duttile	fragile
Viscosità	alta allo stato fluido, difficile impregnazione fibre	bassa allo stato fluido, facile impregnazione fibre

Comparazione delle caratteristiche delle matrici a base cementizia e a base polimerica (tabella da ALVARO V.²⁴²).

Come visibile dal confronto riportato nella tabella precedente, sostituire le matrici organiche (resine) con quelle inorganiche (cementi, malte) porta numerosi vantaggi dal punto di vista della durabilità, della tossicità e della resistenza al fuoco, a scapito di una minor resistenza a trazione, che tuttavia risulta spesso più che sufficiente in relazione alle caratteristiche degli elementi che si vogliono consolidare, soprattutto se si tratta di edifici in muratura. In quest'ultimo caso, poi, vi è una maggiore compatibilità con i materiali e i leganti del supporto.

Anche dal punto di vista dell'impermeabilità, dell'infiammabilità e dell'adesione le matrici inorganiche risultano preferibili alle resine, soprattutto per i rinforzi su murature esistenti²⁵³.

Le resine, siano esse epossidiche o di poliestere, infatti, consentono un'installazione relativamente facile e veloce; d'altra parte, però, non possono essere applicate su substrati bagnati, hanno un comportamento fragile, la loro efficacia è limitata dalla temperatura di transizione vetrosa (tipicamente nell'ordine di 50-60° C) al di sopra della quale tendono ad ammorbidirsi e non hanno

²⁵³ PARISI F., IOVINELLA I., BALSAMO A., AUGENTI N., PROTA A., *In-plane behavior of tuff masonry strengthened with inorganic matrix-grid composites*. Composites Part B, 45, 1657-1666, 2012.

resistenza al fuoco, per cui è necessario uno strato di protezione esterno. Inoltre, se esposte all'umidità, tendono ad assorbire acqua, che causa idrolisi, plastificazione e saponificazione, modificando la struttura del polimero e causando il deterioramento delle proprietà meccaniche e della resistenza del legame fibra-matrice²⁵⁴. In tal senso le matrici inorganiche sono da preferirsi nelle murature che presentano, diffusamente, fenomeni di umidità di risalita.

I prodotti a base organica, utilizzati principalmente per il consolidamento delle strutture in cemento armato e delle volte negli edifici in muratura, sono generalmente indicati con la sigla **FRP** (Fiber Reinforced Polymer). Tale sistema è costituito da fogli di fibra unidirezionale o laminati incorporati in matrici organiche (generalmente resina epossidica).

Approdati negli anni ottanta nel campo dell'ingegneria civile, le prime applicazioni riguardavano soprattutto il rinforzo di edifici esistenti in calcestruzzo armato e acciaio e, solo nel decennio successivo, ne fu esteso l'utilizzo alle murature²⁵⁵. Il collasso degli elementi strutturali rinforzati si verifica, nella maggior parte dei casi, per il distacco del materiale di rinforzo dalla superficie di supporto²⁵⁶.

Sebbene l'uso della matrice polimerica abbia dimostrato di fornire eccellenti prestazioni meccaniche, esistono alcuni inconvenienti di durabilità, resistenza e reversibilità di cui si è detto prima²⁵⁷.

²⁵⁴ DE SANTIS S., DE FELICE G., NAPOLI A., REALFONZO R., *Strengthening of structures with Steel Reinforced Polymers: a state-of-the-art review*. Composites Part B, 104, 87-110, 2016.

²⁵⁵ TRIANTAFILLOU T. C., *Strengthening of masonry structures using epoxy bonded FRP laminates*. Journal of composites for construction, 2(2), 96-104, 1998.

²⁵⁶ D'AMBRISI A., FEO L., FOCACCI F., *Experimental and analytical investigation on bond between Carbon-FRCM materials and masonry*. Composites Part B, 46, 15-20, 2013.

²⁵⁷ Cfr. BENCARDINO F., CONDELLO A., *op. cit.*; OMBRES L., *Debonding analysis of reinforced concrete beams strengthened with fibre reinforced cementitious mortar*. Engineering Fracture Mechanics, 81, 94-109, 2012; D'AMBRISI A., FOCACCI

L'unione della matrice organica con differenti tipologie di fibre, come nella classificazione iniziale, dà vita a sistemi diversi, più o meno resistenti.

Fra quelli più recenti vi è la tecnologia **SRP** (Steel Reinforced Polymer) ottenuta dall'unione di fibre di acciaio con le resine, le cui prime applicazioni, nel campo dell'ingegneria civile, risalgono al 2004. Rispetto ai già consolidati FRP con tessuti in carbonio o vetro, gli SRP mostrano una resistenza a trazione comparabile, o persino migliore, soprattutto se applicati per il confinamento. Gli studi hanno indicato che le proprietà di resistenza a trazione e di adesione al substrato degli SRP sono paragonabili agli FRP con carbonio (CFRP) e superiori a quelli con vetro (GFRP); inoltre, rispetto ai CFRP, gli SRP comportano una maggiore capacità di spostamento e una migliore efficienza dei costi²⁵⁸.

In generale, questo sistema è in grado di garantire gli stessi vantaggi dei sistemi di rinforzo con FRP, come la facilità di applicazione, la bassa invasività e tempi di intervento ridotti, ma con minor costo, maggiore sostenibilità ambientale, migliore resistenza al fuoco e una maggiore compatibilità con le strutture esistenti. Inoltre, nel caso del rinforzo di elementi in c.a., si sono notate differenze rispetto agli FRP, in particolare in termini di legami. Infatti, per i sistemi FRP, il danno solitamente riguardava il substrato in calcestruzzo, mentre per i sistemi SRP è stato osservato un diverso meccanismo di rottura a taglio all'interno del calcestruzzo²⁵⁹.

Le problematiche evidenziate dalla matrice a base organica hanno portato, negli ultimi anni, allo sviluppo di compositi con matrici a base inorganica e, principalmente, a base cementizia.

F., *Flexural Strengthening of RC Beams with Cement-Based Composites*. Journal of Composites for Construction, 15, 707-720, 2011.

²⁵⁸ DE SANTIS S., DE FELICE G., NAPOLI A., REALFONZO R., *op. cit.*

²⁵⁹ BENCARDINO F., CONDELLO A., *SRG/SRP-concrete bond-slip laws for externally strengthened RC beams*. Compos. Struct., 32, 804-805, 2015.

Sebbene esistano, come enunciato nella classificazione, differenti sistemi a matrice cementizia (TRM, CMG, CFCM, IMG, MBC, TRC, FRC), ciascuno con composizione differente, sia per tipologia di matrice che per tipologia di fibra, quelli maggiormente utilizzati e testati nel campo del recupero degli edifici esistenti sono quelli genericamente indicati con la sigla **FRCM** (Fiber Reinforced Cement/ Cementitious Matrix). Tale materiale composito è costituito dall'unione di fibre, tradizionali (aramidiche, di carbonio, di vetro) o innovative (acciaio, basalto, PBO), con una matrice inorganica a base cementizia che presenta, al contrario di quelle polimeriche²⁶⁰, una significativa resistenza al calore, consente la permeabilità al vapore e può essere applicata a basse temperature o su superfici bagnate.

L'efficacia meccanica dei materiali FRCM è fortemente influenzata dalla ridotta capacità delle matrici di impregnare la singola fibra e dal legame con la superficie del supporto, influenzato dal *cracking* della matrice stessa. Nel caso dell'utilizzo degli FRCM per il rinforzo di elementi in cemento armato, il trasferimento delle sollecitazioni è un fenomeno molto complesso che dipende dal legame tra le singole fibre e la matrice, dalla penetrazione della matrice e la capacità di bagnare i singoli filamenti, dal legame tra le fibre esterne direttamente a contatto con la matrice e le fibre interne, dalla non uniformità delle sollecitazioni di trazione nelle fibre, dal contributo delle giunture tra le fibre longitudinali e trasversali, dal *cracking* della matrice cementizia, dal legame tra la nuova matrice cementizia e la vecchia superficie di calcestruzzo e dalla rottura della vecchia superficie di calcestruzzo. Tutti questi fenomeni dipendono dal tipo, dal trattamento superficiale e dalla disposizione geometrica delle fibre; dalla composizione e la finezza

²⁶⁰ D'AMBRISI A., FEO L., FOCACCI F., *op. cit.*

granulometrica della matrice; dalla qualità e il trattamento superficiale del vecchio calcestruzzo²⁶¹.

Il sistema FRCM è stato recentemente migliorato utilizzando fibre di PBO (**PBO-FRCM**). Le proprietà meccaniche delle fibre PBO sono, infatti, abbastanza superiori a quelle delle fibre di carbonio ad alta resistenza; hanno grande tolleranza agli impatti, capacità di assorbimento di energia superiore rispetto agli altri tipi di fibre, elevata viscosità e resistenza al fuoco ed elevata compatibilità chimica col legante cementizio.

I principali risultati delle analisi sperimentali condotte su travi in c.a. rinforzate con tale tecnologia hanno evidenziato che: la rottura per flessione degli elementi rinforzati con PBO-FRCM è più duttile rispetto a quelli rinforzati con PBO-FRP a causa della graduale perdita di energia per lo scivolamento sull'interfaccia fibre/cemento; il meccanismo di *debonding* è regolato dall'interfaccia cemento/matrice; le modalità di rottura dipendono dalla quantità di fibre PBO, ovvero per bassi valori si è osservato un tipico cedimento flessionale mentre, aumentando la quantità di strati di fibre, la rottura è dovuta ad un indebolimento intermedio indotto da *cracking*²⁶².

Problemi di compatibilità col supporto in muratura e di reversibilità dell'intervento, invece, hanno portato allo sviluppo dei rinforzi a matrice a base di calce o malte, gli **FRG** (Fiber Reinforced Grout) o **FRM** (Fiber Reinforced Mortar).

L'uso di malte o calce al posto delle resine fornisce una migliore resistenza al fuoco e consente l'installazione su substrati bagnati,

²⁶¹ D'AMBRISI A., FOCACCI F., *op. cit.*

²⁶² Cfr. DI TOMMASO A, FOCACCI F, MANTEGAZZA G., *PBO-FRCM composites to strengthen RC beams: mechanics of adhesion and efficiency*. Proceedings of CICE2008: Zurich, pp. 22–24, 2008; OMBRES L., *Structural performance of reinforced concrete beams strengthened with PBO Fibre Reinforced Cementitious Mortars (FRCM)*. Proceedings of the international conference on concrete solutions; concrete solutions-grantham, Taylor & Francis, 363–7, 2009.

ma può portare a una minore forza di adesione e, più in generale, a un diverso comportamento strutturale del sistema di rinforzo. Per questo motivo, secondo lo stato attuale delle conoscenze, gli approcci sviluppati per i FRP non possono essere estesi direttamente ai compositi a base di malta, inclusi gli SRG²⁶³.

Infine, motivazioni legate alla sostenibilità ambientale e alla diminuzione dell'inquinamento hanno comportato lo sviluppo delle matrici a base **geopolimerica**, una polvere di alluminosilicato solido che se reagisce con un attivatore altamente basico (costituito da idrossidi e silicati di sodio e potassio), produce un alluminosilicato alcalino sintetico, il geopolimero o Alkali Activated Materials (AAM). L'attivatore ha un ruolo fondamentale nell'iniziare il processo di geopolimerizzazione. Sulla base dei risultati della resistenza alla compressione, l'attivatore che possiede le caratteristiche più elevate ha composizione Na_2SiO_3 , seguito da $\text{Ca}(\text{OH})_2$, NaOH , $\text{NaOH}+\text{Na}_2\text{CO}_3$ e KOH ²⁶⁴.

I geopolimeri posseggono molte delle caratteristiche dei calcestruzzi tradizionali, nonostante le loro diverse composizioni chimiche e le reazioni generate. In particolare, la lavorabilità dei geopolimeri appena miscelati, l'elevata resistenza meccanica per l'indurimento sia a breve che a lungo termine, la forte adesione al calcestruzzo, l'elevata resistenza ai solfati e l'eccellente durabilità anche in condizioni fortemente aggressive sembrano essere simili a quelli dei calcestruzzi tradizionali. Inoltre, i geopolimeri sono un materiale eco-compatibile, non solo, per la composizione fatta di scorie di altoforno, ma anche per le caratteristiche intrinseche. Garantiscono, infatti, emissioni di anidride carbonica più ridotte rispetto a un cemento Portland tradizionale (da > 1000 g/kg fino a

²⁶³ DE SANTIS S., DE FELICE G., NAPOLI A., REALFONZO R., *op. cit.*

²⁶⁴ PART W. K., MAHYUDDIN R., CHEAH C. B., *An overview on the influence of various factors on the properties of geopolymers concrete derived from industrial by-products*. Construction and Building Materials, 77, 370–395, 2015.

<250 g/kg) grazie a un processo produttivo che richiede meno energia. I geopolimeri sono, inoltre, riciclabili come gli aggregati, hanno un'emissione di VOC (Composti Organici Volatili) molto bassa e sono buoni inibitori di corrosione, il che significa che non è necessario utilizzare ulteriori prodotti speciali per proteggere le barre di armatura (nell'applicazione su elementi in c.a.), evitando l'uso e il consumo di ulteriori prodotti inquinanti²⁶⁵.

Dall'utilizzo di trefoli di acciaio inossidabile incorporati in una matrice ignifuga geopolimerica inorganica nasce la tecnologia **SRGM**²⁶⁶ per applicazioni su elementi in cemento armato.

Quanto appena visto è stato relazionato agli edifici esistenti in cemento armato.

Per quanto concerne l'applicazione dei materiali compositi sulle costruzioni storiche in muratura, studi sperimentali hanno dimostrato che l'efficacia degli interventi con rinforzi in fibre dipende fortemente dal legame tra il materiale di rinforzo e la muratura e dalle proprietà meccaniche del substrato in muratura.

I meccanismi di *debonding* dal substrato sono alla base della rottura dei rinforzi in FRP, la cui mancanza di permeabilità al vapore costituisce, inoltre, una significativa limitazione nell'uso per il consolidamento di costruzioni storiche, soprattutto in presenza di affreschi sulla superficie opposta a quella rinforzata.

Attuali ricerche hanno, poi, evidenziato una variazione nelle proprietà del materiale FRP che è correlata alla dimensione del mattone e del giunto di malta lungo la direzione delle fibre. Due aspetti fondamentali svolgono un ruolo importante durante il *debonding* e caratterizzano il trasferimento dello stress: le proprietà di frattura di ciascuno dei due materiali componenti la muratura e

²⁶⁵ BENCARDINO F., CONDELLO A., *op.cit.*

²⁶⁶ Cfr. BENCARDINO F., CONDELLO A., *op.cit.*; BENCARDINO F., CONDELLO A., CASTIGLIONE F., *op. cit.*

le dimensioni del mattone e del giunto di malta rispetto alla lunghezza del processo complessivo di frattura. Pertanto, trascurare la scala della zona di trasferimento dello stress dei due materiali (malta e mattone) relazionata alle dimensioni del mattone e dei giunti (come è stato fatto in differenti studi condotti finora) potrebbe determinare una sovrastima della capacità di carico dell'interfaccia muratura-FRP²⁶⁷.

Recenti studi sperimentali mostrano, poi, che il legame tra i materiali FRCM e la muratura ha peculiarità diverse e più complicate rispetto a quello tra i materiali FRP e la muratura. Infatti, nel caso dei materiali FRP la superficie di distacco è, nella maggior parte dei casi, collocata all'interno del materiale di supporto, mentre nel caso dei materiali FRCM si sono osservati diversi meccanismi di *debonding*, che coinvolgono anche l'interfaccia fibre/matrice²⁶⁸.

Tra le miscele di tipo inorganico, però, come detto, i cementi presentano particolari problemi di compatibilità con i materiali originari delle murature. La presenza di costituenti reattivi rende elevato il rischio di attivazione di fenomeni espansivi e fessurativi legati alla reazione con il gesso o gli aggregati.

Tuttavia, anche nell'ambito delle calci, la scelta del materiale più idoneo alle murature esistenti è affetta da incertezze che si collocano addirittura in fase di definizione del prodotto. Infatti, la famiglia delle "calci" ingloba tre tipologie di prodotti: la calce aerea, quella idraulica e quella idraulica naturale. Dal punto di vista dei materiali per il restauro, il primo è un legante aereo, e quindi con bassissime caratteristiche meccaniche e di resistenza all'umidità. Di contro, la calce idraulica deriva essenzialmente dal cemento tagliato con *filler* o calce aerea. Le calci idrauliche così

²⁶⁷ CARLONI C., SUBRAMANIAM K. V., ASCE M., *FRP-Masonry Debonding Numerical and Experimental Study of the Role of Mortar Joints*. J. Compos. Constr., 16, 581-589, 2012.

²⁶⁸ D'AMBRISI A., FEO L., FOCACCI F., *op.cit.*

denominate, in definitiva, sono quindi semplicemente dei cementi di scarsa resistenza, con potenziali effetti negativi sulla durabilità degli interventi (pericolo di formazione di ettringite e thaumasite, elevato contenuto di sali idrosolubili).

Sperimentazioni comparative, tra calci idrauliche naturali e cementi, applicate al restauro dimostrano come le prime, con caratteristiche fisiche di peso specifico, porosità, permeabilità al vapore, garantiscano alla muratura una migliore traspirabilità. Le miscele a base di calce idraulica naturale, inoltre, bene si prestano in fase produttiva a controlli della curva granulometrica e della finezza, in modo da garantire alla miscela una migliore capacità di riempimento di cavità e piccoli vuoti. La calce idraulica naturale, inoltre, sviluppa un minor calore d'idratazione rispetto al cemento e presenta una buona inerzia termica, permettendo così di evitare coazioni interne in fase d'indurimento e garantendo una migliore aderenza. Dal punto di vista meccanico, infine, le resistenze a compressione e le rigidità delle miscele a base di calce idraulica naturale indurite hanno ordini di grandezza confrontabili con quelli delle murature esistenti e presentano una maggiore stabilità nel tempo, anche in condizioni ambientali avverse.

In definitiva, dunque, si può dire che i materiali compositi più adatti per il rinforzo e il consolidamento degli edifici in muratura portante, soprattutto se a valenza culturale, sono quelli con matrice a base di calce idraulica naturale²⁶⁹, ovvero gli FRG/FRM.

Come già accennato prima, però, tali sistemi hanno comportamenti strutturali differenti rispetto ai sistemi FRP e più simili agli FRCM. Per alcuni tipi di fibre, infatti, si è visto che il *debonding* può avvenire all'interno del composito stesso ovvero all'interfaccia

²⁶⁹ VALLUZZI M.R., *Comportamento meccanico di murature consolidate con materiali e tecniche a base di calce*. Tesi di Dottorato in Progetto e Conservazione delle Strutture Università di Padova, Relatore: Prof. C. MODENA, 2000.

fibra-matrice, mentre con gli FRP il *debonding* avviene generalmente all'interfaccia composito-muratura²⁷⁰.

Di recente, inoltre, si stanno effettuando studi sulla tecnologia che meglio si adatta all'utilizzo dei rinforzi con fibre sulla muratura.

Da tali studi sono emerse le potenzialità del rinforzo del tipo *grid* (usato nei sistemi **CMG, CFM, IMG, MBC, TRC, TRM**) che realizza, di fatto, un consolidamento simile alla muratura armata²⁷¹. L'uso della tecnologia *grid*, infatti, è più adatta per i muri, che si comportano come elementi bidimensionali, e la forma a griglia, grazie a una distribuzione più diffusa degli sforzi, potrebbe essere meno sensibile ai fenomeni di *debonding* rispetto alla tecnologia per fasce. Tuttavia, poiché nei sistemi FRG la griglia è spesso incorporata in uno spesso strato di malta, il comportamento di tali materiali compositi dipende dalle proprietà e dal comportamento tensionale di quest'ultima. Diversamente dalle resine epossidiche, infatti, la malta è sensibile ai fenomeni di fessurazione che, quindi, possono influenzare il legame lungo le interfacce²⁷².

Studi sperimentali²⁷³, infatti, hanno riscontrato un comportamento trilineare:

1. Un ramo lineare corrispondente alla condizione non fessurata della malta: in questa fase sia la rete in fibra che la malta collaborano per sostenere lo *stress* applicato e, quindi, la legge

²⁷⁰ BILOTTA A., CERONI F., IOVINELLA I., BALSAMO A., NIGRO E., PECCE M., Sustainability of Inorganic Matrix-Grid Composites for Strengthening of Masonry Structures. Proceedings of the Fifteenth International Conference on Civil, Structural and Environmental Engineering Computing, Civil-Comp Press, Scotland, 2015, pp. 1-15.

²⁷¹ Per tal motivo l'intervento è da valutarsi nell'ottica dei principi del restauro.

²⁷² BILOTTA A., CERONI F., IOVINELLA I., BALSAMO A., NIGRO E., PECCE M., *Bond tests on inorganic matrix-grid composites applied on masonry*. Proceedings of the 12th International Symposium on Fiber Reinforced Polymers for Reinforced Concrete Structures (FRPRCS-12) & the 5th Asia-Pacific Conference on Fiber Reinforced Polymers in Structures (APFIS-2015), pp. 88-93.

²⁷³ DE SANTIS S., DE FELICE G., *Tensile behaviour of mortar-based composites for externally bonded reinforcement systems*. Composites: Part B, 68, 401-413, 2015.

sperimentale tiene conto del contributo di entrambi; in particolare, il contributo della malta è predominante dato il maggiore spessore.

2. Una fase di transizione, in cui la boiaccia inizia a fessurarsi, identificata da una rigidità inferiore rispetto al ramo precedente.

3. Un terzo ramo corrispondente a uno stato di *cracking* diffuso nella malta; il comportamento del materiale composito tende a quello delle fibre. In questa fase, se la malta è completamente fessurata, la rigidità del ramo è rappresentativa delle sole fibre²⁷⁴.

È stato, poi, osservato che il legame tra fibre e malta dipende strettamente dalla capacità della malta di permeare tra gli spazi della griglia. Un comportamento migliore si è ottenuto, nelle sperimentazioni, aggiungendo fibre corte o polimeri nella miscela di malta²⁷⁵. In particolare, recenti studi hanno concluso che i **TRM** (Textile Reinforced Mortar) rappresentano una soluzione estremamente promettente per il miglioramento strutturale delle pareti in muratura. Le pareti rinforzate con i TRM, infatti, non hanno mostrato differenze nette rispetto a quelle con matrice a base di resine in termini di sviluppo del danno e modalità di rottura. In termini di resistenza, i rinforzi in TRM hanno un'efficienza almeno del 65-70% rispetto agli FRP ma, in termini di deformabilità, di cruciale importanza nell'adeguamento sismico, i TRM sono molto più efficaci degli FRP. La maggiore efficacia è di circa il 15-30% nelle pareti sollecitate a taglio, il 135% nei maschi murari e il 350% nelle fasce²⁷⁶.

²⁷⁴ BILOTTA A., CERONI F., IOVINELLA I., BALSAMO A., NIGRO E., PECCE M., *Sustainability of Inorganic...* op. cit.

²⁷⁵ BADANOIU A. HOLMGREN J., *Cementitious composites reinforced with continuous carbon fibres for strengthening of concrete structures*. *Cement & Concrete Composites*, 25, 387–394, 2003.

²⁷⁶ PAPANICOLAOU C. G., TRIANTAFILLOU T. C., PAPATHANASIOU K. K. M., *Textile-reinforced mortar (TRM) versus FRP as strengthening material of URM walls: in-plane cyclic loading*. *Materials and Structures*, 40, 1081–1097, 2007.

Analisi numerica sperimentale

L'analisi numerica sperimentale è stata condotta su un modello semplificato, analizzato con il programma 3Muri della S.T.A.Data basato sul metodo di calcolo FME (Frame by Macro Elements).

Le analisi numeriche, svolte con la finalità di verificare gli incrementi degli indici di vulnerabilità al variare della tipologia della fibra di rinforzo, sono state eseguite, in una prima fase, su un modello semplice di mono-cellula ad un piano, simmetrica e priva di aperture (così da analizzare il comportamento di una parete continua) e, in una seconda fase, sullo stesso modello in presenza di finestre.

Ciascun modello (con o senza finestre), inoltre, è stato modellato con tre differenti tipologie di murature (in mattoni, disordinata e a sacco).

Ai sei modelli differenti, ottenuti dalla combinazione fra la geometria del modello e le caratteristiche dei materiali, infine, si sono applicati rinforzi del tipo FRP con tre differenti tipologie di fibra: vetro, carbonio e basalto.

Geometria, vincoli e tipologia di suolo

La geometria del modello è volutamente simmetrica e semplice così da minimizzare l'influenza degli effetti derivanti da complessità e irregolarità geometrica.

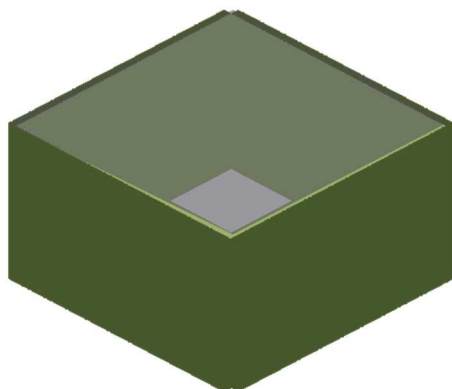
Si è modellata, infatti, una cellula elementare ad un piano composta da un unico vano di luce lorda m 5,00 x 5,00 ed interasse netto fra le pareti pari a 4,60 m nelle due direzioni.

L'altezza d'interpiano è di 3,00 m, mentre lo spessore dei muri è pari a 0,30 m.

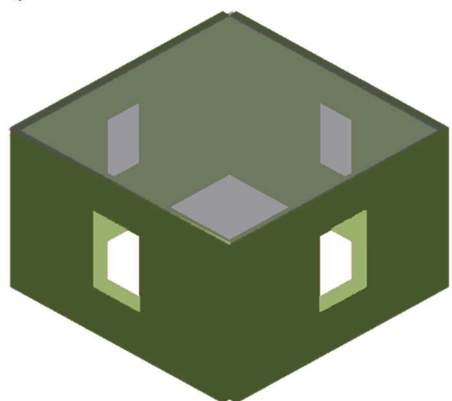
Il solaio, invece, del tipo in "legno con travetti affiancati e tavolato semplice" è stato modellato con travi di sezione 0,20 x 0,20 m ed

interasse pari a 1,00 m.

Nella versione del modello con finestre è stata inserita una buca, centrata su ciascun muro, posta a 0,90 m da terra di 1,00 m di larghezza e 1,50 di altezza.

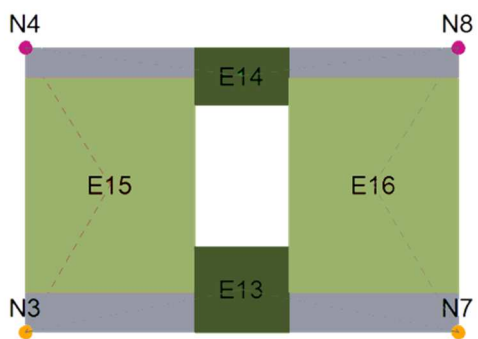
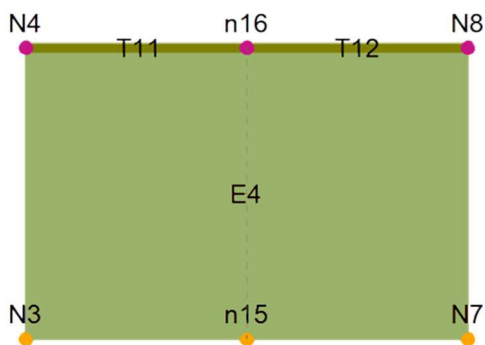


a)



b)

Vista del modello 3D (a sinistra) e discretizzazione di una parete effettuata dal programma 3muri: a) modello senza finestra; b) modello con finestra.



La fondazione, configurata come vincolo incastro, è stata modellata come fondazione diretta sul terreno avente le stesse caratteristiche, geometriche e materiche, dei muri in elevazione. Per quanto riguarda il terreno di fondazione considerato, infine, si è utilizzata la classe di terreno D *Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti (con spessori > 30m e miglioramento graduale di proprietà meccaniche con la profondità)*, per come riportata dalla

NTC 2008, ovvero quella che presenta le caratteristiche peggiori.

Caratteristiche meccaniche dei materiali

La modellazione delle caratteristiche meccaniche dei materiali è stata effettuata considerando un Livello di Conoscenza pari a 1 (indagini limitate) ed un Fattore di Confidenza pari a 1,35.

Per quanto concerne la tipologia di legno assegnato al solaio si è utilizzato un Abete/Centro Sud del tipo S2 secondo la classificazione dell'EN UNI 11035²⁷⁷ che presenta le caratteristiche riportate nella tabella a seguire.

Tipo	Flessione (5- percentile) [MPa]	Trazione parallela alla fibratura (5- percentile) [MPa]	Trazione perpendicolare alla fibratura (5-percentile) [MPa]	Compressione parallela alla fibratura (5-percentile) [MPa]	Compressione perpendicolare alla fibratura (5-percentile) [MPa]	Modulo di elasticità parallelo alla fibratura medio [MPa]
	$f_{m,k}$	$f_{t,0,k}$	$f_{t,90,k}$	$f_{c,0,k}$	$f_{c,90,k}$	$E_{0,mean}$
S2	28,00	17,00	0,30	20,00	2,10	10,00

Per le murature, come detto, si sono considerate tre tipologie differenti, reputate quelle maggiormente diffuse sul territorio italiano, ovvero:

- muratura in mattoni pieni e malta di calce;
- muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari);
- muratura a conci sbozzati, con paramento di spessore limitato e nucleo interno (ovvero a sacco).

Le tre differenti tipologie sono state modellate secondo le caratteristiche riportate nella Tab. C8A.2.1 della Circolare alle NTC

²⁷⁷ UNI 11035-2, *Legno strutturale-Regole per la classificazione a vista secondo la resistenza e i valori caratteristici per i tipi di legname strutturale italiani*. 2010.

2008²⁷⁸, tenendo conto del LC e del FC per come definiti precedentemente.

I parametri meccanici utilizzati sono riportati di seguito.

Tipo	f_m [N/cm ²]	T_0 [N/cm ²]	E [N/mm ²]	G [N/mm ²]	w [kN/m ³]
Muratura in mattoni	240,00	6,00	1500,00	500,00	18,00
Muratura Disordinata	100,00	2,00	870,00	290,00	19,00
Muratura a sacco	200,00	3,50	1230,00	410,00	20,00

Carichi (statici e dinamici)

Per quanto riguarda i carichi, oltre al peso proprio delle murature, calcolato automaticamente dal programma, si sono considerati i seguenti carichi gravanti sul solaio, modellato come un solaio di interpiano interno:

- permanenti strutturali G_1 : dovuti al peso delle travi;
- permanenti non strutturali G_2 : somma dei pesi dovuti al pavimento, al sottofondo, all'assito e ai tramezzi,
- variabili Q: sovraccarichi per civile abitazione.

I pesi sono stati quantificati come espresso di seguito:

$$G_1 = P_{travi} = 0,78 \text{ kN/m}^2$$

$$G_2 = P_{pav} + P_{sott} + P_{ass} + P_{tram} = 2,82 \text{ kN/m}^2$$

$$Q = 2,00 \text{ kN/m}^2$$

Per quanto concerne l'azione sismica, essa, è stata calcolata considerando le coordinate geografiche della città di Cosenza (CS), una Vita Nominale (V_N) per opere ordinarie ovvero ≥ 50 anni, una Classe d'Uso per edifici ordinari (II), un suolo di tipo D ed una Categoria Topografica, per come riportata dalla NTC 2008, T_4 In

²⁷⁸ MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI, *Istruzioni per l'applicazione delle «Nuove norme tecniche per le costruzioni» di cui al D.M. 14 gennaio 2008*. Circolare n. 617. S.O. n. 27 alla Gazzetta Ufficiale n. 47 del 26 febbraio 2009, pp. 402-406.

corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media maggiore di 30° che rappresenta la condizione più sfavorevole²⁷⁹.

Caratteristiche dei rinforzi

La sperimentazione numerica è stata condotta utilizzando dei rinforzi prodotti dalla MAPEI del tipo MAPEWRAP UN-AX.

Al fine di ottenere risultati comparabili, si sono utilizzate identiche caratteristiche geometriche e si sono variate solamente le caratteristiche meccaniche.

I parametri relativi alla geometria sono stati utilizzati ugualmente per tutte le analisi svolte e per entrambi i rinforzi: sia verticali che trasversali.

Nello specifico, si è utilizzato un rinforzo diffuso con area ($A_d = A_{sw}$) pari a 1,44 cm², con passo pari a 20,00 cm. L'area utilizzata è quella corrispondente al rinforzo MAPEWRAP G UNI-AX di larghezza pari a 30,00 cm e spessore pari a 0,048 cm.

La stessa è stata usata anche per gli altri due tipi di rinforzo, se pur essi siano presenti, in commercio, con geometrie diverse.

Di seguito sono riportate le caratteristiche meccaniche richieste dal programma 3Muri²⁸⁰.

Tipo	f_{rd} [N/mm ²]	ε [%]	E [N/mm ²]
MAPEWRAP G UNI-AX	2560,00	3,00	80700,00
MAPEWRAP C UNI-AX	4410,00	1,10	390000,00
MAPEWRAP B UNI-AX	4840,00	3,15	87000,00

Parametri variabili e non variabili

I parametri variabili, che distinguono le modellazioni, quindi, sono riassumibili in:

- Tipologia geometrica del modello: con o senza finestre;

²⁷⁹ Si ricorda la presenza degli effetti di cresta che amplificano le onde sismiche.

²⁸⁰ Per ulteriori specifiche si vedano le schede tecniche.

- Tipologia di muratura: in mattoni pieni, disordinata, a sacco;
- Tipologia di rinforzo: G-FRP, C-FRP, B-FRP.

In realtà, in ogni modello ottenuto dalla combinazione fra tipologia geometrica e tipologia di muratura (sei in totale), l'unico parametro che varia è la tipologia della fibra utilizzata.

Restano, invece, immutate, in tutte le combinazioni:

- Geometrie del modello;
- Grado e tipologia di vincolo;
- Tipologia di suolo;
- Caratteristiche meccaniche del solaio;
- Condizioni di carico, sia statico che dinamico;
- Geometria del rinforzo.

Risultati ottenuti per lo STATO DI FATTO

Una prima analisi *pushover* è stata svolta sui due modelli non rinforzati, ovvero allo stato di fatto. I valori ottenuti, infatti, sono serviti per effettuare un confronto con lo stato consolidato.

Di seguito sono riportati i risultati per i due modelli per i quali si sono evidenziati gli spostamenti massimo e ultimo allo Stato Limite di salvaguardia della Vita ($D_{\max SLV}$; $D_U SLV$;) e gli indici di vulnerabilità per lo Stato Limite di salvaguardia della Vita, lo Stato Limite di Operatività e lo Stato Limite di Danno (α_{SLV} , α_{SLD} , α_{SLO}) valutati in termini di accelerazioni di picco, PGA, secondo la relazione

$$\alpha_{PGA} = PGA_{(C)} / PGA_{(D)}$$

dove mentre $PGA_{(C)}$ è l'accelerazione di picco dell'evento sismico che porta la struttura al raggiungimento dello stato limite (capacità), $PGA_{(D)}$ è l'accelerazione di picco dello spettro sismico di progetto (domanda di spostamento).

In generale, si può notare un peggioramento dei risultati nella modellazione eseguita con la presenza di bucatura. Inoltre, in

entrambi i modelli, si nota un comportamento variabile con le caratteristiche della muratura: la muratura in mattoni presente un comportamento più prestazionale; le risposte della muratura a sacco e di quella disordinata sono, invece, simili: in termini di indici di vulnerabilità, si registrano valori lievemente migliori per la tipologia a sacco; viceversa in termini di spostamento.

Modello senza finestre

Tipo	Dir. sisma	Carico sismico proporzionale	Dmax SLV [cm]	Du SLV [cm]	α SLV	α SLD	α SLO
MURATURA IN MATTONI	+X	Masse	0,33	1,20	1,79	1,92	2,50
	+X	1° modo	0,33	1,20	1,79	1,92	2,50
	-X	Masse	0,33	1,20	1,79	1,92	2,50
	-X	1° modo	0,33	1,20	1,79	1,92	2,50
	+Y	Masse	0,33	1,20	1,78	1,91	2,49
	+Y	1° modo	0,33	1,20	1,78	1,91	2,49
	-Y	Masse	0,33	1,20	1,78	1,91	2,49
	-Y	1° modo	0,33	1,20	1,78	1,91	2,49
MURATURA DISORDINATA	+X	Masse	1,14	1,20	1,02	1,75	2,14
	+X	1° modo	1,14	1,20	1,02	0,89	1,16
	-X	Masse	1,14	1,20	1,02	1,62	2,14
	-X	1° modo	1,14	1,20	1,02	1,30	1,71
	+Y	Masse	1,14	1,20	1,02	0,79	1,03
	+Y	1° modo	1,14	1,20	1,02	1,46	1,92
	-Y	Masse	1,14	1,20	1,02	1,24	1,63
	-Y	1° modo	1,14	1,20	1,02	2,13	2,18
MURATURA A SACCO	+X	Masse	1,30	1,20	0,95	1,79	2,11
	+X	1° modo	1,30	1,20	0,95	1,98	2,11
	-X	Masse	1,30	1,20	0,95	1,96	2,08
	-X	1° modo	1,30	1,20	0,95	1,36	1,78
	+Y	Masse	1,30	1,20	0,95	1,88	2,11
	+Y	1° modo	1,30	1,20	0,95	1,96	2,11
	-Y	Masse	1,30	1,20	0,95	1,29	1,68
	-Y	1° modo	1,30	1,20	0,95	1,81	2,11

Valori iniziali degli spostamenti e degli indici di vulnerabilità per tre differenti tipologie di muratura non rinforzata.

Modello con finestre

Tipo	Dir. sisma	Carico sismico proporzionale	Dmax SLV [cm]	Du SLV [cm]	α SLV	α SLD	α SLO
MURATURA IN MATTONI	+X	Masse	1,09	1,42	1,04	1,97	2,28
	+X	1° modo	1,09	1,42	1,04	1,97	2,28
	-X	Masse	1,08	1,44	1,04	0,85	1,10
	-X	1° modo	1,08	1,44	1,04	0,85	1,10
	+Y	Masse	1,45	1,50	0,69	1,57	1,71
	+Y	1° modo	1,45	1,50	0,69	1,57	1,7
	-Y	Masse	1,43	1,52	0,69	1,57	1,76
	-Y	1° modo	1,43	1,52	0,69	1,57	1,76
MURATURA DISORDINATA	+X	Masse	1,02	1,42	1,00	0,80	1,05
	+X	1° modo	1,02	1,42	1,00	0,80	1,05
	-X	Masse	1,02	1,42	1,00	0,84	1,09
	-X	1° modo	1,02	1,42	1,00	0,84	1,09
	+Y	Masse	1,34	1,34	0,68	0,59	0,77
	+Y	1° modo	1,34	1,34	0,68	0,59	0,77
	-Y	Masse	1,34	1,36	0,68	0,59	0,78
	-Y	1° modo	1,34	1,36	0,68	0,59	0,78
MURATURA A SACCO	+X	Masse	1,37	1,40	0,97	0,81	1,05
	+X	1° modo	1,37	1,40	0,97	0,81	1,05
	-X	Masse	1,37	1,44	0,97	0,81	1,05
	-X	1° modo	1,37	1,44	0,967	0,81	1,05
	+Y	Masse	1,82	1,52	0,64	1,38	1,44
	+Y	1° modo	1,82	1,52	0,64	1,38	1,44
	-Y	Masse	1,81	1,52	0,64	1,37	1,48
	-Y	1° modo	1,81	1,52	0,64	1,37	1,48

Valori iniziali degli spostamenti e degli indici di vulnerabilità per tre differenti tipologie di muratura non rinforzata.

Risultati ottenuti per lo STATO DI PROGETTO

Modello senza finestre

Di seguito si riportano i valori ottenuti per il modello senza finestre, ovvero a muro continuo, per le tre tipologie di rinforzo FRP.

Tipo	Dir. sisma	Carico sismico proporzionale	Dmax SLV [cm]	Du SLV [cm]	α SLV	Incremento Dmax SLV [cm]	Incremento Du SLV [cm]	Incremento di α SLV
MURATURA IN MATTONI	+X	Masse	0,33	1,80	2,33	0%	50%	30%
	+X	1° modo	0,33	1,80	2,33	0%	50%	30%
	-X	Masse	0,33	1,80	2,33	0%	50%	30%
	-X	1° modo	0,33	1,80	2,33	0%	50%	30%
	+Y	Masse	0,33	1,80	2,32	0%	50%	30%
	+Y	1° modo	0,33	1,80	2,32	0%	50%	30%
	-Y	Masse	0,33	1,80	2,32	0%	50%	30%
	-Y	1° modo	0,33	1,80	2,32	0%	50%	30%
MURATURA DISORDINATA	+X	Masse	0,52	1,80	1,70	-54%	50%	66%
	+X	1° modo	0,52	1,80	1,70	-54%	50%	66%
	-X	Masse	0,52	1,80	1,70	-54%	50%	66%
	-X	1° modo	0,52	1,80	1,70	-54%	50%	66%
	+Y	Masse	0,52	1,80	1,69	-54%	50%	66%
	+Y	1° modo	0,52	1,80	1,69	-54%	50%	66%
	-Y	Masse	0,52	1,80	1,69	-54%	50%	66%
	-Y	1° modo	0,52	1,80	1,69	-54%	50%	66%
MURATURA A SACCO	+X	Masse	0,43	1,80	2,01	-67%	50%	111%
	+X	1° modo	0,43	1,80	2,01	-67%	50%	111%
	-X	Masse	0,43	1,80	2,01	-67%	50%	111%
	-X	1° modo	0,43	1,80	2,01	-67%	50%	111%
	+Y	Masse	0,43	1,80	2,01	-67%	50%	111%
	+Y	1° modo	0,43	1,80	2,01	-67%	50%	111%
	-Y	Masse	0,43	1,80	2,01	-67%	50%	111%
	-Y	1° modo	0,43	1,80	2,01	-67%	50%	111%

Valori degli spostamenti e degli indici di vulnerabilità per tre differenti tipologie di muratura rinforzate con FRP con **fibre di Vetro**: confronto con la muratura non rinforzata.

Tipo	Dir. sisma	Carico sismico proporzionale	Dmax SLV [cm]	Du SLV [cm]	α SLV	Incremento Dmax SLV [cm]	Incremento Du SLV [cm]	Incremento di α SLV
MURATURA IN MATTONI	+X	Masse	0,05	1,80	3,76	-85%	50%	110%
	+X	1° modo	0,05	1,80	3,76	-85%	50%	110%
	-X	Masse	0,05	1,80	3,76	-85%	50%	110%
	-X	1° modo	0,05	1,80	3,76	-85%	50%	110%
	+Y	Masse	0,05	1,80	3,75	-85%	50%	110%
	+Y	1° modo	0,05	1,80	3,75	-85%	50%	110%
	-Y	Masse	0,05	1,80	3,75	-85%	50%	110%
	-Y	1° modo	0,05	1,80	3,75	-85%	50%	110%
MURATURA DISORDINATA	+X	Masse	0,52	1,80	1,70	-54%	50%	66%
	+X	1° modo	0,52	1,80	1,70	-54%	50%	66%
	-X	Masse	0,52	1,80	1,70	-54%	50%	66%
	-X	1° modo	0,52	1,80	1,70	-54%	50%	66%
	+Y	Masse	0,52	1,80	1,70	-54%	50%	66%
	+Y	1° modo	0,52	1,80	1,70	-54%	50%	66%
	-Y	Masse	0,52	1,80	1,70	-54%	50%	66%
	-Y	1° modo	0,52	1,80	1,70	-54%	50%	66%
MURATURA A SACCO	+X	Masse	0,43	1,80	2,01	-67%	50%	111%
	+X	1° modo	0,43	1,80	2,01	-67%	50%	111%
	-X	Masse	0,43	1,80	2,01	-67%	50%	111%
	-X	1° modo	0,43	1,80	2,01	-67%	50%	111%
	+Y	Masse	0,43	1,80	2,01	-67%	50%	111%
	+Y	1° modo	0,43	1,80	2,01	-67%	50%	111%
	-Y	Masse	0,43	1,80	2,01	-67%	50%	111%
	-Y	1° modo	0,43	1,80	2,01	-67%	50%	111%

Valori degli spostamenti e degli indici di vulnerabilità per tre differenti tipologie di muratura rinforzate con FRP con **fibre di Carbonio**: confronto con la muratura non rinforzata.

