

LINEE GUIDA PER IL RILIEVO, L'ANALISI ED IL PROGETTO DI INTERVENTI DI RIPARAZIONE E RAFFORZAMENTO/MIGLIORAMENTO DI EDIFICI IN AGGREGATO

Dipartimento Protezione Civile



ReLUIS



**Ufficio del Vice-Commissario Delegato per la
Messa in Sicurezza dei Beni Culturali**

Struttura Tecnica di Missione

BOZZA – Maggio 2010

Versione 1 (include i Capitoli 1 e 2 e l'Appendice A)

| | | |
|----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. | Introduzione | 3 |
| 1.1. | Riferimenti tecnici e normativi | 4 |
| 1.2. | Inquadramento dell'aggregato e valutazioni preliminari | 5 |
| 2. | Conoscenza del manufatto | 7 |
| 2.1. | Identificazione dell'aggregato: contesto ambientale ed urbano | 8 |
| 2.2. | Ipotesi sulla formazione ed evoluzione dell'aggregato..... | 8 |
| 2.3. | Rilievo geometrico | 9 |
| 2.4. | Rilievo costruttivo-strutturale | 11 |
| 2.5. | Rilievo dello stato di danno, dei dissesti e del degrado | 12 |
| 2.5.1. | Analisi del danno storico, degli interventi precedenti e dei loro effetti | 13 |
| 2.5.2. | Individuazione dei meccanismi di collasso attivati e critici..... | 13 |
| 2.6. | Rilievo degli elementi di conclamato (o potenziale) interesse storico-artistico e del relativo danno..... | 14 |
| 2.7. | Indagini per la caratterizzazione meccanica dei materiali e delle strutture..... | 15 |
| 2.7.1. | Diagnostica visiva | 15 |
| 2.7.2. | Diagnostica strumentale | 17 |
| 2.8. | Documentazione grafica..... | 19 |
| 3. | Analisi del manufatto e valutazione della sicurezza | 21 |
| 3.1. | Analisi della sismicità storica..... | 21 |
| 3.2. | Azione sismica di riferimento | 21 |
| 3.3. | Criteri di modellazione ed analisi..... | 21 |
| 3.4. | Verifiche di sicurezza..... | 21 |
| 4. | Progetto | 22 |
| 4.1. | Strategie per la scelta dell'intervento di rafforzamento/miglioramento..... | 22 |
| 4.2. | Proposta progettuale per il recupero e valorizzazione degli elementi d'interesse storico-artistico..... | 22 |
| 5. | Gruppo di Lavoro | 23 |
| Appendice A: Elaborati grafici di cui al Capitolo 2..... | | 24 |
| A.1 | Elaborati grafici per l'identificazione dell'aggregato | 24 |
| A.2 | Elaborati grafici per lo studio dell'evoluzione dell'aggregato..... | 26 |
| A.3 | Elaborati relativi al rilievo geometrico..... | 28 |
| A.4 | Elaborati relativi al rilievo costruttivo-strutturale..... | 32 |
| A.5 | Elaborati relativi al rilievo critico dello stato di danno, dei dissesti e del degrado.... | 38 |

1. Introduzione

L'evento sismico che ha colpito la Regione Abruzzo, ed il danno che ha interessato buona parte dei centri urbani del "cratere", ha drammaticamente messo in evidenza la necessità di affrontare gli interventi di recupero, rafforzamento e miglioramento sismico dell'edilizia in aggregato, secondo una metodologia specifica ed appropriata al caso.

Le presenti Linee Guida intendono fornire un quadro sistematico della metodologia e degli strumenti operativi per il rilievo, la diagnostica, la scelta degli interventi e la redazione finale del progetto di intervento su edifici in aggregato.

L'iter progettuale viene delineato in ottemperanza alle O.P.C.M. n. 3820/12.11.09 e n. 3832/22.12.09, nonché al successivo Decreto del Commissario Delegato per la Ricostruzione della Regione Abruzzo n.3 del 09/03/2010.

Avendo come oggetto l'edilizia in aggregato, le presenti Linee Guida vedono, pertanto, come *campo di applicazione* principale il costruito dei centri storici. Questi ultimi, sviluppatasi e configuratisi nel tempo, secondo processi di accrescimento per lo più spontaneo, sono caratterizzati da edifici prevalentemente in muratura, ove la coesistenza di diverse e successive stratificazioni e modificazioni, talvolta incongrue, ha comportato l'insorgenza di specifici fattori di vulnerabilità sismica.

Si richiamano fin da ora alcune problematiche ricorrenti nello studio delle strutture in aggregato. In primo luogo la disomogeneità nelle strutture portanti in muratura, quale risultato del processo di "assemblaggio" nel tempo. A questo si accompagna la compresenza di diversi materiali, spesso con caratteristiche di rigidità e resistenza molto difformi tra loro: è il caso, ad esempio, di interventi recenti che hanno visto la realizzazione di elementi strutturali in cemento armato su edifici preesistenti in muratura. Ricorrono inoltre alterazioni strutturali incongrue, come porzioni realizzate in epoche diverse (ampliamenti, sopraelevazioni, ecc.), le quali sono a volte strutturalmente collegate alle strutture preesistenti, altre volte parzialmente separate attraverso giunti strutturali o pareti doppie in aderenza. Gli interventi recenti di riattazione o ristrutturazione hanno spesso comportato l'inserimento di cordoli o intonaci armati ed altri elementi che, pur non modificando le volumetrie, hanno tuttavia influito sul comportamento strutturale dell'edificio nel suo complesso o su porzioni di esso.

Tali fattori determinano due livelli di difficoltà. In primo luogo l'individuazione dell'aggregato stesso in quanto frutto di un processo di "assemblamento" di più unità strutturali interagenti tra loro, in secondo luogo la conoscenza corretta ed univoca del sistema strutturale che lo compone.

Scopo delle presenti Linee Guida vuole essere pertanto quello di fornire gli strumenti per una corretta valutazione del comportamento meccanico dell'aggregato attraverso la lettura del suo sistema costruttivo, l'interpretazione delle cause di danno, l'individuazione di anomalie e precarietà strutturali che inficiano la risposta sismica, al fine di formulare le più idonee modalità di intervento per conseguire un adeguato grado di miglioramento del comportamento sismico della struttura.

La preliminare conoscenza ed interpretazione del comportamento strutturale è di fondamentale importanza per la messa a punto del progetto di intervento. Un progetto di rafforzamento locale, ripristino o di miglioramento non può essere maturato, né tantomeno calcolato, se non siano stati preliminarmente conosciuti nel dettaglio tutti gli elementi che ne compongono la struttura, in modo da poter quantificare con ragionevole sicurezza l'effettivo grado di miglioramento conseguito.

Tale obiettivo viene perseguito attraverso la descrizione di uno specifico *metodo* di analisi, attraverso valutazioni sulle tecniche di rilievo e calcolo strutturale, nonché attraverso la messa in luce di problematiche ricorrenti in edifici in aggregato.

La metodologia parte da una prima fase conoscitiva di rilievo ed indagine geometrica degli elementi strutturali e delle caratteristiche meccaniche dei materiali (capitolo 2). In questa sezione si inserisce anche l'analisi critica del danno occorso a seguito dell'evento sismico. La corretta interpretazione delle cause di danno consente di risalire alla individuazione delle precarietà strutturali dell'edificio e delle anomalie degli elementi resistenti, attorno a cui in genere si rilevano concentrazioni di danno. Le analisi illustrate in questa prima fase sono finalizzate all'esatta descrizione dell'aggregato nel suo complesso e dei materiali che lo costituiscono, in modo da poter implementare un modello di calcolo in grado di descrivere correttamente il comportamento reale della struttura.

La scelta del tipo di analisi sismica e del criterio di modellazione della struttura (Capitolo 3) è strettamente connessa da un lato alla tipologia strutturale, dall'altro al tipo di intervento progettuale. La possibilità di elaborare modelli complessivi è comunque limitata dalla dimensione e dall'irregolarità della struttura, mentre l'elaborazione di modelli parziali o le analisi di singoli elementi (secondo l'approccio cinematico per macroelementi) sono subordinati ad una valutazione qualitativa circa il sistema di ripartizione dei carichi in base a fattori, quali ad esempio l'orditura e deformabilità dei solai, la rigidezza delle pareti verticali, la qualità delle connessioni.

Ne consegue che prima di elaborare il progetto di recupero e il sistema di verifica strutturale devono essere svolte alcune *valutazioni qualitative* sul grado di irregolarità della struttura e sull'identificazione delle vulnerabilità specifiche dell'edificio oggetto di studio. Tale analisi discussa nel §2.4, deve partire innanzitutto dall'osservazione del sistema costruttivo al fine di valutarne la qualità meccanica in relazione al comportamento statico e sismico. L'analisi preliminare qualitativa sulle vulnerabilità locali e globali, nonché sul grado di risposta sismica di un aggregato, o sua porzione, deve essere inoltre validata dai risultati del rilievo del danno occorso, cui è dedicato il §2.5.

Il *progetto d'intervento* di edifici in aggregato presentato nel Capitolo 1 deve tenere conto di quanto già contenuto sull'argomento nelle norme e linee guida esistenti, elencate dettagliatamente nel § 1.1, ed in particolare nel capitolo 8 delle Norme Tecniche per le Costruzioni, D.M. 14.01.2008 e nel corrispondente capitolo C8 della Circolare n. 617 del 02/02/2009, ed in particolare nell'appendice C8A.5 (*Criteri per gli interventi di consolidamento di edifici in muratura*) e nel (*Criteri per il miglioramento sismico e tecniche di intervento*) delle *Linee Guida per la valutazione e la riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale*, nonché nelle ordinanze di riferimento citate, pubblicate a seguito del recente evento sismico che ha interessato la Regione Abruzzo.

1.1. Riferimenti tecnici e normativi

Normativa e Linee Guida di riferimento per il rilievo, l'analisi ed il progetto d'intervento:

- Linee Guida per gli interventi di miglioramento sismico degli edifici in aggregato nei centri storici, ReLUIS (a cura di Carocci C., Tocci C., Cattari S., Lagomarsino S.), Marzo 2009;
- Linee Guida per le modalità di indagine sulle strutture e sui terreni per i progetti di riparazione/miglioramento/ricostruzione di edifici inagibili, ReLUIS, Bozza Marzo 2010;
- Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri - Patrimonio Culturale del 12/10/2007. *Linee guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con*

riferimento alle Norme Tecniche e all'applicazione dell'O.P.C.M. n. 3274 del 2003 e successive modifiche e integrazioni. G.U. n. 24 del 29/1/2008 suppl. ord. n. 25.¹

- Decreto Ministeriale del 14/1/2008. *Norme Tecniche per le Costruzioni*. G.U. n. 29 del 4/2/2008 suppl. ord. n.30;
- Circolare n. 617 del 2/2/2009 Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti. *Istruzioni per l'applicazione delle "Norme Tecniche per le Costruzioni" di cui al D.M. 14/01/2008*. G.U. n. 47 del 26/2/09 suppl. ord. n. 27;
- *Linee Guida per la riduzione della vulnerabilità di elementi non strutturali, arredi e impianti*, Dipartimento della Protezione Civile (a cura di De Sortis A., Di Pasquale G., Dolce M., Gregolo S., Papa S., Rettore G.F.), Giugno 2009;
- *Linee Guida per la riparazione e il rafforzamento di elementi strutturali, tamponature e partizioni*, DPC-ReLUIIS, Bozza Agosto 2009.

Normativa di riferimento per la presentazione ed esecuzione di interventi di recupero post-sisma e criteri di finanziamento:

- Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3820 del 12/11/2009. *Ulteriori interventi diretti a fronteggiare gli eventi sismici verificatisi nella regione Abruzzo il giorno 6 Aprile 2009 e altre disposizioni di protezione civile*, art.7 commi 3-9.
- Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3827 del 27/11/2009. *Ulteriori interventi diretti a fronteggiare gli eventi sismici verificatisi nella regione Abruzzo il giorno 6 Aprile 2009 e altre disposizioni di protezione civile*, art. 10, comma 2,3,4
- Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3832 del 22/12/2009. *Ulteriori interventi diretti a fronteggiare gli eventi sismici verificatisi nella regione Abruzzo il giorno 6 Aprile 2009 e altre disposizioni di protezione civile*, art.3
- Decreto del Commissario Delegato per la Ricostruzione della Regione Abruzzo n.3 del 09/03/2010.

1.2. Inquadramento dell'aggregato e valutazioni preliminari

L'identificazione dell'aggregato, si colloca a monte di tutto il procedimento di rilievo ed analisi finalizzato al progetto d'intervento.

Per aggregato strutturale può intendersi un insieme non omogeneo di edifici (unità edilizio-strutturali), interconnessi tra loro con un collegamento più o meno strutturalmente efficace determinato dalla loro storia evolutiva, che possono interagire sotto un'azione sismica o dinamica in genere.

L'evoluzione della città storica, avvenuta prima dell'espansione delle periferie del XX secolo, ha comportato un processo di progressivo intasamento, attraverso l'occupazione sistematica degli spazi di risulta, in adiacenza e continuità con il costruito esistente. All'interno di un aggregato edilizio sono solitamente riconoscibili gli elementi originari ed omogenei che lo hanno generato, da cui ha preso il via il processo di accrescimento edilizio, fino alla saturazione completa degli spazi liberi o degli affacci su strada.

Nel caso dei centri storici l'aggregato, ove non siano presenti giunti, quali ad esempio *rue* o altre disconnessioni tra i diversi edifici, coincide con il termine (urbanistico) di isolato, la cui soluzione di continuità dal resto del tessuto urbano è costituita dalla presenza di strade e piazze.

