

**ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITÀ DI BOLOGNA**

---

**SCUOLA DI INGEGNERIA E ARCHITETTURA**

*DIPARTIMENTO DI ARCHITETTURA*

**CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA EDILE -ARCHITETTURA**

**TESI DI LAUREA**

in

Tesi in Architettura Tecnica II

**ANALISI DELLA VULNERABILITÀ DI UN AGGREGATO EDILIZIO NEL CENTRO STORICO DI TORRICELLA SICURA (TE)  
E CONFRONTO CON IL SUO DANNEGGIAMENTO POST SISMA 2016.**

CANDIDATO:  
Marco Salvi

RELATORE  
Chiar.mo Prof. Giovanni Mochi

Anno Accademico 2018 - 2019  
Sessione I



## INDICE

<i>INTRODUZIONE</i>	<i>1</i>		
1 <i>TORRICELLA SICURA</i>	3		
1.1 Inquadramento generale	3		
1.2 Torricella nel tempo: i segni della storia	5		
1.3 Classificazione sismica	8		
1.4 Microzonazione sismica	8		
1.5 I caratteri geografici del territorio	9		
2 <i>VULNERABILITÀ SISMICA E QUALITÀ' MURARIA</i>	10		
2.1 Qualità muraria	10		
2.2 Le connessioni tra gli elementi strutturali	13		
2.3 I meccanismi di danno	13		
2.4 Primo modo di danno	14		
2.5 Secondo modo di danno	17		
2.6 Principali cause di danneggiamento	17		
2.6.1 Sopraelevazioni	17		
2.6.2 Facciate rifuse	18		
2.6.3 Ammorsamenti mancanti o poco efficaci	18		
2.6.4 Coperture spingenti	18		
2.6.5 Solai rigidi	19		
2.6.6 Maschi murari ridotti	20		
3 <i>INDICI DI VULNERABILITÀ</i>	21		
3.1 Indice di disconnessione muraria (DM)	21		
3.2 Indice di ribaltamento facciate (RF)	22		
3.3 Indice di lesione da falsi puntoni (FP)	24		
3.4 Indice di vulnerabilità a taglio (VT)	25		
3.5 Indice da martellamento solai (MSS)	26		
		3.6 Indice da martellamento da edifici in C.A. (MCA)	27
		3.7 Indice di ribaltamento timpano (RT)	28
		3.8 Indice di vulnerabilità da muri in falso (MF)	29
		3.9 Valutazione speditiva della vulnerabilità sismica	30
		3.9.1 Indice di trasformazione in pianta (TPsped)	31
		3.9.2 Indice di trasformazione in alzato (TAsped)	31
		3.9.3 Indice di vulnerabilità a taglio speditivo (VTsped)	31
		3.10 Indice globale analitico	32
		3.11 Indice di continuità muraria	33
		4 <i>RILIEVO STATO DI DANNO</i>	34
		4.1 Il danneggiamento secondo l'attuale normativa: le schede di AeDES	34
		4.1.1 La compilazione delle schede	35
		4.1.2 Descrizione sintetica del livello ed estensione del danno agli elementi strutturali principali	35
		4.2 Il giudizio di agibilità	36
		4.3 Classificazione del danno: la proposta MEDEA	39
		4.4 Quantificazione del danneggiamento: la nuova proposta	40
		4.5 Definizione della scala di danneggiamento	40
		4.6 Calcolo dell'indice di danno	42
		4.7 Calcolo dell'indice di danno: precisazioni	43
		5 <i>IL RAPPORTO TRA VULNERABILITÀ E DANNEGGIAMENTO</i>	44
		5.1 Premessa	44
		5.2 Gli indici di vulnerabilità ed il danno: relazione di causa – effetto	44
		6 <i>ANALISI DELL'AGGREGATO</i>	47
		6.1 Inquadramento generale	47
		6.2 Analisi storica dell'aggregato	49
		6.3 Metodo di lavoro	49
		6.4 Unità 1	50

6.5	Unità 2	52
6.6	Unità 3	56
6.7	Unità 4	58
6.8	Unità 5	60
6.9	Unità 6	62
6.10	Analisi dei risultati	66
	<i>CONCLUSIONI</i>	67
	<i>BIBLIOGRAFIA</i>	69

## INDICE ALLEGATI E TAVOLE GRAFICHE

1. Inquadramento
2. Pianta piano terra e piano primo
3. Pianta secondo piano
4. Pianta terzo piano
5. Pianta coperture
6. Analisi storica
7. Unità strutturali
8. Analisi della vulnerabilità: disconnessioni murarie
9. Analisi della vulnerabilità: falsi puntoni
10. Prospetti U.1
11. Analisi della vulnerabilità: ribaltamento facciate U.1
12. Analisi della vulnerabilità: falsi puntoni U.1
13. Analisi della vulnerabilità a taglio U.1
14. Analisi della vulnerabilità: martellamento solai sfalsati e ribaltamento timpano U.1
15. Calcolo degli indici di vulnerabilità U.1
16. Prospetti U.2
17. Analisi della vulnerabilità: ribaltamento facciate U.2
18. Analisi della vulnerabilità: falsi puntoni U.2
19. Analisi della vulnerabilità a taglio U.2
20. Analisi della vulnerabilità: martellamento solai sfalsati e ribaltamento timpano U.2
21. Calcolo degli indici di vulnerabilità U.2
22. Prospetti U.3
23. Analisi della vulnerabilità: ribaltamento facciate U.3
24. Analisi della vulnerabilità a taglio U.3
25. Analisi della vulnerabilità: martellamento solai sfalsati e ribaltamento timpano U.3
26. Calcolo degli indici di vulnerabilità U.3
27. Prospetti U.4
28. Analisi della vulnerabilità a taglio U.4
29. Analisi della vulnerabilità: martellamento solai sfalsati e ribaltamento timpano U4

30. Calcolo degli indici di vulnerabilità U.4
31. Prospetti U.5
32. Analisi della vulnerabilità a taglio U.5
33. Calcolo degli indici di vulnerabilità U.5
34. Prospetti U.6
35. Analisi della vulnerabilità: ribaltamento facciate U.6
36. Analisi della vulnerabilità: falsi puntoni U.6
37. Analisi della vulnerabilità a taglio U.6
38. Analisi della vulnerabilità: martellamento solai sfalsati e ribaltamento timpano U.6
39. Calcolo degli indici di vulnerabilità U.6
40. Calcolo degli indici di vulnerabilità dell'intero aggregato
41. Coni ottici piano terra e primo piano
42. Coni ottici secondo piano
43. Coni ottici terzo piano
44. Rilievo del danno piano terra e primo piano
45. Rilievo del danno secondo piano
46. Rilievo del danno terzo piano
47. Rilievo del danno: prospetti U.1
48. Rilievo del danno: prospetti U.2
49. Rilievo del danno: prospetti U.3
50. Rilievo del danno: prospetti U.6
51. Rilievo fotografico del danno U.1
52. Rilievo fotografico del danno U.2
53. Rilievo fotografico del danno U.3
54. Rilievo fotografico del danno U.6: piano terra
55. Rilievo fotografico del danno U.6: primo piano
56. Calcolo degli indici di danno
57. Analisi dei risultati

## INTRODUZIONE

L'Italia è uno dei Paesi a maggiore rischio sismico del Mediterraneo, per la frequenza dei terremoti che hanno da sempre interessato il suo territorio e per l'intensità che alcuni di essi hanno raggiunto.

La sua sismicità è legata alla posizione geografica: il nostro paese, infatti, è situato nella zona di convergenza tra la zolla africana e quella eurasiatica ed è sottoposto a spinte compressive molto forti.

Ogni evento sismico verificatosi ha determinato per tutte le attività di ripristino e di ricostruzione un impatto sociale ed economico rilevante, che è dipeso in larga misura dalla fragilità del patrimonio edilizio, non sempre realizzato nel rispetto dei criteri antisismici. Inoltre, ad accrescere i problemi di insicurezza edilizia sono intervenuti da un lato il "boom edilizio" degli anni '60 con la relativa urbanizzazione e, dall'altro, la vetustà degli edifici storici, i quali necessitano di controlli ed interventi più impegnativi economicamente.

Da questo si comprende quanto sia importante valutare la vulnerabilità degli edifici esistenti, sia per determinarne il livello di sicurezza a seguito di un evento sismico, sia per avere ben chiaro lo scenario degli edifici più a rischio sul territorio, al fine di poter pianificare gli interventi per il ripristino della sicurezza ed indirizzare tempestivamente i primi soccorsi, in caso di evento sismico, verso le aree più vulnerabili.

È sulla base di queste considerazioni che è nata l'idea di prendere in esame un aggregato edilizio storico colpito dal sisma del 2016, sito in Torricella Sicura (Te) per affrontare uno studio sulla valutazione della vulnerabilità.

Prima di esaminare tutti gli aspetti dell'aggregato che saranno oggetto di analisi per individuare i possibili meccanismi di danno, si è ritenuto doveroso dedicare un capitolo alla rappresentazione storico evolutiva del contesto territoriale nel quale è inserito l'aggregato in esame ed un altro all'importanza della qualità muraria negli edifici storici.

I metodi di calcolo moderni, infatti, ideati soprattutto per edifici in acciaio o cemento armato, non sono adatti a valutare la vulnerabilità di un edificio storico, in quanto la muratura è un materiale complesso che non può essere considerato come elemento omogeneo.

Si procederà, quindi, alla valutazione della vulnerabilità sismica dell'aggregato, tramite un metodo che utilizza indici matematici, in grado di rappresentare le caratteristiche degli

elementi strutturali di un edificio. Questo modello è stato testato inizialmente sugli aggregati edilizi emiliani, colpiti dal terremoto del 2012 e successivamente anche su quelli del centro-sud, colpiti dagli eventi sismici del 2009 e del 2016-17.

Questo metodo permette di ovviare ai limiti dei metodi di analisi di aggregati storici fino ad ora usati, in quanto considera la muratura come un elemento eterogeneo e gli aggregati storici come insieme di edifici interconnessi.

Questo approccio, basato sulla lettura critica dei tessuti edilizi storici e sull'analisi di ogni singolo aspetto che sia in grado di influenzare il comportamento di un edificio, individua un indice numerico che permette di sintetizzare il livello di vulnerabilità dell'aggregato. Questa analisi della vulnerabilità necessita di una validazione attraverso l'applicazione a un caso di studio realmente danneggiato da un sisma in modo da verificare se esiste una corrispondenza tra la propensione al danno misurata attraverso la vulnerabilità e il danno effettivo.

Per questo motivo, dopo aver condotto l'analisi della vulnerabilità, si procederà con la quantificazione del danno subito dall'aggregato, attraverso un metodo di calcolo che non solo stabilisca o meno l'agibilità di un edificio, ma assegni ad essa anche un effettivo valore numerico. Il metodo proposto in questa tesi, ripreso da studi precedenti, permette di quantificare i danni riscontrati da un edificio in muratura, sia alle strutture verticali che agli orizzontamenti (solai e copertura), considerando il livello di danno per ogni piano ed anche in questo caso, sintetizzando con un indice numerico il danno assoluto di edificio.

Quindi, l'obiettivo finale di questa tesi è quello di operare un confronto tra i valori emersi attraverso l'analisi della vulnerabilità e del danno.

Il confronto servirà ad accertare l'attendibilità del modello di calcolo utilizzato, al fine di verificare l'esistenza o meno di uno scostamento tra quanto determinato con l'analisi della vulnerabilità e l'entità dei danni effettivamente riscontrati.

Nel presente studio, l'analisi dell'aggregato edilizio avverrà attraverso la suddivisione dello stesso in sei differenti unità strutturali, per poter giungere a conclusioni più attendibili e precise, poiché tale analisi viene basata su ogni singola unità strutturale. L'aggregato, infatti, presenta delle caratteristiche molto differenti rispetto a quanto rilevato nei centri storici fin qui maggiormente studiati, ossia quelli facenti parte della pianura emiliana; inoltre, al proprio interno, vengono riscontrati elementi di grande disomogeneità in riferimento alle soluzioni costruttive. Accomunare diverse parti di un aggregato in un unico coefficiente,

non fornisce le necessarie informazioni e non permette di differenziare le unità strutturali più vulnerabili dalle altre.

Sarà, dunque, possibile verificare se una graduatoria degli indici di vulnerabilità delle diverse unità strutturali corrisponda alla graduatoria del livello di danno riscontrato e successivamente, se ci sia un rapporto di proporzionalità, o quantomeno di corrispondenza, tra i valori emersi.

Da ultimo, dopo aver preso in esame i dati emersi, verrà presentata una nuova proposta metodologica di calcolo, che rimodulando alcuni parametri, cercherà di integrare e migliorare questo tipo di analisi, permettendo di raggiungere una più efficace corrispondenza tra la stima della vulnerabilità e la stima del danno.

## 1 TORRICELLA SICURA

### 1.1 INQUADRAMENTO GENERALE

Torricella Sicura, chiamata semplicemente Torricella fino al Regio Decreto del 28 giugno 1863, è uno dei 47 comuni della Provincia di Teramo.

La decisione di aggiungere l'epiteto di Sicura fu adottata ad unanimità in un Consiglio comunale, appositamente riunito per questo scopo, il 12 agosto del 1862 per far fronte alla esigenza di distinguere questo paese da altri con nomi simili.

È un centro di 2.715 abitanti.



Fig. 1.1: Stemma del Comune di Torricella Sicura

Il territorio si estende su una superficie di 54,08 km<sup>2</sup> e confina con i Comuni di Campi, Cortino, Rocca Santa Maria, Teramo, Valle Castellana. In particolare, è situato a Nord-Ovest di Teramo, in un'area compresa fra la valle del torrente Vezzola e quella del fiume Tordino, che si caratterizza per tratti selvosi, acque e boschi di querce, di carpini e di aceri.

Appartiene alla zona altimetrica definita "montagna, con un'escursione di 1.286 metri. Parte, infatti, da quota di 286 m slm e arriva fino a 1572 m slm e la Casa Comunale è situata a 437 metri sul livello del mare.

La vicinanza al capoluogo di provincia agevola i collegamenti di lunga distanza: a 6 Km si trova il più vicino scalo sulla linea ferroviaria Teramo-Giulianova e a 10 Km l'incrocio di

Cartecchio per accedere all'autostrada Roma-Teramo (A24). Inoltre, la collocazione vicina a due importanti vie di comunicazioni come la S.S. n. 81 Piceno-Aprutina, in passato nota come "via Viscerale" che collega le Marche con l'Abruzzo e la S.S. 80 del Gran Sasso d'Italia, strada che si inserisce nel tratto abruzzese dell'antica via Cecilia che collegava Roma all'odierna Giulianova, facilita il raggiungimento da un lato delle località turistiche dell'Appennino teramano e dall'altro di quelle delle stazioni balneari del litorale abruzzese.

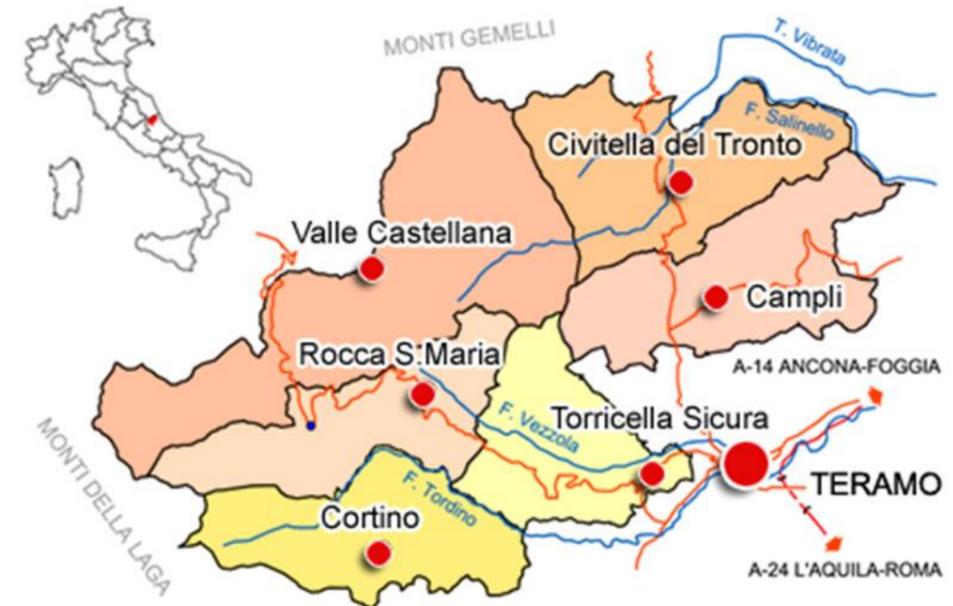


Fig. 1.2: Torricella Sicura e i Comuni confinanti.

L'organizzazione spaziale del comune è caratterizzata da una architettura tipicamente montana ed è suddivisa in diversi piccoli borghi di origine medioevale, che rappresentano quasi come degli ideali, contemporanei e minuscoli quartieri:

- Torricella Scarpone, dove un tempo sorgeva un castello;
- Torricella Scura o Oscura (per il tipo di laterizio usato nella costruzione delle case);
- Torricella Romana o Case Romane, dove si trova la casa della famiglia Romani;
- Colle Pero o Colle della Pera;
- Case nuove
- la nuova zona più centrale del paese che non ha un nome specifico.



Fig. 1.3: Foglio 41 del Comune di Torricella Sicura.

Questi quartieri, dislocati a vari livelli, convergono nella Piazza centrale intitolata al giovane medico chirurgo Mario Capuani, martire della resistenza partigiana, che nel 1943 fu catturato dai nazifascisti nella zona di Bosco Martese e trucidato.

La villa gentilizia nella quale abitava è rimasta abbandonata per molto tempo. Costruzione austera e rigorosa molto curata nei particolari architettonici, quasi isolata rispetto alle case circostanti, la Villa Capuani- Celommi è stata ristrutturata di recente ed è diventata patrimonio del Comune di Torricella Sicura e sede della Fondazione Pasquale Celommi onlus, voluta ed istituita per via testamentaria da Fulvia Celommi ed intitolata al nonno per realizzare quel “processo culturale che, coinvolgendo l’arte di Pasquale Celommi e l’eroismo di Mario Capuani, promuovesse, soprattutto nei giovani, l’amore e la ricerca dei più alti valori umani”.

Sempre sulla Piazza principale sorge la chiesa in stile barocco dedicata a San Paolo Apostolo, il patrono del paese. Sovrastata da un maestoso campanile in laterizio, con merlature nella parte terminale, la chiesa ha sostituito quella più antica che sorgeva alla periferia di Torricella Sicura. Di epoca piuttosto recente (ultimi decenni del XVIII secolo), ha subito diversi interventi di restauro che però non hanno in alcun modo alterato gli aspetti essenziali della struttura. A navata unica, possiede una facciata in laterizio racchiusa da due ali concave e arretrate rispetto al filo della parete frontale, secondo una classica tipologia del barocco europeo, rara in Abruzzo ma presente in alcune chiese teramane (il Carmine a Teramo, San Francesco ad Atri, S. Lucia di Cermignano e Santa Maria degli Angeli a Bisenti). All’interno conserva una pala di Sebastian Majewskj raffigurante la Madonna con il Bambino e santi del 1627 ed un’acquasantiera seicentesca proveniente dalla chiesa antica. In sacrestia è custodito anche un capitello corinzio antico, mentre resti di epoca romana e frammenti della decorazione della chiesa medievale di San Paolo sono stati murati nella parete esterna della canonica. La muratura è in pietre non lavorate e rinzaffi in laterizio.

Altra chiesa, recentemente restaurata, è la Madonna delle Vergini, eretta nel 1635 e chiamata dagli abitanti chiesa della Cona (da icona, ossia dedicata alla Madonna). Sorge all’ingresso del paese nel punto in cui i viandanti in viaggio tra Fanum e Teramo posero una stele con l’immagine della Vergine. Due targhe commemorative, all’esterno della struttura, ancora oggi ricordano quell’evento. In stile neoclassico, essa presenta un’unica navata con due piccole cappelle laterali ricavate dalla roccia di tufo. Una di queste rappresentava l’involucro

di un'edicola votiva alla Madonna. Al lato, è presente un campaniletto in laterizio con apertura a tutto sesto e parte terminale a forma esagonale. È in un discreto stato di conservazione e saltuariamente viene usata per il culto.

Di pregevole interesse è anche il Museo etnografico e delle Tradizioni Contadine "Borgo Antico" nel quale è possibile rivivere attraverso numerosi oggetti e documenti le antiche atmosfere delle tradizioni popolari concernenti l'agricoltura dalla Val Vibrata e della Valle del Tronto.

L'attuale comprensorio territoriale del Comune di Torricella ha preso le mosse durante la seconda occupazione francese ed ha assunto la sua odierna estensione qualche tempo dopo la Unificazione d'Italia (1861). Esso abbraccia più di trenta frazioni oltre ad alcune località sparse e casa abitate: Ioannella (con Poggio Valle, Pastignano, Popolo e Valle Piola), S. Stefano (con Abetemozzo, Borgonovo, Poggio Rattieri, Corvacchiano, Faognano, Ginepri, Magliano, Magliano da Capo, Magliano da Piedi, Ricci, San Felice) e la stessa Torricella Sicura (con Piano Grande, Antanemuccio, Fornaci, Morricone, Progetto, S. Pietro, Costumi, Sciarra, Tizzano, Tofo).

La configurazione geografica del territorio ha reso spesso difficile se non impossibile la comunicazione tra i centri abitati. Alcune di queste frazioni distanti dalla rete viaria per difficoltà di collegamento e di accesso, non sorrette da un adeguato impegno politico si sono fortemente spopolate.



Fig. 1.4: Foto dell'aggregato fine XIX sec..

## 1.2 TORRICELLA NEL TEMPO: I SEGNI DELLA STORIA.

Paese dalla incerta toponomastica. Il nome deriverebbe dalla presenza di un antico castello, di cui oggi non rimangono molte tracce. Il termine "Sicura", invece, secondo alcuni da "oscura", per altri dalla presunta presenza in zona dei Siculi intorno alla fine dell'anno mille a.C.

Il castello menzionato sorgeva con molta probabilità su una collinetta posta a nord dell'attuale centro abitato che gli abitanti ancora chiamano "lu castille" o Colle Ciliegio.

Sul finire del '700, lo storico contemporaneo Luigi Ercole, riferiva della scoperta di un passaggio sotterraneo che dal castello conduceva in aperta campagna con queste testuali parole: "Eravi un castello oggi diruto e non ha molto, si scoprì una strada sotterranea, nella quale furono trovate alcune armi arrugginite e che dal castello avea l'uscita nella campagna".

Sempre secondo una leggenda popolare sotto Colle Ciliegio ci sarebbe stata una grotta, utilizzata per nascondere un tesoro protetto da un enorme serpente, la cui presenza non farebbe altro che avvalorare l'esistenza della galleria sotterranea.

Tutta la zona è un luogo di notevole interesse archeologico. Resti e reperti, spesso con importanti iscrizioni, recuperati nel comprensorio a partire dal secolo diciannovesimo, documentano permanenze di strutture italiche, romane e altomedioevali.

Nei dintorni del paese sono stati individuati i resti di un tempio consacrato ad una divinità agreste, varie tombe romane e una misteriosa ara con la dedica ad un "dio ignoto".

Di rilievo una lapide di marmo recante una epigrafe alla sacerdotessa Numisia, alla quale fu dedicata una statua ed una iscrizione che lascerebbe supporre la presenza di un edificio termale nella zona.

Nella frazione Borgonovo nel 1912 fu rinvenuto un importante Tesoretto monetale romano risalente al II-III sec. a.C., mentre nella frazione di Galliano nel 1916 furono scoperti resti di un grandioso edificio pubblico e, qualche anno più tardi, mura di una domus o di una villa imperiale.

A Magliano, vicino alla antichissima Chiesa di San Lorenzo, si trovano i resti della cosiddetta Muraglia dei Saracini, i cui costruttori, secondo la leggenda, erano uomini molto grandi che, nonostante l'imponenza del loro aspetto e delle loro costruzioni, furono uccisi tutti ed il loro castello distrutto da "formiche giganti" che inghiottivano ogni cosa. Trattasi di mura quadrate, presumibilmente di epoca italica, che furono erette su un promontorio che domina tutta la vallata del Vezzola.

Nella frazione di Ioanella, c'è una cava di pietra nota fin dall'antichità, i cui materiali furono molto impiegati per la costruzione degli edifici civili e religiosi di Teramo.

Sul Monte Fano sono tuttora in corso di studio alcuni resti trovati in prossimità di un vicus romano con un tempio di epoca repubblicana. Inoltre, il ritrovamento di numerose sepolture nella zona lascerebbe intendere che ci sia stata una crescente, capillare e precoce diffusione del Cristianesimo.

Reperti di epoca romana sono stati rinvenuti anche nella frazione di Morricone, nota nel Medioevo per il castello dei signori "Morricone", potenti e terribili feudatari, seguaci prima degli Svevi e poi degli Angioini.

Alcuni reperti archeologici, come resti di mura e di antiche fornaci medioevali, frammenti di tegole e blocchi di travertino squadrati, trovati nei pressi della vecchia chiesa di S. Paolo a Torricella, durante la costruzione di alcune strade, farebbero risalire all'epoca romana l'origine dei primi insediamenti organizzati per soddisfare da un lato i bisogni materiali legati alla sopravvivenza (allevamento bestiame ed agricoltura) e dall'altro quelli religiosi direttamente connessi alle esigenze di purificazione (costruzione di are).

In realtà, secondo Gabriele Orsini, sociologo autore de "La Comunità della Laga", l'attuale conformazione di Torricella avrebbe origine presumibilmente nel periodo delle "incastellazioni" e cioè intorno al IX e X secolo, quando venivano edificati castelli e torri a difesa della incolumità dei signorotti e degli abitanti del borgo. In quel periodo il castello non era solo una struttura fortificata ma rappresentava un polo che aggregava nella sua sfera di influenza e nella sua giurisdizione in un unico disegno di rafforzamento delle terre di confine, sia i proprietari di terreni liberi che le genti sparse nei piccoli abitati dei dintorni.

In epoca medioevale il territorio di Torricella fece capo al Ducato di Spoleto e molti dei piccoli o dei grandi centri della zona sono nominati, a partire dall'anno 894, nel Cartulario della Chiesa teramana.<sup>1</sup>

Nei secoli XII-XIII, tutta la zona appare frazionata in piccoli e grandi feudi, fra cui quello di Ugucione che, nel 1159 diventa il signore di Torricella, degli Acquaviva nel XV e dei Mendoza nel XVI.

Successivamente, a partire dal sec. XIV, con la scomparsa delle antiche famiglie feudali, il paese e il suo territorio passarono sotto la giurisdizione della Chiesa attraverso le istituzioni regolari e secolari.

L'istituzione regolare più importante fu rappresentata dai monaci benedettini di Montecassino e di Farfa, che attraverso un'opera lenta ma continua, riuscirono a penetrare nel territorio e ad influenzare molti aspetti della vita a livello di costumi, di diritto e di economia. In località Scorzoni, sempre nel comune di Torricella, sono ancora oggi visibili

<sup>1</sup> **Cartulario** [dal latino medievale *chartularius, cartularium* o *chartularium*, derivazione del latino *chartūla*, diminutivo di *charta* « carta »], è un manoscritto medievale, in volume o più raramente in rotolo (rotulus), contenente la trascrizione

di documenti originali relativi alla fondazione, privilegi e diritti legali di istituzioni ecclesiastiche, corporazioni municipali, associazioni industriali, istituzioni di insegnamento, o famiglie private.

alcuni ruderi del Monastero femminile di S.Giovanni a Scorzone, fondato nel 1005 a seguito di un generoso lascito di beni da parte del nobile Teutone e gestito direttamente dai Monaci benedettini della Abbazia Montecassino. Della chiesa con annesso convento, oltre a pochi ruderi non restano oggi che, tracce di fondamenta, alcuni resti di muri perimetrali e di una torre che forse costituiva l'antico campanile.

Di grande interesse storico-architettonico è la Chiesa di San Pietro di Azzano, antichissimo insediamento benedettino farfense, che si contraddistingue per un bel portale romanico.

L'Istituzione secolare, viceversa, ha operato attraverso il Vescovo, al quale i discendenti dei Longobardi, lasciarono donazioni e privilegi pur di ottenere la salvezza delle loro anime e di quelle dei loro congiunti.

La Chiesa si trovò ad acquisire una vasta signoria su molte delle attuali contrade di Torricella, che entrarono a far parte del suo dominio temporale e che furono amministrate dal Vescovo di Teramo "cum gladii potestate" tramite un proprio rappresentante che ha avuto il titolo di Vice-Conte fino al 1806, anno che rappresenta la data di abolizione ufficiale del feudalesimo, avvenuta ad opera di Napoleone Bonaparte, più di tre secoli dopo la fine del Medioevo.

Nel corso tempo il borgo acquisterà una sua autonomia amministrativa ed i loro abitanti godranno sempre di speciali privilegi.

Nel secolo XVII diventerà una "Università"<sup>2</sup> autonoma da quella di Teramo, che da 20 fuochi (nuclei familiari di 4/5 unità) passerà a 45 fuochi nel 1669 ed a 44 fuochi nel 1736.

Nei primi anni del XIX secolo Torricella registrerà una forte crescita demografica per lo più determinata dalla annessione di alcune piccole Università e Feudi della zona, che vengono aboliti perché di minuscola entità e raggiungerà i 1548 abitanti.

Con l'Unità d'Italia, Torricella diventerà Comune autonomo.

Da questo momento in poi fino ai giorni nostri, si assisterà ad un andamento altalenante della crescita demografica: inizialmente stabile, raggiungerà il massimo picco storico negli anni

sessanta con 4133 unità. Successivamente avrà inizio un massiccio spopolamento che ridurrà sensibilmente il numero degli abitanti attestandolo sugli attuali livelli.

Le cause sono da ricercarsi sulle scarse possibilità lavorative degli abitanti, aggravate ancor di più da una crisi economica e sociale non circoscrivibile ad ambiti esclusivamente locali ma ricollegabili ad una incertezza globale di carattere sovranazionale.



Fig. 1.5: Chiesa di San Paolo, Comune di Torricella Sicura.

<sup>2</sup> Le *universitates* (dal latino *universitas*, -tis), definite anche università del Regno (o semplicemente "università"), è il termine che generalmente indicava i comuni dell'Italia meridionale, sorti già sotto la dominazione longobarda e successivamente infeudati con le conquiste dei Normanni. La loro evoluzione storica è differente rispetto ai liberi comuni sorti nell'Italia centro-settentrionale nel Medioevo.

Più in generale sono "uno specifico ente collettivo, la *universitas civium* o *universitas loci*, che si autogoverna entro certi ambiti e con determinati poteri tradizionali, in dipendenza da un'autorità superiore di varia natura (regia, feudale, cittadina) con la quale contratta in occasioni ordinarie o straordinarie (dedizioni, rese, passaggi di signoria o di dinastia)

sia la propria costituzione (e la riforma della stessa), sia le modalità, talvolta anche la consistenza, delle proprie contribuzioni in denaro e in servizi".

Durante il dominio di Federico II si usava il termine "comune", mentre Carlo I d'Angiò lo mutò in *universitas* (da *universi cives*, "unione di tutti i cittadini"), ordinando la distruzione dei sigilli comunali. Esse sopravvissero sino all'abolizione del feudalesimo avvenuta con decreto del 2 agosto 1806, ad opera di Giuseppe Bonaparte.

### 1.3 CLASSIFICAZIONE SISMICA

La classificazione sismica indicata nell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274/2003 ed aggiornata con la Delibera della Giunta Regionale dell'Abruzzo n. 438 del 29.03.2003 fa rientrare il comune di Torricella in zona 2 cioè in un territorio con pericolosità sismica media dove possono verificarsi forti terremoti.

Sulla base della classificazione sismica del territorio nazionale sono state introdotte normative tecniche specifiche per la costruzione di edifici, ponti ed altre opere e per gli interventi di adeguamento su quelli esistenti, distinte per aree geografiche caratterizzate dal medesimo rischio sismico.

Lo scopo di queste norme è quello di assicurare che in caso di evento sismico sia protetta la vita umana, siano limitati i danni e restino funzionanti le strutture essenziali per gli interventi di protezione civile.

I criteri per l'aggiornamento della mappa di pericolosità sismica sono stati definiti nell'Ordinanza del PCM n. 3519/2006. L'intero territorio nazionale è stato suddiviso in quattro zone sismiche sulla base del valore dell'accelerazione orizzontale massima ( $a_g$ ) su suolo rigido o pianeggiante, che ha una probabilità del 10% di essere superata in 50 anni.

Molto frequente è la possibilità che i territori di alcuni comuni possano ricadere in zone sismiche diverse.

Zona sismica	Descrizione	accelerazione con probabilità di superamento del 10% in 50 anni [ $a_g$ ]	accelerazione orizzontale massima convenzionale (Norme Tecniche) [ $a_g$ ]
1	Indica la zona più pericolosa, dove possono verificarsi fortissimi terremoti.	$a_g > 0,25$ g	0,35 g
2	Zona dove possono verificarsi forti terremoti.	$0,15 < a_g \leq 0,25$ g	0,25 g
3	Zona che può essere soggetta a forti terremoti ma rari.	$0,05 < a_g \leq 0,15$ g	0,15 g
4	E' la zona meno pericolosa, dove i terremoti sono rari ed è facoltà delle Regioni prescrivere l'obbligo della progettazione antisismica.	$a_g \leq 0,05$ g	0,05 g

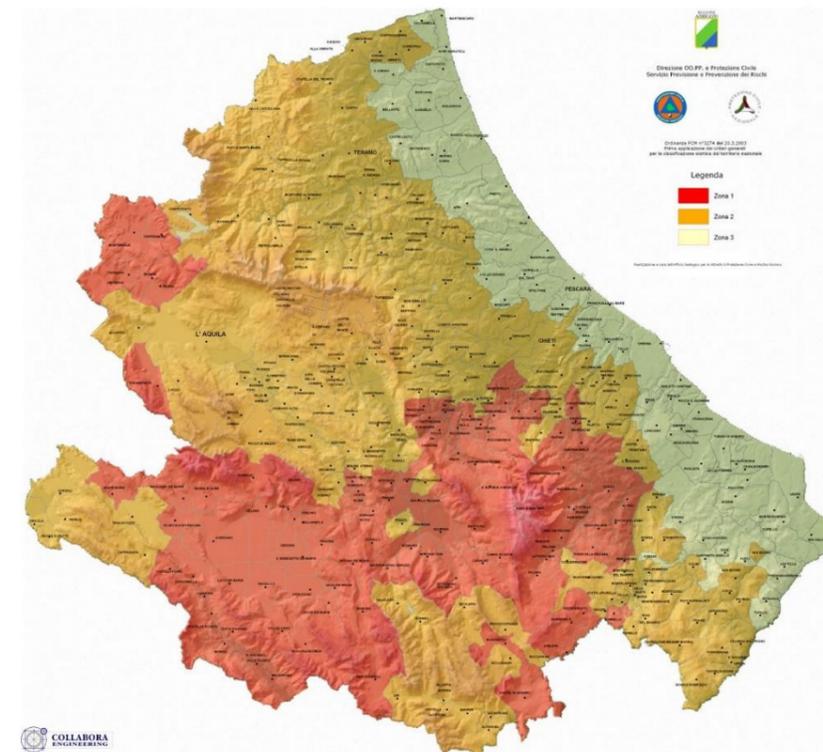


Fig. 1.6: Cartografia Macrozonazione sismica

### 1.4 MICROZONAZIONE SISMICA

Dopo un certo evento sismico, dall'esame dei danni provocati alle costruzioni ed alle infrastrutture si rilevano profonde differenze nei danneggiamenti anche in centri abitati limitrofi. Viceversa, si osservano scenari post terremoto, con crolli e danni consistenti, all'apparenza inspiegabili, in zone lontane dall'epicentro.

È evidente che l'entità dei danni possa essere influenzata dalla scarsa qualità delle costruzioni, ma spesso le cause sono da ricercarsi in altri aspetti tra i quali la differente pericolosità sismica locale.

La necessità di conoscere le modalità di propagazione del terremoto e la instabilità del suolo ha dato un forte impulso a livello scientifico, negli ultimi 40 anni, allo sviluppo degli studi di Microzonazione Sismica.

La Microzonazione Sismica valuta la pericolosità sismica locale attraverso l'individuazione di zone del territorio caratterizzate da comportamento sismico omogeneo.

In sostanza, studia ad una scala sufficientemente piccola, di livello comunale o subcomunale, le condizioni, geologiche, geomorfologiche e geotecniche dell'immediato sottosuolo che possono alterare in modo più o meno sensibile la risposta di ogni specifica zona individuata ad un terremoto.

È evidente la contrapposizione con la macrozonazione, che, come precedentemente detto, suddivide il territorio in quattro macrozone di pericolosità sismica,

Secondo, gli "Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica" (ICMS 2008) le microzone sono individuate e classificate secondo tre categorie:

- *zone stabili* caratterizzate da roccia rigida e pianeggiante dove non si ipotizzano effetti locali di rilievo;
- *zone stabili suscettibili di amplificazioni locali* dove sono attese amplificazioni del moto sismico dovute alla litostratigrafia e alla morfologia locale;
- *zone suscettibili di instabilità* denotate da fenomeni di deformazione permanente del territorio, attivi o potenzialmente attivabili in caso di sisma come instabilità di versante, liquefazioni, fagliazione superficiale o cedimenti differenziali.

Gli studi di microzonazione sismica possono essere condotti a vari livelli di approfondimento, dal livello 1 sino al livello 3, il massimo livello raggiungibile.

Ai sensi del D.L.vo n. 8 del 9/02/2017 sono stati stanziati 6,5 milioni di euro per la realizzazione di studi di microzonazione sismica di terzo livello nei territori appartenenti al "cratere" sismico.

Nello studio condotto per il comune di Torricella Sicura, autorizzato con Determina EDIL/URB/TER. n.48 Del 30-06-2017, si dice che il suolo rientra nella classificazione di tipo B: rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati e terreni a grana fine molto consistenti con spessori superiori a 30 m., caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità.

## 1.5 I CARATTERI GEOGRAFICI DEL TERRITORIO

Il territorio del comune di Torricella Sicura è inserito nella circoscrizione teramana che abbraccia una parte dell'arco esterno dell'Appennino abruzzese, ossia il versante orientale della catena della Laga, con le montagne gemelle dei Fiori e di Campoli, separate tra di loro dalle gole del fiume Salinello e la parte nord-orientale del massiccio del Gran Sasso.

I due massicci sono differenti per composizione geologica e per caratteristiche morfologiche.

La catena della Laga è formata da marne e arenarie, rocce tenere e impermeabili. Il versante teramano è più dolce, segnato da profondi valloni (i fossi della Cavata e della Fiumata), coperti da fitti boschi di faggio, di abeti bianchi e castagni (Bosco Martese e di Langammella).

Il Massiccio montuoso del Gran Sasso, viceversa, è un massiccio di origine sedimentaria, costituito da calcari, dolomia, generalmente compatti, e marne. Nel complesso l'altitudine, la composizione delle rocce ed il tipo di erosione a cui è sottoposto fanno di questo massiccio una montagna molto simile alle Dolomiti.

La conformazione orografica del territorio comunale è caratterizzata, quindi, da un profilo non univoco e neppure troppo aspro; la parte collinare, che occupa gran parte della sua estensione, assume ad occidente i caratteri della media montagna, coperta da vegetazione boschiva (querreti di roverella mesoxerofilo) ed attraversata da corsi d'acqua che mitigano i rigori del clima.



Fig. 1.6: Ortofoto del Comune di Torricella Sicura, Google maps.

## 2 VULNERABILITÀ SISMICA E QUALITÀ MURARIA

*“La vulnerabilità è la propensione di una struttura a subire un danno di un determinato livello, a fronte di un evento sismico di una data intensità”<sup>1</sup>.*

La vulnerabilità, dunque, è la propensione di un edificio ad essere danneggiato ed è legata ad alcuni fattori come la modalità di costruzione, la qualità dei materiali utilizzati e lo stato manutentivo degli edifici.

*“Essa rappresenta la “condizione attuale di potenziale degrado futuro, che si manifesterà quando l’edificio sarà colpito da terremoto”<sup>2</sup>.*

Pertanto, quanto più un edificio è vulnerabile, tanto più gravi saranno le conseguenze. Poiché nei centri storici italiani il costruito, sviluppatosi nel corso dei secoli, è caratterizzato prevalentemente da edifici in muratura, alla base dell’analisi per la valutazione della vulnerabilità sismica di questi edifici è necessario definire le caratteristiche meccaniche della muratura stessa.

### 2.1 QUALITÀ MURARIA

La muratura è un materiale composito costituito dall’assemblaggio di elementi, la cui risposta meccanica è influenzata da diverse variabili:

1. il materiale costituente gli elementi;
2. la dimensione e la forma degli stessi;
3. il legante; la tecnica di assemblaggio;
4. la tessitura.

Le regole costruttive riguardano sostanzialmente la posa dei mattoni. Discostarsi da queste significherebbe eseguire una muratura di qualità inferiore.