Tipo	Dir. sisma	Carico sismico proporzionale	Dmax SLV [cm]	Du SLV [cm]	α SLV	Incremento Dmax SLV [cm]	Incremento Du SLV [cm]	Incremento di α SLV
MURATURA IN MATTONI	+X	Masse	0,05	1,80	3,77	-85%	50%	111%
	+X	1° modo	0,05	1,80	3,77	-85%	50%	111%
	-X	Masse	0,05	1,80	3,77	-85%	50%	111%
	-X	1° modo	0,05	1,80	3,77	-85%	50%	111%
	+Y	Masse	0,05	1,80	3,76	-85%	50%	111%
	+Y	1° modo	0,05	1,80	3,76	-85%	50%	111%
	-Y	Masse	0,05	1,80	3,76	-85%	50%	111%
	-Y	1° modo	0,05	1,80	3,76	-85%	50%	111%
MURATURA DISORDINATA	+X	Masse	0,51	1,80	1,71	-55%	50%	67%
	+X	1° modo	0,51	1,80	1,71	-55%	50%	67%
	-X	Masse	0,51	1,80	1,71	-55%	50%	67%
	-X	1° modo	0,51	1,80	1,71	-55%	50%	67%
	+Y	Masse	0,51	1,80	1,71	-55%	50%	67%
	+Y	1° modo	0,51	1,80	1,71	-55%	50%	67%
	-Y	Masse	0,51	1,80	1,71	-55%	50%	67%
	-Y	1° modo	0,51	1,80	1,71	-55%	50%	67%
MURATURA A SACCO	+X	Masse	0,43	1,80	2,01	-67%	50%	111%
	+X	1° modo	0,43	1,80	2,01	-67%	50%	111%
	-X	Masse	0,43	1,80	2,01	-67%	50%	111%
	-X	1° modo	0,43	1,80	2,01	-67%	50%	111%
	+Y	Masse	0,43	1,80	2,01	-67%	50%	111%
	+Y	1° modo	0,43	1,80	2,01	-67%	50%	111%
	-Y	Masse	0,43	1,80	2,01	-67%	50%	111%
	-Y	1° modo	0,43	1,80	2,01	-67%	50%	111%

Valori degli spostamenti e degli indici di vulnerabilità per tre differenti tipologie di muratura rinforzate con FRP con **fibre di Basalto**: confronto con la muratura non rinforzata.

Dal confronto delle analisi, quindi, è evidente come vi sia un incremento della risposta del modello (sia in termini degli spostamenti che degli indici di vulnerabilità) al crescere delle caratteristiche meccaniche del rinforzo. Inoltre, le differenze fra i risultati ottenuti con i G-FRP e i B-FRP sono minime così come è minima la diversità dei rispettivi moduli elastici.

Inoltre, emblematico appare il caso della muratura a sacco in cui,

pur aumentando le caratteristiche meccaniche del rinforzo, non si ottengono miglioramenti, sintomo che la muratura raggiunge il collasso. Di seguito, per ciascuna tipologia di muratura analizzata, si riportano gli schemi riassuntivi e comparativi degli incrementi ottenuti per le differenti fibre utilizzate, sia in termini di spostamenti che di indice di vulnerabilità.

MURATURA IN MATTONI

Tipo	Incremento Dmax SLV [cm]	Incremento Du SLV [cm]	Incremento di α SLV	Incremento di α SLD _{max}
G-FRP	0%	50%	30%	94%
C-FRP	-85%	50%	110%	220%
B-FRP	-85%	50%	111%	223%

Confronto degli incrementi di spostamento e degli indici di vulnerabilità per la **muratura in mattoni** rinforzata con FRP con fibre di Vetro (G), Carbonio (C) e Basalto (B).

MURATURA DISORDINATA

Tipo	Incremento Dmax SLV [cm]	Incremento Du SLV [cm]	Incremento di α SLV	Incremento di α SLD _{max}
G-FRP	-54%	50%	66%	276%
C-FRP	-54%	50%	66%	210%
B-FRP	-55%	50%	67%	255%

Confronto degli incrementi di spostamento e degli indici di vulnerabilità per la **muratura disordinata** rinforzata con FRP con fibre di Vetro (G), Carbonio (C) e Basalto (B).

MURATURA A SACCO

Tipo	Incremento Dmax SLV [cm]	Incremento Du SLV [cm]	Incremento di α SLV	Incremento di α SLD _{max}
G-FRP	-67%	50%	110%	84%
C-FRP	-67%	50%	110%	84%
B-FRP	-67%	50%	110%	84%

Confronto degli incrementi di spostamento e degli indici di vulnerabilità per la **muratura a sacco** rinforzata con FRP con fibre di Vetro (G), Carbonio (C) e Basalto (B).

Modello con finestre

Le stesse valutazioni condotte per il modello senza finestre sono state effettuate, poi, nel modello in presenza di bucatore.

In questo caso le analisi sono state condotte, in prima istanza, considerando il solo rinforzo verticale.

I risultati sono di seguito riportati.

Tipo	Dir. sisma	Carico sismico proporzionale	Dmax x SLV [cm]	Du SLV [cm]	α SLV	Incremento Dmax SLV [cm]	Incremento Du SLV [cm]	Incremento di α SLV
MURATURA IN MATTONI	+X	Masse	0,69	0,77	1,04	-37%	-46%	1%
	+X	1° modo	0,69	0,77	1,04	-37%	-46%	1%
	-X	Masse	0,71	264,73	1,95	-34%	18284%	88%
	-X	1° modo	0,71	264,73	1,95	-34%	18284%	88%
	+Y	Masse	0,31	1,40	1,59	-79%	-7%	133%
	+Y	1° modo	0,31	1,40	1,59	-79%	-7%	133%
	-Y	Masse	0,31	1,40	1,60	-78%	-8%	133%
	-Y	1° modo	0,31	1,40	1,60	-78%	-8%	133%
MURATURA DISORDINATA	+X	Masse	1,00	0,71	0,80	-2%	-50%	-20%
	+X	1° modo	1,00	0,71	0,80	-2%	-50%	-20%
	-X	Masse	0,99	0,35	0,57	-3%	-75%	-43%
	-X	1° modo	0,99	0,35	0,57	-3%	-75%	-43%
	+Y	Masse	1,10	1,36	1,01	-18%	1%	49%
	+Y	1° modo	1,10	1,36	1,01	-18%	1%	49%
	-Y	Masse	1,10	1,36	1,01	-18%	0%	49%
	-Y	1° modo	1,10	1,36	1,01	-18%	0%	49%
MURATURA A SACCO	+X	Masse	1,20	0,76	0,77	-12%	-46%	-21%
	+X	1° modo	1,20	0,76	0,77	-12%	-46%	-21%
	-X	Masse	1,17	0,57	0,69	-15%	-60%	-29%
	-X	1° modo	1,17	0,57	0,69	-15%	-60%	-29%
	+Y	Masse	1,20	1,38	1,08	-34%	-9%	68%
	+Y	1° modo	1,20	1,38	1,08	-34%	-9%	68%
	-Y	Masse	1,20	1,38	1,09	-34%	-9%	69%
	-Y	1° modo	1,20	1,38	1,09	-34%	-9%	69%

Valori degli spostamenti e degli indici di vulnerabilità per tre differenti tipologie di muratura rinforzate con FRP con **fibre di Vetro**: confronto con la muratura non rinforzata.

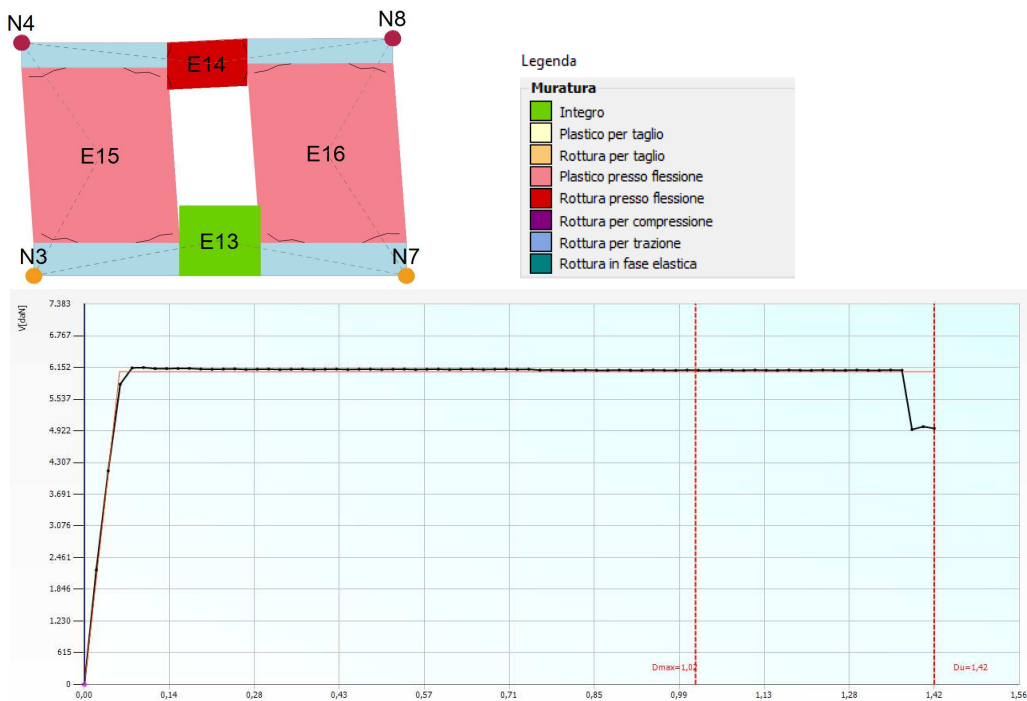
Tipo	Dir. sisma	Carico sismico proporzionale	Dmax SLV [cm]	Du SLV [cm]	α SLV	Incremento Dmax SLV [cm]	Incremento Du SLV [cm]	Incremento di α SLV
MURATURA IN MATTONI	+X	Masse	0,69	0,77	1,04	-37%	-46%	1%
	+X	1° modo	0,69	0,77	1,04	-37%	-46%	1%
	-X	Masse	0,65	245,01	2,08	-40%	16915%	101%
	-X	1° modo	0,65	245,01	2,08	-40%	16915%	101%
	+Y	Masse	0,31	1,40	1,59	-79%	-7%	133%
	+Y	1° modo	0,31	1,40	1,59	-79%	-7%	133%
	-Y	Masse	0,31	1,40	1,60	-78%	-8%	133%
	-Y	1° modo	0,31	1,40	1,60	-78%	-8%	133%
MURATURA DISORDINATA	+X	Masse	1,00	0,71	0,80	-2%	-50%	-20%
	+X	1° modo	1,00	0,71	0,80	-2%	-50%	-20%
	-X	Masse	1,02	93,18	1,04	0%	6462%	4%
	-X	1° modo	1,02	93,18	1,04	0%	6462%	4%
	+Y	Masse	1,10	1,42	1,01	-18%	6%	49%
	+Y	1° modo	1,10	1,42	1,01	-18%	6%	49%
	-Y	Masse	1,10	1,42	1,01	-18%	4%	49%
	-Y	1° modo	1,10	1,42	1,01	-18%	4%	49%
MURATURA A SACCO	+X	Masse	1,20	0,76	0,77	-12%	-46%	-21%
	+X	1° modo	1,20	0,76	0,77	-12%	-46%	-21%
	-X	Masse	1,21	190,48	1,32	-12%	13128%	36%
	-X	1° modo	1,21	190,48	1,32	-12%	13128%	36%
	+Y	Masse	1,20	1,38	1,08	-34%	-9%	68%
	+Y	1° modo	1,20	1,38	1,08	-34%	-9%	68%
	-Y	Masse	1,20	1,38	1,09	-34%	-9%	69%
	-Y	1° modo	1,20	1,38	1,09	-34%	-9%	69%

Valori degli spostamenti e degli indici di vulnerabilità per tre differenti tipologie di muratura rinforzate con FRP con **fibre di Carbonio**: confronto con la muratura non rinforzata.

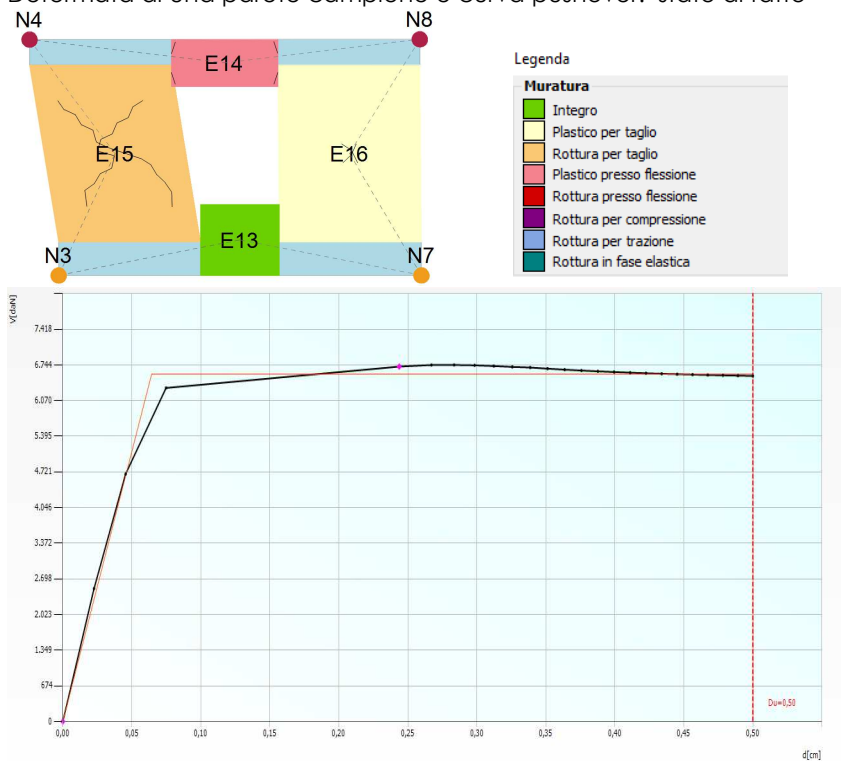
Tipo	Dir. sisma	Carico sismico proporzionale	Dmax SLV [cm]	Du SLV [cm]	α SLV	Incremento Dmax SLV [cm]	Incremento Du SLV [cm]	Incremento di α SLV
MURATURA IN MATTONI	+X	Masse	0,69	0,77	1,04	-37%	-46%	1%
	+X	1° modo	0,69	0,77	1,04	-37%	-46%	1%
	-X	Masse	0,71	264,73	1,95	-34%	18284%	88%
	-X	1° modo	0,71	264,73	1,95	-34%	18284%	88%
	+Y	Masse	0,31	1,40	1,59	-79%	-7%	133%
	+Y	1° modo	0,31	1,40	1,59	-79%	-7%	133%
	-Y	Masse	0,31	1,40	1,60	-78%	-8%	133%
	-Y	1° modo	0,31	1,40	1,60	-78%	-8%	133%
MURATURA DISORDINATA	+X	Masse	1,00	0,71	0,80	-2%	-50%	-20%
	+X	1° modo	1,00	0,71	0,80	-2%	-50%	-20%
	-X	Masse	0,99	0,35	0,57	-3%	-75%	-43%
	-X	1° modo	0,99	0,35	0,57	-3%	-75%	-43%
	+Y	Masse	1,10	1,36	1,01	-18%	1%	49%
	+Y	1° modo	1,10	1,36	1,01	-18%	1%	49%
	-Y	Masse	1,10	1,36	1,01	-18%	0%	49%
	-Y	1° modo	1,10	1,36	1,01	-18%	0%	49%
MURATURA A SACCO	+X	Masse	1,20	0,76	0,77	-12%	-46%	-21%
	+X	1° modo	1,20	0,76	0,77	-12%	-46%	-21%
	-X	Masse	1,17	0,57	0,69	-15%	-60%	-29%
	-X	1° modo	1,17	0,57	0,69	-15%	-60%	-29%
	+Y	Masse	1,20	1,38	1,08	-34%	-9%	68%
	+Y	1° modo	1,20	1,38	1,08	-34%	-9%	68%
	-Y	Masse	1,20	1,38	1,09	-34%	-9%	69%
	-Y	1° modo	1,20	1,38	1,09	-34%	-9%	69%

Valori degli spostamenti e degli indici di vulnerabilità per tre differenti tipologie di muratura rinforzate con FRP con **fibre di Basalto**: confronto con la muratura non rinforzata.

Come è possibile vedere, gli incrementi in termine di vulnerabilità, con l'applicazione del solo rinforzo verticale sono, in alcuni casi, peggiorati (valori negativi). Questo perché si instaurano, nei maschi murari, delle plasticizzazioni per taglio per come visibile nella deformata di una parete campione riportata di seguito.



Deformata di una parete campione e curva pushover: stato di fatto



Deformata di una parete campione e curva pushover: solo rinforzo verticale con B-FRP.

Inoltre, l'analisi dei risultati evidenzia, in alcuni casi, una riduzione dello spostamento ultimo (D_U SLV).

Per questo si è deciso di effettuare uguali analisi aggiungendo un rinforzo a taglio, modellato con uguali caratteristiche geometriche e passo di quello verticale.

Di seguito i risultati.

Tipo	Dir. sisma	Carico sismico proporzionale	Dmax SLV [cm]	Du SLV [cm]	α SLV	Incremento Dmax SLV [cm]	Incremento Du SLV [cm]	Incremento di α SLV
MURATURA IN MATTONI	+X	Masse	0,31	2,91	8,195	-72%	105%	691%
	+X	1° modo	0,31	2,91	8,195	-72%	105%	691%
	-X	Masse	0,31	2,91	8,196	-71%	102%	690%
	-X	1° modo	0,31	2,91	8,196	-71%	102%	690%
	+Y	Masse	0,33	2,95	7,713	-77%	97%	1026%
	+Y	1° modo	0,33	2,95	7,713	-77%	97%	1026%
	-Y	Masse	0,33	2,95	7,713	-77%	94%	1026%
	-Y	1° modo	0,33	2,95	7,713	-77%	94%	1026%
MURATURA DISORDINATA	+X	Masse	0,28	1,93	7,646	-73%	36%	460%
	+X	1° modo	0,28	1,93	7,646	-73%	36%	460%
	-X	Masse	0,28	2,21	7,217	-73%	56%	464%
	-X	1° modo	0,28	2,21	7,217	-73%	56%	464%
	+Y	Masse	0,32	2,85	6,538	-76%	113%	820%
	+Y	1° modo	0,32	2,85	6,538	-76%	113%	820%
	-Y	Masse	0,32	2,85	6,633	-76%	110%	820%
	-Y	1° modo	0,32	2,85	6,633	-76%	110%	820%
MURATURA A SACCO	+X	Masse	0,42	2,91	6,986	-69%	108%	618%
	+X	1° modo	0,42	2,91	6,986	-69%	108%	618%
	-X	Masse	0,42	2,91	6,988	-69%	102%	621%
	-X	1° modo	0,42	2,91	6,988	-69%	102%	621%
	+Y	Masse	0,45	2,95	6,603	-75%	94%	925%
	+Y	1° modo	0,45	2,95	6,603	-75%	94%	925%
	-Y	Masse	0,45	2,97	6,624	-75%	95%	929%
	-Y	1° modo	0,45	2,97	6,624	-75%	95%	929%

Valori degli spostamenti e degli indici di vulnerabilità per tre differenti tipologie di muratura rinforzate con FRP con fibre di Vetro: confronto con la muratura non rinforzata.

Tipo	Dir. sisma	Carico sismico proporzionale	Dmax SLV [cm]	Du SLV [cm]	α SLV	Incremento Dmax SLV [cm]	Incremento Du SLV [cm]	Incremento di α SLV
MURATURA IN MATTONI	+X	Masse	0,24	2,94	10,06	-78%	107%	871%
	+X	1° modo	0,24	2,94	10,06	-78%	107%	871%
	-X	Masse	0,24	2,94	10,06	-78%	104%	870%
	-X	1° modo	0,24	2,94	10,06	-78%	104%	870%
	+Y	Masse	0,25	2,99	9,58	-83%	99%	1298%
	+Y	1° modo	0,25	2,99	9,58	-83%	99%	1298%
	-Y	Masse	0,25	2,97	9,56	-83%	95%	1296%
	-Y	1° modo	0,25	2,97	9,56	-83%	95%	1296%
MURATURA DISORDINATA	+X	Masse	0,01	1,8	55,74	-99%	27%	5468%
	+X	1° modo	0,01	1,8	55,74	-99%	27%	5468%
	-X	Masse	0,01	1,8	55,74	-99%	27%	5485%
	-X	1° modo	0,01	1,8	55,74	-99%	27%	5485%
	+Y	Masse	0,01	1,8	55,73	-99%	34%	8145%
	+Y	1° modo	0,01	1,8	55,73	-99%	34%	8145%
	-Y	Masse	0,01	1,8	55,73	-99%	32%	8145%
	-Y	1° modo	0,01	1,8	55,73	-99%	32%	8145%
MURATURA A SACCO	+X	Masse	0,32	2,95	7,93	-77%	111%	715%
	+X	1° modo	0,32	2,95	7,93	-77%	111%	715%
	-X	Masse	0,32	2,95	7,93	-77%	105%	718%
	-X	1° modo	0,32	2,95	7,93	-77%	105%	718%
	+Y	Masse	0,34	2,98	7,52	-81%	96%	1068%
	+Y	1° modo	0,34	2,98	7,52	-81%	96%	1068%
	-Y	Masse	0,34	2,98	7,52	-81%	96%	1068%
	-Y	1° modo	0,34	2,98	7,52	-81%	96%	1068%

Valori degli spostamenti e degli indici di vulnerabilità per tre differenti tipologie di muratura rinforzate con FRP con fibre di Carbonio: confronto con la muratura non rinforzata.

Tipo	Dir. sisma	Carico sismico proporzionale	Dmax SLV [cm]	Du SLV [cm]	α SLV	Incremento Dmax SLV [cm]	Incremento Du SLV [cm]	Incremento di α SLV
MURATURA IN MATTONI	+X	Masse	0,28	1,94	5,772	-73%	37%	477%
	+X	1° modo	0,28	1,94	5,772	-73%	37%	477%
	-X	Masse	0,28	2,22	5,784	-73%	56%	480%
	-X	1° modo	0,28	2,22	5,784	-73%	56%	480%
	+Y	Masse	0,31	2,86	6,211	-77%	113%	819%
	+Y	1° modo	0,31	2,86	6,211	-77%	113%	819%
	-Y	Masse	0,31	2,86	6,207	-77%	110%	818%
	-Y	1° modo	0,31	2,86	6,207	-77%	110%	818%
MURATURA DISORDINATA	+X	Masse	0,3	2,91	8,117	-72%	105%	683%
	+X	1° modo	0,3	2,91	8,117	-72%	105%	683%
	-X	Masse	0,3	2,91	8,117	-72%	102%	683%
	-X	1° modo	0,3	2,91	8,117	-72%	102%	683%
	+Y	Masse	0,32	2,97	7,575	-78%	98%	1006%
	+Y	1° modo	0,32	2,97	7,575	-78%	98%	1006%
	-Y	Masse	0,32	2,95	7,565	-78%	94%	1004%
	-Y	1° modo	0,32	2,95	7,565	-78%	94%	1004%
MURATURA A SACCO	+X	Masse	0,41	2,91	7,048	-70%	108%	624%
	+X	1° modo	0,41	2,91	7,048	-70%	108%	624%
	-X	Masse	0,41	2,91	7,062	-70%	102%	629%
	-X	1° modo	0,41	2,91	7,062	-70%	102%	629%
	+Y	Masse	0,44	2,95	6,665	-76%	94%	935%
	+Y	1° modo	0,44	2,95	6,665	-76%	94%	935%
	-Y	Masse	0,44	2,97	6,688	-76%	95%	939%
	-Y	1° modo	0,44	2,97	6,688	-76%	95%	939%

Valori degli spostamenti e degli indici di vulnerabilità per tre differenti tipologie di muratura rinforzate con FRP con fibre di Basalto: confronto con la muratura non rinforzata.

Le analisi, in questo, caso hanno evidenziato un notevole incremento positivo.

PARTE 3

LA PROCEDURA METODOLOGICA PROPOSTA:
APPROCCIO SPEDITIVO-SEMIQUANTITATIVO PER LA DEFINIZIONE
DI UN INDICE DI VULNERABILITA' COMPLESSIVO DEI NUCLEI CONSOLIDATI

Introduzione alla parte 3

La lettura dello stato dell'arte eseguita nella prima parte della seguente tesi di dottorato, nonché la conoscenza dei centri storici e delle loro differenti caratteristiche morfologiche, tipologiche, urbane, aggregative, architettoniche, costruttive, hanno consentito di maturare e stilare una proposta metodologica per la valutazione di un indice complessivo di vulnerabilità dei nuclei consolidati.

Partendo dall'assunto, già evidenziato, che ad oggi esistono sporadici metodi che analizzano la vulnerabilità urbana, mentre ampiamente esaminata e chiarita è quella strutturale e, inoltre, che non è presente una sua definizione univoca, il presente lavoro di tesi vuole porsi quale elemento innovativo in tal senso, proponendo l'esplicitazione di una vulnerabilità complessiva per i nuclei consolidati.

Un indice, quindi, che non considera solo le caratteristiche costruttive e tecnologiche del costruito (proprie dell'analisi per il danno strutturale) ma, anche, quelle urbane che relazionano il costruito al tessuto dei vuoti, al contesto paesaggistico e geomorfologico, facendo riferimento a una scala territoriale.

La lettura delle metodologie, degli studi e dei quadri normativi ad oggi presenti in tale ambito scientifico, nonché l'anamnesi degli eventi sismici del passato, hanno consentito di estrapolare alcune criticità proprie e tipiche dei nuclei antichi, del tessuto costruito e di quello urbano, delle tecniche costruttive e dei materiali, delle fasi di primo intervento, delle modalità d'uso dei centri storici e del patrimonio culturale, consentendo di evidenziarne gli effetti in caso di sisma.

Inoltre, il confronto con lo stato dell'arte, è stato di decisivo aiuto nella fase di scelta delle modalità di indicizzazione di quei fattori che la scrivente definisce concorrenti alla vulnerabilità complessiva e che, quindi, devono essere analizzati singolarmente.

Al fine di esprimere il suddetto indice complessivo, quindi, si propone un vero e proprio metodo applicabile per fasi successive che è sia speditivo, data la quantità di dati che dovrebbero collezionarsi per la scala urbana, sia semi-quantitativo, in quanto attribuisce punteggi e valutazioni per lo più di tipo qualitativo.

L'applicazione della metodologia ha, infine, condotto, nel presente lavoro di ricerca, alla redazione di un foglio di calcolo elettronico che, così come quello proposto dalla Regione Emilia-Romagna, ma con impostazione del tutto contrapposta, consente di estrapolare l'indice complessivo di vulnerabilità per i nuclei consolidati analizzati.

1. PROCEDURA METODOLOGICA PROPOSTA: L'APPROCCIO, IL PROCESSO, IL DOMINIO E LE FINALITA'

1.1. Per una nuova definizione di vulnerabilità sismica complessiva dei nuclei consolidati

La ricerca proposta, come già detto, indaga il rapporto tra l'esigenza della conservazione e riqualificazione architettonica e urbana dei tessuti storici e la necessità di conseguire, in tali ambiti, gli adeguati livelli di sicurezza e prevenzione nei confronti delle azioni statiche e dinamiche.

La vulnerabilità, negli ambiti consolidati, deriva da innumerevoli fattori che possono essere ricondotti alle caratteristiche dei siti di insediamento, molto spesso contraddistinti da criticità geomorfologiche e sismiche, da criticità derivanti dall'utilizzo di determinate tecniche costruttive, dalle stratificazioni successive, dalle modifiche funzionali e strutturali, dalla contiguità degli edifici in aggregati complessi e dalle conseguenti interrelazioni strutturali e dagli effetti dinamici, dalla morfologia dei percorsi e degli spazi aperti. Per tal motivo, si è visto (parte 1, §2), si è attuata, nel tempo, una vera e propria evoluzione del concetto di vulnerabilità che ha portato a una sua estensione, di scala ma anche concettuale, dall'analisi della singola Unità Strutturale, all'aggregato e, infine, al centro urbano tutto.

Proprio alla varietà di concause che possono ingenerare criticità nella risposta complessiva di un nucleo antico a un evento sismico fa riferimento la presente tesi di dottorato.

Facendo seguito alla necessità, evidenziata dalle normative

d'indirizzo²⁸¹, di analizzare i contesti storici nella loro totalità e non solamente quali sommatoria di edifici/aggregati storici, nonché all'esigenza, sempre più impellente, da parte degli Enti Locali, di censire il proprio patrimonio costruito al fine di progettare e validare indirizzi di intervento per la messa in sicurezza dello stesso, si vuole proporre una metodologia che si pone la finalità di indicizzare la vulnerabilità dei nuclei consolidati.

In tal senso, la vulnerabilità proposta nella presente tesi vuole definirsi, con carattere innovativo, come quella vulnerabilità complessiva (strutturale e urbana) del singolo nucleo consolidato che si manifesta come interrelazione di una serie di fattori e di criticità che possono essere propri del centro storico oppure indotti da elementi circostanti che ne caratterizzano il paesaggio e il contesto. Per la complessità e la varietà dei nuclei consolidati, tali caratteristiche sono fortemente influenzate dalla localizzazione, dalla storia, dalle tradizioni locali, dall'evoluzione del centro stesso e sono, inoltre, afferenti a differenti classi relative a: tipologia edilizia e d'impianto, tecniche costruttive e materiali, paesaggio e morfologia geografica, impianto urbano e composizione dei vuoti, caratteristiche d'utilizzo e livelli di affollamento, livelli funzionali e valore culturale dei singoli beni. In generale, tali fattori sono relativi a quattro differenti macro-aree tipologiche (dati strutturali, dati urbani, dati di utilizzo-affollamento, rischi esterni) che devono essere lette sia in relazione alle tematiche di prevenzione del rischio sismico sia rispetto alla fase di post-intervento emergenziale a valle di un evento calamitoso.²⁸².

²⁸¹ Cfr. GRUPPO DI LAVORO ISTITUITO CON NOTA DEL PRESIDENTE DEL CONSIGLIO SUPERIORE DEI LAVORI PUBBLICI n. 7547 del 6.9.2010, *op. cit.*; UNESCO, *op. cit.*

²⁸² La presente definizione è proposta interamente da chi scrive.

Quindi, diversi fattori contribuiscono alla definizione della vulnerabilità proposta nel lavoro presentato; gli stessi, che possono raggrupparsi per lo più in quattro macro-aree, devono essere, perciò, parametrizzati al fine di estrapolare un indice per tale vulnerabilità complessiva.

Proprio attraverso le analisi critiche dello stato dell'arte, congiuntamente alle problematiche emerse nei maggiori terremoti attuali e storici (si veda la parte I della seguente tesi), si sono estrapolati tali fattori.

Lo studio condotto per la definizione della metodologia, quindi, ha comportato, innanzitutto, l'individuazione e la catalogazione di tali parametri, essenziali per l'influenza che hanno sulla fragilità sismica dei centri consolidati.

Di seguito, attraverso una sintesi di quanto già emerso nello stato dell'arte, si mettono in evidenza i fattori estrapolati.

Per quanto riguarda l'anamnesi delle diverse tipologie di valutazioni della vulnerabilità strutturale oggi utilizzate (parte I, §3), essa ha evidenziato che i fattori e i parametri di cui si tiene maggiormente conto nei metodi applicati riguardano, principalmente, le tipologie strutturali per i differenti elementi tecnici, i materiali e le tecnologie costruttive, le tecniche di rinforzo tradizionali e quelle innovative, le tipologie stratigrafiche dei piani di fondazione, le regolarità geometriche nonché le relazioni che intercorrono fra la singola Unità Strutturale e l'intero aggregato. Importanti, poi, all'interno dello stato dell'arte della vulnerabilità strutturale, sono le Linee Guida del MiBACT²⁸³ innanzitutto per la definizione dei tre diversi Livelli di Valutazione (LV1-LV2-LV3) e, in particolar modo, per il primo a carattere speditivo e urbano, al quale deve necessariamente rifarsi la presente tesi di dottorato. Inoltre, lo stesso indirizzo normativo è utile per la formulazione

²⁸³ MINISTERO PER I BENI E LE ATTIVITÀ CULTURALI, *op. cit.*

dell'indice di sicurezza LV1 associato alle chiese nel quale vengono considerati i benefici dovuti alla presenza di elementi tecnologici antisismici, suggerendo l'idea di introdurre un fattore correttivo riferito alla presenza di presidi, sia urbani (archi sopra le strade, archi di contrasto, *rue*) che costruttivi (catene, radicamenti, capriate inchiodate, muri a scarpa, contrafforti). L'anamnesi sviluppata per quanto concerne la vulnerabilità urbana, poi, ha consentito di estrapolare valide basi e una metodologia, quella dell'Emilia-Romagna, con la quale raffrontare quanto si vuole proporre (parte I, §4).

I fattori di vulnerabilità che sono emersi da tale approccio, riguardano la viabilità, i vuoti urbani, la morfologia urbana, i gradi di affollamento, le valenze funzionali e culturali degli edifici ma, anche, la presenza di elementi critici e l'importanza dei servizi e delle utenze. In tale ottica, la metodologia dell'Emilia-Romagna rappresenta, nella sua unicità, un modello inesauribile di informazioni dal quale attingere e riproporre la tipologia di analisi, l'impostazione processuale, la fase pratico-applicativa, nonché, gli scopi e gli obiettivi²⁸⁴.

Infine, l'anamnesi condotta sugli effetti dei terremoti recenti (parte I, §5) ha evidenziato alcuni elementi di similitudine negli eventi sismici che si sono abbattuti sul territorio italiano, se pur ciascuno con proprie specificità. I fattori di vulnerabilità emersi da tale analisi, utili al fine della presente tesi, sono stati identificati in: tipologie strutturali, materiali e tecniche costruttive, tecniche di

²⁸⁴ Si vuole specificare, come chiaramente visibile da un rapido confronto delle due metodologie, che quanto proposto nella presente tesi di dottorato non ripropone fedelmente quanto già presente e messo in atto dall'Emilia-Romagna. La metodologia, per come ideata dalla scrivente, infatti, aggiunge una serie di parametri strutturali, geologici ma, anche, urbani non considerati dall'altro metodo; inoltre, non effettua l'analisi per sistemi funzionali (alla base del metodo dell'Emilia-Romagna) e, soprattutto, aggiunge un'intera parte valutativa riferita ai singoli aggregati edilizi.

rinforzo tradizionali e innovative, tipologie stratigrafiche del suolo di fondazione, rischi geologici, morfologia e tipologia delle vie di comunicazione, presenza e morfologia dei luoghi sicuri, destinazione d'uso degli edifici, grado di affollamento, presenza di elementi vulnerabili nel contesto denso, diffusione e sicurezza dei beni culturali.

Le analisi critiche dello stato dell'arte, quindi, hanno portato a evidenziare i "parametri urbani" che devono considerarsi nella definizione della vulnerabilità presentata dalla scrivente. Sono, questi, solo alcuni di quelli presi in considerazione, nel metodo proposto.

I fattori di vulnerabilità individuati, poi, sono catalogati e raggruppati per tipologia, secondo un'impostazione gerarchica e a cascata all'interno della quale, dal generale al particolare, si individuano:

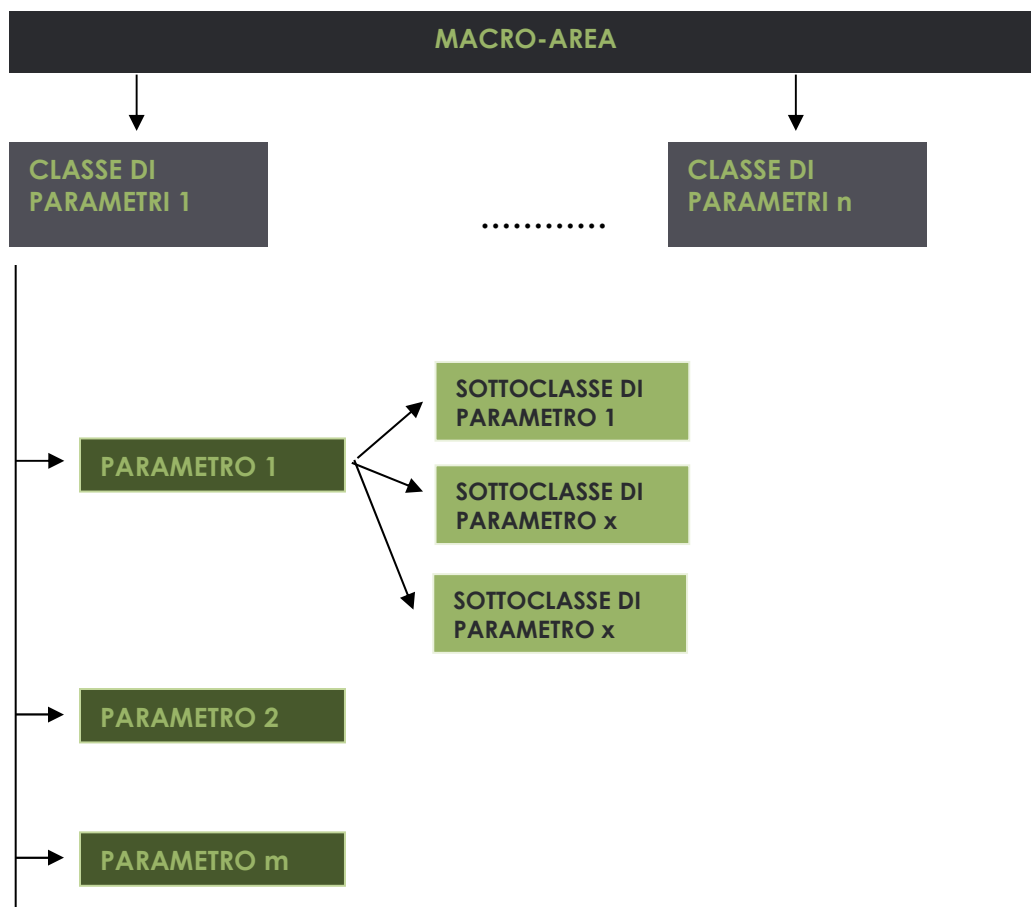
- **Macro-aree:** raggruppano tutti i fattori individuati in famiglie omogenee caratterizzate dall'attinenza e dalla tipologia dell'elemento analizzato. Il principale legame che genera tale suddivisione è del tipo causa-effetto; le macro-aree, infatti, sono concepite in modo da unire i parametri di vulnerabilità in base alla causa che può ingenerare il danno.

Le quattro macro-aree nelle quali fare confluire tutti i possibili parametri individuati sono relative ai dati: **strutturali, urbani, di utilizzo-affollamento, rischi esterni;**

- **Classi di parametri:** ovvero le variabili e le caratteristiche specifiche interne a ciascuna macro-area, che accomunano alcuni dei parametri attribuibili a quella stessa area;
- **Parametri:** ovvero i singoli fattori di vulnerabilità individuati;

- **Sottoclassi dei parametri:** ovvero la distinzione in *range* o tipologie che definisce i parametri e che consente di indicizzarli. Solo a queste, infatti, sono associati i punteggi per la valutazione di ciascun parametro.

Ciascuna delle quattro macro-aree individuate, dunque, può avere n classi di parametri che la compongono; a loro volta, le classi possono racchiudere m parametri e, ciascuno di questi, essere distinguibile in base a x sottoclassi parametrizzate, secondo lo schema gerarchico riportato di seguito.



Schema relativo all'organizzazione gerarchica dei parametri individuati che concorrono alla definizione dell'indice di vulnerabilità complessiva.

La distinzione fra le differenti parti, quindi, rappresenta una vera e propria operazione di catalogazione atta a raggruppare le informazioni da collezionare e reperire, per la definizione della vulnerabilità di un nucleo antico, in categorie e classi omogenee così come richiesto e attuato nelle schede di catalogazione e di rilievo oggi usate²⁸⁵.

La metodologia proposta, infatti, si basa sulla conoscenza e l'analisi dei parametri individuati applicati all'ambito territoriale del centro consolidato e, quindi, nell'inserimento di tali dati all'interno di una vera e propria scheda tipo di catalogazione progettata nel corso dello studio di dottorato (si vedano i capitoli successivi).

Di seguito si riportano, per le quattro macro-aree (numerate), le classi individuate (indicate con le lettere) e tutti i parametri (elencati sotto la corrispettiva classe) che devono considerarsi per la definizione di una vulnerabilità complessiva.

Per le specifiche sulle sottoclassi di ciascun parametro, invece, si rimanda al §2 della presente parte, appositamente dedicato.

1. DATI STRUTTURALI

a) Relazioni spaziali e interrelazioni strutturali

- numero di edifici;
- tipologia di aggregati;

b) Caratteristiche e tipologie strutturali

- tipologia di suolo;
- tipologia strutturale dell'edificio/aggregato;
- materiali costruttivi delle partizioni verticali dell'edificio/aggregato;
- materiali costruttivi delle partizioni orizzontali dell'edificio/aggregato;

²⁸⁵ Si pensi, per esempio, alle differenti schede analizzate nel capitolo 3 della prima parte in cui, i dati da inserire sono distinti in sezioni omogenee e raggruppati per affinità.

- materiali costruttivi delle partizioni orizzontali di chiusura dell'edificio/aggregato;

c) Fattori di deficit e depauperamento strutturale

- numero di edifici con superfetazioni/aggiunte;
- numero di edifici abusivi;
- degrado dei materiali;
- quadri fessurativi;

d) Fattori di miglioramento strutturale

- presidi antisismici urbani;
- presidi antisismici costruttivi;
- interventi di rinforzo recente.

2. DATI URBANI²⁸⁶

a) Tessuti, tipologie e morfologie urbane

- morfologia del sito;
- impianto urbano;
- rapporto vuoti urbani/costruito;
- dimensione degli aggregati;
- rapporto di copertura degli aggregati;

b) Accessi, viabilità tangente e standard funzionali

- tipologia di accessi pedonali;
- tipologia di accessi carrabili;
- livello funzionale degli accessi carrabili;
- presenza di altre tipologie d'accesso;

c) Viabilità attraversante, vie di fuga e standard funzionali

- lunghezza tratti della viabilità attraversante;
- tipologia della viabilità attraversante;
- larghezza della viabilità attraversante;
- pendenza della viabilità attraversante;

²⁸⁶ Per la definizione di alcuni di tali dati si è fatto riferimento a REGIONE EMILIA-ROMAGNA-DIREZIONE GENERALE PROGRAMMAZIONE TERRITORIALE E SISTEMI DI MOBILITÀ-SERVIZIO RIQUALIFICAZIONE URBANA, *op. cit.*.

- tratti gradonati della viabilità attraversante;
- tratti di viabilità attraversante interessati dalla presenza di edifici a filo strada;

d) Vuoti urbani, luoghi sicuri e standard funzionali

- rapporto dimensionale dei luoghi sicuri;
- distanza massima tra utenza e luoghi sicuri;
- configurazione di luoghi;
- configurazione degli accessi ai luoghi sicuri;

e) Fattori di deficit e depauperamento urbano

- altezza degli edifici;
- area d'influenza di elementi vulnerabili alti;

f) Servizi accessori e reti tecnologiche

- presenza di punti focali di smistamenti;
- collocazione dei servizi;
- giudizio sul livello di servizio;
- presenza di punti di interruzione accessibili per gli edifici.

3. DATI DI UTILIZZO-AFFOLLAMENTO

a) Grado di affollamento

- esposizione delle presenze equivalenti;
- esposizione del sistema residenziale;

b) Ruolo funzionale e valenza culturale

- numero di edifici strategici;
- numero di edifici a valenza culturale;
- numero di edifici aperti al pubblico;
- numero di grandi attrattori turistici;

4. RISCHI DALL'ESTERNO

a) Rischi legati alla geomorfologia del sito

- presenza di effetti di sito;
- presenza di altri rischi geologici;

b) Rischi legati alla presenza di elementi critici

- presenza di elementi a rischio (dighe, centrali elettriche);
- presenza di elementi già vulnerati;

c) Rischi connessi alle vie di raggiungimento del sito

- rischi connessi alla tipologia e al numero di vie;
- rischi connessi allo stato dei percorsi d'accesso.