¹ Le Linee Guida sono attualmente (maggio 2010) in corso di modifica per essere armonizzate al D.M. 14.1.2008.

La presenza di elementi quali archi o volte di contrasto posti a collegamento tra aggregati contigui, non inficia la possibilità di perimetrazione ed individuazione degli aggregati, laddove tali elementi siano limitati in numero ed estensione e non alterino in modo significativo il comportamento strutturale d'assieme. Il loro eventuale contributo può essere tuttavia messo in conto mediante modellazioni analitiche, attraverso l'inserimento di azioni concentrate o vincoli. In tali casi è inoltre importante effettuare studi di dettaglio delle porzioni di aggregato interessate da tali vincoli, al fine di ben evidenziare eventuali effetti locali che potrebbero non incidere sul comportamento globale dell'aggregato.

L'individuazione dell'aggregato è seguita dall'individuazione al suo interno delle unità strutturali omogenee e degli elementi che determinano eventuali *interazioni* tra di esse. Tale operazione in genere coincide con l'analisi dell'evoluzione costruttiva dell'aggregato, e trova un valido riscontro nell'analisi del danno occorso a seguito di un evento sismico. Infatti, l'interazione tra strutture eterogenee poste in adiacenza determina specifiche tipologie di danneggiamento, che si sommano o sovrappongono a quelle che più tipicamente contraddistinguono strutture omogenee non in aggregato.

Al fine di individuare univocamente un aggregato edilizio è pertanto necessario indicare quali siano gli spazi (strade, piazze, corti interne, giunti di separazione) che lo rendono strutturalmente indipendente dagli edifici nelle immediate vicinanze. Da qui prende il via la fase conoscitiva dello stesso, cui è dedicato il capitolo che segue, volta a districare dal punto di vista storico, geometrico, costruttivo e strutturale, le unità edilizie originarie della struttura, a cui si sono aggiunti nel tempo, per giustapposizione, altri edifici in affiancamento, ampliamenti ed interconnessioni che costituiscono i tratti distintivi dell'edilizia in aggregato.

2. Conoscenza del manufatto

Il presente capitolo illustra in modo sistematico il percorso conoscitivo necessario per addivenire ad una diagnosi delle precarietà costruttivo-strutturali e del danneggiamento occorso ad un “sistema in aggregato”.

Il fine ultimo di tale approccio è quello di garantire un’adeguata omogeneità di intervento, evitando che interventi frammentari si affastellino in un “assemblaggio” di strutture e tecniche di rinforzo applicate alle diverse parti, senza una comprensione di fondo ed una regia comune.

A differenza del lessico comunemente usato nelle Normative tecniche, le presenti Linee Guida vedono come oggetto principale l’aggregato, inteso come *unicum*, e non l’edificio, definito *Unità Strutturale Omogenea*, che è viceversa inteso come sua sotto-unità.

Nel caso di aggregati particolarmente complessi ed estesi, ferma restando la necessità di intervenire in modo unitario, si può ricorrere ad una suddivisione in stralci, ovvero *Unità Minime di Intervento* (UMI), nel rispetto dei vincoli e delle specifiche fornite al riguardo dalla citata Ordinanza 3820 (art.7, comma 5) e dalla circolare n. 617, nell’appendice C.8.A.3 *Aggregati edilizi*).

Passo propedeutico all’eventuale operazione di stralcio è la identificazione degli edifici riconoscibili, nell’ambito dell’aggregato,.

Tale operazione non è sempre univoca, specialmente nel caso dei sistemi in muratura tipici dei tessuti storici. L’Unità Strutturale Omogenea deve comunque avere continuità da cielo a terra, così da contenere al suo interno il flusso delle tensioni dovute ai carichi verticali, e, di norma, sarà delimitata o da spazi aperti, o da giunti strutturali, o da edifici contigui costruiti con tipologie costruttive e strutturali diverse. Ai fini della sua identificazione dovrà inoltre essere tenuta in considerazione l’unitarietà del comportamento strutturale nei confronti delle azioni dinamiche, oltre che di quelle statiche.

L’Unità Minima di Intervento si configura pertanto come una porzione di aggregato, costituita da una o più Unità Strutturali Omogenee (edifici), che sarà oggetto di intervento unitario, nel rispetto di una corretta modellazione degli aspetti di interazione strutturale tra la parte stralciata e quella posta in adiacenza, esterna alla UMI. La scelta ottimale delle UMI sarà tale da minimizzare le reciproche interazioni sotto l’effetto dell’azione sismica.

In linea con quanto già enunciato dalle precedenti *Linee Guida per gli interventi di miglioramento sismico degli edifici in aggregato nei centri storici*, (ReLUIS 2009) viene inoltre definita la *Unità Minima di Analisi* quella porzione di aggregato, generalmente più ampia della UMI in oggetto (comprendente solitamente alcune Unità Strutturali adiacenti alla UMI), da includere nella fase conoscitiva in modo da poter valutare eventuali effetti di interazione, come ad esempio la spinta di sistemi voltati, la presenza di carichi (verticali o orizzontali) provenienti da solai o da pareti di Unità strutturali adiacenti alla UMI.

La metodologia esposta nel capitolo che segue, per quanto attiene alle fasi conoscitive, è pertanto rivolta all’aggregato nella sua interezza o viceversa alle Unità di Analisi (UA).

È opportuno precisare che l’operazione di suddivisione in UMI dovrebbe avvenire, auspicabilmente, a valle del rilievo geometrico, in modo da rendere l’eventuale operazione di stralcio basata su criteri quanto più possibile legati al comportamento strutturale.

2.1. Identificazione dell'aggregato: contesto ambientale ed urbano

Il primo passo nel percorso di conoscenza dell'aggregato consiste nella corretta e univoca identificazione dell'organismo e nella sua localizzazione nel territorio o nell'ambito del centro urbano di cui fa parte.

L'identificazione avviene attraverso quattro parametri fondamentali: numero di aggregato assegnato dal Comune, denominazione del bene, toponomastica (incluse le coordinate geografiche), dati catastali. Devono essere specificati inoltre i riferimenti di tutti i proprietari e le attuali destinazioni d'uso.

A ciò si deve aggiungere almeno uno stralcio planimetrico (catastale o altro) della zona in oggetto in cui si evinca una chiara perimetrazione dell'aggregato in questione. Eventuale ulteriore cartografia disponibile a corredo della documentazione sopra menzionata (ad esempio carte dei vincoli: artistici, ambientali) si rende necessaria al fine di evidenziare la presenza di edifici oggetto di vincolo.

Inoltre la cartografia tematica, costituita ad esempio da carta morfologica, geologica, idrogeologica, se disponibile costituirà una valida base per inquadrare la tipologia dei rischi a cui l'aggregato è potenzialmente esposto, tra cui quello sismico.

In coda al presente documento è contenuta un'appendice grafica (Appendice A), ove sono illustrate in modo sistematico alcune immagini esemplificative relative alla documentazione grafica da produrre nella fase conoscitiva.

La morfologia del sito ad esempio, può condizionare lo sviluppo urbanistico di un centro urbano conducendo a diverse possibili scelte costruttive, e di rimando a fattori di vulnerabilità specifici.

Ad esempio nel caso di aggregati a schiera su siti in pendio, si può rintracciare una disposizione lungo le curve di livello o viceversa lungo l'asse di massima pendenza, attraverso un'articolazione degli edifici a gradonata. Ne consegue che la morfologia condiziona oltre che il sistema costruttivo (ad esempio nei riguardi delle direzioni dei muri di spina oppure dell'inserimento di contrafforti), anche il comportamento strutturale e di conseguenza i possibili meccanismi di collasso attivabili in caso di sisma.

2.2. Ipotesi sulla formazione ed evoluzione dell'aggregato

L'analisi sulle trasformazioni dell'aggregato nel corso del tempo rappresenta un passo indispensabile per inquadrare eventuali precarietà strutturali o viceversa elementi o soluzioni strutturali, avvenute in epoche diverse, efficaci dal punto di vista della risposta sismica.

La ricostruzione della storia costruttiva dell'aggregato, ossia del processo di edificazione e aggregazione nonché delle successive modificazioni occorse nel tempo, costituisce un passo obbligato anche ai fini di una corretta individuazione del sistema resistente.

Tale fase è volta a ricostruire o ad ipotizzare la successione cronologica delle fasi costruttive delle diverse porzioni, al fine di individuare gli elementi originari e gli elementi realizzati a seguito del progressivo intasamento degli spazi urbani e, di conseguenza, le zone di possibile discontinuità strutturale e disomogeneità del materiale, sia in pianta che in alzato.

Le analisi della evoluzione morfologica dell'aggregato sono svolte partendo da evidenze direttamente osservabili sul campo, basate essenzialmente sulla ispezione visiva dell'aggregato, avvalorate da un esame della cartografia catastale e storica appartenente ad epoche diverse in grado di documentare lo sviluppo processuale dell'edilizia di base (aggregazioni sulle mura urbane, aggregazioni su pendii naturali o ricavati da sbancamenti o riempimenti, ecc.)

Tali ipotesi o ricostruzioni possono essere formulate oltre che sulla base di evidenze direttamente osservabili sul campo, anche e soprattutto attraverso un lavoro di disamina di carte

catastali e storiche appartenenti ad epoche diverse, in grado di documentarne il processo di trasformazione.

Questo tipo di ricerca ha finalità non solo di tipo storico e documentario, ma anche e soprattutto strutturali. Un esempio è dato dal processo di intasamento progressivo degli spazi urbani, strettamente connesso alla presenza o assenza di ammorsature tra le pareti di facciata. Nel caso, ad esempio, di cellule di saturazione del tessuto urbano (caso C, Figura 2.1), ovvero unità edilizie realizzate tra altri edifici già esistenti sfruttandone le pareti laterali ed edificando i soli muri di facciata e retro, la vulnerabilità di tali pareti esterne risulta generalmente molto elevata in assenza di ammorsature con le strutture adiacenti preesistenti. Viceversa la presenza di porzioni o appendici aggiunte in epoca successiva (corpi aggiunti, sopraelevazioni, sostituzioni di orizzontamenti, ecc.) può altresì costituire elemento di vulnerabilità specifica e di attivazione di meccanismi di collasso critici in caso di sisma.

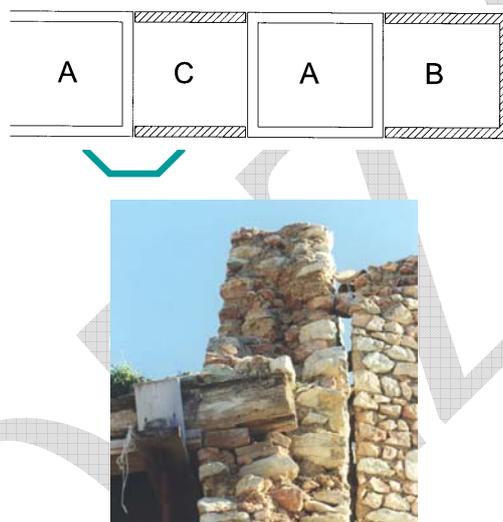


Figura 2.1: *Cellula di saturazione del tessuto edilizio (caso C, sopra) e conseguente assenza di ammorsamenti con i setti laterali (foto sotto)*

Anche il cambiamento delle destinazioni d'uso intercorse nel tempo, se documentate, può aiutare a ricostruire la cronistoria del manufatto, così da giungere ad inquadrare le più significative alterazioni strutturali apportate in passato.

L'analisi dell'evoluzione funzionale costituisce anche un importante strumento per interpretare i segni di dissesto visibili o documentati, e valutare la compatibilità delle destinazioni d'uso previste con le caratteristiche strutturali dell'edificio, in relazione alla sua risposta sismica.

2.3. Rilievo geometrico

Il primo passo propedeutico alla conoscenza dell'impianto strutturale di edifici esistenti in aggregato deriva dalla fase di rilievo geometrico. Proprio in virtù delle peculiarità costruttivo-strutturali degli edifici in aggregato, quest'ultimo non deve limitarsi ai confini del "singolo" edificio, ma deve essere riferito all'aggregato nel suo complesso, o alle UA in cui esso è stato preliminarmente suddiviso. Il rilievo geometrico deve pertanto contenere tutti quegli elementi necessari a rappresentare l'articolazione, plano-altimetrica degli elementi costitutivi l'aggregato. Nel caso di aggregati edilizi, questa fase risulta particolarmente preziosa per mettere in luce l'articolazione spaziale-topografica di edifici in aderenza.

Il rilievo geometrico dovrà privilegiare l'individuazione dell'esatta posizione delle pareti strutturali ad ogni piano, anche in riferimento al piano sottostante, e l'esatta determinazione dello spessore di queste ultime.

La scala ottimale di rappresentazione è l'1:100, fermo restando che per aggregati di piccole dimensioni può essere opportuno adottare una scala di maggior dettaglio (1:50). In tal modo la geometria di tutti gli elementi qualificanti la distribuzione degli spazi, la dimensione degli apparati portanti e non portanti (setti, divisori), il profilo e le dimensioni degli orizzontamenti e dei collegamenti (volte, solai, coperture, scale), nonché la presenza di peculiarità specifiche (come nicchie, cavità, canne fumarie, ecc.) possono essere evidenziati.

Notoriamente, e particolarmente in aggregati storici, le difficoltà del rilievo geometrico sono legate all'accessibilità di alcuni spazi, quali sottotetti, cantine, nonché alla semplice "ipotesi" di cavità o spazi al di sotto degli stessi. Nella maggior parte dei casi si riesce a sopperire alla impossibilità di accesso acquisendo, come spazi di risulta, le informazioni necessarie dal rilievo delle strutture adiacenti. In caso di situazioni di particolare rilevanza possono essere utilizzate tecniche integrative (endoscopie, termografie, georadar, ecc.), i cui risultati andranno opportunamente ed accuratamente interpretati.