In passato, un muro costruito in conformità a tali principi, veniva detto “eseguito a regola

<sup>1</sup> Sito del Dipartimento della Protezione Civile – Presidenza del Consiglio dei Ministri. Disponibile all’indirizzo <http://www.protezionecivile.gov.it>

<sup>2</sup> Doglioni F., Mazzotti P. (2007), Codice di pratica per gli interventi di miglioramento sismico nel restauro del patrimonio architettonico, Regione Marche, Ancona.

d’arte”.

La “regola dell’arte” era il frutto di una cultura popolare, non codificata, derivante da una pratica costruttiva millenaria, che nasceva dall’osservazione diretta delle caratteristiche e del comportamento delle murature che avevano dimostrato una buona resistenza meccanica alle sollecitazioni sia in fase statica che durante il sisma.

Di conseguenza la realizzazione di un muro, nel rispetto di questi accorgimenti, è garanzia di compattezza e di monolitismo e ne assicura il buon comportamento.

Le norme tecniche italiane hanno riconosciuto solo di recente, con le NTC 2008, l’importanza della qualità muraria, restituendo il giusto valore a ciò che in realtà era noto da più di duemila anni. Basti pensare alla descrizione fatta da Vitruvio su come i Greci realizzassero una buona muratura e confrontarla con il paragrafo della Circolare n. 617/2009 (esplicativa delle NTC 2008) sullo stesso argomento per aver avere conferma di quanto detto.

Vitruvio: [i Greci] “collocano le pietre in piano e alzano la struttura muraria alternandole nel senso della lunghezza e dello spessore, non riempiono la parte intermedia, ma ottengono con i rivestimenti frontali un’unica struttura solida. Inoltre, a intervalli dispongono di traverso al muro da una parte all’altra una di queste pietre che chiamano diatoni con la funzione di legare e consolidare l’opera muraria”.

Circolare n. 617/2009: “Di particolare importanza risulta la presenza o meno di elementi di collegamento trasversali (es. diatoni), la forma, tipologia e dimensione degli elementi, la tessitura, l’orizzontalità delle giaciture, il regolare sfalsamento dei giunti, la qualità e consistenza della malta”.

Quindi, l’aderenza alla “regola dell’arte” corrisponde, in buona sostanza, al moderno soddisfacimento dei dettami costruttivi indicati nelle norme, i quali prevedono che una costruzione muraria esibisca un buon comportamento meccanico se, in seguito all’innescò di un meccanismo di danno, arrivi a collasso formando cerniere cilindriche e se le porzioni di muratura, comprese tra le fessure formate, si comportino come “corpi rigidi”.

Questo tipo di comportamento è riscontrabile, con più probabilità, nelle murature costruite a regola d’arte, come è stato verificato in occasione di eventi sismici passati, nei quali i muri così eseguiti, si sono ribaltati rimanendo interi, tanto da lasciar intendere che se fossero stati trattenuti, il collasso sarebbe stato certamente evitato.

Viceversa, le murature eseguite non a regola d'arte, in caso di sisma, tendono a sgretolarsi, riducendosi a un cumulo di macerie, poiché le fessure che si creano nell'apparato, distribuite su ampie porzioni di muro e non costituendo distacchi netti, causano l'impossibilità di attivare un moto rigido.

Rilievi eseguiti in diverse parti d'Italia hanno mostrato quanto la maggior parte delle murature sia tutt'altro che eseguita a regola d'arte.

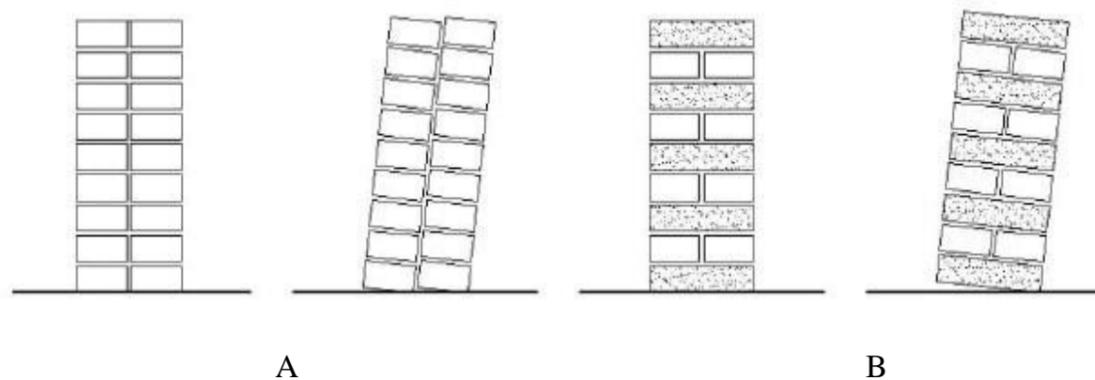


Fig. 2.1: A: comportamento di una parete in assenza di collegamento tra i paramenti; B: comportamento di una parete costruita a regola d'arte (con presenza di diatoni). (Immagine Tesi Pantaleoni pag.6)

I fattori che influenzano la qualità muraria di un edificio storico sono principalmente sette:

- Malta di buona qualità / efficace contatto fra elementi / zeppe.

Questo requisito, necessario per trasmettere e per ripartire le azioni fra le pietre in maniera uniforme e per portare in modo altrettanto uniforme le forze fino al terreno, si ottiene o per contatto diretto fra elementi squadrati (es. opus quadratum) o tramite la malta (è questa la maggior parte dei casi) o, per muri irregolari con malta degradata, grazie a pietre di dimensione minore inserite nei giunti, le cosiddette “zeppe”. La malta, oltre a regolarizzare il contatto tra le pietre, se di buona qualità, assicura una certa resistenza di natura coesiva alla muratura. Tale contributo può diventare importante se dovessero mancare gli altri parametri della regola dell'arte in grado di garantire la monoliticità del muro.

- Ingranamento trasversale / presenza di diatoni.

Questo requisito impedisce la suddivisione di una parete che ha più paramenti costruiti addossati l'uno all'altro e permette la distribuzione del carico su tutto lo spessore del muro, anche in quei casi in cui c'è un carico gravante solo su una parte della sezione (ad esempio, un solaio appoggiato solo sul bordo interno). Il requisito può essere soddisfatto grazie ai diatoni, ossia pietre disposte trasversalmente che attraversano tutto (o quasi) lo spessore della parete. Ugualmente efficaci sono le legature con elementi laterizi o di pietra non completamente passanti, ma in grado di interessare gran parte dello spessore della parete ed ingranate fra loro (semidiatoni).

- Elementi resistenti di forma squadrata. La presenza di facce orizzontali sufficientemente piane assicura la mobilitazione delle forze d'attrito, cui si deve gran parte della capacità di una parete di resistere a sollecitazioni orizzontali ad essa complanari. Infatti, l'attrito si mobilita principalmente sotto l'effetto della forza-peso della muratura sovrastante la superficie di scorrimento. È intuitivo che l'attrito si massimizzi per le superfici di scorrimento ortogonali alla forza-peso e dunque per superfici di scorrimento orizzontali.
- Elementi resistenti di grande dimensione rispetto allo spessore del muro assicurano, come i diatoni, un buon grado di monoliticità della parete. Inoltre, proprio in virtù della loro grande dimensione, trattasi di elementi di grande peso.
- Sfalsamento fra i giunti verticali. Tale condizione, insieme alla forma squadrata delle pietre, permette il cosiddetto “effetto catena” che fornisce una “pseudo” resistenza a trazione alla muratura. Inoltre, anche in presenza di pietre non squadrate, se si avessero giunti regolarmente sfalsati si creerebbe il cosiddetto “effetto incastro”, ossia l'ingranamento nel piano della parete fra gli elementi resistenti
- Presenza di filari orizzontali. Questo requisito provoca una buona distribuzione dei carichi verticali e garantisce l'ottenimento di un vincolo di appoggio regolare. L'orizzontalità dei filari assume particolare importanza in occasione delle azioni sismiche, poiché essa consente una oscillazione ciclica attorno alle cerniere cilindriche orizzontali, che può avvenire senza danneggiare la muratura. Per questi stessi motivi sono importanti quelle listature (ricorsi orizzontali in mattoni con interasse periodico) inserite a regolarizzare le murature in pietrame o ciottoli.

- Buona qualità degli elementi resistenti. Questo requisito tende ad evitare situazioni di intrinseca debolezza degli elementi murari: si pensi ai mattoni di fango che si utilizzano in certe zone del mondo o, per rimanere in Italia, i laterizi non cotti che si ritrovano in molti edifici rurali dell'Emilia Romagna. Situazioni analoghe si possono avere per i laterizi forati con percentuale di vuoti elevata o per elementi degradati, ad esempio per umidità o per esposizione alle intemperie.

Nell'analisi della qualità muraria, sulla base di come siano stati rispettati i sette parametri prima descritti, è possibile rappresentare quanto segue:

- Muro di buona qualità: paramento ben tessuto, blocchi o pietre di dimensione paragonabile a quella dello spessore della parete, presenza sistematica di pietre disposte in testa, linea di minimo tracciato maggiore di 155 cm.;

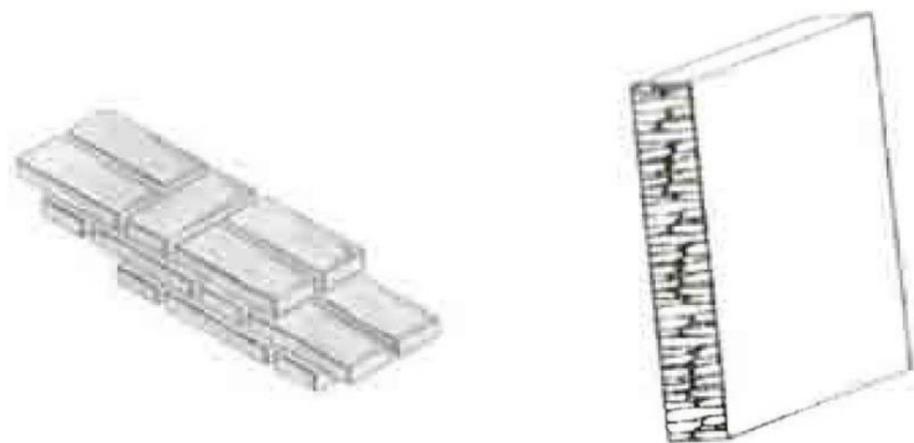


Fig. 2.2: Comportamento di una parete di buona qualità (Cangi 2012)

- Muro di qualità media: paramento ben tessuto e ordinato almeno su una faccia, alcune pietre sono disposte di testa; spessore del muro non eccessivo rispetto alle dimensioni della parete (pietre di lunghezza massima almeno pari a 2/3 della parete), linea di minimo tracciato compresa tra 125 e 155 cm.;

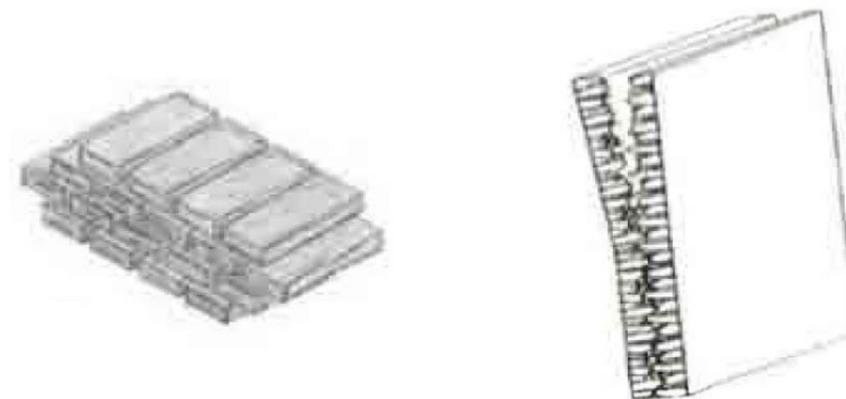


Fig. 2.3: Comportamento di una parete di media qualità (Cangi 2012)

- Muro di bassa qualità: pietre piccole rispetto allo spessore del muro, assenza di pietre disposte in senso trasversale alla parete (di testa), linea di minimo tracciato inferiore a 125 cm..

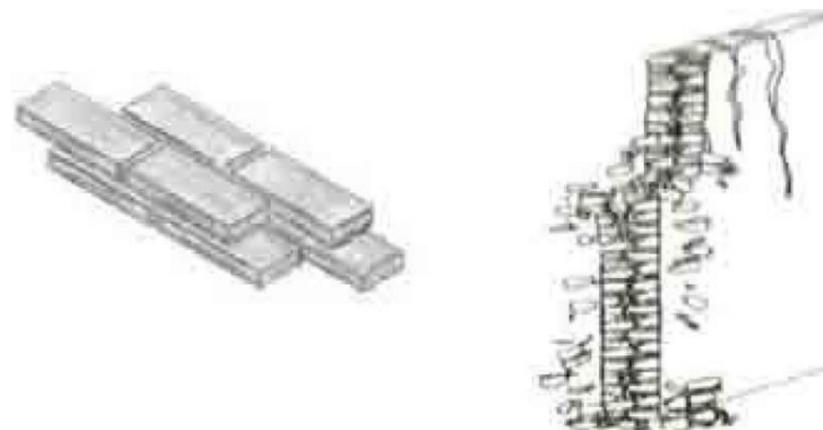


Fig. 2.4: Comportamento di una parete di bassa qualità (Cangi 2012)

La linea di minimo tracciato (LMT) interna alla sezione della parete si ottiene misurando in un tratto di altezza di 1 metro, la lunghezza della linea centrale più breve che attraversa il nucleo murario in verticale. Nel caso in cui questa verifica non potesse essere soddisfatta, si dovrebbe procedere all'analisi della presenza dei diaconi, tramite osservazione dei paramenti esterni e saggi.

Nel presente caso di studio non è stato possibile svolgere un'analisi accurata attraverso ispezioni e saggi nelle murature. Questo aspetto, però, andrebbe tenuto in considerazione, e potrebbe integrare ulteriormente l'analisi della vulnerabilità moltiplicando il coefficiente analitico globale con un indice di qualità muraria, in quanto la presenza di lavorazioni non a regola d'arte o l'utilizzo di materiali di scarsa qualità può portare alla manifestazione di meccanismi di danno non rilevabili dall'analisi della vulnerabilità. Si assume, quindi, come ipotesi generale che le murature siano caratterizzate da un buon ingranamento.

## 2.2 LE CONNESSIONI TRA GLI ELEMENTI STRUTTURALI

Una volta garantita la qualità delle apparecchiature murarie, bisogna porre grande attenzione alla qualità delle connessioni esistenti tra le murature. Le costruzioni storiche in muratura, infatti, sono generalmente costituite da sistemi di elementi strutturali semplici (pareti e orizzontamenti), connessi da vincoli di contatto monolaterale, che ne impediscono la compenetrazione degli elementi, ma non il distacco. [Gulli, 2012]

Nel caso in cui le connessioni tra gli elementi strutturali di un edificio non siano efficaci, in caso di sollecitazione ad azioni orizzontali quali il sisma, viene meno il comportamento scatolare dell'apparecchiatura muraria, condizione fondamentale affinché un edificio abbia una buona risposta e reagisca in maniera unitaria. È fondamentale, dunque, garantire un buon ammorsamento tra le murature e far sì che i nodi non risultino essere elementi di discontinuità della struttura. Possiamo schematizzare le connessioni tra elementi strutturali all'interno di un edificio in muratura in tre categorie :

### ➤ *Connessione tra struttura in elevazione e sistema di fondazione*

La parete muraria è costituita da una porzione in elevazione e una interrata di maggior spessore che ha la funzione di ridurre la pressione media sul terreno. Nel caso in cui la porzione in elevazione sia soggetta a ribaltamento il punto critico si genera a contatto con la fondazione.

### ➤ *Connessione tra maschi murari*

L'analisi dell'evoluzione storica dell'aggregato mostra come ad un nucleo iniziale di edifici siano stati aggiunti progressivamente altri manufatti. Occorre evidenziare che i

nuovi edifici venivano costruiti affiancando le pareti perimetrali a quelle preesistenti, spesso senza alcun ammorsamento. Di conseguenza tali disconnessioni, in caso di eventi sismici, possono dare luogo a meccanismi di ribaltamento delle pareti. Tuttavia, in alcuni casi di sopraelevazioni, sono state individuate nel bordo terminale del muro delle pietre sporgenti chiamate 'morse di attesa', utilizzate per accogliere la muratura successiva; questo è la prova che non tutte le murature edificate in periodi posteriori siano del tutto prive di ammorsamenti.

### ➤ *Connessione tra le testate delle travi e la sede muraria d'appoggio.*

Nel caso dei manufatti storici, i solai e le coperture sono costituiti da travi portanti in legno, che poggiano su appositi vani nei muri perimetrali. Tuttavia, le travi maestre trasferiscono delle forze concentrate agli appoggi, capaci di disconnettere la muratura e di indirizzare la formazione delle fessure su percorsi preferenziali. Le travi di colmo delle coperture a falde, in caso di terremoto, possono scaricare la forza orizzontale sul timpano e danneggiarlo. Inoltre, se il sisma agisce parallelamente alle travi, può generare lo sfilamento di queste dalle murature.

## 2.3 I MECCANISMI DI DANNO

*“Si definisce meccanismo di danno il modello di rappresentazione cinematica con cui si interpreta e si descrive il comportamento al sisma di una parte strutturale unitaria (denominata macroelemento) e il danno conseguente”.*<sup>3</sup>

Il primo modo di danno riguarda i meccanismi di ribaltamento delle murature fuori dal proprio piano quando esse sono sollecitate da un'azione orizzontale ortogonale al loro piano medio. Lo sviluppo di questo cinematisma avviene con diverse modalità e dipende dalla mancanza o dall'inefficienza degli ammorsamenti più che dalla resistenza delle apparecchiature murarie. Infatti, le pareti sono vincolate in modo monolaterale alle murature limitrofe e agli orizzontamenti, i quali sono in grado di trattenerle solo parzialmente, grazie alle forze d'attrito esercitate negli appoggi.

<sup>3</sup> Doglioni F., Mazzotti P. (2007), Codice di pratica per gli interventi di miglioramento sismico nel restauro del patrimonio architettonico, Regione Marche, Ancona

Il secondo modo di danno, dovuto ad azioni agenti nel piano delle murature, si manifesta con lesioni di varia entità e dipende fortemente dalla resistenza delle apparecchiature murarie.

La pericolosità maggiore è legata, dunque, ai meccanismi di primo modo di danno, i quali possono portare al collasso l'intera struttura. Ciò non avviene, al contrario, nei meccanismi di secondo modo di danno, che non portano al crollo totale, a meno di casi straordinari.

## 2.4 PRIMO MODO DI DANNO

Di seguito sono riportati i differenti meccanismi di primo modo di danno:

### 1. Ribaltamento semplice

Il meccanismo si manifesta attraverso la rotazione rigida di intere facciate o porzioni di pareti rispetto ad assi in prevalenza orizzontali alla base di esse e che percorrono la struttura muraria sollecitata da azioni fuori dal piano. Questo avviene se gli ammorsamenti con le murature perpendicolari e gli ancoraggi in sommità sono inefficaci, in mancanza di cordoli o di catene ai piani, di orizzontamenti deformabili o di cattiva qualità ed in presenza di spinte non contrastate sulla parete.

Sintomi che manifestano l'avvenuta attivazione del meccanismo sono:

- Lesioni verticali in corrispondenza delle intersezioni murarie (angolate e martelli murari);
- Fuori piombo della parete ribaltante;
- Sfilamento delle travi degli orizzontamenti.

Il ribaltamento può coinvolgere:

- uno o più livelli della parete, in relazione alla presenza di collegamento ai diversi orizzontamenti;
- l'intero spessore del muro o il solo paramento esterno, in relazione alle caratteristiche della struttura muraria (a sacco, carenza di diatoni);
- diverse geometrie della parete, in relazione alla presenza di discontinuità o di

aperture.

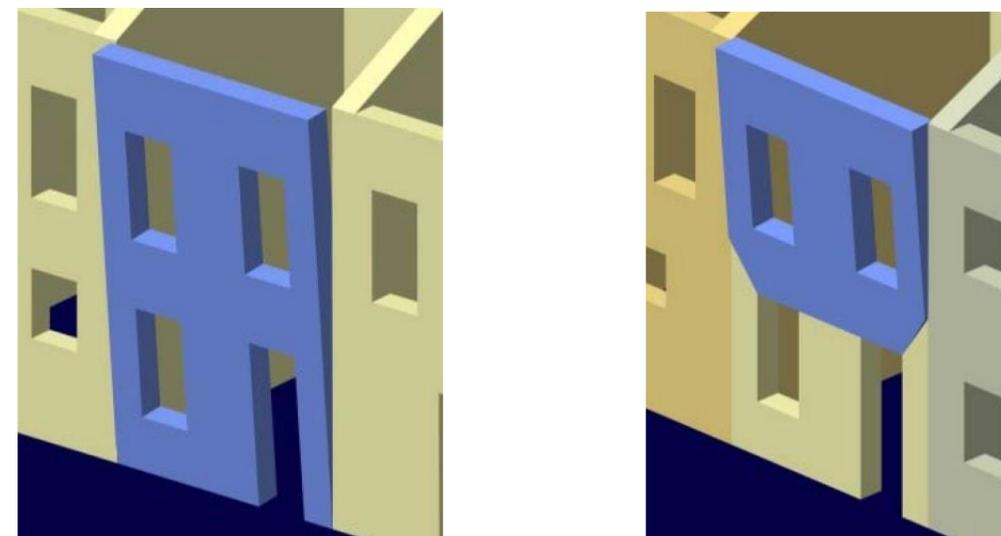


Fig. 2.5 e Fig. 2.6: Ribaltamento semplice. Arch. Fot. Vice Comm. Dei Beni Culturali - Sisma Abruzzo 2009.

### 2. Ribaltamento composto

Il meccanismo si manifesta attraverso la rotazione rigida di intere facciate o porzioni di pareti rispetto ad assi in prevalenza orizzontali accompagnata dal trascinarsi di parti delle strutture murarie appartenenti alle pareti di controvento. Questo avviene quando gli ammorsamenti tra le pareti sono efficaci, mentre gli ancoraggi in sommità sono scarsi o assenti.

Sintomi che manifestano l'avvenuta attivazione del meccanismo sono:

- Lesioni diagonali sulle pareti di controvento;
- Fuori piombo della parete ribaltante;
- Sfilamento delle travi degli orizzontamenti.

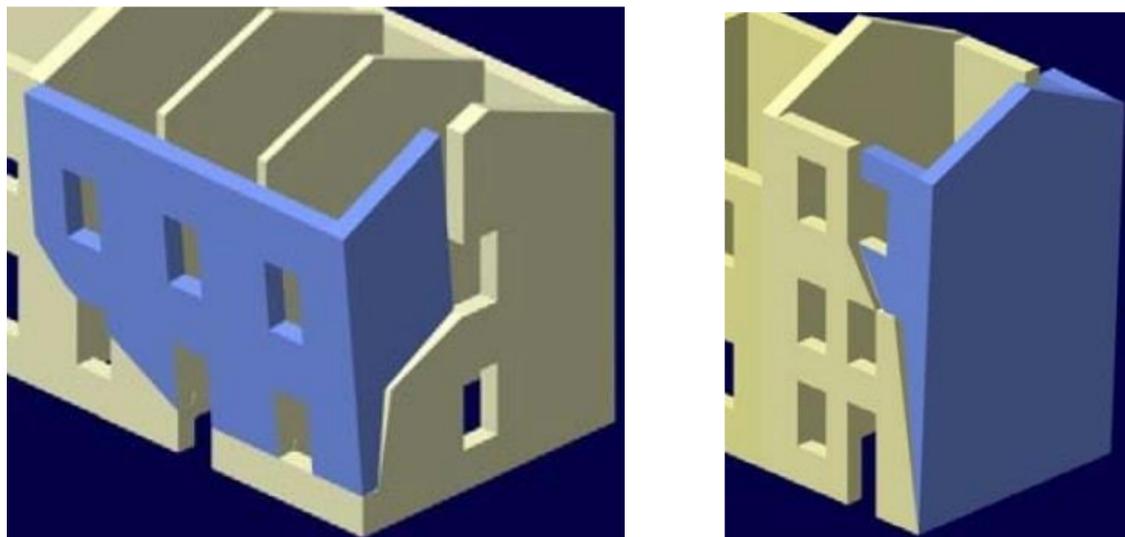


Fig. 2.7 – 2.8: Ribaltamento composto. Arch. Fot. Vice Comm. Dei Beni Culturali - Sisma Abruzzo 2009.

Il ribaltamento composto può coinvolgere:

- uno o più livelli della parete, in relazione alla presenza di collegamento ai diversi orizzontamenti;
- diverse geometrie del macroelemento, in relazione alla qualità della muratura della parete di controvento ed alla presenza di aperture nella stessa, nonché alla tipologia degli orizzontamenti sovrastanti (se rigidi si possono definire cunei di distacco a doppia diagonale).

### 3. Ribaltamento del cantonale

Il meccanismo si manifesta attraverso la rotazione rigida di un cuneo di distacco, delimitato da superfici di frattura ad andamento diagonale nelle pareti concorrenti nelle angolate libere, rispetto ad una cerniera posta alla base dello stesso. Meccanismi di questo tipo sono frequenti in edifici che presentano spinte concentrate in testa ai cantonali, dovute in particolar modo ai carichi trasmessi dai puntoni dei tetti a padiglione. Si suppone che il ribaltamento avvenga nella direzione di spinta del puntone e che il cinematismo sia definito dalla rotazione del macroelemento individuato intorno ad un asse perpendicolare al piano verticale che forma un angolo di  $45^\circ$  con le pareti convergenti nell'angolata e passante per la cerniera suddetta.

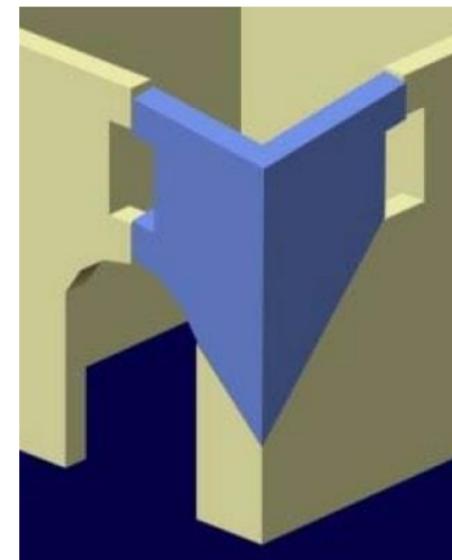


Fig. 2.9: Ribaltamento cantonale. Arch. Fot. Vice Comm. Dei Beni Culturali - Sisma Abruzzo 2009.

### 4. Flessione verticale di parete

Il meccanismo si manifesta con formazione di una cerniera cilindrica orizzontale che divide la parete in due blocchi ed è descritto dalla rotazione reciproca degli stessi attorno a tale asse per azioni fuori dal piano. Si manifesta in caso di connessioni alla base e in sommità efficaci, mentre gli ancoraggi con gli orizzontamenti sono scarsi o assenti. Spesso è dovuto anche ad un'eccessiva snellezza delle pareti.

Sintomi che manifestano l'avvenuta attivazione del meccanismo:

- Spanciamenti e fuori piombo della parete;
- Lesioni orizzontali e verticali;
- Sfilamento delle travi degli orizzontamenti intermedi.

La flessione verticale può coinvolgere:

- uno o più livelli della parete, in relazione alla presenza di collegamento ai diversi orizzontamenti;
- l'intero spessore del muro o il solo paramento esterno, in relazione alle caratteristiche della struttura muraria;
- diverse geometrie della parete, in relazione alla presenza di discontinuità o di aperture e spinte localizzate sulla parete.

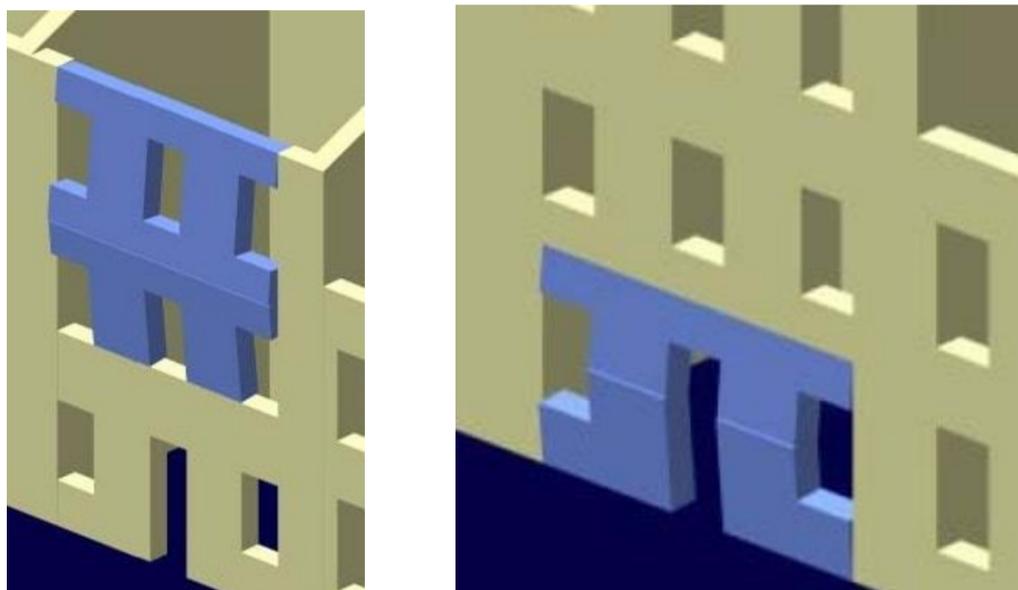


Fig. 2.10 – 2.11: Flessione verticale. Arch. Fot. Vice Comm. Dei Beni Culturali - Sisma Abruzzo 2009.

##### 5. Flessione orizzontale di parete

Il meccanismo si manifesta con l'espulsione di materiale dalla zona sommitale della parete e col distacco di corpi cuneiformi, accompagnato dalla formazione di cerniere cilindriche oblique e verticali per azioni fuori dal piano. Può avvenire quando gli ammorsamenti tra le pareti sono efficaci, mentre gli ancoraggi in sommità sono scarsi o assenti. Inoltre questo meccanismo può essere prodotto da elementi che esercitano spinte orizzontali sulle murature, come i puntoni delle coperture spingenti. In presenza di una fila di aperture vicine alla sommità della parete, la cerniera attorno alla quale avviene la rotazione si posiziona in corrispondenza del filo superiore delle aperture stesse.

Sintomi che manifestano l'avvenuta attivazione del meccanismo:

- Lesioni verticali ed oblique sulla faccia esterna ed interna della parete e rigonfiamenti;
- Sfilamento delle travi del tetto.

La flessione orizzontale può coinvolgere:

- l'intero spessore del muro o il solo paramento esterno, in relazione alle caratteristiche della struttura muraria;
- diverse geometrie della parete, in relazione alla presenza di discontinuità o di

aperture ed alla qualità della muratura;

La flessione orizzontale può inoltre avvenire per instabilità orizzontale legata all'allontanamento delle pareti di controvento, nel caso di edifici isolati, di testata o d'angolo o per crisi del materiale nel caso di cella interclusa in una schiera e parete confinata lateralmente.



Fig. 2.12: Flessione orizzontale. Arch. Fot. Vice Comm. Dei Beni Culturali - Sisma Abruzzo 2009.

##### 6. Sfondamento della parete del timpano

Il meccanismo si manifesta con l'espulsione di materiale dalla zona sommitale della parete del timpano e col distacco di corpi cuneiformi, definiti da sezioni di frattura oblique e verticali, per azioni fuori dal piano. Il cinematismo è in genere provocato dall'azione ciclica di martellamento della trave di colmo della copertura. In fase sismica la presenza di travi di colmo di notevoli dimensioni causa il trasferimento di una elevata spinta alla parete del timpano e può determinare il distacco di macroelementi cuneiformi e l'instaurarsi delle condizioni di instabilità che si manifestano attraverso la rotazione degli stessi attorno a cerniere oblique.

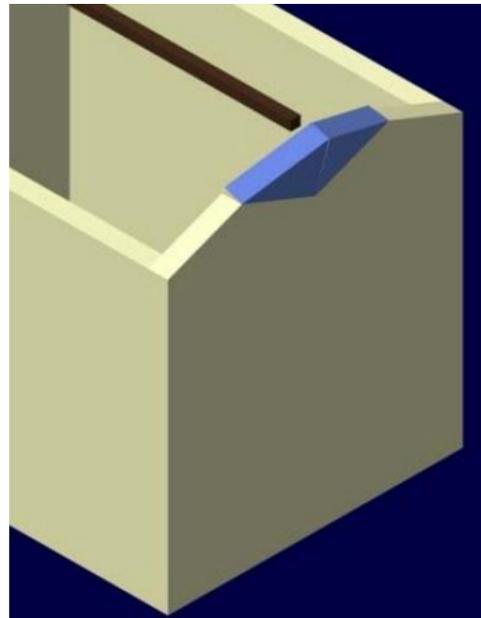


Fig. 2.12: Sfondamento della parete del timpano. Arch. Fot. Vice Comm. Dei Beni Culturali - Sisma Abruzzo 2009.

## 2.5 SECONDO MODO DI DANNO

Se il primo modo di danno viene scongiurato per effetto di interventi di contenimento della muratura esterna, il compito di assorbire le azioni orizzontali del sisma è delegato ai muri trasversali; il superamento del loro limite ultimo di resistenza provoca lesioni oblique che attraversano intere pareti, dando luogo al secondo modo di danno. Raramente tali meccanismi, per quanto gravi, producono il crollo totale della struttura

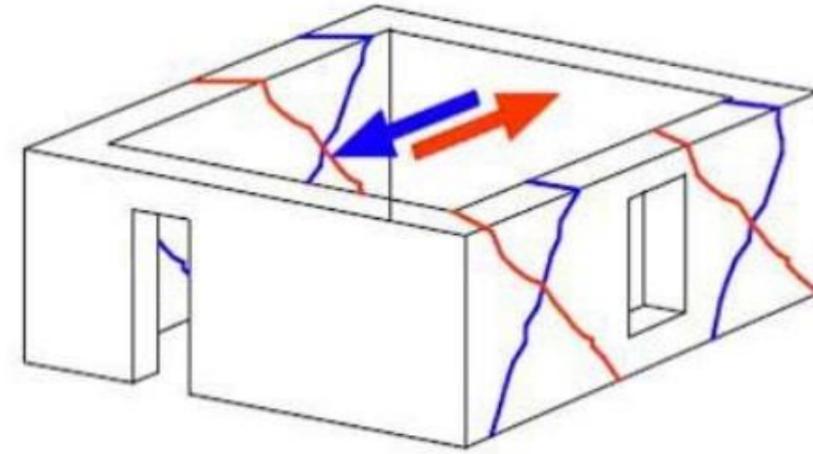


Fig. 2.13: Secondo modo di danno. Ingenio.it

## 2.6 PRINCIPALI CAUSE DI DANNEGGIAMENTO

I meccanismi di danno appena descritti si verificano con maggiore facilità in edifici che presentano fattori di indebolimento come:

- Sopraelevazioni;
- Rifusione di prospetti;
- Ammorsamenti mancanti o poco efficaci;
- Coperture spingenti;
- Coperture rigide;
- Maschi murari ridotti (caso limite del portico);
- Presenza di una struttura in c.a. adiacente ad un edificio in muratura;

### 2.6.1 SOPRAELEVAZIONI

Nel processo di crescita di un aggregato edilizio è frequente l'aggiunta di uno o più piani al nucleo originario degli edifici. In particolare, la presenza di più di due piani fuori terra viene considerata come sopraelevazione. La prima conseguenza di una sopraelevazione è

l'aumento di carico alla struttura preesistente e, spesso, avviene anche che le nuove murature non siano ben ammorsate a quelle sottostanti. In caso di sisma, dunque, i possono formare delle cerniere cilindriche orizzontali proprio in corrispondenza del punto di innesto, provocando un ribaltamento della porzione di facciata sopraelevata.

### 2.6.2 FACCIATE RIFUSE

La rifusione delle facciate consiste nella demolizione dei fronti di più celle abitative originarie e successiva costruzione di una unica per conferire maggiore uniformità al fronte strada. Spesso, il nuovo prospetto non viene ancorato alle murature d'ambito e, in caso di sisma, potrebbe essere soggetto a completo ribaltamento per rotazione attorno alla cerniera cilindrica di base.

I caratteri frequenti nelle facciate rifuse sono:

- Uniformità del trattamento;
- Simmetria delle aperture;
- Altezza di gronda unitaria;
- Estensione notevole;

### 2.6.3 AMMORSAMENTI MANCANTI O POCO EFFICACI

Gli aggregati edilizi storici sono il frutto di successivi accorpamenti ed accostamenti di nuove unità strutturali alle cellule originali.

Le nuove edificazioni possono essere di “saturazione” (tipo B) se, sfruttando le pareti laterali delle due cellule originarie (tipo A) vengono costruiti solo il fronte strada e il retro. Possono essere di “accrescimento” (tipo D) se viene aggiunta una nuova cellula sfruttando il fronte libero di quella preesistente o di “intasamento” (tipo C) se sfruttano due lati delle cellule già presenti e si collocano all'interno dell'aggregato.

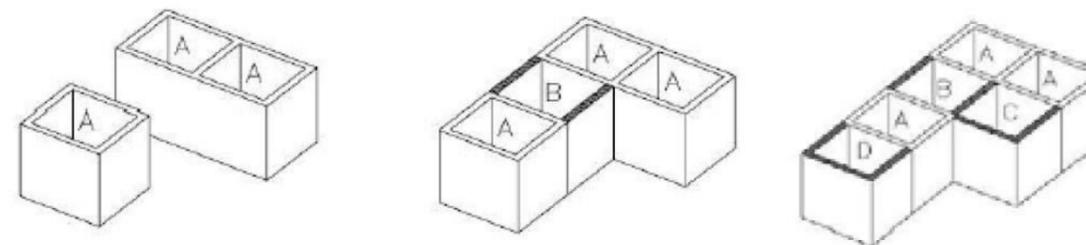


Fig. 2.14: Dinamiche di accrescimento (Cangi 2012)

In entrambi i casi le nuove murature sono semplicemente accostate alle precedenti e il comportamento scatolare che dovrebbe avere la struttura viene a mancare. In caso di sisma, i nodi di congiunzione sono soggetti a scorrimenti e distaccamenti di alcune pareti.

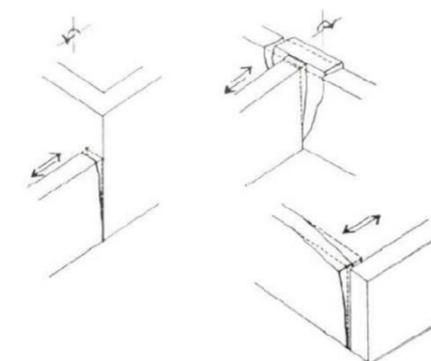


Fig. 2.15: Mancanza di ammorsamenti (Doglioni Mazzotti 2007).

### 2.6.4 COPERTURE SPINGENTI

Le tipologie di copertura nelle costruzioni tradizionali in muratura sono fondamentalmente di tre tipi:

- a) a padiglione;
- b) alla piemontese;
- c) alla lombarda.

I primi due tipi sono per definizione delle coperture spingenti, ovvero caratterizzate da un'orditura principale ortogonale alla facciata. Esse esercitano un'azione localizzata che, in caso di sisma, viene amplificata dalle forze trasmesse dal terreno. Si innescano così meccanismi di distacco e ribaltamento delle porzioni di muratura interessate.

*Nella copertura a padiglione* l'orditura principale è costituita da elementi strutturali lignei, detti diagonali, che risultano spingenti nei confronti delle porzioni di parete d'angolo dove sono appoggiati. In questo caso si può verificare il distacco di parte della muratura d'angolo su cui insiste il cantonale.

*Nella copertura alla piemontese* gli elementi portanti orizzontali (terzere o arcarecci) poggiano su travi inclinate (falsi puntoni) a loro volta appoggiate con un'estremità sui muri longitudinali esterni e con l'altra sul muro centrale di spina. In questo caso si può verificare il distacco di parte della muratura in facciata in corrispondenza dell'appoggio dei falsi puntoni.

*Nella copertura alla lombarda*, non spingente, gli elementi portanti orizzontali (terzere o arcarecci) poggiano su murature trasversali sagomate a timpano distanti non più di 5-6 metri tra loro (e al massimo possono creare problemi di ribaltamento del timpano). Tuttavia, se le travi hanno una luce maggiore di 5-6 metri, è necessario un appoggio intermedio; se quest'ultimo non può essere in muratura, allora viene inserita una trave rompi tratta che crea un punto di forte criticità sulla facciata.

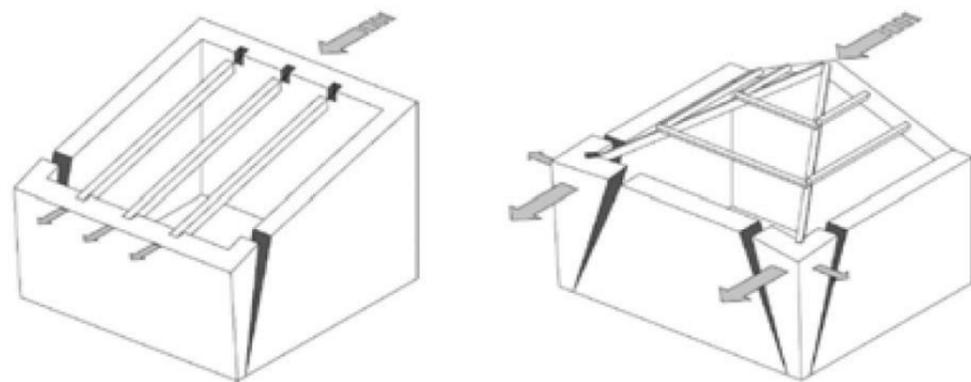


Fig. 2.16: Coperture spingenti e meccanismo di ribaltamento (Cangi 2012).