Dai parametri introdotti per la valutazione della vulnerabilità, quindi, risulta evidente che la vulnerabilità sismica a scala urbana, a differenza di quanto avviene per la scala edilizia, non dipende solamente dai caratteri costruttivi dei manufatti, ma è legata anche alle caratteristiche dei sistemi che compongono la città. Essa, come visto (parte I, §4), viene concepita come polo di erogazione di servizi, assimilabile a un sistema edilizio complesso, in cui le diverse parti assumono funzioni connesse tra loro. La finalità della prevenzione nei centri storici è, dunque, quella di mantenere attive le funzioni "vitali", senza le quali collasserebbe. La prevenzione e la sicurezza in caso di sisma non possono quindi essere scisse da un apprezzamento della propensione alla perdita di organizzazione del sistema urbano o territoriale, ovvero di una sua parte significativa quale può essere il centro storico.

La procedura proposta presuppone, perciò, una conoscenza di base elevata del contesto storico-architettonico-morfologico-evolutivo e urbano del centro che si analizza.

I livelli della vulnerabilità complessiva così definita, quindi, sono calcolati in funzione della diversa valenza culturale dei manufatti; della diversa importanza, del ruolo funzionale e del grado di affollamento; delle relazioni spaziali e delle interazioni strutturali che possono aumentare il danno atteso rendendo più complesso l'intervento (contiguità tra edifici, ridistribuzione e parcellizzazione di unità abitative, superfetazioni e soprelevazioni); delle tipologie e

delle loro modalità di aggregazione che posso dar luogo a rifusioni disomogenee e complesse; della morfologia del sito d'insediamento e del paesaggio circostante; delle caratteristiche materiche e tecnologiche degli edifici; dei rapporti dei manufatti e dei sistemi funzionali con l'ambiente fisico; delle vie di fuga e di accesso; degli spazi aperti da adibire a luoghi sicuri.

Proprio gli ultimi due termini sopracitati sottolineano, infine, l'altro carattere innovativo della presente definizione di vulnerabilità, ovvero l'essere relazionata, non solo, alla tematica della prevenzione sismica ma, anche, alla fase post-sismica di intervento dei soccorsi.

In tal senso, la perdita di funzionalità del comparto urbano viene analizzata, quindi, sia durante l'evento che a seguito dello stesso, sottolineando quegli elementi che diventano decisivi nel momento di attivazione della "macchina dei soccorsi". Al fine, perciò, di trarre tali analisi relative alla condizione di emergenza, il tessuto viario viene letto in qualità di vie di fuga, che devono consentire agevolmente sia il deflusso della popolazione che l'accesso dei soccorsi al nucleo consolidato mentre i vuoti urbani sono analizzati in qualità di luoghi sicuri²⁸⁷ atti a garantire la sosta, lontana da possibili pericoli, degli utenti durante l'evento sismico. Infine, le strutture strategiche vengono considerate quali poli organizzativi dai quali gestire le operazioni di intervento e di protezione civile e a cui si attribuisce importanza rilevante al fine di garantire l'operatività e il coordinamento delle azioni post-sismiche e assistenziali.

²⁸⁷ Si precisa che, affinché uno spazio sicuro sia sufficiente, va considerata un'area di 1 mq per ognuna delle presenze massime ipotizzabili.

1.2. Fasi e livelli del processo metodologico

Una volta definito il concetto di vulnerabilità complessiva, per come esposto nel paragrafo precedente, e identificati i fattori che la influenzano e che, dunque, devono essere analizzati, lo studio condotto nella presente tesi di dottorato ha portato alla definizione di una vera e propria metodologia applicabile, per fasi successive, prima ai singoli quartieri e, in una seconda fase, all'intero centro storico.

Nello stilare tale metodo, al fine di renderlo il più possibile adattabile all'ampia casistica e varietà di centri storici caratterizzanti il territorio italiano, si è ricorso a quella serie di dati analizzati e raccolti nella seconda parte della tesi circa le tipologie, le morfologie, gli impianti urbani, i materiali, le tecniche costruttive e di rinforzo. La disomogeneità dei dati che si vanno a analizzare nonché la forte territorialità e l'influenza del *genius loci* che contraddistinguono i contesti urbani storici²⁸⁸, infatti, hanno presupposto uno sguardo diffuso su tutto il territorio italiano con la finalità di evidenziare caratteri e tipologie che meglio esprimono un'ampia porzione del Paesaggio Storico Urbano nazionale.

La metodologia si basa su due differenti livelli di analisi: quella di un'ampia porzione territoriale che, come si vedrà di seguito, deve essere omogenea per caratteristiche, e quella degli aggregati che compongono il singolo quartiere o l'Unità Territoriale. Alle due scale corrispondono risultati di vulnerabilità differenti.

Infatti, mentre per l'analisi territoriale viene quantificata la vulnerabilità complessiva (strutturale e urbana) per come proposta da chi scrive al paragrafo precedente, per quella

²⁸⁸ In antitesi, invece, con l'omologazione presente nei centri e nelle espansioni di moderna formazione.

dell'aggregato, invece, ci si sofferma esclusivamente sulle caratteristiche strutturali riconoscendo, a tale scala, la preponderanza di tali elementi sul comportamento sismico del costruito.

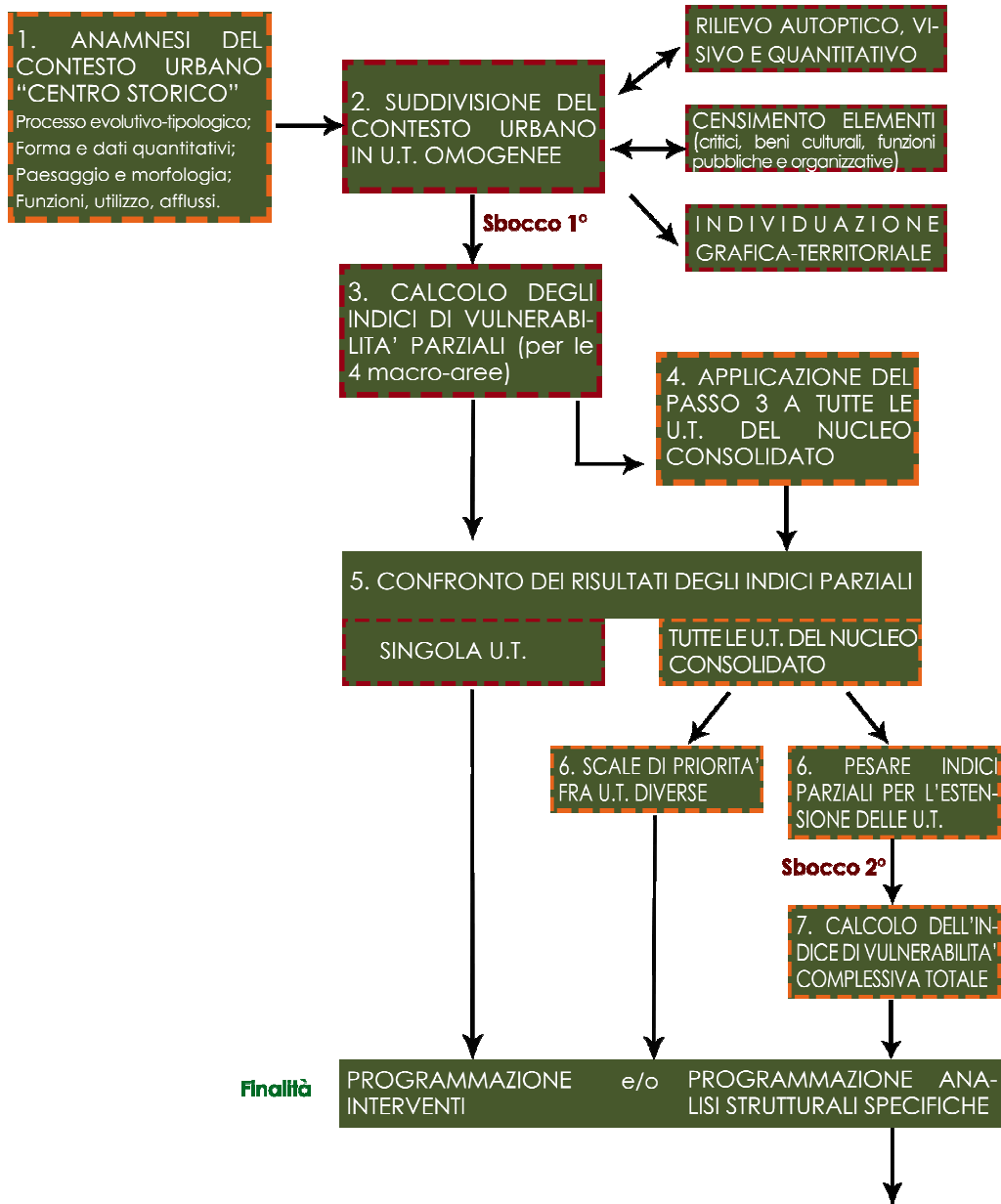
Le due analisi, in più, sono pensate indipendenti l'una dall'altra, in modo da poter attuare un'applicazione distinta in base alle esigenze.

Va, tuttavia, sottolineata l'utilità di una applicazione a cascata: sebbene non siano create per essere necessariamente utilizzate entrambe, presentano, però, una stretta relazione per cui un loro uso simultaneo risulta auspicabile. La metodologia, infatti, appare sortire i migliori effetti se, dai risultati della prima analisi condotta a scala territoriale, evidenziata la necessità di un approfondimento del tipo strutturale, si procede con la seconda fase, alla scala dell'aggregato.

Finalità ultima della metodologia applicata in tutte le sue parti, dunque, è la quantificazione di un indice di vulnerabilità complessiva relativo all'intero centro storico e, per quelle parti che evidenziano particolari carenze strutturali, di un secondo indice riferito agli aggregati che lo compongono.

Per una maggiore chiarezza delle fasi operative, delle finalità e degli ambiti territoriali analizzati nei due *steps* si veda in diagramma di flusso e di sintesi di seguito riportato che racchiude i diversi livelli, le fasi, gli sbocchi e le finalità della metodologia proposta.

FASE 1: VALUTAZIONE DELL'INDICE DI VULNERABILITA' COMPLESSIVA



FASE 2: VALUTAZIONE DELL'INDICE DI VULNERABILITA' DELL'AGGREGATO

Diagramma di flusso delle fasi della metodologia proposta. Le caselle con bordo rosso sono riferite all'applicazione ad un'unica U.T.; in arancio le fasi per tutto il nucleo consolidato.

In entrambi i livelli, il metodo proposto si basa su un'accurata

conoscenza del contesto analizzato con riferimento a differenti caratteristiche che lo contraddistinguono e ne influenzano l'identità.

La conoscenza, che è il primo atto di tutela dei Beni Culturali, viene messa in atto, nella metodologia ideata, attraverso la compilazione di due schede di catalogazione distinte, progettate per raccogliere e collezionare i dati relativi ai parametri di vulnerabilità complessiva e quelli per una vulnerabilità strutturale. Il catalogatore, in tal senso, viene chiamato, attraverso una serie di indagini visive, di anamnesi del contesto e della storia del centro storico, di misurazioni metriche dal vero o in remoto, di indagini sull'uso del suolo e dei comparti urbani, nonché sulla tipologia e sulla quantità dell'utilizzo, non solo, a collezionare i dati richiesti ma, anche, a esprimere valutazioni di merito nei campi progettati per le due schede.

Nella **FASE 1** di applicazione del metodo, ovvero alla scala territoriale, la scheda, per come concepita, raccoglie i dati distinti nelle macro-aree, nelle classi, nei parametri e nelle sottoclassi di parametri, come visto al paragrafo precedente. Sono questi, i dati *d'input* che consentono il calcolo, in prima istanza, di quattro indici di vulnerabilità parziali (corrispondenti alle quattro macro-aree) e, successivamente, di un indice di vulnerabilità complessiva per il quartiere.

La metodologia pensata, perciò, non prevede una divisione per sottosistemi urbani, così come avviene per le schede in uso in Emilia-Romagna (parte I, §4) ma, invece, la suddivisione è eseguita in base alle quattro macro-aree che, come detto, corrispondono essenzialmente alle possibili cause delle vulnerabilità.

Ne consegue, quindi, che i risultati che l'analisi restituisce non sono

relativi alla graduatoria fra i sottosistemi e all'individuazione di quello maggiormente vulnerabile, così come visto per la metodologia romagnola ma, piuttosto, a una individuazione speditiva delle cause di collasso del comparto urbano (tale principio relativo alle finalità del metodo sarà approfondito nel paragrafo dedicato 1.4 del presente capitolo).

È, proprio questa, una delle maggiori differenze, ovvero quella sostanziale, fra le due metodologie, che presuppone approcci simili ma sbocchi completamente differenti.

Facendo riferimento al diagramma di flusso dell'immagine precedente, lo **stadio 1** di conoscenza e di anamnesi del nucleo consolidato prevede una prima analisi di tutto l'insediamento al fine di individuare le Unità Territoriali omogenee. In accordo con la metodologia romagnola e con la sua definizione delle UT (parte I, §4.1), infatti, anche l'approccio qui proposto deve essere applicato su ambiti territoriali che abbiano caratteri tipologici e morfologici simili al fine di avere una lettura corretta del tessuto e, soprattutto, affinché i risultati restituiti siano realmente rappresentativi di quanto analizzato e non vengano falsati dalla disomogeneità dei dati d'*input*.

All'interno di un centro storico, dunque, vengono, innanzitutto, delimitate e perimetrare le aree che presentano caratteri comuni e affini e che, quasi sempre, corrispondono ai quartieri stessi²⁸⁹ (**stadio 2**).

Nell'ambito dei contesti storici, infatti, è noto ed evidente come l'aggregazione del costruito per quartieri comporti quasi sempre una congruenza, storica e tipologica, dell'impianto morfologico, una similitudine dei tessuti viari ma, soprattutto, del tipo e del

²⁸⁹ Al fine della presente tesi di dottorato, d'ora in poi, il termine di quartiere potrà essere utilizzato in sostituzione di quello di Unità Territoriale volendo, in entrambi i casi, indicare delle aree delimitate all'interno del centro storico con caratteristiche omogenee e paragonabili.

processo che conduce all'aggregato edilizio. I quartieri, infatti, letti quali piccoli poli sociali e economici all'interno della città più ampia, si sono sviluppati nel tempo attorno a un elemento emergente (una piazza, una chiesa, un convento, l'edificio nobiliare) con i caratteri tipici dei processi sociali e di comunità. In tal senso, perciò, una lettura storico-critica dei quartieri, condotta attraverso i caratteri morfo-tipologici, architettonici, funzionali strettamente relazionati alla vita associata sociale e economica, conduce, a parere di chi scrive, a una automatica individuazione delle UT omogenee.

Alla fase appena analizzata segue, quindi, l'anamnesi del quartiere al fine di estrapolare tutti i dati, qualitativi e quantitativi, richiesti nella scheda suddivisa in macro-aree, classi, parametri e sottoclassi per come detto in precedenza.

Le tipologie di conoscenza che si devono applicare in tale fase, data la diversità degli ambiti disciplinari e la quantità dei dati richiesti nella scheda, dunque, sono di svariata natura e afferenti, tutte, all'ampio processo metodologico che va attuato nello studio dei nuclei consolidati (si veda la parte II della presente tesi di dottorato).

Le campagne di studio sul quartiere, dunque, devono riguardare, fra l'altro, l'analisi storica e quella urbana; il rilievo metrico dal vero e su basi cartografiche; lo studio delle tecniche e dei materiali da costruzione; l'individuazione e l'identificazione delle destinazioni d'uso degli edifici, del loro livello di utilizzo e, se possibile, dei gradi di affollamento; l'anamnesi delle caratteristiche geologiche e morfologiche del sito; la verifica della diffusione delle condizioni di degrado nonché, infine, degli eventuali elementi critici e definibili pericolosi.

Numerose, quindi, sono le informazioni da collezionare e, perciò, altrettanto copiose e differenti possono essere le fonti dalle quali

reperire i dati. Di grande supporto, oltre alle campagne di rilievo e di anamnesi dal vivo, risultano tutti gli strumenti cartografici, urbanistici e i regolamenti di cui le Pubbliche Amministrazioni e gli enti di governo del territorio normalmente dispongono (piani regolatori, carte del rischio, carte P.A.I., ecc.).

Inoltre, soprattutto per quanto riguarda le caratteristiche geologiche, sismiche e idrogeologiche del sito, un valido supporto è rappresentato dalle carte del rischio e dalla microzonazione redatte dall'INGV²⁹⁰.

Ancora, per quanto concerne i dati relativi al numero di abitanti, al numero di edifici abitati, alle altezze, alla tipologia e alle destinazioni d'uso degli edifici si può fare riferimento ai sistemi statistici nazionali e ai censimenti effettuati dall'ISTAT con particolare riferimento a quello più ampio del 2001²⁹¹.

Infine, per il sistema delle presenze dei grandi attrattori turistici e, in generale, per la verifica delle affluenze ai poli museali, si può fare riferimento all'Ufficio Statistica del MiBACT che rileva e fornisce i dati sugli afflussi ai beni Culturali²⁹².

Una volta attuata un'approfondita conoscenza dell'ampio contesto centro storico e delle singole aree omogenee, quindi, le informazioni riportate sulla scheda di catalogazione territoriale consentono, allo **stadio 3**, l'estrapolazione dell'indice di vulnerabilità riferito all'UT e, nel caso in cui la scheda sia applicata a tutti i quartieri componenti il centro storico, lo stesso indice potrà

²⁹⁰ Nello specifico, alcune delle informazioni possono essere tratte:

- dal Geoportale Nazionale <http://www.pcn.minambiente.it/viewer/>;
- dal portale INGV <http://zonesismiche.mi.ingv.it/> oppure <http://esse1-gis.mi.ingv.it/>.

²⁹¹ Si veda il portale ISTAT <http://dawinci.istat.it/jsp/MD/index.html>.

²⁹² Si veda http://www.statistica.beniculturali.it/Visitatori_e_introiti_musei.htm.

calcolarsi per l'intero insediamento storico (**stadio 4, 6, 7**)²⁹³.

Il metodo, infatti, non deve necessariamente essere applicato alla totalità del centro consolidato, ma può essere utilizzato per il calcolo dell'indice di vulnerabilità complessiva relativo solo a alcune UT o quartieri; fermo restando, come visto, il vincolo dell'omogeneità.

Qualora, invece, sia analizza la totalità del costruito, i risultati dei singoli quartieri saranno pesati rispetto alle loro dimensioni e, pertanto, si otterrà un indice di vulnerabilità complessiva relativo all'intero centro storico.

In definitiva, attraverso la definizione di punteggi che misurano l'intensità dei diversi fattori che compongono la vulnerabilità complessiva a scala urbana (ovvero i parametri delle quattro macro-aree) è possibile rappresentare sinteticamente le diverse componenti attraverso indici parziali di vulnerabilità (V_{ds} , V_{du} , V_{de} , V_{re}). Questi fanno riferimento alle quattro costituenti indicate, dalla scrivente, quali principali cause di vulnerabilità e raggruppate, come visto, nelle macro-aree dei dati strutturali, dati urbani, dati di utilizzo-affollamento e rischi dall'esterno. Il passo successivo è quello di attribuire dei pesi agli indici così calcolati in modo da giungere a determinare un indice numerico complessivo che, in maniera sintetica, darà l'idea del livello di vulnerabilità complessiva per ogni UT omogenea (V_{ut}).

Infine, ripetendo tale procedura per tutti i quartieri che compongono il nucleo consolidato e, quindi, pesando l'indice di ognuno per l'estensione del comparto stesso nel centro storico, si

²⁹³ Come si vedrà di seguito, nel capitolo dedicato, la versione informatizzata consente automaticamente di estrapolare quattro indici parziali per le differenti macro-aree (per le singole UT) e un indice di vulnerabilità complessiva (per l'intero centro storico).

potrà ottenere l'indice totale di vulnerabilità complessiva (V_{cs})²⁹⁴. Sarà attraverso questo indice totale che si potranno costruire graduatorie, all'interno di ogni centro storico, di quei quartieri che destano maggiore preoccupazione e, attraverso gli indici parziali di ciascuno, si potrà subito individuare la causa predominante di vulnerabilità.

Per come concepita la scheda, infatti, la stessa fornisce dei livelli di *allert* per le differenti macro-aree (cause) che ingenerano fattori di vulnerabilità.

Qualora, poi, per un'UT omogenea, la macro-area strutturale appaia quella maggiormente deficitaria rispetto alle altre, la metodologia propone una seconda fase conoscitiva approfondita alla scala degli aggregati che compongono l'UT stessa.

È chiaro, dunque, che non è sempre indispensabile l'applicazione della seconda fase del metodo. Se infatti, per esempio, oggetto dell'analisi è un centro storico o un quartiere che ha da poco subito notevoli interventi di consolidamento e rinforzo strutturale (quale, per esempio, potrà essere la città dell'Aquila a seguito della ricostruzione), è naturale che le cause di maggiore vulnerabilità non dovranno ricercarsi nei dati strutturali ma, piuttosto, in quelli relativi alle altre macro-aree. In tal caso, perciò, sarebbe superfluo il passaggio al secondo *step* della procedura metodologica proposta.

Nella **FASE 2**, ovvero l'applicazione del metodo a scala dell'aggregato²⁹⁵, infatti, le informazioni che si collezionano

²⁹⁴ Le operazioni che consentono il calcolo del suddetto indice saranno esplicitate al meglio nel capitolo dedicato alla versione informatizzata (§2).

²⁹⁵ Tale parte della metodologia proposta si pone come elemento del tutto nuovo e innovativo rispetto alla metodologia in uso nella Regione Emilia-Romagna.

all'interno della scheda sono riferibili solo alle caratteristiche strutturali, intrinseche e estrinseche, anch'esse raggruppate in macro-aree: dati strutturali, quadri fessurativi, elementi di rinforzo strutturale.

Tale scheda è ripetibile per ciascun aggregato componente l'UT omogenea e, così come per quella redatta per la fase 1, è anch'essa strutturata in classi di parametri, parametri e sottoclassi di parametri.

I dati da collezionare sono relativi:

1. CARATTERISTICHE E TIPOLOGIE STRUTTURALI

a) Partizioni verticali

- regolarità planimetrica e snellezza diffusa;
- materiali costruttivi;
- materiali costruttivi dei cantonali;
- n° di disconnessioni per accrescimento al piano terra;

b) Partizioni orizzontali interne

- materiali costruttivi;

c) Partizioni orizzontali esterne

- materiali costruttivi;

2. QUADRI FESSURATIVI E MECCANISMI FUORI DAL PIANO

a) Meccanismi fuori dal piano

- tipologie;

b) Danneggiamento a taglio

c) Danneggiamento per martellamento di edifici in c.a.

d) Meccanismi fuori dal piano edifici ecclesiastici

- tipologie;

3. RINFORZI STRUTTURALI

a) Presidi antisismici

- tipologie;

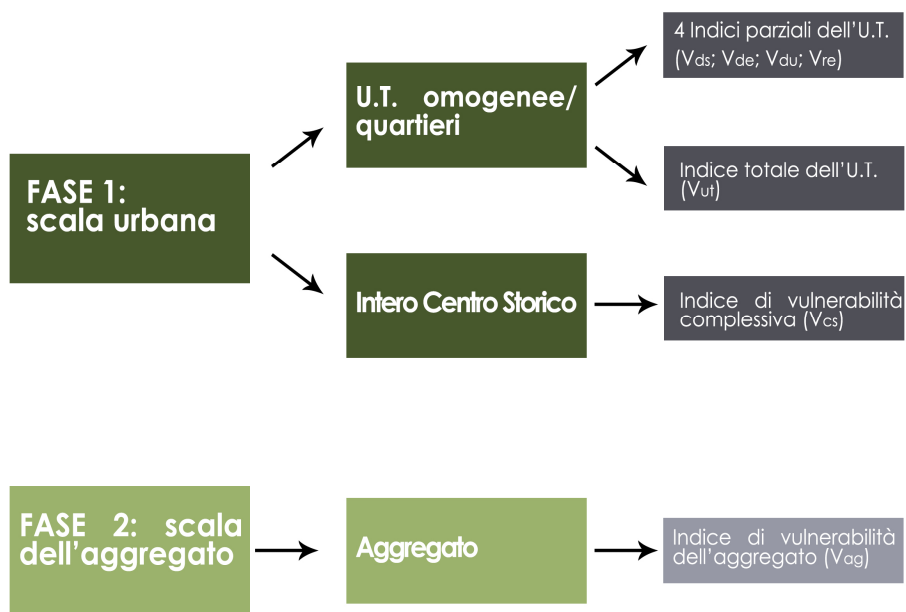
b) Interventi di rinforzo innovativi

- tipologie.

L'applicazione a ciascun aggregato componente il quartiere o, eventualmente, a tutti gli aggregati del centro storico analizzato, perciò, consentirà di stilare confronti fra le vulnerabilità e, quindi, di indirizzare analisi approfondite, relative alla modellazione sismica, solo a quegli aggregati che si mostrano maggiormente vulnerabili.

Inoltre, le schede compilate, supportate da elaborati grafici e fotografici, potranno fungere da valida base per la realizzazione e l'implementazione del modello meccanico.

In tal modo, il compilatore, collezionerà in un unico passaggio, sia i dati utili al calcolo dell'indice di vulnerabilità dell'aggregato per come proposto dalla scrivente, sia le informazioni necessarie per passare a un livello di analisi approfondito.



Schema riepilogativo delle fasi, degli elementi analizzati e dei risultati ottenuti.

1.3. Definizione del metodo all'interno delle classificazioni per l'indicizzazione della vulnerabilità sismica

Il metodo proposto, quindi, si basa su un'ampia conoscenza del contesto analizzato, non solo dal punto di vista delle caratteristiche strutturali ma, anche, di quelle morfologiche, geologiche, storiche, sociali, paesaggistiche, di utilizzo, delle infrastrutture e dei servizi. Il tutto al fine di garantire la sicurezza e conservazione del nucleo consolidato nel suo complesso. Una tale prevenzione, infatti, è in linea con la definizione di Paesaggio Storico Urbano e del concetto di Bene Culturale Esteso che si è andato a delineare nel tempo (parte I, §1.1)²⁹⁶.

La quantità di dati da indagare e collezionare, date l'estensione urbana e l'interdisciplinarietà dell'analisi, necessariamente comporta un livello di conoscenza non troppo approfondito e specifico, ma, piuttosto, esteso e diffuso sul territorio.

Facendo riferimento ai Livelli di Conoscenza proposti dallo Studio Propedeutico di cui si è detto, l'analisi si configura come un primo livello, identificato da una «ricognizione e selezione, dalle informazioni esistenti e disponibili, di dati riferibili alle sei voci del quadro conoscitivo indispensabili alla valutazione della vulnerabilità dell'IS, richiamate al precedente paragrafo. Da

²⁹⁶ Si ricorda la definizione di Paesaggio Storico Urbano fornita nella parte I della presente tesi di dottorato: «l'area urbana intesa come risultato di una stratificazione storica di valori e caratteri culturali e naturali che vanno al di là della nozione di "centro storico" o "ensemble" sino a includere il più ampio contesto urbano e la sua posizione (*setting*) geografica. Questo più ampio contesto include in particolare la topografia, la geomorfologia, l'idrologia e le caratteristiche naturali del sito; il suo ambiente costruito, sia storico che contemporaneo; le sue infrastrutture sopra e sotto terra; i suoi spazi aperti e giardini, i suoi modelli di utilizzo del suolo (*land use patterns*) e organizzazione spaziale; percezioni e relazioni visive, così come tutti gli altri elementi della struttura urbana. Esso include anche le pratiche e i valori sociali e culturali, i processi economici e le dimensioni intangibili del patrimonio così come collegate a diversità e identità»

questa ricognizione è possibile in genere estrarre le informazioni utili a valutare qualitativamente la diversa incidenza delle caratteristiche di esposizione e vulnerabilità nelle varie parti dell'insediamento storico e delle sue connessioni al contesto urbano, tenendo conto delle caratteristiche funzionali e dei fattori di contesto insediativo e fisico che possono condizionare la vulnerabilità dei componenti e dei sistemi funzionali urbani. Attraverso questo livello è possibile individuare le necessità di approfondimenti conoscitivi mirati»²⁹⁷.

Facendo un confronto, poi, con quanto previsto dalle Linee Guida MiBACT, tale livello corrisponde a un livello di valutazione LV1 che «consente la valutazione dell'azione sismica allo SLV attraverso metodi semplificati, basati su un numero limitato di parametri...consente di definire una graduatoria di rischio, utile per evidenziare la necessità di ulteriori indagini di approfondimento e per la programmazione di interventi per la mitigazione del rischio»²⁹⁸.

Proprio la programmazione delle analisi e delle indagini successive porta, nella seconda fase, all'applicazione ai singoli aggregati che compongono l'unità territoriale passando, quindi, ad un secondo livello di valutazione «Sviluppo di indagini *ad hoc* per acquisire dati quali-quantitativi sistematicamente estesi all'IS e maggiormente finalizzati alla valutazione delle caratteristiche di esposizione e vulnerabilità, nonché della diversa rilevanza delle caratteristiche funzionali, di contesto insediativo e di pericolosità locale sui singoli sistemi funzionali o sui sottosistemi o insiemi di manufatti nei vari sub-ambiti dell'IS. Si tratta di caratteristiche che determinano l'attitudine al danno del sistema urbano nel suo complesso (vulnerabilità urbana). Le indagini da sviluppare per

²⁹⁷ GRUPPO DI LAVORO ISTITUITO CON NOTA DEL PRESIDENTE DEL CONSIGLIO SUPERIORE DEI LAVORI PUBBLICI n. 7547 del 6.9.2010, *op. cit.*, p. 28.

²⁹⁸ MINISTERO PER I BENI E LE ATTIVITÀ CULTURALI, *op. cit.* pp. 7; 10; 22.

questo livello di conoscenza possono essere in genere speditive, ma richiedono comunque un certo impegno per le caratteristiche di contesto insediativo o di pericolosità locale e per la vulnerabilità diretta degli insiemi di elementi da conservare per il restauro o il recupero post-sisma»²⁹⁹.

Nello specifico, con il secondo Livello d'analisi esteso agli aggregati, le indagini vengono riferite al solo sottosistema funzionale abitativo e alle sue caratteristiche strutturali, volendo riconoscere a tali fattori una preponderanza dominante nel bilancio di danno finale. Quindi, la metodologia proposta può definirsi come un'analisi di LV1 nella sua applicazione a scala urbana e LV2 alla scala dell'aggregato.

Facendo seguito, invece, alla classificazione dei metodi di analisi della vulnerabilità per come proposta da Cremonini³⁰⁰ (riportata nella parte I al capitolo 2 della presente tesi di dottorato), poi, la metodologia proposta si configura come metodo indiretto semi-quantitativo (di ispezione e classificazione) «che analizza i principali fattori determinanti la vulnerabilità degli edifici, assegna a ciascuna situazione di tali fattori un livello e un peso relativo al fine del calcolo di un indice di vulnerabilità dell'edificio».

L'impostazione della metodologia infatti, consente il calcolo dell'indice di vulnerabilità complessivo (a livello LV1) e di quello riferito agli aggregati (a livello LV2) attraverso l'attribuzione di punteggi e pesi.

La configurazione del metodo quale semi-quantitativo, in realtà, appare in antitesi con quanto riportato nello Studio Propedeutico che fa corrispondere a un primo livello di conoscenza delle

²⁹⁹ GRUPPO DI LAVORO ISTITUITO CON NOTA DEL PRESIDENTE DEL CONSIGLIO SUPERIORE DEI LAVORI PUBBLICI n. 7547 del 6.9.2010, op. cit., p. 28.

³⁰⁰ Cfr. CREMONINI I. (a cura di), *Rischio sismico e pianificazione nei centri storici*. Alinea, Firenze, 1994, pp. 24-26; CREMONINI I., *La vulnerabilità dei sistemi urbani. Conoscere e valutare per poter ridurre*. INGENIO Sistema integrato di Informazione Tecnica, 29, gennaio 2015.

valutazioni di tipo qualitativo e, solamente al secondo livello, quelle semi-quantitative³⁰¹. Anche in tal senso, il presente lavoro vuole essere innovativo proponendo un livello di conoscenza maggiore già nella prima fase di studio relativo all'intero nucleo urbano e, non solo, alla scala dell'aggregato.

In definitiva, dunque, il metodo di valutazione di vulnerabilità complessiva qui proposto può definirsi come una metodologia speditiva e semi-quantitativa di Livello di Valutazione pari ad 1 nella scala territoriale e pari a 2 in quella dell'aggregato.

Una tale impostazione della procedura, con carattere speditivo, fornisce informazioni di base sulla vulnerabilità di differenti elementi caratterizzanti l'edificato storico e, perciò, appare adatta per l'analisi estesa ai tessuti urbani. Considerato il grande numero di elementi che costituiscono tale patrimonio, infatti, lo strumento di valutazione deve essere rigoroso ma abbastanza agile e speditivo, appunto, da potersi applicare su scala urbana.

Inoltre, il metodo proposto, essendo rapido dal punto di vista temporale, presuppone un dispendio di energie e di costi minore³⁰² rispetto a quanto si avrebbe se si facessero analisi puntuali sui singoli edifici componenti il centro storico. Tale elemento, perciò, lo renderebbe facilmente applicabile e appetibile agli occhi delle Pubbliche Amministrazioni incaricate del governo del territorio che potrebbero, in tal modo, verificare l'intero comparto urbano e attuare successive campagne mirate solo lì dove i primi livelli mostrino e evidenzino una particolare vulnerabilità.

³⁰¹ GRUPPO DI LAVORO ISTITUITO CON NOTA DEL PRESIDENTE DEL CONSIGLIO SUPERIORE DEI LAVORI PUBBLICI n. 7547 del 6.9.2010, *op. cit.*, p. 29.

³⁰² Si sottolinea, infatti, come ad oggi il principale motivo per cui le PP.AA. non investono nella riqualificazione e riprogettazione degli ambiti storici è la mancanza di fondi da impiegare, non solo, negli interventi di progettazione ma, anche, nelle indagini preliminari. Una metodologia speditiva, in tal senso, potrebbe incentivare gli enti locali ad un'analisi diffusa abbattendone i costi.

1.4. Dominio di applicabilità e finalità

Migliorare la qualità dello spazio vivibile, utilizzare consapevolmente le risorse di un territorio, innalzare la sicurezza strutturale con particolare attenzione alla prevenzione, sono temi alla base delle nuove prospettive di crescita di un territorio, motori di innovative strategie di recupero e di riuso alla base delle normative cogenti e d'indirizzo attuali.

Facendo seguito all'esigenza di conservazione e sicurezza dei nuclei consolidati nella loro interezza appare chiaro che il solo intervento circoscritto all'edificio o porzione di esso, come oggi avviene, non può risolvere la problematica della sicurezza garantita alla totalità dei fruitori di tutto il centro consolidato. Per questo motivo, come visto, il panorama scientifico e le nuove normative si stanno muovendo verso il raggiungimento della definizione di vulnerabilità urbana e della sua applicazione per la salvaguardia degli interi nuclei storici. Così facendo, la valutazione di vulnerabilità sismica dovrebbe svilupparsi secondo tre scale differenti: quella locale, ovvero della singola unità strutturale; quella globale, del complesso aggregato edilizio; quella urbana, dal quartiere all'intero nucleo consolidato.

E, proprio in tale dominio, si inquadra la metodologia proposta che si basa sia sulla definizione di una vulnerabilità complessiva, che considera le caratteristiche strutturali e urbane, sia su una indicizzazione semi-quantitativa applicata a due differenti scale: quella urbana e quella relativa all'aggregato strutturale.

La seguente tesi di dottorato, dunque, vuole inquadrarsi nelle normative e negli indirizzi di attuazione diffusa all'interno delle PP.AA., finalizzati al recupero del patrimonio costruito, alla salvaguardia dei valori identitari e alla *governance* territoriale.

Per l'attualità delle problematiche affrontate e l'importanza che

esse assumono nel panorama culturale, quindi, la metodologia proposta è stata pensata per avere applicazioni e finalità multiple ma, soprattutto, per essere un valido mezzo di valutazione, di studio e di supporto alle azioni di politica del territorio e di gestione dei centri storici.

L'applicazione della procedura proposta prevede diverse finalità:

- 1- Classificazione delle aree più vulnerabili all'interno di contesti urbani e individuazione dell'importanza e della priorità da assegnare alle politiche di riduzione del rischio;
- 2- Analisi dei centri storici per la programmazione di interventi e progetti da parte degli amministratori pubblici e per finalizzare le priorità di intervento e di analisi approfondite;
- 3- Analisi dei centri storici per il trasferimento delle funzioni pubbliche nelle aree meno vulnerabili e maggiormente sicure dal punto di vista strutturale e/o urbano;
- 4- Valutazione delle operazioni di diradamento e organizzazione urbana;
- 5- Finalità di protezione civile, in particolare per la costruzione di scenari di danno e per piani di emergenza e evacuazione³⁰³;
- 6- Aumento dei dati disponibili sulla vulnerabilità sismica rispetto a quelli attualmente disponibili nelle città italiane.

Per quanto riguarda la prima finalità, si può intuire che l'applicazione della metodologia proposta ai differenti quartieri che compongono il nucleo consolidato e, soprattutto, il confronto fra gli indici restituiti, permettono di stilare delle graduatorie di vulnerabilità che rappresentano, anche, graduatorie di priorità a

³⁰³ Dal sito del Dipartimento della Protezione Civile «Un piano di emergenza non è altro che il progetto di tutte le attività coordinate e di tutte le procedure che dovranno essere adottate per fronteggiare un evento calamitoso atteso in un determinato territorio, in modo da garantire l'effettivo e immediato impiego delle risorse necessarie al superamento dell'emergenza e il ritorno alle normali condizioni di vita».

servizio della seconda finalità, ovvero la programmazione di analisi dettagliate e degli interventi progettuali.

In particolare, poi, circa tale sbocco, la metodologia, come già evidenziato, prevedendo una suddivisione per macro-aree, permette l'individuazione immediata delle cause di vulnerabilità prevalente relazionate a ciascuna UT omogenea, consentendo, quindi, di direzionare analisi approfondite e mirate in base alle vulnerabilità prevalenti. Si potrà, dunque, individuare e circoscrivere (ad esempio a singoli ambiti del territorio o a determinati manufatti) le necessità di approfondimenti; prevedere e organizzare conseguentemente le ulteriori elaborazioni mirate di dati esistenti, le campagne di rilevamenti più o meno speditivi delle caratteristiche dei manufatti e degli aggregati, l'estensione e la tipologia delle indagini di microzonazione di secondo livello.

In tal senso, per esempio, si programmeranno analisi del tipo strutturale per quei quartieri che risultino carenti sotto tale aspetto, mentre si affronteranno analisi di altra natura (urbana, geologica, idrogeologica, ecc.) per quei comparti che non presentino problematiche legate alla resistenza del costruito.

Oltre a finalizzare le analisi successive, la metodologia, individuate le macro-aree maggiormente deficitarie, consente di mirare gli interventi progettuali. Le valutazioni di vulnerabilità così ottenute, infatti, indirizzeranno le pubbliche amministrazioni nell'individuazioni delle tipologie di interventi da attuare: consolidamenti statici per comparti che hanno evidenziato una predominanza della macro-area strutturale; interventi di progettazione urbana qualora la vulnerabilità maggiore sia quella relativa al tessuto costruito e connettivo; azioni di delocalizzazione di funzioni per la predominanza della macro-area relativa all', infine, mitigazione degli altri rischi eventualmente individuati per una eccedenza dell'ultima macro-area.

A tale seconda finalità sono, quindi, strettamente connesse quelle enumerate ai punti 3 e 4.

Lo studio dei luoghi di maggior affollamento, del sistema di accessibilità e di vie di fuga, dei grandi attrattori turistici (caratteristiche prioritarie, come visto, per il calcolo della vulnerabilità) consentono di evidenziare se vi è congruenza con gli afflussi giornalieri di utenti e di mettere in evidenza eventuali criticità. Qualora, quindi, la macro-area relativa ai dati di utilizzo-affollamento risulti prevalente rispetto alle altre, infatti, apparirà chiaramente che vi è una discrepanza fra gli spazi aperti e il grado di affollamento presupponendo, perciò, interventi di ricollocamento delle funzioni a grande affluenza.

La metodologia proposta, quindi, funge da base per l'implementazione di valutazioni multicriterio circa la compatibilità della localizzazione di funzioni pubbliche e strategiche e può, dunque, essere utilizzata dalle pubbliche amministrazioni per decidere delocalizzazioni (transitorie o permanenti, parziali o totali) di funzioni attualmente incompatibili con le caratteristiche dei relativi contenitori edilizi. Le analisi, inoltre, per come è pensata la metodologia proposta, possono includere sia valutazioni del contesto secondo criteri architettonici e urbanistici (attraverso l'applicazione della fase I), sia valutazioni sulle caratteristiche dell'edificio (utilizzando la fase II di analisi sugli aggregati).

Una volta acquisite le informazioni, poi, la valutazione proposta permetterà di assumere decisioni urbanistiche qualificanti e efficaci per la riduzione del rischio. Tra queste, per esempio, l'inserimento della problematica sismica e delle valutazioni dello stato attuale di vulnerabilità urbana all'interno di Valutazioni Ambientali Strategiche (VAS): gli amministratori potranno, così, scegliere le alternative di pianificazione con minor impatto negativo sulla vulnerabilità urbana o sul rischio, realizzare la

partecipazione della popolazione all'assunzione di tali scelte e successivamente monitorare gli effetti dell'attuazione delle trasformazioni eventualmente previste.

Infine, non di minore rilevanza, è il risvolto che tale metodo può avere nelle applicazioni di Protezione Civile e, in particolar modo, l'influenza che può avere sull'attività di analisi della Condizione Limite per l'Emergenza (CLE)³⁰⁴. Essa, definita come «quella condizione al cui superamento, a seguito del manifestarsi dell'evento sismico, pur in concomitanza con il verificarsi di danni fisici e funzionali tali da condurre all'interruzione delle quasi totalità delle funzioni urbane presenti, compresa la residenza, l'insediamento urbano conserva comunque, nel suo complesso, l'operatività della maggior parte delle funzioni strategiche per l'emergenza, la loro accessibilità e connessione con il contesto territoriale», infatti, rappresenta quelle criticità della fase post-sismica che la metodologia proposta, come visto, considera e indaga nella valutazione di vulnerabilità.

Il possibile utilizzo del metodo proposto quale base per la valutazione della CLE appare ancora più evidente se si considerano le fasi di analisi necessarie che riguardano: l'individuazione degli edifici e delle aree che garantiscono le funzioni strategiche per l'emergenza; l'individuazione delle infrastrutture di accessibilità e di connessione con il contesto territoriale, degli edifici e delle aree di cui al punto precedente e gli eventuali elementi critici; l'individuazione degli aggregati strutturali e delle singole unità strutturali che possono interferire con le infrastrutture di accessibilità e di connessione con il contesto

³⁰⁴ L'analisi della CLE è stata introdotta con l'OPCM 4007/12 che regola l'utilizzo dei fondi previsti dall'art. 11 della legge 77/09 (Fondo nazionale per la prevenzione del rischio sismico) per l'annualità 2011 e viene condotta in concomitanza agli studi di microzonazione sismica (MS). Si esegue pertanto a livello comunale, anche se è possibile effettuarla anche a livello intercomunale.

territoriale. Tali anamnesi, come visto, sono alla base della valutazione di vulnerabilità proposta.

A tal fine, per rendere maggiormente compatibili le due procedure, potrebbe farsi riferimento agli standard di archiviazione e rappresentazione cartografica dei dati, per come predisposti dalla Protezione Civile³⁰⁵, e all'apposita modulistica.

	Edificio strategico
	Area di emergenza (AMMASSAMENTO)
	Area di emergenza (RICOVERO)
	Area di emergenza (ATTESA)*
	Infrastruttura di connessione
	Infrastruttura di accessibilità
	Aggregato strutturale interferente
	Unità strutturale interferente
	Unità strutturale non interferente

Carta degli elementi per l'analisi della CLE: standard di rappresentazione.

In particolare, infatti, l'analisi prevede la compilazione di 5 schede: ES Edificio Strategico; AE Area di Emergenza; AC Infrastruttura Accessibilità/Connessione; AS Aggregato Strutturale; US Unità Strutturale e, all'interno di tali schede, si può vedere, vanno a collezionarsi informazioni che il rilevatore ha già reperito per l'analisi di vulnerabilità complessiva proposta.