Poiché il rilievo geometrico costituirà la base di partenza dalla quale sviluppare il modello di calcolo, tutte le informazioni necessarie a tale scopo dovranno essere adeguatamente rilevate e rappresentate. Tra queste l'altezza delle aperture (porte, nicchie finestre), quota di imposta degli orizzontamenti e dei sistemi voltati, e tutti i dati utili per una definizione quanto più corretta delle masse degli elementi e dei carichi gravanti.

La rappresentazione dei risultati del rilievo verrà effettuata attraverso piante, alzati e sezioni e possibilmente anche mediante rappresentazioni tridimensionali (anche in forma schematica) estremamente utili ai fini di una corretta comprensione dell'articolazione degli spazi e delle varie unità strutturali, nonché propedeutiche alla successiva interpretazione critica del rilievo geometrico. A corredo e completezza degli elaborati di rilievo geometrico sarà allegata una adeguata documentazione fotografica.

La lettura critica del rilievo geometrico, unita allo studio dei risultati dell'analisi dell'evoluzione diacronica dell'aggregato, è finalizzata a mettere in luce alcuni aspetti condizionanti la vulnerabilità sismica dell'aggregato o della Unità di Analisi in oggetto. La lettura attenta degli elaborati di rilievo fornisce già di per se preziose indicazioni, ed è volta ad individuare le connessioni spaziali fondamentali tra i vari elementi costitutivi l'aggregato (unità edilizio-strutturali), con particolare attenzione ai meccanismi di giustapposizione, sovrapposizione e rifusione edilizia. In particolare, gli aspetti su cui verterà questa fase si configurano come:

- il meccanismo di trasformazione tipologico: identificazione delle unità edilizie originarie, loro ampliamento, trasformazione o rifusione;
- la formazione di spazi di risulta interni all'aggregato, come la disposizione e la gerarchia dei cortili (con accesso diretto o da androne) nonché il posizionamento di eventuali corpi scala esterni;
- i rapporti spaziali elementari delle singole cellule murarie e i rapporti di regolarità e modularità ai diversi piani (ciò consente di distinguere le cellule originarie da quelle dovute a processi di saturazione degli spazi aperti);
- l'allineamento delle pareti, l'ortogonalità rispetto ai percorsi viari, le rotazioni e le intersezioni degli assi delle pareti (ciò aiuta ad identificare le pareti in relazione alla loro contemporaneità di costruzione e quindi a definire il loro grado di connessione);
- i disassamenti e le rastremazioni delle pareti in verticale, l'affiancamento di pareti, i muri poggianti "in falso" sui solai sottostanti, lo sfalsamento di quota tra solai contigui (ciò fornisce indicazioni sia per ricercare possibili fonti di danno in rapporto ai carichi verticali e sismici, sia per affinare l'interpretazione dei meccanismi di aggregazione);

- la forma e la posizione delle bucatore nei muri di prospetto: allineamento in orizzontale e in verticale, simmetria, ripetizione (ciò consente di determinare le zone di debolezza nel percorso di trasmissione degli sforzi, nonché di rivelare le modificazioni avvenute nel tempo).

2.4. Rilievo costruttivo-strutturale

Partendo dal rilievo geometrico si procederà alla identificazione dello schema strutturale resistente, descrivendo puntualmente ogni elemento della struttura esaminata. Al rilievo costruttivo-strutturale devono essere dedicati elaborati grafici (e descrittivi) specifici, che prendano in esame in modo sistematico elementi costruttivi come murature, orizzontamenti e coperture, connessioni ed eventuali presidi di rinforzo.

Questo obiettivo può essere perseguito mettendo a punto abachi di riferimento per i diversi elementi strutturali nei quali siano dettagliatamente raffigurati e sintetizzate le caratteristiche delle varie componenti strutturali rilevate sul campo, ed associando a ciascuna di esse una adeguata simbologia, che sarà riportata nelle planimetrie.

Particolare attenzione occorrerà prestare ai seguenti elementi costruttivi:

- a) apparecchiature murarie: la disamina dei diversi tipi di apparecchiature presenti dovrà avvenire possibilmente non solo sulla base del materiale e del tipo di finitura del paramento secondo classificazioni standard (mattoni, pietra–squadrata, sbozzata, a spacco, ciottoli, mista; a paramento unico, a due o più paramenti, ecc.); ma anche entrando nel merito della qualità della apparecchiatura in relazione al grado di coesione trasversale che la stessa (in virtù della sua tessitura interna) è in grado di offrire. Gli abachi delle apparecchiature murarie dovrebbero quindi predisporre una gerarchia delle stesse secondo criteri legati alla qualità meccanica e non in base alla semplice tipologia di paramento. Nelle piante si assocerà a ciascuna parete portante la tessitura corrispondente tra quelle incluse nell’abaco. Ciò consentirà una lettura immediata non solo della qualità muraria mediamente presente, ma anche del livello di omogeneità strutturale, aspetto di grande rilievo nella riposta sismica.
- b) qualità del collegamento tra pareti verticali (ammorsamento nei cantonali e nei martelli, catene, ecc.): nelle piante si metteranno in luce i casi in cui i collegamenti tra pareti ortogonali siano assenti e pertanto vadano potenzialmente migliorati in fase di progetto
- c) elementi di discontinuità della maglia muraria determinati da cavedi, canne fumarie, ecc.;
- d) tipologia degli orizzontamenti e delle volte. Paramenti a quanto detto per le apparecchiature murarie, alle tipologie di orizzontamento e copertura dovrebbero essere dedicati abachi di riferimento che sintetizzino le caratteristiche costruttive di ciascun sistema presente, con particolare riferimento alla loro rigidità nel piano. Gli elaborati grafici dovranno contenere il richiamo alla tipologia adottata ed indicare il verso di tessitura del solaio, elemento di grande importanza in caso di sisma.
- e) tipologia dei sistemi di copertura. Similmente a quanto descritto per gli orizzontamenti, la disamina dei vari sistemi di copertura potrà essere affrontata mediante la predisposizione di abachi sintetici dai quali emerga, in modo chiaro, l’eventuale effetto spingente di ciascun sistema costruttivo adottato.
- f) qualità e tipologia dei sistemi di collegamento tra orizzontamenti (solai, volte e coperture) e pareti ed eventuale presenza di presidi di rinforzo quali catene o cordolature. Tali elementi andranno evidenziati tramite apposita simbologia nelle piante, onde mettere in luce le porzioni di struttura potenzialmente collegate e trattenute nei confronti dell’azione sismica o di strutture spingenti come volte.
- g) tipologia ed efficienza strutturale degli architravi al di sopra delle aperture;
- h) presenza di elementi strutturalmente efficienti atti ad eliminare o contrastare eventuali spinte (esempio: speroni);

- i) presenza di elementi, anche non strutturali, ad elevata vulnerabilità;
- l) tipologia delle fondazioni (mediante abachi).

Il rilievo costruttivo-strutturale deve, in definitiva, consentire di identificare e localizzare quegli elementi che possono influenzare il comportamento meccanico della costruzione, così da identificare la regola costruttiva locale ed evidenziare le precarietà e le alterazioni del costruito in oggetto. Tale disamina consente anche, tra l'altro, l'attribuzione dei pesi propri e dei carichi gravanti su ogni elemento della costruzione.

Il rilievo costruttivo-strutturale può avvalersi anche dei risultati derivanti da verifiche puntuali, come saggi o prove dirette, mirate a chiarire aspetti costruttivi che il solo rilievo tradizionale, seppur di dettaglio, a volte non riesce ad appurare: a tali verifiche puntuali è dedicato il § 2.7.1.

2.5. Rilievo dello stato di danno, dei dissesti e del degrado

Il rilievo del quadro fessurativo risulta di estrema importanza per definire eventuali criticità presenti, imputabili a carenze del sistema strutturale nei confronti di azioni ordinarie statiche o nei confronti dell'azione sismica.

La presenza di un dissesto preesistente, imputabile a cause di natura statica (come cedimenti fondali, fuori piombo, carenze locali delle murature, tensioni eccessive) costituisce un elemento di vulnerabilità sismica aggiuntivo, in quanto il quadro fessurativo associato al dissesto può determinare un percorso preferenziale per le lesioni, e favorire, in caso di sisma, l'attivazione di meccanismi di collasso specifici.

Anche il degrado, in quanto forma di deperimento ed alterazione fisico-meccanica dei materiali costituenti, rappresenta una potenziale causa di vulnerabilità che, in caso di evento sismico, può comportare un aggravio del danneggiamento locale: il rilievo, in questo caso, può essere limitato alla individuazione delle sole forme di alterazione che possono avere un impatto significativo sul comportamento degli elementi strutturali (ad esempio: testata delle travi in fase di marcescenza).

Quando i segni di dissesto sono imputabili all'azione sismica, il rilievo del quadro fessurativo, associato alla lettura critica dell'aggregato sotto il profilo costruttivo e strutturale, consentiranno di formulare delle prime ipotesi qualitative sulle cause che hanno ingenerato il dissesto.

Il quadro fessurativo dovrà essere rilevato e rappresentato in modo tale da consentire la disamina del dissesto per le varie componenti strutturali (pareti, orizzontamenti, volte, copertura). Le lesioni saranno classificate secondo il loro andamento (lesioni verticali, diagonali, paraboliche e così via) nonché in relazione alla loro entità (estensione, ampiezza), andranno inoltre adeguatamente rappresentate eventuali tipologie di dissesto specifico associate a forme di distacco, rotazione, scorrimento, spostamenti fuori dal piano dei vari elementi strutturali.

In maniera simile le deformazioni andranno classificate secondo la loro natura (evidenti fuori piombo, abbassamenti, rigonfiamenti, spanciamenti, depressioni nelle volte, ecc.) e graficizzate in modo adeguato.

Questa prima lettura del danno fornisce un quadro sintetico del dissesto e di tutti gli elementi necessari per poter formulare un giudizio sulle cause che lo hanno ingenerato, come discusso nei paragrafi che seguono, attraverso prime valutazioni di carattere qualitativo. Insieme al rilievo costruttivo-strutturale, tale lettura del danno può inoltre essere utile per definire il progetto della successiva fase diagnostica (metodologie e tecniche di indagine, posizioni nelle quali effettuare le prove).

2.5.1. Analisi del danno storico, degli interventi precedenti e dei loro effetti

L'interpretazione delle cause di dissesto, sulla base degli elaborati di rilievo del danno illustrati nel paragrafo precedente, deve possibilmente essere preceduta da una ricognizione del danno storicamente documentato nell'aggregato (o nella porzione in oggetto), occorso a seguito di eventi sismici pregressi o a problematiche di natura statica già in precedenza manifestatesi.

Ai fini della comprensione del danno osservato, è importante anche individuare la natura degli eventuali interventi di consolidamento realizzati a seguito di tali eventi, la loro localizzazione e gli elementi strutturali coinvolti, il periodo di realizzazione e la verifica della loro efficacia nel tempo.

Il reperimento di questa documentazione può avvenire presso gli uffici tecnici del Comune di appartenenza o, ad esempio nel caso di danni sismici, attraverso materiale documentario fotografico in possesso dei proprietari.

Queste informazioni possono essere molto utili per confrontare il danno verificatosi a seguito dell'ultimo evento con quello storico documentato.

2.5.2. Individuazione dei meccanismi di collasso attivati e critici

L'iter di conoscenza sin qui seguito fornisce gli elementi di base per affrontare un riesame critico del quadro fessurativo visibile, così da giungere ad ipotesi circa la natura e la tipologia del dissesto. Il metodo di analisi esposto ai punti precedenti deve concorrere quindi alla formulazione di ipotesi, preliminari e qualitative, circa i meccanismi di danno critici attivati globalmente e localmente nell'aggregato e le relative potenziali cause di innesco.

In questa accezione il meccanismo di collasso "critico" può quindi essere definito come quel particolare meccanismo, tra i tanti cinematicamente possibili, congruenti con le condizioni di vincolo, che ha determinato l'innesco o il collasso della struttura.

Tradotto in termini concreti, le condizioni di vincolo sono dettate dalla distribuzione e dalla tipologia di connessioni, presidi di rinforzo o contrasto (incatenamenti, speroni, cordoli, ringrossi murari, etc.), in grado di inibire meccanismi di danno elementari, ma lasciando al contempo la struttura labile nei confronti di ulteriori modi di danno secondari che il sisma puntualmente evidenzia.

In sintesi il raffronto puntuale tra caratteristiche strutturali d'insieme, quadro fessurativo (danno occorso) e presidi di rinforzo eventuali (vincoli) deve portare all'individuazione (qualitativa) quanto più univoca di un meccanismo tra i vari ritenuti plausibili e rispettosi delle condizioni al contorno.

La verifica, quantitativa, delle ipotesi formulate avviene successivamente, mediante modellazioni analitiche e relative valutazioni della sicurezza strutturale, così da indirizzare in maniera più consapevole la fase dell'intervento. Tuttavia, l'estrema variabilità delle caratteristiche strutturali e dei parametri meccanici che le governano, nonché la loro intrinseca complessità, rendono in qualche misura "convenzionale" il controllo numerico di scenari, la cui aderenza alla realtà è garantita proprio dai metodi semplificati e qualitativi descritti in questo paragrafo.

2.6. Rilievo degli elementi di conclamato (o potenziale) interesse storico-artistico e del relativo danno

La presenza di elementi di interesse storico artistico all'interno di un aggregato determina una serie di implicazioni aggiuntive di natura funzionale ancorché strutturale in quanto, per i motivi ampiamente esposti ai paragrafi precedenti, tali manufatti sono stati oggetto in passato di trasformazioni spesso incongrue e rifusioni con gli edifici attigui che, oltre ad intaccarne la limpidezza originaria del disegno, hanno anche creato interconnessioni di tipo strutturale, per cui non è sempre possibile intervenire su tali strutture come se fossero avulse dal resto dell'aggregato.