## 2.6.5 SOLAI RIGIDI

Intorno agli anni '70 era diventata buona norma sostituire i solai lignei preesistenti con dei solai laterocementizi o a sistema misto acciaio-laterizio, spesso privi di cordolatura, in maniera tale da contenere le spinte laterali e migliorare la ripartizione dei carichi e il comportamento scatolare degli edifici. Purtroppo, però, questo tipo di interventi ha presentato delle controindicazioni, che erano sconosciute all'epoca. Oltre all'incremento del carico verticale sulla struttura sottostante, la differenza di rigidità tra le murature e gli orizzontamenti ha causato differenti tipi di risposte alla struttura.

In generale, sono noti due fenomeni [Cangi, 2012]:

- Fenomeno statico (effetto trave): il cordolo in c.a., che dovrebbe trasmettere uniformemente i carichi, sovraccarica gli spigoli e scarica la parte centrale delle murature;
- Fenomeno dinamico: le coperture in laterocemento, sotto l'azione di sollecitazioni di tipo dinamico, subiscono rotazioni e spostamenti rigidi distaccandosi dalla muratura sottostante e diventano, in questo modo, causa di danno e crollo della muratura stessa.

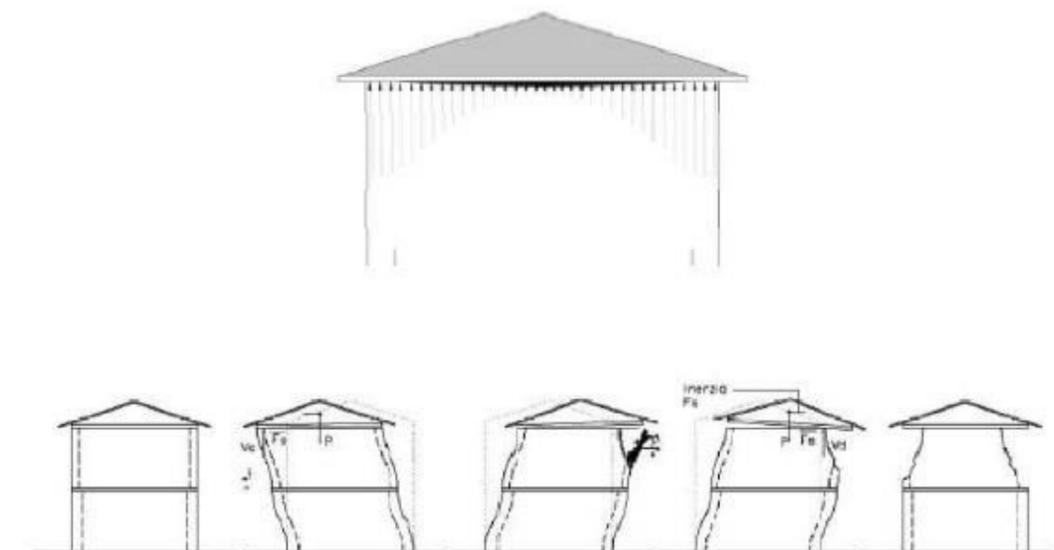


Fig. 2.17: Coperture rigide: fenomeno statico e dinamico (Cangi 2012).

### 2.6.6 MASCHI MURARI RIDOTTI

Quando non si verifica il primo modo di danno significa che la muratura ha una buona qualità muraria e dei buoni ammorsamenti. Le spinte sul piano ortogonale sono trattenute e vanno a ripartirsi sul piano stesso della parete, dando origine al secondo modo di danno. I maschi murari rappresentano la parte resistente di una parete insieme alle fasce di piano (responsabili della trasmissione dell'azione sismica tra i maschi). Nel caso in cui siano presenti diverse aperture, diminuisce drasticamente l'efficienza dei maschi murari, specialmente se queste non sono tra loro allineate diminuendo, così, la sezione resistente. Le isostatiche di compressione formano spontaneamente archi di scarico in presenza delle aperture e sono maggiormente ostacolate se gli stessi flussi devono seguire percorsi diagonali imposti dalle componenti sismiche orizzontali. L'azione sismica genera sulla facciata una coppia di forze che provoca un momento, di risposta la struttura genera una coppia di forze opposta. Ai vertici si creano due forze di trazione che causano una lesione diagonale ad esse ortogonale. Essendo il sisma oscillatorio, tutte queste forze si manifestano anche in direzione contraria e come risultato si ottiene la tipica lesione a croce.

### 3 INDICI DI VULNERABILITA'

La vulnerabilità sismica degli aggregati viene determinata attraverso il calcolo degli indici di vulnerabilità. Partendo dalle informazioni raccolte durante il percorso conoscitivo eseguito sull'aggregato, grazie quindi al rilievo geometrico, all'analisi storico-evolutiva tramite ricerche archivistiche, all'analisi delle vulnerabilità e all'individuazione dei possibili meccanismi di danno, si giunge al calcolo degli indici. Si ipotizza, quindi, uno scenario di danno verosimile, utile per monitorare la pericolosità degli aggregati ed intervenire, ove necessario, con azioni di manutenzione. L'indice di vulnerabilità, viene espresso attraverso un coefficiente che ne sintetizza il valore.

Gli indici valutati sono:

- Indice di disconnessione muraria (DM)
- Indice di ribaltamento facciate (RF)
- Indice di lesioni da falsi puntoni (FP)
- Indice di vulnerabilità a taglio (VT)
- Indice di lesione da martellamento da solai sfalsati (MSS)
- Indice di lesione da martellamento di edifici in cemento armato (MCA)
- Indice di ribaltamento del timpano (RT)
- Indice di vulnerabilità da muri in falso (MF)

#### 3.1 INDICE DI DISCONNESSIONE MURARIA (DM)

L'indice di disconnessione muraria è causato principalmente dalla mancanza di ammorsamenti tra le murature o dalla loro scarsa efficienza. Questo problema è dovuto agli accrescimenti evolutivi che l'aggregato ha subito nel corso dei secoli. Spesso, infatti, la realizzazione di una nuova fase evolutiva di un aggregato avviene per semplice addossamento di nuovi corpi di fabbrica e di muratura a quelli preesistenti, senza che sia garantita la necessaria attenzione alle connessioni ed alla muratura e senza accertare se la muratura sia omogenea e caratterizzata da un comportamento unitario.

Tutto ciò determina, in caso di sisma, uno scorrimento tra le parti, con separazione e

distacco della parete esterna lungo il bordo non ammorsato.

Il non corretto ammorsamento delle pareti si sviluppa generalmente negli accrescimenti per intasamento e giustapposizione, i quali non permettono di sviluppare un comportamento di tipo scatolare. Di conseguenza, la mancanza di connessioni adeguate può innescare meccanismi di ribaltamento parziale o totale delle facciate. Per evidenziare le fasi storiche che hanno interessato l'evoluzione dell'aggregato è necessario procedere innanzitutto con uno studio analitico del piano terra, che rappresenta il nucleo originario dell'impianto, per poi passare successivamente alla individuazione delle disconnessioni tra le diverse fasi evolutive, indicate come disconnessioni effettive.

L'analisi storica viene realizzata a partire da uno studio evolutivo del centro storico, fino ad arrivare alla consultazione di materiale catastale. Soprattutto per quanto concerne le prime fasi evolutive vengono avanzate delle ipotesi per arrivare ad una rappresentazione, che sia la più veritiera, del possibile il processo evolutivo dell'aggregato.

Anche nel caso in cui il fronte sia stato oggetto di rifusione, sono presenti disconnessioni tra la facciata e le murature interne ad essa trasversali; tuttavia queste non concorrono al totale delle disconnessioni effettive, poiché la criticità viene già esaminata nell'indice di ribaltamento delle facciate. Inoltre, dall'osservazione del fronte strada è possibile individuare le disconnessioni di prospetto. Nel conteggio delle disconnessioni si prendono in considerazione solo le murature portanti.

Le disconnessioni potenziali vengono calcolate per ogni nodo murario presente in pianta, a seconda del tipo di intersezione. Infatti, le disconnessioni effettive potrebbero riguardare uno qualsiasi dei rami che afferisce al nodo, poiché ogni aggiunta muraria determina un ramo potenzialmente male ammorsato.

#### *METODO 1*

Indicando con **m** il numero di rami afferenti ad un nodo, le disconnessioni murarie potenziali sono:

$$n_{\text{dis,pot}} = \mathbf{m} - \mathbf{1} \quad \text{ovvero:} \quad \begin{array}{l} n=1, \text{ se al nodo afferiscono 2 pareti} \\ n=2, \text{ se al nodo afferiscono 3 pareti} \\ n=3, \text{ se al nodo afferiscono 4 pareti} \end{array}$$

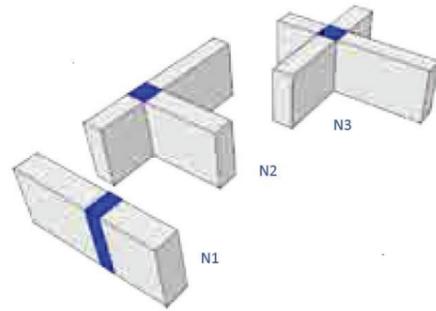


Fig.3.1: DM. Metodo 1 (Immagine Tesi Liguerrì pag.49).

L'indice viene calcolato come il rapporto tra numero effettivo e numero potenziale delle disconnessioni individuate.

$$DM = \frac{n_{dis,eff}}{n_{dis,pot}}$$

#### *METODO 2*

Il procedimento per la determinazione dei nodi rimane il medesimo, ma viene modificato il modo di conteggiare i nodi potenziali. Questo metodo parte dal presupposto che la cellula edilizia storica non sia concepita da quattro pareti disconnesse, poiché la prima edificazione è stata realizzata in un unico momento con murature ben ammorsate. Quindi, i nodi saranno formati da almeno due pareti non disconnesse. In base a questo ragionamento il conteggio delle disconnessioni potenziali assume la seguente forma:

$$n_{dis,pot} = m - 2$$

ovvero:  $n=0$ , se al nodo afferiscono 2 pareti  
 $n=1$ , se al nodo afferiscono 3 pareti  
 $n=2$ , se al nodo afferiscono 4 pareti

Nel caso in cui un nodo presenti un numero di disconnessioni effettive inferiori di uno rispetto a quelle potenziali, occorre introdurre le disconnessioni potenziali aggiuntive, in modo da evitare che vi siano nodi con un numero di disconnessioni potenziali negative. Quindi, in sostanza, si aggiunge al conteggio un numero di disconnessioni potenziali pari ai nodi in cui si verifica questa problematica.

### 3.2 INDICE DI RIBALTAMENTO FACCIATE (RF)

L'indice di ribaltamento facciate valuta la possibile formazione di una cerniera cilindrica con conseguente rotazione rigida al di fuori del piano, ossia i cinematismi compresi nel primo modo di danno.

Cause scatenanti del ribaltamento delle facciate sono la sopraelevazione e la rifusione.

#### ➤ SOPRAELEVAZIONE

In passato era naturale sopraelevare gli edifici esistenti, con conseguente aumento dei carichi gravanti sui piani sottostanti. Inoltre, se non adeguatamente ammorsate, le due parti erano soggette alla formazione di una cerniera cilindrica tra il muro precedente e quello successivo, che poteva determinare un possibile ribaltamento della porzione di facciata di ultima realizzazione. Nei casi in cui la sopraelevazione avesse interessato un edificio d'angolo si sarebbe dovuto tener conto del probabile benefico effetto scatolare che si sarebbe creato.

#### ➤ RIFUSIONE

A causa dei cambiamenti sociali ed economici, a partire dal XVII secolo fino al XVIII-XIX secolo si verificarono accorpamenti di più cellule in un'unica cellula abitativa con conseguente rifusione delle facciate.

La rifusione comportava modifiche interne alla struttura per soddisfare nuove esigenze distributive e la demolizione dei prospetti fronte strada. Veniva, in questo modo realizzata una facciata unica e continua per avere un prospetto stradale uniforme.

Questa situazione, però, provoca a causa di un ammorsamento quasi del tutto inesistente

rispetto alla struttura dell'edificio stesso e di quelli confinanti, il rischio della formazione di fessure verticali tra il nuovo muro e l'edificio adiacente e la formazione di cerniere orizzontali lungo tutta la base della nuova muratura.

Per questo motivo, tale tipologia di disconnessione viene indicata come disconnessione da rifusione.

Per identificare le facciate rifuse sono stati seguiti alcuni criteri che si fondano sull'osservazione dei prospetti e mirano ad individuare la presenza o meno di uniformità di trattamento, la simmetria delle aperture, l'altezza di gronda unitaria e l'estensione della facciata oltre i 7 metri circa.

Il metodo analitico per il calcolo dell'indice di ribaltamento facciate considera ribaltabili le superfici rifuse e quelle sopraelevate considerando l'efficacia o meno degli ammorsamenti.

In questo studio è stato preso in esame il comportamento scatolare degli edifici andando a non considerare più ribaltabili le superfici i cui tempi e modi di costruzione suggeriscono la presenza di un ammorsamento d'angolo, con conseguente riduzione delle aree ribaltabili.

#### METODO 1

L'indice viene calcolato:

$$RF_{M1} = \sum i \frac{S_{rib,i,M1}}{S_{totale}}$$

ove:

$S_{rib,i,M1}$  = Superficie ribaltabile i-esima;

$S_{totale}$  = Superficie totale dei prospetti

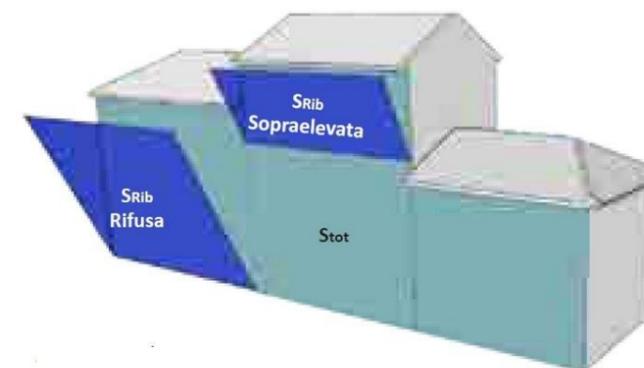


Fig.3.2: RF (Immagine Tesi Liguerrri pag.54).

#### METODO 2

Il secondo metodo di valutazione nasce al fine di ridurre l'incidenza che il ribaltamento facciate ha nel calcolo dell'indice globale. L'esperienza di Mirandola, oggetto di numerosi casi di studio in seguito al sisma del 2012 che ha colpito l'Emilia Romagna, ha infatti dimostrato che il danno subito dagli edifici è inferiore a quello ipotizzato, in quanto in molti casi non si è innescato completamente il meccanismo di ribaltamento.

Questo comportamento è attribuibile alla presenza di sistemi di ancoraggio non visibili esternamente. Viene, quindi, introdotto un coefficiente riduttivo che tiene in considerazione la tipologia e l'orditura dei solai. Tale coefficiente non porta ad una riduzione dell'area ribaltabile, se l'orditura è parallela alla facciata, mentre nel caso di orditura perpendicolare si ha un effetto positivo e, quindi, una riduzione dell'area ribaltabile. Per quanto riguarda i solai in laterocemento, il coefficiente assume un valore minimo pari a 0, se l'orditura del solaio è parallelo alla facciata e ad un valore massimo di 1, se perpendicolare.

Mentre nel caso di solaio ligneo il coefficiente assume un valore minimo pari a 0, se l'orditura del solaio è parallela alla facciata e ad un valore massimo di 0,5, se perpendicolare. I solai incidono per due fattori: altezza da terra (ovvero la distanza dalla cerniera di base e quindi braccio della forza) e porzione di lunghezza sul fronte, rispetto alla totale, in cui sono presenti

Il calcolo dell'indice consiste nella determinazione di un coefficiente K pari a:

$$K = \frac{C_{riduttivo,max}}{\sum H_{AS}}$$

dove:

$C_{riduttivo,max}$  = in relazione alla tipologia del solaio: 1 se in laterocemento; 0,5 se ligneo

$H_{AS}$  = altezza da terra del solaio

Il coefficiente K viene poi utilizzato per la determinazione del coefficiente  $c_{si}$  riduttivo per il solaio i-esimo:

$$c_{si} = k \cdot H_{AS}$$

dal quale si ricava in relazione all'esatta metratura di solaio perpendicolare e/o parallelo il successivo coefficiente differenziabile in  $c_{si}$  per la componente perpendicolare ed in  $c_{si//}$  per la componente parallela.

$$C_{sij} = c_{si} \frac{I_j}{I_{totale}}$$

dove:

$I_j$  = lunghezza del solaio parallela o perpendicolare

$I_{totale}$  = lunghezza del prospetto

Poi si determina il coefficiente  $r_{si}$ , sempre in relazione all'orditura del solaio moltiplicando  $c_{si}$  per 0 nel caso di orditura parallela e per 1 nel caso di orditura perpendicolare, si sommano tutti i coefficienti  $r_{si}$  e si ricava la superficie dell'area ridotta nel seguente modo:

$$A_{ridotta,ribaltabile} = (1 - \sum r_{si}) \cdot A_{tot,ribaltabile}$$

Infine, per determinare l'indice percentuale si calcola:

$$RF_{M2} = \frac{\sum_i S_{rib,i,M2}}{S_{totale}}$$

dove

$S_{rib,i,M2}$  = superficie ribaltabile ridotta

$S_{totale}$  = superficie totale del prospetto

### 3.3 INDICE DI LESIONE DA FALSI PUNTONI (FP)

L'indice valuta o meno la presenza di coperture spingenti.

Le strutture spingenti, in ambito sismico, sono il problema primario che riguarda le coperture.

I puntoni svolgono un'azione regolativa delle oscillazioni e provocano sollecitazioni assiali che determinano o meno lo sfilamento delle testate o l'innescò di una forte spinta contro la parete più rigida, in particolare su quella più bassa che risulta essere più sollecitata.

Il termine falso puntone deriva dall'analogia geometrica con il puntone della capriata, il quale, però, è soggetto a compressione, mentre il rompitratta spingente è una trave inflessa che provoca una spinta sulla muratura perimetrale.

I diagonali delle coperture a padiglione sostengono l'orditura principale e possono innescare il ribaltamento dei cantonali. I rompitratta spingenti innescano, invece, il ribaltamento della facciata ortogonale o di parte di essa.

L'indice di lesione da falsi puntoni rappresenta la possibile attivazione del cinematismo di flessione verticale, compreso tra i meccanismi di primo modo di danno. Tale cinematismo è innescato dalla presenza di elementi spingenti nella struttura della copertura, quali:

- a) Diagonali delle coperture a padiglione, spingenti nelle zone d'appoggio, generalmente individuabili negli angoli;
- b) Rompitratta, usualmente introdotti a sorreggere l'orditura principale, posti

ortogonalmente ad essa, così da permettere l'appoggio di due travi accostate, quando la luce coperta sia maggiore di 5/6 metri;

c) Travi dell'orditura principale quando sono perpendicolari alle facciate.

In genere le porzioni di muratura interessate dal ribaltamento variano nelle dimensioni a seconda di diversi fattori, come la qualità della muratura, il collegamento tra muro e orizzontamento, la qualità del nodo d'appoggio dell'elemento ligneo spingente di copertura e la muratura stessa.

Ai fini del calcolo, si considerano ribaltabili fasce rettangolari o porzioni di parete di forma triangolare, con vertice rivolto verso il basso e con dimensioni dipendenti dal tipo di spinta esercitata.

Per quanto riguarda la spinta esercitata dai cosciali delle coperture a padiglione si considera ribaltabile una porzione triangolare di facciata con base di 1,5 metri, allineata con la linea di gronda ed un'altezza di 3 metri, allineata con lo spigolo su cui insiste il diagonale. I triangoli rettangoli di distacco hanno il vertice rivolto verso il basso e vengono individuati su entrambe le facciate afferenti all'angolo soggetto all'azione spingente.

La porzione di facciata considerata ribaltabile nel caso di rompitratta spingenti, ossia di falsi puntoni, è anch'essa di forma triangolare. Viene individuata a contatto con l'elemento spingente ed assume una base di 3 metri, allineata con la linea di gronda e centrata in corrispondenza della sollecitazione ed un'altezza di 1,5 metri.

L'area ribaltabile è perciò rappresentata da un triangolo isoscele con vertice rivolto verso il basso.

In presenza di rompitratta spingenti ravvicinati, i triangoli di distacco si semplificano in una fascia continua di altezza 1,5 metri, individuata a contatto con la copertura.

L'area di ribaltamento da considerarsi per i travetti spingenti è costituita da una fascia di 1,5 metri di altezza nella parete di facciata a partire dalla linea di gronda.

L'indice viene calcolato come il rapporto tra due termini:

$$FP = \frac{\sum i S_{rib,i}}{S_{vulnerabile}}$$

dove:

$S_{rib,i}$  = superfici dei triangoli ribaltabili

$S_{vulnerabile}$  = superficie dell'ultima fascia del prospetto di altezza 1,5 m.

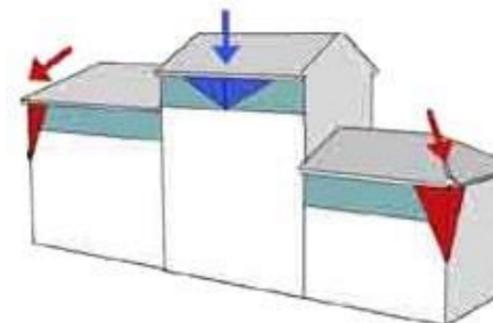


Fig.3.3: FP (Immagine Tesi Liguerrì pag.50).

Nella mera valutazione dell'indice non è stata considerata la sovrapposizione delle aree già individuate ribaltabili nel calcolo dell'indice di ribaltamento facciate.

Per il calcolo dell'indice globale verrà invece sottratta all'area ribaltabile dei falsi puntoni l'area già individuata ribaltabile nel calcolo dell'indice di ribaltamento facciate.

### 3.4 INDICE DI VULNERABILITA' A TAGLIO (VT)

La vulnerabilità a taglio della facciata di un edificio rappresenta gli effetti dovuti al secondo modo di danno ed è strettamente legata alle aperture che esso possiede ed al loro allineamento. Nello studio della vulnerabilità a taglio di un edificio si assimila la struttura portante al funzionamento di una struttura a telaio, equiparando i pilastri ai maschi murari e le travi alle sottofinestre. Le fessurazioni da taglio non si verificano sempre nella stessa posizione. Se le fasce di piano sono di altezza superiore rispetto alla larghezza dei maschi

murari, la fessurazione avviene nel maschio tra le due finestre.

Nel caso di maschio murario più spesso si ha l'insorgenza di fessurazione nel sottofinestra. I maschi murari sono rappresentati da fasce verticali continue tra le aperture. Maggiore è la quantità di maschi murari, minore è la quantità di fasce deboli e di conseguenza minore sarà la vulnerabilità del prospetto. Per questo motivo i prospetti porticati possiedono una vulnerabilità a taglio abbastanza elevata.

#### METODO 1

Nel primo metodo di valutazione dell'indice di vulnerabilità a taglio si procede calcolando le aree dei maschi murari e le aree delle fasce deboli e per ogni unità strutturale si raffronta la sommatoria delle fasce deboli con l'area totale dei prospetti. Si verifica se tale rapporto è superiore o inferiore al 55%. Nel caso in cui il rapporto è superiore o uguale al 55% si considera tutta la facciata come vulnerabile, viceversa nel caso in cui il rapporto sia inferiore al 55% la si considera non vulnerabile. Sommando le superfici delle aree vulnerabili a taglio e rapportandole con le aree totali dei prospetti si ottiene l'indice di vulnerabilità a taglio.

$$VT_{M1} = \frac{\sum_i S_{taglio \geq 55\%,i,M1}}{\sum_i S_{totale,i}}$$

dove:

$\sum_i S_{taglio \geq 55\%,i,M1}$  =  $\sum$  delle aree di prospetto delle unità strutturali con vulnerabilità  $\geq 55\%$

$\sum_i S_{totale}$  = area totale dei prospetti

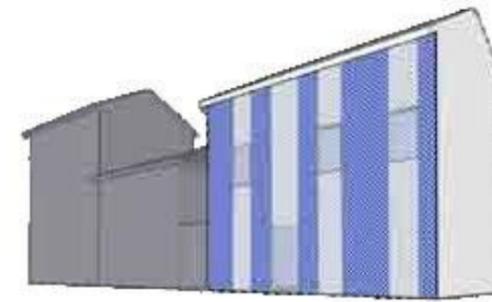


Fig.3.5: VT (Immagine Tesi Liguerrì pag.46).

#### METODO 2

Anche nel calcolo dell'indice relativo alla vulnerabilità a taglio, la presa di coscienza di numerosi casi di studio, prevalentemente nell'Emilia Romagna, ha portato alla formulazione di un secondo metodo di calcolo dell'indice, reso necessario per affinarne l'affidabilità ed adattarlo sempre più al contesto nel quale si opera. Questo secondo metodo di calcolo dell'indice di vulnerabilità a taglio, però, pone la propria attenzione sulla risposta delle strutture porticate ad arco, di cui i centri storici emiliani sono spesso provvisti ma che non sono presenti nell'aggregato oggetto di studio di questa tesi. Per questo motivo verrà preso in considerazione solo il primo metodo di calcolo.

### 3.5 INDICE DA MARTELLAMENTO SOLAI (MSS)

L'indice di lesione da martellamento valuta il rischio di danno che può verificarsi nel caso in cui due solai che afferiscono alla stessa muratura d'ambito abbiano un dislivello maggiore di 50 cm. Entro due unità strutturali contigue, il dislivello del terreno, il diverso numero dei piani o la quota di altezza degli stessi possono causare la presenza di dislivelli tra solai. Lo sfalsamento dei solai in caso di sisma induce un martellamento sul muro a cui afferiscono i due solai, generando un momento flettente, direttamente proporzionale allo sfalsamento dei solai, che può portare anche ad un crollo dell'elemento verticale portante tra due unità strutturali.

## METODO 1

Per calcolare l'indice si considerano vulnerabili solo i solai tra due unità strutturali che presentano un dislivello maggiore di 50 cm, poiché per i restanti si ritiene che il momento flettente generato sia trascurabile. Per il calcolo dell'area, si prende sempre l'altezza della parete d'ambito dell'edificio più alto.

L'indice MSS viene determinato calcolando:

$$MSS_{M1} = \frac{\sum i S_{contatto,i}}{S_{pareti\ d'\ ambito\ tot.}}$$

dove:

$\sum i S_{contatto,i}$  =  $\sum$  delle superfici di contatto tra pareti d'ambito e solai con dislivelli  $\geq 50$  cm

$S_{pareti\ d'\ ambito\ tot.}$  =  $\sum$  delle superfici d'ambito che dividono le US

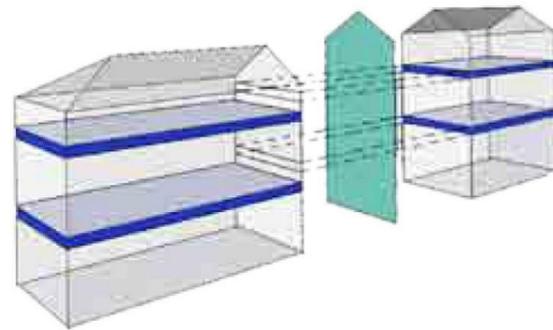


Fig.3.6: MSS. Metodo 1 (Immagine Tesi Liguerrì pag.48).

## METODO 2

Usando il primo metodo per il calcolo dell'indice non è mai possibile raggiungere il massimo della vulnerabilità, si è quindi passati da un rapporto tra superfici ad un rapporto tra quantità.

Definendo un *nodo* come l'estremità di un solaio a contatto con una parete d'ambito interna o esterna all'edificio, si calcola il rapporto tra il numero delle coppie di nodi vulnerabili e la sommatoria di tutte le coppie di nodi potenziali dell'intero aggregato.

I nodi effettivi sono quelli in cui si ha un dislivello tra solai afferenti ad un muro portante maggiore di 50 cm. Vanno considerati anche i solai che martellano su un edificio adiacente con solaio non presente in prossimità. Attraverso questa variazione è possibile giungere a risultati che fotografino meglio la reale condizione degli edifici riguardo il martellamento dei solai sfalsati.

$$MSS_{M2} = \frac{\sum n_{vulnerabili,i}}{\sum n_{potenziali,i}}$$

dove

$\sum n_{vulnerabili,i}$  = sommatoria di tutti i nodi vulnerabili

$\sum n_{potenziali,i}$  = sommatoria di tutti i nodi potenziali

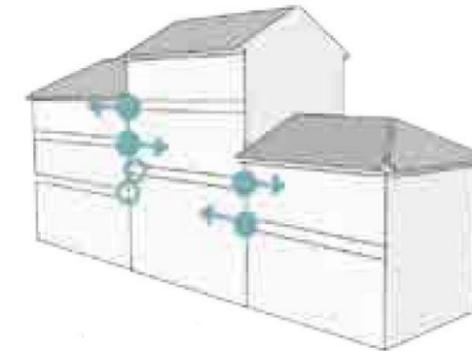


Fig.3.7: MSS. Metodo 2 (Immagine Tesi Liguerrì pag.48).

### 3.6 INDICE DA MARTELLAMENTO DA EDIFICI IN CEMENTOARMATO (MCA)

Nel secondo dopoguerra si è diffusa la pratica dannosa di costruire edifici in cemento armato in adiacenza a edifici in muratura. Questo ha fatto sì che in caso di sisma, in assenza di adeguati giunti sismici tra gli edifici, si verificassero fenomeni di martellamento, a causa delle diverse rigidzze strutturali, provocando la collisione per

effetto di azioni orizzontali.

L'intensità del danno è correlata alla distanza tra gli edifici e al loro comportamento differente in caso di terremoto. Le lesioni si vengono a formare nell'edificio meno rigido ossia in quello in muratura.

#### METODO 1

L'indice si calcola come:

$$MCA_{M1} = \frac{\sum i L_{contatto,i}}{L_{tot}}$$

dove:

$\sum i L_{contatto,i}$  =  $\sum$  di tutte le lunghezze di contatto tra gli edifici in muratura e quelli in ca

$L_{tot}$  = lunghezza totale dei prospetti

#### METODO 2

Poiché anche in questo caso con il primo metodo di calcolo non è mai possibile raggiungere il massimo della vulnerabilità, si preferisce utilizzare il secondo metodo.

Tale metodo valuta il numero di nodi potenziali, ovvero il numero di pareti a contatto tra due unità strutturali adiacenti e il numero di nodi effettivi, ossia il numero di pareti a contatto tra due unità strutturali in cui una delle due sia realizzata in cemento armato.

$$MCA_{M2} = \frac{\sum n_{vulnerabili,i}}{\sum n_{potenziali,i}}$$

dove:

$\sum n_{vulnerabili,i}$  = sommatoria di tutti i nodi vulnerabili

$\sum n_{potenziali,i}$  = sommatoria di tutti i nodi potenziali

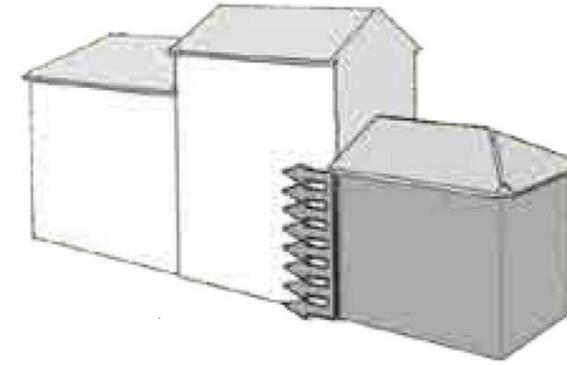


Fig.3.8: MCA. (Immagine Tesi Liguerrì pag.4).

### 3.7 INDICE DI RIBALTAMENTO TIMPANO (RT)

Il ribaltamento del timpano è un meccanismo di primo modo di danno e si innesca, al verificarsi del sisma, a causa della traslazione della trave di colmo lungo il proprio asse. Questa martellando provoca un'oscillazione dell'edificio più alto e la successiva formazione di una cerniera cilindrica orizzontale in corrispondenza della sommità dell'edificio più basso.

Vengono, quindi, valutate le altezze relative alle gronde ed ai colmi tra le unità strutturali adiacenti

#### METODO 1

Il primo metodo analitico considera vulnerabile un timpano se si trova in una parete libera o vincolata, con un dislivello tra le quote di gronda superiori a 1,5 metri. Timpani con altezze di gronda inferiore ai 1,5 metri vengono considerati non vulnerabili.

Si procede, quindi, individuando tutte le altezze di gronda tra gli edifici adiacenti in presenza di un timpano murario. I valori per i dislivelli assumono un valore pari a:

- 0, se il dislivello è minore di 0.5;
- pari al valore effettivo del dislivello, se compreso tra 1.5 e 3;
- 3, se il dislivello è maggiore o uguale a 3 metri.

L'indice si ricava dal seguente rapporto:

$$RT_{M1} = \frac{\sum H_{dislivello,i}}{L_{totale}}$$

dove:

$\sum H_{dislivello,i}$  = sommatoria delle altezze di dislivello i-esime

$L_{totale}$  = lunghezza totale dei prospetti

#### METODO 2

Anche in questo caso con il primo metodo di calcolo non è mai possibile raggiungere il massimo della vulnerabilità. Dunque ne è stato formulato un secondo..

Vengono individuati dei *nodi*, ovvero un punto in cui sia presente un timpano, interno o esterno all'edificio, e tutti i nodi sono definiti potenziali.

Questi nodi vengono definiti vulnerabili solo se il dislivello di gronda è maggiore di 1,5 metri.

L'indice viene calcolato:

$$RT_{M2} = \frac{\sum n_{vulnerabile,i}}{\sum n_{potenziale,i}}$$

dove:

$\sum n_{vulnerabile,i}$  = sommatoria di tutti i nodi vulnerabili

$\sum n_{potenziale,i}$  = sommatoria di tutti i nodi potenziali

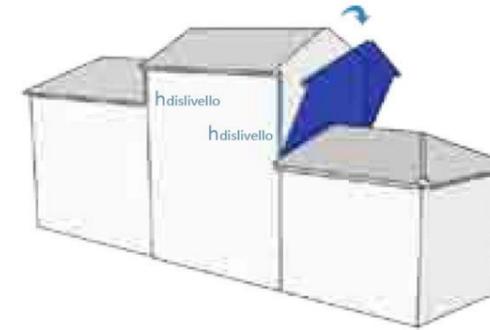


Fig.3.9: RT. (Immagine Tesi Liguerrì pag.50).

### 3.8 INDICE DI VULNERABILITÀ' DA MURI IN FALSO (MF)

L'assenza della continuità muraria tra i diversi piani comporta la presenza dei cosiddetti muri in falso. Ciò interrompe la distribuzione dei carichi verticali e risulta dannoso per la stabilità di un edificio.

In caso di sisma, il muro in falso scarica il proprio peso sul solaio sottostante provocandone lo sfondamento ed il crollo di parte degli orizzontamenti.

#### METODO 1

Il primo metodo prende in esame il potenziale crollo del solaio su cui grava la muratura in falso a seguito del verificarsi di un evento sismico. Per determinare le aree di solaio vulnerabili si considera l'orditura dello stesso in relazione alla posizione del muro in falso. Se il solaio su cui grava il muro in falso è ordito perpendicolarmente ad esso, si ritiene che sia suscettibile a crollo l'intero orizzontamento; se viceversa il solaio è ordito parallelamente all'elemento in falso si considera vulnerabile una porzione di orizzontamento di lunghezza pari a quella dell'elemento e di profondità pari ad 1 metro per lato.

Nel caso di un pilastro in falso la lunghezza del solaio vulnerabile coincide con la luce della trave sottostante.

Nel seguente studio sono stati considerati vulnerabili anche i solai di copertura.

L'indice di vulnerabilità si esprime rapportando le superfici vulnerabili, ottenute dalla somma delle aree di sezione dei muri e del solaio vulnerabile, e la superficie di tutti i solai.

$$MF_{M1} = \frac{\sum i S_{vulnerabili,i,M1}}{S_{tot}}$$

Dove:

$\sum i S_{vulnerabili,i}$  = sommatoria della superficie i-esima sostenuta dal muro in falso

$S_{totale}$  = superficie totale del piano

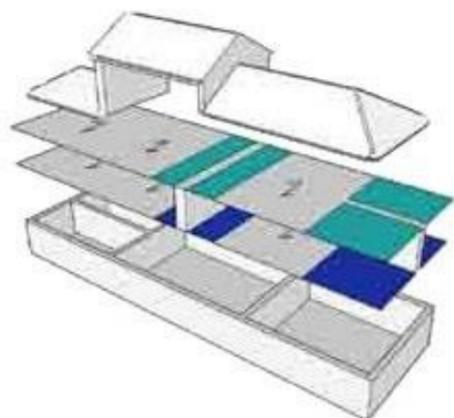


Fig.3.10: MF. Metodo 1 e 2 (Immagine Tesi Liguerrri pag.51).

## METODO 2

Nel secondo metodo si considera vulnerabile il solaio superiore al piano di appartenenza del muro in falso.

Il calcolo delle aree vulnerabili si effettua come nel Metodo 1 L'indice si ricava come il rapporto tra tutte le porzioni di solaio vulnerabile e tutte le aree di solaio potenziale.

$$MF_{M2} = \frac{\sum i S_{vulnerabili,i,M2}}{S_{tot}}$$

Dove:

$\sum i S_{vulnerabili,i}$  = sommatoria della superficie i-esima sostenuta dal muro in falso

$S_{totale}$  = superficie totale del piano

## 3.9 VALUTAZIONE SPEDITIVA DELLA VULNERABILITA' SISMICA

Il metodo speditivo della vulnerabilità sismica è un metodo alternativo a quello analitico, molto più elaborato ed impegnativo, che si propone di ridurre tempi e costi della valutazione, evitando la ricerca archivistica.

Si fonda sulla conoscenza dello stato attuale e del primo catasto disponibile in archivio.

Dal raffronto di questi soli due aspetti è possibile prevedere l'evoluzione in pianta e le criticità dei prospetti.

Tra tutti gli indici proposti nel metodo analitico, solo tre devono essere sostituiti con altri di tipo speditivo:

- indice di trasformazione in pianta (TPsped) sostituisce quello di disconnessione muraria. Valuta gli effetti dei processi evolutivi planimetrici.
- indice di trasformazione in alzato (TAsped) sostituisce quello di ribaltamento delle facciate. Valuta gli effetti dei processi evolutivi in prospetto, quindi i meccanismi di primo modo di danno.
- indice di vulnerabilità a taglio speditivo (VTsped) sostituisce l'analogo analitico. Valuta i meccanismi di secondo modo di danno.

Gli altri indici restano invariati rispetto a quelli utilizzati nella valutazione analitica perché non richiedono conoscenze archivistiche e si calcolano sulla sola osservazione esterna dell'aggregato.

### 3.9.1 INDICE DI TRASFORMAZIONE IN PIANTA (TP<sub>sped</sub>)

Questo indice quantifica rapidamente il grado di evoluzione e di variazione della superficie dell'aggregato edilizio, attraverso il confronto tra due soli momenti di trasformazione costruttiva: quello delle origini e quello attuale, trascurando volontariamente tutti i passaggi intermedi subiti dall'aggregato.

L'area di primo impianto va privata delle superfici che non sono state edificate sia ora che nel primo catasto a disposizione. L'area di secondo impianto è la superficie attualmente coperta.

L'obiettivo è determinare quanto edificato successivamente, per differenza tra l'attuale superficie coperta l'area di primo impianto.

L'indice si calcola nel seguente modo:

$$TP_{sped} = \frac{A_{II \text{ impianto}} + A_{I \text{ impianto}}}{S_{tot}}$$

dove:

$A_{II \text{ impianto}}$  = area coperta attualmente

$A_{I \text{ impianto}}$  = area dell'edificato di primo impianto

$S_{tot}$  = superficie racchiusa all'interno del profilo dell'aggregato.

### 3.9.2 INDICE DI TRASFORMAZIONE IN ALZATO (TA<sub>sped</sub>)

Questo indice determina le aree di facciata ribaltabili sulla base dell'osservazione della geometria dei prospetti. L'obiettivo è individuare la più probabile "prima fase costruttiva" degli edifici dell'aggregato, partendo dal presupposto che le porzioni di facciate che superano il secondo livello sono da considerarsi di una fase edificatoria successiva e quindi sopraelevate. Per individuare le facciate rifuse si osservano la presenza o meno di trattamento unitario, la simmetria delle aperture, l'altezza di gronda unitaria e l'estensione della facciata di una singola unità strutturale oltre i circa 6-7 metri.