³⁰⁵ Cfr. COMMISSIONE TECNICA PER LA MICROZONAZIONE SISMICA, *Manuale per l'analisi della Condizione Limite per l'Emergenza (CLE) dell'insediamento urbano*. BetMultimedia, Roma, 2014; COMMISSIONE TECNICA PER LA MICROZONAZIONE SISMICA, *Analisi della Condizione Limite per l'Emergenza (CLE). Standard di rappresentazione e archiviazione informatica*. Roma, giugno 2012.

ES 1



**ANALISI PER LA
CONDIZIONE LIMITE PER L'EMERGENZA (CLE)
DELL'INSEDIAMENTO URBANO**

**EDIFICIO
STRATEGICO**
versione 1.0

Sezione 1 - IDENTIFICATIVI												
Data compilazione	[] / [] / []					Cod ISTAT						
1 Regione	[] [] [] [] []					[] [] [] [] []						
2 Provincia	[] [] [] [] []					[] [] [] [] []						
3 Comune	[] [] [] [] []					[] [] [] [] []						
4 Località abitata	[] [] [] [] []					[] [] [] [] []						
5 Sezione censuaria	[] [] [] [] []					[] [] [] [] []						
6 Identificativo Aggregato Strutturale	[] [] [] [] []					[] [] [] [] []						
7 Identificativo Unità Strutturale	[] [] [] [] []					[] [] [] [] []						
8 Identificativo Area di Emergenza	[] [] [] [] []					[] [] [] [] []						
9 Identificativi infrastrutture di Accessibilità/Connessione	a	[] [] [] [] []			b	[] [] [] [] []						
	c	[] [] [] [] []			d	[] [] [] [] []						
10 Indirizzo	[] [] [] [] [] [] [] [] [] []											
12 Mappa in allegato (vedi retro)	11 Civico [] [] [] [] []											
Sezione 2 - CARATTERISTICHE GENERALI												
POSIZIONE NELL'AGGREGATO	13	Isolata	<input type="radio"/> Sì	<input type="radio"/> No	14	Interna	<input type="radio"/> D'estremità	<input type="radio"/> D'angolo				
15 FRONTE INTERFERENTE SU INFRASTRUTTURA ACCESSIBILITÀ/CONNESSIONE (AC)			<input type="radio"/> Sì	<input type="radio"/> No								
16 UNITÀ STRUTTURALE SPECIALISTICA		<input type="radio"/> Sì	<input type="radio"/> No	17	Chiesa	<input type="radio"/> Teatro	<input type="radio"/> Torre/campanile/ciminiera	<input type="radio"/> Altro				
18 NUMERO PIANI TOTALI (INCLUSI INTERRATI)		[] [] [] [] []	19	PIANI INTERRATI	<input type="radio"/> 0	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2	<input type="radio"/> ≥3				
20 ALTEZZA MEDIA DI PIANO (m)		<input type="radio"/> ≤2,50	<input type="radio"/> 2,50-3-50	<input type="radio"/> 3,50-5,00	<input type="radio"/> ≥5,00	21	ALTEZZA ALL'IMPOSTA DELLA COPERTURA	[] [] [] []				
22 VOLUME UNICO SU AC		<input type="radio"/> Sì	<input type="radio"/> No	23	SUPERFICIE MEDIA DI PIANO (mq)	[] [] [] [] []						
24 STRUTTURA PORTANTE VERTICALE		<input type="radio"/> C.a.	<input type="radio"/> Acciaio	<input type="radio"/> Acciaio-c.i.s.	<input type="radio"/> Muratura	<input type="radio"/> Mista (muratura/c.a.)	<input type="radio"/> Legno	<input type="radio"/> Non identificata				
25 TIPO MURATURA		<input type="radio"/> Buona	<input type="radio"/> Cattiva	<input type="radio"/> Non identificata	26	CORDOLI O CATENE	<input type="radio"/> Sì	<input type="radio"/> No				
27 PILASTRI ISOLATI		<input type="radio"/> Sì	<input type="radio"/> No	28	PIANO PILOTIS	<input type="radio"/> Sì	<input type="radio"/> No	29	SOPRAELEVAZIONI	<input type="radio"/> Sì	<input type="radio"/> No	
30 DANNO STRUTTURALE		<input type="radio"/> Gravissimo	<input type="radio"/> Medio - grave	<input type="radio"/> Leggero	<input type="radio"/> Assente	31	STATO MANUTENTIVO	<input type="radio"/> Carente	<input type="radio"/> Sufficiente	<input type="radio"/> Buono		
PROPRIETÀ	32	Pubblica	33	Privata								
34 MORFOLOGIA		<input type="radio"/> Pianeggiante	<input type="radio"/> Su leggero pendio (15°-30°)	<input type="radio"/> Su forte pendio (>30°)								
UBICAZIONE	35	<input type="radio"/> Sotto versante incombente o forte pendio			36	<input type="radio"/> Sopra versante incombente o cresta						
MICROZONAZIONE SISMICA	37	Zona MS (condizione peggiore)	<input type="radio"/> Stabile	<input type="radio"/> Stabile con amplificazioni	<input type="radio"/> Instabile							
	38	Tipo instabilità	39	Frana	40	Liquefazione	41	Faglia attiva e capace	42	Cedimenti differenziali	43	Cavità sotterranee
GEOLOGIA /		44	Localizzazione frana	45	Interferente con l'edificio strategico	46	A monte	47	A valle			
46 IDROGEOLOGIA		Rischio PAI	<input type="radio"/> R1	<input type="radio"/> R2	<input type="radio"/> R3	<input type="radio"/> R4	47	Area alluvionabile	<input type="radio"/> Sì	<input type="radio"/> No		
Sezione 3 - CARATTERISTICHE SPECIFICHE												
48 IDENTIFICATIVO FUNZIONE STRATEGICA	[] [] [] [] []											
49 STRUTTURA DI GESTIONE DELL'EMERGENZA		<input type="radio"/> Ccs	<input type="radio"/> Dicomac	<input type="radio"/> Com	<input type="radio"/> Coi	<input type="radio"/> Coc						
DESTINAZIONE D'USO	50	Uso originario					51	Uso attuale	[] [] [] [] []			
52 ANNO DI PROGETTAZIONE	[] [] [] [] []	53	ANNO DI FINE COSTRUZIONE	[] [] [] [] []								
ESPOSIZIONE	54	Persone mediamente presenti			[] [] [] [] []	56	Mesi fruizione nell'anno			[] [] [] [] []		
	55	Ore fruizione nel giorno			[] [] [] [] []	58	Anno			[] [] [] [] []		
	57	Interventi dopo la costruzione			<input type="radio"/> Sì	<input type="radio"/> No						
INTERVENTI STRUTTURALI ESEGUITI	59	<input type="radio"/> Ampliamenti										
	60	Variazioni di destinazione che hanno comportato incremento di carichi al singolo piano superiori al 20%										
	61	Interventi volti a trasformare l'edificio mediante insieme sistematico di opere che portino ad organismo diverso										
	62	Interventi strutturali in modifica o sostituzione di parti strutturali, con alterazione comportamento globale										
	63	Interventi di miglioramento/adequamento sismico										
	64	Interventi di sola riparazione dei danni strutturali										
	65	Altro										
EVENTI SUBITI DALLA STRUTTURA	66	Codice evento	[] [] [] [] []	67	Data	[] [] / [] [] / [] []	68	Tipo intervento	[] [] [] [] []			
	69	Codice evento	[] [] [] [] []	70	Data	[] [] / [] [] / [] []	71	Tipo intervento	[] [] [] [] []			
	72	Codice evento	[] [] [] [] []	73	Data	[] [] / [] [] / [] []	74	Tipo intervento	[] [] [] [] []			
75 VERIFICA SISMICA		<input type="radio"/> Effettuata (cofinanziata da DPC)			<input type="radio"/> Effettuata (altri finanziamenti)			<input type="radio"/> Non effettuata				

Schede per l'analisi CLE: si veda la congruenza dei dati raccolti con quelli collezionati per la metodologia proposta.

Inoltre, oltre alla compatibilità con le analisi della CLE, la metodologia proposta dalla scrivente può essere una valida base per un'altra finalità di Protezione Civile, ovvero la definizione dei piani di evacuazione.

Infatti, l'analisi della CLE non può prescindere dal piano di emergenza o di protezione civile³⁰⁶ ed è un'attività che serve per verificare le scelte contenute nel piano.

Questo deve rispondere a diverse domande: quali eventi calamitosi possono ragionevolmente interessare il territorio comunale; quali persone, strutture e servizi ne saranno coinvolti o danneggiati; quale organizzazione operativa è necessaria per ridurre al minimo gli effetti dell'evento; a chi vengono assegnate le diverse responsabilità per la gestione delle emergenze.

Per poter soddisfare queste necessità occorre innanzitutto definire gli scenari di rischio sulla base della vulnerabilità della porzione di territorio interessata (aree, popolazione coinvolta, strutture danneggiabili, etc.) al fine di poter disporre di un quadro globale e attendibile relativo all'evento atteso e quindi poter dimensionare preventivamente la risposta operativa necessaria al superamento della calamità con particolare attenzione alla salvaguardia della vita umana (quanti vigili del fuoco, quanti volontari, quali strutture di comando e controllo, quali strade o itinerari di fuga, quali strutture di ricovero, aree sanitarie, etc.)

A livello comunale, si rende necessario arrivare a un maggiore dettaglio che consenta agli operatori delle varie componenti della Protezione Civile di avere un quadro di riferimento corrispondente alla dimensione dell'evento atteso, della popolazione coinvolta, della viabilità alternativa, delle possibili vie di fuga, delle aree di attesa, di ricovero, di ammassamento, ecc.

³⁰⁶ Il piano di emergenza è il progetto di tutte le attività coordinate e delle procedure di Protezione Civile per fronteggiare un qualsiasi evento calamitoso, probabile in un determinato territorio.

Proprio per tale aspetto, la metodologia proposta può essere una valida base per la stesura dei piani di emergenza della Protezione Civile, in quanto rappresenta, appunto, una valutazione preliminare degli scenari di rischio e raccoglie, in prima battuta, le informazioni necessarie alla stesura del piano stesso.

Nella sua struttura, infatti, i dati di base e gli scenari consistono nella raccolta e organizzazione di tutte le informazioni relative alla conoscenza del territorio, della distribuzione della popolazione e dei servizi, dei fattori di pericolosità, di rischio, della vulnerabilità e dei conseguenti scenari al fine di disporre di tutte le informazioni antropico-territoriali utili alla gestione dell'emergenza; ovvero tutti i dati che vengono collezionati nella metodologia proposta.

In tal senso, quindi, sarebbe auspicabile una relazione fra quanto proposto nella seguente tesi di dottorato e le finalità di Protezione Civile e, in più, la metodologia elaborata dalla scrivente potrebbe essere il primo passo, *conditio sine qua non* alla redazione del piano stesso.

L'approccio metodologico proposto, quindi, come visto, consente molteplici finalità e sbocchi di utilizzo che possono essere riassunti, principalmente, nell'individuazione di una gerarchia fra le unità elementari complesse che compongono l'insediamento storico al fine di comprendere gli *standard* di prestazioni a cui tendere per la salvaguardia della vita, del patrimonio culturale e per le finalità di intervento e di Protezione Civile.

Ma permette, infine, di avere un quadro generale per le tempistiche e le priorità di intervento e per l'attribuzione di nuove destinazioni d'uso compatibilmente con il requisito di sicurezza e salvaguardia della vita.

2. STRUMENTI PROPOSTI PER UNA VALUTAZIONE DELLA VULNERABILITÀ SISMICA A SCALA URBANA: STRUTTURA E FUNZIONAMENTO DEL FOGLIO DI CALCOLO ELETTRONICO

Per come visto nel capitolo precedente, il metodo consiste, nella sua prima fase, nel collezionare una moltitudine di informazioni circa l'unità territoriale omogenea, raggruppabili in quattro macro-aree principali: dati strutturali, dati urbani, dati di utilizzo-affollamento e rischi dall'esterno. Ciascuna può avere n classi di parametri che, a loro volta, possono racchiudere m parametri distinguibili in base a sottoclassi indicizzate con punteggi variabili da 1 a 5.

I parametri sono stati identificati, come visto, in base a una serie di evidenze derivanti da quanto approfondito nello stato dell'arte della presente tesi: normative, progetti simili, studi, gruppi di ricerca, eventi sismici nonché l'anamnesi delle caratteristiche proprie dei nuclei consolidati (impianti urbani, tipologie edilizie, materiali, tecniche costruttive, tecniche di rinforzo) hanno contribuito a mostrare l'importanza, ai fini della definizione di una vulnerabilità complessiva, di una serie di elementi analizzati.

Per quanto riguarda la **FASE I** del metodo, ovvero quella che analizza la scala urbana, al fine di rendere la metodologia proposta maggiormente speditiva e di utilizzo immediato, si è proceduto alla redazione di un foglio di calcolo elettronico in cui, attraverso la compilazione di alcuni campi, per lo più dati metrici e quantitativi, vengono restituiti gli indici di vulnerabilità visti:

- Quattro indici parziali di vulnerabilità (V_{ds} , V_{du} , V_{de} , V_{re}) ciascuno per le macro-aree;
- Un indice di vulnerabilità complessiva di ogni UT omogenea, ovvero quartiere analizzato (V_{ut});

- Un indice di vulnerabilità complessiva (V_{cs}) totale per l'intero centro storico.

Struttura della scheda

Il foglio, impostato a guisa di scheda di catalogazione per guidare il compilatore nel collezionare le informazioni, si compone di sei differenti sezioni.

La **prima**, "**Analisi preliminare di esposizione**", contiene i dati generali relativi al quartiere e il suo rapporto col contesto urbano e col resto del centro storico. Si compilano, all'interno di tale foglio, campi riguardanti: la localizzazione amministrativa, geografica e morfologica; i confini; le estensioni metriche e quantitative delle parti (Edificato, Viabilità attraversante, Vuoti urbani, Aree vulnerate) e dei sistemi (Abitativo, Turistico-ricettivo, Commerciale, Produttivo, Scolastico, Direzionale, Amministrativo, Assistenziale, Religioso, Spettacolo, Funzione mista) componenti il quartiere; le presenze giornaliere di utenti nei diversi sistemi; la sismicità storica dell'area; la dimensione del quartiere rispetto all'intero centro storico.

La sezione, quindi, si divide in otto sottosezioni riassumibili come riportato di seguito:

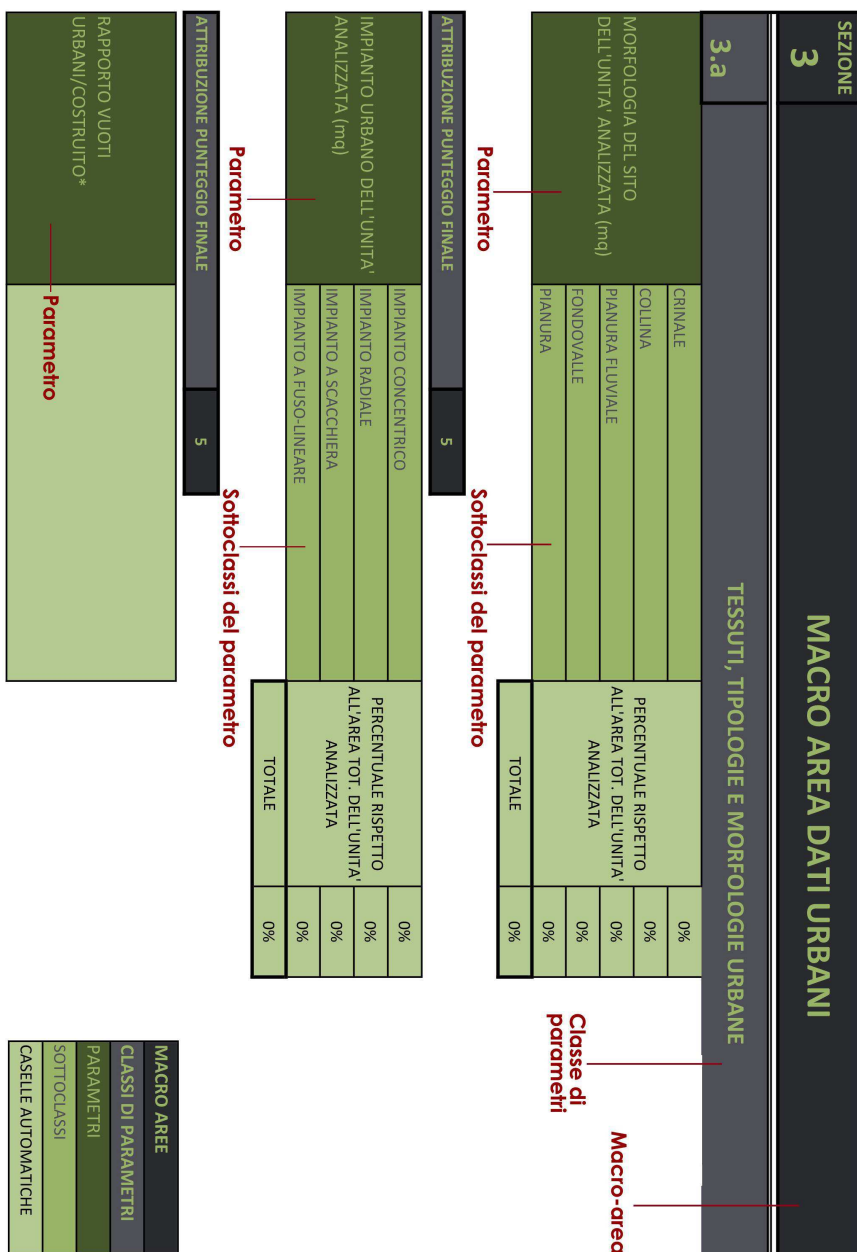
SEZIONE 1: dati generali

- 1.a IDENTIFICAZIONE
- 1.b DATI MORFOLOGICI-AMBIENTALI
- 1.c INDICAZIONI METRICHE DI AREE VULNERABILI
- 1.d INDICAZIONI QUANTITATIVE DI AREE VULNERABILI
- 1.e INDICAZIONI DI UTENZE E PRESENZE
- 1.f DATI RELATIVI AL RICHIÒ
- 1.g PESO DELL'UNITA' ANALIZZATA NEL CENTRO STORICO
- 1.h ALLEGATI FRAFICI E FOTOGRAFICI

SEZIONE		1		ANALISI PRELIMINARE DI ESPOSIZIONE	
1.a		IDENTIFICAZIONE			
DENOMINAZIONE DELL'UNITA' ANALIZZATA (nome del quartiere oppure numero identificativo dell'unità territoriale)					
LOCALIZZAZIONE AMMINISTRATIVA		Provincia			
		Comune			
		Località			
		Frazione			
LOCALIZZAZIONE DELLA ZONA URBANA		Centro antico			
		Centro storico			
		Appendici moderne			
DELIMITAZIONI GEOGRAFICHE DEL QUARTIERE		Nord			
		Sud			
		Est			
		Ovest			
ALTITUDINE MEDIA DEL QUARTIERE					
1.b		DATI MORFOLOGICI-AMBIENTALI			
RAPPORTO CON L'AMBIENTE ANTROPIZZATO		TIPO DI RELAZIONE FISICA		Relazione stretta, unità totalmente inglobata nel costruito denso	
				Relazione quasi stretta, unità confinante con il costruito denso su gran parte del perimetro	
				Relazione lasca, unità confinante con il costruito su modesta parte del perimetro	
				Relazione inesistente, unità isolata	
RAPPORTO CON L'AMBIENTE NATURALE		TIPO DI RELAZIONE FISICA		Unità posta in continuità di	
				Unità posta in prossimità di	
				Unità posta in rapporto visivo con	
MORFOLOGIA PREVALENTE DELL'UNITA' ANALIZZATA		COLLOCAZIONE FISICA PREVALENTE		Unità posta in pianura	
				Unità posta su pendio leggero	
				Unità posta su pendio acclive	
				Unità posta sulla costa	
1.c		INDICAZIONI METRICHE DI AREE VULNERABILI			
SUPERFICIE TOT. DELL'INTERO CENTRO STORICO (mq)					
SUPERFICIE TOT. DELL'UNITA' ANALIZZATA (mq)		PERCENTUALE RISPETTO ALL'INTERO CENTRO STORICO		0%	

Stralcio della sezione generale.

Le **sezioni intermedie** (dalla 2 alla 5), invece, collezionano i dati relativi alle quattro macro-aree così come definite e classificate precedentemente. Ciascuna, dunque, è composta da classi di parametri, parametri e sottoclassi così come individuati precedentemente.



Stralcio della sezione dati urbani: indicazione delle parti che compongono la scheda e loro identificazione cromatica.

L'**ultima sezione**, invece, funge da riassunto dei punteggi ottenuti per il singolo quartiere e, qualora utilizzata in collegamento con i risultati ottenuti per altri ambiti territoriali componenti il centro storico, serve da confronto fra le differenti parti.

Funzionamento della scheda

La scheda, realizzata per il calcolo automatico degli indici di vulnerabilità, è dotata di caselle compilabili con dati di tipo quantitativo, metrico o qualitativo e di altre, identificate dal colore più chiaro, per il calcolo automatico impostate dalla scrivente, così da fornire il risultato richiesto.

Per quanto riguarda la prima sezione, le caselle automatiche sono inserite per il calcolo delle percentuali delle parti rispetto all'intero quartiere (si veda l'esempio riportato di seguito). Sono, dunque, presenti nelle sottosezioni c, d, e, h.

Sono, inoltre, inserite caselle di controllo per la verifica sul totale delle percentuali, introdotte per segnalare eventuali incongruenze.

1.d		INDICAZIONI QUANTITATIVE DI AREE VULNERABILI	
NUMERO TOTALE DI EDIFICI NELL'UNITA' ANALIZZATA			
NUMERO TOTALE DI AGGREGATI NELL'UNITA' ANALIZZATA			
NUMERO DI EDIFICI SUDDIVISI PER SISTEMI DELL'UNITA' ANALIZZATA	Abitativo	PERCENTUALE RISPETTO AL NUMERO TOTALE DI EDIFICI NELL'UNITA' ANALIZZATA	0%
	Turistico-ricettivo		0%
	Commerciale		0%
	Produttivo		0%
	Scolastico		0%
	Direzionale		0%
	Amministrativo		0%
	Assistenziale		0%
	Religioso		0%
	Spettacolo		0%
Funzione mista	0%		
NUMERO DI EDIFICI VINCOLATI	PERCENTUALE RISPETTO AL NUMERO TOT. DI EDIFICI DELL'UNITA' ANALIZZATA	0%	

TOT.	0%
------	----

Stralcio della sezione dati generali: in verde più chiaro le caselle automatiche di calcolo delle percentuali; a lato la casella di controllo sul totale delle percentuali.

Nelle sezioni relative le quattro macro-aree e nell'ultima riassuntiva, invece, le caselle sono state impostate con le formule per il calcolo degli indici di vulnerabilità richiesti.

SEZIONE UTILIZZATA	INDICE OTTENUTO
SEZIONE 2- DATI STRUTTURALI	V_{ds}
SEZIONE 3- DATI URBANI	V_{du}
SEZIONE 4- DATI DI UTILIZZO-AFFOLLAMENTO	V_{de}
SEZIONE 5- DATI RISCHI DALL'ESTERNO	V_{re}
SEZIONE 6- RIASSUNTIVA	$V_{ut}; V_{cs}$

Le operazioni che consentono il calcolo dei suddetti indici permettono, a cascata, di quantificare, prima, quelli parziali per le quattro macro-aree, poi quello totale per l'unità territoriale omogenea e, infine, quello per l'intero centro storico.

La metodologia applicata per la redazione del foglio di calcolo e, in generale, per il calcolo dei diversi indici si rifà a quelle basate sul punteggio e sul peso (PCSM) che introducono una o più linee di pesi (*weights*), cioè un moltiplicatore a gamma fissa per ciascun parametro di base considerato, che amplifica il punteggio attribuito al parametro stesso in misura preordinata. Ciò, allo scopo di evidenziare l'importanza di uno o più parametri nel definire la vulnerabilità in particolari situazioni.

Per quanto concerne il **calcolo degli indici parziali** corrispondenti alle quattro macro-aree (V_{ds} , V_{du} , V_{de} , V_{re}), innanzitutto si sono attribuiti, per ciascuna sottoclasse dei parametri, punteggi unitari compresi fra 1 e 5 (con 5 valore peggiore) in base a valutazioni di tipo qualitativo o quantitativo, presenti in letteratura e non³⁰⁷.

³⁰⁷ Per una trattazione esaustiva si veda il paragrafo successivo.

3.d		VUOTI URBANI, LUOGHI SICURI E STANDARD FUNZIONALI		
RAPPORTO DIMENSIONALE DEI LUOGHI SICURI (piazze, giardini, ampi spazi scoperti)*		>20 mq/presenze max.	1	
		da 11 a 20 mq/presenze max.	2	
		da 6 a 10 mq/presenze max.	3	
		<6mq/presenze max.	5	
ATTRIBUZIONE PUNTEGGIO FINALE				
DISTANZA MASSIMA TRA UTENZA E LUOGHI SICURI* (misurata sul reale percorso da fare)	DISTANZA MAX. NULLA	PERCENTUALE RISPETTO AL NUMERO DI VUOTI URBANI DELL'UNITA' ANALIZZATA	0%	Caselle con punteggi preimpostati 1 2 3 4 5
	DISTANZA MAX. 50m		0%	
	DISTANZA MAX. DA 51m A 100m		0%	
	DISTANZA MAX. DA 101m A 250m		0%	
	DISTANZA MAX. OLTRE 250m		0%	
			0%	
	TOTALE		0%	

Stralcio della sezione dati urbani: indicazione delle caselle con attribuzione dei punteggi per le sottoclassi di parametri.

Per ogni parametro, quindi, compilando le caselle con i dati quantitativi richiesti, il foglio elettronico calcola automaticamente il punteggio corrispettivo, variabile fra 1 e 5, secondo tre metodi differenti:

- attraverso la media pesata calcolata rispetto le quantità secondo la formula:

$$M_p = \frac{\sum_{k=1}^n q_k p_k}{\sum_{k=1}^n q_k}$$

dove q_k rappresenta la quantità inserita per ciascuna sottoclasse del parametro di volta in volta analizzato e p_k il punteggio attribuito;

- secondo una relazione definita di "percentuale" ovvero che attribuisce il punteggio solo nel caso in cui le quantità superino il 30%. Tale modalità è applicata a quei parametri quali, per esempio, quelli relativi alle superfetazioni, ai rinforzi strutturali o alla presenza di punti di interruzione delle reti tecnologiche, che sono rilevanti e influenti sulla vulnerabilità del quartiere solo se diffusi su almeno il 30% del costruito;

- secondo la presenza di intervalli prestabiliti ovvero che attribuisce un intervallo percentuale a ciascun punteggio e lo assegna in base all'appartenenza a tali *range*.

Di seguito si riporta uno stralcio della scheda che presenta le tre modalità di attribuzione del punteggio. Si può vedere come, inserendo le quantità richieste in metri (6m, 7m, 40m, 80m), il programma calcola la media pesata per il parametro relativo alla pendenza della viabilità; attribuisce un punteggio pari a 3 al parametro relativo ai tratti gradonati perché la quantità è pari al 40% rispetto ai metri totali di viabilità presenti (quindi il valore risulta superiore al 30%); infine, attribuisce un punteggio pari a 4 che è corrispondente all'intervallo compreso fra il 61% e l'80% in quanto la percentuale relativa ai tratti con edifici prospicienti risulta pari all'80%.

PENDENZA DELLA VIABILITA' ATTRAVERSANTE (m)*	>10%		PERCENTUALE RISPETTO ALLO SVILUPPO LINEARE DI VIABILITA' DELL'UNITA' ANALIZZATA	0%	5 4 2 1
	5,1-10%	6		6%	
	2-5%	7		7%	
	<2%			0%	
	TOTALE				

ATTRIBUZIONE PUNTEGGIO FINALE		2,92307692	Attribuzione punteggio al parametro con la media		
TRATTI GRADONATI DELLA VIABILITA' ATTRAVERSANTE (m)	40	PERCENTUALE RISPETTO ALLO SVILUPPO LINEARE DI VIABILITA' DELL'UNITA' ANALIZZATA	40%	>81%	5
				61-80%	4
				41-60%	3
				20-40%	3
				<20%	1
TOTALE			40%		

RELAZIONE DI PERCENTUALE	40%	Attribuzione punteggio al parametro con la relazione di percentuale			
ATTRIBUZIONE PUNTEGGIO FINALE		3			
TRATTI DELLA VIABILITA' ATTRAVERSANTE INTERESSATI DALLA PRESENZA DI EDIFICI A FILO STRADA (m)*	80	PERCENTUALE RISPETTO ALLO SVILUPPO LINEARE DI VIABILITA' DELL'UNITA' ANALIZZATA	80%	>81%	5
				61-80%	4
				41-60%	3
				20-40%	3
				<20%	1
TOTALE			80%		

ATTRIBUZIONE PUNTEGGIO FINALE		4	Attribuzione punteggio al parametro secondo intervalli prestabiliti		
-------------------------------	--	---	--	--	--

Stralcio della sezione dati urbani. Indicazione delle caselle con attribuzione dei punteggi per i diversi parametri: media pesata e relazione di percentuale.

Compilati tutti i campi con le quantità, dunque, il foglio computa in automatico il punteggio di ciascun parametro nonché l'indice parziale corrispondente alla relativa sezione. Quest'ultimo è calcolato secondo una media matematica: i punteggi dei parametri vengono, infatti, sommati e il risultato diviso per il numero totale di criteri analizzati (ovvero quelli compilati).

Avendo riempito le sezioni relative alle macro-aree, quindi, il foglio elettronico restituisce i quattro indici parziali V_{ds} , V_{du} , V_{de} , V_{re} espressi, anch'essi, con valori variabili da 1 a 5. È in questa fase, comparando i valori ottenuti per gli indici, che appare chiara la causa per la quale il quartiere è maggiormente vulnerabile: ovvero se per motivi strutturali, di conformazione urbana, di destinazioni d'uso o per rischi esterni al comparto.

L'ultima sezione del foglio di calcolo cioè quella riassuntiva, infine, consente di calcolare l'indice di vulnerabilità complessiva del quartiere, prima, e dell'itero centro storico, poi.

Per quanto concerne il calcolo dell'**indice totale per l'unità territoriale** (V_{ut}), il foglio elettronico è stato impostato con una media pesata calcolata fra gli indici parziali V_{ds} , V_{du} , V_{de} , V_{re} e il peso attribuito a ciascuna macro-area.

Considerando, infatti, una vulnerabilità totale del quartiere pari a 100, si sono attribuiti pesi differenti alle macro-aree dovuti al numero di parametri analizzati in ciascuna.

MACRO-AREA	N° DI PARAMETRI ANALIZZATI	PESO ATTRIBUITO
DATI STRUTTURALI	14	30
DATI URBANI	25	50
DATI DI UTILIZZO-AFFOLLAMENTO	6	10
DATI RISCHI DALL'ESTERNO	5	10
	TOT.	100

L'indice totale per l'unità territoriale, dunque, è dato dalla relazione:

$$V_{ut} = [(V_{ds} * P_{ds}) + (V_{du} * P_{du}) + (V_{de} * P_{de}) + (V_{re} * P_{re})] / 100$$

dove 100 è la somma dei pesi attribuiti alla macro-aree.

Tale indice, espresso anch'esso con un valore fra 1 e 5, dunque, consente di quantificare la vulnerabilità complessiva del quartiere. L'ultimo passo della metodologia proposta, per come visto nel capitolo precedente, consiste nel calcolo dell'**indice di vulnerabilità complessiva dell'intero centro storico (V_{cs})** che può essere estrapolato solo nel caso in cui la procedura sia applicata a tutti i quartieri componenti il nucleo consolidato.

In questo caso, quindi, il foglio di calcolo, applica una media pesata degli indici V_{ut} rispetto all'estensione dell'unità territoriale e complessiva del centro.

Il foglio di calcolo elettronico, dunque, per come progettato dalla scrivente rappresenta, non solo, una base per collezionare tutti i dati necessari e utili a definire una vulnerabilità complessiva del comparto urbano ma, inoltre, guida il compilatore nella fase successiva di estrapolazione degli indici stessi.

È, dunque, lo strumento della metodologia proposta che può essere impiegato solo a valle di una conoscenza esaustiva e rigorosa del centro storico e delle singole parti di cui si compone.

Metodi di indicizzazione dei parametri

All'interno della scheda progettata, per come detto, in ogni sezione è stato racchiuso un numero differente di parametri: 14 per la macro-area dati strutturali, 25 per quelli urbani, 6 per quelli di utilizzo-affollamento e 6 per quelli relativi ai rischi dall'esterno.

Ciascun parametro rappresenta un fattore che incide sulla vulnerabilità del nucleo consolidato e, pertanto, presenta delle

specifiche, le sottoclassi appunto, a cui sono state attribuite i punteggi.

Rimandando all'osservazione delle schede presenti in allegato alla seguente tesi, si richiamano qui le distinzioni condotte per l'individuazione delle sottoclassi. Poiché, infatti, la scheda progettata è contenitore di molteplici informazioni, differenti per tipologia e natura, è stata di volta in volta strutturata in modo da poter attribuire i punteggi secondo congrue modalità.

Le regole seguite per l'individuazione delle categorie in cui distinguere i parametri sono racchiudibili, per lo più, nelle seguenti tipologie differenti:

- Tipologica: ovvero si è eseguita una distinzione per tipo/tipologia. È il metodo utilizzato, per esempio, per i parametri relativi alla tipologia strutturale (in muratura, in cemento armato, casa baraccata, in legno, ecc.), alla tipologia di partizioni verticali (muratura di mattoni, muratura a sacco, muratura mista, muratura disordinata, ecc.) e orizzontali (il legno, in pietra, in cemento armato, voltati, ecc.), oppure per le morfologie urbane (di crinale, di fondo valle, di collina, ecc.) e gli impianti (lineare, radiale, a scacchiera, ecc.);
- Quantitativa: in cui la classificazione è stata effettuata in base a *range* di quantità prestabiliti. Sono stati suddivisi così, per esempio, i parametri relativi le distanze dei luoghi sicuri rispetto all'edificato (distanza max. nulla, distanza max. 50m, distanza max. da 51m a 100m, distanza max. da 101m a 250m, distanza max. oltre 250m) oppure le sezioni stradali (<2 m, fra 2 e 5 m, fra 5,1 e 7 m, fra 7,1 e 10 m, >10 m);
- Qualitativa: in cui le sottocategorie sono state individuate esprimendo un giudizio di merito in base alla qualità oppure alla sufficienza di quanto presente. Si è utilizzato tale metodo per tutti quei parametri per i quali un'espressione tipologia o

quantitativa non era possibile o sarebbe diventata complessa e troppo specifica facendo decadere il carattere speditivo della metodologia. Sono stati espressi in tal modo, per esempio, il degrado dei materiali (elevato, medio, basso) e gli accessi ai luoghi sicuri (ostacolati, mediamente ostacolati, liberi);

- Di diffusione: esprimendo la quantità presente ovvero la minore o maggiore diffusione del parametro da analizzare. Nel primo caso è richiesto semplicemente la compilazione con la quantità corrispondente al parametro analizzato. Nel secondo caso, invece, si sono distinte tre fasce a cui attribuire i punteggi: molto diffusi, mediamente diffusi e poco diffusi. Sono stati definiti così i parametri relativi, per esempio, ai quadri fessurativi o alla presenza di presidi antisismici all'interno del quartiere analizzato;
- Del tipo si/no: semplicemente indicando la presenza o meno di un fattore quale, per esempio, altre vie alternative di accesso all'unità territoriale, oppure la presenza di aggregati già vulnerati da precedenti crolli o incendi.

Si riporta di seguito, per ciascuna macro-area, uno schema riassuntivo dei parametri in relazione alla tipologia di distinzione eseguita.

MACRO-AREA DATI STRUTTURALI	
Tipologia di distinzione	Parametro
Tipologica	Numero di edifici
	Tipologia di suolo
	Tipologia strutturale
	Materiali costruttivi partizioni verticali
	Materiali costruttivi partizioni orizzontali interne
	Materiali costruttivi partizioni orizzontali di chiusura
	Numero di edifici con superfetazioni

	Numero di edifici abusivi
Quantitativa	
Qualitativa	Tipologia di aggregati Degrado dei materiali
Di diffusione	Quadri fessurativi Presidi antisismici costruttivi
Del tipo si/no	Presidi antisismici urbani Interventi di rinforzo recenti

MACRO-AREA DATI URBANI	
Tipologia di distinzione	Parametro
Tipologica	Morfologia del sito Impianto urbano Livello funzionale degli accessi carrabili Tipologia della viabilità attraversante Collocazione dei sottoservizi
Quantitativa	Dimensione degli aggregati Rapporto di copertura degli aggregati Lunghezza tratti della viabilità attraversante Larghezza della viabilità attraversante Pendenza della viabilità attraversante Distanza massima tra utenze e luoghi sicuri Altezza degli edifici
Qualitativa	Tipologia di accessi pedonali Tipologia di accessi carrabili Configurazione dei luoghi sicuri Configurazione degli accessi ai luoghi sicuri Giudizio sul livello di servizio delle reti tecnologiche
Di diffusione	Rapporto vuoti urbani/costruito Tratti gradonati della viabilità Tratti della viabilità attraversante con edifici filo

278 Verso la definizione della vulnerabilità urbana dei nuclei consolidati: un approccio metodologico per la sua indicizzazione

	strada Rapporto dimensionale dei luoghi sicuri Area d'influenza di elementi vulnerabili alti Punti di interruzione delle reti tecnologiche
Del tipo si/no	Altre tipologie di accesso Presenza di punti focali di smistamento

MACRO-AREA DATI DI UTILIZZO-ESPOSIZIONE

Tipologia di distinzione	Parametro
Tipologica	
Quantitativa	
Qualitativa	
Di diffusione	Esposizione delle presenze equivalenti Numero edifici abitati Numero edifici strategici Numero edifici a valenza culturale Numero edifici aperti al pubblico Numero grandi attrattori turistici
Del tipo si/no	

MACRO-AREA DATI RISCHI DALL'ESTERNO

Tipologia di distinzione	Parametro
Tipologica	Effetti di sito Altri rischi geologici Elementi critici
Quantitativa	

Qualitativa	Tipologia e numero delle vie di accesso Stato delle vie di accesso
Di diffusione	
Del tipo si/no	Presenza di elementi vulnerati

Le sottoclassi di parametri individuate secondo le metodologie appena indicate, quindi, sono state indicizzate attraverso l'attribuzione di un punteggio unitario variabile fra 1 e 5.

La situazione di maggiore vulnerabilità è stata, come visto, indicata con il punteggio maggiore; si è attribuito, invece, un valore minimo pari a 1 alla soglia più bassa riconoscendo, comunque, a tutti gli elementi analizzati, una vulnerabilità intrinseca sempre presente e non nulla.

L'attribuzione dei valori numerici è stata basata sulle evidenze scientifiche, nonché su dati già presenti in letteratura e nelle normative analizzate nelle parti precedenti della presente tesi.

Per quanto riguarda i parametri analizzati nella sezione della macro-area dati strutturali, essi sono stati valutati seguendo le indicazioni presenti nella NTC 08 o, anche, le scale macrosismiche. Le qualità delle classi di terreno, per esempio, sono state valutate in base ai parametri di resistenza contenuti nelle norme tecniche italiane. Al contrario, a tutte le tipologie costruttive è stato attribuito un punteggio in base alla classe di vulnerabilità attribuitagli dall'EMS-98.

Invece, per quanto riguarda i dati relativi alla macro-area dei dati urbani, si è fatto riferimento a quanto applicato nella metodologia proposta dal Servizio Sismico Regionale dell'Emilia-Romagna³⁰⁸. Quest'ultima, come più volte sottolineato, infatti, ha

³⁰⁸ Nelle schede allegate alla fine della presente tesi sono indicati, con l'asterisco in apice, i parametri che sono stati mutuati dalla metodologia dell'Emilia Romagna.

rappresentato una solida base per il metodo qui proposto e ha fornito uno spunto per l'individuazione sia degli intervalli relativi all'attribuzione dei punteggi che della situazione più sfavorevole o di minore fragilità.

Il confronto con quanto presente in letteratura, però, non è stato privo di osservazioni e modifiche da parte della scrivente: in alcuni casi, infatti, si sono effettuate variazioni ai *range* in quanto ritenuti troppo ampi se applicati ai piccoli borghi e non ai grandi centri storici. È questo, per esempio, il caso dei parametri dimensionali relativi le sezioni stradali, le lunghezze dei tratti, le distanze rispetto ai luoghi sicuri ritoccati con grandezze minori.

3. STRUMENTI PROPOSTI PER UNA VALUTAZIONE DELLA VULNERABILITÀ SISMICA ALLA SCALA DELL'AGGREGATO: LA SCHEDA DI CATALOGAZIONE

Per come visto nei capitoli precedenti, il metodo consiste, in una prima fase relativa l'unità territoriale omogenea e la scala territoriale e di una seconda fase applicabile, invece, alla scala dei singoli aggregati che compongono il quartiere. Come detto, le due fasi possono applicarsi separatamente oppure a cascata. Nello specifico, qualora dalla prima analisi territoriale l'indice parziale di vulnerabilità relativo alla macro-area dei dati strutturali risulti predominante rispetto agli altri tre, si può passare alla fase successiva in cui focalizzare l'attenzione, appunto, solo alle caratteristiche tecnologiche e materiche degli aggregati facente parte l'unità territoriale analizzata.

Anche la seguente fase si basa su un'ampia e esaustiva conoscenza dell'ambito analizzato e, al fine di collezionare le informazioni relative le differenti anamnesi da sviluppare, è stata progettata una scheda di catalogazione³⁰⁹ che, a differenza di quella utilizzata per la scala territoriale, è solo di natura compilativa e non informatizzata³¹⁰.

Il processo metodologico richiesto a tale fase, infatti, è relativo:

- l'individuazione degli aggregati e delle Unità Strutturali (U.S.) all'interno del quartiere;
- l'anamnesi delle singole U.S. per estrapolare dati, dimensionali, qualitativi e quantitativi, relativi alle tecnologie costruttive e materiche nonché di consolidamento;

³⁰⁹ La seguente sperimentazione è stata condotta sotto la guida scientifica del co-tutor Prof. Ing. F. Bencardino.

³¹⁰ Ulteriori studi relativi alle tecniche costruttive e di consolidamento potrebbero essere utili in tal senso.

-l'utilizzo della scheda di catalogazione progettata.

Per come delineata e redatta, la scheda aiuta il compilatore-rilevatore, ad appuntare una serie di informazioni relative le singole Unità Strutturali mostrandosi, quindi, una valida base per la realizzazione di indagini approfondite successive e di valutazioni di vulnerabilità di tipo meccanico attraverso modellazioni strutturali.

Nasce, perciò, dall'anamnesi matura e ragionata delle schede oggi disponibili per il rilevamento del costruito esistente³¹¹ di cui si sono compattate le informazioni richieste ma, comunque, con uno sguardo innovativo e l'inserimento di nuovi parametri analizzabili relativi, per lo più, all'organizzazione di una serie di informazioni sui rinforzi strutturali e, in generale, su una serie di giudizi di merito qualitativi relativi alle tecnologie messe in opera.

La scheda, ripetibile per ciascun aggregato componente l'UT omogenea e, così come per quella redatta per la fase 1, è anch'essa strutturata in macro-aree (caratteristiche e tipologie strutturali, quadri fessurativi e meccanismi fuori dal piano, rinforzi strutturali), classi di parametri, parametri e sottoclassi di parametri. Inoltre, al pari del foglio di calcolo progettato, si compone di quattro sezioni:

- Sezione 1: è di inquadramento e contiene i dati di identificazione e dimensionali dell'aggregato (superficie coperta, numero di piani entroterra/seminterrati/fuori terra, superficie media di piano, altezza d'interpiano, numero in U.S. componenti);
- Sezione 2: è relativa alla macro-area delle caratteristiche e tipologie strutturali;
- Sezione 3: è relativa alla macro-area dei quadri fessurativi e meccanismi fuori dal piano;
- Sezione 4: è relativa alla macro-area dei rinforzi strutturali.

³¹¹ Si veda la parte relativa la vulnerabilità strutturale ovvero il capitolo 1 della parte II della presente tesi di dottorato.