Pertanto, nei casi in cui l'aggregato in oggetto includa elementi di interesse storico artistico, presumibilmente soggetti a vincolo, si dovrà valutare se ed in che misura sia opportuno, da un punto di vista strutturale, operare uno stralcio dell'aggregato associando al manufatto in oggetto una specifica Unità Minima di Intervento, o se, al contrario, questo richieda di essere trattato nell'ambito di una UMI più estesa, a causa delle interconnessioni strutturali con gli edifici ordinari attigui.

L'iter metodologico da seguire nel caso di elementi di interesse storico artistico non è dissimile da quello sinora affrontato, e comunque oggetto di trattazione specifica nel Capitolo 4 delle *Linee guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle Norme Tecniche*, al quale si rimanda.

L'elemento che contraddistingue tali edifici dall'edilizia ordinaria storica, e che li rende solitamente oggetto di tutela, è il valore intrinseco ad essi associato, legato alla presenza di particolari elementi di interesse culturale. Da ciò deriva che il rischio sismico associato debba tener conto anche del loro valore economico e culturale.

L'iter metodologico di conoscenza dovrà pertanto prevedere l'approfondimento, in termini di conoscenza (documentaria e/o rilievo diretto), di quegli aspetti o elementi che determinano la presenza del vincolo.

Il rilievo di stucchi, affreschi, decorazioni ed elementi non strutturali, utile ai fini dell'individuazione del bene e della sua rilevanza, deve essere svolto con apposite indagini, finalizzate anche alla precisa conoscenza della geometria degli elementi architettonici e strutturali.

L'identificazione degli elementi di pregio e del danno da essi subito deve essere eseguita per determinare come tali elementi condizionino il livello di rischio ed al contempo per definirne, oggettivamente, il valore storico-artistico estrinseco (nei riguardi dell'aggregato, edificio, ambiente) ed intrinseco (proprio del bene). In effetti, i danni ai beni di valore artistico diventano, in genere, significativi e non accettabili in presenza di danni gravi agli elementi strutturali; tuttavia esistono situazioni nelle quali il danno agli apparati decorativi può verificarsi anche in assenza di un danno strutturale (ad esempio, stucchi di notevole spessore e insufficientemente collegati alla struttura) o viceversa (apparati non completamente vincolati e quindi in grado di assecondare lesioni e deformazioni strutturali): tutti questi casi dovranno essere attentamente analizzati e valutati in modo da scongiurare perdite di qualsivoglia valore culturale.

L'analisi degli elementi di interesse storico-artistico dovrà essere utilizzata per l'individuazione di possibili zone di sacrificio dove realizzare, nell'impossibilità di alternative, eventuali indagini distruttive o debolmente distruttive e localizzare eventuali interventi di rinforzo; infine dovrà avere lo scopo di individuare quegli elementi che hanno situazioni di danno tale da ipotizzarne e valutarne il sacrificio (perdita definitiva), la riproposizione, il recupero, la valorizzazione rispetto al rapporto economico "costo-benefici".

2.7. Indagini per la caratterizzazione meccanica dei materiali e delle strutture

La fase di indagine sulla caratterizzazione dei materiali rappresenta un passo fondamentale nel percorso conoscitivo dell'aggregato nonché per focalizzarne anche le tecniche di intervento più idonee. Data l'estrema variabilità delle componenti strutturali che connotano l'edilizia storica degli edifici in aggregato, un piano sistematico di indagini distruttive o debolmente distruttive può non essere attuabile, sia per il livello di invasività di tali tecniche che, non per ultimo, l'impegno economico che un tale piano comporterebbe. Al fine di limitare al massimo l'impatto delle indagini, oltre alla conoscenza delle vicende costruttive del manufatto in esame, è fondamentale avere un'approfondita consapevolezza delle caratteristiche strutturali dei manufatti nell'area e nei diversi periodi storici, in modo tale da poter fare ricorso a caratteristiche desumibili dalla regola dell'arte.

Si ritiene pertanto opportuno raccomandare l'utilizzo di tecniche di diagnostica visive e non distruttive, mirate alla classificazione tipologica degli elementi strutturali e in particolare al riconoscimento delle apparecchiature murarie, e di utilizzare tecniche più sofisticate e distruttive nei casi in cui tale metodo non sia sufficientemente esaustivo, come quando si voglia approfondire in modo particolare la capacità portante di un elemento strutturale, per esigenze legate alla calibratura del modello analitico.

Il piano delle indagini, visive o strumentali, è comunque parte integrante del processo conoscitivo, passo fondamentale per la definizione delle proprietà meccaniche da impiegarsi nelle successive fasi di verifica della sicurezza e progetto.

Per una trattazione sistematica e dettagliata dei vari tipi di prove (non distruttive, debolmente distruttive e distruttive), si rimanda alle recenti Linee Guida per le "Modalità di indagine sulle strutture e sui terreni per i progetti di riparazione/miglioramento/ricostruzione di edifici inagibili" (DPC, Reluis, et al. 2010).

2.7.1. Diagnostica visiva

Il rilievo visivo, affiancato in taluni casi ad alcune indagini strumentali, può consentire di giungere ad una buona conoscenza e ad un giudizio sulla qualità degli elementi costruttivi, dei materiali e del loro degrado e, in generale, dei fattori che possono influenzare il comportamento strutturale.

Le verifiche di tipo tradizionale sono basate essenzialmente sulla ispezione visiva diretta consentita da piccoli smontaggi localizzati (stonacature, pozzetti, rimozione di qualche pietra, ecc.) che consentono di esaminare le caratteristiche sia in superficie che nello spessore murario, come il grado di ammorsamento tra muri ortogonali, la superficie di appoggio dei solai nelle pareti. Tali tecniche non invasive possono essere integrate, all'occorrenza, da ulteriori verifiche specialistiche più sofisticate (termografia, georadar, prove soniche, ecc.), che possono risultare particolarmente utili per valutare la omogeneità ad esempio dei paramenti murari.

La scelta del numero, della tipologia e della localizzazione delle verifiche da effettuare è di grande importanza. Per una corretta conoscenza esse dovrebbero essere realizzate in modo diffuso e sistematico, così da avere una visione chiara delle proprietà meccaniche dei vari elementi strutturali presenti nell'Unità di Analisi, ma non prescindendo da attente valutazioni sul loro impatto, da considerazioni di tipo economico e da una stima della loro utilità in relazione alle analisi e al progetto dell'intervento.

Requisito minimo ed imprescindibile per il conseguimento di un qualunque livello di conoscenza deve essere ritenuto l'identificazione della tipologia e della tessitura muraria. Questa fase prevede una prima analisi delle caratteristiche geometriche degli elementi costitutivi (dimensioni, finitura), una disamina delle caratteristiche materiche (fisico meccaniche) ed infine una valutazione della modalità di assemblaggio.

Una corretta e completa valutazione della qualità muraria prevede l'analisi non solo dei paramenti (interno ed esterno), ma anche e soprattutto del livello di connessione trasversale nello spessore murario.

Nel caso dei paramenti, allorquando intonacati, si potrà procedere ad una stonacatura localizzata, limitata ad un tratto sufficientemente ampio (generalmente è sufficiente 1mx1m) da poter leggere il tipo di tessitura (forma, dimensione e assemblaggio degli elementi resistenti). Tale operazione va condotta anche in prossimità delle connessioni murarie, per verificare la presenza di ammorsature.

A meno che non siano presenti porzioni murarie crollate o parzialmente disgregate, che rappresentano sempre una ottima occasione per osservare le modalità di assemblaggio interne dell'apparecchio murario, l'analisi della sezione trasversale può essere fatta eseguendo piccoli saggi localizzati, attraverso la rimozione di qualche pietra.

L'esame della qualità muraria ha come finalità principale quella di formulare un giudizio complessivo sulla capacità meccanica portante dell'apparecchiatura in esame, sia nei confronti di carichi gravitazionali, sia nei confronti del terremoto. La qualità muraria, infatti, influenza in modo determinante la tipologia di danneggiamento in caso di sisma. Murature di cattiva qualità, connotate da uno scarso ingranamento interno e bassa coesione, cedono sotto l'effetto sismico, normalmente per disgregazione interna, prima ancora di poter sviluppare un meccanismo di collasso, la cui attivazione, tipicamente, richiede livelli più alti dell'accelerazione sismica.

I requisiti essenziali in grado di definire una buona qualità muraria risultano, in sintesi, essere:

1. forma, tipologia e dimensione degli elementi impiegati nella tessitura ;
2. disposizione regolare e pressoché orizzontale dei ricorsi (o, in alternativa, la presenza di listature a passo regolare);
3. sfalsamento dei giunti ed elementi di rinzeppo (nel caso di elementi non regolari);
4. presenza di elementi trasversali (diatoni o semidiatoni) di collegamento interno tra i paramenti murari;
5. qualità e consistenza delle malte e loro stato di conservazione.

Considerata la notevole varietà di materiali e tecniche presenti nel nostro paese, derivante da tecniche costruttive fortemente connotate da un punto di vista geografico, l'analisi delle apparecchiature murarie dell'aggregato (o sua porzione) in esame non può essere effettuata semplicemente ricorrendo a "tipologie" murarie standard ("muratura a sacco", "muratura in pietra squadrata" e così via). Queste andranno calate nella realtà costruttiva in esame, mediante un rilievo di dettaglio, definendone il grado di aderenza alle regole dell'arte locale, cui sarà opportuno fare riferimento per esprimere un giudizio sintetico di qualità.

Alle apparecchiature murarie rilevate in situ è possibile associare dei valori di riferimento delle caratteristiche meccaniche (Resistenza a compressione, taglio, modulo di elasticità normale e tangenziale e peso specifico), secondo quanto predisposto dalla citata Circolare 617 del 2009 in funzione del livello di conoscenza conseguito (§C8A.1.A.4).

Nel caso specifico, la diagnostica visiva descritta nel presente paragrafo è associata a livelli di conoscenza minimi (LC1), definiti da *verifiche in situ limitate ai dettagli costruttivi ed indagini in situ limitate alle proprietà dei materiali*. Per tale livello vengono indicati dalla stessa Circolare i criteri, a favore di sicurezza, di scelta e/o combinazione tra i valori di riferimento dei parametri meccanici riportati in Tabella C8A.2.1 per le più comuni tipologie murarie. Tali parametri possono essere particolarmente rizzati, in funzione delle peculiarità dei singoli apparecchi murari, attraverso i coefficienti correttivi riportati nella tabella C8A.2.2.

2.7.2. Diagnostica strumentale

In alcuni casi la modellazione del comportamento strutturale, specie nei riguardi dell'azione sismica, richiede la conoscenza di parametri meccanici di deformabilità e resistenza dei materiali.

Le tecniche diagnostiche non distruttive di tipo indiretto, quali prove soniche ed ultrasoniche, consentono di integrare le analisi visive descritte al punto precedente, relativamente ad alcuni aspetti come quello della valutazione dell'omogeneità dei parametri meccanici nelle diverse parti della costruzione. Esse sono in grado ad esempio di rilevare la presenza di elementi di connessione trasversale (diatoni o semidiatoni) evitando la realizzazione di scassi locali. Si rivelano quindi particolarmente utili nei casi in cui l'integrità della parete debba essere salvaguardata (come ad esempio nel caso di pareti affrescate). Il limite di tali metodi è che essi non sono in grado di fornire stime quantitative sufficientemente attendibili dei valori di parametri meccanici, in quanto questi possono solo essere desunti per via indiretta dalla misura di altre grandezze (ad esempio la velocità di propagazione di onde di volume).

Il §2.4.1.1. delle citate Linee Guida “*Modalità di indagine sulle strutture e sui terreni per i progetti di riparazione/miglioramento/ricostruzione di edifici inagibili*” descrive nel dettaglio le modalità esecutive di tali prove; a queste si rimanda per una trattazione specifica sull'argomento.

La misura diretta dei parametri meccanici della muratura, in particolare di quelli di resistenza, non può essere eseguita, quindi, se non attraverso prove, seppur debolmente, distruttive, anche su porzioni limitate. Le calibrazioni di prove non distruttive con prove distruttive possono essere utilizzate per ridurre l'invasività delle indagini di qualificazione e valutare l'omogeneità dei parametri meccanici nelle diverse parti della costruzione.

Per quanto riguarda le proprietà fisico-chimiche dei materiali costituenti gli elementi lapidei, i mattoni e le malte, queste possono essere acquisite mediante prove in laboratorio di campioni rappresentativi prelevati in sito.

L'analisi delle malte (§2.4.1.2-§2.4.1.3 delle citate Linee Guida) acquista importanza allorché la capacità portante del muro e la sua resistenza a taglio non siano affidate, per l'irregolarità dei suoi elementi, ad un legame di tipo attritivo, ma alla funzione legante delle stesse. Su queste ultime i tipi di prove che possono essere eseguite sono:

- a) prove in sito non distruttive (prove sclerometriche e penetrometriche);
- b) analisi chimiche di caratterizzazione (tipo di legante, tipo di aggregato, rapporto legante/aggregato, livello di carbonatazione, ecc.), su campioni prelevati in situ in profondità (ad almeno 5-6 cm di profondità nello spessore murario), in modo da non essere affette da fenomeni di degrado superficiale, per la caratterizzazione della malta.

Sugli elementi resistenti (pietre e mattoni) può essere significativo condurre prove per la determinazione di caratteristiche chimiche, fisiche e litologiche. Si possono inoltre eseguire prove meccaniche in laboratorio, quali quelle per la determinazione del modulo elastico e delle resistenze a trazione, flessione e compressione.