L'indice si calcola come segue:

$$TA_{sped} = \frac{S_{>II \text{ livello}} + S_{rifuse}}{S_{tot}}$$

dove:

$S_{>II \text{ livello}}$  = superficie ribaltabile per sopraelevazione

$S_{rifuse}$  = superficie ribaltabile per rifusione

$S_{totale}$  = superficie totale dei prospetti

### 3.9.3 INDICE DI VULNERABILITÀ A TAGLIO SPEDITIVO (VT<sub>sped</sub>)

La stima della vulnerabilità a taglio speditiva è svolta in modo analogo a quella condotta per la valutazione analitica, con l'unica differenza che l'individuazione delle unità strutturali avviene grazie alla sola osservazione esterna dei prospetti prendendo in considerazione alcuni fattori, quali:

- l'omogeneità dei maschi murari;
- l'altezza di gronda unitaria;
- le quote dei solai affini;
- le disconnessioni murarie note dal confronto con il primo catasto;

Alla stregua del corrispondente indice analitico, si considerano vulnerabili le unità che presentano una percentuale di fasce deboli  $\geq 55\%$ .

L'indice viene calcolato come rapporto tra due termini:

$$VT_{sped} = \frac{\sum i S_{\text{taglio} \geq 55\%, i, \text{sped}}}{\sum i S_{\text{totale}, i}}$$

dove:

$$\sum_i S_{\text{taglio} \geq 55\%, i, \text{sped}} = \sum \text{ delle superfici di prospetto delle unità strutturali con vulnerabilità } \geq 55\%$$

$$\sum_i S_{\text{totale}, i} = \text{area totale dei prospetti}$$

### 3.10 INDICE GLOBALE ANALITICO

Per una lettura sintetica e più consona ad una immagine immediata della pericolosità di un singolo aggregato, si è reso necessario creare un nuovo indice, che ricomprendendo al suo interno tutti i risultati di ciascun indice di vulnerabilità sismica, fosse in grado di rappresentare con un unico valore percentuale il grado di vulnerabilità dell'intero aggregato: l'indice globale analitico.

Questo indice ottiene assegnando un certo peso ad ogni singolo indice di vulnerabilità, in funzione della pericolosità e della frequenza con cui si verifica la criticità in esame.

Tali pesi sono stati individuati fissando pari a 100 il punteggio massimo di vulnerabilità e ripartendo tra ciascun indice una quota parte di questo in proporzione alla pericolosità del corrispondente meccanismo di collasso. Il punteggio maggiore è stato assegnato agli indici relativi ai meccanismi di 1° modo di danno, ossia agli indici relativi al ribaltamento delle facciate e alle lesioni da falsi puntoni. Viceversa, quelli legati al secondo modo di danno, come la vulnerabilità a taglio, hanno un peso minore, perché non comportano crolli disastrosi e né compromettono la salvaguardia della vita ma interessano solo danneggiamenti diffusi sugli elementi murari.

Inoltre, poiché ogni indice di vulnerabilità ha un proprio peso all'interno della vulnerabilità globale di un aggregato, che è valido in ogni contesto, in quanto non prende in esame le caratteristiche costruttive dell'edificio, ma solo la pericolosità associata a ciascuna vulnerabilità, l'indice globale può essere utilizzato come parametro di paragone, tra aggregati situati in una medesima area geografica, come può essere il centro storico di una città.

In questo modo è possibile determinare una scala di priorità utile alla determinazione degli

aggregati che hanno bisogno di interventi più tempestivi e sostanziosi.

Più alto sarà il valore calcolato, più l'aggregato risulterà vulnerabile all'azione sismica.

Vengono di seguito rappresentati i pesi applicati ad ogni singolo indice di vulnerabilità:

- per le disconnessioni murarie (DM): PDM = 17;
- per lesioni da falsi puntoni (FP): PFP=27
- per il ribaltamento di facciata (RF): PRF = 27;
- per la vulnerabilità a taglio (VT): PVT = 9
- per lesione da martellamento da solai sfalsati (MSS): PMSS = 6
- per lesione da martellamento di edifici in cemento armato (MCA): PMCA = 7
- per il ribaltamento dei timpani (RT): PRT = 7;

Tra le diverse combinazioni di pesi utilizzate in passato, in questo studio di tesi, si è deciso di considerare quello che non comprende l'indice di muratura in falso, considerata la non incidenza dell'indice in questo aggregato. Inoltre, sebbene le valutazioni con il metodo 2 abbiano sostituito quelle con il metodo 1, il calcolo dell'indice globale viene effettuato prendendo in considerazione i valori di entrambi i metodi, per dare la possibilità di effettuare confronti con valutazioni effettuate in precedenza.

La combinazione dei pesi è valida sia nella valutazione analitica che in quella speditiva.

Quindi, determinati i pesi, l'indice globale della vulnerabilità dell'aggregato può essere così calcolato:

$$VGA = DM \cdot PDM + FP \cdot PFP + RF \cdot PRF + VT \cdot PVT + MSS \cdot PMSS + MCA \cdot PMCA + RT \cdot PRTS$$

Per determinare l'indice globale speditivo basta sostituire i valori ricavati dai tre indici che nell'analisi speditiva sostituiscono i relativi proposti nel metodo analitico.

$$VGASped = TPSped \cdot PDM + FP \cdot PFP + TASped \cdot PRF + VTSped \cdot PVT + MSS \cdot PMSS + MCA \cdot PMCA + RT \cdot PRTS$$

### 3.11 INDICE DI CONTINUITA' MURARIA

Dal confronto tra l'analisi della vulnerabilità e del danno delle unità strutturali dell'aggregato è emerso che il danno riscontrato nell'unità 2 è in proporzione a quello dell'altra unità, molto superiore rispetto a quanto l'indice di vulnerabilità abbia espresso. Dall'osservazione del primo piano dell'unità 2, quello che risulta essere la parte di aggregato più danneggiata, è emersa la mancanza di interi setti murari rispetto al piano sottostante, probabilmente demoliti per ricavare spazi più ampi. Di conseguenza, si è reso necessario individuare un nuovo indice di vulnerabilità, denominato indice di continuità muraria, che rappresenti al meglio questa particolare criticità.

L'indice in questione valuta la continuità muraria di un edificio. È usanza comune quella di ridurre lo spessore murario delle pareti nei piani superiori. Nel caso in cui le sezioni murarie dell'ultimo piano fossero di molto inferiori a quelle del piano terra, potrebbero derivare conseguenze gravi sulla stabilità di un edificio, soprattutto nell'ipotesi in cui la riduzione dello spessore delle murature, fosse accompagnata dalla mancanza di interi setti murari. Il nuovo indice verrà calcolato come rapporto tra le murature dell'ultimo piano e quelle del primo piano, escludendo le murature perimetrali, che per ipotesi non variano il loro spessore in maniera considerevole. Verranno considerati come vulnerabili i valori dell'indice inferiori al 45%.

$$CM = \frac{\sum i S_{murariaUP \leq 45\%,i}}{\sum i S_{murariaPT,i}}$$

dove:

$\sum i S_{murariaUP \leq 45\%,i}$  =  $\sum$  delle superfici delle murature di ultimo piano inferiori al 45% di quelle del piano terra

$\sum i S_{murariaPT,i}$  =  $\sum$  delle superfici delle murature di piano terra

La presenza di questo nuovo indice che concorre nella valutazione analitica di vulnerabilità impone una redistribuzione del peso di tutti gli indici. La proposta di una nuova combinazione assegna al nuovo indice un peso rilevante all'interno del totale, secondo solo a quelli dei falsi puntoni e di ribaltamento facciate. Questo tipo di vulnerabilità, infatti, concorre a determinare di meccanismi di danno estremamente gravi. Viene di seguito rappresentata la nuova combinazione di indici rimodulata in funzione della presenza di questo nuovo indice di vulnerabilità:

- per le disconnessioni murarie (DM): PDM = 14;
- per lesioni da falsi puntoni (FP): PFP=22
- per il ribaltamento di facciata (RF): PRF = 22;
- per la vulnerabilità a taglio (VT): PVT = 7
- per lesione da martellamento da solai sfalsati (MSS): PMSS = 4
- per lesione da martellamento di edifici in cemento armato (MCA): PMCA = 5
- per il ribaltamento dei timpani (RT): PRT = 6;
- di continuità muraria (CM): PCM=20

## 4 RILIEVO STATO DI DANNO

Una volta eseguiti l'analisi della vulnerabilità e il calcolo degli indici si procede alla rilevazione del danno subito da un aggregato a seguito di un evento sismico. Il confronto tra i dati emersi dopo aver eseguito un accurato rilievo del quadro fessurativo dell'interno e dell'esterno dell'aggregato, permetterà di evidenziare se le criticità presenti siano imputabili a carenze del sistema strutturale nei confronti di azioni ordinarie statiche o derivino sostanzialmente dall'azione sismica.

Le tipologie di indagine o di lavoro adottate dai tecnici incaricati sono diverse, ma nessuna di queste può prescindere dal condurre un'accurata campagna fotografica indispensabile per una corretta mappatura del danno, interno ed esterno.

Il rilievo del danno interno può risultare, a volte, difficoltoso a causa delle condizioni degli immobili e dell'inagibilità degli stessi; per quello esterno, viceversa, il problema è il pericolo di crolli che potrebbero verificarsi direttamente nella strada dove si trovano.

Dal confronto tra il rilievo fotografico degli interni e quello degli esterni, è possibile individuare il nesso logico tra le lesioni rilevate e determinare la vulnerabilità della parte interna dell'aggregato.

È evidente che per conoscere il comportamento strutturale dell'edificio e comprendere le cause dei problemi verificatisi, sia necessario associare il rilievo fotografico e la mappatura del danno a tutta una serie di altre indagini in sito volte a indagare la muratura, le strutture portanti e gli orizzontamenti.

Di seguito verranno esposti i principali metodi di analisi del danno post sisma.

### **4.1 IL DANNEGGIAMENTO SECONDO L'ATTUALE NORMATIVA: LE SCHEDE AeDES**

Nella fase di emergenza che segue il terremoto risulta fondamentale andare in aiuto delle popolazioni colpite dall'evento fornendo risposte certe in tempi brevi alle tante richieste di analisi dei danni e dell'agibilità degli edifici ordinari interessati.

Per andare incontro a queste esigenze, da un lavoro condotto sul finire degli anni novanta

da un gruppo di ricercatori del Servizio Sismico Nazionale e del Gruppo Nazionale per la Difesa dei Terremoti riguardante le modalità applicative per le operazioni di valutazione dell'agibilità post sisma, è nata la così detta "scheda di primo livello di rilevamento danno, pronto intervento e agibilità per edifici ordinari nell'emergenza sismica AeDES" (Agibilità e Danno nell'Emergenza Sismica).

Questa scheda è applicabile solo agli edifici intesi come unità strutturali di tipologia costruttiva ordinaria (tipicamente in muratura, in c.a. o acciaio intelaiato o a setti) dell'edilizia per abitazioni e/o servizi. Sono esclusi, pertanto, gli edifici a tipologia specialistica (capannoni industriali, edilizia sportiva, teatri, chiese, etc.) o monumentale.

La scheda consente di effettuare un rilievo speditivo ed una prima catalogazione del patrimonio edilizio.

Infatti, disponendo di dati tipologici e metrici degli edifici e potendoli confrontare con il danno rilevato, è possibile pervenire ad una prima valutazione dei costi di riparazione e/o miglioramento ed alla predisposizione di preventivi di costi associati a differenti soglie di danno.

In ogni caso la scheda rappresenta un valido strumento per la valutazione dell'agibilità, il cui giudizio finale resta comunque di stretta pertinenza della squadra dei rilevatori. Infatti, non solo mantiene traccia dell'ispezione effettuata e del relativo esito, ma attraverso l'utilizzo di un linguaggio comune nella descrizione del danno e della tipologia strutturale e di una procedura guidata che dagli elementi rilevati valuta il rischio e fornisce il giudizio di agibilità, consente una migliore informatizzazione dei dati.

La scheda AeDES nasce da anni di esperienza e di utilizzo diretto sul campo in occasione degli eventi sismici che hanno colpito il territorio italiano nel passato (Irpinia '80, Abruzzo '84, Basilicata '90, Reggio Emilia '96).

Nella sua prima versione è stata testata con buon esito nella regione Marche in occasione del terremoto Umbria - Marche del 1997.

Successivamente, con alcune piccole modifiche e miglioramenti non solo alla struttura di alcune parti ma anche nell'impostazione di alcuni aspetti riguardanti l'approccio metodologico al sopralluogo ed il significato stesso della valutazione dell'agibilità post evento, che sempre più pone al centro dell'attenzione la problematica della responsabilità del rilevatore e della sicurezza, è stata utilizzata prima in occasione del terremoto del

Pollino del 1998, e poi in tanti ulteriori eventi successivi fino al terremoto in Abruzzo del 2009 ed in Emilia del 2012.

#### 4.1.1 LA COMPILAZIONE DELLE SCHEDE

La scheda AeDES, divenuta nel corso degli anni non solo di fatto, ma anche per norma uno strumento di riferimento ufficiale<sup>1</sup>, è composta da nove sezioni distribuite in tre pagine e da una quarta pagina contenente delle note esplicative sulla compilazione:

- Sezione 1: identificazione edificio;
- Sezione 2: descrizione edificio;
- Sezione 3: tipologia;
- Sezione 4: danni ad elementi strutturali e provvedimenti di pronto intervento eseguiti;
- Sezione 5: danni ad elementi non strutturali e provvedimenti di pronto intervento eseguiti;
- Sezione 6: pericolo esterno indotto da altre costruzioni e provvedimenti di pronto intervento eseguiti;
- Sezione 7: terreno e fondazioni;
- Sezione 8: giudizio di agibilità;
- Sezione 9: altre osservazioni.

Grande attenzione viene data alle modalità compilative, le quali devono attenersi rigidamente alle istruzioni impartite nel manuale della Protezione Civile.

Relativamente alla determinazione dei singoli aggregati strutturali, occorre verificare attraverso la individuazione dei giunti sismici efficienti, se siano essi costituiti da un singolo edificio o da più edifici con caratteristiche costruttive generalmente diverse.

<sup>1</sup> Formalmente allegata all'Opcm n. 3753 del 6 aprile 2009: primi interventi urgenti per il terremoto in Abruzzo del 6 aprile 2009 è stata successivamente pubblicata nel DPCM del 5 maggio 2011 approvazione del modello per il rilevamento dei danni, pronto intervento e agibilità per edifici ordinari nell'emergenza post-sismica e del relativo manuale di compilazione

Vengono di seguito riportate due schede Aedes dell'aggregato oggetto di studio, compilate subito dopo il sisma del 2016.

#### 4.1.2 DESCRIZIONE SINTETICA DEL LIVELLO ED ESTENSIONE DEL DANNO AGLI ELEMENTI STRUTTURALI PRINCIPALI

La Sezione 4 della scheda AeDES, è riservata al rilevamento dei danni apparenti, cioè solo quelli totalmente riscontrabili a vista sui componenti strutturali al momento del sopralluogo, siano essi direttamente collegabili al sisma o eventualmente pre-esistenti ad esso.

È evidente che su questo aspetto intervenga anche la sensibilità del singolo rilevatore.

La stima del danno avviene separatamente per ogni riga in relazione all'intero edificio. Le prime 4 righe sono riferite agli elementi strutturali principali (strutture verticali, solai, scale e copertura), la quinta interessa elementi strutturali secondari ma rilevanti (tamponature e tramezzi) che possono modificare la resistenza e/o la risposta della struttura, in particolare di quelle intelaiate; la sesta, invece, indica in modo cumulativo per tutto l'edificio la quota parte del danno totale che si valuta preesistente al sisma.

Le colonne, viceversa, sono differenziate a seconda del livello di danno e della sua estensione.

Sulla quantificazione del danno apparente non è possibile dare regole certe. Pur tuttavia si fa riferimento a quelle inserite nella recente scala macrosismica europea EMS98<sup>2</sup>, integrata con quelle codificate dal GNDT<sup>3</sup>.

La scala EMS98 distingue 6 diversi livelli di danno:

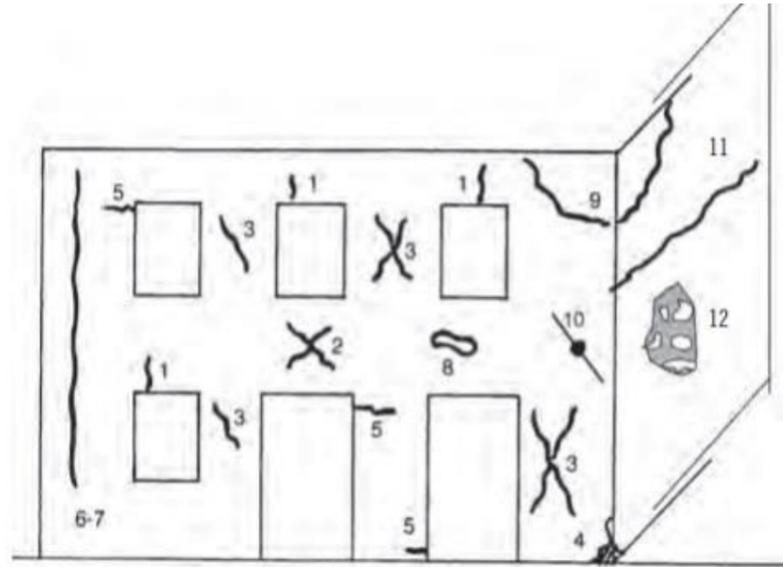
- *D 0 danno nullo*: nessun danno;
- *D1 danno leggero*: non cambia in modo significativo la resistenza della struttura e non pregiudica la sicurezza degli occupanti a causa di possibili cadute di elementi

<sup>2</sup> La scala macrosismica europea (EMS) è utilizzata per la valutazione dell'intensità sismica nelle nazioni d'Europa ed è, inoltre, usata in altri continenti. Diffusa nel 1998 come aggiornamento della versione di prova del 1992, la scala viene indicata come EMS-98.

<sup>3</sup> Il Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti (GNDT) è uno dei Gruppi Nazionali di ricerca scientifica di cui si avvale il Servizio Nazionale della Protezione Civile.

non strutturali

- *D2-D3 danno medio-grave*: anche cambiare in modo significativo la resistenza della struttura, senza che sia avvicinato il limite del crollo parziale di elementi strutturali principali
- *D4-D5 danno gravissimo*: modifica in modo evidente la resistenza della struttura portandola vicino al limite del crollo parziale o totale di elementi strutturali principali. Stato che prevede danni superiori ai precedenti livelli, incluso il collasso.



1. lesioni ad andamento pressoché verticale sulle architravi di aperture (Fig. 4.2);
2. lesioni ad andamento diagonale nelle fasce di piano (parapetti di finestre, architravi) (Fig. 4.3);
3. lesioni ad andamento diagonale in elementi verticali (maschi murari) (Figg. 4.8, 4.20);
4. schiacciamento locale della muratura con o senza espulsione di materiale;
5. lesioni ad andamento pressoché orizzontale in testa e/o al piede di maschi murari (Fig. 4.8);
6. lesioni ad andamento pressoché verticale in corrispondenza di incroci fra muri (Fig. 4.2);
7. come 6 ma passanti (Figg. 4.10, 4.11, 4.12, 4.19, 4.20);
8. espulsione di materiale in corrispondenza degli appoggi di travi dovuta a martellamento;
9. formazione di cuneo dislocato in corrispondenza della intersezione fra due pareti ad angolo (Fig. 4.13);
10. rottura di catene o sfilamento dell'ancoraggio;
11. lesioni ad andamento orizzontale in corrispondenza dei solai (Fig. 4.6) o sottotetto (Figg. 4.7 e 4.15);
12. distacco di uno dei paramenti di un muro a doppio paramento (Fig. 4.14).

Fig.4.1: Schema di riferimento per le lesioni alle murature (Manuale AeDES)

## 4.2 IL GIUDIZIO DI AGIBILITÀ

Il concetto di agibilità in emergenza post sismica non è un concetto legato alla salvaguardia di un edificio da ulteriori danni, bensì alla necessità di poterlo utilizzare da parte delle persone, senza che sia messa in pericolo la loro incolumità fisica.

Questo aspetto, di primaria importanza, spiega quanto sia rilevante per ridurre il disagio delle popolazioni colpite dal terremoto e per assicurare un pronto recupero delle loro normali condizioni di vivibilità, effettuare le ispezioni di agibilità in tempi brevi, che si fondino sugli elementi conoscitivi immediatamente acquisibili sul posto e sulla loro interpretazione.

Per quanto detto, tenuto conto che le ispezioni di agibilità vengono eseguite in un contesto di numerose richieste di sopralluogo che pervengono dopo un evento sismico, si comprende come queste non rappresentino una verifica di sicurezza, né tanto meno la sostituiscono. Queste ispezioni, infatti, non si fondano su calcoli ed analisi numeriche, ma si basano su un giudizio esperto, non definitivo, bensì temporaneo.

Alla luce di quanto rappresentato è possibile definire l'agibilità nel seguente modo: *“La valutazione di agibilità in emergenza post-sismica è una valutazione temporanea e speditiva – vale a dire formulata sulla base di un giudizio esperto e condotta in tempi limitati, in base alla semplice analisi visiva ed alla raccolta di informazioni facilmente accessibili – volta a stabilire se, in presenza di una crisi sismica in atto, gli edifici colpiti dal terremoto possano essere utilizzati restando ragionevolmente protetta la vita umana”*<sup>4</sup>.

In buona sostanza il giudizio di agibilità deve essere il più possibile oggettivo e deve rilevare il quadro di danneggiamento dell'edificio in esame relativamente alle caratteristiche costruttive e alle eventuali gravi carenze strutturali.

Lo scopo è quello di distinguere condizioni di manifesta inagibilità da quelle di danneggiamento assente o trascurabile, che non avendo variato in modo significativo la resistenza residua rispetto a quella originaria della costruzione, garantiscano alla stessa di

<sup>4</sup> Dolce M, Papa F., Pizza A., *“Manuale per la compilazione della scheda di 1° livello di rilevamento danno, pronto intervento e agibilità per edifici ordinari nell'emergenza post-sismica (AeDES)”*, Dipartimento della Protezione Civile, Ediz. II, 2014 –pag.11.

sostenere una scossa di intensità almeno pari a quella subita senza crollare. Pertanto, la dichiarazione di agibilità consiste, in via esclusiva, nel verificare che la funzionalità dello stabile, quale si presentava prima del sisma, non sia stata alterata a causa dei danni provocati dal sisma. In sostanza, questo vuol dire che sia ragionevole supporre che a fronte di una scossa successiva, di intensità non superiore a quella per cui è richiesta la verifica, non si determini un incremento significativo del livello di danneggiamento generale.

In particolare, per il giudizio di agibilità sono previste due valutazioni distinte:

- a) la prima esprime una valutazione sull'esito intrinseco del fabbricato, con 5 diverse alternative:
  - *Esito A:* edificio agibile;
  - *Esito B:* edificio temporaneamente inagibile (in tutto o in parte) ma agibile con provvedimenti di pronto intervento;
  - *Esito C:* edificio parzialmente inagibile;
  - *Esito D:* edificio temporaneamente inagibile da rivedere con approfondimento;
  - *Esito E:* edificio inagibile;
- b) la seconda esprime una valutazione connessa a cause esterne:
  - *Esito F:* edificio inagibile per rischio esterno.



Fig.4.2



Stato Provincia **067** Stato Comune **0413** Spazio **FRASCA** N° scheda **092** Data **01/12/16**

**SEZIONE B - Rilievo di agibilità**

B-A Valutazione del rischio					B-B Esito di agibilità	
Rischio	Esterno (Sec. 6)	Strutturale (Sec. 7 e 8)	Non Strutturale (Sec. 9)	Costruzione (Sec. 7)	A	B
Rischi	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Rischi con provvedimenti	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Altri	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

A **Edificio idoneo (\*)**   
 B **Edificio idoneo con limitazioni (\*\*)**   
 C **Edificio idoneo con limitazioni (\*\*) e provvedimenti**   
 D **Edificio idoneo con limitazioni (\*\*) e provvedimenti e interventi**   
 E **Edificio idoneo con limitazioni (\*\*) e provvedimenti e interventi e interventi**   
 F **Edificio idoneo con limitazioni (\*\*) e provvedimenti e interventi e interventi e interventi**   
 G **Edificio idoneo con limitazioni (\*\*) e provvedimenti e interventi e interventi e interventi e interventi**

(\*) La compilazione della presente scheda con costituisce una verifica visiva ed costituisce il rispetto degli obblighi relativi alla sicurezza sui luoghi di lavoro ai sensi delle normative vigenti.

NOTE: (1) Esito B nella nota (Sec. 9) riportare se la temporezza inagibilità è totale o parziale e, in quest'ultimo caso, quali sono le parti inagibili e proporre in Sec. 10 i necessari provvedimenti di pronto intervento che possono rimuovere l'inagibilità (da indicare anche nel modulo GPI).  
 (2) Esito C nella nota (Sec. 9) specificare chiaramente quali sono le parti inagibili (a meno descrittive ed grafici) e proporre in Sec. 10 eventuali provvedimenti di pronto intervento necessari per la sicurezza esterna (da indicare anche nel modulo GPI).  
 (3) Esito D nella nota (Sec. 9) specificare metodologie e tipo di approvvigionamento per la sicurezza esterna (da indicare anche nel modulo GPI).  
 (4) Esito E e proporre in Sec. 10 eventuali provvedimenti di pronto intervento necessari per la sicurezza esterna (da indicare anche nel modulo GPI).  
 (5) Esito F nella nota (Sec. 9) specificare quali sono le cause di rischio esterna e proporre in Sec. 10 eventuali interventi di pronto intervento necessari per la sicurezza esterna (da indicare anche nel modulo GPI).

B-C	1 <input type="checkbox"/> Solo dall'esterno	4 <input type="checkbox"/> Non adeguata per	A <input type="checkbox"/> Sopralluogo rifiutato (SD)	B <input type="checkbox"/> Rifiuto (RU)	C <input type="checkbox"/> Denegato (DM)
Sell'accertazione della visita	2 <input type="checkbox"/> Parziale	3 <input checked="" type="checkbox"/> Completa (>=3/3)	D <input type="checkbox"/> Proprietario non trovato (PT)	E <input type="checkbox"/> Altro (AL)	

B-D Provvedimenti suggeriti di pronto intervento di rapida realizzazione, limitati (*) o estesi (**)					
+	++	PROVVEDIMENTI DI PI. SUGGERITI	*	**	PROVVEDIMENTI DI PI. SUGGERITI
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Messa in opera di cordolatura a tratti	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Rimozione di cornicioni, parapetti, appalti, ...
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Riparazione danni leggeri alla temperatura e tramezzi	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Rimozione di altri oggetti interni e esterni
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Riparazione coperture	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Trasmissione e protezione passaggi
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Particolari di acido	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Riparazioni della rete degli impianti
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Rimozione di tubazioni, sverdoni, sottosegretarie, ...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Rimozione di tegole, cornicioni, uscite fumarie, ...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

**B-E Unità immobiliari inagibili, famiglie o persone evaccuate**

Unità immobiliari inagibili **002** Famiglie familiari evaccuate **001** N° persone evaccuate **000**

**SEZIONE 9 - Altre osservazioni**

Sul danno, sui provvedimenti di pronto intervento, l'agibilità o altro

ARGOMENTO: **PROVAZIONE** Foto d'insieme dell'edificio:  Spillo:

I componenti della squadra di ispezione (stampatello):  
**ARCH. RICCHI LUCA**  
**GOFFI ALESSIO SANTILLI**

Firma: **Luca Ricchi**

Fig.4.5:  
Da fig.4:2 a fig. 4.5: Copia Scheda AeDES originale Unità Strutturale 2 dell'aggregato oggetto di studio.

### 4.3 CLASSIFICAZIONE DEL DANNO: LA PROPOSTA MEDEA

La classificazione del danno tramite le schede Aedes rileva le caratteristiche del danneggiamento attraverso una definizione dell'estensione e del livello di gravità del danno e risulta ottimale per una valutazione speditiva del manufatto danneggiato. Di contropartita, appare inadeguata quando si vuole catalogare ed interpretare il danno facendo riferimento alle caratteristiche del quadro fessurativo ed ai relativi meccanismi di collasso attesi. Per rispondere a questa esigenza è stato messo a punto il CD multimediale MEDEA (Manuale di Esercitazioni sul Danno Ed Agibilità), contenente una proposta metodologica di analisi dell'edificio danneggiato che metta in correlazione il riconoscimento delle caratteristiche del quadro fessurativo presente con un'interpretazione in termini di meccanismi di collasso. Questa metodica si propone di individuare criteri e metodi che permettano una valutazione più oggettiva ed al tempo stesso la stesura di una scheda di agibilità più dettagliata rispetto alle schede AeDES.

Medea è distinto in sezioni organizzate secondo un principio di continuità logica e interconnesse tra loro che riguardano: Queste sono:

- **Glossario dei termini:** glossario dettagliato dei principali termini tecnici di frequente utilizzo in campo tecnico-scientifico. Ad ognuno di essi sono associate fotografie, grafici e testi esplicativi.
- **Archivio immagini:** ricca antologia di immagini documentative di diverse tipologie strutturali e di differenti livelli di danno sismico corredata da relative informazioni.
- **Catalogo danni:** composto dall'abaco dei meccanismi di collasso e dei danni. Nel primo sono stati classificati i sedici diversi meccanismi di collasso riconoscibili per una costruzione ordinaria:
  - I meccanismi globali interessano la struttura nel suo complesso e quelle situazioni in cui il quadro fessurativo coinvolge un numero elevato di elementi tali da compromettere l'equilibrio statico della struttura;
  - I meccanismi locali riguardano parti marginali e, pur pregiudicando una singola parte, non compromettono il comportamento dell'intero manufatto.

Nell'abaco dei danni troviamo una catalogazione di 49 tipologie di danno che interessano le strutture verticali, gli orizzontamenti, le scale e gli elementi non

strutturali, il tutto corredato da materiale illustrativo, schemi e collegamenti con i possibili meccanismi di danno.

- **Esercitazioni di Agibilità:** esempi che permettono di effettuare esercitazioni guidate di agibilità ed esprimere valutazioni su tipologie costruttive, livello di danno, esito di agibilità e possibili lavori di pronto intervento.

Dunque MEDEA è uno strumento interattivo che agevola le valutazioni di agibilità in seguito ad evento sismico ed introduce un Indice di Agibilità che, alla fine della ispezione, è in grado di dare un concreto orientamento sullo stato della costruzione.

MECCANISMI GLOBALI					
1	Da Taglio della parete per azioni nel piano		2	Da Taglio della parete per azioni nel piano localizzato solo nella zona alta	
3	Da Ribaltamento della Intera Parete		4	Da Ribaltamento Parziale della Parete	
5	Da Instabilità (verticale) della parete		6	Da Rottura a flessione della parete	
7	Da Scorrimento di piano orizzontale		8	Da cedimento fondale	
9	Da irregolarità tra strutture adiacenti		10	Per sfilamento delle travi del solaio dalla parete di supporto	
MECCANISMI LOCALI					
11	Per cedimento di achrtravi e/o piattabande		12	Da irregolarità del materiale, debolezze locali, etc.	
13	Da ribaltamento della parete del timpano		14	Da ribaltamento della parte alta del cantonale	
15	Da ribaltamento della fascia sottotetto		16	Da rotazione delle spalle di volte e archi	

Fig. 4.6 4.7: Meccanismi di danno MEDEA.

#### 4.4 QUANTIFICAZIONE DEL DANNEGGIAMENTO: LA NUOVA PROPOSTA

Una classificazione qualitativa dei danneggiamenti così come viene rappresentata dalle schede AeDES e da quelle di MEDEA potrebbe essere di maggiore utilità se comprendesse anche una informativa sulla loro quantificazione.

Questo consentirebbe, in primo luogo, di stilare una classifica degli edifici in base al danneggiamento subito, in modo tale da avere una immediata visione dello stato di fatto per eseguire tempestivi interventi sulle costruzioni più danneggiate. In secondo luogo, operando un confronto tra questa classifica e la vulnerabilità stimata precedentemente all'evento sismico, si potrebbero avere informazioni sulla bontà del procedimento di valutazione della stessa vulnerabilità sismica.

Lo studio di questa, tenendo a mente il perseguimento di questo obiettivo, fa riferimento alla nuova proposta di calcolo dell'indice di danno introdotta nella tesi di Ilaria Pantaleoni.

#### 4.5 DEFINIZIONE DELLA SCALA DI DANNEGGIAMENTO

Poiché a tutt'oggi non esiste un metodo univoco capace di fornire una valutazione quantitativa del danno subito da un edificio in seguito ad un evento sismico, si è definita una scala del danneggiamento, prendendo come punto di riferimento le informazioni derivanti dalle schede AeDES e dal manuale per la loro compilazione.

Sono state individuate 3 entità di danneggiamento (leggero, medio – grave e gravissimo) ad ognuno delle quali è stato successivamente associato un indice, chiamato “peso”, con il quale si andrà quantificare il danno:

- **Danneggiamento leggero:** a questo tipo di danno si assegna il peso  $P=1$ ; Appartengono a questa categoria lesioni non passanti attraverso l'intero spessore, di ampiezza  $\leq 1$  mm, distribuite nelle murature e negli orizzontamenti senza espulsione di materiale; distacchi limitati o lievissimi inizi di dislocazioni (molto  $< 1$  mm) fra porzioni di strutture portanti, ad esempio fra muri e solai o fra muri e scale; dissesti molto limitati alle coperture più deformabili (legno o acciaio), con conseguente caduta di qualche tegola ai bordi. Possono verificarsi cadute di piccoli pezzi di intonaco o di stucco non legati alla muratura e degradati.



Fig.4.8: Danneggiamento lieve. Foto n. 116 allegati fotografici

- **Danneggiamento medio - grave:** a questo tipo di danno si assegna il peso  $P=3$ . Comprende lesioni di maggiore gravità rispetto al D1, anche con espulsioni di materiale e con ampiezza di qualche mm (fino a circa 1 cm) o più ampie, in prossimità delle aperture; sintomi di lesioni da schiacciamento; distacchi significativi fra solai e/o scale e pareti e fra pareti ortogonali; qualche sconnessione nell'orditura secondaria di solai; lesioni nelle volte di qualche mm e/o con sintomi di schiacciamento; nelle coperture in legno o in acciaio con manto di tegole, sconnessioni nell'orditura secondaria e spostamenti apprezzabili (fino a circa 1 cm) degli appoggi delle travi principali; sconnessioni nell'orditura secondaria e caduta di porzioni del manto di tegole; fuori piombo visibili riconducibili al sisma ma, comunque, molto inferiori all'1%.



Fig.4.9: Danneggiamento medio-grave. Foto n. 31 allegati fotografici.

- **Danneggiamento gravissimo:** a questo tipo di danno si assegna il peso  $P=5$ . Considera lesioni che modificano in modo evidente la resistenza della struttura portandola vicino al limite del crollo parziale o totale di elementi strutturali principali. Comprende danni superiori ai precedenti, incluso il collasso.



Fig.4.10: Danneggiamento gravissimo. Sisma Amatrice 2016.

Da quanto appena rappresentato, deriva che i pesi assegnati vanno da 0, se l'elemento strutturale in esame non ha subito alcun danneggiamento, a 5, in caso di crolli e di danni che possono portare al collasso della struttura. Inoltre, si specifica che per lesioni dovute a meccanismi da danno di 1° modo, in particolare nei casi di lesioni causate da ribaltamenti, si è assegnato un peso minimo di 3; mentre per lesioni dovute a meccanismi di danno di 2° modo, come ad esempio il taglio, si è assegnato un peso massimo di 3.

Questa diversa ponderazione deriva fatto che questi ultimi danneggiamenti sono meno pericolosi dei primi.

L'individuazione dei tipi di lesioni presenti fa riferimento al Manuale per la compilazione delle schede AeDES, nel rispetto della classificazione proposta in Fig. 4.1

#### 4.6 CALCOLO DELL'INDICE DI DANNO

L'indice di danno viene calcolato a partire dai danneggiamenti di ognuno dei piani che costituiscono l'edificio, sia sulle strutture portanti verticali, che sugli orizzontamenti. Il danneggiamento sulle murature portanti è calcolato come il rapporto tra la lunghezza dei muri lesionati moltiplicati per il peso di danno e la lunghezza totale dei muri:

$$ID_{m,j} = \frac{\sum L_{m,i} \cdot P_{m,i}}{L_{tot,j}}$$

con:

- $ID_{m,j}$  : indice di danno alle murature del piano j-esimo;
- $L_{m,i}$  : lunghezza dell'i-esimo muro danneggiato;
- $P_{m,i}$  : peso di danno della muratura;
- $L_{tot,j}$  : lunghezza totale delle murature al piano j-esimo.

Analogamente, il danneggiamento sugli orizzontamenti è calcolato come il rapporto tra la superficie dei solai lesionati moltiplicati per il peso di danno e la superficie totale dei solai:

$$ID_{s,j} = \frac{\sum S_{s,i} \cdot P_{s,i}}{S_{tot,j}}$$

con:

- $ID_{s,j}$  : indice di danno ai solai del piano j-esimo;
- $S_{s,i}$  : superficie dell'i-esimo solaio danneggiato;
- $P_{s,i}$  : peso di danno del solaio;
- $S_{tot,j}$  : superficie totale dei solai al piano j-esimo.

Dunque per ciascun piano si avrà un indice di danno dato dalla somma dell'indice di danno per le murature e quello degli orizzontamenti:

$$ID_j = ID_{m,j} + ID_{s,j}$$

Questo indice potrà assumere valori da 0 a 10, in quanto i due indici riferiti ai muri  $ID_{m,j}$  ed ai solai  $ID_{s,j}$  possono assumere ciascuno i valori da 0 a 5.

Una volta calcolati gli indici  $ID_j$  per tutti i piani, l'indice di danno riferito all'intero complesso edilizio sarà dato dalla media di tali indici  $ID_j$  rispetto al numero di piani che lo compongono:

$$ID = \frac{\sum ID_j}{J}$$

Il valore finale di ID dovrà essere compreso tra 0 e 5, in modo da risultare significativo del danno, in linea con i pesi attribuiti.

#### 4.7 CALCOLO DELL'INDICE DI DANNO: PRECISAZIONI

Nel calcolo dell'indice di danno sulle murature, da un punto di vista operativo, quando si va ad attribuire il peso al relativo danneggiamento, bisognerà necessario fare riferimento ad entrambe le facce del muro.

Tre sono i casi che potrebbero verificarsi:

- **il muro risulta in comune soltanto a due cellule murarie adiacenti:** in questo caso si valuteranno 2 pesi di danno, uno per ogni faccia del muro; successivamente basterà fare una media dei due valori, per ottenere direttamente il singolo valore che andrà nella sommatoria al numeratore della formula per il calcolo di  $ID_{m,j}$ .

- **il muro risulta in comune a più di due cellule murarie adiacenti:** in questo caso si valuteranno tanti pesi di danno quante sono le facce del muro; successivamente, per ottenere direttamente il singolo valore che andrà nella sommatoria al numeratore della formula per il calcolo di  $ID_{m,j}$ , si dovranno mediare tutti i valori tramite la seguente formula:

$$\frac{\sum L_{m,i} \cdot P_{m,i}}{2 \cdot L_{tot,j}}$$

- **il muro risulta essere di confine con altre proprietà/organismi edilizi:** in questo caso si valuterà soltanto un peso di danno, cioè quello dal lato del muro inerente all'organismo edilizio considerato; successivamente, per ottenere direttamente il singolo valore che andrà nella sommatoria al numeratore della formula per il calcolo di  $ID_{m,j}$ , sarà sufficiente considerare il valore del peso di danno.

Rientra in questa ultima ipotesi anche il caso di un muro del quale non si sia in grado di valutare il danneggiamento su una delle sue facce, come ad esempio in mancanza di reperimento dei dati.

## 5. IL RAPPORTO TRA VULNERABILITÀ E DANNEGGIAMENTO

### 5.1 PREMESSA

L'analisi della vulnerabilità è un'analisi prettamente teorica che fornisce risultati probabilistici attinenti la possibilità di una struttura di subire danni a fronte di un evento sismico di una determinata intensità. Risulta evidente che, studi di questa tipologia, hanno bisogno di un riscontro reale per avere conforto della loro attendibilità.

Di conseguenza, il verificarsi di un evento sismico rappresenta una grande opportunità per confrontare le analisi fatte sulla vulnerabilità di un aggregato con l'effettivo danneggiamento subito e trarre conclusioni sulla attendibilità del metodo di analisi in esame e sulla necessità di apportarvi dei miglioramenti.

### 5.2 GLI INDICI DI VULNERABILITÀ' E IL DANNO: RELAZIONE DI CAUSA-EFFETTO

Tra gli indici di vulnerabilità e il danneggiamento esiste un rapporto causa –effetto: se una struttura è soggetta ad un certo tipo di vulnerabilità, è molto probabile che in seguito ad una sollecitazione come quella sismica subirà effettivamente un certo tipo di danno.