Relativamente le tre sezioni riferite alle macro-aree, i dati da collezionare sono:

1. CARATTERISTICHE E TIPOLOGIE STRUTTURALI

a) Partizioni verticali

- regolarità planimetrica e snellezza diffusa;
- materiali costruttivi;
- materiali costruttivi dei cantonali;
- n° di disconnessioni per accrescimento al piano terra;

b) Partizioni orizzontali interne

- materiali costruttivi;

c) Partizioni orizzontali esterne

- materiali costruttivi;

2. QUADRI FESSURATIVI E MECCANISMI FUORI DAL PIANO

a) Meccanismi fuori dal piano

- tipologie;

b) Danneggiamento a taglio

c) Danneggiamento per martellamento di edifici in c.a.

d) Meccanismi fuori dal piano edifici ecclesiastici

- tipologie;

3. RINFORZI STRUTTURALI

a) Presidi antisismici

- tipologie;

b) Interventi di rinforzo innovativi

- tipologie.

La struttura della scheda, è del tutto paragonabile a quella progettata per la fase territoriale come visibile nello stralcio di seguito riportato e, in generale, in quelle allegate alla presente tesi di dottorato.

<p>SCHEDA</p> <p>S.2</p> <p>CARATTERISTICHE E TIPOLOGIE STRUTTURALI DELL'US</p>		<p>PARTIZIONI VERTICALI</p>						
<p>S2.a</p>								
<p>REGOLARITA' PLANIMETRICA E SNELLEZZA DIFFUSA</p>		<p>REGOLARITA' PLANIMETRICA (G/b)</p> <p>0</p>	<input type="text"/>					
<p>SNELLEZZA VERTICALE MEDIA DELLE PAGETTI (1/4)</p> <p>0</p>								
<p>DATI DIMENSIONALI US</p> <p>LATO MINORE</p> <p>LATO MAGGIORE</p> <p>SPESORE</p> <p>INTERPANO</p>								
<p>MATERIALI COSTRUTTIVI (classificazione secondo EM5598)</p> <p>MURATURA DI PIETRA SENZA FIANTE (A SECCO)</p> <p>MURATURA IN TERRA CRUDA (ADOBEL)</p> <p>MURATURA IN PIETRA SBOZZATA</p> <p>MURATURA IN PIETRA MASSICIA PER EDIFICI MONUMENTALI</p> <p>MURATURA IN MATTONI E PIETRA LAVORATA</p> <p>MURATURA IN MATTONI</p> <p>MURATURA RINFORZATA E/O CONFINATA (MURRO BARACCATO)</p>		<p>MALTA SCADENTE</p>	<p>GIUNTI SPESI</p>	<p>ASSENZA DI RICORSI E/O LISTATURE</p>	<p>ASSENZA ELEMENTI TRASVERSALI</p>	<p>NUCLEO SCADENTE</p>	<p>MALTA BUONA</p>	<p>INTONACO ARMATO</p>
<p>TIPOLOGIE CANTONALI</p> <p>INSISTENTE</p> <p>CONGI DI PIETRA</p> <p>MATTONI</p> <p>BLOCCHI DI PIETRA</p>								
<p>MATERIALI COSTRUTTIVI</p>		<p>MALTA SCADENTE</p>	<p>GIUNTI SPESI</p>			<p>NUCLEO SCADENTE</p>	<p>MALTA BUONA</p>	<p>INTONACO ARMATO</p>
<p>MATERIALI COSTRUTTIVI</p> <p>INSISTENTE</p> <p>CONGI DI PIETRA</p> <p>MATTONI</p> <p>BLOCCHI DI PIETRA</p>								
<p>MATERIALI COSTRUTTIVI</p>		<p>MALTA BUONA</p>	<p>GIUNTI CONNESSI</p>			<p>NUCLEO CONNESSO</p>	<p>MALTA BUONA</p>	<p>INTONACO ARMATO</p>

Stralcio della scheda di catalogazione progettata per la scala dell'aggregato.

Gli aspetti innovativi della scheda di catalogazione progettata per l'applicazione della metodologia proposta alla scala dell'aggregato, come detto, riguardano l'introduzione di una serie di caselle compilabili con giudizi di merito espressi a seguito di rilievi autoptici più o meno estesi.

Nello specifico, per quanto riguarda la macro-area relativa le caratteristiche e tipologie strutturali, si può vedere, sono state inserite una serie di approfondimenti sulla qualità e lo stato di degrado dei materiali.

Per quanto riguarda la classe di parametri relativa le partizioni verticali, per esempio, il compilatore è chiamato ad indicare, per le differenti tipologie murarie, se si è in presenza di malta scadente, di giunti spessi, di ricorsi, di elementi di connessione trasversale ovvero di un nucleo scadente. Sono, questi, gli elementi che la NTC 2008 individua per la definizione delle caratteristiche meccaniche delle murature e dei relativi coefficienti di miglioramento³¹² proprio a sottolineare la valenza che si è voluta dare alla scheda di poter fungere da valida base per la fase di modellazione strutturale dell'aggregato stesso.

Per i solai, invece, si indicherà se sono vibranti sotto sollecitazione, inflessi oppure se si è in presenza di elementi corrosi e/o degradati. Per le partizioni orizzontali di chiusura, infine, è richiesto di indicare la presenza di sopraelevazioni o torrini.

La sezione relativa i quadri fessurativi e i meccanismi fuori dal piano, invece, contiene un'ampia casistica riferibile sia ad aggregati composti da architettura civile, sia alla casistica in cui siano presenti edifici di tipo specialistico-ecclesiale. La conformazione degli aggregati edilizi, infatti, non è sempre univoca e uguale ma presenta una casistica varia per far fronte alla quale si è progettata la sezione in modo variegato. È, questo,

³¹² Si vedano le tabb. C8A.2.1 e C8A.2.2 della NTC 2008.

poi, un altro fattore di innovazione in controtendenza rispetto alle schede oggi utilizzabili che, invece, separano nettamente le due tipologie.

Per tutte le tipologie di meccanismi e di danneggiamento del piano, poi, il compilatore è chiamato ad inserire dati relativi la superficie interessata, il piano al quale si manifesta e la superficie su fronte strada, collegandosi, quindi, all'aspetto urbano della vulnerabilità per come definita nella presente tesi di dottorato.

Infine, una serie di giudizi valutativi relativi il tiro, la tipologia del ferro utilizzato, la presenza di corrosione e/o degrado, la presenza di fenomeni di punzonamento e/o ancoraggio insufficiente sono richiesti per la definizione e la catalogazione dei presidi antisismici. Ulteriori valutazioni di merito potrebbero inserirsi per ciascuna delle tecniche di consolidamento che potrebbero, eventualmente, essere presenti sull'aggregato per l'intercorrere di interventi recenti di rinforzo.

SCHEDA		CARATTERISTICHE E TIPOLOGIE DEI RINFORZI STRUTTURALI				
S4		PRESIDI ANTISISMICI				
S4.a		PRESIDI ANTISISMICI				
TIPOLOGIE	QUANTITA'	N° DI PIANO	TIRO/SPINTA INEFFICACE	FERRI LISCI	ELEMENTI CORROSI E/O DEGRADATI	PUNZONAMENTO/ ANCORAGGIO INSUFFICIENTE
PRESIDI ANTISISMICI	CATENE PERIMETRALI					
	CATENE VOLTE/SOLAIO					
	SOLAIO INCHIAVARDATO					
	TETTO INCHIAVARDATO					
	RADICIAMENTI					
	CERCHIATURE					
	MURI A SCARPA					

Stralci della scheda di catalogazione progettata per la scala dell'aggregato.

La scheda progettata per la fase 2 della metodologia proposta per la valutazione della vulnerabilità complessiva, quindi, si presenta quale valido strumento per il rilievo dello stato di fatto degli aggregati e del quadro fessurativo, con la finalità di essere

utilizzata in fase di rilievo e quale base per le modellazioni successive.

Per come delineata, però, essa può essere implementata con punteggi riguardanti le differenti tecniche costruttive, i meccanismi nel piano e fuori dal piano delle murature nonché i presidi antisismici, le tecniche di rinforzo tradizionali e quelle innovative.

In tal modo, la scheda di catalogazione da compilativa diventerebbe informatica e si delineerebbe, dunque, un secondo foglio di calcolo in grado di restituire l'indice di vulnerabilità relativo all'aggregato in continuità con quello progettato per la fase 1 della metodologia proposta.

Un tale processo, comporta la redazione di ulteriori e notevoli studi scientifici, sperimentazioni numeriche e validazioni dei risultati ottenuti anche attraverso prove sperimentali, ma è, sicuramente, avviabile anche da un attento studio dello stato dell'arte e di quanto, ad oggi, già fatto in tale direzione.

Ma, inoltre, l'attribuzione di punteggi potrebbe essere supportata da procedure di sperimentazione numerica similari a quella svolta nella presente tesi di dottorato (si veda parte II, §3.4) con le finalità di estrapolare, per modelli semplificati di murature, le percentuali di miglioramento ottenute dall'applicazione dei differenti tipi di rinforzo strutturale oggi più diffusi.

La valutazione degli indici di vulnerabilità e delle loro percentuali di miglioramento, così come ottenuti per i due modelli realizzati con il programma 3Muri relativamente ai rinforzi in FRP con tre tipologie differenti di fibre (basalto, carbonio e vetro), infatti, potrebbero consentire l'estrapolazione di punteggi da attribuire ai parametri analizzati nella seconda scheda di catalogazione progettata. Una tale sperimentazione, ovviamente, richiederebbe

288 Verso la definizione della vulnerabilità urbana dei nuclei consolidati: un approccio metodologico per la sua indicizzazione

tempi lunghi e innumerevoli sforzi data la varietà di parametri e variabili al contorno.

4. UN'APPLICAZIONE DELLA METODOLOGIA PROPOSTA SUL QUARTIERE DI SAN GIOVANNI GEROSOLIMITANO NEL CENTRO STORICO DI COSENZA

Al fine di validare quanto proposto nella metodologia per la valutazione della vulnerabilità urbana, si è avviata una sperimentazione su un centro storico campione: quello della città di Cosenza (Calabria, Italia)³¹³.

La procedura proposta dalla tesi di dottorato è stata applicata nelle prime fasi, ovvero quelle di conoscenza e di anamnesi, all'intero centro storico; le schede elettroniche progettate, invece, sono state utilizzate per l'estrapolazione degli indici di vulnerabilità di un unico comparto omogeneo: il quartiere di San Giovanni Gerosolimitano.

Lo stesso è stato reputato rappresentativo e interessante per le caratteristiche e la varietà di elementi che presenta: la posizione, la conformazione, lo sviluppo tipologico e architettonico, le caratteristiche urbane nonché quelle relative l'affollamento ne fanno, infatti, un quartiere emblematico per l'analisi di vulnerabilità proposta.

Cosenza, *urbs magna Bruttiorum*, sin dalla sua fondazione, nel IV secolo a.C. per opera della confederazione *Brettia*, è stata un

³¹³ La conoscenza del contesto e le nozioni relative il centro storico di Cosenza (CS), alla base della metodologia proposta e utilizzate per la sua applicazione, sono maturate da uno studio condotto, da chi scrive, dal 2012 in collaborazione con il gruppo scientifico della Prof.ssa Brunella Canonaco. L'anamnesi del nucleo consolidato, portata avanti sia sul campo (attraverso campagne di rilievo, studi della documentazione bibliografica e inedita d'archivio, indagini tipologiche, analisi materiche) sia durante le sperimentazioni accademiche affrontate nel corso di Restauro Architettonico del corso di Laurea di Ingegneria Edile-Architettura dell'Università della Calabria, hanno condotto alla redazione di numerose pubblicazioni inerenti lo sviluppo di interi brani di città e, inoltre, lo studio di emergenze architettoniche.

centro nevralgico e importante, con un bacino di influenza esteso a molti altri centri della Calabria settentrionale.

Il centro storico rivela ancora oggi le numerose e varie frequentazioni susseguitesi nel tempo, riconoscibili grazie a un'attenta osservazione delle stratificazioni architettoniche e archeologica, indagate nel territorio con un maggiore o minor grado di approfondimento. *Brettii*, Romani e Bizantini sono solo alcune delle popolazioni qui avvicendatesi e che scelsero l'insediamento per la sua posizione strategica, nonché per le opportunità di ricchezza offerte. Un momento sicuramente cruciale per la storia e lo sviluppo del centro antico, di cui rimangono tracce ben percepibili, è, infine, il periodo normanno-svevo, connotato dalla figura di Federico II il cui castello domina ancor oggi lo skyline della città.





Cosenza: viste del colle Pancrazio sormontato dal Castello Federiciano.

Il centro storico, si presenta come una città formalmente introversa, racchiusa entro i limiti del suo perimetro; mostra una struttura piramidale, addossata sul crinale del colle Pancrazio con in sommità la fortezza federiciano, al centro la cattedrale e alla base i fiumi Crati e Busento che ne segnano il confine verso il pianoro.

Il tessuto urbano sedimentato rispetta l'orografia del terreno e presenta un costruito compatto e vario nelle sue prevalenze architettoniche³¹⁴.

Anche la struttura viaria è visibilmente condizionata dal luogo. Sono presenti arterie principali, come il Corso Telesio, con forte pendenza e direzione prevalente Nord-Sud, e percorsi trasversali minori, sovente gradonati, di connessione tra i salti di quota. Si forma una fitta maglia di percorsi che si intersecano tra loro e che si fondono

³¹⁴ CANONACO B., *Cosentia. Il progetto della antica città calabro attraverso i documenti di archivio e le vedute storiche*. Rubbettino, Soveria Mannelli, 2007.

con il tessuto costruito, dove edifici di pregio sono spesso coesi all'edificato di base.

Le piazze, poi, nascono e si consolidano spesso con geometrie non convenzionali, e sono generalmente frutto di aggregazioni, rifusioni e modificazioni dei piani, che creano luoghi residuali di ampiezza limitata, definiti come slarghi.



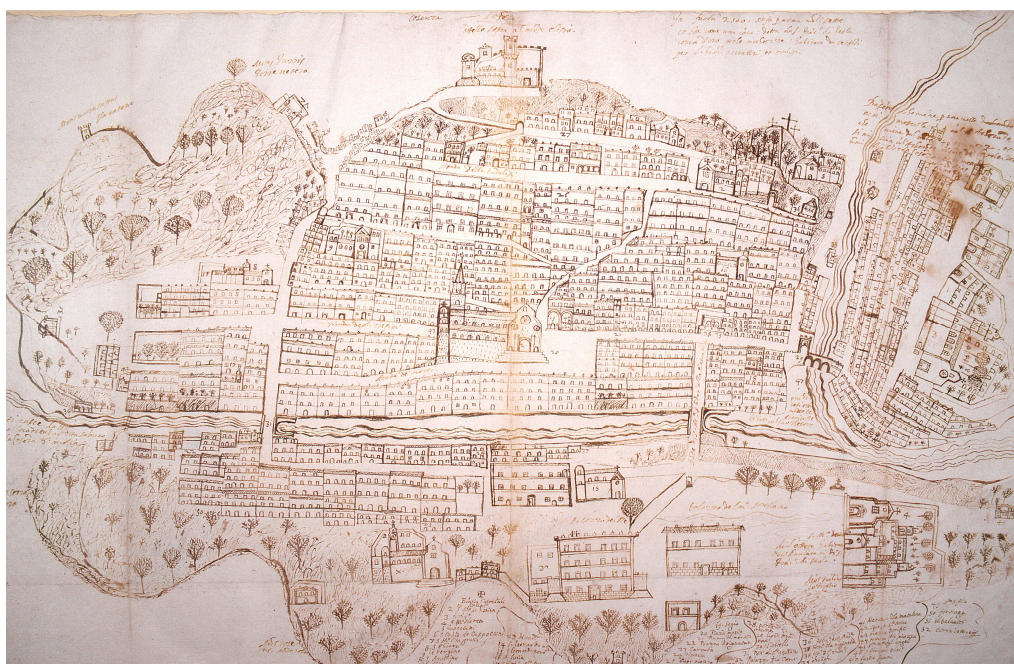
La città vista dall'alto: adattamento del costruito all'orografia del terreno.

La struttura urbana di Cosenza, sicuramente frutto di stratificazioni e rifusioni successive, anche dovute agli innumerevoli terremoti susseguitesesi nei secoli³¹⁵, è quasi del tutto completa e delineata al XVI secolo, periodo della prima rappresentazione grafica che si possiede a testimonianza della città. Nella veduta dell'Angelica

³¹⁵ Fra i tanti, si ricordano i più recenti del 1638 (distruttivo per la città), del 1783, del 1854 e del 1905. Importanti note possono trarsi, a riguardo, dai documenti d'archivio (atti notarili e incartamenti dell'Intendenza Comunale) e dalle fonti bibliografiche. Cfr. GIANNANTONIO O., *La Città di Cosenza immune dai tristi effetti del terremoto*, la piccola Tipografia della Provvidenza. Catanzaro, 1912; NACCARATO S., *Cosenza nel terremoto del 1638*. tip. SATEM, Cosenza, 1977; VIVENZIO G., *op. cit.*

(1584)³¹⁶, infatti, essa appare sviluppata in tutte le sue parti, quasi del tutto sovrapponibile a come è visibile oggi.

Nel documento storico, inoltre, è distinguibile l'impianto edilizio della città: tipologie di base (case a schiera, a profferlo su pendio, case *locande*, *catoj*) nei quartieri popolari sorti a valle del colle e sui colli limitrofi; edilizia più colta (case *palaziate*)³¹⁷, invece, posta diffusamente nella parte a mezzo colle con mirabili esempi, nella loro semplicità di linguaggio, di architettura aderente al gusto del rinascimento meridionale.



Veduta della città di Cosenza conservata nella Biblioteca Angelica di Roma.

³¹⁶ Puntuale disegno prospettico dell'intera città, realizzato da autore anonimo su commissione del padre agostiniano Angelo Rocca.

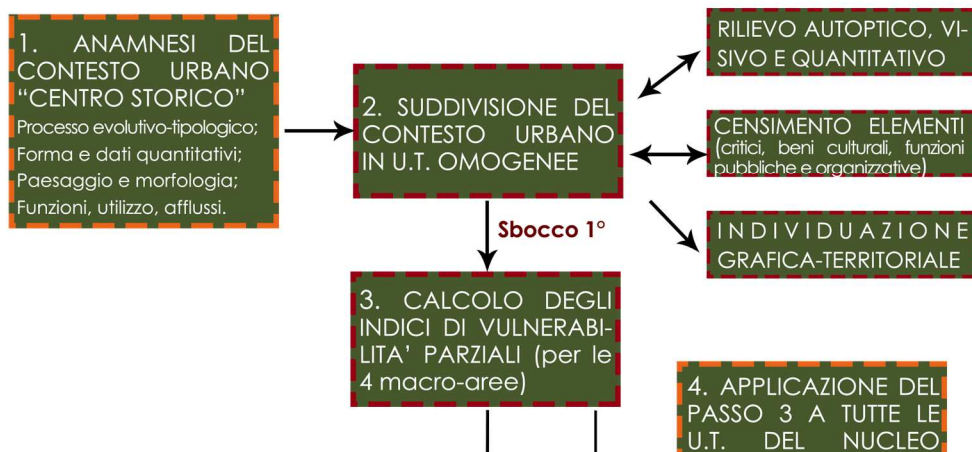
³¹⁷ Le indicazioni sulle tipologie e sulle varianti locali sono tratte, oltre che dalle fonti notarili inedite, dallo studio del Catasto Onciario della città del 1753. Col termine *casa locanda*, probabilmente, si indicano le case locate; mentre il nome *catojo*, di derivazione greca, indica le stamberghes. La *casa palaziata*, invece, rinvia a un edificio di valenza architettonica, abitata dal patrizio di città, identificato, di sovente, in un blocco unitario del tipo a corte, con annesso giardino e muro di cinta, o in una rifusione di più volumi edilizi e spazi privati o pubblici nel tipo in linea.

L'anamnesi del centro storico delineata finora, in maniera sintetica, ha rappresentato la base per l'applicazione della metodologia di valutazione della vulnerabilità sismica proposta.

Come già evidenziato, infatti, la procedura messa a punto si basa su una conoscenza del nucleo consolidato riferita, non solo, ai dati metrico-quantitativi ma, anche, a nozioni afferenti a diverse discipline in relazione alle vicende storico-evolutive.

Relativamente al diagramma di flusso proposto al §1 parte III della presente tesi, si sono applicate, all'intero centro storico, le fasi procedurali della metodologia relative la conoscenza dell'ambito analizzato (step 1) e la suddivisione del contesto urbano in U.T. omogenee (step 2).

FASE 1: VALUTAZIONE DELL'INDICE DI VULNERABILITA' COMPLESSIVA



Stralcio del diagramma di flusso delle fasi della metodologia proposta: indicazione degli step di analisi applicati nella sperimentazione.

L'applicazione del metodo proposto, in prima istanza, ha comportato la redazione di una serie di elaborati grafici, comparabili a delle mappe tematiche, a supporto della metodologia stessa.

Una tale procedura consente, infatti, di esplicitare in maniera visiva tutte le informazioni, di varia natura, desunte dallo studio del centro

storico analizzato. Inoltre, le stesse mappe fungono da base per la compilazione dei fogli di calcolo elettronici, in quanto consentono di estrapolare i dati metrico-quantitativi riferiti al singolo quartiere e, in generale, all'intero nucleo consolidato.

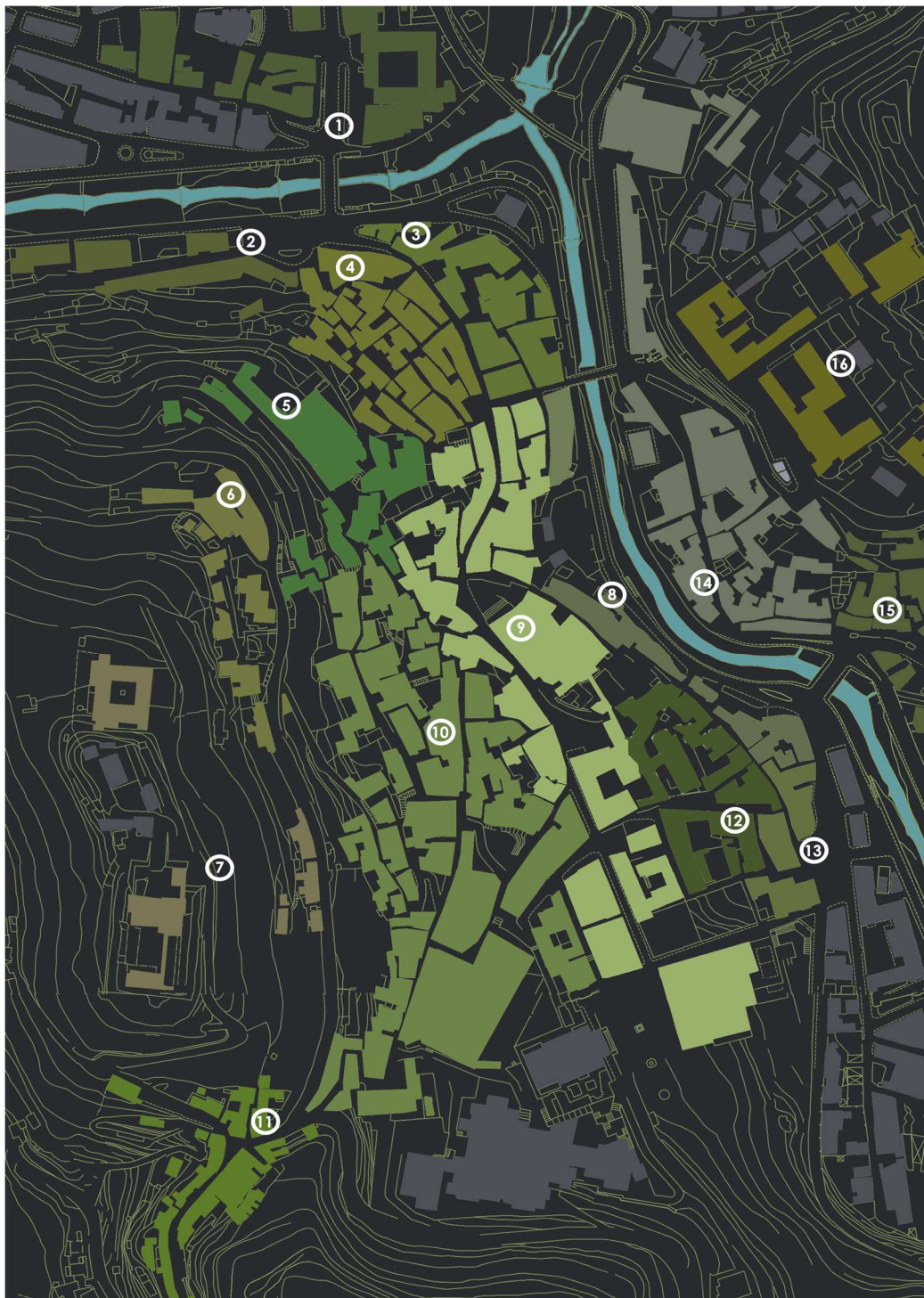
In particolar modo, il centro storico di Cosenza è stato studiato analizzando differenti caratteristiche: storico-evolutive, tipologiche, urbane, morfologiche, territoriali, materiche, di utilizzo e di affollamento. Sono stati indagati, dunque, tutti i parametri indicati quali concorrenti alla vulnerabilità urbana proposta e afferenti alle quattro macro-aree individuate.

Un tale studio, in seconda istanza, ha consentito, per come previsto dal secondo step della metodologia, l'individuazione dei quartieri ai quali applicare, singolarmente, le procedure dei fogli di calcolo elettronici.

Di seguito si riportano grafici e planimetrie di progetto che racchiudono alcuni degli studi condotti sul centro storico campione e, successivamente, sul quartiere di San Giovanni Gerosolimitano. In primo luogo, si restituisce la suddivisione della città in quartieri omogenei, atto essenziale e propedeutico all'applicazione delle schede elettroniche.

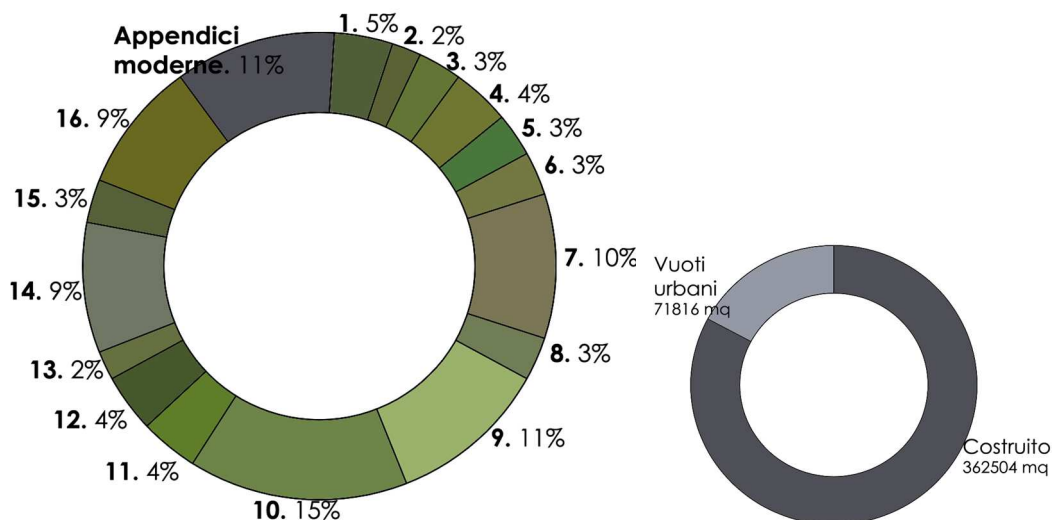
Gli studi di varia natura (tipologica, morfologica, evolutiva, storica, ecc.), infatti, hanno consentito di delineare le unità omogenee per caratteristiche ovvero i quartieri.

Alcuni di essi sono riconosciuti ancora oggi come tali, altri, invece, si sono annullati nel processo di accrescimento del centro storico, inglobati nel tessuto costruito adiacente e, quindi, in nuovi quartieri più ampi. Si sottolinea, perciò, l'importanza e la sovrapposizione dei dati storici e tipologici che consentono di delineare un'evoluzione diacronica del nucleo consolidato e, quindi, di riconoscere le differenti fasi di espansione relative agli impianti antichi.



1. Quartiere Rivocati	7. Quartiere Motta	13. Quartiere Spirito Santo
2. Quartiere Lungobusento	8. Quartiere Lungocrati	14. Quartiere Pignatari
3. Quartiere S. Giovanni	9. Quartiere Giostra Nuova	15. Quartiere Massa
4. Quartiere S. Lucia-S. Tommaso	10. Quartiere Giostra Vecchia	16. Quartiere Triglio
5. Quartiere S. Francesco	11. Quartiere Portapiana	
6. Quartiere Gesù e Maria	12. Quartiere Cafarone	Edifici di epoca Moderna

Cosenza: individuazione dei quartieri che presentano caratteristiche omogenee.



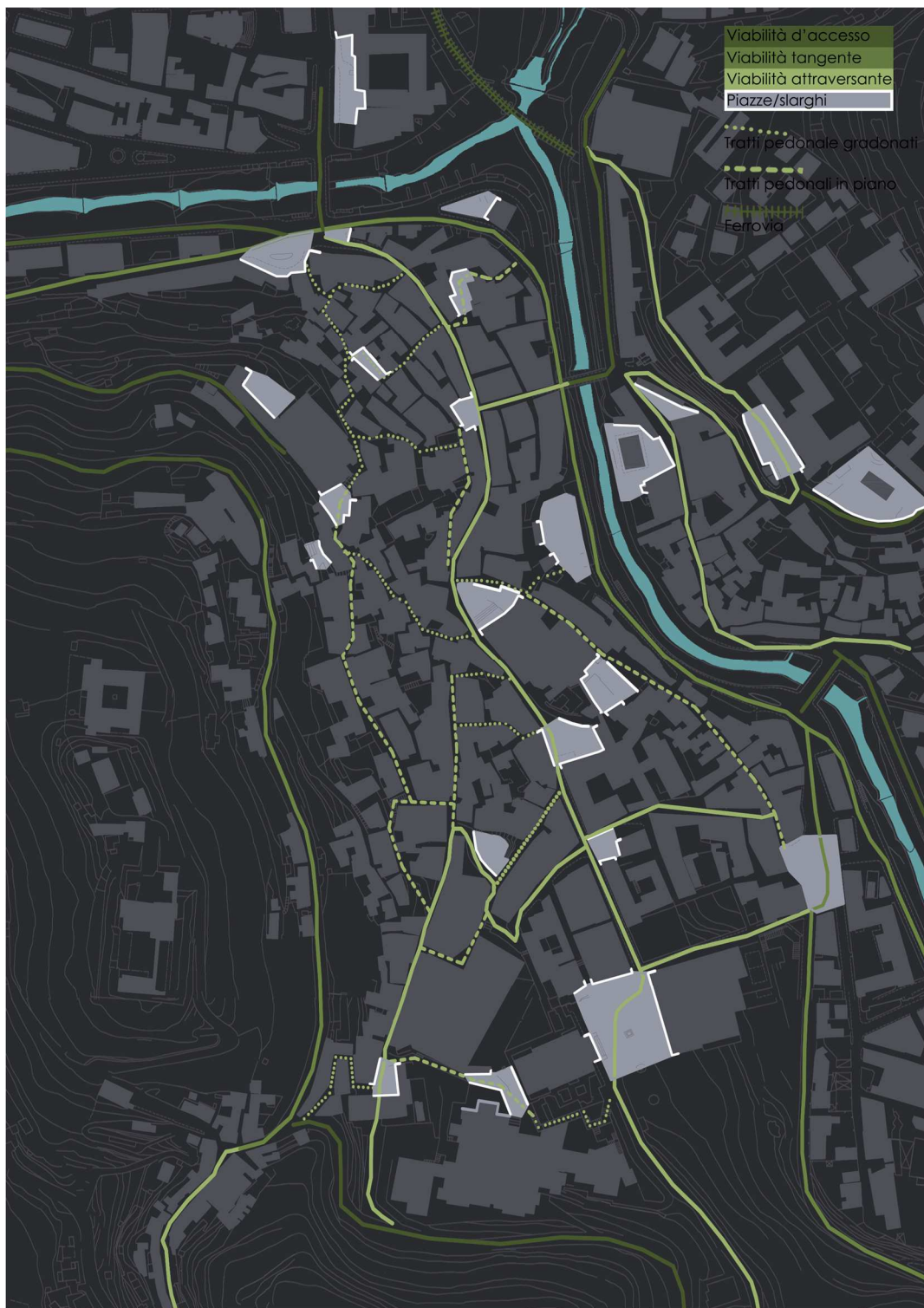
Cosenza: percentuale di estensione dei quartieri rispetto a quella totale del centro storico.

Cosenza: densità del centro storico.

Per i quartieri, poi, si sono calcolate le percentuali di estensione rispetto all'intero centro storico e, dunque, la densità costruita dello stesso.

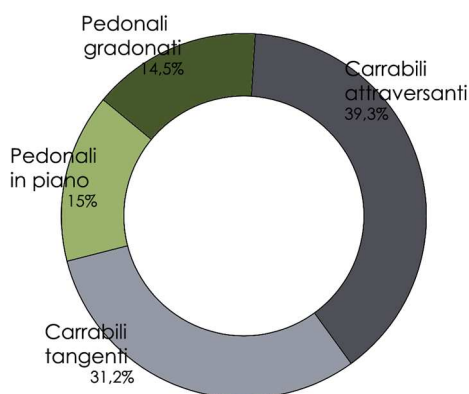
Cosenza, inoltre, è stata analizzata in relazione al sistema dei vuoti urbani, ovvero la viabilità e le piazze presenti, avendo cura di applicare la distinzione seguita nel foglio di calcolo elettronico e di collezionare il maggior numero di informazioni richieste.

Nello specifico, la viabilità è stata esaminata distinguendo quella carrabile (d'accesso al centro storico, tangente e attraversante) e quella pedonale (in piano e gradonata) mentre, per le piazze, sono stati evidenziati i fronti costruiti o, comunque, non permeabili.

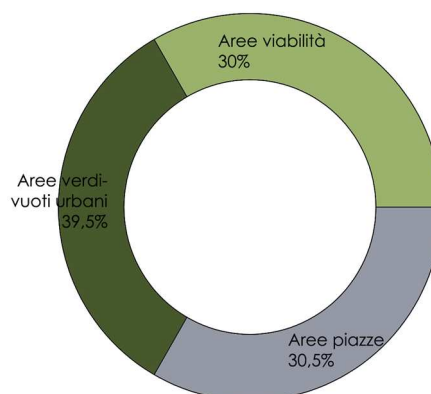


Cosenza: analisi della tipologia di viabilità e individuazione delle piazze con indicazione dei fronti non permeabili.

Lo studio della densità urbana e del sistema dei vuoti è stato, inoltre, condotto attraverso l'individuazione dei dati metrici e superficiali, di seguito riassunti nei diagrammi.



Cosenza: percentuali delle diverse tipologie di viabilità.



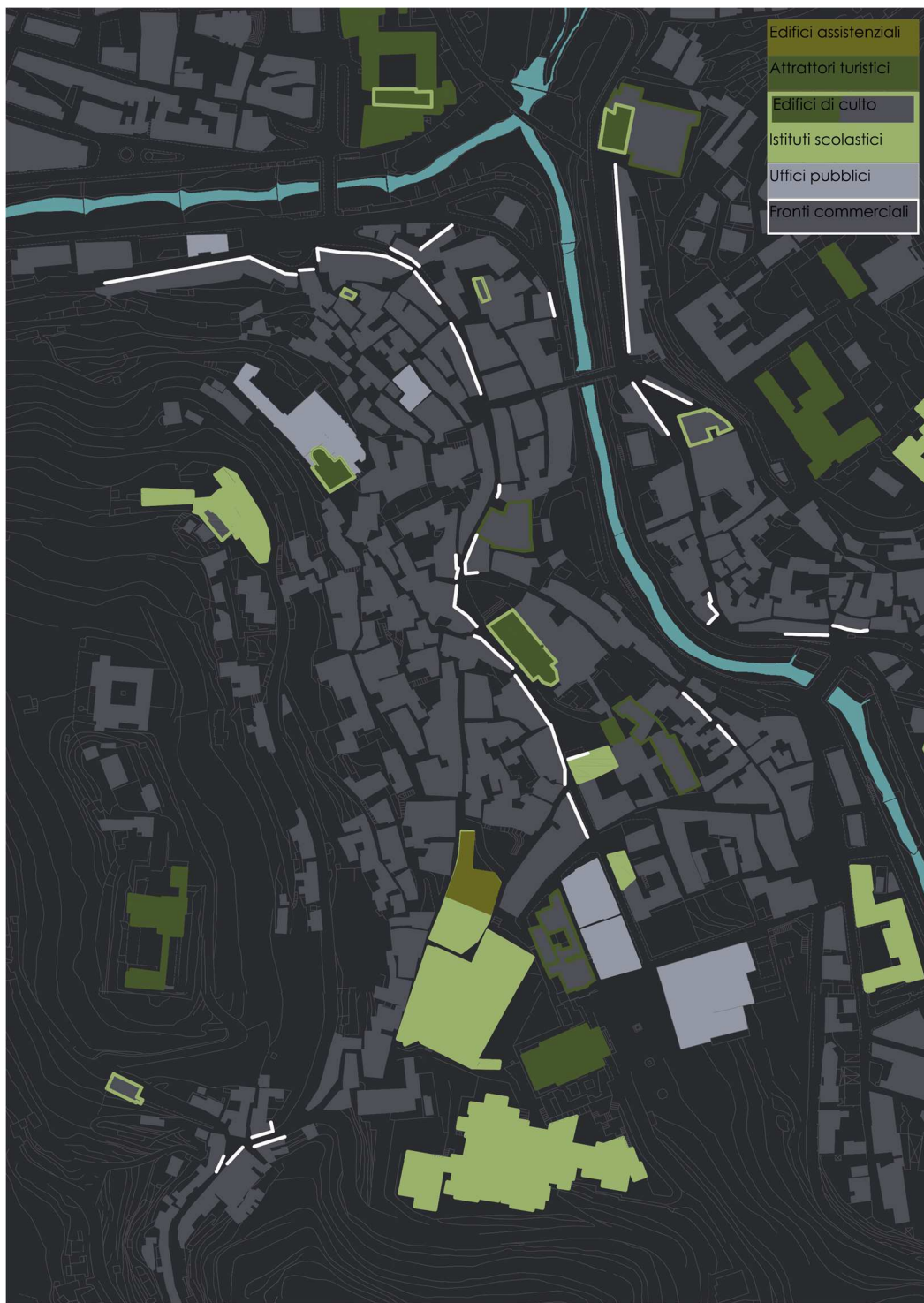
Cosenza: percentuali di estensioni del tessuto non costruito del centro storico.

Sull'intero centro storico, poi, si sono portati avanti studi relativi le destinazioni d'uso degli edifici, la presenza di grandi attrattori turistici e l'individuazione del costruito che presenta, nei piani terra, botteghe e attività commerciali.

Sono, queste, informazioni utili per la compilazione della terza sezione del foglio di calcolo elettronico, ovvero quella che raccoglie i dati relativi all'utilizzo e al grado di affollamento.

Infine si sono individuate, relativamente alla macro-area dei rischi esterni, le aree soggette ad altri rischi di natura idrogeologica³¹⁸, quelle già vulnerate da precedenti terremoti, eventi bellici e crolli nonché gli elementi critici con le rispettive aree di influenza identificati, nel centro storico di Cosenza, con gli unici corpi predominanti in altezza, ovvero due campanili.

³¹⁸ Per il centro storico di Cosenza il Geoportale Nazionale indica le aree a rischio frana e alluvioni. Si veda <http://www.pcn.minambiente.it/viewer/>.



Cosenza: analisi del costruito per funzioni e grado di affollamento.



Cosenza: analisi dei rischi esterni (frana, alluvione, aree già vulnerate, elementi critici).

La seconda fase di sperimentazione della metodologia proposta, invece, ha riguardato l'applicazione, conoscitiva, grafica e dei fogli di calcolo elettronici, a un quartiere campione individuato all'interno del centro storico di Cosenza.

La scelta di suddividere i nuclei consolidati in porzioni urbane ristrette è dettata dalla necessità di analizzare comparti meno estesi che presentino caratteri omogenei, al fine di estrapolare risultati degli indici non falsati e, comunque, non influenzati da dati anomali.

La preferenza sul quartiere è ricaduta, come detto, su San Giovanni Gerosolimitano che presenta una serie di caratteristiche importanti e significative per la sperimentazione attuata.

Posto nella parte bassa della città, è situato in prossimità dei fiumi Crati e Busento e si presenta come un comparto denso sviluppato intorno alla chiesa intitolata al Santo e all'omonima piazza; è, dunque, fortemente introverso.

Il tessuto costruito, composto da un'edilizia di base prevalente a schiera (oggi in parte rifusa in tipologie *palaziate*) interrotta da sporadici esempi di casa a corte, si dispone quasi a raggera rispetto alla piazza, cosicché i fronti degli edifici prospettano, da un lato, su di essa e, dall'altro, o sul fiume o sul corso Telesio, arteria principale del centro storico della città di Cosenza.

Il quartiere, di fondazione antica, probabilmente risalente all'impianto romano³¹⁹, sede dell'ordine dei Cavalieri di Malta (officianti nella chiesetta ancora esistente), presenta, oggi, una forte stratificazione, materica, tipologica, architettonica e urbana, che è caratterizzata, anche, dalla saturazione di antichi vicoli e dei lotti di impianto.

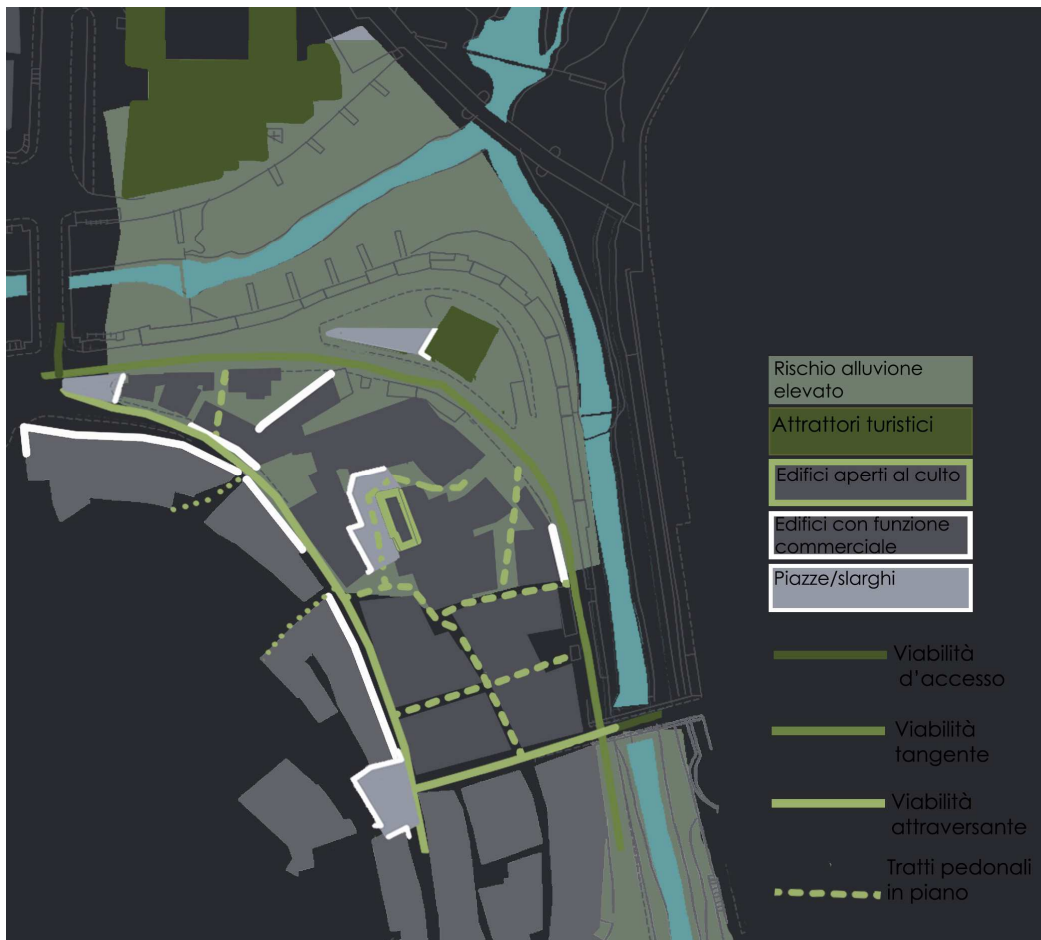
³¹⁹ Alcuni studiosi attribuiscono la forma quasi circolare del quartiere alla sovrapposizione con un antico anfiteatro romano. Cfr. TERZI F., *Cosenza medioevo e rinascimento*. Pellegrini editori, Cosenza, 2014.