Le caratteristiche meccaniche della muratura possono essere desunte dalle proprietà degli elementi costituenti solo nel caso della muratura di mattoni o di elementi naturali squadri ed a tessitura regolare; in questo caso è possibile fare riferimento alle indicazioni contenute nel paragrafo 4.5 delle NTC2008 o in altri documenti di riconosciuto valore scientifico e tecnico.

Negli altri casi, è possibile far ricorso a metodologie di prova in sito che, per numero e qualità, siano tali da consentire di valutare le caratteristiche meccaniche della muratura:

- per la determinazione dello *stato tensionale* e del *modulo di elasticità normale* (§2.4.2.1 delle citate Linee Guida) e della *resistenza a compressione*:
 - a) martinetto piatto singolo, indagine debolmente invasiva, in quanto eseguita su una porzione limitata di paramento murario, finalizzata alla stima dello stato di tensione locale;

- b) martinetto piatto doppio, tecnica debolmente distruttiva, in quanto eseguita su una porzione limitata di un paramento murario sottoposto ad una sollecitazione massima corrispondente all'innesco della fessurazione, da realizzare mediante l'esecuzione di tagli di piccole dimensioni, preferibilmente eseguiti nei giunti di malta e quindi facilmente ripristinabili. La prova con martinetto piatto doppio consente anche una stima della *resistenza a compressione*, sebbene sia da tener conto, da un lato, che è bene non spingere il carico oltre la condizione di innesco della fessurazione, per limitare i danni, dall'altro che la stima di resistenza che si ottiene è condizionata dall'aver interessato nella prova una porzione limitata dello spessore della muratura (ciò ha particolare rilievo per le murature a più paramenti).
L'uso dei martinetti piatti, pertanto, deve essere inteso non tanto con la finalità di ricavare una indicazione quantitativa delle proprietà meccaniche da adottarsi direttamente nel calcolo, ma piuttosto per un migliore inquadramento della tipologia muraria.
- c) prova a compressione su un pannello murario, molto invasiva, coinvolge una porzione rilevante di muratura, dell'ordine del metro, e richiede l'esecuzione di tagli di notevoli dimensioni per l'alloggiamento dei martinetti e spesso di onerose strutture di contrasto). Tale prova andrà pertanto limitata ai soli casi in cui altri tipi di valutazioni e metodologie di indagine non forniscano valutazioni sufficientemente attendibili.
- per la determinazione della *resistenza* e del *modulo a taglio* sono generalmente utilizzabili prove su pannelli secondo due modalità:
- a) prova di compressione diagonale, su un pannello quadrato;
 - b) prova di compressione e taglio, su un pannello rettangolare di altezza doppia rispetto alla larghezza.
- Entrambe queste prove, a causa della notevole invasività, sono in generale da non consigliare, così come quella per la determinazione della resistenza a compressione su pannelli.

Le prove che hanno carattere di notevole invasività e distruttività, laddove possibile e/o indispensabile eseguirle, è bene che forniscano indicazioni anche per altri aggregati con apparecchi murari di caratteristiche simili.

La caratterizzazione dei sistemi costruttivi, specie quelli murari, dovrà riguardare tutte le tipologie rilevate nell'aggregato (o sua porzione) oggetto di analisi. Con metodologie e tecniche analoghe l'analisi potrà riguardare anche gli orizzontamenti (solai) inclusi i sistemi voltati. In tali casi la capacità portante degli stessi sarà affidata oltre che allo stato di consistenza ed alla qualità dei materiali, anche al dimensionamento degli elementi portanti, la cui verifica in relazione ai nuovi carichi di progetto verrà svolta in sede di analisi strutturale. Si tenga conto, infine, che il numero di prove che generalmente si può eseguire su materiale omogeneo, è molto limitato, e non consente una trattazione statistica dei risultati ai fini di una verifica della sicurezza basata su metodi probabilistici o semi-probabilistici.

Il piano delle indagini deve essere pertanto il frutto di una programmazione attenta e l'interpretazione dei risultati ottenuti inquadrata nell'ambito di un quadro di riferimento tipologico generale, che tenga conto degli esiti delle prove sperimentali disponibili in letteratura e che consenta di valutare, anche in termini statistici, la effettiva rappresentatività dei valori trovati.

I risultati delle prove conseguiti e le relative proprietà meccaniche di resistenza e deformabilità, possono essere messi in relazione ai valori di classificazione delle tipologie più ricorrenti proposti nella Tabella C8A.2.1 della Circolare n. 617 del 2009 (eventualmente modificati secondo i coefficienti correttivi riportati in Tabella C8A.2.2). I valori da utilizzare nel calcolo di resistenza e di deformabilità saranno poi ulteriormente pesati tramite l'utilizzo di Fattori di

Confidenza corrispondenti, sulla base del Livello di Conoscenza raggiunto nelle varie fasi di analisi, secondo i criteri descritti nel § C8A.1.A.4 della Circolare stessa. Nel caso di beni di interesse storico-artistico, le citate “Linee guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale” forniscono (§ 4.2) una definizione più dettagliata del Fattore di Confidenza, in funzione dei diversi livelli di approfondimento delle indagini svolte, in relazione alle diverse fasi conoscitive.

Quale criterio alternativo o integrativo, e solo nei casi in cui si riscontri una inequivocabile corrispondenza con le caratteristiche tipologico costruttive di altri edifici della zona, si potrà fare riferimento ai risultati ottenuti da prove eseguite su questi ultimi.

Per quel che riguarda i criteri operativi con cui programmare, eseguire ed interpretare i risultati delle indagini, distruttive e non distruttive, sulle strutture è possibile fare riferimento alle “Linee Guida per le modalità di indagine sulle strutture e sui terreni per i progetti di riparazione/miglioramento/ricostruzione di edifici inagibili” edite da DPC-ReLUIS nel Marzo 2010.

2.8. Documentazione grafica

Gli elaborati grafici e descrittivi relativi alla fase conoscitiva dell’aggregato (o della UA), possono essere sintetizzati nei punti che seguono.

a) Identificazione dell’aggregato e delle UMI:

- a.1 stralcio planimetrico dello stato di fatto dell’aggregato con indicazione di tutti i fabbricati presenti (1:500);
- a.2 estratto di mappa della planimetria catastale dell’aggregato (1:1000);
- a.3 tabella riepilogativa contenente le proprietà, i dati catastali, le destinazioni d’uso;
- a.4 planimetria dell’aggregato riportante la suddivisione in edifici, come operata nel corso del rilievo dell’agibilità ed i relativi esiti assegnati (1:500; 1:200);
- a.5 planimetria dell’aggregato nella quale siano evidenziati eventuali beni vincolati (1:500; 1:200);
- a.6 Copia dei decreti di vincolo di tutti i beni vincolati presenti;
- a.6 planimetria dell’aggregato nella quale siano perimetrate le eventuali Unità Minime di Intervento (1:500;1:1000).

b) Formazione ed evoluzione dell’aggregato:

- b.1 Assonometrie tridimensionali (anche schematiche, fuori scala);

c) Rilievo geometrico

- c.1. Piante, prospetti, sezioni rappresentative quotate (scala ottimale 1:100; 1:50);

d) Rilievo costruttivo-strutturale

- d.1 Piante con indicazione delle tipologie verticali, tessitura dei solai, presidi di rinforzo (1:100);
- d.2 Eventuali prospetti con campitura delle diverse tipologie murarie (1:100; 1:50);
- d.3 Sezioni rappresentative globali, con indicazione delle tipologie murarie, dei solai e dei presidi di rinforzo (1:100; 1:50);
- d.4 Eventuali dettagli costruttivi (1:50; 1:20)

- e) Rilievo ed interpretazione del danno
 - e.1 Rilievo del quadro fessurativo: Piante, prospetti, sezioni rappresentative (scala ottimale 1:100);
 - e.2 Assonometrie tridimensionali d'insieme con graficizzazione dei meccanismi di collasso attivati (anche fuori scala);
 - e.3 Assonometrie di dettaglio con raffigurazione del meccanismo locale (anche fuori scala);

- f) Caratterizzazione meccanica dei materiali e delle strutture
 - f.1 Pianta con ubicazione e tipologia delle prove e eseguite (1:200);
 - f.2 Eventuali abachi delle tipologie costruttive ricorrenti nell'aggregato, corredati da parte descrittiva;
 - f.3 Relazione di sintesi contenente i risultati delle prove eseguite;

In Appendice sono illustrati in modo sistematico alcuni elaborati tipo relativi alla fase conoscitiva, in modo tale da costituire un riferimento per quanto concerne le informazioni graficizzate, la grafica, la terminologia adottata.

3. Analisi del manufatto e valutazione della sicurezza

3.1. Analisi della sismicità storica

IN PREPARAZIONE

3.2. Azione sismica di riferimento

IN PREPARAZIONE

3.3. Criteri di modellazione ed analisi

IN PREPARAZIONE

3.4. Verifiche di sicurezza

IN PREPARAZIONE

BOLZEA

4. Progetto

4.1. Strategie per la scelta dell'intervento di rafforzamento/miglioramento

IN PREPARAZIONE

4.2. Proposta progettuale per il recupero e valorizzazione degli elementi d'interesse storico-artistico

IN PREPARAZIONE

BOLZEA

5. Gruppo di Lavoro

Il presente Documento è stato predisposto da un Gruppo di lavoro costituito da:

- per il Dipartimento della Protezione Civile:

Mauro Dolce, Giacomo Di Pasquale, Elena Speranza

- per la Struttura Tecnica di Missione:

Gaetano Fontana, Francesco Nola

- per ReLUIS:

Gaetano Manfredi, Sergio Lagomarsino, Claudio Modena, Caterina Carocci, Francesca Da Porto, Antonio Martinelli, Andrea Prota, Serena Cattari, Antonio Mannella, Lucia Milano, Marco Munari, Cesare Tocci

- Ufficio del Vice-Commissario Delegato per la Messa in Sicurezza dei Beni Culturali:

Luciano Marchetti, Corrado Marsili

BOLLEA

Appendice A: Elaborati grafici di cui al Capitolo 2

In questa appendice le rappresentazioni grafiche necessarie a riportare in forma chiara e utile ai fini progettuali le attività conoscitive dell'aggregato descritte nel Capitolo 2 sono esemplificate, attraverso grafici, mappe e tabelle tipo, che possono costituire un utile riferimento per le applicazioni reali.

A.1 Elaborati grafici per l'identificazione dell'aggregato

I primi dati da riportare riguardano la (eventuale) denominazione del bene, la toponomastica (includere le coordinate geografiche), e i dati catastali ed il numero di aggregato (attribuito dal Comune).

Per l'identificazione dei fabbricati facenti parte dell'aggregato si consiglia l'uso di una scala grafica 1:500 (Figura A.1). Devono inoltre essere specificati, a parte, i riferimenti di tutti i proprietari e le attuali destinazioni d'uso (Tabella A.1).

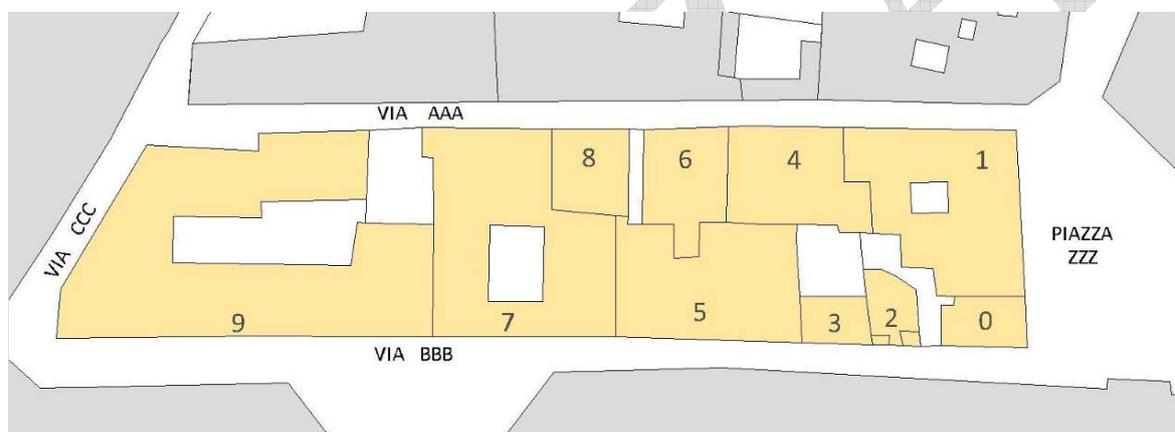


Figura A.1: Stralcio planimetrico dell'aggregato in oggetto

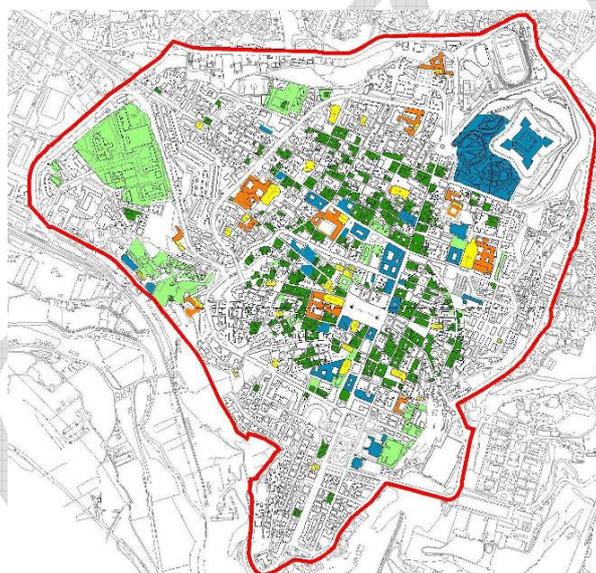
| IDENTIFICATIVI CATASTALI | PROPRIETARI | USO |
|---------------------------|-------------------------------------|-------------|
| foglio X part 0 sub a | MARIO ROSSI | abitazione |
| foglio X part 0 sub b | MARIO ROSSI | garage |
| foglio X part 1 sub a | MARIO BIANCHI 25% LUCA VERDI 75% | commerciale |
| foglio X part 1 sub b | MARIO BIANCHI 25% LUCA VERDI 75% | magazzino |
| foglio X part 1 sub c | MARIO BIANCHI | ufficio |
| foglio X part ... sub ... | ... | ... |