Vengono di seguito esaminati i rapporti tra gli indici di vulnerabilità e il danneggiamento post sisma subito da un edificio:

#### 1. Indice di disconnessione muraria

Le disconnessioni murarie possono portare, a seconda della loro gravità e diffusione, al ribaltamento delle facciate. Il fenomeno è tanto più grave se le stesse si affacciano su cortili interni o sul fronte stradale, poiché possono causare il completo ribaltamento, su tutta l'altezza dell'edificio, della facciata in questione. In corrispondenza di una disconnessione muraria si generano lesioni verticali di tipo 6 o 7. Specialmente se passanti di tipo 7, rappresentano uno stato di danno piuttosto grave rispetto a quelle non passanti di tipo 6 e possono portare al meccanismo di ribaltamento sopra citato.



Fig.5.1: Esempio lesione causata da disconnessione muraria. Foto n. 15 allegati fotografici.



Fig.5.2: Esempio lesione causata da disconnessione muraria. Foto n.44 allegati fotografici.

## 2. Indice di ribaltamento delle facciate

Uno dei danneggiamenti più gravi che si possono verificare sono causati dalle sopraelevazioni o rifusioni delle facciate. Queste due pratiche, molto comuni nell'edilizia storica, possono portare al ribaltamento delle facciate con conseguente occlusione della strada pubblica sul quale l'edificio si affaccia e possibili gravi danni a cose e persone. Le lesioni più frequenti sono di tipo 6 e 7 e, nei casi più gravi, comportano il ribaltamento completo della facciata attorno ad una cerniera orizzontale.

## 3. Indice di spinta da falsi puntoni

La presenza di coperture spingenti, falsi puntoni e cosciali provocano in caso di sisma delle lesioni di tipo 9, ossia la formazione di un cuneo dislocato in corrispondenza dell'intersezione fra due pareti ad angolo. Talvolta questo può provocare il crollo completo di tale porzione muraria. Nel caso in cui la copertura spingente insista su un'intera porzione di muratura e non solo nella zona d'angolo le lesioni potrebbero interessare la fascia sommitale della muratura stessa.



Fig.5.3: Esempio lesione causata da copertura spingente. Foto n. 45 allegati fotografici.



Fig.5.4: Esempio lesione causata da copertura spingente. Foto n. 83 allegati fotografici.

## 4. Indice vulnerabilità a taglio

Le lesioni da taglio risultano essere molto frequenti (Fig. 3.4). Come abbiamo già visto, sono lesioni, di minore entità rispetto ai meccanismi di primo modo di danno, ma possono portare ugualmente problematiche al funzionamento strutturale o di una parte di un edificio. Di norma si verificano per intensità sismiche maggiori di quelle che attivano i meccanismi di primo modo e sono spesso causate da un non adeguato spessore dei maschi murari. Le lesioni tipiche da taglio sono del tipo 2 nelle fasce di piano e di tipo 3 nei maschi murari (Fig. 2.10).



Fig. 5.5: Esempio lesione di taglio. Foto n. 184 allegati fotografici.



Fig. 5.6: Esempio lesione di taglio. Foto n. 192 allegati fotografici.

#### 5. Indice di lesione da martellamento

Il martellamento si manifesta quando la distanza di separazione tra due edifici adiacenti non è abbastanza grande per assicurare il moto relativo delle strutture durante il verificarsi dei terremoti. Nel caso di edifici in cemento armato adiacenti a edifici in muratura il danneggiamento rilevante si è avuto a carico della struttura più debole, quella in muratura, coinvolta nell'impatto (effetto locale), e solo in casi rari sull'intera struttura portante (effetto globale) causandone il crollo,

Sarebbe auspicabile prevedere un'adeguata distanza tra le murature in modo da assecondare opportunamente i movimenti delle rispettive strutture che oscillano in opposizione di fase. Anche nel caso di martellamenti tra solai sfalsati di edifici in muratura, i danni provocabili possono variare dal danneggiamento locale al crollo della parete d'ambito tra le due unità strutturali.

#### 6. Indice di ribaltamento del timpano

Meccanismo di primo modo di danno, causato dalla traslazione della trave di colmo lungo l'asse murario cui appartiene. Il timpano, distaccandosi e ribaltando, oltre a causare crolli e danni alla cellula, può danneggiare seriamente la copertura vicina sulla quale si riversa.

#### 7. Indice di murature in falso

La presenza di murature in falso è causa del crollo dei solai sottostanti, più probabili quando si manifestano accelerazioni verticali elevate del sisma. Il crollo degli impalcati si verifica, perché il peso della muratura in falso non viene scaricato sulla corrispondente muratura del piano inferiore e sulle fondazioni ma direttamente sul solaio, causando il crollo dello stesso.

## 6 ANALISI DELL'AGGREGATO

### 6.1 INQUADRAMENTO GENERALE

L'aggregato oggetto di studio è situato a Torricella Sicura (TE), Via Marconi (Colle Pero), in pieno centro storico. È catalogato come aggregato numero 5 dal Comune di Torricella per l'emergenza sisma (figura 6.1). Dalla perimetrazione dell'aggregato è stato escluso l'edificio di particella catastale 41-132, per ragioni private. Dunque, questo, non sarà oggetto dello studio e delle valutazioni sull'aggregato.

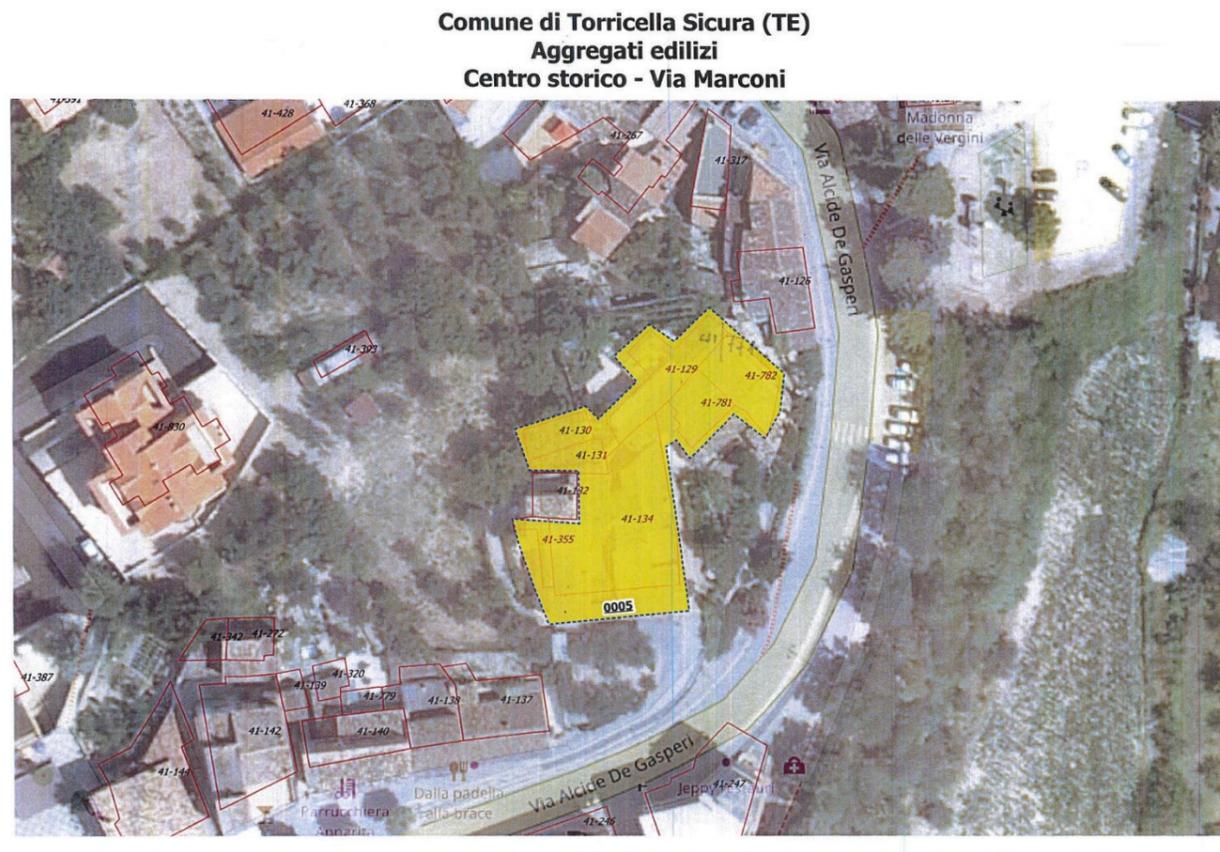


Fig. 6.1: Aggregato n.5. Foto Comune di Torricella Sicura.

Sorge su un pendio naturale ed è circondato da spazi verdi e alberi. La conformazione del terreno è molto irregolare e disomogenea. Non è semplice accedere agli edifici: essi, infatti, non affacciano direttamente su via Alcide De Gasperi, strada che attraversa il centro di Torricella, ma risultano sopraelevati rispetto al fronte stradale.



Fig. 6.2: Foto aerea dell'aggregato. Geoportale Regione Abruzzo.



Fig. 6.3: Foto aerea dell'aggregato. Geoportale Regione Abruzzo.



Fig. 6.4: Volumetria tridimensionale dell'aggregato.



Fig. 6.6: Secondo accesso all'aggregato.

Tre sono gli accessi, il primo attraverso una rampa piuttosto ripida (foto 6.5), parzialmente carrabile, il secondo attraverso un'ampia scalinata (foto 6.6) e il terzo attraverso una scalinata stretta all'interno di un edificio fatiscente (foto 6.7), esclusivamente pedonale.



Fig. 6.5: Primo accesso all'aggregato.



Fig. 6.7: Terzo accesso all'aggregato.

Tutti i fabbricati che compongono l'aggregato hanno una struttura in muratura portante, quasi per la totalità in pietra, fatte delle piccole eccezioni per immobili di più recente realizzazione in laterizio o muratura mista pietra-mattoni. Non sono presenti, dunque, edifici in cemento armato. Gli spessori sono variabili, murature prevalentemente da 70/90 cm al piano terra e piano primo, 50/70 cm al secondo piano e 30/40 cm nei piani di sottotetto, spesso sopraelevati. La tipologia costruttiva è quella tipica dell'edilizia storica del centro-sud Italia: muratura a sacco. Non sono note, invece, le fondazioni, ma sono presumibilmente anch'esse "a sacco", realizzate con pietre leggermente legate con malta di calce, impastata con sabbie terrose di fiume o di cava.

Troviamo, invece, una grande varietà nella composizione dei solai: solai a volte in mattoni, normalmente ai piani inferiori, solai con travi di ferro e voltine in mattoni, solai a volte sottili in laterizio e solai con travi in legno in copertura.

A seguito dei sopralluoghi della protezione civile l'aggregato è stato dichiarato inagibile e classificato quasi interamente come tipologia E.

## 6.2 ANALISI STORICA DELL'AGGREGATO

Il forte dislivello tra i prospetti nord e sud, un'attenta ispezione in loco, l'analisi storica, morfologica e di carattere generale sull'aggregato, hanno portato a credere che quest'ultimo si sia sviluppato in due parti distinte per poi arrivare, tramite successive fasi edilizie storiche, alla conformazione attuale. Sono state individuate cinque fasi edilizie (tavola n. 6).

La prima, risalente presumibilmente attorno ai sec. XV e XVI, è caratterizzata da cellule di forma quadrata o rettangolare, molto regolari, che riprendono fedelmente lo schema del lotto gotico, caratterizzato dallo sviluppo ortogonale rispetto alla strada su cui affaccia l'abitazione e presumibilmente con l'orto posto sul retro della stessa.

La seconda fase edilizia rappresenta l'evoluzione della prima, sempre seguendo un impianto trasversale alla strada di accesso addossando le murature a quelle preesistenti.

La terza fase comprende, invece, una espansione longitudinale nella parte sud dell'aggregato, e di prosecuzione del precedente schema nella parte nord.

La fase 4 si caratterizza, viceversa, per una maggiore irregolarità nella disposizione delle

pareti, in quanto rappresenta la fase edilizia di congiungimento dell'aggregato (fase di saturazione), dovendosi, quindi, adattare in entrambi i lati alle preesistenze e al dislivello del terreno in secondo luogo.

La quinta ed ultima fase edilizia è stata, invece, realizzata tra la fine del 1800 e l'inizio del 1900, come testimonia la foto 1.4 risalente alla fine del 1800, nella quale l'edificio addossato a est dell'aggregato non è ancora visibile. Quest'ultima fase edilizia è composta dalla realizzazione di piccoli corpi di fabbrica di uno o due piano fuori terra, incoerenti con la tessitura muraria del resto dell'aggregato e, quindi, di minore importanza nell'economia della struttura generale.

L'analisi delle trasformazioni dell'aggregato nel corso del tempo rappresenta un passo indispensabile per inquadrare eventuali precarietà strutturali o elementi e soluzioni avvenute in epoche diverse.

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

## 6.3 METODO DI LAVORO

La ricostruzione o l'ipotesi di queste fasi cronologiche permettono di individuare le zone di possibile discontinuità strutturale e disomogeneità del materiale che convogliano nel calcolo dell'indice di disconnessione muraria.

Successivamente, si è proceduto con il calcolo di tutti gli indici di vulnerabilità per l'intero aggregato in maniera analitica e speditiva.

Si è deciso, poi, di suddividere l'analisi della vulnerabilità dell'aggregato in sei differenti unità strutturali, giungendo così a risultati diversi e più caratterizzanti di ogni singola unità. Ciò è dovuto al fatto che l'aggregato presenta caratteri di grande disomogeneità nel suo complesso. Ma, principalmente, essendo lo scopo di questa tesi quello di confrontare l'esito dell'analisi sulla vulnerabilità con il danno subito dagli edifici, solo attraverso la suddivisione dell'aggregato in diverse unità, è possibile giungere a dei risultati quantitativi dello stato di danno molto precisi. Accomunare le diverse parti dell'aggregato in un unico

coefficiente di danno non avrebbe restituito le necessarie informazioni e non avrebbe permesso di individuare al meglio le unità strutturali più vulnerabili dalle altre. L'analisi della vulnerabilità mantiene, però, i suoi caratteri generali e tiene conto di tutte le considerazioni e dei metodi di calcolo precedentemente esposti, senza tralasciare le vulnerabilità dovute all'interazione tra le diverse unità e senza considerare un'unità strutturale come isolata ma sempre come parte di un aggregato.

Al fine di avere una corretta mappatura e rilevatura del danno è stata condotta un'ampia campagna fotografica, sintetizzata dalla tavola dei conici ottici (tavole n. 41, 42, 43), al fine di poter ricondurre con immediatezza la foto della tipologia di danno alla sua esatta posizione all'interno dell'aggregato e successivamente poterne indagare le cause.

#### 6.4 UNITA' 1

L'unità strutturale n. 1 è composta da un edificio che si ritiene appartenere al primo impianto storico dell'aggregato, sviluppato su 3 piani fuori terra. Si ritiene, però, che la cella quadrata più a est sia leggermente successiva alle altre due. Questo si suppone dalla posizione sfalsata dei solai, dalla diversa altezza di questa porzione dell'edificio e dal carattere non unitario della facciata. Inoltre, a conferma di questa ipotesi sono state anche riscontrate delle lesioni tra le murature che si suppongono non ammorsate.



Fig. 6.8: Foto dell'unità 1. Foto n. 3 allegati fotografici.



Fig. 6.9: Foto dell'unità 1 dal fronte strada.

L'unità 1 presenta diversi caratteri di vulnerabilità quali un intero piano sopraelevato, la presenza di coperture in parte spingenti e la presenza di solai sfalsati. L'indice di vulnerabilità complessivo è di 25.60.

Dall'analisi del danno subito dall'unità 1 non sono state riscontrate gravi criticità, rispetto a quanto l'analisi della vulnerabilità poteva far presagire. Sono state rilevate alcune lesioni prettamente verticali in corrispondenza dei nodi tra le murature, di lieve entità al piano terra e di maggiore entità al secondo piano (di cui un paio passanti che potrebbero far presagire un principio di ribaltamento della muratura). Inoltre, troviamo lesioni diffuse minori di 0,5 mm di spessore alle volte del primo piano e, quindi, di lieve entità. Anche all'esterno sono visibili delle lesioni di lieve entità prevalentemente in prossimità delle aperture del piano sopraelevato. Probabilmente, una buona qualità muraria ha fatto sì che molti meccanismi di danno che potevano ipotizzarsi non si verificassero, portando l'indice di danno a 0.52.

Si rappresentano di seguito i calcoli degli indici di vulnerabilità e di danno.

## Disconnessione muraria – Metodo 1

DISCONNESSIONE EFFETTIVA	DISCONNESSIONE POTENZIALE	INDICE DISCONNESSIONE MURARIA	INDICE DISCONNESSIONE MURARIA %
2	12	0.17	17%

## Disconnessione muraria – Metodo 2

DISCONNESSIONE EFFETTIVA	DISCONNESSIONE POTENZIALE	INDICE DISCONNESSIONE MURARIA	INDICE DISCONNESSIONE MURARIA %
2	4	0.50	50%

## Ribaltamento facciate – Metodo 1

SUPERFICIE SOPRAELEVATA (mq)	SUPERFICIE RIBALTABILE (mq)	SUPERFICIE TOTALE (mq)	INDICE RIBALTAMENTO FACCIATE	INDICE RIBALTAMENTO FACCIATE %
83.57	83.57	196.18	0.43	43%

## Ribaltamento facciate – Metodo 2

SUPERFICIE RIBALTABILE RIDOTTA (mq)	SUPERFICIE TOTALE (mq)	INDICE RIBALTAMENTO FACCIATE	INDICE RIBALTAMENTO FACCIATE %
55.46	196.18	0.28	28%

## Falsi puntoni

SUPERFICIE RIBALTABILE (mq)	SUPERFICIE VULNERABILE (mq)	INDICE FALSI PUNTONI	INDICE FALSI PUNTONI %
23.44	44.95	0.52	52%

## Vulnerabilità a taglio

SUPERFICIE VULNERABILE (mq)	SUPERFICIE TOTALE (mq)	INDICE VULNERABILITA' A TAGLIO (SE > 55%)	INDICE VULNERABILITA' A TAGLIO %
51.40	181.09	0.00	0%

## Martellamento solai sfalsati – Metodo 1

SUPERFICIE DI CONTATTO (mq)	SUPERFICIE PARETE D'AMBITO (mq)	INDICE MARTELLAMENTO SOLAI SFALSATI	INDICE MARTELLAMENTO SOLAI SFALSATI %
91.87	132.83	0.69	69%

## Martellamento solai sfalsati – Metodo 2

NODI VULNERABILI	NODI POTENZIALI	INDICE MARTELLAMENTO SOLAI SFALSATI	INDICE MARTELLAMENTO SOLAI SFALSATI %
3	12	0.25	25%

## Martellamento da cemento armato

SOMMATORIA ALTEZZE (m)	LUNGHEZZA TOTALE DEI PROSPETTI (m)	INDICE MARTELLAMENTO DA CEMENTO ARMATO	INDICE MARTELLAMENTO DA CEMENTO ARMATO %
0	0	0.00	0%

## Ribaltamento timpano – Metodo 1

SOMMATORIA DISLIVELLI (m)	LUNGHEZZA TOTALE DEI PROSPETTI (m)	INDICE DI RIBALTAMENTO TIMPANO	INDICE DI RIBALTAMENTO TIMPANO %
0.00	24.86	0.20	20%

## Ribaltamento timpano – Metodo 2

NODI VULNERABILI	NODI POTENZIALI	INDICE DI RIBALTAMENTO TIMPANO	INDICE DI RIBALTAMENTO TIMPANO %
0	8	0.00	0%

## Muri in falso

AREA VULNERABILE (mq)	AREA TOTALE (mq)	INDICE MURI IN FALSO	INDICE MURI IN FALSO %
0.00	238.29	0.00	0%

## Continuità muraria

AREA MURATURE U.P. (mq)	AREA MURATURE P.T. (mq)	INDICE DI CONTINUITA' MURARIA	INDICE DI CONTINUITA' MURARIA %	ESITO CONTINUITA' MURARIA (SE < 45%)
4.92	5.14	0.96	96%	NON VULNERABILE

## Indice analitico globale metodo 1

$$VGA1 = DM \cdot 17 + FP \cdot 27 + RF \cdot 27 + VT \cdot 9 + MSS \cdot 6 + MCA \cdot 7 + RT \cdot 7 = 33.37$$

## Indice analitico globale metodo 2

$$VGA2 = DM \cdot 17 + FP \cdot 27 + RF \cdot 27 + VT \cdot 9 + MSS \cdot 6 + MCA \cdot 7 + RT \cdot 7 = 31.85$$

## Nuova proposta indice analitico globale metodo 1

$$NVGA1 = DM \cdot 14 + FP \cdot 22 + RF \cdot 22 + VT \cdot 7 + MSS \cdot 4 + MCA \cdot 5 + RT \cdot 6 + CM \cdot 20 = 26.04$$

## Nuova proposta indice analitico globale metodo 2

$$NVGA2 = DM \cdot 14 + FP \cdot 22 + RF \cdot 22 + VT \cdot 7 + MSS \cdot 4 + MCA \cdot 5 + RT \cdot 6 + CM \cdot 20 = 25.60$$

Calcolo dell'indice di danno unità 1.

	PIANO TERRA	PRIMO PIANO	SECONDO PIANO	INDICE DI DANNO
MURATURE	0.06	0.33	1.16	
SOLAIO	0.00	0.00	0.00	
TOTALE	0.06	0.33	1.16	
INDICE DI DANNO				<b>0.52</b>



Fig. 6.10: Foto dell'unità 1. Foto n.13 allegati fotografici.

## 6.5 UNITA' 2

L'unità strutturale 2 è stata quasi interamente edificata nella seconda fase edilizia storica, fatta eccezione per un piccolo corpo di fabbrica addossato in epoca più tarda.



Fig. 6.11: Foto esterno dell'unità 2.



Fig. 6.12: Foto esterno dell'unità 2.

Gli indici di disconnessione muraria, dei falsi puntoni e del ribaltamento di facciate, concorrono nel rilevare una forte vulnerabilità, la più alta dell'intero aggregato, pari a 46.50. La copertura in legno è quasi per la sua interezza spingente sulle facciate esterne, inoltre risulta molto irregolare nella sua composizione e carente nella qualità e nel posizionamento delle travi. La muratura del primo piano risulta molto inferiore rispetto a quella del piano terra, lasciando immaginare la demolizione di interi setti murari. Le sezioni resistenti sono dunque molto limitate e unite alla presenza di una copertura molto spingente hanno fatto sì che il primo piano risulti molto danneggiato. Questo ha portato a ipotizzare la considerazione di un nuovo indice di vulnerabilità, quello di continuità muraria, trattato nel capitolo 3. Coerentemente con l'indice di vulnerabilità, anche l'indice di danno è il più alto dell'aggregato: 3.02.



Fig. 6.13: Foto esterno dell'unità 2. Foto n. 64 allegati fotografici.

Fatta eccezione per alcuni danneggiamenti al solaio del piano terra, i danni maggiori sono stati riscontrati al primo piano. Troviamo lesioni e fessurazioni diffuse di medio/grave entità, con spessori superiori ai 5 mm, su tutte le pareti, lesioni verticali negli angoli e nei nodi della muratura, cedimenti degli architravi delle porte e finestre, parziale cedimento delle travi in legno della copertura e distacco tra il tavolato dell'ordito di copertura. Anche all'esterno sono evidenti i segni di cedimento della copertura, lesioni di lieve entità sul prospetto esposto a est e di maggiore entità su quello esposto a nord con ulteriori cedimenti del pilastro che sorregge la copertura e dell'architrave della porta di ingresso.

Si rappresentano di seguito i calcoli degli indici di vulnerabilità e di danno.



Fig. 6.14: Foto interno dell'unità 2. Foto n. 54 allegati fotografici.

## Disconnessione muraria – Metodo 1

DISCONNESSIONE EFFETTIVA	DISCONNESSIONE POTENZIALE	INDICE DISCONNESSIONE MURARIA	INDICE DISCONNESSIONE MURARIA %
9	24	0.38	38%

## Disconnessione muraria – Metodo 2

DISCONNESSIONE EFFETTIVA	DISCONNESSIONE POTENZIALE	INDICE DISCONNESSIONE MURARIA	INDICE DISCONNESSIONE MURARIA %
9	11	0.82	82%

## Ribaltamento facciate – Metodo 1

SUPERFICIE SOPRAELEVATA (mq)	SUPERFICIE RIBALTABILE (mq)	SUPERFICIE TOTALE (mq)	INDICE RIBALTAMENTO FACCIATE	INDICE RIBALTAMENTO FACCIATE %
0.00	24.70	51.88	0.48	48%

## Ribaltamento facciate – Metodo 2

SUPERFICIE RIBALTABILE RIDOTTA (mq)	SUPERFICIE TOTALE (mq)	INDICE RIBALTAMENTO FACCIATE	INDICE RIBALTAMENTO FACCIATE %
20.07	51.88	0.39	39%

## Falsi puntoni

SUPERFICIE RIBALTABILE (mq)	SUPERFICIE VULNERABILE (mq)	INDICE FALSI PUNTONI	INDICE FALSI PUNTONI %
22.10	27.00	0.82	82%

## Vulnerabilità a taglio

SUPERFICIE VULNERABILE (mq)	SUPERFICIE TOTALE (mq)	INDICE VULNERABILITA' A TAGLIO (SE > 55%)	INDICE VULNERABILITA' A TAGLIO %
19.03	51.88	0.00	0%

## Martellamento solai sfalsati – Metodo 1

SUPERFICIE DI CONTATTO (mq)	SUPERFICIE PARETE D'AMBITO (mq)	INDICE MARTELLAMENTO SOLAI SFALSATI	INDICE MARTELLAMENTO SOLAI SFALSATI %
0.00	36.63	0.00	0%

## Martellamento solai sfalsati – Metodo 2

NODI VULNERABILI	NODI POTENZIALI	INDICE MARTELLAMENTO SOLAI SFALSATI	INDICE MARTELLAMENTO SOLAI SFALSATI %
0	5	0.00	0%

## Martellamento da cemento armato

SOMMATORIA ALTEZZE (m)	LUNGHEZZA TOTALE DEI PROSPETTI (m)	INDICE MARTELLAMENTO DA CEMENTO ARMATO	INDICE MARTELLAMENTO DA CEMENTO ARMATO %
0.00	0.00	0.00	0%

## Ribaltamento timpano – Metodo 1

SOMMATORIA DISLIVELLI (m)	LUNGHEZZA TOTALE DEI PROSPETTI (m)	INDICE DI RIBALTAMENTO TAMPANO	INDICE DI RIBALTAMENTO TAMPANO %
0.00	17.91	0.00	0%

## Ribaltamento timpano – Metodo 2

NODI VULNERABILI	NODI POTENZIALI	INDICE DI RIBALTAMENTO TAMPANO	INDICE DI RIBALTAMENTO TAMPANO %
0	5	0.00	0%

## Muri in falso

AREA VULNERABILE (mq)	AREA TOTALE (mq)	INDICE MURI IN FALSO	INDICE MURI IN FALSO %
0.00	150.32	0.00	0%

## Continuità muraria

AREA MURATURE U.P. (mq)	AREA MURATURE P.T. (mq)	INDICE DI CONTINUITA' MURARIA	INDICE DI CONTINUITA' MURARIA %	ESITO CONTINUITA' MURARIA (SE < 45%)
3.73	8.71	0.42	42%	VULNERABILE

## Indice analitico globale metodo 1

$$VGA1 = DM \cdot 17 + FP \cdot 27 + RF \cdot 27 + VT \cdot 9 + MSS \cdot 6 + MCA \cdot 7 + RT \cdot 7 = 41.56$$

## Indice analitico globale metodo 2

$$VGA2 = DM \cdot 17 + FP \cdot 27 + RF \cdot 27 + VT \cdot 9 + MSS \cdot 6 + MCA \cdot 7 + RT \cdot 7 = 46.61$$

## Nuova proposta indice analitico globale metodo 1

$$NVGA1 = DM \cdot 14 + FP \cdot 22 + RF \cdot 22 + VT \cdot 7 + MSS \cdot 4 + MCA \cdot 5 + RT \cdot 6 + CM \cdot 20 = 42.32$$

## Nuova proposta indice analitico globale metodo 2

$$NVGA2 = DM \cdot 14 + FP \cdot 22 + RF \cdot 22 + VT \cdot 7 + MSS \cdot 4 + MCA \cdot 5 + RT \cdot 6 + CM \cdot 20 = 46.50$$

Calcolo dell'indice di danno unità 2.

	PIANO TERRA	PRIMO PIANO	SECONDO PIANO	INDICE DI DANNO
MURATURE	0.14	2.86	-	
SOLAIO	0.31	2.73	-	
TOTALE	0.45	5.59	-	
INDICE DI DANNO				3.02

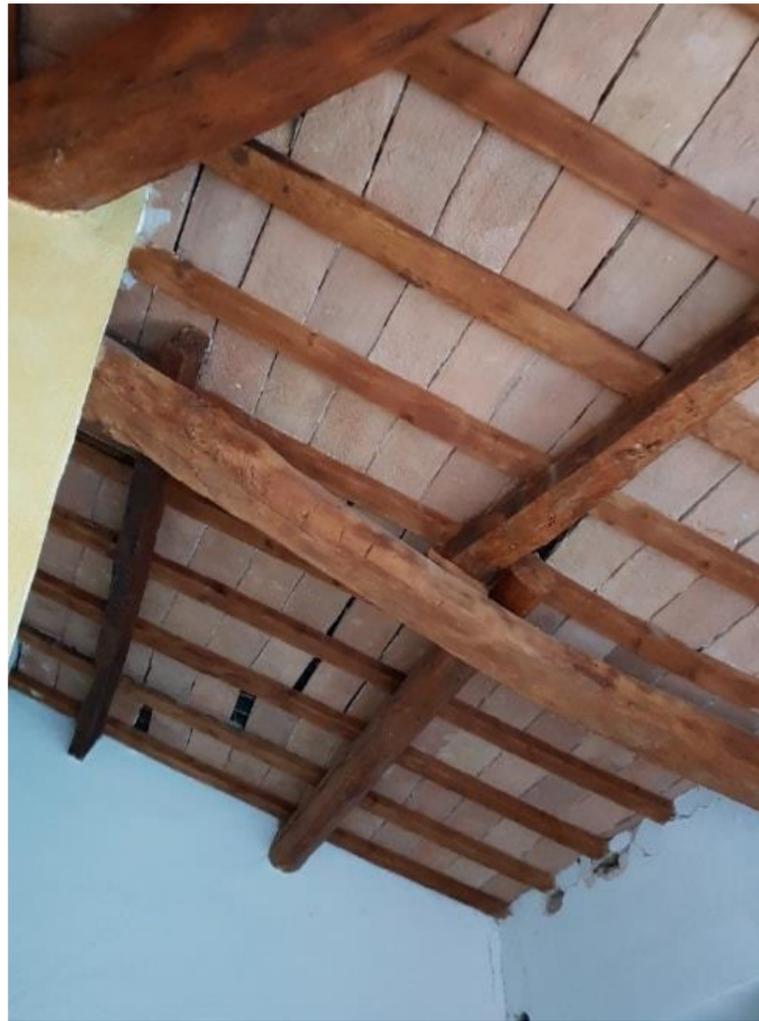


Fig. 6.15: Foto copertura dell'unità 2. Foto n. 33 allegati fotografici.

### 6.6 UNITA' 3

L'unità strutturale 3 occupa il lato ovest dell'aggregato e ha uno sviluppo rettilineo caratterizzato dall'accostamento sul fronte di celle regolari di forma quadrata. La parte limitrofa all'unità strutturale 1 è stata realizzata durante la seconda fase edilizia, la restante parte durante la fase edilizia storica numero tre. La forte pendenza del terreno fa sì che la prima parte presenti tre piani fuori terra, mentre la seconda soltanto due.



Fig. 6.16: Foto esterna dell'unità 3.



Fig. 6.17: Foto esterna dell'unità 3.

Non ravvisiamo dall'analisi di questa unità particolari criticità, se escludiamo la presenza del piano di sottotetto sopraelevato, il martellamento di un solaio sulla muratura limitrofa e le disconnessioni murarie dovute, appunto, allo sviluppo in due diverse fasi edilizie. Nel complesso, il coefficiente di vulnerabilità è di 15.46, molto inferiore rispetto ai precedenti. Coerentemente, anche l'analisi del danno non ha ravvisato particolari criticità ed il coefficiente di danno risulta essere di 0.23. Troviamo, infatti, lesioni poco rilevanti all'esterno e lesioni di leggera entità in corrispondenza di alcuni nodi della muratura e tra parete e solaio al primo piano. Solo in un caso la lesione risulta essere passante e si potrebbe ipotizzare un principio di ribaltamento, qualora si ripetessero delle scosse di buona intensità. Nel complesso, però, la risposta dell'unità 3 è stata soddisfacente ed in accordo con l'analisi della vulnerabilità precedentemente svolta.

Si rappresentano di seguito i calcoli degli indici di vulnerabilità e di danno.

## Disconnessione muraria – Metodo 1

DISCONNESSIONE EFFETTIVA	DISCONNESSIONE POTENZIALE	INDICE DISCONNESSIONE MURARIA	INDICE DISCONNESSIONE MURARIA %
3	26	0.12	12%

## Disconnessione muraria – Metodo 2

DISCONNESSIONE EFFETTIVA	DISCONNESSIONE POTENZIALE	INDICE DISCONNESSIONE MURARIA	INDICE DISCONNESSIONE MURARIA %
3	13	0.23	23%

## Ribaltamento facciate – Metodo 1

SUPERFICIE SOPRAELEVATA (mq)	SUPERFICIE RIBALTABILE (mq)	SUPERFICIE TOTALE (mq)	INDICE RIBALTAMENTO FACCIATE	INDICE RIBALTAMENTO FACCIATE %
32.20	32.20	91.59	0.35	35%

## Ribaltamento facciate – Metodo 2

SUPERFICIE RIBALTABILE RIDOTTA (mq)	SUPERFICIE TOTALE (mq)	INDICE RIBALTAMENTO FACCIATE	INDICE RIBALTAMENTO FACCIATE %
32.20	62.50	0.52	52%

## Falsi puntoni

SUPERFICIE RIBALTABILE (mq)	SUPERFICIE VULNERABILE (mq)	INDICE FALSI PUNTONI	INDICE FALSI PUNTONI %
0.00	22.22	0.00	0%

## Vulnerabilità a taglio

SUPERFICIE VULNERABILE (mq)	SUPERFICIE TOTALE (mq)	INDICE VULNERABILITA' A TAGLIO (SE > 55%)	INDICE VULNERABILITA' A TAGLIO %
27.79	62.50	0.00	0%

## Martellamento solai sfalsati – Metodo 1

SUPERFICIE DI CONTATTO (mq)	SUPERFICIE PARETE D'AMBITO (mq)	INDICE MARTELLAMENTO SOLAI SFALSATI	INDICE MARTELLAMENTO SOLAI SFALSATI %
10.70	49.80	0.21	21%

## Martellamento solai sfalsati – Metodo 2

NODI VULNERABILI	NODI POTENZIALI	INDICE MARTELLAMENTO SOLAI SFALSATI	INDICE MARTELLAMENTO SOLAI SFALSATI %
1	5	0.20	20%

## Martellamento da cemento armato

SOMMATORIA ALTEZZE (m)	LUNGHEZZA TOTALE DEI PROSPETTI (m)	INDICE MARTELLAMENTO DA CEMENTO ARMATO	INDICE MARTELLAMENTO DA CEMENTO ARMATO %
0.00	0.00	0.00	0%

## Ribaltamento timpano – Metodo 1

SOMMATORIA DISLIVELLI (m)	LUNGHEZZA TOTALE DEI PROSPETTI (m)	INDICE DI RIBALTAMENTO TIMPANO	INDICE DI RIBALTAMENTO TIMPANO %
0.00	14.81	0.00	0%

## Ribaltamento timpano – Metodo 2

NODI VULNERABILI	NODI POTENZIALI	INDICE DI RIBALTAMENTO TIMPANO	INDICE DI RIBALTAMENTO TIMPANO %
0	3	0.00	0%

## Muri in falso

AREA VULNERABILE (mq)	AREA TOTALE (mq)	INDICE MURI IN FALSO	INDICE MURI IN FALSO %
0.00	202.76	0.00	0%

## Continuità muraria

AREA MURATURE U.P. (mq)	AREA MURATURE P.T. (mq)	INDICE DI CONTINUITA' MURARIA	INDICE DI CONTINUITA' MURARIA %	ESITO CONTINUITA' MURARIA (SE < 45%)
3.72	6.23	0.60	60%	NON VULNERABILE

## Indice analitico globale metodo 1

$$VGA1 = DM \cdot 17 + FP \cdot 27 + RF \cdot 27 + VT \cdot 9 + MSS \cdot 6 + MCA \cdot 7 + RT \cdot 7 = 17.34$$

## Indice analitico globale metodo 2

$$VGA2 = DM \cdot 17 + FP \cdot 27 + RF \cdot 27 + VT \cdot 9 + MSS \cdot 6 + MCA \cdot 7 + RT \cdot 7 = 19.15$$

## Nuova proposta indice analitico globale metodo 1

$$NVGA1 = DM \cdot 14 + FP \cdot 22 + RF \cdot 22 + VT \cdot 7 + MSS \cdot 4 + MCA \cdot 5 + RT \cdot 6 + CM \cdot 20 = 13.96$$

## Nuova proposta indice analitico globale metodo 2

$$NVGA2 = DM \cdot 14 + FP \cdot 22 + RF \cdot 22 + VT \cdot 7 + MSS \cdot 4 + MCA \cdot 5 + RT \cdot 6 + CM \cdot 20 = 15.46$$

Calcolo dell'indice di danno unità 3.

	PIANO TERRA	PRIMO PIANO	SECONDO PIANO	INDICE DI DANNO
MURATURE	0.00	0.68	0.00	
SOLAIO	0.00	0.00	0.00	
TOTALE	0.00	0.00	0.00	
INDICE DI DANNO				0.23



Fig. 6.18: Interno dell'unità 3. Foto n. 69 allegati fotografici.

## 6.7 UNITA' 4

L'unità strutturale 4 è rappresentata da un piccolo corpo di fabbrica addossato al lato nordest dell'aggregato e di due piani fuori terra (è presente un piccolissimo seminterrato di altezza 1 metro non considerato ai fini del calcolo). L'edificio è stato realizzato presumibilmente nel XIX sec e, quindi, rappresenta l'ultima fase edilizia storica dell'aggregato.

La struttura è realizzata in pietra mista a mattoni. Questa unità può quasi considerarsi slegata dal resto dell'aggregato (confina solo per un muro di 4 metri) e, forse anche per questo, oltre che per la sua datazione recente, non presenta alcuna vulnerabilità, fatta eccezione per la presenza di un timpano potenzialmente vulnerabile. L'indice di vulnerabilità è infatti di 9.60. Dall'analisi del danno non è emersa alcuna criticità e alcun danneggiamento.



Fig. 6.19: Esterno dell'unità 3.

Si rappresentano di seguito i calcoli degli indici di vulnerabilità e di danno.