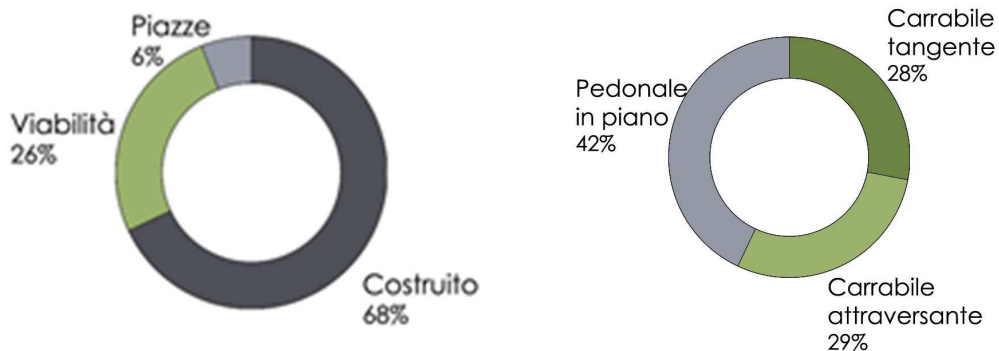
San Giovanni Gerosolimitano: viste dei fronti costruiti del quartiere che affacciano sulla piazza e sul fiume o sul corso Telesio.

Per il quartiere, oltre alle analisi generali, precedentemente esaminate in relazione all'intero centro storico (di cui si riporta di

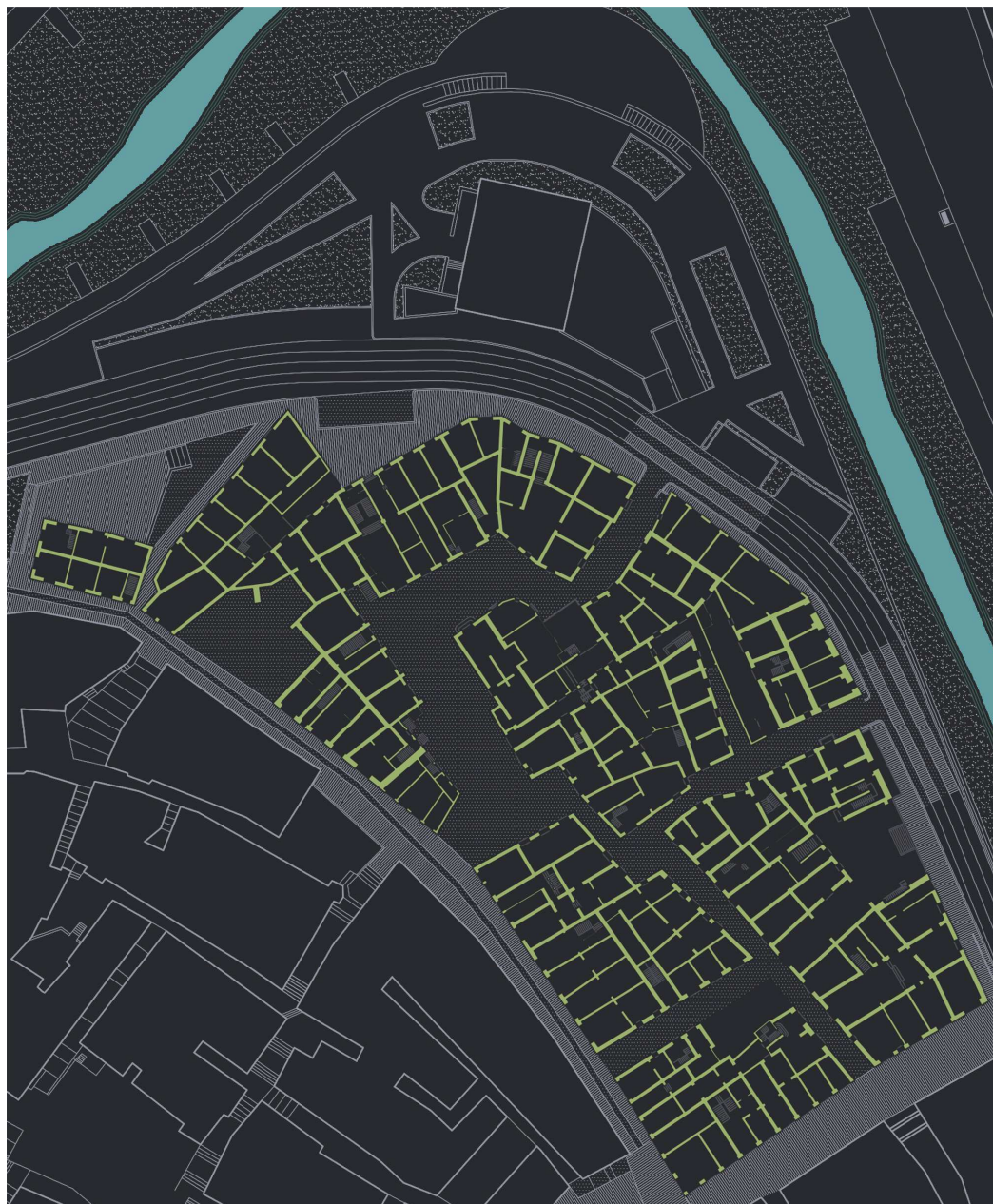
seguito una sovrapposizione) sono state effettuate fasi di rilievo e comparazione tra i catastali, volte, fra l'altro, all'estrapolazione della configurazione dei piani terra.



San Giovanni Gerosolimitano: analisi complesse delle caratteristiche del quartiere (vuoti urbani, funzioni del tessuto costruito e rischi esterni).



Diagrammi sulla densità e le tipologie di viabilità del quartiere.



San Giovanni Gerosolimitano: rilievo dei piani terra dell'edificato e dello sviluppo planimetrico del quartiere.

Dall'analisi dei piani terra sono state tratte importanti considerazioni in relazione alle fasi di accrescimento del costruito e del quartiere in generale, alle cellule d'intasamento, alle saturazioni e, dunque, alle modalità aggregative delle tipologie di base.

Tale lettura, riferita alla conformazione di primo impianto del quartiere e non a quella odierna frutto di stratificazioni e rifusioni, è stata svolta, non solo, attraverso l'anamnesi del rilievo in relazione alle tipologie di base e l'incrocio con le informazioni bibliografiche e archivistiche ma, anche, attraverso la ricerca dei moduli di lottizzazione.

A partire, infatti, dal lotto della chiesa (l'elemento più antico del quartiere), si sono potuti evidenziare gli allineamenti e l'adattamento del costruito ai lotti, con varianti dovute all'influenza dell'andamento del fiume.

Riconoscendo un impianto di tipo organico, adattato al corso del fiume, nell'inclinazione del Palazzo Tarsia-Gaeta (la seconda emergenza più antica del quartiere), si è effettuata la rotazione della lottizzazione, seguita pedissequamente in più punti sia del costruito che della viabilità.

Ulteriori studi, poi, sono stati condotti sul modulo della tipologia di base, ovvero della casa a schiera che, nel centro storico analizzato, presenta una cellula quasi immutata pari a 13 m sul lato lungo e 5 m su quello corto.

Le analisi tipologiche appena descritte, inoltre, sono condotte, da più tempo, diffusamente sul centro storico di Cosenza e validate attraverso lo studio delle fonti archivistiche e la sovrapposizione delle notizie in esse contenute con quanto visibile nei documenti grafici disponibili per la città (con particolare riferimento alla veduta dell'Angelica del 1584 e al catastale antico del 1873).

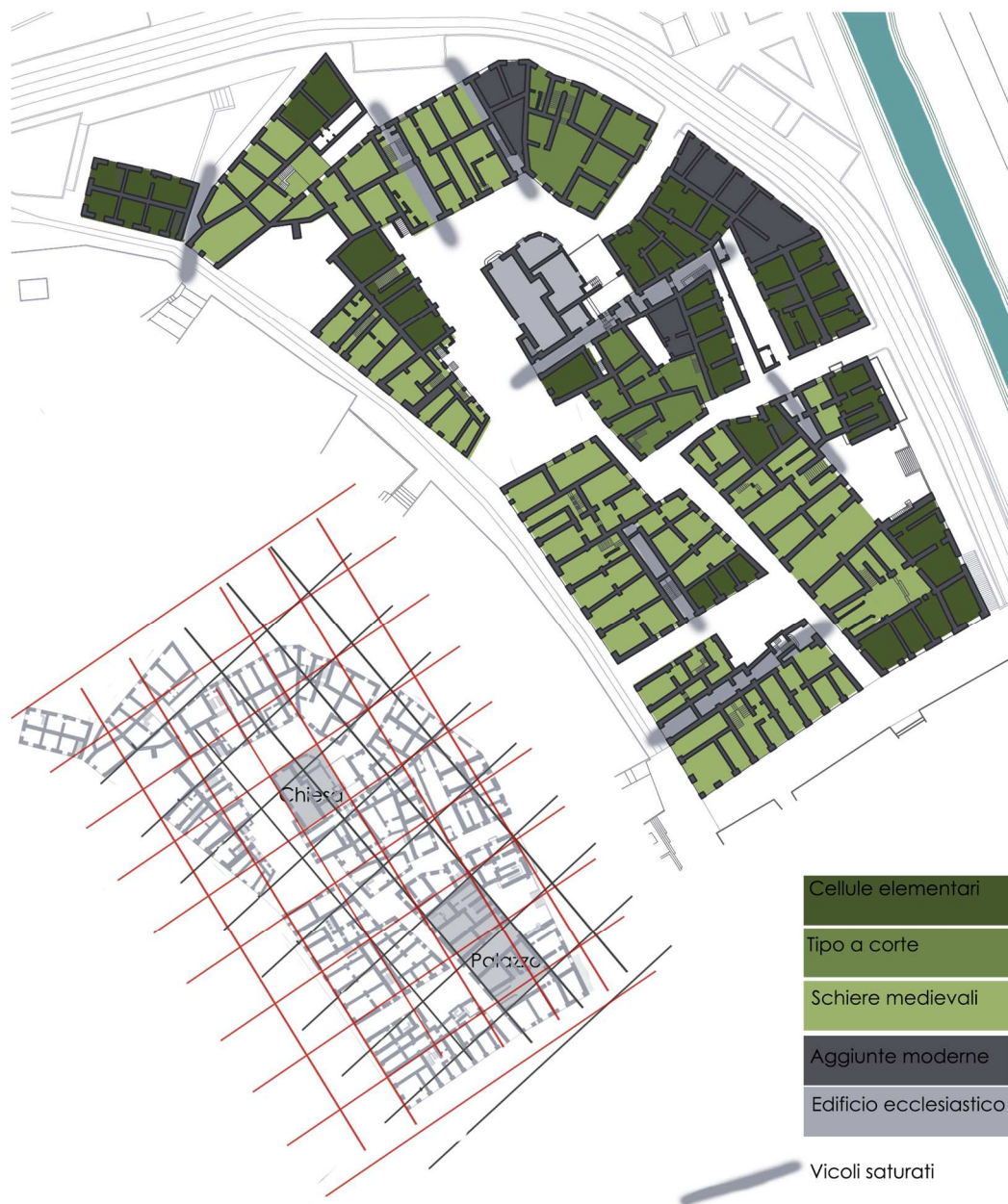
L'approccio ha condotto all'analisi dell'evoluzione dell'intero nucleo consolidato attraverso il riconoscimento delle tipologie di

primo impianto e quelle di rifusione, sia nella parte alta della città che nella parte lungo i fiumi, ovvero l'area in cui ricade il quartiere oggetto di studio.

Tali analisi, inoltre, hanno evidenziato la divisione "sociale" del tessuto costruito cosentino, analisi condotta anche attraverso la lettura del Catasto Onciario della città del 1756. E, perciò, alle tipologie *palaziate* colte, presenti nei quartieri più alti, si aggiungono, fino quasi a sostituirle totalmente, quelle di base (case a schiera, a profferlo, cellule elementari) nella parte bassa, meno abbiente e caratterizzata da un sostrato sociale legato all'agricoltura e all'artigianato.

Una tale operazione, come già detto (si veda il §3 della II parte della presente tesi), non è avulsa dalle tematiche di vulnerabilità sismica ma ne è strettamente relazionata, sia in fase di analisi, permettendo di evidenziare i punti di discontinuità del costruito, sia in fase di progettazione, consentendo di trarre scelte ragionate e consapevoli riferite a interventi di liberazione delle cellule di intasamento e diradamento.

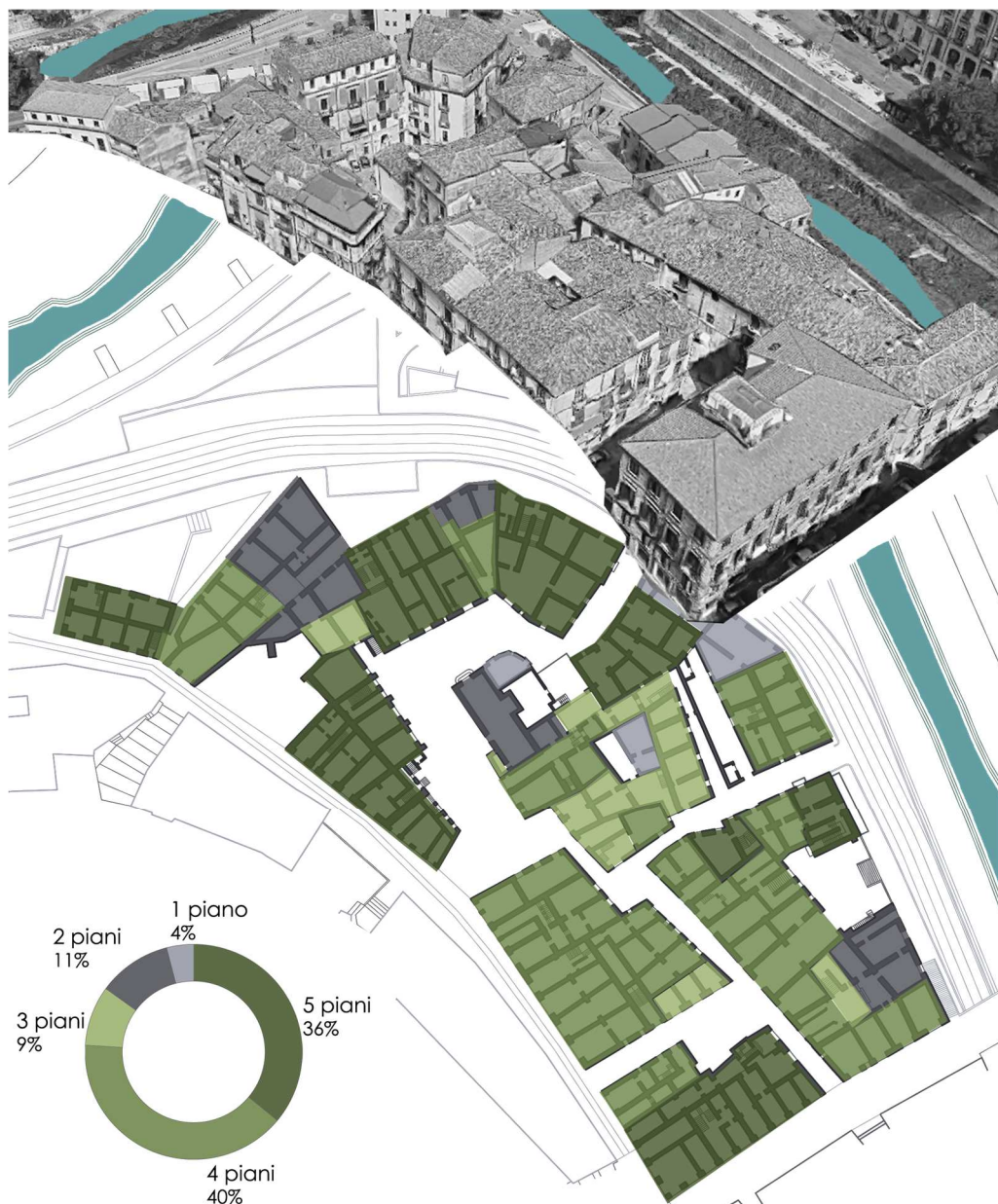
Conoscenze e analisi del costruito in relazione alle tipologie edilizie e all'individuazione delle cellule abitative elementari, poi, sono essenziali, anche, nella prima fase della metodologia proposta dalla tesi, ovvero nell'atto dell'individuazione grafica delle U.T. omogenee. Le indagini evolutive, in tal senso, consentono di evidenziare le fasi aggregative successive all'interno del costruito denso e, dunque, di condurre ad una decifrazione più o meno realistica dei quartieri omogenei in relazione all'età di impianto.



San Giovanni Gerosolimitano: analisi delle tipologie edilizie di primo impianto e delle saturazioni degli antichi percorsi.

In basso, analisi dei lotti di impianto a partire dal modulo elementare dato dal lotto dell'edificio ecclesiastico: allineamenti con l'emergenza architettonica (in rosso) e con l'antico fronte sul fiume (in grigio).

Infine, per in quartiere, sono state analizzate le volumetrie, studiate attraverso l'analisi del numero di piani degli edifici. Tale analisi, proprio per la forte stratificazione che caratterizza il quartiere, è stata relazionata ai piani terra degli edifici, a sottolineare un'elevata discontinuità degli aggregati edilizi anche in elevato.



San Giovanni Gerosolimitano: analisi delle volumetrie del quartiere. In planimetria sono riportati i numeri di piano del costruito in relazione alle cellule abitative

Al fine dell'applicazione sperimentale della metodologia di valutazione della vulnerabilità urbana, proposta all'interno di tale capitolo, tutte le analisi riportate finora, nonché le altre informazioni collezionate, sono confluite nella compilazione delle sezioni della scheda elettronica per estrapolare gli indici parziali di vulnerabilità del quartiere.

Di seguito, si riportano alcuni stralci più rappresentativi delle schede compilate e i risultati degli indici ottenuti.

SEZION E 1		ANALISI PRELIMINARE DI ESPOSIZIONE	
1.a		IDENTIFICAZIONE	
DENOMINAZIONE DELL'UNITA' ANALIZZATA (nome del quartiere oppure numero identificativo dell'unità territoriale)		San Giovanni Gerosolimitano	
LOCALIZZAZIONE AMMINISTRATIVA	Provincia	Cosenza	
	Comune	Cosenza	
	Località		
	Frazione		
LOCALIZZAZIONE DELLA ZONA URBANA	Centro antico		
	Centro storico	X	
	Appendici moderne		
DELIMITAZIONI GEOGRAFICHE DEL QUARTIERE	Nord	Fiume Busento	
	Sud	Ponte dei Pignatari	
	Est	Fiume Crati	
	Ovest	Corso Telesio	

1.c INDICAZIONI METRICHE DI AREE VULNERABILI				
SUPERFICIE TOT. DELL'INTERO CENTRO STORICO (mq)		362504		
SUPERFICIE TOT. DELL'UNITA' ANALIZZATA (mq)	9405	PERCENTUALE RISPETTO ALL'INTERO CENTRO STORICO	3%	
SUPERFICIE PARZIALI DELL'UNITA' ANALIZZATA (mq)	Edificato	6387	PERCENTUALE RISPETTO ALLA SUP. TOT. DELL'UNITA' ANALIZZATA	68%
	Viabilità attraversante	2400		26%
	Vuoti urbani	609		6%
	Aree vulnerate			0%
SUPERFICIE PARZIALI SUDDIVISE NEI SISTEMI DELL'UNITA' ANALIZZATA (mq)	Abitativo	5980	PERCENTUALE RISPETTO ALLA SUP. TOT. DELL'UNITA' ANALIZZATA	94%
	Turistico-ricettivo			0%
	Commerciale			0%
	Produttivo			0%
	Scolastico			0%
	Direzionale			0%
	Amministrativo			0%
	Assistenziale			0%
	Religioso	114		2%
	Spettacolo			0%
Funzione mista	293		5%	
SVILUPPO LINEARE DELLA VIABILITA' ATTRAVERSANTE L'UNITA' ANALIZZATA (m)		640		

SEZIONE		MACRO-AREA DATI STRUTTURALI									
2		RELAZIONI SPAZIALI E INTERAZIONI STRUTTURALI									
2.a											
NUMERO DI EDIFICI	IN AGGREGATO	18		PERCENTUALE RISPETTO AL N° TOT. DI EDIFICI DELL'UNITA' ANALIZZATA		100%					
	ISOLATI			0%							
		TOTALE		100%							
NUMERO DI AGGREGATI*		100%									
						81-100%		5		5	
						51-80%		4		0	
						21-50%		3		0	
						<20%		2		0	
						0		1		0	
ATTRIBUZIONE PUNTEGGIO FINALE		5									
TIPOLOGIA DI AGGREGATI* (compiare solo nel caso di n° aggregati>30%)		MOLTO IRREGOLARI		3		PERCENTUALE RISPETTO AL NUMERO TOT. DI AGGREGATI DELL'UNITA' ANALIZZATA		38%		5	
		IRREGOLARI		4		50%		4		16	
		QUASI REGOLARI		1		13%		2		2	
		REGOLARI				0%		1		0	
		TOTALE				100%				33	
ATTRIBUZIONE PUNTEGGIO FINALE		4,125									

2.c

FATTORI DI DEFICIT E DEPAUPERAMENTO STRUTTURALE

NUMERO DI EDIFICI CON SUPERFETTAZIONI/AGGIUNTE	IN AGGREGATO	6	PERCENTUALE RISPETTO AL N° TOT. DI EDIFICI DELL'UNITA' ANNAZZATA	33%		5
	ISOLATI			0%		0
	TOTALE			33%		5

RELAZIONE DI PERCENTUALE	33%
ATTRIBUZIONE PUNTEGGIO FINALE	5

NUMERO DI EDIFICI ABUSIVI	IN AGGREGATO	1	PERCENTUALE RISPETTO AL N° TOT. DI EDIFICI DELL'UNITA' ANNAZZATA	6%		0
	ISOLATI			0%		4
	TOTALE			6%		4

RELAZIONE DI PERCENTUALE	0%
ATTRIBUZIONE PUNTEGGIO FINALE	0

NUMERO DI EDIFICI CON DEGRADO DEI MATERIALI	ELEVATO	3	PERCENTUALE RISPETTO AL N° TOT. DI EDIFICI DELL'UNITA' ANNAZZATA	17%		0
	MEDIO	12		67%		3
	BASSO	3		17%		0
	TOTALE			100%		3

RELAZIONE DI PERCENTUALE	67%
ATTRIBUZIONE PUNTEGGIO FINALE	3

NUMERO DI EDIFICI CON QUADRI FESSURATIVI	MOLTO DIFFUSI	5	PERCENTUALE RISPETTO AL N° TOT. DI EDIFICI DELL'UNITA' ANNAZZATA	28%		0
	MEDIAMENTE DIFFUSI	9		50%		3
	POCO DIFFUSI	4		22%		0
	TOTALE			100%		3

RELAZIONE DI PERCENTUALE	50%
ATTRIBUZIONE PUNTEGGIO FINALE	3

314 Verso la definizione della vulnerabilità urbana dei nuclei consolidati: un approccio metodologico per la sua indicizzazione

FATTORI DI MIGLIORAMENTO STRUTTURALE									
2.d									
PRESIDI ANTISISMICI URBANI (archi soprastrada, giunti urbani)	PRESENTI		PERCENTUALE RISPETTO AL N° TOT. DI EDIFICI DELL'UNITÀ ANNAZZATA	0%					-0,5
	NON PRESENTI	X		0%					0
	TOTALE			0%					0
RELAZIONE DI PERCENTUALE		0%							
ATTRIBUZIONE PUNTEGGIO FINALE		0							
PRESIDI ANTISISMICI COSTRUTTIVI (catene, radiciamenti, cerchiature, muri a scarpa, contrafforti...)	MOLTO DIFFUSI		PERCENTUALE RISPETTO AL N° TOT. DI EDIFICI DELL'UNITÀ ANNAZZATA	0%					-1
	MEDIAMENTE DIFFUSI	2		11%					-0,5
	POCO DIFFUSI	16		89%					-0,25
TOTALE				100%					
RELAZIONE DI PERCENTUALE		89%							
ATTRIBUZIONE PUNTEGGIO FINALE		-0,25							
INTERVENTI DI RINFORZO RECENTI (compilare solo nel caso di interventi globali)	PRESENTI		PERCENTUALE RISPETTO AL N° TOT. DI EDIFICI DELL'UNITÀ ANNAZZATA	0%					-1
	NON PRESENTI			0%					0
	TOTALE			0%					-1
RELAZIONE DI PERCENTUALE		0%							
ATTRIBUZIONE PUNTEGGIO FINALE		0							

Stralci del foglio di calcolo elettronico: sezione dati strutturali.

SEZIONE 3

MACRO-AREA DATI URBANI

3.a **TESSUTI, TIPOLOGIE E MORFOLOGIE URBANE**

MORFOLOGIA DEL SITO DELL'UNITA' ANALIZZATA (mq)	PERCENTUALE RISPETTO ALL'AREA TOT. DELL'UNITA' ANALIZZATA		PUNTEGGIO	PUNTEGGIO PUNTEGGIO FINALE
	TIPOLOGIA	PERCENTUALE		
CRINALE		0%	5	0
COLLINA		0%	4	0
PIANURA FLUVIALE	9405	100%	4	37620
FONDOVALE		0%	3	0
PIANURA		0%	2	0
TOTALE		100%		37620

ATTRIBUZIONE PUNTEGGIO FINALE 4

IMPIANTO URBANO DELL'UNITA' ANALIZZATA (mq)	PERCENTUALE RISPETTO ALL'AREA TOT. DELL'UNITA' ANALIZZATA		PUNTEGGIO	PUNTEGGIO PUNTEGGIO FINALE
	TIPOLOGIA	PERCENTUALE		
IMPIANTO CONCENTRICO		0%	5	0
IMPIANTO RADIALE	3555	38%	4	14220
IMPIANTO A SCACCHIERA	5850	62%	2	11700
IMPIANTO A FUSO-LINEARE		0%	1	0
TOTALE		100%		25920

ATTRIBUZIONE PUNTEGGIO FINALE 2,7559809

RAPPORTO VUOTI URBANI/COSTRUITO*	PERCENTUALE	PUNTEGGIO	PUNTEGGIO PUNTEGGIO FINALE
<30%		5	0
60-30%		4	4
61-80%		3	0
>81%		2	0

ATTRIBUZIONE PUNTEGGIO FINALE 4

DIMENSIONE DEGLI AGGREGATI *	>1000 mq	2	PERCENTUALE RISPETTO AL NUMERO TOT. DI AGGREGATI DELL'UNITA' ANALIZZATA	25%	5	10
	500-999 mq	5		63%	4	20
	250-499 mq	1		13%	3	3
	<250 mq			0%	2	0
TOTALE			100%		33	

ATTRIBUZIONE PUNTEGGIO FINALE **4,125**

RAPPORTO DI COPERTURA DEGLI AGGREGATI *	>81%	8	PERCENTUALE RISPETTO AL NUMERO TOT. DI AGGREGATI DELL'UNITA' ANALIZZATA	100%	5	40
	61-80%			0%	4	0
	60-30%			0%	3	0
	<30%			0%	2	0
TOTALE			100%		40	

ATTRIBUZIONE PUNTEGGIO FINALE **5**

3.b							ACCESSI, VIABILITA' TANGENTE E STANDARD FUNZIONALI						
TIPOLOGIA DI ACCESSI PEDONALI ALL'UNITA' ANALIZZATA (da valutare complessivamente in base alla collocazione rispetto all'edificato ed all'accessibilità)	PIU' CHE SUFFICIENTI		6	PERCENTUALE RISPETTO AL NUMERO TOT. DI ACCESSI PEDONALI ALL'UNITA' ANALIZZATA	100%	1	6						
	SUFFICIENTI				0%	3	0						
	INSUFFICIENTI				0%	5	0						
	TOTALE				100%		6						

ATTRIBUZIONE PUNTEGGIO FINALE **1**

3.C VIABILITA' ATTRAVERSANTE, VIE DI FUGA E STANDARD FUNZIONALI									
LUNGHEZZA TRATTI DELLA VIABILITA' ATTRAVERSANTE*	>1.000 m		PERCENTUALE RISPETTO AL NUMERO TOT. DI VIE ATTRAVERSANTI DELL'UNITA' ANALIZZATA	0%					0
	<800 m			0%					0
	<600 m			0%					0
	400 m	2		29%					4
	<200m	5		71%					5
TOTALE				100%					9
ATTRIBUZIONE PUNTEGGIO FINALE 1.2857143									
TIPOLOGIA DELLA VIABILITA' ATTRAVERSANTE (m)*	RETTILINEA	256	PERCENTUALE RISPETTO ALLO SVILUPPO LINEARE DI VIABILITA' DELL'UNITA' ANALIZZATA	40%					256
	QUASI RETTILINEA	311		49%					622
	CURVILINEA	73		11%					292
	A TORNANTI			0%					0
	TOTALE			100%					1170
ATTRIBUZIONE PUNTEGGIO FINALE 1.828125									
LARGHEZZA DELLA VIABILITA' ATTRAVERSANTE (m)*	<2 m	73	PERCENTUALE RISPETTO ALLO SVILUPPO LINEARE DI VIABILITA' DELL'UNITA' ANALIZZATA	11%					365
	2-5 m	507		79%					2028
	5.1-7 m	60		9%					180
	7.1-10 m			0%					0
	>10 m			0%					0
TOTALE				100%					2573
ATTRIBUZIONE PUNTEGGIO FINALE 4.0203125									

Stralci del foglio di calcolo elettronico: sezione dati urbani.

SEZIONE

4

MACRO-AREA DATI DI UTILIZZO-AFFOLLAMENTO

GRADO DI AFFOLLAMENTO

4.3

INDICE DIVISO IMMOBILI			
Residenziale	1	258	
Abitato stagionale (permanenza > 15 gg)	0,32	0	
Turistico	0,32	0	
Alberghiero	0,16	0	
Commerciale	0,22	2,2	
Produttivo		0	
Scolastico	0,15	0	
Direzionale		0	
Amministrativo		0	
Assistenziale	1	0	
Spettacolo		0	
Religioso		0	
ESPOSIZIONE DELLE PRESENZE EQUIVALENTI* (si considerano le utenze fisse)		TOTALE DI PRESENZE EQUIVALENTE	260,2

>300	5
101-300	4
51-100	3
11-50	2
<10	1

0	5
0	4
0	3
0	2
0	1
4	0

ATTRIBUZIONE PUNTEGGIO FINALE

4

ESPOSIZIONE DEL SISTEMA RESIDENZIALE*	N° EDIFICI ABITATI	PERCENTUALE RISPETTO AL N° TOT. DI EDIFICI DELL'UNITÀ AMALIZZATA	
	15	83%	

>30%	5
20,1-30%	4
10,1-20%	3
5,1-10%	2
<5%	1

5	5
0	4
0	3
0	2
0	1
0	0
5	0

ATTRIBUZIONE PUNTEGGIO FINALE

5

4.b				RUOLO FUNZIONALE E VALENZA CULTURALE			
NUMERO EDIFICI STRATEGICI (caserme, ospedali, prefetture, comuni, centri di primo soccorso...)	0	PERCENTUALE RISPETTO AL N° TOT. DI EDIFICI DELL'UNITA' ANALIZZATA	0%	>10	5	0	
			<3 diverso da 0	2	4	0	
ATTRIBUZIONE E PUNTEGGIO FINALE				0			
NUMERO EDIFICI DI VALENZA CULTURALE*	2	PERCENTUALE RISPETTO AL N° TOT. DI EDIFICI DELL'UNITA' ANALIZZATA	11%	>10	5	0	
			<3 diverso da 0	2	4	0	
ATTRIBUZIONE E PUNTEGGIO FINALE				0			
NUMERO EDIFICI APERTI AL PUBBLICO (in orario da uffici)	0	PERCENTUALE RISPETTO AL N° TOT. DI EDIFICI DELL'UNITA' ANALIZZATA	0%	>10	5	0	
			<3 diverso da 0	2	4	0	
ATTRIBUZIONE E PUNTEGGIO FINALE				0			

Stralci del foglio di calcolo elettronico: sezione dati di affollamento.

SEZIONE									
5									
MACRO-AREA DATI RISCHI DALL'ESTERNO									
RISCHI LEGATI ALLA GEOMORFOLOGIA DEL SITO									
5.a									
PRESENZA EFFETTI DI SITO (si/no)	Stratigrafici (risonanza)	AREA INTERESSATA (kmq)		PERCENTUALE DELL'AREA INTERESSATA RISPETTO ALL'INTERA UNITA' ANALIZZATA	0%	5		0	
	Effetti di valle				0%	4		0	
	Effetti di cresta				0%	4		0	
	Liquefazione				0%	5		0	
PRESENZA DI ALTRI RISCHI GEOLOGICI (si/no)	Frana				0%	5		0	
	Inondazione		6786	PERCENTUALE DELL'AREA INTERESSATA RISPETTO ALL'INTERA UNITA' ANALIZZATA	72%	5		5	
	Valanga				0%	5		0	
	Eruzione				0%	5		0	
PRESENZA DI ALTRI RISCHI ESTERNI (si/no)	Tsunami				0%	5		0	
	Incendio	AREA INTERESSATA (kmq)		PERCENTUALE DELL'AREA INTERESSATA RISPETTO ALL'INTERA UNITA' ANALIZZATA	0%	1		0	
	Esplosione				0%	1		0	
5.b									
RISCHI LEGATI ALLA PRESENZA DI ELEMENTI CRITICI									
RELAZIONE DI PERCENTUALE									
ATTRIBUZIONE PUNTEGGIO FINALE									
72%									
5									
PRESENZA DI ELEMENTI A RISCHIO (si/no)	Dighe	AREA INTERESSATA (kmq)		PERCENTUALE DELL'AREA INTERESSATA RISPETTO ALL'INTERA UNITA' ANALIZZATA	0%	5		5	
	Centrali elettriche				0%	5		5	
RELAZIONE DI PERCENTUALE									
ATTRIBUZIONE PUNTEGGIO FINALE									
0%									
0									

Stralci del foglio di calcolo elettronico: sezione dati rischi esterni.

L'applicazione sperimentale svolta sul quartiere di San Giovanni Gerosolimitano nel centro storico di Cosenza, attraverso l'utilizzo dei fogli di calcolo elettronico, infine, ha condotto all'estrapolazione degli indici di vulnerabilità parziali (per le quattro macro aree) e totale per il comparto urbano.

INDICI PARZIALI	PUNTEGGI OTTENUTI	PESI ATTRIBUITI	V_{ut}
INDICE DI VULNERABILITA' PARZIALE DELLA SCHEDA (V _{ds})	2,55	30	2,5
INDICE DI VULNERABILITA' PARZIALE DELLA SCHEDA (V _{du})	2,68	50	
INDICE DI VULNERABILITA' PARZIALE DELLA SCHEDA (V _{de})	1,83	10	
INDICE DI VULNERABILITA' PARZIALE DELLA SCHEDA (V _{re})	1,80	10	

Tabella riassuntiva degli indici di vulnerabilità ottenuti per il quartiere campione.

Come visibile nella tabella riassuntiva, gli indici parziali ricavati mostrano una preponderanza della vulnerabilità relativa l'aspetto urbano, sicuramente dovuta alla compattezza del comparto analizzato, ma, anche, un'elevata vulnerabilità strutturale dell'edificato, che oggi versa in condizioni altamente degradate e deteriorate.

Minori, invece, sono gli indici ottenuti per le altre due macro-aree di cui, quello relativo ai rischi esterni è influenzato dall'elevato pericolo inondazione diffuso sull'area.

La comparazione degli indici, quindi, indica al progettista la necessità di procedere con interventi sia sugli edifici, con elementi di rinforzo, sia sul tessuto viario valutando, lì dove possibile, interventi

di diradamento o, comunque, di liberazione delle cellule di intasamento ovvero, in generale, di rigenerazione urbana.

Nel caso del quartiere campione, invece, risulterebbero sconsigliabili interventi relativi la dislocazione delle attività presenti in quanto l'indice di affollamento non presenta criticità elevate.

In generale, il quartiere di San Giovanni Gerosolimitano mostra un indice di vulnerabilità complessiva, per come definita dalla presente tesi di dottorato, medio.

In conclusione, la sperimentazione attuata al termine del percorso di dottorato su un caso studio, ha consentito di validare le procedure proposte dalla tesi e di dimostrare la reale applicabilità delle schede progettate ai comparti urbani.

Le varietà di elementi tipologici, morfologici, materici, strutturali, architettonici e di destinazioni d'uso caratterizzanti il quartiere campione scelto, inoltre, hanno consentito di sottolineare l'estendibilità della metodologia proposta ai più ampi scenari territoriali e alle differenti realtà storico-culturali che contraddistinguono il territorio nazionale.

Infine, l'applicazione sperimentale condotta sottolinea e manifesta le finalità della metodologia progettata nel percorso di dottorato e la rilevanza che tali procedure conoscitive devono aver nel guidare scelte consapevoli nel rispetto della materia storica e dei valori identitari di cui i centri storici sono portatori.

Come più volte sottolineato all'interno dello studio presentato, infatti, la metodologia è pensata per poter essere da supporto, soprattutto in fase preliminare, alla progettazione e riqualificazione architettonica e urbana dei nuclei consolidati, consentendo di veicolare indagini approfondite e di indirizzare i progettisti nella scelta di interventi che siano davvero indicativi e rilevanti per il comparto urbano.

La complessità del momento progettuale, soprattutto di quello a scala territoriale e urbana, è dunque supportata dagli strumenti schedografici proposti che, nella logica pura della progettazione parametrica, inoltre, consentono di valutare in estemporanea le ricadute delle infinite possibili scelte.

In tal modo, con semplici variazioni dei dati metrici e quantitativi attribuiti ai differenti parametri analizzati nelle schede, si possono stimare, in tempo reale, i vantaggi e l'applicabilità di particolari interventi di rigenerazione urbana.

Gli scenari progettuali pensabili per la riqualificazione dei nuclei consolidati, infatti, sono differenti e da valutare sia, nell'ottica di diminuire la vulnerabilità sismica, sia in quella della conservazione dei caratteri identitari, sia, infine, nella prospettiva di interventi di rinnovamento che diano nuova forma e fruibilità a parti di città ormai diffusamente abbandonate e degradate.

Per tal motivo, si potranno valutare, con un controllo immediato degli effetti reali sui comparti urbani, interventi di diradamento, sia in alzata, sugli edifici, che in piano, sul quartiere stesso; di ricucitura di maglie urbane sconnesse, anche nell'ottica di una nuova funzionalità degli edifici; di riprogettazione degli spazi aperti e dell'accessibilità tenendo conto degli *standard* richiesti dai piani di evacuazione; di connessione di comparti difficilmente raggiungibili e poco collegati al resto della città e del territorio; di ridestinazione d'uso degli aggregati edilizi per la gestione dei flussi e dell'affollamento; di sostituzione di comparti altamente vulnerabili e fatiscenti³²⁰ con nuovi elementi funzionali e rispondenti alle necessità di sicurezza sismica, sempre nel rispetto delle permanenze dell'impianto urbano originario.

³²⁰ Una tale operazione, ovviamente, è da valutare con cautela e con alto rigore scientifico al fine di non disperdere e stravolgere la memoria dei luoghi.

Tutte le operazioni che scaturiranno dall'applicazione della metodologia proposta, inoltre, saranno basate su una conoscenza diffusa del costruito, preliminare all'applicazione della procedura stessa, e pertanto muoveranno da basi solide e da un insieme di dati necessari e propedeutici alla progettazione.

In conclusione, quindi, lo studio condotto nel percorso di dottorato ha voluto delineare, non solo, una metodologia valutativa speditiva e semi-quantitativa della vulnerabilità urbana ma, anche, procedure conoscitive preliminari utili a veicolare interventi di rigenerazione nei contesti consolidati, attingendo alle innovative pratiche in campo di riqualificazione dei centri storici e di progettazione architettonica.

Conclusioni

Lo studio condotto nel percorso di dottorato si pone il problema del peculiare rapporto tra l'esigenza della conservazione e della riqualificazione architettonica e urbana dei tessuti storici e la necessità di conseguire, in tali ambiti, gli adeguati livelli di sicurezza e resilienza nei confronti degli eventi sismici. Si pone, quindi, il fine di definire un nuovo e rinnovato concetto di vulnerabilità sismica, esteso dal livello dell'edificio a quello dei centri storici nella loro complessità, e di proporre una metodologia speditiva per la sua indicizzazione che tenga in considerazione tanto gli aspetti strutturali, quanto quelli architettonici, urbani, evolutivi e di fruizione.

Una tale procedura metodologica, quindi, viene proposta per porsi quale base per la programmazione di interventi, alla scala urbana e alla scala dell'edificato; al fine di guidarne le azioni progettuali volte alla riduzione del rischio sismico nel rispetto dei caratteri storici, tipologici e, in generale, identitari dei nuclei consolidati.

La tematica analizzata dal progetto di dottorato, pertanto, va inquadrata non solo dal punto di vista culturale, per l'importanza che assumono i nuclei consolidati e per la salvaguardia dei valori di cui sono portatori ma, anche, nell'ambito delle iniziative legislative, sia cogenti che d'indirizzo, che promuovono un recupero complessivo dei comparti consolidati, nel rispetto della sicurezza sismica del patrimonio edilizio ma, soprattutto, dell'incolumità dei fruitori.

Proprio in tale panorama si colloca la ricerca condotta, che propone una lettura innovativa di "vulnerabilità

urbana" e definisce una metodologia speditiva e semi-quantitativa per il calcolo di un "indice di vulnerabilità complessiva strutturale-urbana" concepito in modo da tener conto dell'interrelazione tra tessuto urbano e tessuto costruito e delle reciproche influenze.

Innanzitutto, la metodologia proposta viene letta, all'interno della tesi di dottorato, nell'ampio filone architettonico, ormai consolidato da decenni, della progettazione parametrica, di cui si ricordano, fra le altre, le sperimentazioni condotte da Luigi Moretti per gli stadi, da Sergio Musmeci per il ponte sul Basento (Potenza), da Le Corbusier e Iannis Xenakis per il Padiglione Philips nonché da Antoni Gaudì con lo studio delle volte.

La comparazione con quanto già fatto in tale ambito e con i paradigmi e gli assiomi ormai assunti all'interno di tale approccio progettuale, normalmente applicato alle costruzioni *ex novo*, mette in luce l'innovazione del lavoro presentato nel rapportare la tematica della progettazione parametrica a quella della vulnerabilità dei contesti storici; facendo proprie le opportunità insite nei processi progettuali parametrici, integrando e gestendo una complessa serie di variabili proprie della vulnerabilità urbana dei contesti consolidati. Infatti, la metodologia di valutazione delineata trova riscontro nell'esplorazione e nella generazione di sistemi formali "aperti" e nel controllo della complessità.

Inoltre, il contributo della seguente tesi vuole essere di nuovo respiro con la formulazione di una metodologia dai contributi innovativi. L'"indice di vulnerabilità complessiva strutturale-urbana" proposto, infatti, dipende da innumerevoli parametri: non soltanto quelli prettamente strutturali (ad oggi gli unici ad essere analizzati) ma, anche, quelli riconducibili alle caratteristiche tipologiche, morfologiche, architettoniche ed evolutive dei siti di

insediamento, dei percorsi e degli spazi aperti.

La tesi di dottorato, in seconda istanza, è stata finalizzata all'esplicazione di una metodologia speditiva, che muove dalla scala urbana a quella dell'aggregato, di cui si sono esplicitati gli aspetti procedurali e processuali, le finalità, i campi e le modalità di applicazione nonché gli strumenti adoperabili per la sua applicazione su casi reali.

La metodologia ideata, che gemma da uno stato dell'arte ancora esiguo in materia, consente l'estrapolazione di indici di vulnerabilità urbana, relativi ai differenti quartieri ovvero all'intero centro storico. Infatti, attraverso l'attribuzione di punteggi ai parametri identificati quali concorrenti alla vulnerabilità complessiva, la metodologia consente, in modo speditivo, di quantificarla per unità territoriali omogenee.