Tabella A.1: Riferimenti dei proprietari e delle destinazioni d'uso

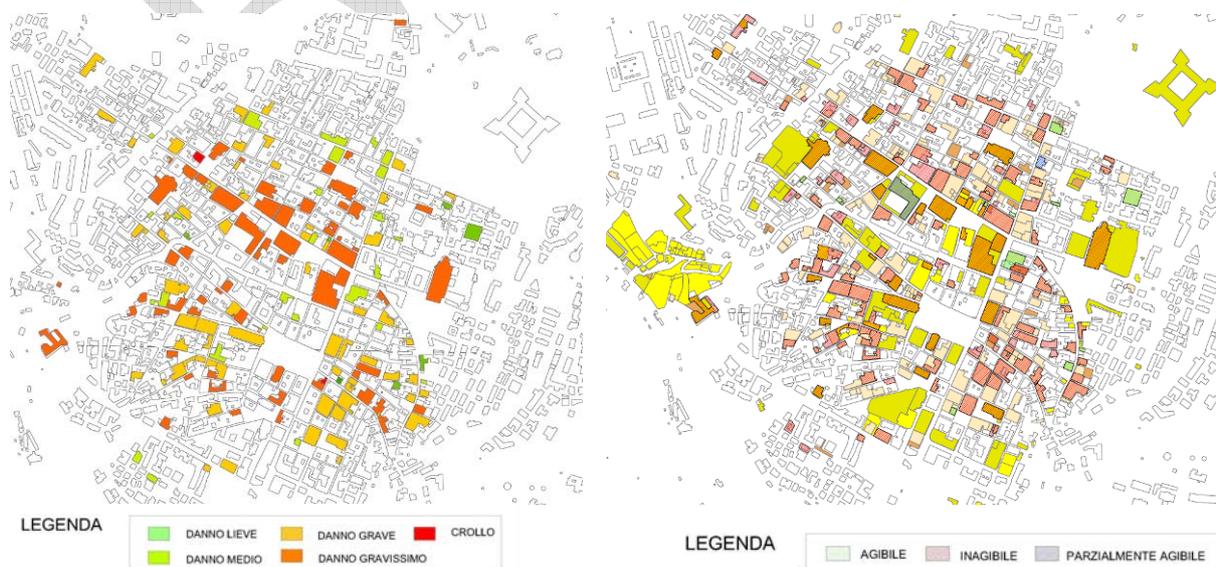
Può essere utile avvalersi di foto aeree che identifichino l'aggregato nell'ambito del centro urbano di cui fa parte (Figura A.2). E' necessario inoltre riportare ulteriore cartografia, ad esempio carte dei vincoli artistici, ambientali, etc., e i decreti di vincolo degli immobili vincolati a dichiarare la presenza di edifici vincolati all'interno del complesso in esame o altro tipo di restrizioni vigenti (Figura A.3). Può essere d'aiuto riportare un quadro d'insieme del rilievo dei danni e dell'agibilità estesa al complesso oggetto di studio ed eventualmente a quelli adiacenti (Figura A.4).



Figura A.2: Foto aerea dell'aggregato in oggetto



FiguraA.3: Carta degli edifici vincolati



FiguraA.4: Rilievo del danno (sinistra) e rilievo dell'agibilità del patrimonio monumentale del centro storico de L'Aquila (destra). Aggiornati al 20 Luglio 2009.

E' necessario utilizzare ulteriore cartografia tematica (carta morfologica, geologica, idrogeologica e così via), se disponibile, riportando le relative informazioni che da essa possono essere desunte (informazioni geotecniche ed altre informazioni utili ad inquadrare la tipologia di rischi a cui l'aggregato è potenzialmente esposto, tra cui quello sismico). Nell'esempio di Figura A.5, la Carta di Microzonazione Sismica pubblicata nel dicembre 2009 dalla Protezione Civile per il centro storico de L'Aquila.



Figura A.5: Microzonazione sismica livello1: centro storico

Qualora l'aggregato risulti essere oggetto di una suddivisione in Unità Minime di Intervento, è necessario aggiungere una planimetria con la perimetrazione di tutte le UMI in cui questo è stato ripartito, mettendo in evidenza la UMI oggetto di intervento (Figura A.13).

A.2 Elaborati grafici per lo studio dell'evoluzione dell'aggregato

Nell'esempio che segue vengono riportati alcuni elaborati "tipo" relativi alle trasformazioni dell'aggregato nel corso del tempo. La ricostruzione della storia costruttiva dell'aggregato si svolge partendo da evidenze direttamente osservabili sul campo, basate essenzialmente sulla ispezione visiva dell'aggregato, avvalorate da un esame della cartografia catastale e storica appartenente ad epoche diverse, in grado di documentare lo sviluppo processuale dell'edilizia di base (Figura A.6).

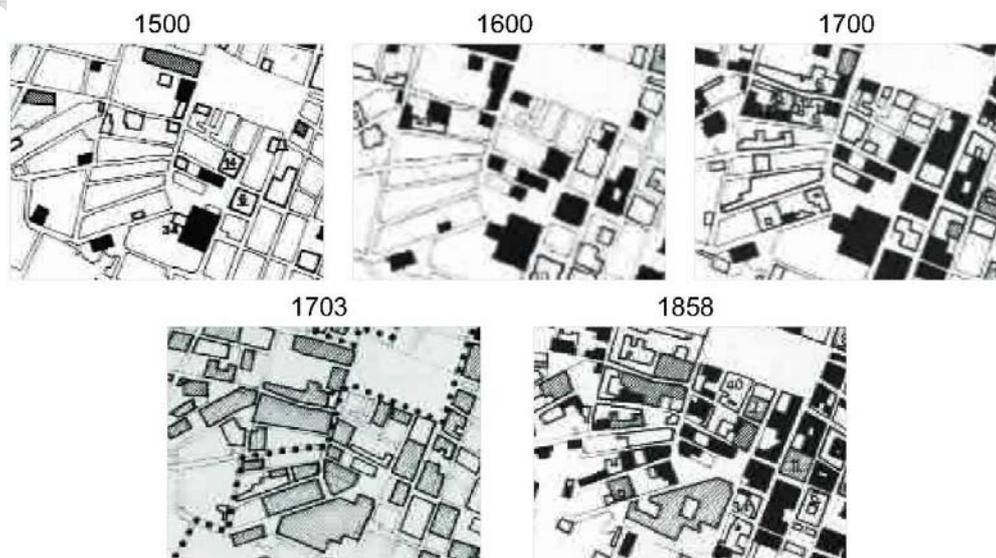


Figura A.6: Cartografia storica: in bianco sono individuati gli edifici realizzati nel periodo storico in cui è stata redatta la tavola, in nero gli edifici esistenti, in grigio gli edifici che hanno subito forti modifiche; nella tavola 1703 la campitura indica gli edifici fortemente danneggiati dal sisma.

Di seguito, alcuni elaborati che integrano lo studio della cartografia disponibile ai fini della ricostruzione della storia costruttiva dell'aggregato, mediante il rilievo di evidenze in sito su prospetti ed alzati. In particolare si riportano elaborati che mettono in luce le variazioni occorse in termini di numero dei piani, tra cui le sopraelevazioni (Figura A.7), ed elaborati relativi all'analisi dei prospetti, in particolare di quelli su fronte stradale, per quanto riguarda la disposizione delle bucaure, valutando aspetti quali, ad esempio, allineamento, simmetria, spalle di estremità (Figura A.8).



Figura A.7: Individuazione delle sopraelevazioni e delle unità ad un piano.



Figura A.8: Individuazione assialità aperture.

Il risultato dell'esame può essere sintetizzato in tavole grafiche, anche tridimensionali, che illustrino la sintesi dello studio condotto (Figura A.9).

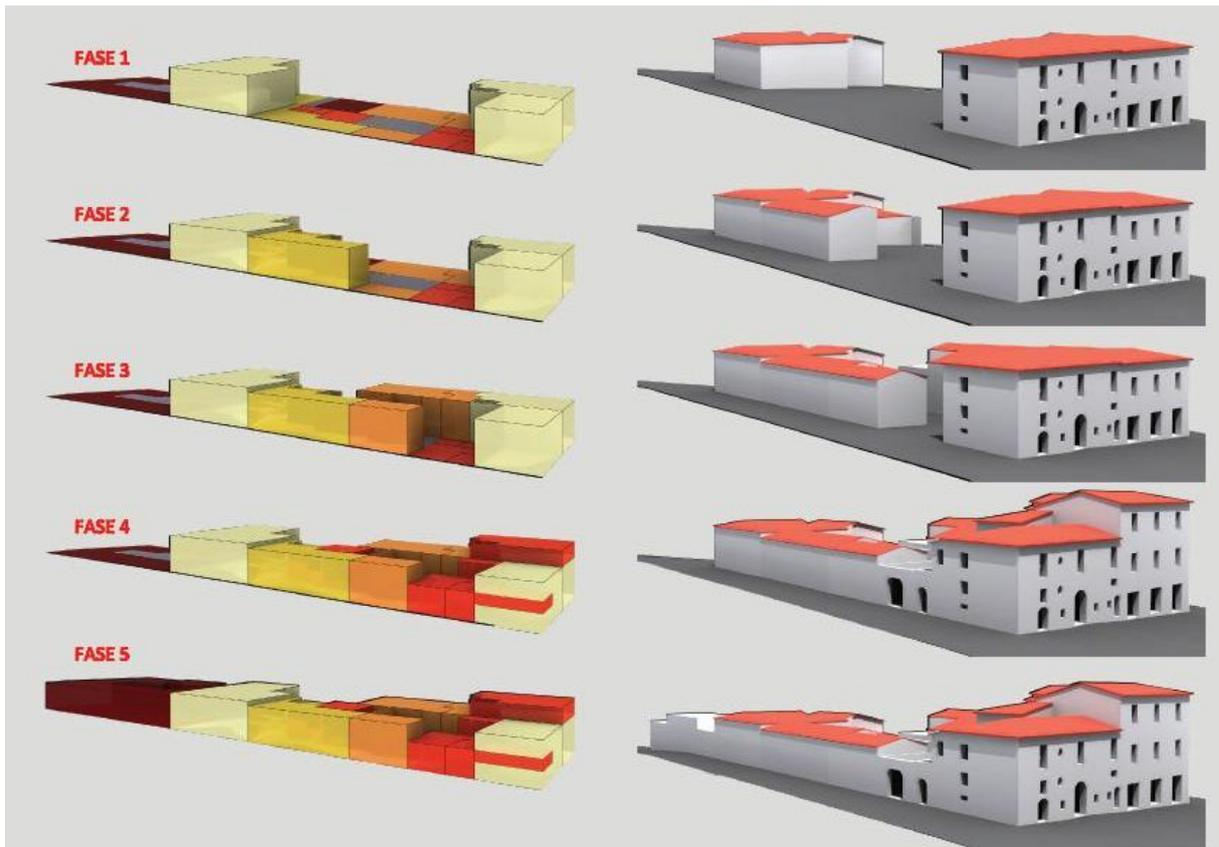


Figura A.9: Ipotesi evolutive dell'aggregato.

A.3 Elaborati relativi al rilievo geometrico

La rappresentazione dell'aggregato viene eseguita con piante (Figura A.10), sezioni (Figura A.11) e prospetti (Figura A.12) che lo inquadrano nella sua totalità in scala idonea alla sua comprensione; e con scale dall'1:100 fino all'1:50, per gli elaborati relativi alle singole U.M.I. Anche scale superiori (1:200) possono risultare accettabili a seconda della complessità e delle dimensioni del sistema strutturale. Nello studio dell'aggregato dovranno essere evidenti le caratteristiche plano altimetriche, l'eventuale sviluppo in pendio, la differenza di quote e di livelli. E' raccomandabile individuare i diversi livelli dell'aggregato, per la produzione delle planimetrie, in relazione a quote assolute, giacché le unità facenti parte dell'aggregato spesso si trovano su strade in pendio, e quindi a quote diverse. Questo facilita la redazione e la comprensione delle sezioni e dei prospetti dell'aggregato, nonché la comprensione anche di comportamenti strutturali d'assieme dello stesso.

Il rilievo geometrico sarà corredato da un'estesa e dettagliata documentazione fotografica, con indicazione dei relativi coni ottici sulle planimetrie di riferimento (vedasi Figura A.13 per l'individuazione della U.M.I. 1 nell'esempio di riferimento, e la relativa Figura A.14 con rilievo geometrico e fotografico della stessa).



Figura A.12: Principali prospetti dell'aggregato.