## Disconnessione muraria – Metodo 1

DISCONNESSIONE EFFETTIVA	DISCONNESSIONE POTENZIALE	INDICE DISCONNESSIONE MURARIA	INDICE DISCONNESSIONE MURARIA %
2	10	0.20	20%

## Disconnessione muraria – Metodo 2

DISCONNESSIONE EFFETTIVA	DISCONNESSIONE POTENZIALE	INDICE DISCONNESSIONE MURARIA	INDICE DISCONNESSIONE MURARIA %
2	4	0.50	50 %

## Ribaltamento facciate – Metodo 1

SUPERFICIE SOPRAELEVATA (mq)	SUPERFICIE RIBALTABILE (mq)	SUPERFICIE TOTALE (mq)	INDICE RIBALTAMENTO FACCIATE	INDICE RIBALTAMENTO FACCIATE %
0.00	0.00	87.27	0.00	0 %

## Ribaltamento facciate – Metodo 2

SUPERFICIE RIBALTABILE RIDOTTA (mq)	SUPERFICIE TOTALE (mq)	INDICE RIBALTAMENTO FACCIATE	INDICE RIBALTAMENTO FACCIATE %
0.00	87.27	0.00	0 %

## Falsi puntoni

SUPERFICIE RIBALTABILE (mq)	SUPERFICIE VULNERABILE (mq)	INDICE FALSI PUNTONI	INDICE FALSI PUNTONI %
0.00	24.82	0.00	0 %

## Vulnerabilità a taglio

SUPERFICIE VULNERABILE (mq)	SUPERFICIE TOTALE (mq)	INDICE VULNERABILITA' A TAGLIO (SE > 55%)	INDICE VULNERABILITA' A TAGLIO %
4.00	20.37	0.20	20 %

## Martellamento solai sfalsati – Metodo 1

SUPERFICIE DI CONTATTO (mq)	SUPERFICIE PARETE D'AMBITO (mq)	INDICE MARTELLAMENTO SOLAI SFALSATI	INDICE MARTELLAMENTO SOLAI SFALSATI %
0.00	38.54	0.00	0 %

## Martellamento solai sfalsati – Metodo 2

NODI VULNERABILI	NODI POTENZIALI	INDICE MARTELLAMENTO SOLAI SFALSATI	INDICE MARTELLAMENTO SOLAI SFALSATI %
0	4	0.00	0 %

## Martellamento da cemento armato

SOMMATORIA ALTEZZE (m)	LUNGHEZZA TOTALE DEI PROSPETTI (m)	INDICE MARTELLAMENTO DA CEMENTO ARMATO	INDICE MARTELLAMENTO DA CEMENTO ARMATO %
0.00	0.00	0.00	0 %

## Ribaltamento timpano – Metodo 1

SOMMATORIA DISLIVELLI (m)	LUNGHEZZA TOTALE DEI PROSPETTI (m)	INDICE DI RIBALTAMENTO TIMPANO	INDICE DI RIBALTAMENTO TIMPANO %
3.00	15.18	0.20	20 %

## Ribaltamento timpano – Metodo 2

NODI VULNERABILI	NODI POTENZIALI	INDICE DI RIBALTAMENTO TIMPANO	INDICE DI RIBALTAMENTO TIMPANO %
1	5	0.20	20%

## Muri in falso

AREA VULNERABILE (mq)	AREA TOTALE (mq)	INDICE MURI IN FALSO	INDICE MURI IN FALSO %
0.00	39.58	0.00	0 %

## Continuità muraria

AREA MURATURE U.P. (mq)	AREA MURATURE P.T. (mq)	INDICE DI CONTINUITA' MURARIA	INDICE DI CONTINUITA' MURARIA %	ESITO CONTINUITA' MURARIA (SE < 45%)
1.07	0.90	1.17	117 %	NON VULNERABILE

## Indice analitico globale metodo 1

$$VGA1 = DM \cdot 17 + FP \cdot 27 + RF \cdot 27 + VT \cdot 9 + MSS \cdot 6 + MCA \cdot 7 + RT \cdot 7 = \mathbf{6.60}$$

## Indice analitico globale metodo 2

$$VGA2 = DM \cdot 17 + FP \cdot 27 + RF \cdot 27 + VT \cdot 9 + MSS \cdot 6 + MCA \cdot 7 + RT \cdot 7 = \mathbf{11.70}$$

## Nuova proposta indice analitico globale metodo 1

$$NVGA1 = DM \cdot 14 + FP \cdot 22 + RF \cdot 22 + VT \cdot 7 + MSS \cdot 4 + MCA \cdot 5 + RT \cdot 6 + CM \cdot 20 = \mathbf{5.40}$$

## Nuova proposta indice analitico globale metodo 2

$$NVGA2 = DM \cdot 14 + FP \cdot 22 + RF \cdot 22 + VT \cdot 7 + MSS \cdot 4 + MCA \cdot 5 + RT \cdot 6 + CM \cdot 20 = \mathbf{9.60}$$

Calcolo dell'indice di danno unità 4.

	PIANO TERRA	PRIMO PIANO	SECONDO PIANO	INDICE DI DANNO
MURATURE	0.00	0.00	-	
SOLAIO	0.00	0.00	-	
TOTALE	0.00	0.00	-	
INDICE DI DANNO				0.00

## 6.8 UNITA' 5

L'unità 5, similmente alla 4, può essere quasi considerata come un corpo staccato dal resto dell'aggregato e risale alla stessa fase edilizia storica. È composto da un piccolo corpo di pianta rettangolare che si sviluppa su 2 piani fuori terra, realizzato in blocchi semipieni in laterizio. Non sono emerse vulnerabilità oltre la disconnessione muraria dovuta all'addossamento sull'unità 3 (indice pari a 9.24, il più basso dell'intero aggregato ) e, coerentemente, non sono emersi meccanismi di danno e lesioni.

Si rappresentano di seguito i calcoli degli indici di vulnerabilità e di danno.



Fig. 6.20: Esterno dell'unità 3.

## Disconnessione muraria – Metodo 1

DISCONNESSIONE EFFETTIVA	DISCONNESSIONE POTENZIALE	INDICE DISCONNESSIONE MURARIA	INDICE DISCONNESSIONE MURARIA %
2	7	0.28	28 %

## Disconnessione muraria – Metodo 2

DISCONNESSIONE EFFETTIVA	DISCONNESSIONE POTENZIALE	INDICE DISCONNESSIONE MURARIA	INDICE DISCONNESSIONE MURARIA %
2	3	0.66	66%

## Ribaltamento facciate – Metodo 1

SUPERFICIE SOPRAELEVATA (mq)	SUPERFICIE RIBALTABILE (mq)	SUPERFICIE TOTALE (mq)	INDICE RIBALTAMENTO FACCIATE	INDICE RIBALTAMENTO FACCIATE %
0.00	0.00	67.59	0.00	0 %

## Ribaltamento facciate – Metodo 2

SUPERFICIE RIBALTABILE RIDOTTA (mq)	SUPERFICIE TOTALE (mq)	INDICE RIBALTAMENTO FACCIATE	INDICE RIBALTAMENTO FACCIATE %
0.00	67.59	0.00	0 %

## Falsi puntoni

SUPERFICIE RIBALTABILE (mq)	SUPERFICIE VULNERABILE (mq)	INDICE FALSI PUNTONI	INDICE FALSI PUNTONI %
0.00	24.46	0.00	0 %

## Vulnerabilità a taglio

SUPERFICIE VULNERABILE (mq)	SUPERFICIE TOTALE (mq)	INDICE VULNERABILITA' A TAGLIO (SE > 55%)	INDICE VULNERABILITA' A TAGLIO %
20.64	67.59	0.00	0 %

## Martellamento solai sfalsati – Metodo 1

SUPERFICIE DI CONTATTO (mq)	SUPERFICIE PARETE D'AMBITO (mq)	INDICE MARTELLAMENTO SOLAI SFALSATI	INDICE MARTELLAMENTO SOLAI SFALSATI %
0.00	25.44	0.00	0 %

## Martellamento solai sfalsati – Metodo 2

NODI VULNERABILI	NODI POTENZIALI	INDICE MARTELLAMENTO SOLAI SFALSATI	INDICE MARTELLAMENTO SOLAI SFALSATI %
0	3	0.00	0 %

## Martellamento da cemento armato

SOMMATORIA ALTEZZE (m)	LUNGHEZZA TOTALE DEI PROSPETTI (m)	INDICE MARTELLAMENTO DA CEMENTO ARMATO	INDICE MARTELLAMENTO DA CEMENTO ARMATO %
0.00	0.00	0.00	0 %

## Ribaltamento timpano – Metodo 1

SOMMATORIA DISLIVELLI (m)	LUNGHEZZA TOTALE DEI PROSPETTI (m)	INDICE DI RIBALTAMENTO TAMPANO	INDICE DI RIBALTAMENTO TAMPANO %
0.00	16.97	0.00	0 %

## Ribaltamento timpano – Metodo 2

NODI VULNERABILI	NODI POTENZIALI	INDICE DI RIBALTAMENTO TAMPANO	INDICE DI RIBALTAMENTO TAMPANO %
0	4	0.00	0 %

## Muri in falso

AREA VULNERABILE (mq)	AREA TOTALE (mq)	INDICE MURI IN FALSO	INDICE MURI IN FALSO %
0.00	55.78	0.00	0 %

## Continuità muraria

AREA MURATURE U.P. (mq)	AREA MURATURE P.T. (mq)	INDICE DI CONTINUITA' MURARIA	INDICE DI CONTINUITA' MURARIA %	ESITO CONTINUITA' MURARIA (SE < 45%)
0.00	0.00	0.00	0 %	NON VULNERABILE

## Indice analitico globale metodo 1

$$VGA1 = DM \cdot 17 + FP \cdot 27 + RF \cdot 27 + VT \cdot 9 + MSS \cdot 6 + MCA \cdot 7 + RT \cdot 7 = 4.76$$

## Indice analitico globale metodo 2

$$VGA2 = DM \cdot 17 + FP \cdot 27 + RF \cdot 27 + VT \cdot 9 + MSS \cdot 6 + MCA \cdot 7 + RT \cdot 7 = 11.22$$

## Nuova proposta indice analitico globale metodo 1

$$NVGA1 = DM \cdot 14 + FP \cdot 22 + RF \cdot 22 + VT \cdot 7 + MSS \cdot 4 + MCA \cdot 5 + RT \cdot 6 + CM \cdot 20 = 3.92$$

## Nuova proposta indice analitico globale metodo 2

$$NVGA2 = DM \cdot 14 + FP \cdot 22 + RF \cdot 22 + VT \cdot 7 + MSS \cdot 4 + MCA \cdot 5 + RT \cdot 6 + CM \cdot 20 = 9.24$$

Calcolo dell'indice di danno unità 5.

	PIANO TERRA	PRIMO PIANO	SECONDO PIANO	INDICE DI DANNO
MURATURE	0.00	0.00	-	
SOLAIO	0.00	0.00	-	
TOTALE	0.00	0.00	-	
INDICE DI DANNO				<b>0.00</b>

## 6.9 UNITA' 6

L'unità 6 è la più estesa. È composta da tutta la parte sud dell'aggregato, comprendendo al suo interno gli sviluppi di 4 fasi edilizie. In essa si possono distinguere tre diverse unità immobiliari, ma accomunate in questo studio in quanto presentano caratteri di omogeneità strutturale. (altezza comune, due piani fuori terra).



Fig. 6.22: Esterno dell'unità 6.



Fig. 6.21: Esterno dell'unità 6.



Fig. 6.23: Esterno dell'unità 6.

La struttura portante è realizzata in pietra nella quasi totalità di questa porzione di aggregato. Dall'analisi della vulnerabilità è emerso che le maggiori criticità sono dovute:

- alle numerose disconnessioni murarie presenti, causate dallo sviluppo dell'unità in quattro diverse fasi edilizie;
- alla rifusione per intero delle facciate prospetto est e di una parte del prospetto sud, potenzialmente ribaltabili;
- alla presenza di cosciali spingenti agli angoli delle murature esterne;
- alla copertura spingente nella parte sud-ovest dell'unità;
- alla presenza di un timpano potenzialmente ribaltabile;



Fig. 6.24: Esterno dell'unità 6. Foto n. 140 allegati fotografici.

La maggiore estensione dell'unità strutturale porta, nel complesso, alla presenza di maggiori vulnerabilità, portando al calcolo di un indice di 26.70, secondo solo all'unità strutturale 2. Lo stato di danno verificatosi è coerente con l'analisi svolta. All'esterno troviamo numerose lesioni ad andamento diagonale in corrispondenza dei maschi murari e delle aperture

(tipologia 2 e 3 di fig 4.1) anche se spesso non di grave entità, nelle facciate est e sud principalmente, e qualche lesione causata presumibilmente dalla copertura spingente sulla muratura nel prospetto ovest.



Fig. 6.23: Esterno dell'unità 6. Foto n. 85 allegati fotografici.

All'interno troviamo lesioni diffuse soprattutto al piano superiore, cosa che è stata riscontrata in tutto l'aggregato. La parte sud est dell'unità presenta lesioni ad andamento verticale e obliquo diffuse (numero 3,6,7 di fig. 4.1) e numerose passanti. Questo lascia pensare che la qualità della muratura realizzata soprattutto durante la fase edilizia storica numero 3, sia molto scarsa, in quanto presenta uno stato di danno superiore alle altre murature. Troviamo anche lesioni verticali ai nodi della muratura, in corrispondenza di alcune disconnessioni murarie. Nella parte nordovest invece, abbiamo numerose lesioni agli orizzontamenti parallele all'orditura del solaio. Nella parte sudovest abbiamo distacchi ricorrenti in molte stanze tra muratura portante perimetrale e solaio. Nel complesso l'indice di danno è di 1.17. Si rappresentano di seguito i calcoli degli indici di vulnerabilità e di danno.

## Disconnessione muraria – Metodo 1

DISCONNESSIONE EFFETTIVA	DISCONNESSIONE POTENZIALE	INDICE DISCONNESSIONE MURARIA	INDICE DISCONNESSIONE MURARIA %
28	75	0.37	37 %

## Disconnessione muraria – Metodo 2

DISCONNESSIONE EFFETTIVA	DISCONNESSIONE POTENZIALE	INDICE DISCONNESSIONE MURARIA	INDICE DISCONNESSIONE MURARIA %
28	34	0.82	82%

## Ribaltamento facciate – Metodo 1

SUPERFICIE SOPRAELEVATA (mq)	SUPERFICIE RIBALTABILE (mq)	SUPERFICIE TOTALE (mq)	INDICE RIBALTAMENTO FACCIATE	INDICE RIBALTAMENTO FACCIATE %
232.34	184.43	377.41	0.49	49%

## Ribaltamento facciate – Metodo 2

SUPERFICIE RIBALTABILE RIDOTTA (mq)	SUPERFICIE TOTALE (mq)	INDICE RIBALTAMENTO FACCIATE	INDICE RIBALTAMENTO FACCIATE %
157.42	377.41	0.41	41 %

## Falsi puntoni

SUPERFICIE RIBALTABILE (mq)	SUPERFICIE VULNERABILE (mq)	INDICE FALSI PUNTONI	INDICE FALSI PUNTONI %
24.90	94.43	0.26	26 %

## Vulnerabilità a taglio

SUPERFICIE VULNERABILE (mq)	SUPERFICIE TOTALE (mq)	INDICE VULNERABILITA' A TAGLIO (SE > 55%)	INDICE VULNERABILITA' A TAGLIO %
115.39	377.41	0.00	0 %

## Martellamento solai sfalsati – Metodo 1

SUPERFICIE DI CONTATTO (mq)	SUPERFICIE PARETE D'AMBITO (mq)	INDICE MARTELLAMENTO SOLAI SFALSATI	INDICE MARTELLAMENTO SOLAI SFALSATI %
0.00	159.80	0.00	0 %

## Martellamento solai sfalsati – Metodo 2

NODI VULNERABILI	NODI POTENZIALI	INDICE MARTELLAMENTO SOLAI SFALSATI	INDICE MARTELLAMENTO SOLAI SFALSATI %
0	7	0.00	0 %

## Martellamento da cemento armato

SOMMATORIA ALTEZZE (m)	LUNGHEZZA TOTALE DEI PROSPETTI (m)	INDICE MARTELLAMENTO DA CEMENTO ARMATO	INDICE MARTELLAMENTO DA CEMENTO ARMATO %
0.00	0.00	0.00	0 %

## Ribaltamento timpano – Metodo 1

SOMMATORIA DISLIVELLI (m)	LUNGHEZZA TOTALE DEI PROSPETTI (m)	INDICE DI RIBALTAMENTO TIMPANO	INDICE DI RIBALTAMENTO TIMPANO %
3.00	62.95	0.05	5 %

## Ribaltamento timpano – Metodo 2

NODI VULNERABILI	NODI POTENZIALI	INDICE DI RIBALTAMENTO TIMPANO	INDICE DI RIBALTAMENTO TIMPANO %
1	12	0.08	8 %

## Muri in falso

AREA VULNERABILE (mq)	AREA TOTALE (mq)	INDICE MURI IN FALSO	INDICE MURI IN FALSO %
0.00	763.69	0.00	0 %

## Continuità muraria

AREA MURATURE U.P. (mq)	AREA MURATURE P.T. (mq)	INDICE DI CONTINUITA' MURARIA	INDICE DI CONTINUITA' MURARIA %	ESITO CONTINUITA' MURARIA (SE < 45%)
57.71	75.13	0.76	76 %	NON VULNERABILE

## Indice analitico globale metodo 1

$$\text{VGA1} = \text{DM} \cdot 17 + \text{FP} \cdot 27 + \text{RF} \cdot 27 + \text{VT} \cdot 9 + \text{MSS} \cdot 6 + \text{MCA} \cdot 7 + \text{RT} \cdot 7 = \mathbf{26.89}$$

## Indice analitico globale metodo 2

$$\text{VGA2} = \text{DM} \cdot 17 + \text{FP} \cdot 27 + \text{RF} \cdot 27 + \text{VT} \cdot 9 + \text{MSS} \cdot 6 + \text{MCA} \cdot 7 + \text{RT} \cdot 7 = \mathbf{32.80}$$

## Nuova proposta indice analitico globale metodo 1

$$\text{NVGA1} = \text{DM} \cdot 14 + \text{FP} \cdot 22 + \text{RF} \cdot 22 + \text{VT} \cdot 7 + \text{MSS} \cdot 4 + \text{MCA} \cdot 5 + \text{RT} \cdot 6 + \text{CM} \cdot 20 = \mathbf{21.98}$$

## Nuova proposta indice analitico globale metodo 2

$$\text{NVGA2} = \text{DM} \cdot 14 + \text{FP} \cdot 22 + \text{RF} \cdot 22 + \text{VT} \cdot 7 + \text{MSS} \cdot 4 + \text{MCA} \cdot 5 + \text{RT} \cdot 6 + \text{CM} \cdot 20 = \mathbf{26.70}$$

Calcolo dell'indice di danno unità 6.

	PIANO TERRA	PRIMO PIANO	SECONDO PIANO	INDICE DI DANNO
MURATURE	0.26	1.27	-	
SOLAIO	0.09	0.72	-	
TOTALE	0.35	1.99	-	
INDICE DI DANNO				<b>1.17</b>



Fig. 6.25: Interno dell'unità 6. Foto n. 113 allegati fotografici.



Fig. 6.24: Interno dell'unità 6. Foto n. 109 allegati fotografici.



Fig. 6.26: Interno dell'unità 6. Foto n. 182 allegati fotografici.

## 6.10 ANALISI DEI RISULTATI

Si rappresenta il riepilogo delle analisi condotte con il relativo confronto

### Analisi della vulnerabilità – Metodo 1

UNITA'	DM	RF	FP	VT	MSS	MCA	RT	INDICE DI VULNERABILITA'
1	0.17	0.43	0.52	0.00	0.69	0.00	0.00	33.37
2	0.38	0.48	0.82	0.00	0.00	0.00	0.00	41.56
3	0.12	0.52	0.00	0.00	0.21	0.00	0.00	17.34
4	0.20	0.00	0.00	0.20	0.00	0.00	0.20	6.60
5	0.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.76
6	0.37	0.49	0.26	0.00	0.00	0.00	0.05	26.89

### Analisi della vulnerabilità – Metodo 2

UNITA'	DM	RF	FP	VT	MSS	MCA	RT	INDICE DI VULNERABILITA'
1	0.50	0.28	0.52	0.00	0.25	0.00	0.00	31.85
2	0.82	0.39	0.82	0.00	0.00	0.00	0.00	46.61
3	0.23	0.52	0.00	0.00	0.20	0.00	0.00	19.15
4	0.50	0.00	0.00	0.20	0.00	0.00	0.20	11.70
5	0.66	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11.22
6	0.82	0.41	0.26	0.00	0.00	0.00	0.08	32.80

### Analisi del danno

UNITA'	PIANO TERRA	PRIMO PIANO	SECONDO PIANO	INDICE DI DANNO
1	0.06	0.33	1.16	0.52
2	0.45	5.59	-	3.02
3	0.00	0.68	0.00	0.23
4	0.00	0.00	-	0.00
5	0.00	0.00	-	0.00
6	0.35	1.99	-	1.17

### Confronto tra vulnerabilità e danno

GERARCHIA DELLA VULNERABILITA' (M1)	INDICE DI VULNERABILITA' (M1)	GERARCHIA DELLA VULNERABILITA' (M2)	INDICE DI VULNERABILITA' (M2)	GERARCHIA DEL DANNO	INDICE DI DANNO
2	41.56	2	46.61	2	3.02
1	33.37	6	32.80	6	1.17
6	26.89	1	31.85	1	0.52
3	17.34	3	19.15	3	0.23
4	6.60	4	11.70	4	0.00
5	4.76	5	11.22	5	0.00

### Analisi della vulnerabilità – NUOVA PROPOSTA – Metodo 1

UNITA'	DM	RF	FP	VT	MSS	MCA	RT	CM	INDICE DI VULNERABILITA'
1	0.17	0.43	0.52	0.00	0.69	0.00	0.00	0.00	26.04
2	0.38	0.48	0.82	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	42.32
3	0.12	0.52	0.00	0.00	0.21	0.00	0.00	0.00	13.96
4	0.20	0.00	0.00	0.20	0.00	0.00	0.20	0.20	5.40
5	0.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.92
6	0.37	0.49	0.26	0.00	0.00	0.00	0.05	0.05	21.98

### Analisi della vulnerabilità – NUOVA PROPOSTA – Metodo 2

UNITA'	DM	RF	FP	VT	MSS	MCA	RT	CM	INDICE DI VULNERABILITA'
1	0.50	0.28	0.52	0.00	0.25	0.00	0.00	0.00	25.60
2	0.82	0.39	0.82	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	46.50
3	0.23	0.52	0.00	0.00	0.20	0.00	0.00	0.00	15.46
4	0.50	0.00	0.00	0.20	0.00	0.00	0.20	0.20	9.60
5	0.66	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.24
6	0.82	0.41	0.26	0.00	0.00	0.00	0.08	0.08	26.70

### Analisi del danno

UNITA'	PIANO TERRA	PRIMO PIANO	SECONDO PIANO	INDICE DI DANNO
1	0.06	0.33	1.16	0.52
2	0.45	5.59	-	3.02
3	0.00	0.68	0.00	0.23
4	0.00	0.00	-	0.00
5	0.00	0.00	-	0.00
6	0.35	1.99	-	1.17

### Confronto tra vulnerabilità e danno

GERARCHIA DELLA VULNERABILITA' (M1)	INDICE DI VULNERABILITA' (M1)	GERARCHIA DELLA VULNERABILITA' (M2)	INDICE DI VULNERABILITA' (M2)	GERARCHIA DEL DANNO	INDICE DI DANNO
2	42.32	2	46.50	2	3.02
1	26.04	6	26.70	6	1.17
6	21.98	1	25.60	1	0.52
3	13.96	3	15.46	3	0.23
4	5.40	4	9.60	4	0.00
5	3.92	5	9.24	5	0.00

## CONCLUSIONI

Questa tesi si è posta come obiettivo quello di verificare la corrispondenza tra il metodo di analisi della vulnerabilità di un aggregato ed il danneggiamento subito dallo stesso a seguito di un sisma, al fine di validare il protocollo di stima della vulnerabilità attraverso valutazioni speditive.

Come abbiamo visto nei capitoli precedenti, la valutazione della vulnerabilità avviene attraverso l'utilizzo di due diversi metodi di calcolo, che pervengono a risultati differenti. L'esperienza e lo studio di numerosi aggregati, soprattutto emiliani, ha portato, infatti, alla stesura di un secondo metodo, che rappresenta l'evoluzione e l'affinamento del precedente.

I risultati di maggiore interesse sono, quindi, quelli scaturiti dal secondo metodo di calcolo.

È interessante, però, calcolare ugualmente i coefficienti di vulnerabilità anche attraverso il primo metodo al fine, soprattutto, di poter avere dei dati statistici paragonabili con quegli aggregati che sono stati analizzati solo attraverso la prima versione di questa valutazione. Questa, in sostanza, viene ancora utilizzata per operare dei confronti tra aggregati appartenenti a diversi contesti geografici, mentre il secondo metodo offre dei risultati più attendibili e più corrispondenti alla realtà.

Si sono condotte analisi sulla vulnerabilità e sul danno suddividendo l'aggregato in 6 unità strutturali (U.S.). Le U.S. dell'aggregato hanno presentato molteplici diversità tipologiche e strutturali ed una distribuzione dei meccanismi di danno non omogenea tra loro. La scelta di operare le analisi in unità strutturali, quindi, ha permesso di giungere a risultati più caratterizzanti e precisi, senza considerare le U.S. come edifici isolati, ma sempre all'interno di un aggregato edilizio storico. Accomunare, infatti, in un unico indice unità strutturali poco vulnerabili e per nulla danneggiate come la n. 4 e la n. 5, ad unità che presentano un indice di danno altissimo come la n. 2, avrebbe portato a risultati e confronti di scarsa rilevanza.

Dal confronto fatto con l'analisi della vulnerabilità e il danno rilevato, sono emersi risultati coerenti e molto soddisfacenti (per entrambi i metodi). Attraverso il secondo metodo di analisi, in particolare, si è giunti ad una coerente classificazione gerarchica del danno e della vulnerabilità delle diverse unità strutturali, nel senso che le U.S. più vulnerabili sono risultate anche quelle con un indice di danno maggiore. Dunque, è stato possibile ordinare le unità

strutturali, dalla più alla meno vulnerabile, ottenendo una perfetta corrispondenza con la classifica del danno riscontrato.

Questo ha confermato la bontà dei metodi di calcolo della vulnerabilità e del danno utilizzati, obiettivo primario della tesi, costituendo un buon punto di partenza per riproporre questo tipo di studio anche su altri aggregati.

Dal punto di vista della proporzionalità dei coefficienti di vulnerabilità e danno, invece, è emersa una incongruenza legata, soprattutto, all'unità n. 2. Essa risulta sì la più vulnerabile, ma l'indice di danno risulta almeno triplo rispetto alle altre unità.

Per questo si è ritenuto utile procedere con ulteriori approfondimenti, allo scopo di comprendere meglio la possibilità di ottenere una maggiore corrispondenza.

Le conseguenti riflessioni si sono concentrate sulle analisi delle diversità esistenti tra la U.S. 2 e le altre facenti parte dell'aggregato. Dall'osservazione del primo piano dell'unità 2, che risulta essere nettamente la parte di aggregato più danneggiata, è emersa la mancanza di interi setti murari rispetto al piano sottostante, probabilmente demoliti per l'esigenza di ottenere spazi più ampi. È sicuramente riconducibile a questa carenza il grave stato di danno dell'unità n. 2. Infatti, la diminuzione della superficie muraria è risultata pari al 58%. Da ciò è emersa la possibilità di avanzare una modifica nell'ambito della vulnerabilità globale inserendo un nuovo indice, denominato indice di continuità muraria. Questo indice permette di valutare la continuità strutturale delle sezioni resistenti e, di conseguenza, la corretta distribuzione delle forze all'interno delle murature. Conformemente a quanto si è proposto per altri indici, quali ad esempio quello della vulnerabilità a taglio, si è definito un limite di accettabilità della diminuzione di muratura tra l'ultimo livello e il primo, proponendo un valore massimo pari al 45% di questo rapporto. Inoltre, all'indice di continuità muraria si è assegnato un peso rilevante all'interno del calcolo della vulnerabilità globale, secondo solo agli indici di ribaltamento facciate e dei falsi puntoni. Questo in ragione della evidente influenza di questa carenza nella determinazione di un alto livello di danneggiamento come chiaramente mostrato dall' U.S. 2. I risultati ottenuti attraverso l'inserimento di questo nuovo indicatore mostrano come ci sia stata una diminuzione degli indici di vulnerabilità globale di tutte le unità strutturali, ad eccezione della n. 2 (essendo l'unica vulnerabile secondo l'indice di continuità muraria). I nuovi risultati ottenuti per la vulnerabilità sono ritenuti ancor più soddisfacenti, in quanto rispecchiano meglio

la differenza esistente, in termini numerici, tra gli indici di danno.

Infatti, in seguito alla valutazione dei nuovi indici di vulnerabilità, l'indice di danno dell'unità n. 2 risulta a questo punto giustificato e per certi versi atteso. La nuova proposta può, dunque, risultare come un arricchimento del metodo finora utilizzato, permettendo di giungere a risultati di maggiore precisione. Sarebbe interessante estendere questa proposta allo studio di altri aggregati colpiti dal sisma in centro Italia, in modo da avere maggiori elementi di confronto e, quindi, una maggiore attendibilità di tale valutazione.

In conclusione, possiamo affermare che il buon esito del confronto tra gli indici di vulnerabilità e di danno ha confermato la necessità e l'importanza di effettuare questi studi sul patrimonio edilizio storico. Individuare gli edifici più a rischio sul territorio consentirebbe di pianificare interventi per il miglioramento sismico e contestualmente evitare che, in caso di evento critico, si verificassero considerevoli perdite del patrimonio storico ma soprattutto in termini di vite umane.

**BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA****Bibliografia**

Borri A. De Maria, “Indice di qualità muraria (IQM) e correlazione con le caratteristiche meccaniche”, Rete dei Laboratori Universitari di Ingegneria Sismica (RELUIS) 2015

Borri A., De Maria A. (2009) *Scheda di valutazione dell’IQM (indice di qualità muraria). Progetto esecutivo 2005 – 2008. Valutazione e riduzione della vulnerabilità di edifici in muratura.* (Allegato 3b.1- UR06-1)

Cangi G., (2012) “Manuale di recupero strutturale e antisismico”, DEI, Roma

Di Cesare G., “Torricella Sicura. Lineamenti storici”, Eco editrice, Isola del G. Sasso (Te), 1989

Doglioni F., Mazzotti P., (2007) “Codice di pratica per gli interventi di miglioramento sismico nel restauro del patrimonio architettonico”, Regione Marche, Ancona

Doglioni F., “Strutture nel tempo. Casi e metodi di studio”, Seminario didattico Corso di Consolidamento di Edilizia storica, Università degli studi di Parma 15/03/2013

Dolce M., Manfredi G., (2011) “Linee guida per la Riparazione e il Rafforzamento di elementi strutturali”, Edizioni Doppiavoce

Dolce M, Papa F., Pizza A., “Manuale per la compilazione della scheda di 1° livello di rilevamento danno, pronto intervento e agibilità per edifici ordinari nell’emergenza post-sismica (AeDES)”, Dipartimento della Protezione Civile, Ediz. II, 2014

Giuffrè A., (1993) “Sicurezza e conservazione dei centri storici: il caso Ortigia. Codice di pratica per gli interventi antisismici nel centro storico”, Editori Laterza, Bari

Gulli R., (2012) “Il recupero edilizio in ambito sismico”, Edicom Edizioni, Monfalcone

Gulli, “Struttura e costruzione - Structure and construction”, FUP, ed. 2012

Milano L., Mannella A., Morisi C., Martinelli A., “Schede illustrative dei principali meccanismi di collasso locali negli edifici esistenti in muratura e dei relativi modelli cinematici di analisi”, Allegato alle Linee Guida per la Riparazione e il Rafforzamento di elementi strutturali, Tamponature e Partizioni

“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 la riparazione e il rafforzamento di elementi strutturali, tamponature e partizioni”, DPCReLUIS, Bozza Agosto 2009.

“Linee Guida per le modalità di indagine sulle strutture e sui terreni per i progetti di riparazione/miglioramento/ ricostruzione di edifici inagibili”, ReLUIS (Marzo 2010)

“Linee guida per il rilievo, l’analisi ed il progetto di interventi di riparazione e consolidamento sismico di edifici in muratura in aggregato”, ReLUIS, (Ottobre 2010)

Mochi G., Predari G., (2016) “La vulnerabilità sismica degli aggregati edilizi”, Edicom Edizioni, Ediz.I, Roma

Mochi G., Predari G., *Appunti del corso di Architettura Tecnica II*, Scuola di Ingegneria e Architettura, Università di Bologna

Orsini G. “La Comunità della Laga”, Ed. Idee e Vita - Teramo

Zuccaro G., Papa F., “Medea: Manuale di Esercitazioni sul Danno ed Agibilità per edifici ordinari in muratura”, Centro Studi P.LIN.I.V.S.

**Sitografia**

Sito del Consorzio del Vomano e del Tordino. Disponibile all’indirizzo <http://www.bim-teramo.it>

Sito del Comune di Torricella Sicura. Disponibile all’indirizzo <http://www.comune.torricellasicura.te.it>

Sito dell’Istituto di Geofisica e Vulcanologia. Disponibile all’indirizzo <http://www.mi.ingv.it/pericolosita-sismica/>

Sito del Dipartimento della Protezione Civile (DPC) Regione Abruzzo. Disponibile all’indirizzo <https://protezionecivile.regione.abruzzo.it/>

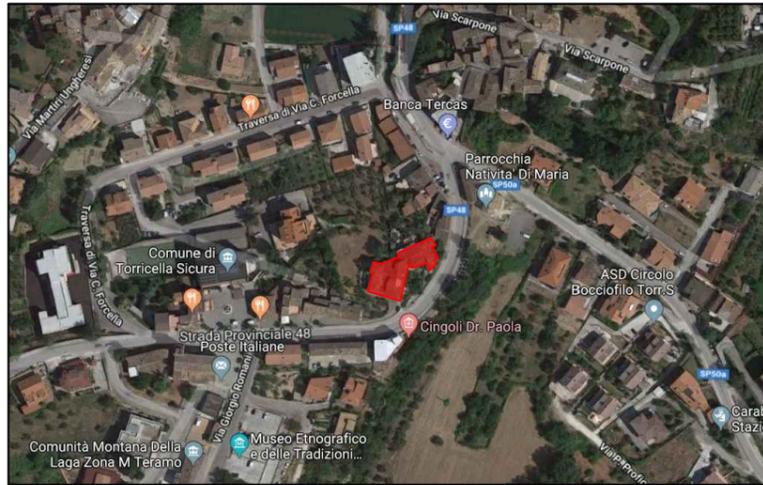
Sito del portale cartografico della Regione Abruzzo. Disponibile all’indirizzo <http://geoportale.regione.abruzzo.it>

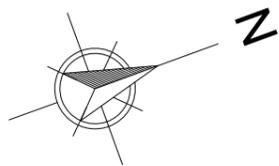
**Tesi e progetti di laboratorio consultati**

Linguerrì Linda, *“Dalla vulnerabilità urbana al Sismabonus: analisi delle criticità e definizione di criteri di intervento e loro applicabilità per Unità Strutturali e Unità Minime di Intervento. Il caso di studio degli aggregati 18 e 20 del centro storico di San Giovanni in Persiceto”*, Università degli studi di Bologna, sessione III, A.A. 2016/2017

Mandes Eleonora, *“Metodo speditivo per la valutazione della vulnerabilità sismica degli aggregati edilizi del centro storico di San Giovanni in Persiceto. Approfondimento dell’analisi e verifica sistematica degli isolati 9,11,17,19”*, Università degli studi di Bologna, sessione III, A.A. 2014/2015

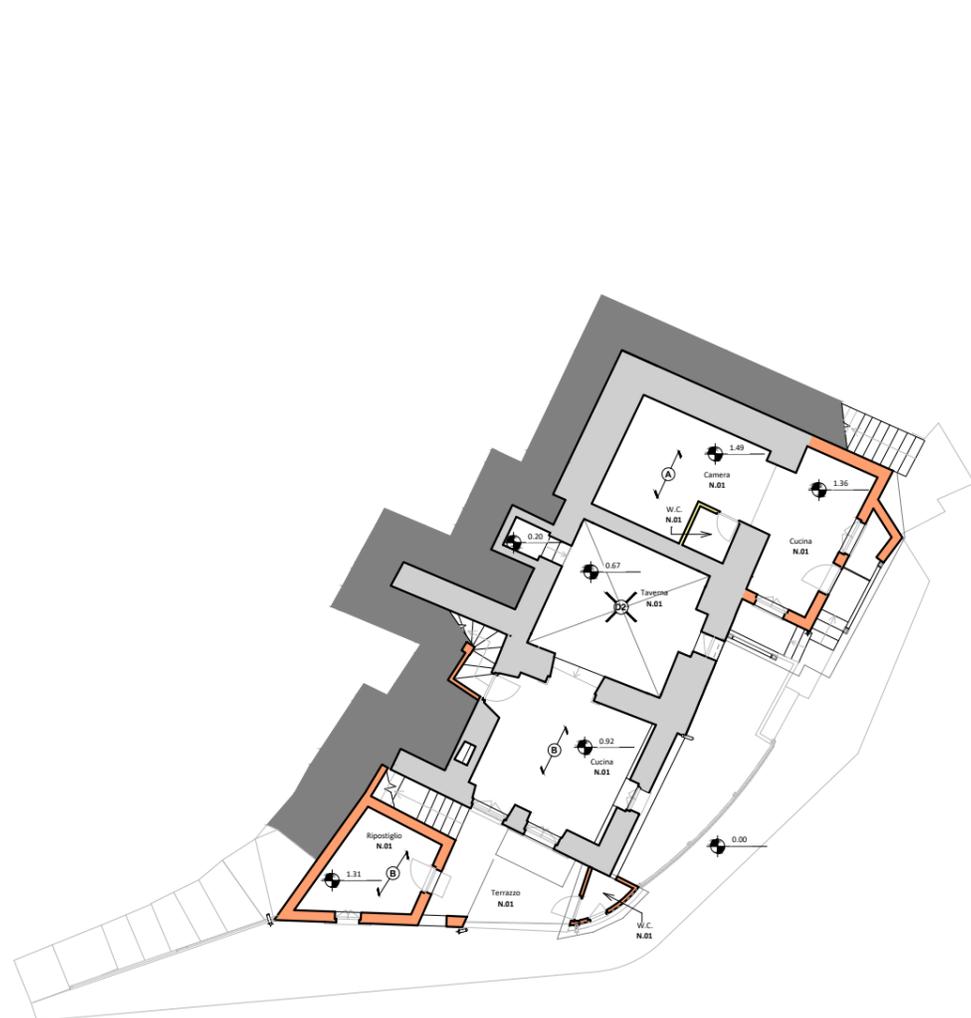
Pantaleoni Ilaria, *“Il rapporto tra la vulnerabilità stimata dei centri storici ed il loro danneggiamento in occasione del sisma 2012. Analisi di un caso di studio nel centro storico di Mirandola”*, Università degli studi di Bologna, sessione III, A.A. 2013/2014





### Legenda

- Muratura in pietra
- Muratura mista pietra e mattoni
- Muratura in laterizio del tipo "doppio uni"
- Muratura in blocchi semipieni in laterizio
- Solaio in legno
- Solaio in putrelle e tavelloni
- Solaio in putrelle e voltine in laterizio
- Solaio laterocementizio
- Volta a botte in laterizio (mattoni in foglio/in coltello)
- Volta a crociera in laterizio (mattoni in foglio/in coltello)
- Volta a vela (mattoni in foglio/in coltello)

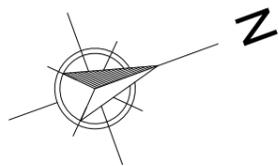


Piano terra



Piano primo



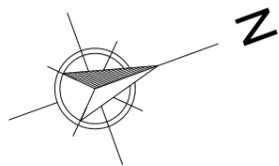


Legenda

- Muratura in pietra
- Muratura mista pietra e mattoni
- Muratura in laterizio del tipo "doppio uni"
- Muratura in blocchi semipieni in laterizio
- A Solaio in legno
- B Solaio in putrelle e tavelloni
- C Solaio in putrelle e voltine in laterizio
- D Solaio laterocementizio
- D1 Volta a botte in laterizio (mattoni in foglio/in coltello)
- D2 Volta a crociera in laterizio (mattoni in foglio/in coltello)
- D3 Volta a vela (mattoni in foglio/in coltello)



0 1 2 5 10 m



### Legenda

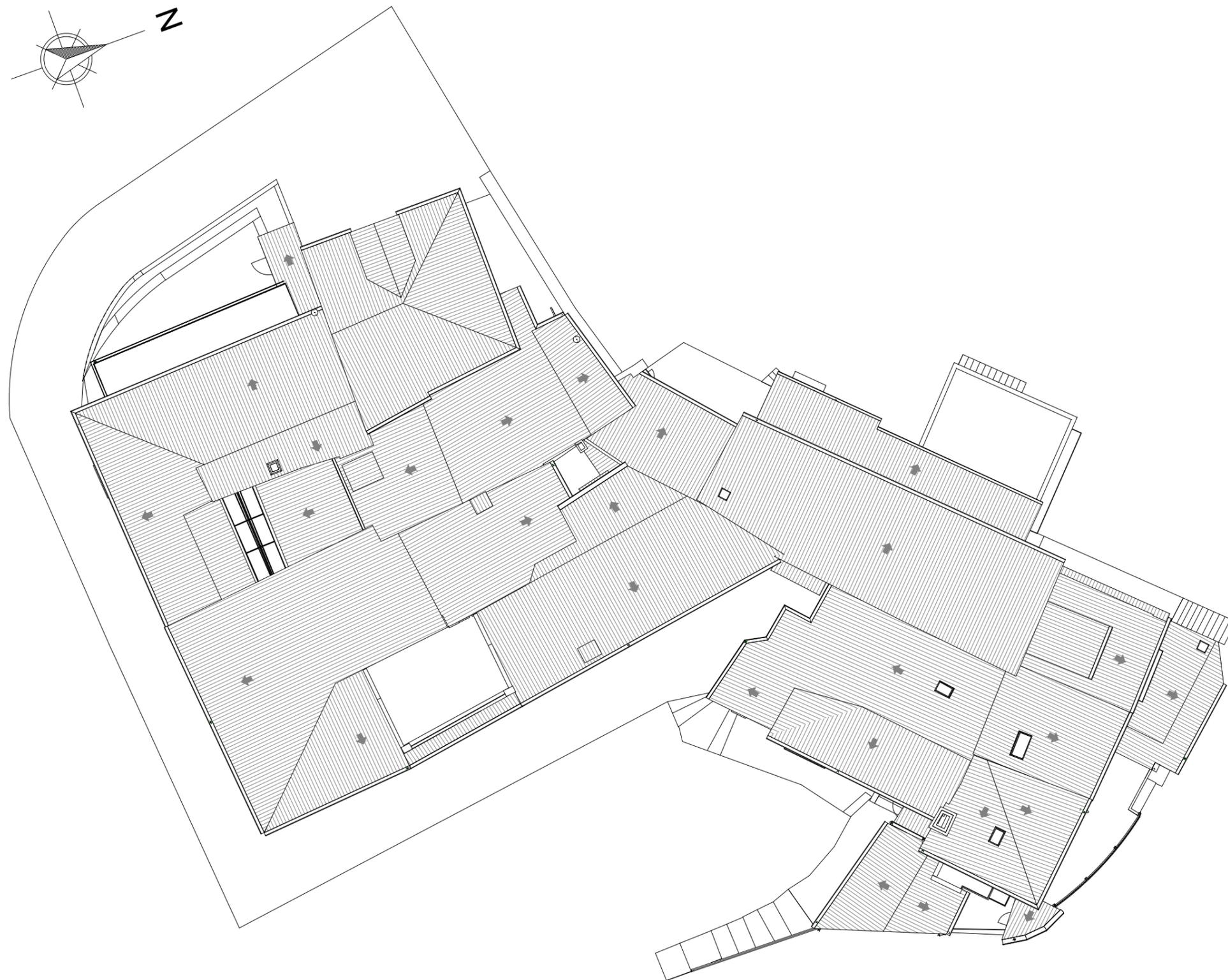
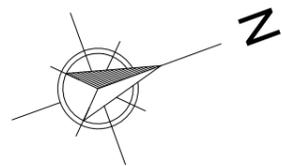
- Muratura in pietra
- Muratura mista pietra e mattoni
- Muratura in laterizio del tipo "doppio uni"
- Muratura in blocchi semipieni in laterizio
- Solaio in legno
- Solaio in putrelle e tavelloni
- Solaio in putrelle e voltine in laterizio
- Solaio laterocementizio
- Volta a botte in laterizio (mattoni in foglio/in coltello)
- Volta a crociera in laterizio (mattoni in foglio/in coltello)
- Volta a vela (mattoni in foglio/in coltello)