Al fine di delineare l'approccio metodologico ma, soprattutto, per l'individuazione dei parametri da analizzare e per l'attribuzione dei punteggi è stata essenziale e determinante l'anamnesi approfondita dello stato dell'arte riferito a tre settori tematici: le modalità di valutazione della vulnerabilità sismica, la conoscenza di nuclei consolidati e delle loro caratteristiche peculiari (morfologiche, tipologiche, urbane, materiche, tecnologiche e costruttive) nonché lo studio degli eventi sismici, storici e moderni, al fine di evidenziarne le criticità. Proprio dallo studio approfondito riportato nella seconda parte della presente tesi, quindi, sono gemmate le considerazioni e le valutazioni confluite e validate nella metodologia delineata.

Al fine di consentire il calcolo degli indici di vulnerabilità, poi, durante il percorso di dottorato sono stati progettati gli strumenti da utilizzare per l'applicazione del metodo, ovvero le schede di catalogazione, compilative e informatizzate; quest'ultime già predisposte con formule e

punteggi per l'estrapolazione dei valori numerici.

Infine, la ricerca condotta nella tesi di dottorato, ha visto lo sviluppo di due applicativi sperimentali: uno, di tipo numerico di modellazione strutturale, volto alla definizione di linee metodologiche per l'implementazione, con nuovi contributi, dell'approccio finora definito; l'altro volto alla verifica e all'applicazione della metodologia proposta ad un caso studio, identificato nel centro storico della città di Cosenza e in un suo quartiere campione.

In definitiva, dunque, la presente tesi di dottorato e, in generale, la ricerca condotta nel triennio hanno portato al raggiungimento dei seguenti obiettivi:

- Definizione di una nuova Vulnerabilità Urbana;
- Definizione di indici distinti di vulnerabilità;
- Definizione di un approccio metodologico di valutazione speditivo, semi-quantitativo, a punteggi e multidisciplinare;
- Progettazione di un foglio di calcolo elettronico, automatico e pre-impostato;
- Progettazione di una scheda di catalogazione;
- Sperimentazione numerica;
- Applicativo progettuale su un centro storico campione.

Quanto proposto e raggiunto dalla tesi di dottorato, ovviamente, presuppone ulteriori studi, condotti con approccio interdisciplinare, per una sua validazione generale e, inoltre, per una implementazione, soprattutto nell'applicazione alla scala dell'aggregato. Tali approfondimenti, in ogni caso, partono da un approccio metodologico delineato, che ha nell'innovazione, nell'analisi d'insieme, nella semplicità, nella velocità e nell'ambito analizzato (ovvero i centri storici) validi presupposti e punti di forza.

Ulteriori opportunità legate alla metodologia proposta sono rintracciabili nell'approccio interdisciplinare caratteristico della tematica affrontata ma, soprattutto, nella possibilità di sviluppare applicativi anche a carattere informatico, per le Pubbliche Amministrazioni nonché per la Protezione Civile, da impiegare per lo studio di casi reali diffusi sul territorio nazionale.

Concludendo, quindi, il metodo delineato nella presente tesi di dottorato, finalizzato all'indicizzazione della vulnerabilità urbana dei nuclei consolidati proposta, vuole essere innovativo e all'avanguardia nel panorama scientifico attinente alla tematica affrontata e porsi quale primo passo verso la definizione di procedure di prevenzione consolidate e corroborate a servizio delle pratiche di progettazione e riqualificazione, architettonica e urbana, dei centri storici.

APPENDICE 1

Foglio di calcolo per la scala urbana

SEZIONE 1	ANALISI PRELIMINARE DI ESPOSIZIONE
----------------------------	---

1.a	IDENTIFICAZIONE
------------	------------------------

DENOMINAZIONE DELL'UNITA' ANALIZZATA (nome del quartiere oppure numero identificativo dell'unità territoriale)	
LOCALIZZAZIONE AMMINISTRATIVA	Provincia
	Comune
	Località
	Frazione
LOCALIZZAZIONE DELLA ZONA URBANA	Centro antico
	Centro storico
	Appendici moderne
DELIMITAZIONI GEOGRAFICHE DEL QUARTIERE	Nord
	Sud
	Est
	Ovest
ALTITUDINE MEDIA DEL QUARTIERE	

1.b	DATI MORFOLOGICI-AMBIENTALI
------------	------------------------------------

RAPPORTO CON L'AMBIENTE ANTROPIZZATO	TIPO DI RELAZIONE FISICA	Relazione stretta, unità totalmente inglobata nel costruito denso	
		Relazione quasi stretta, unità confinante con il costruito denso su gran parte del perimetro	
		Relazione lasca, unità confinante con il costruito su modesta parte del perimetro	
		Relazione inesistente, unità isolata	
RAPPORTO CON L'AMBIENTE NATURALE	TIPO DI RELAZIONE FISICA	Unità posta in continuità di	
		Unità posta in prossimità di	
		Unità posta in rapporto visivo con	
MORFOLOGIA PREVALENTE DELL'UNITA' ANALIZZATA	COLLOCAZIONE FISICA PREVALENTE	Unità posta in pianura	
		Unità posta su pendio leggero	
		Unità posta su pendio acclive	
		Unità posta sulla costa	

1.c	INDICAZIONI METRICHE DI AREE VULNERABILI
------------	---

SUPERFICIE TOT. DELL'INTERO CENTRO STORICO (mq)			
SUPERFICIE TOT. DELL'UNITA' ANALIZZATA (mq)		PERCENTUALE RISPETTO ALL'INTERO CENTRO STORICO	0%
SUPERFICI PARZIALI DELL'UNITA' ANALIZZATA (mq)	Edificato	PERCENTUALE RISPETTO ALLA SUP. TOT. DELL'UNITA' ANALIZZATA	0%
	Viabilità attraversante		0%
	Vuoti urbani		0%
	Aree vulnerate		0%
SUPERFICI PARZIALI SUDDIVISE NEI SISTEMI DELL'UNITA' ANALIZZATA (mq)	Abitativo	PERCENTUALE RISPETTO ALLA SUP. TOT. DELL'UNITA' ANALIZZATA	0%
	Turistico-ricettivo		0%
	Commerciale		0%
	Produttivo		0%
	Scolastico		0%
	Direzionale		0%
	Amministrativo		0%
	Assistenziale		0%
Religioso	0%		

TOT.	0%
TOT.	0%

	Spettacolo		0%
	Funzione mista		0%
SVILUPPO LINEARE DELLA VIABILITA' ATTRAVERSANTE L'UNITA' ANALIZZATA (m)			

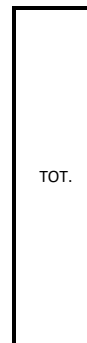


1.d **INDICAZIONI QUANTITATIVE DI AREE VULNERABILI**

NUMERO TOTALE DI EDIFICI NELL'UNITA' ANALIZZATA

NUMERO TOTALE DI AGGREGATI NELL'UNITA' ANALIZZATA

NUMERO DI EDIFICI SUDDIVISI PER SISTEMI DELL'UNITA' ANALIZZATA	Abitativo	PERCENTUALE RISPETTO AL NUMERO TOTALE DI EDIFICI NELL'UNITA' ANALIZZATA	0%
	Turistico-ricettivo		0%
	Commerciale		0%
	Produttivo		0%
	Scolastico		0%
	Direzionale		0%
	Amministrativo		0%
	Assistenziale		0%
	Religioso		0%
	Spettacolo		0%
	Funzione mista		0%



0%

NUMERO DI EDIFICI VINCOLATI PERCENTUALE RISPETTO AL NUMERO TOT. DI EDIFICI DELL'UNITA' ANALIZZATA 0%

NUMERO GRANDI ATTRATTORI TURISTICI PERCENTUALE RISPETTO AL NUMERO TOT. DI EDIFICI DELL'UNITA' ANALIZZATA 0%

NUMERO DI ELEMENTI ALTI (torri, campanili, cisterne, tralicci)

NUMERO DI ACCESSI ALL'UNITA' ANALIZZATA Solo pedonali

Carrabili

NUMERO TOTALE DI VUOTI URBANI (dimensioni rilevanti)

NUMERO TOTALE DI VIE ATTRAVERSANTI L'UNITA' ANALIZZATA

1.e **INDICAZIONI DI UTENZE E PRESENZE**

NUMERO TOTALE DI RESIDENTI NELL'INTERO CENTRO STORICO (Se non disponibili inserire dati ISTAT)

NUMERO TOTALE DI RESIDENTI DELL'UNITA' ANALIZZATA PERCENTUALE RISPETTO ALL'INTERO CENTRO STORICO 0%

PRESENZE MASSIME SUDDIVISE PER SISTEMI DELL'UNITA' ANALIZZATA	Abitativo stagionale (permanenza>15gg)	TOTALE DI PRESENZE MASSIME	0
	Turistico		
	Alberghiero		
	Commerciale		
	Produttivo		
	Scolastico		
	Direzionale		
	Amministrativo		
	Assistenziale		
	Spettacolo		
	Religioso		

1.f **DATI RELATIVI AL RICHIO**

CLASSIFICAZIONE DA MICROZONAZIONE SISMICA DI BASE						
CLASSIFICAZIONE DA CARTA GEOLOGICA						
RISCHIO SISMICO DEL CENTRO STORICO			Intensità			
			Frequenza			
			Pericolosità			
			Data ultimo evento rilevante			
SISMOLOGIA STORICA DEL CENTRO STORICO		DATE EVENTI PIU' RILEVANTI		MAGNITUDO EVENTI PIU' RILEVANTI		
		Numero di terremoti di M elevata				
		Intensità media				
		Frequenza media				
Pericolosità media						
SISMOLOGIA STORICA DELL'UNITA' ANALIZZATA	DATE EVENTI PIU' RILEVANTI	0	PRESENZA DI EFFETTI SULL'UNITA' ANALIZZATA (si/no)		AREA INTERESSATA (kmq)	
		0				
		0				
		0				
		0				

SEZIONE

2

MACRO-AREA DATI STRUTTURALI

2.a

RELAZIONI SPAZIALI E INTERAZIONI STRUTTURALI

NUMERO DI EDIFICI	IN AGGREGATO	0	PERCENTUALE RISPETTO AL N° TOT. DI EDIFICI DELL'UNITA' ANALIZZATA	0%
	ISOLATI			0%
TOTALE			0%	

NUMERO DI AGGREGATI*	0%
----------------------	----

81-100%	5
51-80%	4
21-50%	3
<20%	2
0	1

0	0
0	0
0	0
0	0
1	1
1	1

ATTRIBUZIONE PUNTEGGIO FINALE

0

TIPOLOGIA DI AGGREGATI* (compilare solo nel caso di n° aggregati>30%)	MOLTO IRREGOLARI	PERCENTUALE RISPETTO AL NUMERO TOT. DI AGGREGATI DELL'UNITA' ANALIZZATA	0%
	IRREGOLARI		0%
	QUASI REGOLARI		0%
	REGOLARI		0%
TOTALE		0%	

5
4
2
1

0	0
0	0
0	0
0	0
0	0
0	0

ATTRIBUZIONE PUNTEGGIO FINALE

0

2.b

CARATTERISTICHE E TIPOLOGIE STRUTTURALI

TIPOLOGIA DI SUOLO (mq) (classificazione secondo NTC 08)	TIPO A	0%	1	0
	TIPO B	0%	2	0
	TIPO C	0%	3	0
	TIPO D	0%	4	0
	TIPO E	0%	5	0
PERCENTUALE RISPETTO ALL'AREA TOT. DELL'UNITA' ANALIZZATA				
TOTALE		0%		0

ATTRIBUZIONE PUNTEGGIO FINALE

0

TIPOLOGIA STRUTTURALE DELL'EDIFICIO / AGGREGATO	MURATURA	0%	5	0
	MURATURA MISTA AL C.A.	0%	3	0
	CASE BARACCATE	0%	2	0
	TELAI IN C.A.	0%	2	0
	TELAI IN ACCIAIO	0%	1	0
TELAI IN LEGNO	0%	2	0	
PERCENTUALE RISPETTO AL N° TOT. DI EDIFICI DELL'UNITA' ANALIZZATA				
TOTALE		0%		0

ATTRIBUZIONE PUNTEGGIO FINALE

0

MATERIALI COSTRUTTIVI PARTIZIONI VERTICALI DELL'EDIFICIO / AGGREGATO (classificazione secondo EMS98) (compiare solo nel caso di edifici portanti in muratura/sistema baraccato)	MURATURA DI PIETRA	0%	5	B/N	0
	SENZA LEGANTE (A SECCO)	0%	5	B/N	0
	MURATURA IN TERRA CRUDA (ADOBE)	0%	5	B/N	0
	MURATURA IN PIETRA SBOZZATA	0%	4	B/N	0
	MURATURA IN PIETRA MASSICIA PER EDIFICI MONUMENTALI	0%	3	B/N	0
	MURATURA IN MATTONI E PIETRA LAVORATA	0%	4	B/N	0
	MURATURA IN MATTONI	0%	3	B/N	0
	MURATURA RINFORZATA E/O CONFINATA (MURO BARACCATO)	0%	3	B/N	0
	PERCENTUALE RISPETTO ALLA TIPOLOGIA COSTRUTTIVA PREVALENTE				
	TOTALE		0%		0

ATTRIBUZIONE PUNTEGGIO FINALE

0

MATERIALI COSTRUTTIVI PARTIZIONI ORIZZONTALI INTERNE DELL'EDIFICIO/ AGGREGATO (classificazione secondo schede GNDT) (compiare solo nel caso di prevalenza di edifici portanti in muratura/sistema baraccato)	TRAVI CON SOLETTA DEFORMABILE (travi in legno con semplice tavolato, travi e volpine,...)	PERCENTUALE RISPETTO ALLA TIPOLOGIA COSTRUTTIVA PREVALENTE	0%
	TRAVI CON SOLETTA SEMIRIGIDA (travi in legno con doppio tavolato, travi e tavoloni,...)		0%
	TRAVI CON SOLETTA RIGIDA (solai di c.a., travi ben collegate a solette di c.a.,...)		0%
	SOLAI VOLTATI PORTANTI		0%
	SOLAI VOLTATI NON PORTANTI		0%
TOTALE		0%	

4	B/N	
3	B/N	
5	B/N	
3	B/N	
5	B/N	
TOTALE		0

0	
0	
0	
0	
0	
0	

ATTRIBUZIONE PUNTEGGIO FINALE

0

MATERIALI COSTRUTTIVI PARTIZIONI ORIZZONTALI DI CHIUSURA DELL'EDIFICIO/ AGGREGATO (classificazione secondo schede GNDT) (compiare solo nel caso di prevalenza di edifici portanti in muratura/sistema baraccato)	TETTO SPINGENTE PESANTE	PERCENTUALE RISPETTO ALLA TIPOLOGIA COSTRUTTIVA PREVALENTE	0%
	TETTO NON SPINGENTE PESANTE		0%
	TETTO SPINGENTE LEGGERO		0%
	TETTO NON SPINGENTE LEGGERO		0%
TOTALE		0%	

	B/N	
	B/N	
	B/N	
	B/N	
TOTALE		0

0	
0	
0	
0	
0	

ATTRIBUZIONE PUNTEGGIO FINALE

0

2.C

FATTORI DI DEFICIT E DEQUILIBRAMENTO STRUTTURALE

NUMERO DI EDIFICI CON SUPERFETZIONI/AGGIUNTE	IN AGGREGATO	PERCENTUALE RISPETTO AL N° TOT. DI EDIFICI DELL'UNITA' ANALIZZATA	0%	5	5
	ISOLATI		0%	4	4
	TOTALE		0%		

RELAZIONE DI PERCENTUALE	0%
ATTRIBUZIONE PUNTEGGIO FINALE	0

NUMERO DI EDIFICI ABUSIVI	IN AGGREGATO	PERCENTUALE RISPETTO AL N° TOT. DI EDIFICI DELL'UNITA' ANALIZZATA	0%	5	5
	ISOLATI		0%	4	4
	TOTALE		0%		

RELAZIONE DI PERCENTUALE	0%
ATTRIBUZIONE PUNTEGGIO FINALE	0

NUMERO DI EDIFICI CON DEGRADO DEI MATERIALI	ELEVATO	PERCENTUALE RISPETTO AL N° TOT. DI EDIFICI DELL'UNITA' ANALIZZATA	0%	5	5
	MEDIO		0%	3	3
	BASSO		0%	2	2
TOTALE		0%			

RELAZIONE DI PERCENTUALE	0%
ATTRIBUZIONE PUNTEGGIO FINALE	0

NUMERO DI EDIFICI CON QUADRI FESSURATIVI	MOLTO DIFFUSI	PERCENTUALE RISPETTO AL N° TOT. DI EDIFICI DELL'UNITA' ANALIZZATA	0%	5	5
	MEDIAMENTE DIFFUSI		0%	3	3
	POCO DIFFUSI		0%	2	2
TOTALE		0%			

RELAZIONE DI PERCENTUALE	0%
--------------------------	----

ATTRIBUZIONE PUNTEGGIO FINALE 0

2.d

FATTORI DI MIGLIORAMENTO STRUTTURALE

PRESIDI ANTISISMICI URBANI (archi soprastrada, giunti urbani)	PRESENTI	PERCENTUALE RISPETTO AL N° TOT. DI EDIFICI DELL'UNITA' ANALIZZATA	0%	-0,5	-0,5
	NON PRESENTI			0%	0
TOTALE			0%		

RELAZIONE DI PERCENTUALE 0%

ATTRIBUZIONE PUNTEGGIO FINALE 0

PRESIDI ANTISISMICI COSTRUTTIVI (catene, radicamenti, cerchiature, muri a scarpa, contraforti...)	MOLTO DIFFUSI	PERCENTUALE RISPETTO AL N° TOT. DI EDIFICI DELL'UNITA' ANALIZZATA	0%	-1	-1
	MEDIAMENTE DIFFUSI			0% <td>-0,5</td> <td>-0,5</td>	-0,5
POCO DIFFUSI			0% <td>-0,25</td> <td>-0,25</td>	-0,25	-0,25
TOTALE			0%		

RELAZIONE DI PERCENTUALE 0%

ATTRIBUZIONE PUNTEGGIO FINALE 0

INTERVENTI DI RINFORZO RECENTI (compilare solo nel caso di interventi globali)	PRESENTI	PERCENTUALE RISPETTO AL N° TOT. DI EDIFICI DELL'UNITA' ANALIZZATA	0%	-1	-1
	NON PRESENTI			0% <td>0</td> <td>0</td>	0
TOTALE			0%		

RELAZIONE DI PERCENTUALE 0%

ATTRIBUZIONE PUNTEGGIO FINALE 0

PUNTEGGIO TOTALE DATI STRUTTURALI 0

INDICE DI VULNERABILITA' PARZIALE DELLA SCHEDA
(Vds) 0

SEZIONE

3

MACRO-AREA DATI URBANI

3.a

TESSUTI, TIPOLOGIE E MORFOLOGIE URBANE

MORFOLOGIA DEL SITO DELL'UNITA' ANALIZZATA (mq)	CRINALE		0%	5	0
	COLLINA		0%	4	0
	PIANURA FLUVIALE	PERCENTUALE RISPETTO ALL'AREA TOT. DELL'UNITA' ANALIZZATA	0%	4	0
	FONDOVALLE		0%	3	0
	PIANURA		0%	2	0
TOTALE			0%		0

ATTRIBUZIONE PUNTEGGIO FINALE

0

IMPIANTO URBANO DELL'UNITA' ANALIZZATA (mq)	IMPIANTO CONCENTRICO		0%	5	0
	IMPIANTO RADIALE		0%	4	0
	IMPIANTO A SCACCHIERA	PERCENTUALE RISPETTO ALL'AREA TOT. DELL'UNITA' ANALIZZATA	0%	2	0
	IMPIANTO A FUSO-LINEARE		0%	1	0
TOTALE			0%		0

ATTRIBUZIONE PUNTEGGIO FINALE

0

RAPPORTO VUOTI URBANI/COSTRUITO*		0%	<30%	5	0
			60-30%	4	0
			61-80%	3	0
			>81%	2	0

ATTRIBUZIONE PUNTEGGIO FINALE

0

>1000 mq	PERCENTUALE RISPETTO	0%	5	0
----------	----------------------	----	---	---

DIMENSIONE DEGLI AGGREGATI*	500-999 mq	AL NUMERO TOT. DI AGGREGATI DELL'UNITA' ANALIZZATA	0%	4	0
	250-499 mq		0%	3	0
	<250 mq	TOTALE	0%	2	0

ATTRIBUZIONE PUNTEGGIO FINALE 0

RAPPORTO DI COPERTURA DEGLI AGGREGATI*	>81%	PERCENTUALE RISPETTO AL NUMERO TOT. DI AGGREGATI DELL'UNITA' ANALIZZATA	0%	5	0
	61-80%		0%	4	0
	60-30%		0%	3	0
	<30%		0%	2	0
TOTALE			0%		0

ATTRIBUZIONE PUNTEGGIO FINALE 0

3.b

ACCESSI, VIABILITA' TANGENTE E STANDARD FUNZIONALI

TIPOLOGIA DI ACCESSI PEDONALI ALL'UNITA' ANALIZZATA (da valutare complessivamente in base alla collocazione rispetto all'edificato ed all'accessibilità)	PIU' CHE SUFFICIENTI	PERCENTUALE RISPETTO AL NUMERO TOT. DI ACCESSI PEDONALI ALL'UNITA' ANALIZZATA	0%	1	0
	SUFFICIENTI		0%	3	0
	INSUFFICIENTI		0%	5	0
	TOTALE		0%		0

ATTRIBUZIONE PUNTEGGIO FINALE 0

TIPOLOGIA DI ACCESSI CARRABILI ALL'UNITA' ANALIZZATA (da valutare complessivamente in base alla collocazione rispetto	PIU' CHE SUFFICIENTI	PERCENTUALE RISPETTO AL NUMERO TOT. DI ACCESSI PEDONALI ALL'UNITA' ANALIZZATA	0%	1	0
	SUFFICIENTI		0%	3	0

all'edificato ed all'accessibilità)	INSUFFICIENTI	ALL'UNITA' ANNAZZATA	0%		5		0
	TOTALE		0%				0

ATTRIBUZIONE PUNTEGGIO FINALE 0

LIVELLO FUNZIONALE DEGLI ACCESSI CARRABILI	STRADE URBANE	PERCENTUALE RISPETTO AL NUMERO TOT. DI ACCESSI CARRABILI ALL'UNITA' ANNAZZATA	0%		5		0
	STRADE EXTRA-URBANE		0%		3		0
	STRADE A SCORRIMENTO VELOCE		0%		1		0
	TOTALE		0%				0

ATTRIBUZIONE PUNTEGGIO FINALE 0

PRESENZA DI ALTRE TIPOLOGIE DI ACCESSO (canali navigabili, fiumi, ferrovie, area portuale) (compilare con X solo nel caso di distanza <200 m e di reale funzionamento)	SI				-0,5		0
--	----	--	--	--	------	--	---

ATTRIBUZIONE PUNTEGGIO FINALE 0

3.C VIABILITA' ATTRAVERSANTE, VIE DI FUGA E STANDARD FUNZIONALI							
LUNGHEZZA TRATTI DELLA VIABILITA' ATTRAVERSANTE*	>1000 m	PERCENTUALE RISPETTO AL NUMERO TOT. DI VIE ATTRAVERSANTI DELL'UNITA' ANNAZZATA	0%		5		0
	<800 m		0%		4		0
	<600 m		0%		3		0
	<400 m		0%		2		0
	<200m		0%		1		0
	TOTALE		0%				0

ATTRIBUZIONE PUNTEGGIO FINALE 0

TIPOLOGIA DELLA VIABILITA' ATTRAVERSANTE (m)**	RETTILINEA	PERCENTUALE RISPETTO ALLO SVILUPPO LINEARE DI VIABILITA' DELL'UNITA' ANALIZZATA	0%
	QUASI RETTILINEA		0%
	CURVILINEA		0%
	A TORNANTI		0%
TOTALE		0%	

1
2
4
5

0
0
0
0
0

ATTRIBUZIONE PUNTEGGIO FINALE 0

LARGHEZZA DELLA VIABILITA' ATTRAVERSANTE (m)**	<2 m	PERCENTUALE RISPETTO ALLO SVILUPPO LINEARE DI VIABILITA' DELL'UNITA' ANALIZZATA	0%
	2-5 m		0%
	5,1-7 m		0%
	7,1-10 m		0%
	>10 m		0%
TOTALE		0%	

5
4
3
2
1

0
0
0
0
0

ATTRIBUZIONE PUNTEGGIO FINALE 0

PENDENZA DELLA VIABILITA' ATTRAVERSANTE (m)**	>10%	PERCENTUALE RISPETTO ALLO SVILUPPO LINEARE DI VIABILITA' DELL'UNITA' ANALIZZATA	0%
	5,1-10%		0%
	2-5%		0%
	<2%		0%
TOTALE		0%	

5
4
2
1

0
0
0
0
0

ATTRIBUZIONE PUNTEGGIO FINALE 0

TRATTI GRADONATI DELLA VIABILITA' ATTRAVERSANTE (m)		PERCENTUALE RISPETTO ALLO SVILUPPO LINEARE DI VIABILITA' DELL'UNITA' ANALIZZATA	0%
			0%
TOTALE		0%	

5
4
3
3
1

0
0
0
0
0

RELAZIONE DI PERCENTUALE	0%
ATTRIBUZIONE PUNTEGGIO FINALE	0

TRATTI DELLA VIABILITA' ATTRAVERSANTE INTERESSATI DALLA PRESENZA DI EDIFICI A FILO STRADA (m) *		PERCENTUALE RISPETTO ALLO SVILUPPO LINEARE DI VIABILITA' DELL'UNITA' ANALIZZATA	0%	>81%	5	0
				61-80%	4	0
				41-60%	3	0
				20-40%	3	0
				<20%	1	0
TOTALE	0%					

ATTRIBUZIONE PUNTEGGIO FINALE	0
-------------------------------	---

3.d

vuoti urbani, luoghi sicuri e standard funzionali

RAPPORTO DIMENSIONALE DEI LUOGHI SICURI (piazze, giardini, ampi spazi scoperti)*		da 11 a 20 mq/presenze max. >20 mq/presenze max. da 6 a 10 mq/presenze max. <6mq/presenze max.	>20 mq/presenze max.	1	0
			da 11 a 20 mq/presenze max.	2	0
			da 6 a 10 mq/presenze max.	3	0
			<6mq/presenze max.	5	5
			TOTALE		

ATTRIBUZIONE PUNTEGGIO FINALE	0
-------------------------------	---

DISTANZA MASSIMA TRA UTENZA E LUOGHI SICURI* (misurata sul reale percorso da fare)		PERCENTUALE RISPETTO AL NUMERO DI VUOTI URBANI DELL'UNITA' ANALIZZATA	0%	DISTANZA MAX. NULLA	1	0
				DISTANZA MAX. 50m	2	0
				DISTANZA MAX. DA 51m A 100m	3	0
				DISTANZA MAX. DA 101m A 250m	4	0
				DISTANZA MAX. OLTRE 250m	5	0
TOTALE	0%					

ATTRIBUZIONE PUNTEGGIO FINALE

0

CONFIGURAZIONE DEI LUOGHI SICURI*

SFAVOREVOLE
MEDIANAMENTE FAVOREVOLE
FAVOREVOLE

PERCENTUALE RISPETTO AL NUMERO DI VUOTI URBANI DELL'UNITA' ANALIZZATA

0%
0%
0%

TOTALE 0%

5
3
1

0
0
0
0

ATTRIBUZIONE PUNTEGGIO FINALE

0

CONFIGURAZIONE DEGLI ACCESSI AI LUOGHI SICURI*

OSTACOLATI
MEDIANAMENTE OSTACOLATI
LIBERI

PERCENTUALE RISPETTO AL NUMERO DI VUOTI URBANI DELL'UNITA' ANALIZZATA

0%
0%
0%

TOTALE 0%

5
3
1

0
0
0
0

ATTRIBUZIONE PUNTEGGIO FINALE

0

FATTORI DI DEFICIT E DEPAUPERAMENTO URBANO

3.e

ALTEZZA DEGLI EDIFICI (classificazione secondo schede GNDT) (compresi i piani terra)

FINO A 2
3
4
5
6

PERCENTUALE RISPETTO AL N° TOT. DI EDIFICI DELL'UNITA' ANALIZZATA

0%
0%
0%
0%
0%

TOTALE 0%

1
2
3
4
5

0
0
0
0
0
0

ATTRIBUZIONE PUNTEGGIO FINALE

0

AREA D'INFLUENZA DI ELEMENTI VULNERABILI ALTI* (campanili, torri, ponti superiori a tessuti urbani, antenne, tralicci, elementi costruiti di altezza preminente)

PERCENTUALE RISPETTO ALL'AREA TOT. DELL'UNITA' ANALIZZATA

0%

TOTALE 0%

1
2
3
4
5

0
0
0
0
0
0

ATTRIBUZIONE PUNTEGGIO FINALE 0

SERVIZI ACCESSORI E RETI TECNOLOGICHE

3.f PRESENZA DI PUNTI FOCALI DI SMISTAMENTO (compiare con X)	SI	
	-0,5	0

0

ATTRIBUZIONE PUNTEGGIO FINALE 0

COLLOCAZIONE DEI SERVIZI (compiare con X)	SOTTOTERRA	
	AEREI	
	-0,5	0
	0,5	0

0

ATTRIBUZIONE PUNTEGGIO FINALE 0

GIUDIZIO SUL LIVELLO DI SERVIZIO* (le informazioni possono essere tratte da aziende di gestione o ufficio tecnico comunale) (compiare con X)	CARENTE O CON FREQUENTI MALFUNZIONAMENTI	1	0
	SUFFICIENTE COME DIMENSIONAMENTO MA CON MALFUNZIONAMENTI	0,5	0

0

ATTRIBUZIONE PUNTEGGIO FINALE 0

PRESENTA DI PUNTI DI INTERRUZIONE ACCESSIBILI PER GLI EDIFICI	PRESENTI		
	NON PRESENTI		
	-0,5		-0,5
	0,5		0,5
	TOTALE		0%

RELAZIONE DI PERCENTUALE 0%
ATTRIBUZIONE PUNTEGGIO FINALE 0

PUNTEGGIO TOTALE DATI STRUTTURALI	0
-----------------------------------	---

INDICE DI VULNERABILITÀ PARZIALE DELLA SCHEDA (V _{du})	0
---	---

SEZIONE

4

MACRO-AREA DATI DI UTILIZZO-AFFOLLAMENTO

4.a

GRADO DI AFFOLLAMENTO

INDICE D'USO IMMOBILI			
Residenziale	1	0	
Abitativo stagionale (permanenza>15gg)	0,32	0	
Turistico	0,32	0	
Alberghiero	0,16	0	
Commerciale	0,22	0	
Produttivo		0	
Scolastico	0,15	0	
Direzionale		0	
Amministrativo		0	
Assistenziale	1	0	
Spettacolo		0	
Religioso		0	
		TOTALE DI PRESENZE EQUIVALENTE	
		0	

>300	5
101-300	4
51-100	3
11-50	2
<10	1

0
0
0
0
0

ATTRIBUZIONE PUNTEGGIO FINALE

0

ESPOSIZIONE DEL SISTEMA RESIDENZIALE*	N° EDIFICI ARBITRARI	PERCENTUALE RISPETTO AL N° TOT. DI EDIFICI DELL'UNITA' ANALIZZATA	
		0%	

>30%	5
20,1-30%	4
10,1-20%	3
5,1-10%	2
<5%	1

0
0
0
0
0

ATTRIBUZIONE PUNTEGGIO FINALE

0

4.b

RUOLO FUNZIONALE E VALENZA CULTURALE

NUMERO EDIFICI STRATEGICI (caserme, ospedali, prefetture, comuni, centri di primo soccorso...)		PERCENTUALE RISPETTO AL N° TOT. DI EDIFICI DELL'UNITA' ANALIZZATA	0%	>10	5	0
				da 4 a 10	4	0
				<3 diverso da 0	2	2

ATTRIBUZIONE PUNTEGGIO FINALE **0**

NUMERO EDIFICI DI VALENZA CULTURALE*		PERCENTUALE RISPETTO AL N° TOT. DI EDIFICI DELL'UNITA' ANALIZZATA	0%	>10	5	0
				da 4 a 10	4	0
				<3 diverso da 0	2	2

ATTRIBUZIONE PUNTEGGIO FINALE **0**

NUMERO EDIFICI APERTI AL PUBBLICO (in orario da uffici)		PERCENTUALE RISPETTO AL N° TOT. DI EDIFICI DELL'UNITA' ANALIZZATA	0%	>10	5	0
				da 4 a 10	4	0
				<3 diverso da 0	2	2

ATTRIBUZIONE PUNTEGGIO FINALE **0**

NUMERO GRANDI ATTRATTORI TURISTICI		PERCENTUALE RISPETTO AL N° TOT. DI EDIFICI DELL'UNITA' ANALIZZATA	0%	>10	5
				da 4 a 10	4
			<3 diverso da 0	3	

0
0
3
3

ATTRIBUZIONE PUNTEGGIO FINALE 0

PUNTEGGIO TOTALE DATI STRUTTURALI 0

INDICE DI VULNERABILITA' PARZIALE DELLA SCHEDA (Vde) 0

SEZIONE

5

MACRO-AREA DATI RISCHI DALL'ESTERNO

5.a

RISCHI LEGATI ALLA GEOMORFOLOGIA DEL SITO

PRESENZA EFFETTI DI SITO (sI/no)	Stratigrafici (risonanza)	AREA INTERESSATA (kmq)	PERCENTUALE DELL'AREA INTERESSATA RISPETTO ALL'INTERA UNITA' ANALIZZATA	0%	5	5
	Effetti di valle			0%	4	4
	Effetti di cresta			0%	4	4
	Liquefazione			0%	5	5
PRESENZA DI ALTRI RISCHI GEOLOGICI (sI/no)	Frana	AREA INTERESSATA (kmq)	PERCENTUALE DELL'AREA INTERESSATA RISPETTO ALL'INTERA UNITA' ANALIZZATA	0%	5	5
	Inondazione			0%	5	5
	Valanga			0%	5	5
	Eruzione			0%	5	5
PRESENZA DI ALTRI RISCHI ESTERNI (sI/no)	Tsunami	AREA INTERESSATA (kmq)	PERCENTUALE DELL'AREA INTERESSATA RISPETTO ALL'INTERA UNITA' ANALIZZATA	0%	5	5
	Incendio			0%	1	1
	Esplosione			0%	1	1

RELAZIONE DI PERCENTUALE

0%

ATTRIBUZIONE PUNTEGGIO FINALE

0

5.b

RISCHI LEGATI ALLA PRESENZA DI ELEMENTI CRITICI

PRESENZA DI ELEMENTI A RISCHIO (sI/no)	Dighe	AREA INTERESSATA (kmq)	PERCENTUALE DELL'AREA INTERESSATA RISPETTO ALL'INTERA UNITA' ANALIZZATA	0%	5	5
	Centrali elettriche			0%	5	5

RELAZIONE DI PERCENTUALE

0%

ATTRIBUZIONE PUNTEGGIO FINALE

0

PRESENZA DI ELEMENTI VULNERATI (si/no)	SI	AREA INTERESSATA (kmq)	PERCENTUALE DELL'AREA INTERESSATA RISPETTO ALL'INTERA UNITA' ANALIZZATA	0%	3	3
--	----	------------------------	---	----	---	---

RELAZIONE DI PERCENTUALE	0%
ATTRIBUZIONE PUNTEGGIO FINALE	0

RISCHI LEGATI ALLE VIE DI RAGGIUNGIMENTO DEL SITO

GIUDIZIO SULLE TIPOLOGIE DI STRADE (compilare con X)	VULNERABILI	3	0
	NON VULNERABILI	0	0

ATTRIBUZIONE PUNTEGGIO FINALE	0
-------------------------------	---

GIUDIZIO SULLO STATO DELLE STRADE (compilare con X)	PESSIMO	3	0
	CATTIVO	2	0
	MEDIOCRE	1	0

ATTRIBUZIONE PUNTEGGIO FINALE	0
-------------------------------	---

PUNTEGGIO TOTALE DATI STRUTTURALI	0
-----------------------------------	---

INDICE DI VULNERABILITA' PARZIALE DELLA SCHEDA (Vre)	0
--	---

APPENDICE 2

Scheda di catalogazione per l'aggregato

SCHEDA		ANALISI PRELIMINARE DI ESPOSIZIONE	
S.1			
S.a		IDENTIFICAZIONE	
CODICE DELL'AGGREGATO			
DENOMINAZIONE DEL BENE			
LOCALIZZAZIONE AMMINISTRATIVA		Comune	
		Quartiere	
		Via	
DELIMITAZIONI DELL'AGGREGATO		Nord	
		Sud	
		Est	
		Ovest	
DATI CATASTALI			
UTILIZZAZIONE		Abitativo	
		Turistico-ricettivo	
		Commerciale	
		Produttivo	
		Scolastico	
		Direzionale	
		Amministrativo	
		Assistenziale	
		Religioso	
		Spettacolo	
		Funzione mista	
S.b		DATI DIMENSIONALI	
SUPERFICIE COPERTA TOTALE			
NUMERO DI PIANI ENTROTERRA			
NUMERO DI PIANI SEMINTERRATI			
NUMERO DI PIANI FUORI TERTA			
SUPERFICIE MEDIA DI PIANO			
ALTEZZA DI GRONDA PREVALENTE			
ALTEZZA DI PIANO			
NUMERO DI US CHE COMPONGONO L'AGGREGATO			

SCHEDA

S.2

CARATTERISTICHE E TIPOLOGIE STRUTTURALI DELL'US

S2.a

PARTIZIONI VERTICALI

LATO MINORE	
LATO MAGGIORE	
SPESORE	
INTERPIANO	

REGOLARITA' PLANIMETRICA E SNEZZEZZA DIFLUSA	REGOLARITA' PLANIMETRICA (a/b)	0
	SNEZZEZZA VERTICALE MEDIA DELLE PARETI (l/s)	0

MATERIALI COSTRUTTIVI (classificazione secondo EMS98)	MURATURA DI PIETRA SENZA LEGANTE (A SECCO)	5
	MURATURA IN TERRA CRUDA (ADOBE)	5
	MURATURA IN PIETRA SBOZZATA	4
	MURATURA IN PIETRA MASSICIA PER EDIFICI MONUMENTALI	3
	MURATURA IN MATTONI E PIETRA LAVORATA	4
	MURATURA IN MATTONI	3
	MURATURA RINFORZATA E/O CONFNATA (MURO BARBACATO)	2

MALTA SCADENTE	GIUNTI SPESSI	ASSENZA DI RICORSI E/O LISTATURE	ASSENZA ELEMENTI TRASVERSALI	NUCLEO SCADENTE

MALTA BUONA	INTONACO ARMATO

TIPOLOGIE CANTONALI	INESISTENTE	5
	CONGI DI PIETRA	4
	MATTONI	1
	BLOCCHI DI PIETRA	2

MALTA SCADENTE	GIUNTI SPESSI

MALTA BUONA	BUONE CONNESIO NI

SCHEDA

S3**QUADRI FESSURATIVI E MECCANISMI FUORI DAL PIANO****S3.a****MECCANISMI FUORI DAL PIANO**

TIPOLOGIE (classificazione secondo GNDT)

	SUPERFICIE INTERESSATA	SUPERFICIE TOTALE DEL FRONTE STRADA	N° DI PIANO	
RIBALTAMENTO SEMPLICE DI PARETE	PARETE MONOLITICA-PARTE ALTA			
	PARETE A DOPPIA CORTINA			
RIBALTAMENTO COMPOSTO DI PARETE	CUNEO DIAGONALE-PARTE ALTA			
	A DOPPIA DIAGONALE DEL CANTONALE			
FLESSIONE VERTICALE DI PARETE	PARETE MINOLITICA-1 PIANO			
	PARETE MINOLITICA A PIU' PIANI			
	PARETE DOPPIA CORTINA-1 PIANO			
FLESSIONE ORIZZONTALE DI PARETE	PARETE A DOPPIA CORTINA A PIU' PIANI			
	PARETE CONFINATA PARETE A DOPPIA CORTINA			

S3.b**DANNEGGIAMENTO A TAGLIO**

TIPOLOGIE (classificazione secondo Emilia Romagna)

	SUPERFICIE INTERESSATA	SUPERFICIE TOTALE DEL FRONTE STRADA	N° DI PIANO	
TAGLIO (pareti con aree finestrate >55%)				

S3.c**DANNEGGIAMENTO PER MARTELLAMENTO DA EDIFICI IN C.A.**

TIPOLOGIE (classificazione secondo Emilia Romagna)

	LUNGHEZZA CONTATTO	LUNGHEZZA FRONTE STRADA	N° DI PIANO	
MARTELLAMENTO				

S3.d**MECCANISMI FUORI DAL PIANO EDIFICI ECCLESIASTICI**

TIPOLOGIE (classificazione secondo scheda GNDT chiese)

SUPERFICIE INTERESSATA DEL FRONTE STRADA SUPERFICIE TOTALE

FACCIATA	RIBALTAMENTO DELLA FACCIATA				
	MECCANISMI DELLA SOMMITA'				
	MECCANISMI NEL PIANO DELLA FACCIATA				
	PROTIRO-NARTECE				
	RISPOSTA TRASVERSALE DELL'AULA				
AULA	MECCANISMO DI TAGLIO PARETI LATERALI				
	RISPOSTA LONGITUDINALE DEL COLONNATO				
	VOLTE NAVATA CENTRALE				
	VOLTE NAVATE LATERALI				
	RIBALTAMENTO PARETI DI ESTREMITA'				
TRANSETTO	MECCANISMO DI TAGLIO				
	VOLTE				
ARCO TRIONFALE	ARCHI TRIONFALI				
CUPOLA	CUPOLA-TAMBURO/TIBURIO				
	lanterna				
ABSIDE	RIBALTAMENTO				
	TAGLIO NEL PRESBITERIO E ABSIDE				
	VOLTE DEL PRESBITERIO E ABSIDE				
	COPERTURA-PARETI DELL'AULA				
	COPERTURA-TRANSETTO				
COPERTURA	COPERTURA-ABSIDE O PRESBITERIO				
	RIBALTAMENTO CAPPELLE				
	MECCANISMI DI TAGLIO PARETI CAPPELLE				
CAPPPELLA CORPI ANNESSI	VOLTE DELLE CAPPELLE				
	IRREGOLARITA' PIANO-ALTIMETRICHE				
AGGETTI CAMPANILI	AGGETTI (VELA, GUGLIA, PINNACOLI, STATUE)				
	TORRE CAMPANARIA				
	CELLA CAMPANARIA				

SCHEDA

S.4

CARATTERISTICHE E TIPOLOGIE DEI RINFORZI STRUTTURALI

S4.a

TIPOLOGIE

QUANTITA' N° DI PIANO

PRESIDI ANTISISMICI	CATENE PERIMETRALI				
	CATENE VOLTE/SOLAIO				
	SOLAIO				
	INGHIAVARDATO				
	TETTO INGHIAVARDATO				
	RADICAMENTI				
	CERCHIATURE				
	MURI A SCARPA				

PRESIDI ANTISISMICI

PUNZONAMENTO/

TIRO/SPINTA INEFFICACE	FERRI LISCI	ELEMENTI CORROSI E/O DEGRADATI	ANCORAGGIO INSUFFICIENTE

TIRO
EFFICACE

S4.b

INTERVENTI DI RINFORZO RECENTI

TIPOLOGIE

QUANTITA' N° DI PIANO

INTERVENTI DI RINFORZO RECENTI	SOSTITUZIONE SOLAI		
	CORDOLI		
	MURATURA ARMATA		
	INIEZIONI DI MALTA		

BIBLIOGRAFIA

PARTE 1

IL PANORAMA CULTURALE E L'AMBITO PROGETTUALE DI RIFERIMENTO

SULLA PROGETTAZIONE PARAMETRICA

- BRUSAPORCI S., TRIZIO I., *La "Carta di Londra" e il patrimonio architettonico: riflessioni circa una possibile implementazione*. SCIRES-IT SCientific REsearch and Information Technology. Volume 3, Issue 2, 2013.
- CONTINENZA R., GIANNANGELI A., TRIZIO I., TATA A., *HBIM per il progetto di restauro: l'esempio della chiesa di San Cipriano a Castelvechio Calvisio (L'Aquila)*. Disegnarecon. Vol. 9, n. 16, 2016.
- DENARD H., BAKER D., *Paradata and transparency in virtual heritage*. Routledge Taylor and Francis Group, London, 2016.
- DI LUGGO A., SCANDURRA S., *La traduzione dal modello discreto al modello parametrico per la conoscenza del patrimonio architettonico nei sistemi H-BIM*. Disegnarecon. Volume 9, n. 16, 2016.
- FUSERO P., MASSIMIANO L., TEDESCHI A., Lepiti S., *Urbanistica parametrica: una nuova frontiera delle Smart Cities*. Planum. The Journal of Urbanism. Volume 2, Issue 27, 2013.
- GARAGNANI S., *HBIM nell'esistente storico. Potenzialità e limiti degli strumenti integrati nel recupero edilizio*. INGENIO Sistema integrato di Informazione Tecnica, 36, 2015.
- PAGANI R., CHIESA G. (a cura di), *Urban data. Tecnologie e metodi per la città algoritmica*. Edizioni Franco Angeli, Milano, 2016.
- SALZANO A., MENNA C., ASPRONE D., SERRA M., COSENZA E., *Digitalizzazione del danno sismico di edifici su piattaforma BIM attraverso tecniche di intelligenza artificiale*. INGENIO Sistema integrato di Informazione Tecnica, 2018.
- SCHUMACHER P., *Parametricism as a style-Parametricist Manifesto*. Proceedings of Dark Side Club, Venezia, 2008.
- SPALLONE R., PIANO A., PIANO S., *B.I.M. e beni architettonici: analisi e rappresentazione multi-scalare e multi-dimensionale di un insediamento storico. Il caso studio di Montemagno, Borgo Nuovo piemontese*. Disegnarecon. Volume 9, n. 16, 2016.
- TEDESCHI A., *Architettura parametrica. Introduzione a Grasshopper*. Edizioni Le Penseur, Potenza, 2010.