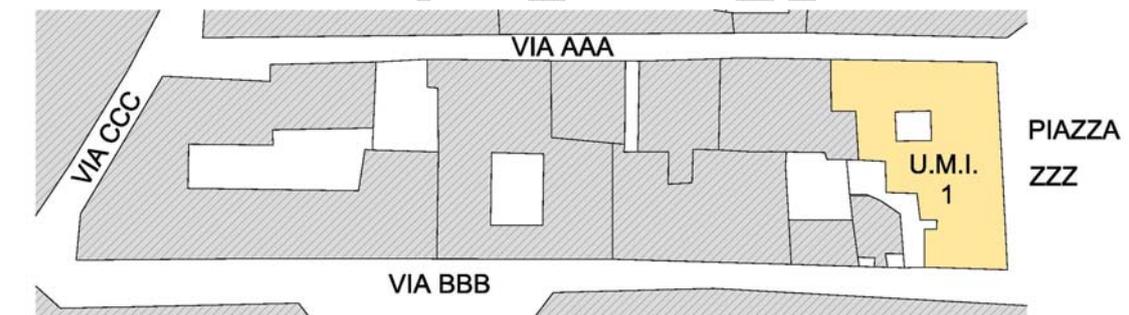


Figura A.13: Individuazione della U.M.I. 1.



Figura A.14: Rilievo geometrico dell'U.M.I 1 e documentazione fotografica

La restituzione tridimensionale dell'organismo (Figura A.15) può essere complessa, ma è certamente utile ai fini della comprensione dell'organismo, dei meccanismi di danno da esso subiti e della modellazione.

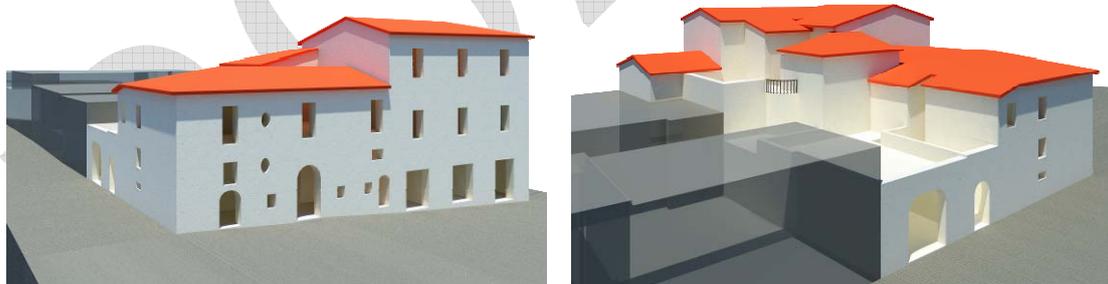


Figura A.15: Restituzione tridimensionale dell'aggregato.

A.4 Elaborati relativi al rilievo costruttivo-strutturale

Si deve descrivere puntualmente ogni porzione della struttura esaminata, in relazione alle strutture portanti verticali e agli orizzontamenti, la tecnica costruttiva usata per la realizzazione di ciascun elemento e le connessioni tra gli elementi. Tali descrizioni vanno sviluppate in modo approfondito quantomeno su una parte dell'aggregato o sua porzione (UMI, Figura A.16), e poi eventualmente sintetizzate sul resto della struttura oggetto di analisi (Figura A.17; Figura A.18).

Per quanto riguarda le murature ed i principali sistemi di orizzontamento, è utile affiancare alle piante anche abachi riepilogativi ove sono illustrati e descritti sinteticamente i sistemi

strutturali rintracciati in loco e possibilmente ordinati in relazione alle caratteristiche meccaniche.

Il rilievo costruttivo-strutturale deve altresì riportare gli eventuali presidi antisismici riscontrabili, storici (catene metalliche, lignee, speroni) o di più recente fattura (cordoli). Il rilievo viene sviluppato sulle medesime basi del rilievo geometrico, in scale leggibili come ad esempio 1'1:100, ed eventualmente dettagli costruttivi di tipologie particolari o ricorrenti. Anche questo rilievo deve essere accompagnato da dettagliata documentazione fotografica.



SEZIONE A-A

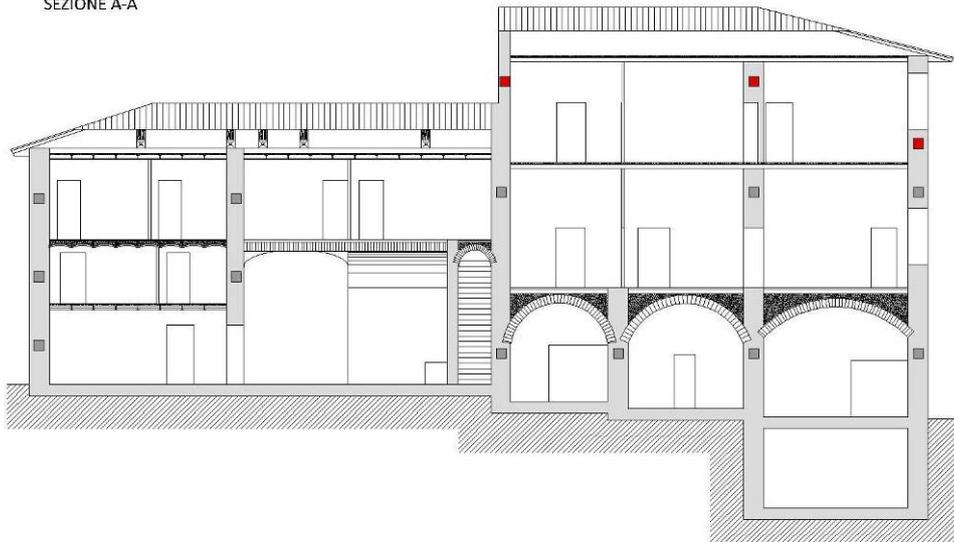


Figura A.16: Rilievo costruttivo-strutturale della U.M.I. 1: piante, sezioni e legenda.

Analisi delle strutture verticali portanti

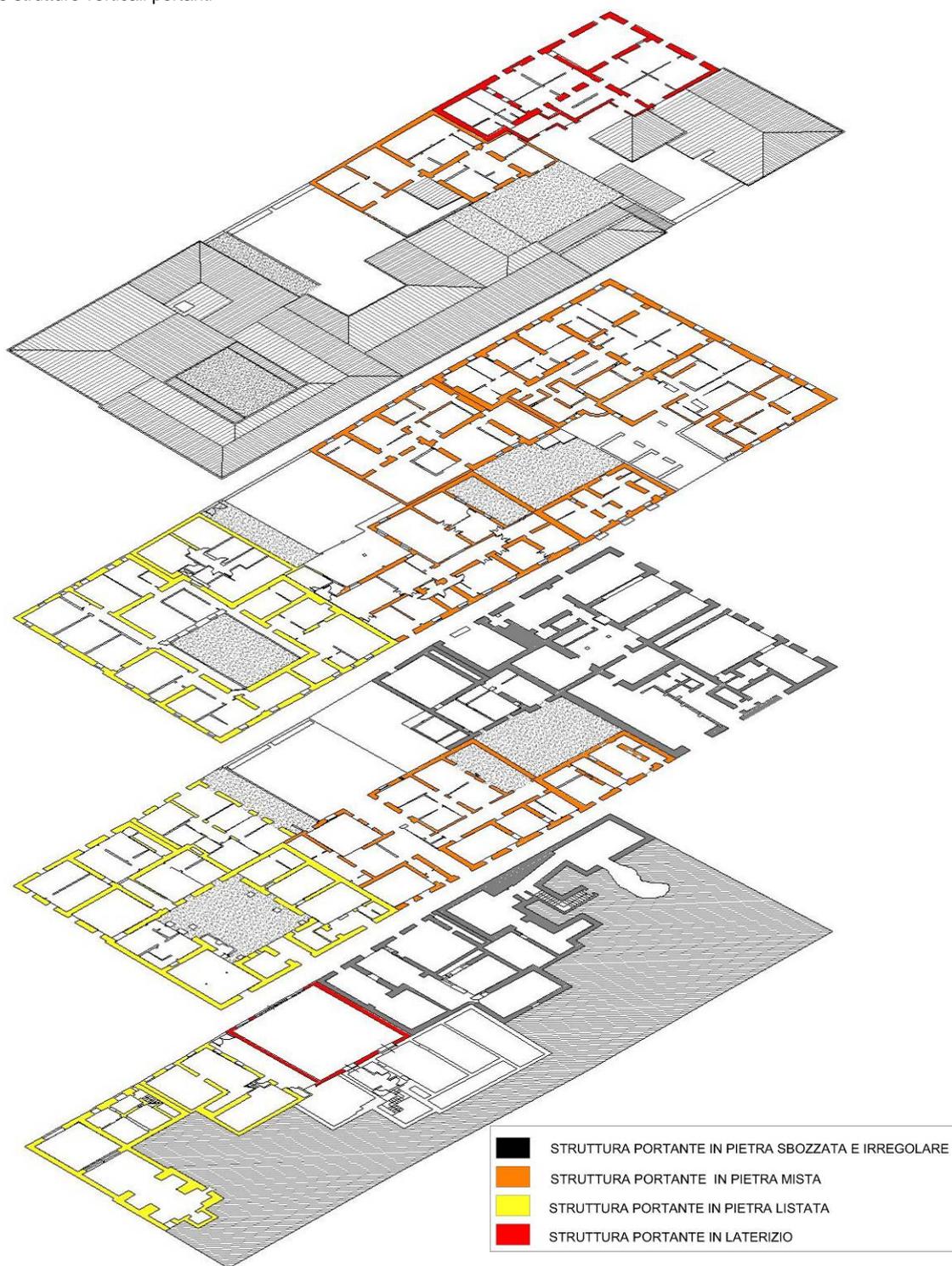


Figura A.17: Analisi delle strutture verticali portanti dell'aggregato.

Analisi degli orizzontamenti

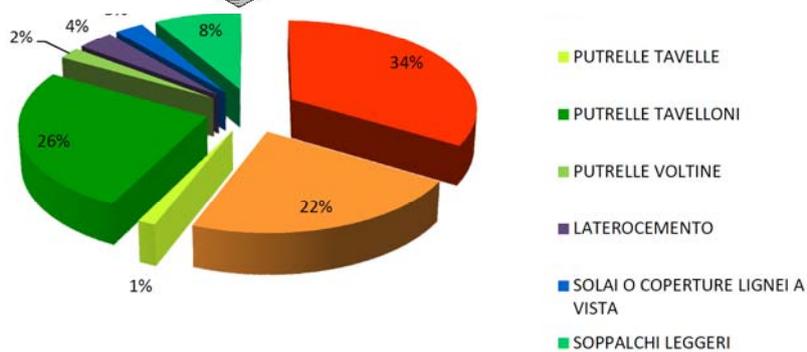
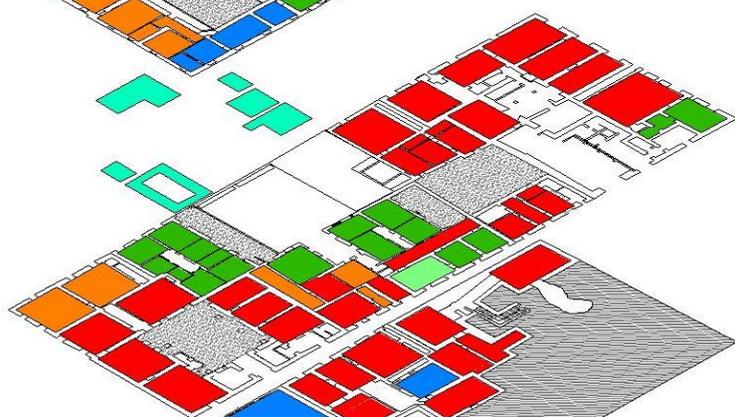
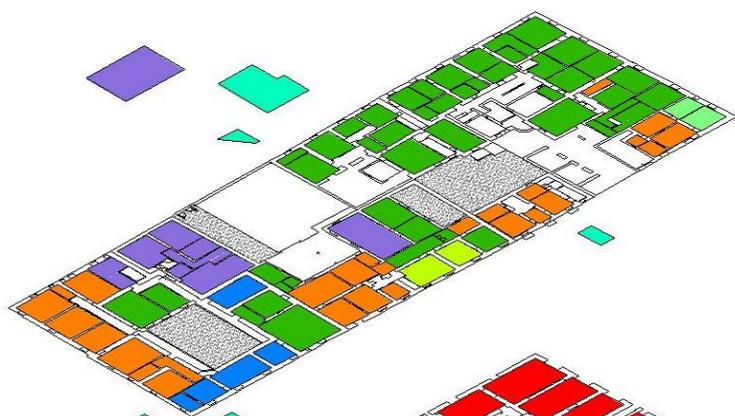
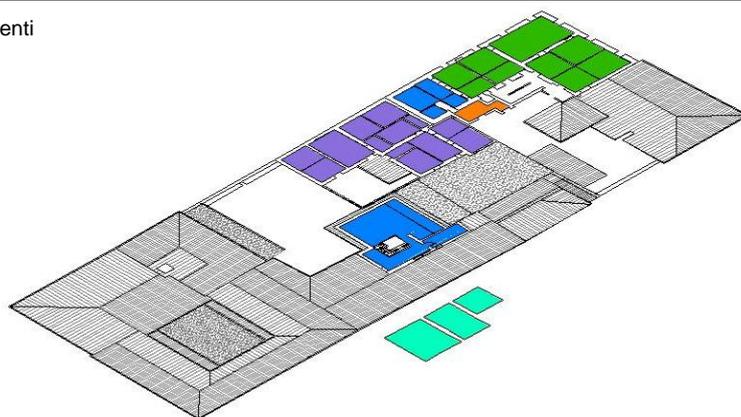


Figura A.18: Analisi degli orizzontamenti dell'aggregato.