# Pianta terzo piano

Scala  
1:200

# T04



Legenda

-  Muratura in pietra
-  Muratura mista pietra e mattoni
-  Muratura in laterizio del tipo "doppio uni"
-  Muratura in blocchi semipieni in laterizio
-  Solaio in legno
-  Solaio in putrelle e tavelloni
-  Solaio in putrelle e voltine in laterizio
-  Solaio laterocementizio
-  Volta a botte in laterizio (mattoni in foglio/in coltello)
-  Volta a crociera in laterizio (mattoni in foglio/in coltello)
-  Volta a vela (mattoni in foglio/in coltello)

0 1 2 5 10 m

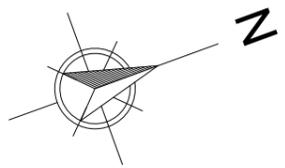
Alma Mater Studiorum - Università di Bologna - Scuola di  
Ingegneria e Architettura  
Tesi di Laurea in Architettura Tecnica II

Studente: Marco Salvi  
Relatore: Ing. Giovanni Mochi

# Pianta coperture

Scala  
1:200

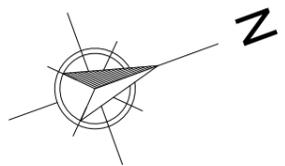
# T05



Legenda

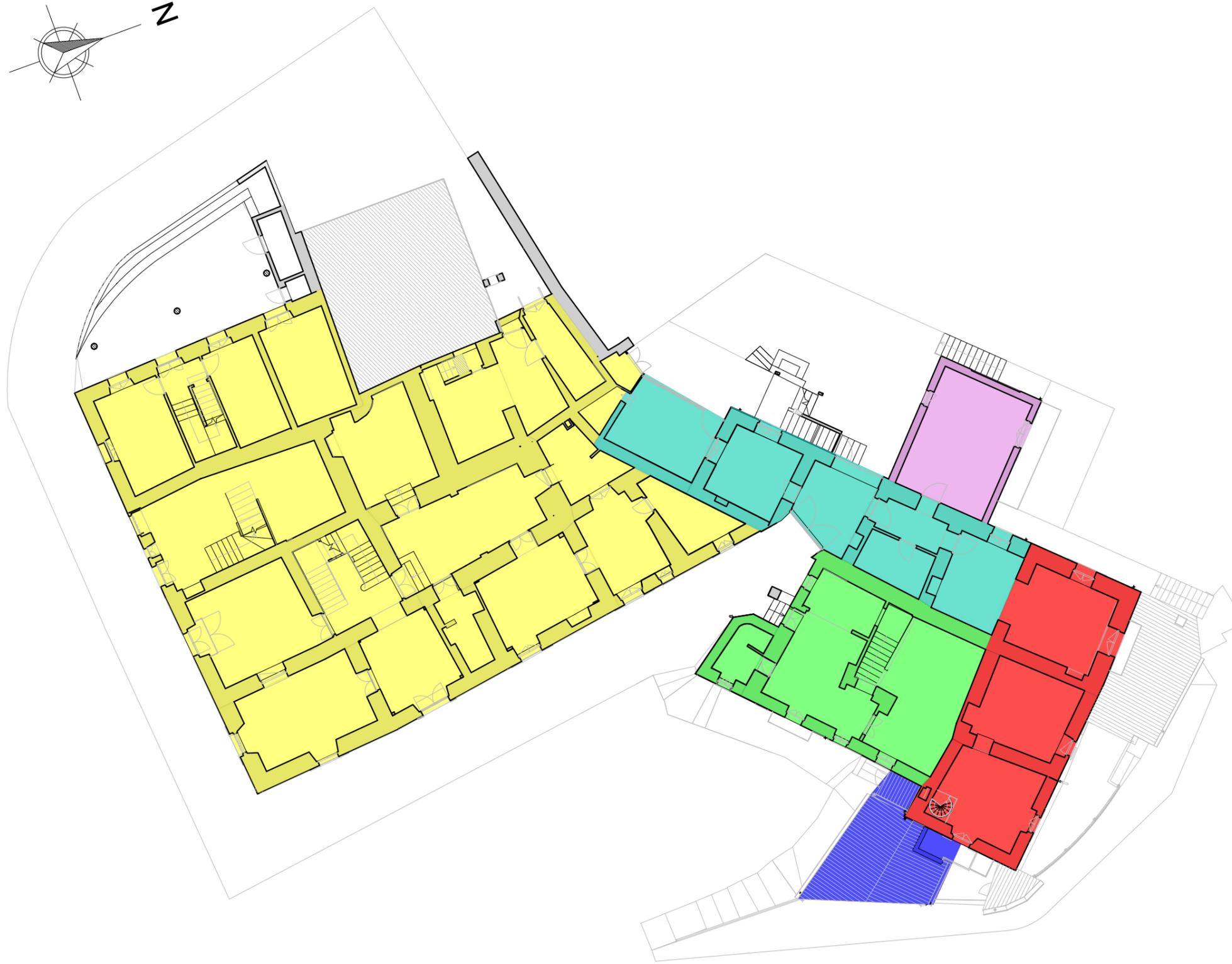
- Fase edilizia storica n. 1 ( XV-XVI sec. circa)
- Fase edilizia storica n. 1.1
- Fase edilizia storica n. 2
- Fase edilizia storica n. 3
- Fase edilizia storica n. 4
- Fase edilizia storica n. 5



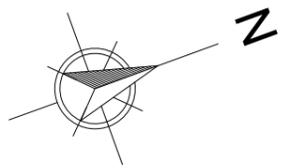


Legenda

- Unità strutturale 1
- Unità strutturale 2
- Unità strutturale 3
- Unità strutturale 4
- Unità strutturale 5
- Unità strutturale 6



0 1 2 5 10 m



Legenda

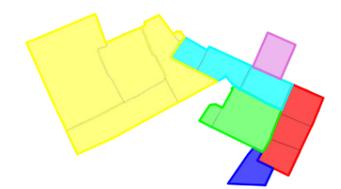
-  Disconnessione effettiva
-  Disconnessione di prospetto
-  Nodo 1 disconnessione potenziale
-  Nodo 2 disconnessione potenziale
-  Nodo 3 disconnessione potenziale
-  Rifusione

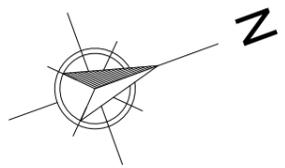
Metodo 1 disconnessione muraria

UNITA'	DISCONNESSIONE EFFETTIVA	DISCONNESSIONE POTENZIALE	INDICE DISCONNESSIONE MURARIA
1	2	12	0.17
2	9	24	0.38
3	3	26	0.12
4	2	10	0.20
5	2	7	0.28
6	28	75	0.37

Metodo 2 disconnessione muraria

UNITA'	DISCONNESSIONE EFFETTIVA	DISCONNESSIONE POTENZIALE	INDICE DISCONNESSIONE MURARIA
1	2	4	0.50
2	9	11	0.82
3	3	13	0.23
4	2	4	0.50
5	2	3	0.66
6	28	34	0.82

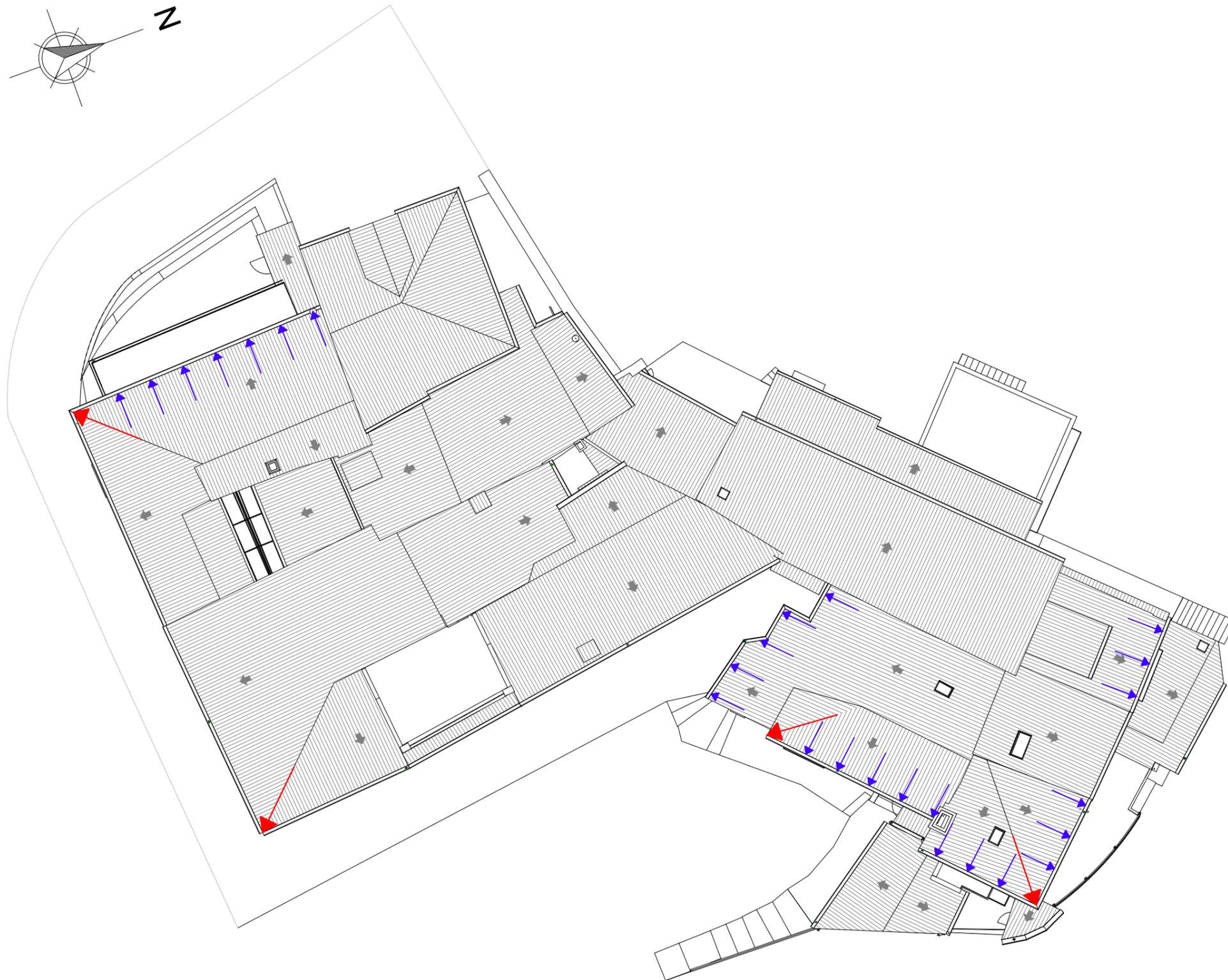




Legenda

→ Cosciale spingente

→ Travetti spingenti



0 1 2 5 10 m

Alma Mater Studiorum - Università di Bologna - Scuola di  
Ingegneria e Architettura  
Tesi di Laurea in Architettura Tecnica II

Studente: Marco Salvi  
Relatore: Ing. Giovanni Mochi

# Analisi della vulnerabilità: Falsi Puntoni

Scala  
1:200

# T09



Prospetto A



Prospetto B

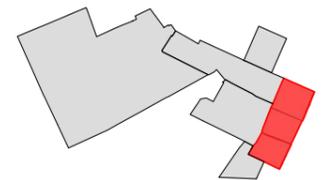


Prospetto C



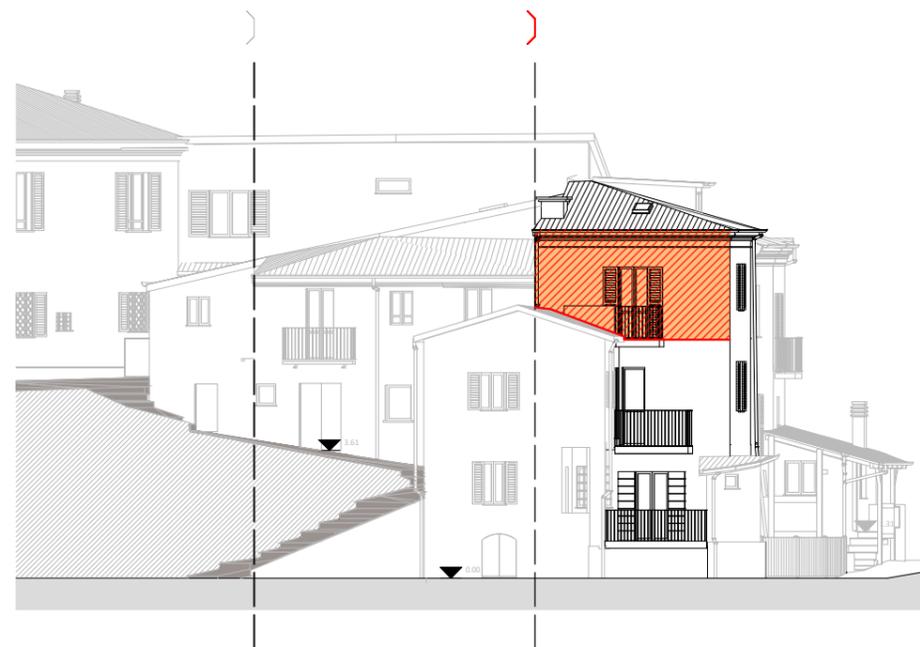
Legenda

}) Disconnessione effettiva





Prospetto A



Prospetto B



Prospetto C



Legenda

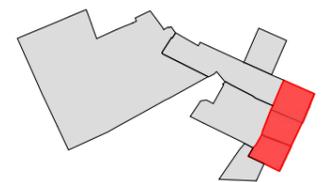
- Area sopraelevata
- Area ribaltabile
- Cerniera

Metodo 1

SUPERFICIE SOPRAELEVATA (mq)	SUPERFICIE RIBALTABILE (mq)	SUPERFICIE TOTALE (mq)	INDICE RIBALTAMENTO FACCIATE
83.57	83.57	196.18	0.43

Metodo 2

SUPERFICIE RIBALTABILE RIDOTTA (mq)	SUPERFICIE TOTALE (mq)	INDICE RIBALTAMENTO FACCIATE
55.46	196.18	0.28

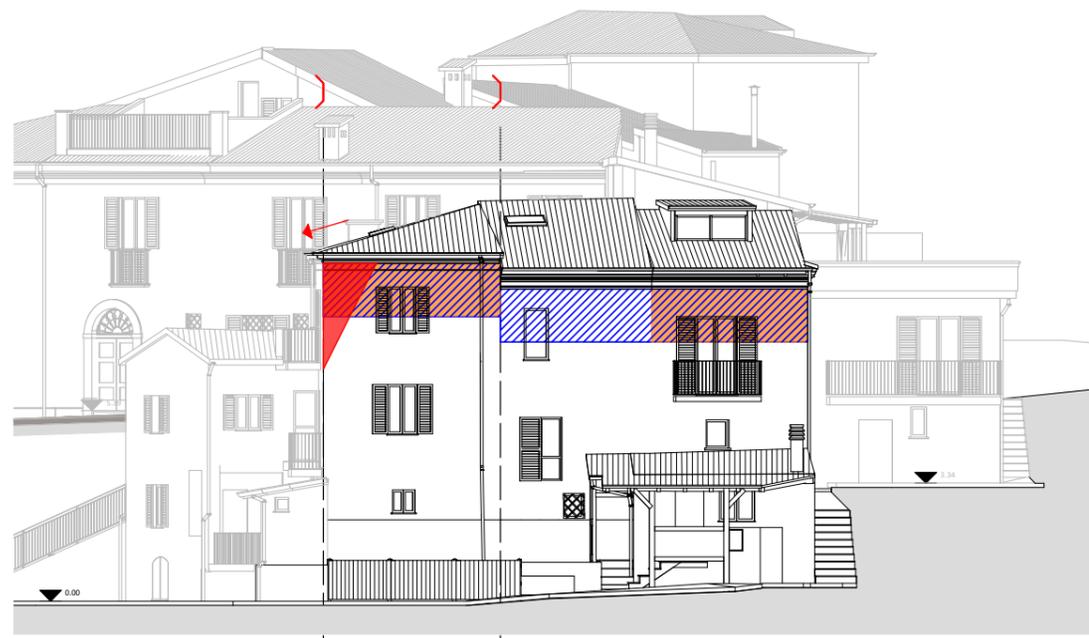


# Analisi della Vulnerabilità: Ribaltamento Facciate

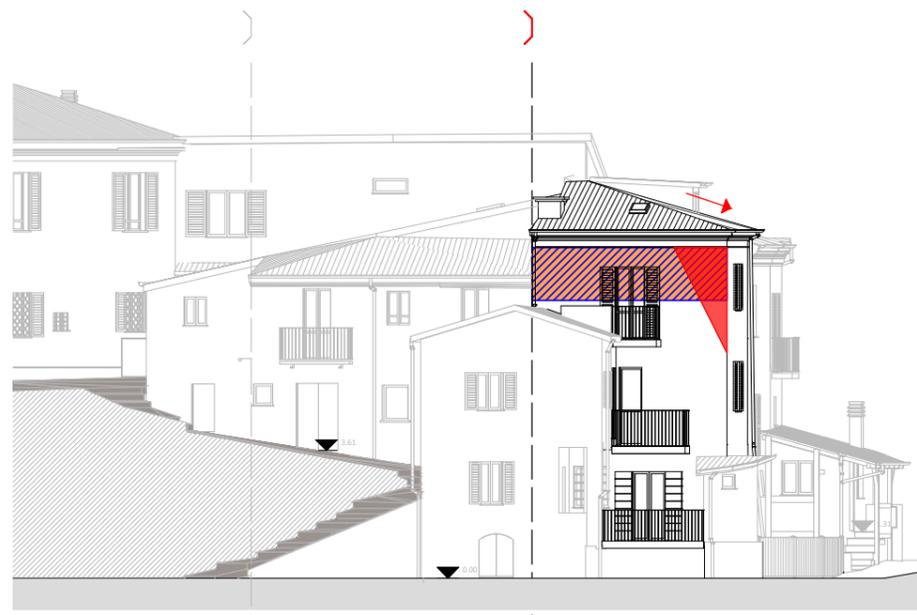
Unità  
1

Scala  
1:200

# T11



Prospetto A



Prospetto B

Legenda

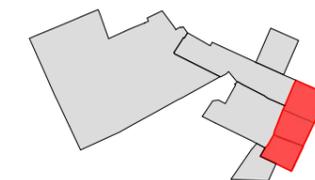
-  Fascia vulnerabile potenziale
-  Fascia vulnerabile effettiva
-  Cosciale spingente

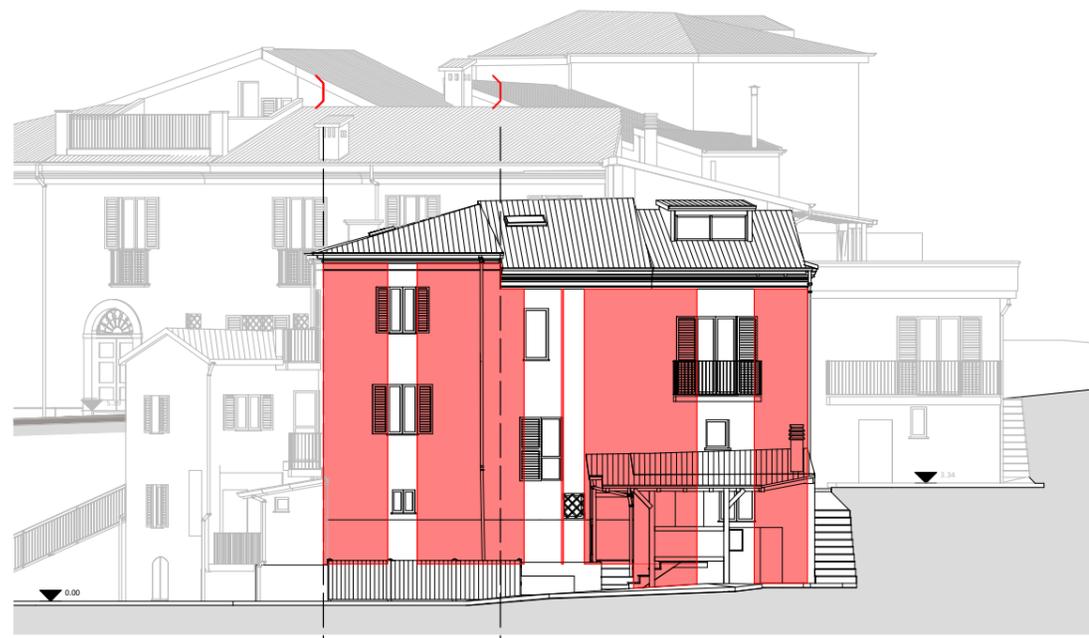


Prospetto C



SUPERFICIE RIBALTABILE (mq)	SUPERFICIE VULNERABILE (mq)	INDICE FALSI PUNTONI
23.44	44.95	0.52





Prospetto A

31 %



Prospetto B

34 %

Legenda

■ Maschi murari

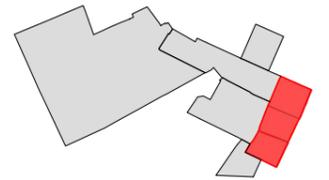


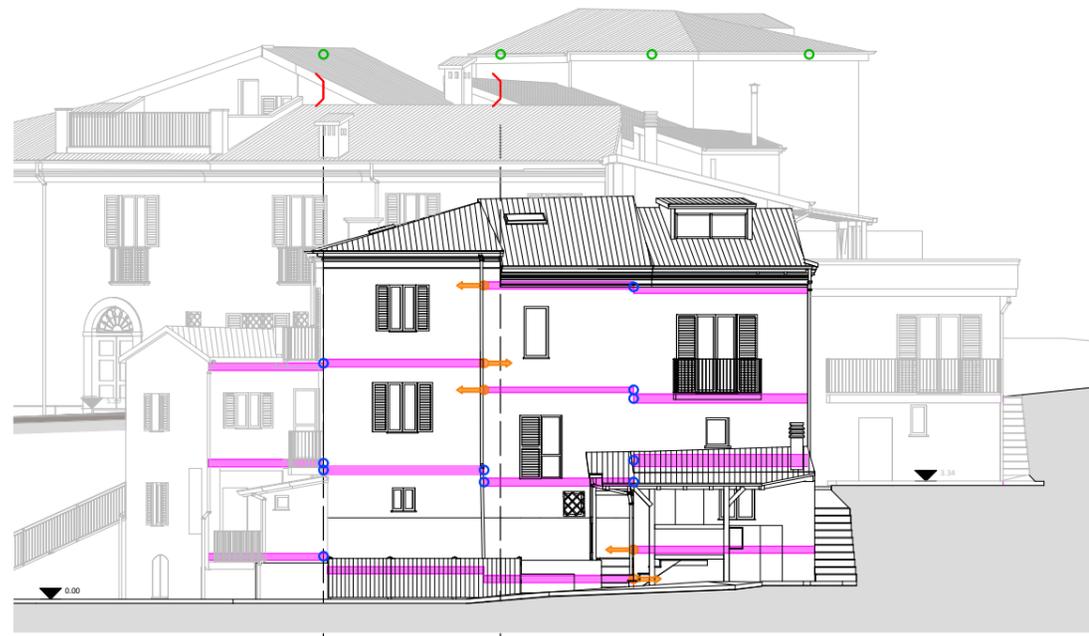
Prospetto C

17 %

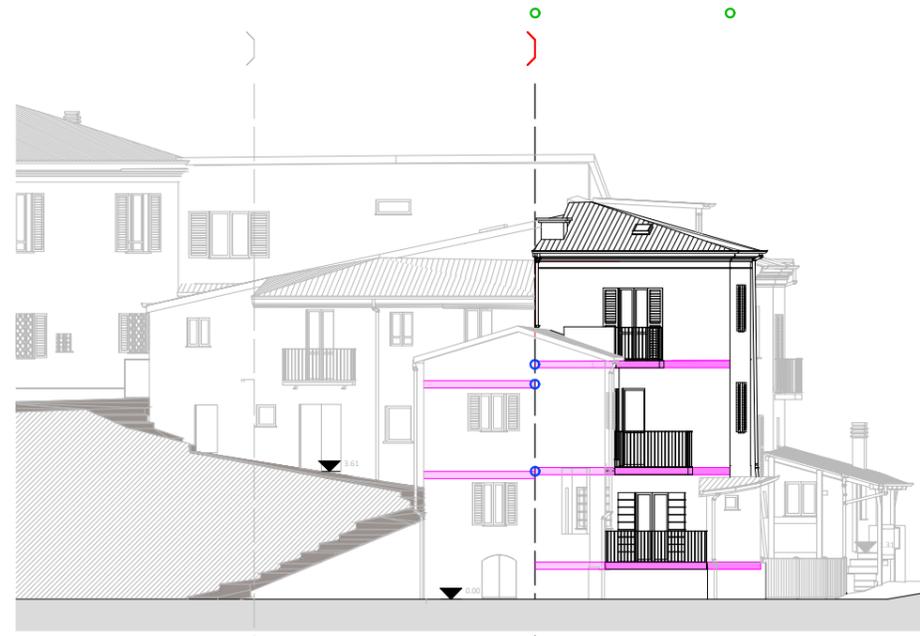
INDICE VULNERABILITÀ  
A TAGLIO  
0.00

0 1 2 5 10 m





Prospetto A



Prospetto B



Prospetto C



Legenda

- Solai
- Nodo potenziale
- Nodo vulnerabile
- Timpano potenziale

Metodo 1 martellamento solai sfalsati

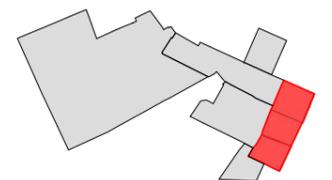
SUPERFICIE DI CONTATTO (mq)	SUPERFICIE PARETE D'AMBITO (mq)	INDICE MARTELLAMENTO SOLAI SFALSATI
91.87	132.83	0.69

Metodo 2 martellamento solai sfalsati

NODI VULNERABILI	NODI POTENZIALI	INDICE MARTELLAMENTO SOLAI SFALSATI
3	12	0.25

Ribaltamento timpano

INDICE RIBALTAMENTO TIMPANO
0.00



### Disconnessione muraria - Metodo 1

DISCONNESSIONE EFFETTIVA	DISCONNESSIONE POTENZIALE	INDICE DISCONNESSIONE MURARIA	INDICE DISCONNESSIONE MURARIA %
2	12	0.17	17 %

### Disconnessione muraria - Metodo 2

DISCONNESSIONE EFFETTIVA	DISCONNESSIONE POTENZIALE	INDICE DISCONNESSIONE MURARIA	INDICE DISCONNESSIONE MURARIA %
2	4	0.50	50 %

### Ribaltamento facciate - Metodo 1

SUPERFICIE SOPRAELEVATA (mq)	SUPERFICIE RIBALTABILE (mq)	SUPERFICIE TOTALE (mq)	INDICE RIBALTAMENTO FACCIATE	INDICE RIBALTAMENTO FACCIATE %
83.57	83.57	196.18	0.43	43 %

### Ribaltamento facciate - Metodo 2

SUPERFICIE RIBALTABILE RIDOTTA (mq)	SUPERFICIE TOTALE (mq)	INDICE RIBALTAMENTO FACCIATE	INDICE RIBALTAMENTO FACCIATE %
55.46	196.18	0.28	28 %

### Falsi puntoni

SUPERFICIE RIBALTABILE (mq)	SUPERFICIE VULNERABILE (mq)	INDICE FALSI PUNTONI	INDICE FALSI PUNTONI %
23.44	44.95	0.52	52 %

### Vulnerabilità a taglio

SUPERFICIE VULNERABILE (mq)	SUPERFICIE TOTALE (mq)	INDICE VULNERABILITA' A TAGLIO (SE > 55%)	INDICE VULNERABILITA' A TAGLIO %
51.40	181.09	0.00	0 %

### Martellamento solai sfalsati - Metodo 1

SUPERFICIE DI CONTATTO (mq)	SUPERFICIE PARETE D'AMBITO (mq)	INDICE MARTELLAMENTO SOLAI SFALSATI	INDICE MARTELLAMENTO SOLAI SFALSATI %
91.87	132.83	0.69	69 %

### Martellamento solai sfalsati - Metodo 2

NODI VULNERABILI	NODI POTENZIALI	INDICE MARTELLAMENTO SOLAI SFALSATI	INDICE MARTELLAMENTO SOLAI SFALSATI %
3	12	0.25	25 %

### Martellamento da cemento armato

SOMMATORIA ALTEZZE (m)	LUNGHEZZA TOTALE DEI PROSPETTI (m)	INDICE MARTELLAMENTO CEMENTO ARMATO	INDICE MARTELLAMENTO CEMENTO ARMATO %
0.00	0.00	0.00	0 %

### Ribaltamento timpano - Metodo 1

SOMMATORIA DISLIVELLI (m)	LUNGHEZZA TOTALE DEI PROSPETTI (m)	INDICE RIBALTAMENTO TIMPANO	INDICE RIBALTAMENTO TIMPANO %
0.00	24.86	0.20	20 %

### Ribaltamento timpano - Metodo 2

NODI VULNERABILI	NODI POTENZIALI	INDICE RIBALTAMENTO TIMPANO	INDICE RIBALTAMENTO TIMPANO %
0	8	0.00	0 %

### Muri in falso

AREA VULNERABILE (mq)	AREA TOTALE (mq)	INDICE MURI IN FALSO	INDICE MURI IN FALSO %
0.00	238.29	0.00	0 %

### Continuità muraria

AREA MURATURE U.P. (mq)	AREA MURATURE P.T. (mq)	INDICE CONTINUITA' MURARIA	INDICE CONTINUITA' MURARIA %	ESITO CONTINUITA' MURARIA (SE < 45%)
4.92	5.14	0.96	96 %	NON VULNERABILE

### Indice analitico globale metodo 1

VGA1 = 33.37

### Indice analitico globale metodo 2

VGA2 = 31.85

### Nuova proposta indice analitico globale metodo 1

NVGA1 = 26.04

### Nuova proposta indice analitico globale metodo 2

NVGA2 = 25.60

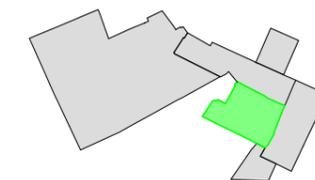
Legenda

}) Disconnessione effettiva



Prospetto A

Prospetto B

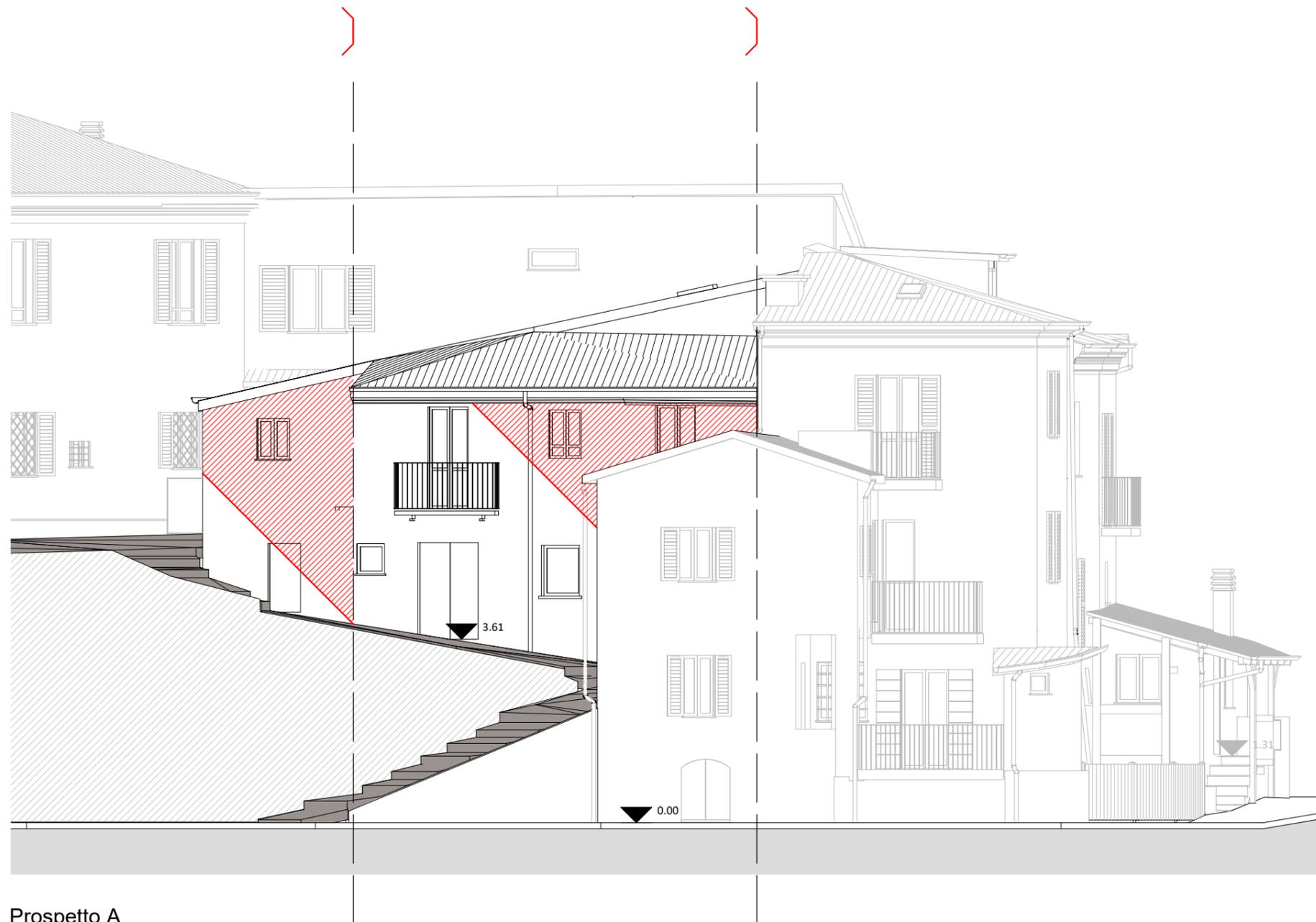


Legenda

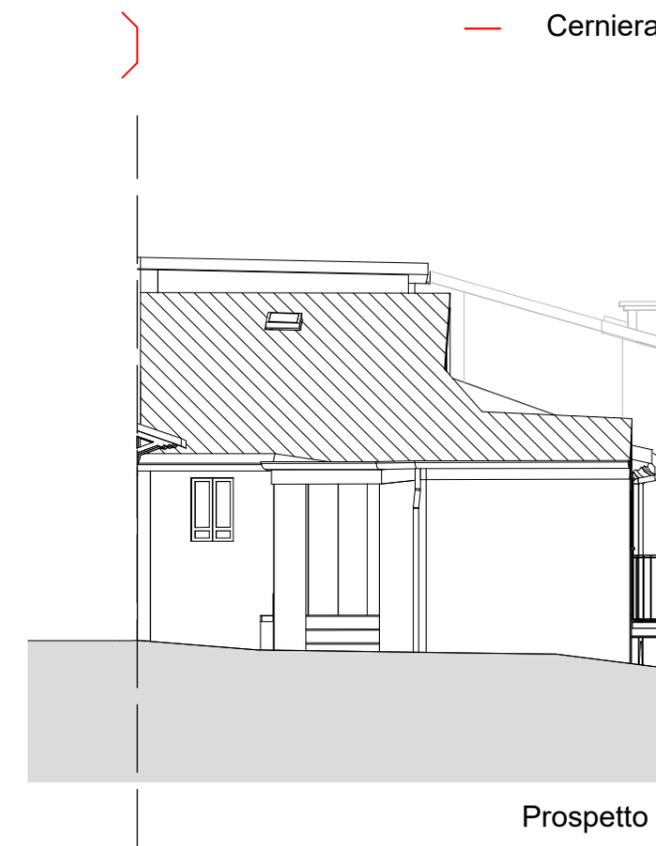
 Area rifusa

 Area ribaltabile

 Cerniera



Prospetto A



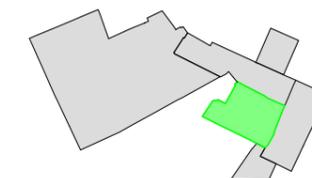
Prospetto B

Metodo 1

SUPERFICIE RIFUSA (mq)	SUPERFICIE RIBALTABILE (mq)	SUPERFICIE TOTALE (mq)	INDICE RIBALTAMENTO FACCIATE
0.00	24.70	51.88	0.48