SUI CENTRI STORICI E IL PAESAGGIO STORICO

- UNESCO, *Proposte relative l'opportunità di uno Strumento Normativo per i Paesaggi Storici Urbani (Conferenza Generale 36 a Sessione Parigi 2011) 36C/23*, 18 agosto 2011.
- ANGELINI G., *Risanamento e recupero dei centri storici: proiezioni territoriali*, in AA.VV., *Atti del convegno: Risanamento e recupero dei centri storici minori del Lazio*. Centro regionale laziale di studi urbanistici, Roma, 1983, p. 37.
- D'ALESSIO G., *I centri storici aspetti giuridici*. Giuffrè editore, Milano, 1983.

Bibliografia

- DI STEFANO R., *Il recupero dei valori: centri storici e monumenti: limiti della conservazione e del restauro*. Edizioni Scientifiche Italiane, Napoli, 1979.
- GORIO F., *Critica dell'idea di "centro storico"*, in *Rassegna di Architettura e Urbanistica*. Edizioni Kappa, Roma, 1980, anno XVI, vol. 46, p. 55.
- MANIERI ELIA M., *Il problema dei centri storici minori del mezzogiorno interno*, in CIARDINI F. FA-LINI P. (a cura di), *I centri storici. Politica urbanistica e programma d'intervento pubblico: Bergamo, Bologna, Brescia, Como, Gubbio, Pesaro, Vicenza*. Editore Mazzotta, Milano, 1978, p. 86.
- PANE R., *Centro storico e centro antico*, in *Napoli nobilissima*. Arte tipografica Napoli, Napoli, 1968, anno VIII, vol. V-VI, pp. 153-157.
- SANFILIPPO E., *Le ragioni del recupero di centri minori meridionali*. Officina, Roma, 1983.

PARTE 2

LO STATO DELL'ARTE PER L'ESTRAPOLAZIONE DI METODI E PARAMETRI PER LA METODOLOGIA PROPOSTA

SULLA VULNERABILITA' SISMICA

METODI DI STIMA

- CONSEIL DE L'EUROPE CAHIERS DU CENTRE EUROPÉEN DE GÉODYNAMIQUE ET DE SÉISMOLOGIE, *European Macroseismic Scale 1998*. Editor G. GRÜNTAL, Luxembourg, 1998.
- BARAZZA F., CARNIEL R., DEL PIN E., DI CECCA M., GRIMAZ S., MARTINI F., MANAROLLA I., RIUSCETTI M., Università di Udine, Progetto Rischio Sismico, Gruppo di Ricerca in Sismologia applicata, Dipartimento di Georisorse e Territorio, 2009.
- DIPARTIMENTO DELLA PROTEZIONE CIVILE, *Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica*, Parte I, paragrafo 1.4 recante "Definizioni", 2008.
- BALBI A., GIOVINAZZI S., LAGOMARSINO S., *Un modello di vulnerabilità per gli edifici nei centri storici*, Proceedings of XI Convegno Nazionale ANIDIS L'ingegneria sismica in Italia, Genova, 25-29 gennaio 2004.
- BERNARDINI A. (a cura di), *La vulnerabilità degli edifici: valutazione a scala nazionale della vulnerabilità sismica degli edifici ordinari*. CNR-GNDT, Roma, 2000.
- BERNARDINI A., *Metodologie macrosismiche per la stima di vulnerabilità sismica di tipologie edilizie e la costruzione di scenari di danno*. Proceedings of AGE Conference 2008 – MESSINA 100 ANNI DOPO, Messina, 2008.
- BRAGA F., DOLCE M. LIBERATORE D., *Southern Italy November 23, 1980 Earthquake: A statistical study on damaged buildings and an ensuing review of the M.S.K.-76 scale*. CNR-PFG, 503. Roma, 1982.
- BRAGA F., DOLCE M. LIBERATORE D., *A statistical study on damaged buildings and an ensuing review of the M.S.K-76 scale*. Proceedings of 7th European Conference on Earthquake Engineering, Athens, pp. 431-450, 1985.
- CORNELL C. A., *Engineering seismic risk analysis*. Bull. Seism. Soc. Am., 58, 1583-1606, 1968.

- CORSANEGO A., PETRINI V., *Seismic Vulnerability of Buildings*. Proceedings of SEISMED 2nd Workshop on Earthquake Vulnerability, Trieste, 1990.
- DOLCE M., *La valutazione della vulnerabilità per le analisi di rischio e gli scenari di danno*. Proceedings of VIII Convegno Nazionale ANIDIS L'Ingegneria Sismica in Italia, Taormina, 1997.
- DOLCE M., KAPPOS A., MASI A., PENELIS G., VONA M., *Vulnerability assessment and earthquake scenarios of the building stock of Potenza (Southern Italy) using Italian and Greek methodologies*. Engineering Structures, 28 (3), 357–371, 2006.
- GIOVINAZZI S., LAGOMARSINO S., *Una metodologia di analisi di vulnerabilità del costruito*. Proceedings of X Convegno Nazionale ANIDIS L'ingegneria sismica in Italia, Genova, 25-29 gennaio 2004;
- WHITMAN R. V., *Damage probability matrices for prototype buildings*. 1973.
- WHITMAN R. V., REED J. W. and HONG S. T. *Earthquake damage probability matrices*. Proceedings of 5th European Conference on Earthquake Engineering, Rome, pp. 25-31, 1973.
- ZUCCARO G. CACACE F., DE GREGORIO D., *Buildings inventory for seismic vulnerability assessment at National and regional scale*. Proceedings of 15th World Conference on Earthquake Engineering, Lisbona, 24- 28 settembre 2012, pp. 1-10, 2012.

VALUTAZIONE DI VULNERABILITA' E ANALISI STRUTTURALE DEI BENI CULTURALI

- EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION, *EN 1998-1: Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance–Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings*. CEN, Brussels, 2004.
- EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION, *EN 1998-3: Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance-Part 3: Assessment and retrofitting of buildings*. CEN, Brussels, 2005.
- EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION, *EN 1990: Eurocode: Basis of structural design*. CEN, Brussels, 2002/A1:2005.
- GRUPPO NAZIONALE PER LA DIFESA DAI TERREMOTI, *Rischio Sismico di Edifici Pubblici, Parte I: Aspetti Metodologici*. Tipografia Moderna, Bologna, 1993.
- MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI, *Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni*. D.M. 14 gennaio 2008, S.O. n. 30 alla Gazzetta Ufficiale n. 29 del 4 febbraio 2008.
- MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI, *Circolare n. 617. Istruzioni per l'applicazione delle «Nuove norme tecniche per le costruzioni» di cui al D.M. 14 gennaio 2008*. S.O. n. 27 alla Gazzetta Ufficiale n. 47 del 26 febbraio 2009.
- MINISTERO PER I BENI E LE ATTIVITÀ CULTURALI, *Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale allineate alle nuove Norme tecniche per le costruzioni (d.m. 14 gennaio 2008)*. 2 dicembre 2010.
- MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI, *Decreto Sismabonus*, D.M. 58 del 28 febbraio 2017.
- PRESIDENZA DEL CONSIGLIO DEI MINISTRI- DIPARTIMENTO DELLA PROTEZIONE CIVILE, PAPA S., DI PASQUALE G. (a cura di), *Manuale per la compilazione della scheda per il rilievo del danno ai beni culturali Chiese MODELLO A-DC*, [Il modello è quello allegato al D.P.C.M. 23/02/2006, che è stato poi ripubblicato nell'Allegato I alla Dir. Min. Beni e Att. Culturali 12/12/2013 e, successivamente, inserito nella Dir.

Bibliografia

- Min. Beni e Att. Culturali 23/04/2015. D.P.C.M. del 13 marzo 2013: approvazione del manuale per compilare la scheda di rilievo del danno ai beni culturali].
- ORDINANZA DEL PRESIDENTE DEL CONSIGLIO DEI MINISTRI n. 3431 del 3/5/05, *Ulteriori modifiche ed integrazioni all'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n.3274 del 20 marzo 2003 recante "Primi elementi in materia di criteri per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica"*
 - PRESIDENZA DEL CONSIGLIO DEI MINISTRI-DIPARTIMENTO DELLA PROTEZIONE CIVILE, *Manuale per la compilazione della scheda di 1° livello di rilevamento danno, pronto intervento e agibilità per edifici ordinari nell'emergenza post-sismica (AeDES)*. 2014.
 - REGIONE AUTONOMA FRIULI VENEZIA-GIULIA, *DT2-Raccomandazioni per la riparazione strutturale degli edifici in muratura*, 1978.
 - AA.VV., *Recupero edilizio e prevenzione sismica. Regolamento edilizio tipo, repertorio degli elementi ricorrenti, norme per la prevenzione sismica*. D.E.I. Tipografia del Genio Civile, Roma, 2004.
 - BERNARDINI A., LAGOMARSINO S., *The seismic vulnerability of architectural heritage*. Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Structures & Buildings, 161, pp. 171–181, 2008.
 - BINDA L., SAISI A., TIRABOSCHI C., *Investigation procedures for the diagnosis of historic masonries*. Construction and Building Materials, 14(4), 199–233, 2000.
 - CIFANI G., LEMME A., PODESTÀ S. (a cura di), *Beni monumentali e terremoto dall'emergenza alla ricostruzione*. D.E.I. Tipografia del Genio Civile, Roma, 2005.
 - COCINA S., LAGOMARSINO S., PODESTÀ S., *Analisi di vulnerabilità della facciata nelle chiese di Catania*. Proceedings of IX Convegno Nazionale L'ingegneria sismica in Italia, Torino 20-23 settembre 1999.
 - D'AYALA D. F., PAGANONI S., *Assessment and analysis of damage in L'Aquila historic city centre after 6th April 2009*. Bulletin of Earthquake Engineering, 9, 81–104, 2011.
 - FORMISANO A., *Theoretical and Numerical Seismic Analysis of Masonry Building Aggregates: Case Studies in San Pio delle Camere (L'Aquila, Italy)*. Journal of Earthquake Engineering, 0,1–19, 2016.
 - GATTASCO N., *Edifici in muratura: comportamento sismico*. cspfea, 2008.
 - LAGOMARSINO S., *Damage survey of ancient churches: the Umbria-Marche experience in BERNARDINI A. (a cura di), Seismic Damage to Masonry Buildings*. Proceeding of the International Workshop on Measures of seismic damage to masonry buildings, Monselice, Padova, Italy, June 25-26 1998.
 - LAGOMARSINO S., BRUN S., GIOVINAZZI S., IDRI C., PENNA A., PODESTÀ S., RESEMINI S., ROSSI B., *Modelli di calcolo per il miglioramento sismico delle chiese*. Proceedings of IX Convegno Nazionale L'ingegneria sismica in Italia, Torino 20-23 settembre 1999.
 - LAGOMARSINO S., PODESTÀ S., *Metodologie per l'analisi di vulnerabilità delle chiese*. Proceedings of IX Convegno Nazionale L'ingegneria sismica in Italia, Torino 20-23 settembre 1999.
 - MAGENES G., BOLOGNINI D., BRAGGIO C. (a cura di), *Metodi semplificati per l'analisi sismica non lineare di edifici in muratura*, CNR-Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti, Roma, 2000.

- MILANI G., *Lesson learned after the Emilia-Romagna, Italy, 20–29 May 2012 earthquakes: a limit analysis insight on three masonry churches*. Engineering Failure Analysis 34, 761–778, 2013.
- MOCHI G., PREDARI G., *La Vulnerabilità sismica degli aggregati edilizi*. EdicomEdizioni, Monfalcone, 2016.
- MUNARI M., DA PORTO F., BARTOLOZZI A., MOCELLINI M., VALDESOLO A., MODENA C., *Analisi di vulnerabilità sismica e interventi di miglioramento strutturale di un aggregato nel centro storico di L'Aquila*. Proceedings of XIV Convegno ANIDIS L'Ingegneria Sismica in Italia, 2011.
- PENNA A., MORANDI P., ROTA M., MANZINI C. F., DA PORTO F., MAGENES G., *Performance of masonry buildings during the Emilia 2012 earthquake*. Bulletin of Earthquake Engineering 5, 2255–2273, 2014.
- RICCI, P., DE LUCA, F. VERDERAME G. M., *6th April 2009 L'Aquila earthquake, Italy: reinforced concrete building performance*. Bulletin of Earthquake Engineering 9, 285–305, 2011.
- ROSSETTO, T., PEIRIS, N., ALARCON, J. E., SO, E., SARGEANT, S., FREE, M., SWORD-DANIELS, V., DEL RE, D., LIBBERTON, C., VERRUCCI, E., SAMMONDS, P. FAURE WALKER, J., *Field observations from the Aquila, Italy earthquake of April 6, 2009*. Bulletin of Earthquake Engineering 5, 11–33, 2011.
- TOMAŽEVIC, M., *The computer program POR*, Report ZRMK, 1978.
- TOMAŽEVIC M., WEISS P., *A rational, experimentally based method for the verification of earthquake resistance of masonry buildings*. Proceedings of the 4th U.S. National Conference on Earthquake Engineering, Palm Springs, Vol. 2, 1990, pp. 349-359.
- VINCI M., *Metodi di calcolo e tecniche di consolidamento per edifici in muratura. Analisi- Esempi di calcolo- Particolari costruttivi*. Dario Flaccovio Editore, Palermo, 2012.

VULNERABILITA' URBANA DEI CENTRI STORICI

- AA. VV., *Censimento di vulnerabilità a campione dell'edilizia corrente dei Centri abitati nelle regioni Abruzzo, Basilicata, Calabria, Campania, Molise, Puglia e Sicilia, Progetto per la rilevazione della vulnerabilità del patrimonio edilizio a rischio sismico e di formazione di tecnici per l'attività di prevenzione sismica connessa alle politiche di mitigazione del rischio nelle regioni dell'Italia meridionale*. Roma, 2000.
- GRUPPO DI LAVORO ISTITUITO CON NOTA DEL PRESIDENTE DEL CONSIGLIO SUPERIORE DEI LAVORI PUBBLICI N. 7547 DEL 6.9.2010, *Studio propedeutico all'elaborazione di strumenti d'indirizzo per l'applicazione della normativa sismica agli insediamenti storici*. 20.04.2012.
- INGV/GNDT - GRUPPO NAZIONALE PER LA DIFESA DAI TERREMOTI, PROTEZIONE CIVILE, ITC, *Progetto: SAVE - Strumenti Aggiornati per la Vulnerabilità sismica del patrimonio Edilizio e dei sistemi urbani_ Inventario e vulnerabilità degli edifici pubblici e strategici dell'Italia centro-meridionale*. Roma, 2004.
- PROTEZIONE CIVILE, RELUIS (Coordinatori: LAGOMARSINO S., MAGENES G., MODENA C.), *Valutazione della vulnerabilità di edifici in muratura, centri storici e beni culturali*.

Bibliografia

- REGIONE EMILIA-ROMAGNA-COMUNE DI FORLÌ, *Progetto di sviluppo del sistema di analisi, valutazione e riduzione dell'esposizione e della vulnerabilità sismica dei sistemi urbani nel centro storico*. 2007.
- REGIONE EMILIA-ROMAGNA DIREZIONE GENERALE PROGRAMMAZIONE TERRITORIALE E SISTEMI DI MOBILITA' SERVIZIO RIQUALIFICAZIONE URBANA, *Analisi, valutazione e riduzione dell'esposizione e della vulnerabilità sismica dei sistemi urbani nei piani urbanistici attuativi*. Bologna, 2004.
- REGIONE EMILIA-ROMAGNA DIREZIONE GENERALE PROGRAMMAZIONE TERRITORIALE E SISTEMI DI MOBILITA' SERVIZIO RIQUALIFICAZIONE URBANA, CREMONINI I. (a cura di), *Analisi preliminare e valutazione dell'esposizione e vulnerabilità sismica dei sistemi urbani. Scheda di analisi. Istruzioni per la valutazione*. Bologna, 1999.
- BORRI A., DE MARIA A., *Un protocollo metodologico per la certificazione sismica degli edifici e le sue possibili applicazioni per la stima della vulnerabilità urbana*. INGENIO Sistema integrato di Informazione Tecnica, 11, aprile 2013.
- BRAMERINI F., CAVINATO G. P., FABIETTI V. (a cura di), *Strategie di mitigazione del rischio sismico e pianificazione. Cle: condizione limite per l'emergenza*. Dossier Urbanistica, 130, INU edizioni, 2013.
- CAROCCI C., CERADINI V., PANZETTA M., CREMONINI I., MAZZOTTI P., SMARGIASSO M., *Recupero e riduzione della vulnerabilità dei centri storici danneggiati dal sisma del 1997: rassegna ragionata dei programmi di recupero post sisma: attività di ricerca promossa dal Comitato tecnico scientifico per la ricostruzione post sisma nelle Marche*. Regione Marche, Ancona, 2004.
- CASTELLUCCIO R. (a cura di), *Studio degli scenari di rischio a supporto del Piano di Protezione Civile del Comune di Pozzuoli*. Doppiovoce, Napoli, 2017.
- CASTELLUCCIO R., *Il costruito come fattore di rischio urbano*, in Techne, Firenze University Press, Firenze, 2018, n°15, pp. 219-227.
- CASTELLUCCIO R., PASCALE F., FUMO M., POLVERINO F., *Innovative methods on territorial vulnerability study for the preparation of emergency plans*, in TEMA, ArTec Editor, Ancona, 2016, Vol. 2, n° 2, pp. 62-71.
- CHERUBINI A., DI PASQUALE G., DOLCE M., MARTINELLI A., *Vulnerability assessment from quick survey data in the historic centre of Catania. THE CATANIA PROJECT*. GNDT, Roma, 1999.
- CHERUBINI A., CORAZZA L., DI PASQUALE G., DOLCE M., MARTINELLI A., PETRINI V., *Censimento di vulnerabilità degli edifici pubblici, strategici e speciali nelle regioni Abruzzo, Basilicata, Calabria, Campania, Molise, Puglia e Sicilia*. Dipartimento della Protezione Civile, Roma, 1999.
- CHERUBINI A., DI PASQUALE G., DOLCE M., MARTINELLI A., *Censimento relativo alle emergenze a carattere monumentale e ambientale nei Comuni ricadenti all'interno di Parchi naturali nazionali e regionali*. Dipartimento della Protezione Civile, Roma, 2001.
- CHERUBINI A., DI PASQUALE G., DOLCE M., MARTINELLI A., *Censimento relativo alle emergenze a carattere monumentale e ambientale nei Comuni ricadenti in tutto e in parte all'interno di Parchi naturali nazionali e regionali*. Dipartimento della Protezione Civile, Roma, 2001.
- CREMONINI I. (a cura di), *Rischio sismico e pianificazione nei centri storici*. Alinea, Firenze, 1994.

- CREMONINI I., *La vulnerabilità dei sistemi urbani. Conoscere e valutare per poter ridurre*. INGENIO Sistema integrato di Informazione Tecnica, 29, gennaio 2015.
- D'AMICO A., CURRÀ E., *Resilienza urbana dei centri storici italiani. Strategie di pianificazione preventiva*, in *Techne*, Firenze University Press, Firenze, 2018, n°15, pp. 257-268.
- FABIETTI W. (a cura di), *Vulnerabilità e trasformazione dello spazio urbano*. Alinea, Firenze, 1999.
- GIUFFRÈ A. (a cura di), *Sicurezza e conservazione dei centri storici. Il caso di Ortigia*. Edizioni Laterza, Bari, 2003.
- GIUFFRÈ A., CAROCCI C., *Codice di pratica per la Sicurezza e Conservazione del centro storico di Palermo*. Laterza, Bari, 1999.
- GIUFFRÈ A., CAROCCI C., *Codice di pratica per la Sicurezza e Conservazione dei Sassi di Matera*. Edizioni La Bauta, Matera, 1997.
- GIUFFRÈ A., CERADINI V., *Vulnerabilità e conservazione nel quartiere della Graziella in Ortigia*. Edizioni Laterza, Bari, 1993.
- GIUFFRÈ A., ZAMPILLI M., PUGLIANO A., *Centri storici in zona sismica. Analisi tipologica della danneggiabilità e tecniche di intervento conservativo: Castelvetero sul Calore*. Università di Roma La Sapienza, Roma, 1988.
- LAGOMARSINO S., MAGENES G., MODENA C., *Evaluation of the vulnerability of masonry buildings, historical centres, cultural heritage*, in MANFREDI G., DOLCE M., (a cura di), *The state of Earthquake Engineering Research in Italy; the ReLUIS-DPC 2010-2013 Project*. Doppiaoce, Napoli, 2015.
- MARINO F., MORETTI A., *La conservazione del patrimonio architettonico: buone pratiche per l'analisi di vulnerabilità sismica e del debito manutentivo: definizione di metodi operativi per il rilevamento e il controllo della vulnerabilità sismica e delle condizioni manutentive del patrimonio architettonico: attività di ricerca promosso dal Comitato Tecnico Scientifico per la ricostruzione post sisma nelle Marche*. Regione Marche, Ancona, 2007.
- SAMELA C., MASI A., CHIAUZZI L., TOSCO L., VONA M., *Valutazione della vulnerabilità sismica del patrimonio edilizio privato della Regione Basilicata sulla base del database Istat 2001 e di dati di rilievo*. Proceedings of the GNGTS-28° Convegno Nazionale, Trieste 16-19 novembre 2009.
- SAMELA C., MASI A., CHIAUZZI L., TOSCO L., VONA M., *Analisi delle caratteristiche tipologiche e valutazione della vulnerabilità sismica del patrimonio edilizio privato della regione Basilicata*. Proceedings of XIII Convegno Nazionale ANIDIS L'Ingegneria Sismica in Italia, Bologna, 28 giugno-2 luglio 2009.
- ZUCCARO G., CACACE F., DE GREGORIO D., *Buildings inventory for seismic vulnerability assessment at National and regional scale*. Proceedings of 15th World Conference on Earthquake Engineering, Lisbona, 24-28 settembre 2012, pp. 1-10, 2012.
- ZUCCARO G., *Territorial seismic risk assessment*, in MANFREDI G., DOLCE M., (a cura di), *The state of Earthquake Engineering Research in Italy; the ReLUIS-DPC 2010-2013 Project*. Doppiaoce, Napoli, 2015.

SUI TERREMOTI STORICI E MODERNI

- MINISTERO DEI LAVORI PUBBLICI-DIREZIONE GENERALE DEI SERVIZI SPECIALI, *L'opera del Ministero dei Lavori Pubblici nei comuni colpiti dal terremoto del 28 dicembre 1908*. Tipografia dell'Unione editrice, 1912.
- R.D. 18 aprile 1909 n.193, *portante norme tecniche ed igieniche obbligatorie per le riparazioni ricostruzioni e nuove costruzioni degli edifici pubblici e privati nei luoghi colpiti dal terremoto del 28 dicembre 1908 e da altri precedenti elencati nel R.D. 15 aprile 1909 e ne designa i Comuni*.
- BORRI A (a cura di), *La stabilità delle grandi statue: il David di Michelangelo*. Editore DEI, Roma, 2005.
- BORRI A., *Valutazione del comportamento statico e sismico della Galleria Nazionale dell'Umbria a Perugia*. Università degli Studi di Perugia. Dipartimento di Ingegneria. Convenzione Rep. n. 21/2011 del 26/10/2011.
- BOSSI M. B., *La Basilica di San Bernardino all'Aquila. Cronaca della messa in sicurezza e del restauro del tamburo e della chiesa*. Verdone Editore, Castelli Te, 2012.
- CENTOFANTI M., *L'Aquila 1753- 1983 il restauro della città*, Edizioni Libreria Colacchi. L'Aquila, 1984.
- CIRANNA S., MONTUORI P., *Avezzano, la Marsica e il circondario a cento anni dal sisma del 1905*. Consiglio Regionale dell'Abruzzo, 2015.
- D'AYALA D. F., PAGANONI S., *Assessment and analysis of damage in L'Aquila historic city centre after 6th April 2009*. Bulletin of Earthquake Engineering, 9, 81–104, 2011.
- FRANÇA J. A., *Una città dell'illuminismo. La Lisbona del marchese di Pombal*. Roma, 1972.
- GIANNANTONIO O., *La Città di Cosenza immune dai tristi effetti del terremoto, la piccola* Tipografia della Provvidenza. Catanzaro, 1912.
- GROS P. (a cura di), VITRUVIO POLLIONE M., *De Architectura*. Giulio Einaudi Editore, Torino, 1997.
- MILANI G., *Lesson learned after the Emilia-Romagna, Italy, 20–29 May 2012 earthquakes: a limit analysis insight on three masonry churches*. Engineering Failure Analysis 34, 761–778, 2013.
- NACCARATO S., *Cosenza nel terremoto del 1638*. tip. SATEM, Cosenza, 1977.
- NIGLIO O., *La casa baraccata nella storia dell'architettura antisismica. L'esperienza calabrese dopo il terremoto del 1783*, in PARDUCCI A., *L'evoluzione delle concezioni antisismiche fra inerzie e incomprensioni. Dalle case baraccate del periodo borbonico alle nuove tecniche dell'Isolamento Sismico*. Quaderni di Ingegneria dell'Università degli Studi ecampus, Città di Castello, 2009.
- ODDONE E., *Gli elementi fisici del grande terremoto marsicano-fucense del 13 gennaio 1915*. Boll. Soc. Sismol. It., n. 19, pp. 71-216, 1915.
- PENNA A., MORANDI P., ROTA M., MANZINI C. F., *Da Porto F., Magenes G., Performance of masonry buildings during the Emilia 2012 earthquake*. Bulletin of Earthquake Engineering 5, 2255–2273, 2014.
- PLINIO SECONDO G., *Naturalis Historia*.
- RICCI, P., DE LUCA, F. VERDERAME G. M., *6th April 2009 L'Aquila earthquake, Italy: reinforced concrete building performance*. Bulletin of Earthquake Engineering 9, 285–305, 2011.

- ROSSA W., *Il terremoto del 1755: una città sotto il segno della ragione*. Rassegna. Editrice CIPIA, Bologna, 1994, n°59, vol. XVI.
- RUSSO S. (a cura di), *Storia di Foggia in età moderna*. Edipuglia, Bari, 1992.
- VIVENZIO G., *Istoria e teoria de' tremuoti in generale ed in particolare di quelli della Calabria e di Messina del MDCCLXXXIII*. Stamperia Regale, Napoli, 1783.

SULLA CONOSCENZA DEGLI AMBITI STORICI

SULLE TIPOLOGIE URBANE E EDILIZIE

- AUGENTI A. (a cura di), *Le città italiane tra la tarda antichità e l'alto Medioevo*. Edizioni all'Insegna del Giglio, Firenze, 2006.
- BARBIANI A. (a cura di), *La piazza storica italiana-Analisi di un sistema complesso*, Marilio, Venezia, 1992.
- BENEVOLO L., *Storia della città*. Laterza, Roma, 1975.
- BORDONE R., *La società urbana nell'Italia comunale (secoli XI-XIV)*. Loescher, Torino, 1984.
- BROGIOLO G.P., GELICHI S. (a cura di), *La città nell'alto Medioevo italiano*. Archeologia e storia. Laterza, Bari, 1998.
- CANIGGIA G., MAFFEI G. L., *Lettura dell'edilizia di base*. Alinea Editrice, Città di Castello, 2008.
- CANIGGIA G., MAFFEI G. L., *Il progetto nell'edilizia di base*. Marsilio, Venezia, 1987.
- CANONACO B., *Caratteri architettonici e costruttivi del palazzo signorile del XV e XVII secolo nell'Italia meridionale*, in D'AGOSTINO S. (a cura di), *Proceedings of Convegno Nazionale Storia dell'Ingegneria*. Cuzzolin editore, Napoli, 2012.
- CAPPUCCITTI A., *Tessuti e centralità nella morfologia urbana di Roma*. Aracne, Roma, 2006.
- GALETTI P., *Abitare nel Medioevo. Forme e vicende dell'insediamento rurale nell'Italia altomedievale*. Le lettere, Firenze, 1997.
- GALETTI P. (a cura di), *Edilizia residenziale tra IX-X secolo. Storia e archeologia*. All'insegna del giglio, Firenze, 2010.
- GUIDONI E., *La città dal Medioevo al Rinascimento*. Laterza, Bari, 1985.
- GUIDONI E., *L'arte di progettare le città: Italia e Mediterraneo dal Medioevo al Settecento*. Kappa, Roma, 1992.
- GUIDONI E., *Storia dell'urbanistica: il Medioevo, secoli 6-12*. Laterza, Bari, 1991.
- MURATORI S., *Civiltà e territorio*. Ist. di Metod. Arch., Roma, 1966.
- PICCINATO L., *Urbanistica medievale*. Dedalo, Bari, 1978 (prima edizione Firenze 1943).
- SITTE C., *L'arte di costruire la città*. Vallardi, Milano, 1953.
- STRAPPA G., *Unità dell'organismo architettonico. Note sulla formazione e trasformazione dei caratteri degli edifici*. Dedalo, Bari, 1995.
- STRAPPA G., *L'architettura come processo. Il mondo plastico murario in divenire*. Franco Angeli, Milano, 2015.

SUI MATERIALI E TECNICHE COSTRUTTIVE STORICI

SULLE TECNICHE MURARIE

- MINISTERO PER I BENI E LE ATTIVITÀ CULTURALI, ICCD-ISTITUTO CENTRALE PER IL CATALOGO E LA DOCUMENTAZIONE, *Criteri di descrizione delle tecniche murarie per la predisposizione di moduli schedografici codificati: ricognizione bibliografica*.
- INGV, *Modello di caratterizzazione tipologica a scala nazionale*.
- BORRI A. (Direttore scientifico), DONÀ C., DE MARIA A. (a cura di), *Manuale delle murature storiche*. D.E.I. Tipografia del Genio Civile, Roma, 2011.
- BORRI A., DE MARIA A., *Comportamento a taglio delle murature esistenti: esperienze e sperimentazioni anche alla luce del sisma in Emilia*. INGENIO Sistema integrato di Informazione Tecnica, 6, settembre 2012.

SUL LEGNO

- CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE, *Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo delle Strutture di Legno*. 2018.
- UNI EN 338:2016 *Legno strutturale-Classi di resistenza*. 2016.
- UNI 11035-2, *Legno strutturale - Regole per la classificazione a vista secondo la resistenza e i valori caratteristici per i tipi di legname strutturale italiani*. 2010.
- UNI 11118, *Beni culturali. Manufatti lignei. Criteri per l'identificazione delle specie legnose*. 2004.
- UNI 11119, *Beni culturali. Manufatti lignei. Strutture portanti degli edifici - Ispezione in situ per la diagnosi degli elementi in opera*. 2004.

SULL'ACCIAIO

- ENTE NAZIONALE ITALIANO DI UNIFICAZIONE, *UNI 5679-Prodotti finiti di acciaio laminati a caldo. Travi IPN. Dimensioni e tolleranze*. Milano, Italia, 1973.
- EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION, *UNI EN 10024: Travi ad I ad ali inclinate laminate a caldo. Tolleranze dimensionali e di forma*. 1996.
- VERDERAME G. M. STELLA A., COSENZA E., *Mechanical properties of reinforcing steel adopted in R.C. structures in the age '60 (in Italian)*. Proceedings of the National ANIDIS Conference: Seismic Engineering in Italy, ANIDIS, Pisa, pp. 9-13, 2001.

SULLE TECNICHE DI CONSOLIDAMENTO TRADIZIONALI E INNOVATIVE

- CECAMORE S., *La ricostruzione aquilana, antichi e nuovi presidi*, in AA. VV: ArchHistoR: Architettura Storia Restauro. Università di Reggio Calabria, 4, 134- 151, 2015.
- D'ANTONIO M., *Ita terrae motus damna impedire. Note sulle tecniche antisismiche storiche in Abruzzo*. Carsa Edizioni, Pescara, 2013.
- CANGI G., *Tecniche antisismiche nell'antichità*, in Centroni A., Filetici M.G., *Attualità delle aree archeologiche–Esperienze e proposte*. Pubblicazione atti del VII Convegno Nazionale ARCo 2013, Cangemi Editore, Roma, 2014.

- JURINA L., *Tecniche innovative nel consolidamento di capriate e solai in legno*. Proceedings of Internazionale C.I.A.S. Evoluzione nella sperimentazione per le costruzioni, Crociera sul Mediterraneo, 26 settembre-3 ottobre 2004.
- LOMBARDO S., CHIOFALO T., *Manuale del rinforzo strutturale. Guida all'adeguamento sismico con sistemi compositi e tecniche tradizionali*. Dario Flaccovio Editore, Palermo, 2014.
- MARNETTO R., VARI A., LEONORI M., *Il sistema CAM. Cuciture Attive dei Manufatti*. Edizioni PRE progetti, Roma, 2014.
- PETRELLA G. *Le cave di Poggio Pienze (AQ). Appunti dalle ricognizioni*. In AA. VV., Archeologia Postmedievale. Società. Ambiente. Produzione. All'insegna del Giglio, Firenze, 13, 283-296, 2009.
- REDI F., *Materiali, tecniche e cantieri: primi dati dal territorio aquilano*, in PEDUTO P., FIORILLO R. III Congresso nazionale di archeologia medievale. All'insegna del Giglio, Firenze, 13, 1-7, 2003.
- VINCI M., *Metodi di calcolo e tecniche di consolidamento per edifici in muratura. Analisi- Esempi di calcolo- Particolari costruttivi*. Dario Flaccovio Editore, Palermo, 2012.
- AVETA A., *Consolidamento e restauro delle strutture in legno. Tipologia-Dissesti-Diagnostica-Interventi*. Dario Flaccovio Editore, Palermo, 2013.

SULLE FIBRE

- AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, ACI 440R-96. *State-of-the-art report on fiber reinforced plastic (FRP) reinforcement for concrete structures*. 1996.
- CNR DT204-2006 *Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo di Strutture di Calcestruzzo Fibrorinforzato*. Roma.
- AUGENTI N., PARISI F., PROTA A., MANFREDI G., *In-Plane Lateral Response of a Full-Scale Masonry Subassemblage with and without an Inorganic Matrix-Grid Strengthening System*. J. Compos. Constr. 15, 578-590, 2011.
- BENCARDINO F., CONDELLO A., *SRG/SRP-concrete bond-slip laws for externally strengthened RC beams*. Composite Structures, 32, 804-805, 2015.
- BENCARDINO F., CONDELLO A., *Reliability and adaptability of the analytical models proposed for the FRP systems to the Steel Reinforced Polymer and Steel Reinforced Grout strengthening systems*. Composites Part B: Engineering, 76, 249-259, 2015.
- BENCARDINO F., CONDELLO A., *Eco-friendly external strengthening system for existing reinforced concrete beams*. Composites Part B: Engineering, 93, 163-173, 2016.
- BENCARDINO F., CONDELLO A., CASTIGLIONE F., *An Innovative Solution for the Structural Consolidation of RC Modern Cultural Heritage*. International Journal of Architectural Heritage Conservation, Analysis, and Restoration, 11, 829-842, 2017.
- CARLONI C., SUBRAMANIAM K. V., ASCE M., *FRP-Masonry Debonding Numerical and Experimental Study of the Role of Mortar Joints*. J. Compos. Constr., 16, 581-589, 2012.
- CASTEL A., FOSTER S. J., *Bond strength between blended slag and Class F fly ash geopolymer concrete with steel reinforcement*. Cement and Concrete Research, 72, 48-53, 2015.

Bibliografia

- D'AMBRISI A., FEO L., FOCACCI F., *Experimental and analytical investigation on bond between Carbon-FRCM materials and masonry*. Composites: Part B, 46, 15–20, 2013.
- D'AMBRISI A., FOCACCI F., *Flexural Strengthening of RC Beams with Cement-Based Composites*. American Society of Civil Engineers, 2011.
- DE SANTIS S., DE FELICE G., NAPOLI A., REALFONZO R., *Strengthening of structures with Steel Reinforced Polymers: A state of the art review*. Composites Part B, 104, 87-110, 2016.
- DI TOMMASO A, FOCACCI F, MANTEGAZZA G., *PBO-FRCM composites to strengthen RC beams: mechanics of adhesion and efficiency*. Proceedings of the international conference on FRP composites in civil engineering; CICE2008: Zurich, 22–24, 2008.
- GIANNANTONI A., BORRI A., CASTORI G., GRAZINI A., *Compositi SRP/SRG: caratteristiche, sperimentazione e applicazioni*. Costruire in Laterizio, 117, maggio-giugno 2006.
- GIANNANTONI A., BORRI A., CASTORI G., GRAZINI A., *Miglioramento di un edificio storico con nastri SRG pretensionati*. Proceedings of XII Convegno Nazionale L'ingegneria Sismica in Italia, ANIDIS, Pisa, 10-14, giugno 2007.
- KEN P. W., RAMLI M., BAN C. C., *An overview on the influence of various factors on the properties of geopolymers derived from industrial by-products*. Construction and Building Materials, 77, 370–395, 2015.
- KOLSCH H., *Carbon fiber cement matrix overlay system for masonry strengthening*. J Compos Constr., 2, 105–109, 1998.
- LIGNOLA G. P., PROTA A., MANFREDI G., *Nonlinear Analyses of Tuff Masonry Walls Strengthened with Cementitious Matrix-Grid Composites*. J. Compos. Constr., 13, 243-251, 2009.
- OMBRES L., *Structural performance of reinforced concrete beams strengthened with PBO Fibre Reinforced Cementitious Mortars (FRCM)*. Proceedings of the international conference on concrete solutions; concrete solutions-grantham, Taylor & Francis, 363–7, 2009.
- OMBRES L., *Flexural analysis of reinforced concrete beams strengthened with a cement based high strength composite material*. Composite Structures, 94, 143–155, 2011.
- OMBRES L., *Debonding analysis of reinforced concrete beams strengthened with fibre reinforced cementitious mortar*. Engineering Fracture Mechanics, 81, 94–109, 2012.
- PAPANICOLAOU C. G., TRIANTAFILLOU T. C., PAPATHANASIOU K. K. M., *Textile-reinforced mortar (TRM) versus FRP as strengthening material of URM walls: in-plane cyclic loading*. Materials and Structures, 40, 1081–1097, 2007.
- PARISI F., IOVINELLA I., BALSAMO A., AUGENTI N., PROTA A., *In-plane behavior of tuff masonry strengthened with inorganic matrix-grid composites*. Composites Part B: Engineering, 45, 1657-1666, 2012.
- PARISI F, LIGNOLA GP, AUGENTI N, PROTA A, MANFREDI G., *Nonlinear behavior of a masonry subassemblage before and after strengthening with inorganic matrix-grid composites*. J Compos Constr.,15, 821–832, 2011.

- PROTA A., MARCARI G., FABBROCINO G., MANFREDI G., CALDEA C., *Experimental in-plane behavior of tuff masonry strengthened with cementitious matrix-grid composites*. J. Compos. Constr., 10, 223–233, 2006.
- TRIANTAFILLOU T. C., *Strengthening of masonry structures using epoxy bonded FRP laminates*. Journal of composites for construction, 2(2), 96-104, 1998.
- VALLUZZI M. R., *Il recupero delle strutture murarie: problemi e proposte*. Bioedilizia.
- WU H. C., ASCE M., SUN P., TENG J., *Development of Fiber-Reinforced Cement-Based Composite Sheets for Structural Retrofit*. Journal of Materials in Civil Engineering, 22, 572-579, 2010.

PARTE 3

LA PROCEDURA METODOLOGICA PROPOSTA: APPROCCIO SPEDITIVO-SEMIQUANTITATIVO PER LA DEFINIZIONE DI UN INDICE DI VULNERABILITA' COMPLESSIVO DEI NUCLEI CONSOLIDATI

SUL CENTRO STORICO DI COSENZA

- A.S.CS., *Atti Notarili*.
- ANONIMO, *Cronaca del Bosco*, manoscritto.
- AGGARBATI F. (a cura di), *Corso Telesio nel centro antico di Cosenza*. Le Nuvole, Cosenza, 2002.
- ANDREOTTI D., *Storia dei Cosentini*. Casa del Libro, Cosenza, 1958.
- CAVALCANTI G., *Cosenza di una volta*. Alfa Congres, Cosenza, 1991.
- CANONACO B. (a cura di), *Note sull'architettura civile in Calabria: il palazzo del Contestabile Ciaccio a Cosenza*. Aracne Editrice, Roma, 2012.
- CELANI G., DE MARCO G., *La città di Telesio*. Edizioni Mapograf, Cosenza, 1990.
- DE MARCO G., *Cosenza cinquecentesca nella carta della Biblioteca Angelica*. Due Emme, Cosenza, 1992.
- DE SANCTIS A., *Cosenza 1584-1962: evoluzione e figuratività dello spazio costruito*. Pellegrini, Cosenza, 1996.
- DE SANCTIS A. (a cura di), *Lo spazio urbano nel centro antico di Cosenza*. Centro Editoriale e Librario, Università della Calabria, 2002.
- DE SANCTIS A. (a cura di), *Lo spazio urbano come tema-II caso studio del centro antico di Cosenza*. Gangemi, Roma, 2004.
- DE SANCTIS A., *Monasteri di Cosenza, fabbriche complesse per un sistema informativo*. Centro editoriale e librario, Università della Calabria, Cosenza, 2005.
- DE SANCTIS A. (a cura di), *Via Giostra Vecchia*. Rubbettino Editore, Soveria Mannelli, 2006.
- FIORE G., *Della Calabria illustrata*. Sala Bolognese, Forni, 1980.
- MINICUCCI C., *Cosenza Sacra: notizie storiche sulle chiese e confraternite sui conventi e monasteri della città di Cosenza, cronaca dei vescovi ed arcivescovi della chiesa cosentina*. Edizioni Chiappetta, Cosenza, 1933.
- RUBINO G. E., TETI M. A., *Cosenza*. Editori Laterza, Roma, 1997.
- RUSSO F., *Regesto vaticano per la Calabria*. Gesaldi, Roma.

Bibliografia

- RUSSO F., *Storia dell'arcidiocesi di Cosenza*. Editrice Rinascita Artistica, Napoli, 1958.
- RUSSO F., *Storia della chiesa di Calabria*. Rubbettino, Soveria Mannelli, 1882.
- STANCATI E., *Cosenza nei suoi quartieri*. Pellegrini editori, Cosenza, 2007.
- STANCATI E., *Cosenza toponomastica e monumenti*. Brenner, Cosenza, 1979.
- TERZI F., *Cosenza medioevo e rinascimento*. Pellegrini editori, Cosenza, 2014.
- VALENTE G., *La Calabria dell'Abate Pacichelli*. Edizioni Effe-Emme, Chiaravalle Centrale, 1977.
- VALTIERI S., *Storia della Calabria. Le cattedrali*. Gangemi, Roma, 2002.