In linea con quanto affermato nelle *Linee Guida per gli interventi di miglioramento sismico degli edifici in aggregato nei centri storici* (Reluis 2009), l'analisi critica della tecnica costruttiva presente “viene condotta per via comparativa, basandosi sulla osservazione diffusa degli elementi costruttivi e sul rilievo di un certo numero di essi, scelti in modo da rappresentare le diverse soluzioni identificate. La finalità di tale analisi è la ricostruzione del lessico costruttivo locale con le sue regole e le sue varianti, che può essere riportato graficamente tramite dettagli costruttivi o tavole esemplificative, sempre accompagnate da documentazione fotografica. Riconosciuto il lessico costruttivo locale, sarà possibile distinguere, per differenza, le esecuzioni di buona qualità costruttiva da quelle costruttivamente precarie e insufficienti”.

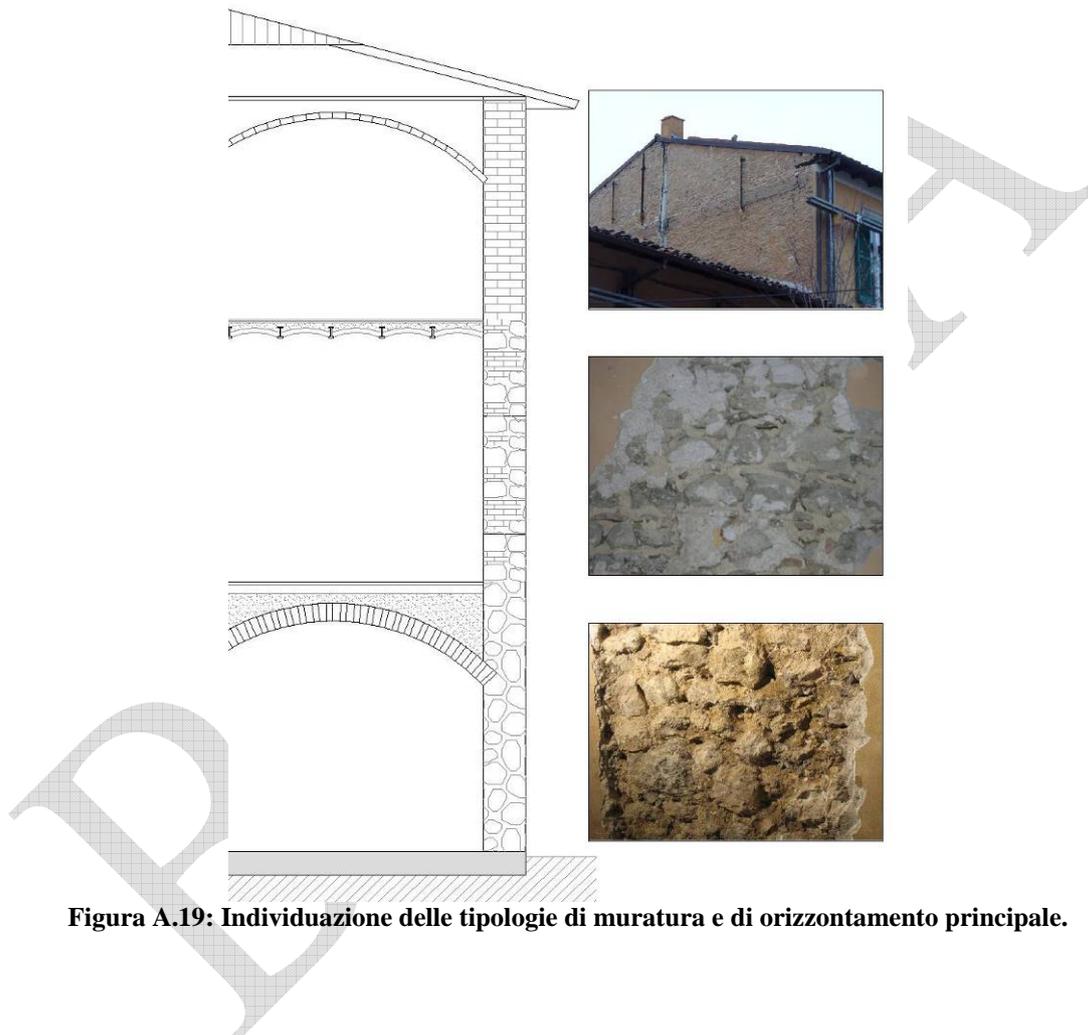


Figura A.19: Individuazione delle tipologie di muratura e di orizzontamento principale.

A.5 Elaborati relativi al rilievo critico dello stato di danno, dei dissesti e del degrado

La rappresentazione avviene riportando i quadri fessurativi in elaborati grafici, (piane, sezioni e prospetti), ed individuando successivamente i meccanismi attivati o in procinto di attivarsi. Anche l'analisi critica del danno deve essere condotta sull'intero aggregato (Figura A.20), o su una sua porzione (UMI o UMA), secondo elaborati eseguiti in scale analoghe alle analisi già effettuate, ad esempio 1:100, ed all'occorrenza illustrando dettagli relativi alle zone ove il danno è più concentrato (Figura A.21; Figura A.22). Anche in questo caso, l'affiancamento della documentazione fotografica del danno è un utile supporto alla comprensione delle tavole.

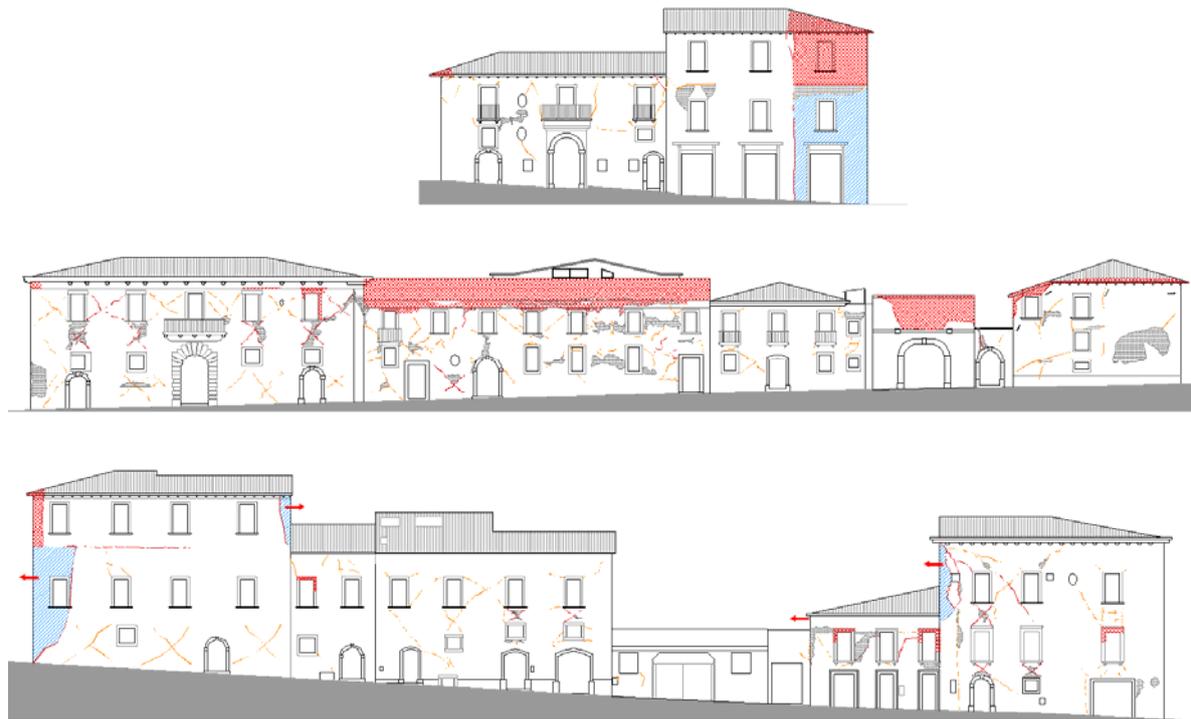


Figura A.20: Rilievo del danno sull'intero aggregato.

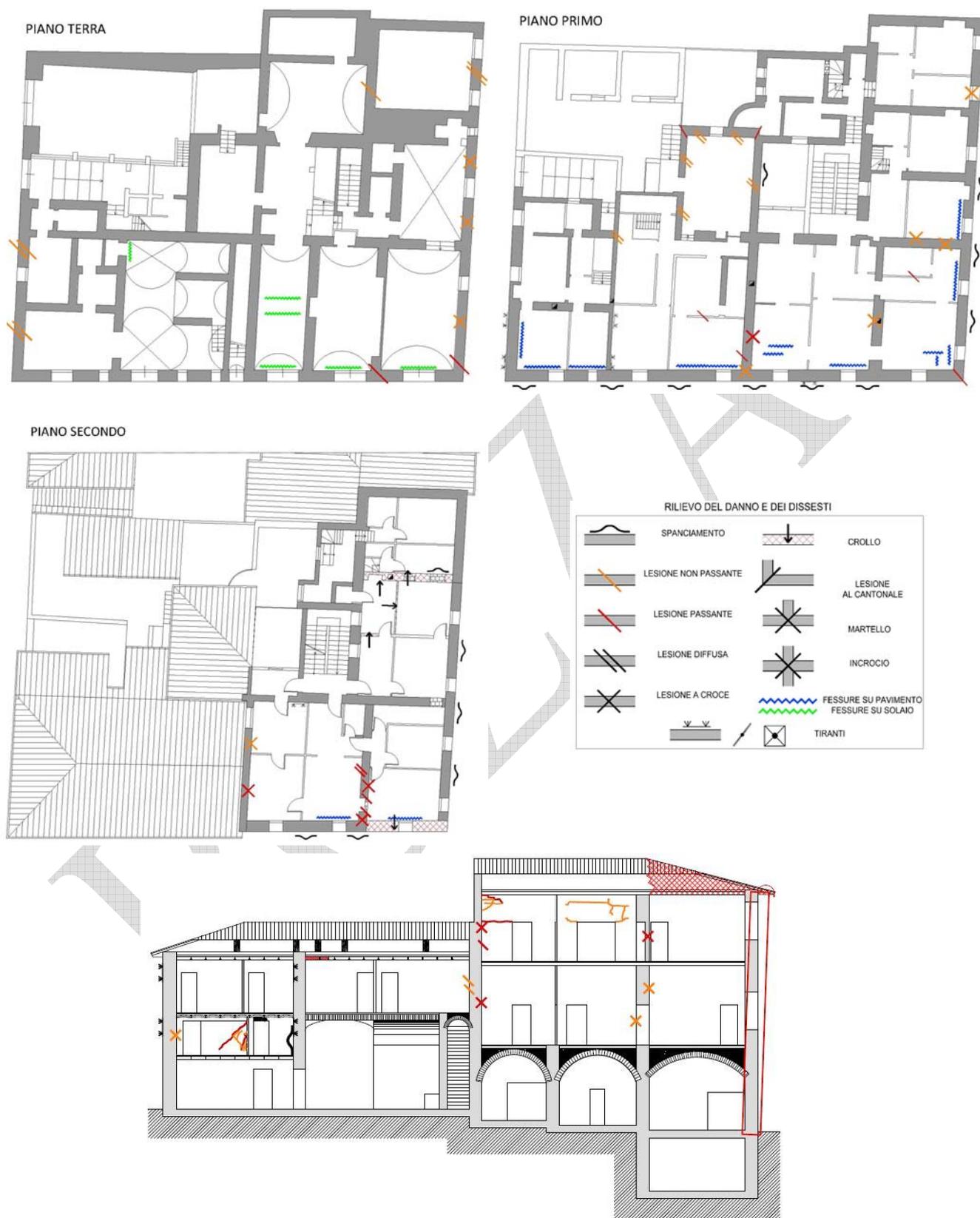
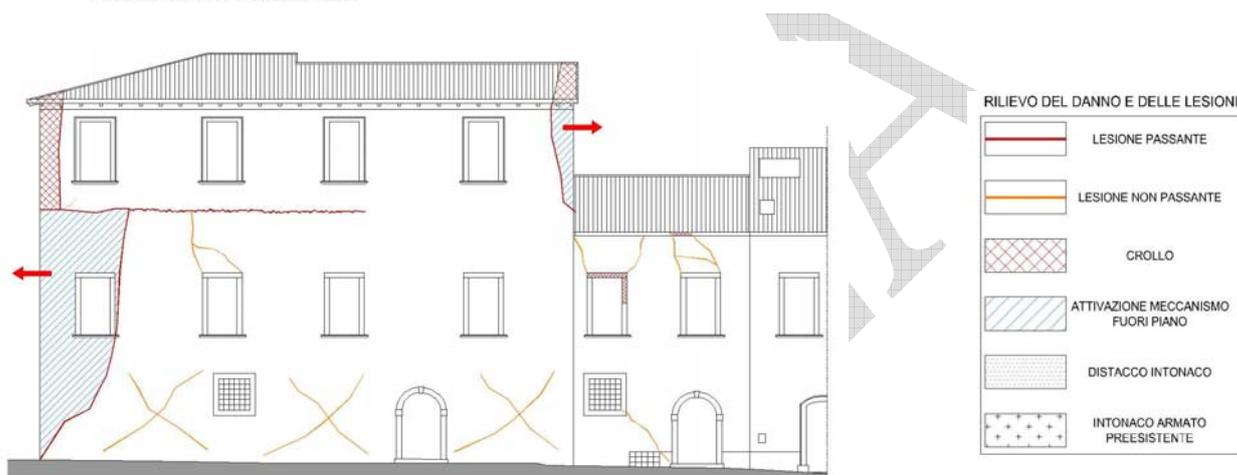


Figura A.21: Rilievo del danno sull'U.M.I. 1: piante, sezioni e legenda.



PROSPETTO Piazza ZZZ



PROSPETTO Via AAA

Figura A.22: Rilievo del danno sull'U.M.I. 1: prospetti e legenda.