Metodo 2

SUPERFICIE RIBALTABILE RIDOTTA (mq)	SUPERFICIE TOTALE (mq)	INDICE RIBALTAMENTO FACCIATE
20.07	51.88	0.39



# Analisi della Vulnerabilità: Ribaltamento Facciate

Unità  
2

Scala  
1:100

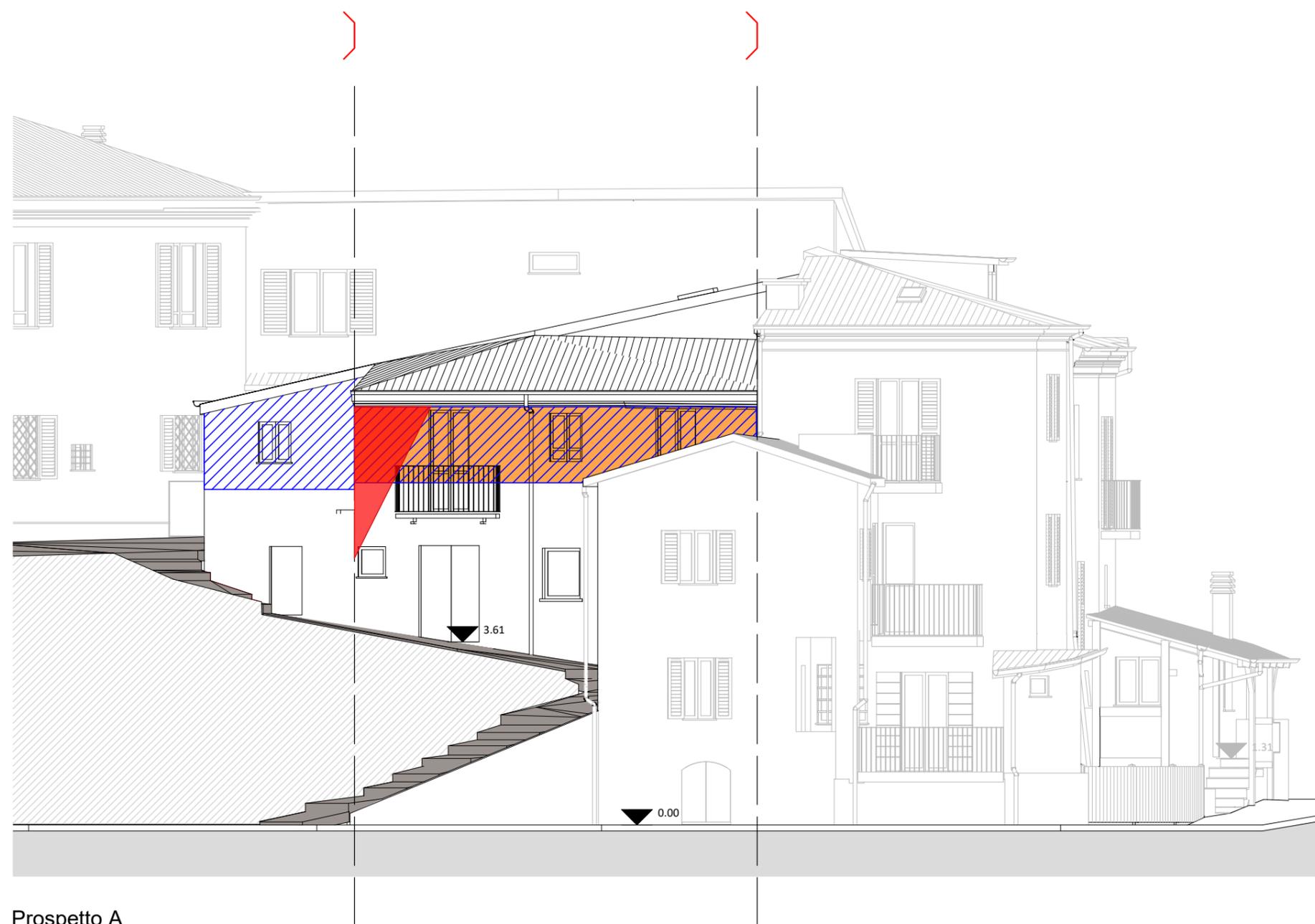
# T17

Legenda

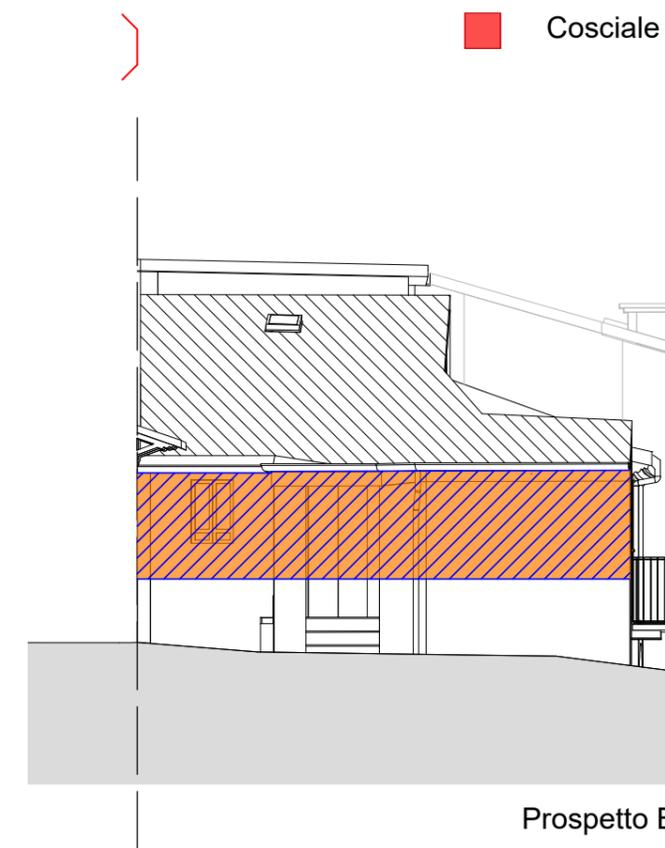
 Fascia Vulnerabile potenziale

 Fascia vulnerabile effettiva

 Cosciale spingente

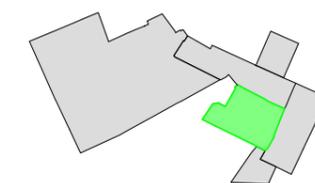


Prospetto A  
Scala 1:100



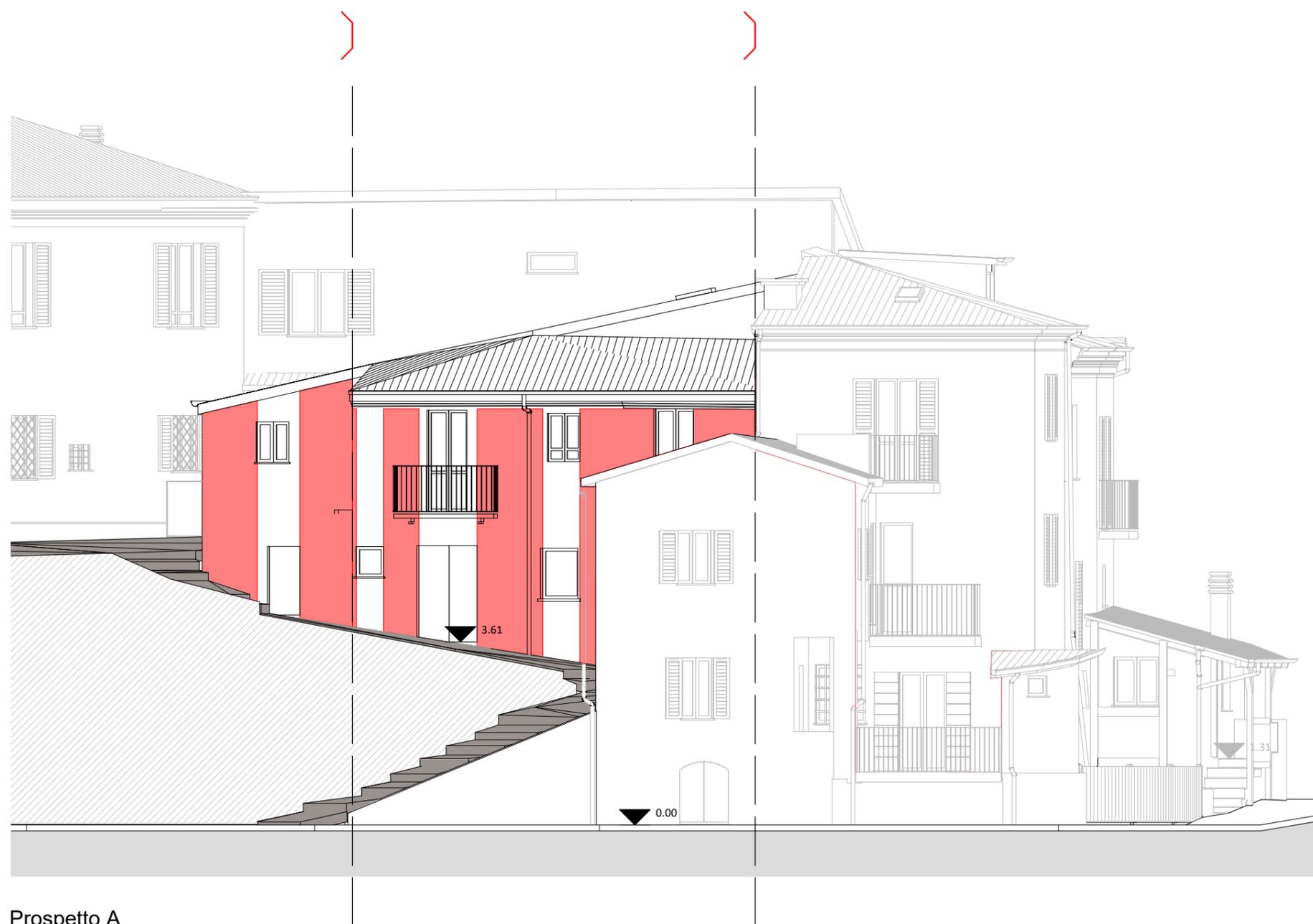
Prospetto B

SUPERFICIE RIBALTABILE (mq)	SUPERFICIE VULNERABILE (mq)	INDICE FALSI PUNTONI
22.10	27.00	0.82



Legenda

Maschi murari



Prospetto A

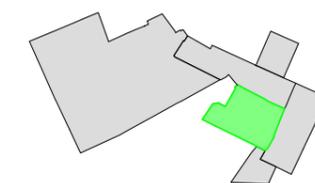
41 %



Prospetto B

20 %

INDICE VULNERABILITÀ  
A TAGLIO  
0.00

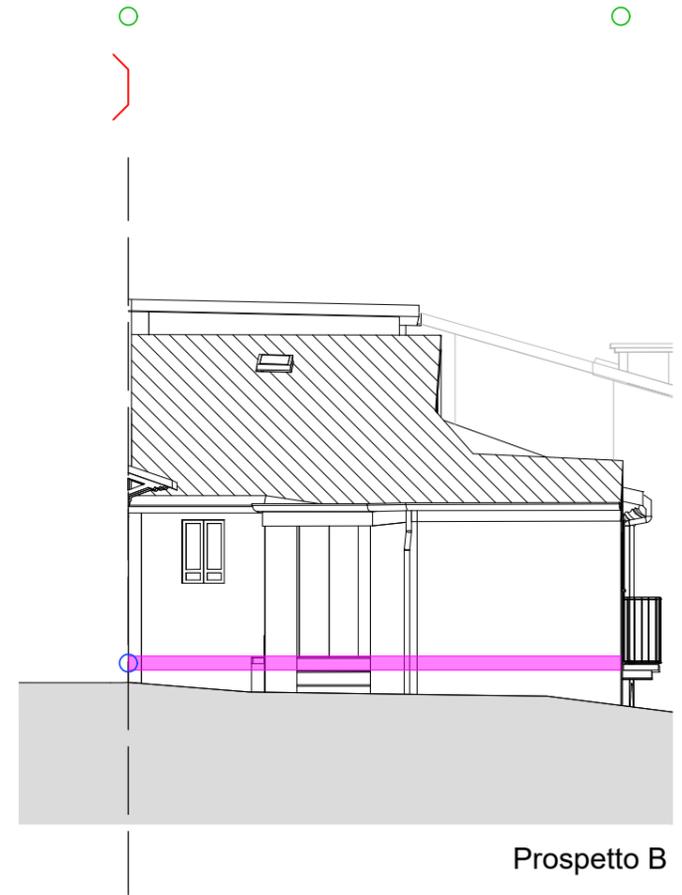


Legenda

-  Solai
-  Nodo potenziale
-  Nodo vulnerabile
-  Timpano potenziale



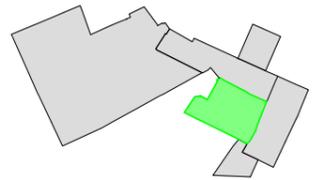
Prospetto A



Prospetto B

INDICE MARTELLAMENTO SOLAI SFALSATI  
0.00

INDICE RIBALTAMENTO TIMPANO  
0.00



### Disconnessione muraria - Metodo 1

DISCONNESSIONE EFFETTIVA	DISCONNESSIONE POTENZIALE	INDICE DISCONNESSIONE MURARIA	INDICE DISCONNESSIONE MURARIA %
9	24	0.38	38 %

### Disconnessione muraria - Metodo 2

DISCONNESSIONE EFFETTIVA	DISCONNESSIONE POTENZIALE	INDICE DISCONNESSIONE MURARIA	INDICE DISCONNESSIONE MURARIA %
9	11	0.82	82 %

### Ribaltamento facciate - Metodo 1

SUPERFICIE SOPRAELEVATA (mq)	SUPERFICIE RIBALTABILE (mq)	SUPERFICIE TOTALE (mq)	INDICE RIBALTAMENTO FACCIATE	INDICE RIBALTAMENTO FACCIATE %
0.00	24.70	51.88	0.48	48 %

### Ribaltamento facciate - Metodo 2

SUPERFICIE RIBALTABILE RIDOTTA (mq)	SUPERFICIE TOTALE (mq)	INDICE RIBALTAMENTO FACCIATE	INDICE RIBALTAMENTO FACCIATE %
20.07	51.88	0.39	39 %

### Falsi puntoni

SUPERFICIE RIBALTABILE (mq)	SUPERFICIE VULNERABILE (mq)	INDICE FALSI PUNTONI	INDICE FALSI PUNTONI %
22.10	27.00	0.82	82 %

### Vulnerabilità a taglio

SUPERFICIE VULNERABILE (mq)	SUPERFICIE TOTALE (mq)	INDICE VULNERABILITA' A TAGLIO (SE > 55%)	INDICE VULNERABILITA' A TAGLIO %
19.03	51.88	0.00	0 %

### Martellamento solai sfalsati - Metodo 1

SUPERFICIE DI CONTATTO (mq)	SUPERFICIE PARETE D'AMBITO (mq)	INDICE MARTELLAMENTO SOLAI SFALSATI	INDICE MARTELLAMENTO SOLAI SFALSATI %
0.00	36.63	0.00	0 %

### Martellamento solai sfalsati - Metodo 2

NODI VULNERABILI	NODI POTENZIALI	INDICE MARTELLAMENTO SOLAI SFALSATI	INDICE MARTELLAMENTO SOLAI SFALSATI %
0	5	0.00	0 %

### Martellamento da cemento armato

SOMMATORIA ALTEZZE (m)	LUNGHEZZA TOTALE DEI PROSPETTI (m)	INDICE MARTELLAMENTO CEMENTO ARMATO	INDICE MARTELLAMENTO CEMENTO ARMATO %
0.00	0.00	0.00	0 %

### Ribaltamento timpano - Metodo 1

SOMMATORIA DISLIVELLI (m)	LUNGHEZZA TOTALE DEI PROSPETTI (m)	INDICE RIBALTAMENTO TIMPANO	INDICE RIBALTAMENTO TIMPANO %
0.00	17.91	0.00	0 %

### Ribaltamento timpano - Metodo 2

NODI VULNERABILI	NODI POTENZIALI	INDICE RIBALTAMENTO TIMPANO	INDICE RIBALTAMENTO TIMPANO %
0	5	0.00	0 %

### Muri in falso

AREA VULNERABILE (mq)	AREA TOTALE (mq)	INDICE MURI IN FALSO	INDICE MURI IN FALSO %
0.00	150.32	0.00	0 %

### Continuità muraria

AREA MURATURE U.P. (mq)	AREA MURATURE P.T. (mq)	INDICE CONTINUITA' MURARIA	INDICE CONTINUITA' MURARIA %	ESITO CONTINUITA' MURARIA (SE < 45%)
3.73	8.71	0.42	42 %	VULNERABILE

### Indice analitico globale metodo 1

VGA1 = 41.56

### Indice analitico globale metodo 2

VGA2 = 46.61

### Nuova proposta indice analitico globale metodo 1

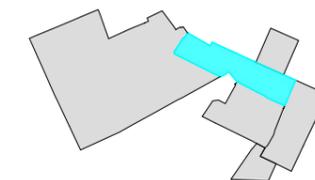
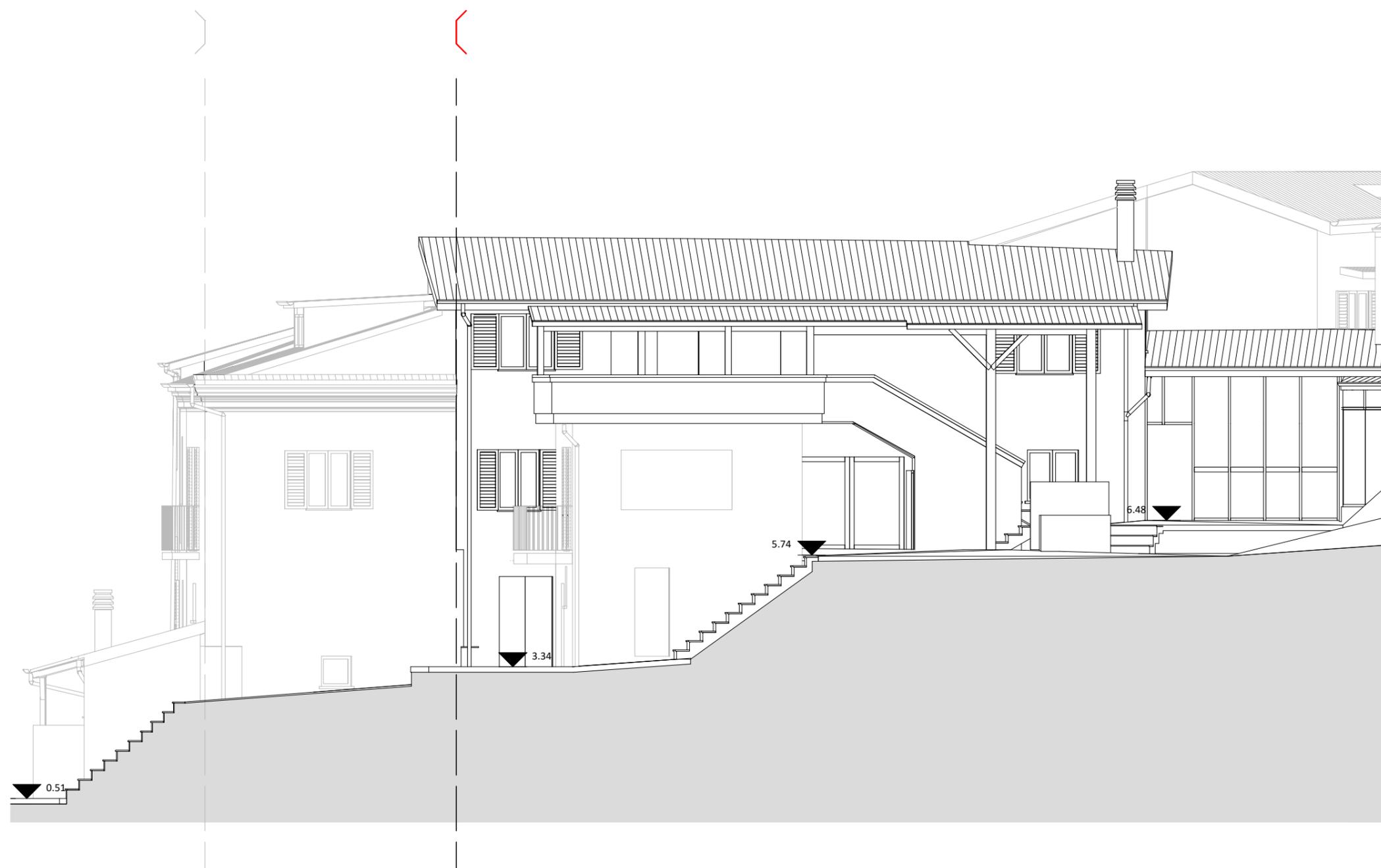
NVGA1 = 42.32

### Nuova proposta indice analitico globale metodo 2

NVGA2 = 46.50

Legenda

 Disconnessione effettiva



Alma Mater Studiorum - Università di Bologna - Scuola di  
Ingegneria e Architettura  
Tesi di Laurea in Architettura Tecnica II

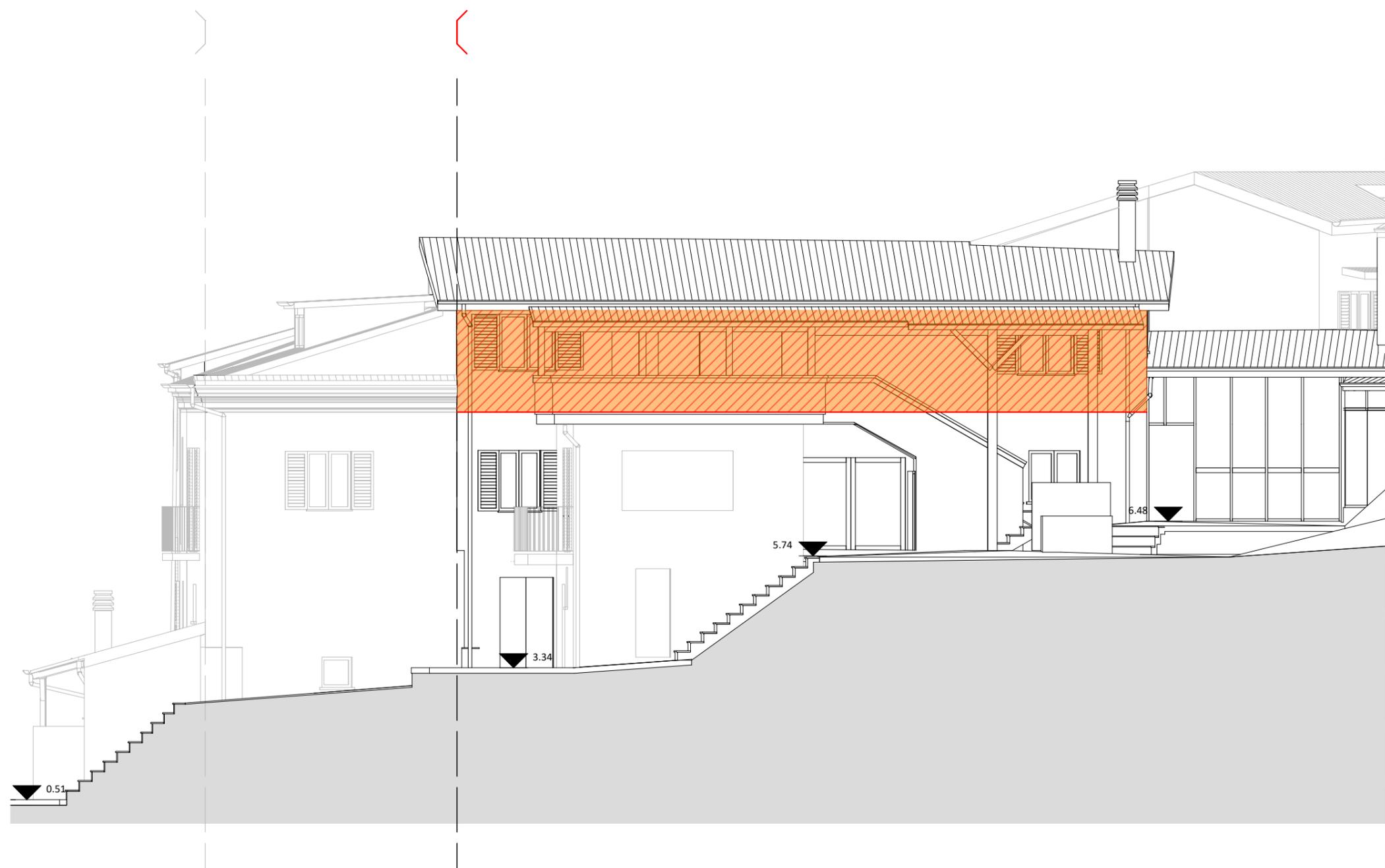
Studente: Marco Salvi  
Relatore: Ing. Giovanni Mochi

# Prospetti

Unità  
3

Scala  
1:100

# T22



Legenda

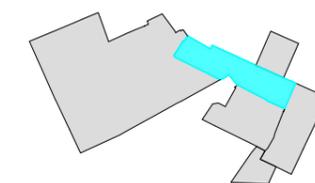
- Area sopraelevata
- Area ribaltabile
- Cerniera

Metodo 1

SUPERFICIE SOPRAELEVATA (mq)	SUPERFICIE RIBALTABILE (mq)	SUPERFICIE TOTALE (mq)	INDICE RIBALTAMENTO FACCIATE
32.20	32.20	62.50	0.52

Metodo 2

SUPERFICIE RIBALTABILE RIDOTTA (mq)	SUPERFICIE TOTALE (mq)	INDICE RIBALTAMENTO FACCIATE
32.20	62.50	0.52



# Analisi della Vulnerabilità: Ribaltamento Facciate

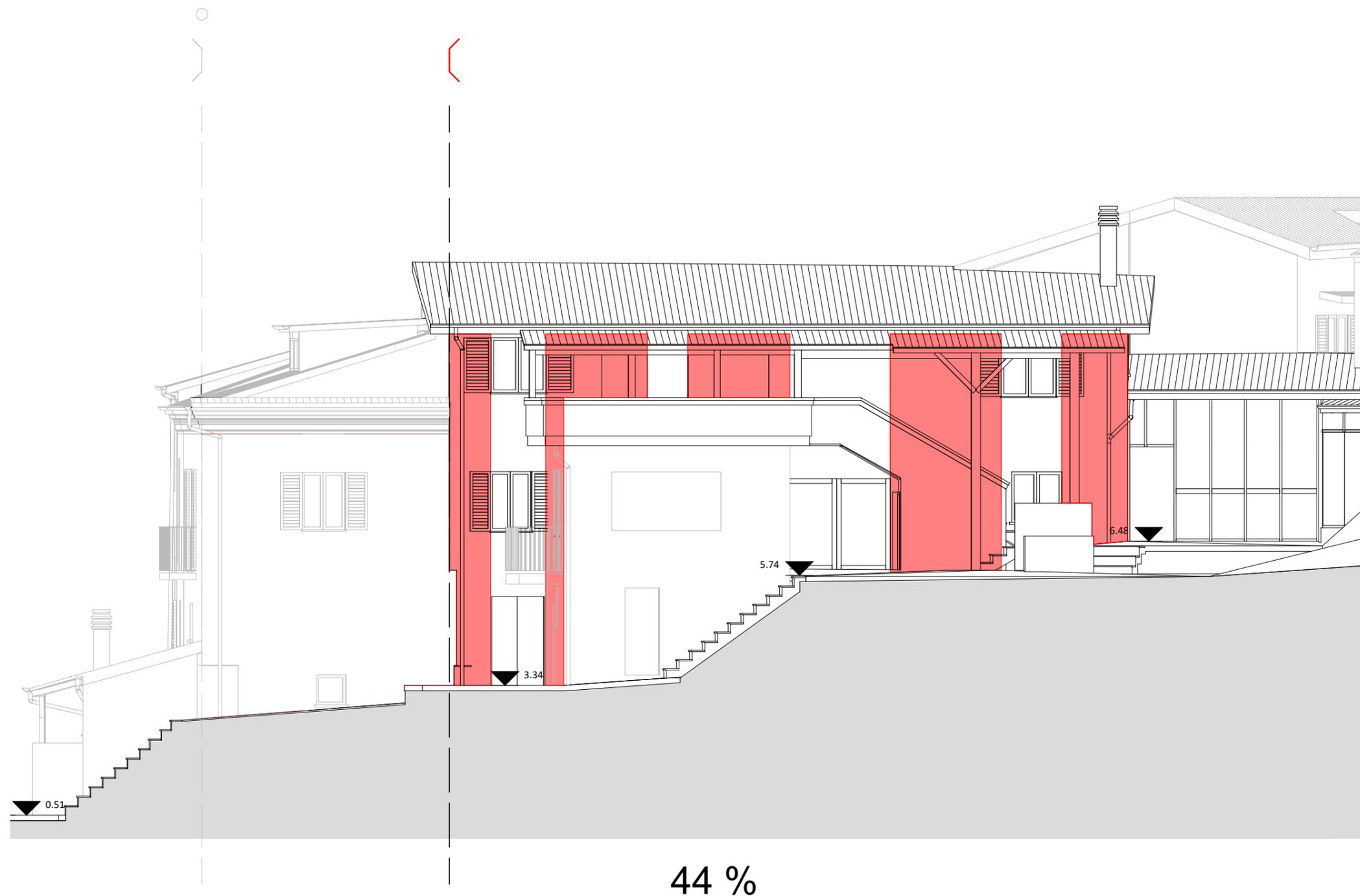
Unità  
3

Scala  
1:100

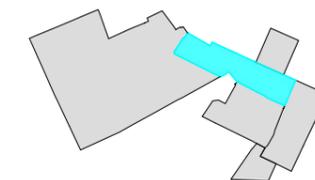
# T23

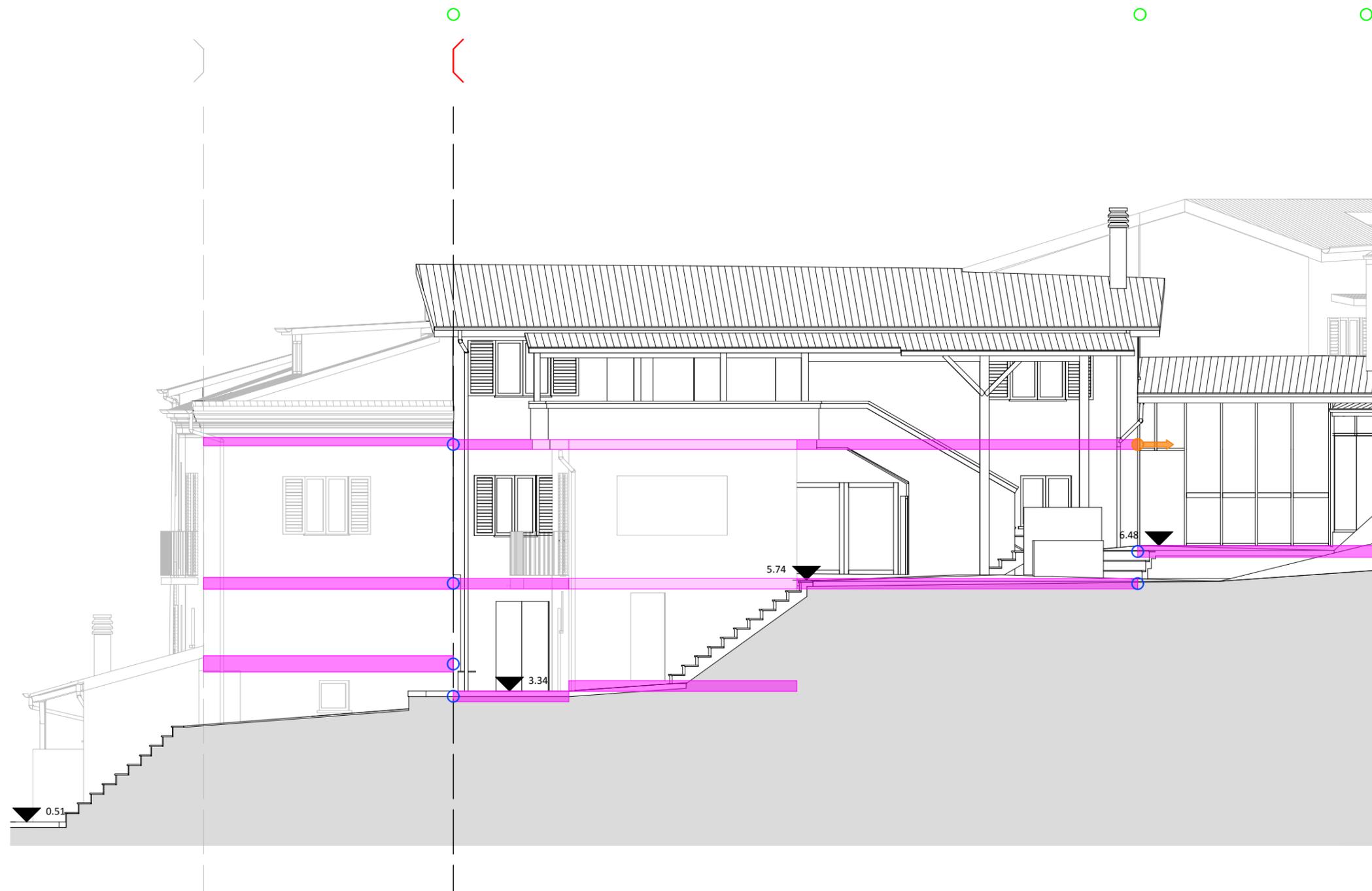
Legenda

 Maschi murari



INDICE VULNERABILITÀ  
A TAGLIO  
0.00





Legenda

- Solaio
- Nodo potenziale solaio
- Nodo vulnerabile solaio
- Nodo potenziale timpano

Metodo 1 martellamento solai sfalsati

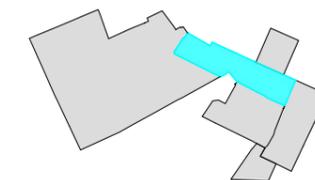
SUPERFICIE DI CONTATTO (mq)	SUPERFICIE PARETE D'AMBITO (mq)	INDICE MARTELLAMENTO SOLAI SFALSATI
10.70	49.80	0.21

Metodo 2 martellamento solai sfalsati

NODI VULNERABILI	NODI POTENZIALI	INDICE MARTELLAMENTO SOLAI SFALSATI
1	5	0.20

Ribaltamento timpano

INDICE RIBALTAMENTO TIMPANO
0.00



## Analisi della Vulnerabilità: Martellamento Solai Sfalsati e Ribaltamento Timpano

Unità  
**3**

Scala  
1:100

# T25

### Disconnessione muraria - Metodo 1

DISCONNESSIONE EFFETTIVA	DISCONNESSIONE POTENZIALE	INDICE DISCONNESSIONE MURARIA	INDICE DISCONNESSIONE MURARIA %
3	26	0.12	12 %

### Disconnessione muraria - Metodo 2

DISCONNESSIONE EFFETTIVA	DISCONNESSIONE POTENZIALE	INDICE DISCONNESSIONE MURARIA	INDICE DISCONNESSIONE MURARIA %
3	13	0.23	23 %

### Ribaltamento facciate - Metodo 1

SUPERFICIE SOPRAELEVATA (mq)	SUPERFICIE RIBALTABILE (mq)	SUPERFICIE TOTALE (mq)	INDICE RIBALTAMENTO FACCIATE	INDICE RIBALTAMENTO FACCIATE %
32.20	32.20	91.59	0.35	35 %

### Ribaltamento facciate - Metodo 2

SUPERFICIE RIBALTABILE RIDOTTA (mq)	SUPERFICIE TOTALE (mq)	INDICE RIBALTAMENTO FACCIATE	INDICE RIBALTAMENTO FACCIATE %
32.20	62.50	0.52	52 %

### Falsi puntoni

SUPERFICIE RIBALTABILE (mq)	SUPERFICIE VULNERABILE (mq)	INDICE FALSI PUNTONI	INDICE FALSI PUNTONI %
0.00	22.22	0.00	0 %

### Vulnerabilità a taglio

SUPERFICIE VULNERABILE (mq)	SUPERFICIE TOTALE (mq)	INDICE VULNERABILITA' A TAGLIO (SE > 55%)	INDICE VULNERABILITA' A TAGLIO %
27.79	62.50	0.00	0 %

### Martellamento solai sfalsati - Metodo 1

SUPERFICIE DI CONTATTO (mq)	SUPERFICIE PARETE D'AMBITO (mq)	INDICE MARTELLAMENTO SOLAI SFALSATI	INDICE MARTELLAMENTO SOLAI SFALSATI %
10.70	49.80	0.21	21 %

### Martellamento solai sfalsati - Metodo 2

NODI VULNERABILI	NODI POTENZIALI	INDICE MARTELLAMENTO SOLAI SFALSATI	INDICE MARTELLAMENTO SOLAI SFALSATI %
1	5	0.20	20 %

### Martellamento da cemento armato

SOMMATORIA ALTEZZE (m)	LUNGHEZZA TOTALE DEI PROSPETTI (m)	INDICE MARTELLAMENTO CEMENTO ARMATO	INDICE MARTELLAMENTO CEMENTO ARMATO %
0.00	0.00	0.00	0 %

### Ribaltamento timpano - Metodo 1

SOMMATORIA DISLIVELLI (m)	LUNGHEZZA TOTALE DEI PROSPETTI (m)	INDICE RIBALTAMENTO TIMPANO	INDICE RIBALTAMENTO TIMPANO %
0.00	14.81	0.00	0 %

### Ribaltamento timpano - Metodo 2

NODI VULNERABILI	NODI POTENZIALI	INDICE RIBALTAMENTO TIMPANO	INDICE RIBALTAMENTO TIMPANO %
0	3	0.00	0 %

### Muri in falso

AREA VULNERABILE (mq)	AREA TOTALE (mq)	INDICE MURI IN FALSO	INDICE MURI IN FALSO %
0.00	202.76	0.00	0 %

### Continuità muraria

AREA MURATURE U.P. (mq)	AREA MURATURE P.T. (mq)	INDICE CONTINUITA' MURARIA	INDICE CONTINUITA' MURARIA %	ESITO CONTINUITA' MURARIA (SE < 45%)
3.72	6.23	0.60	60 %	NON VULNERABILE

### Indice analitico globale metodo 1

VGA1 = 17.34

### Indice analitico globale metodo 2

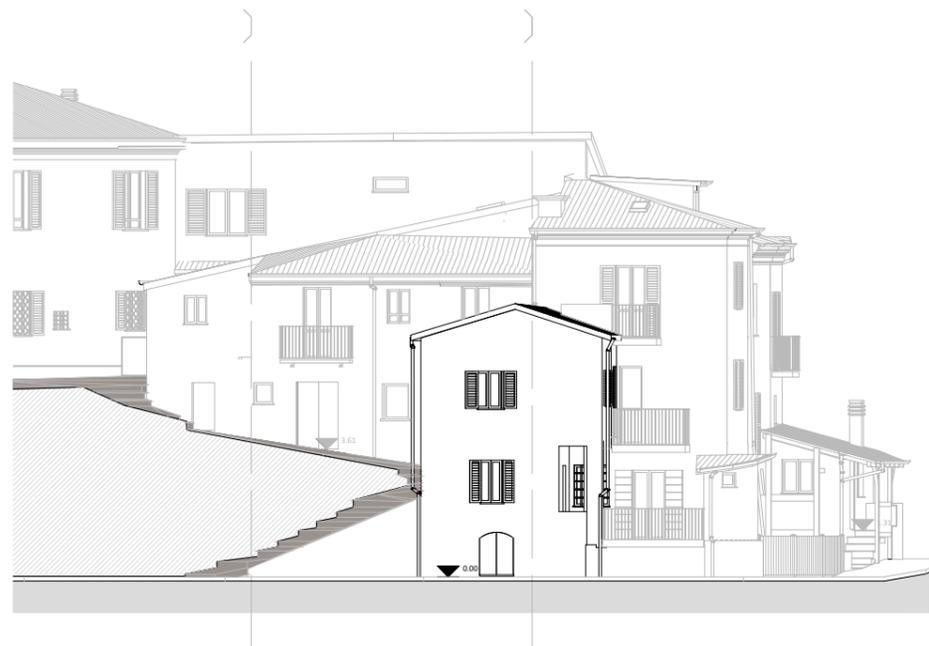
VGA2 = 19.15

### Nuova proposta indice analitico globale metodo 1

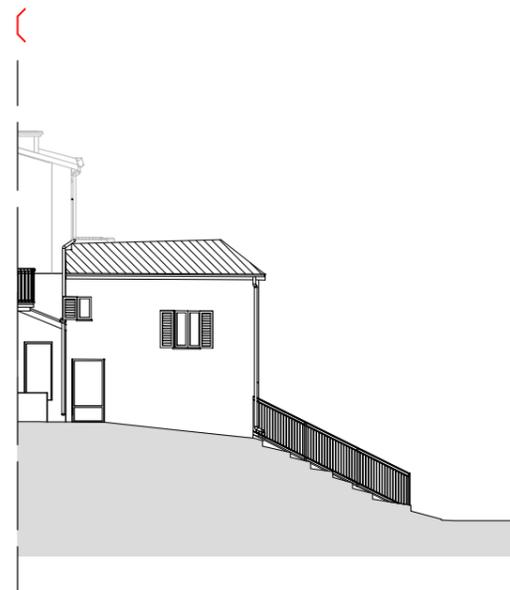
NVGA1 = 13.96

### Nuova proposta indice analitico globale metodo 2

NVGA2 = 15.46



Prospetto A



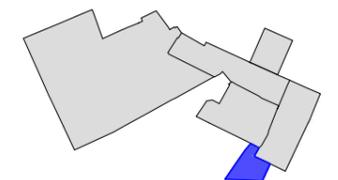
Prospetto B

Legenda

⌋ Disconnessione effettiva



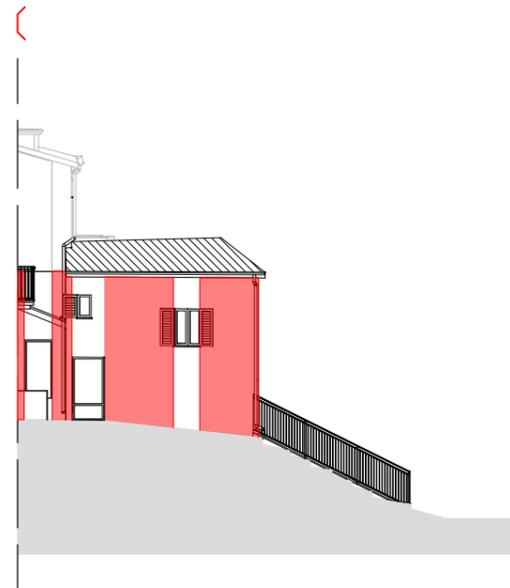
Prospetto C





Prospetto A

35 %



Prospetto B

35 %

Legenda

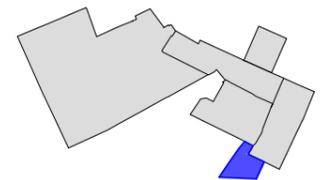
■ Maschi murari



Prospetto C

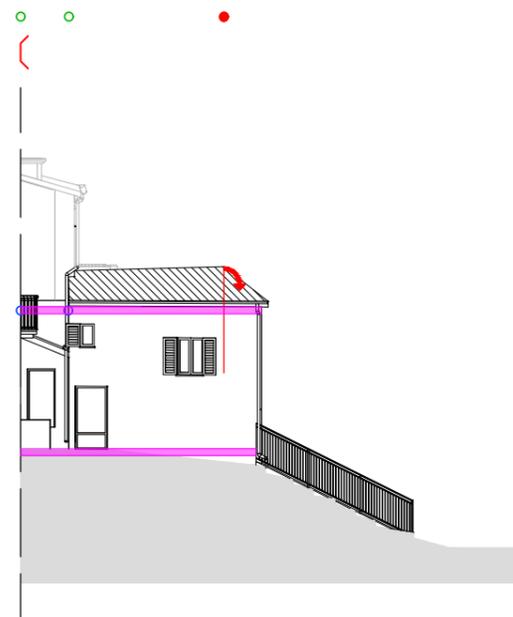
69 %

SUPERFICIE VULNERABILE (mq)	SUPERFICIE TOTALE (mq)	INDICE VULNERABILITA' TAGLIO
4.00	20.37	0.20





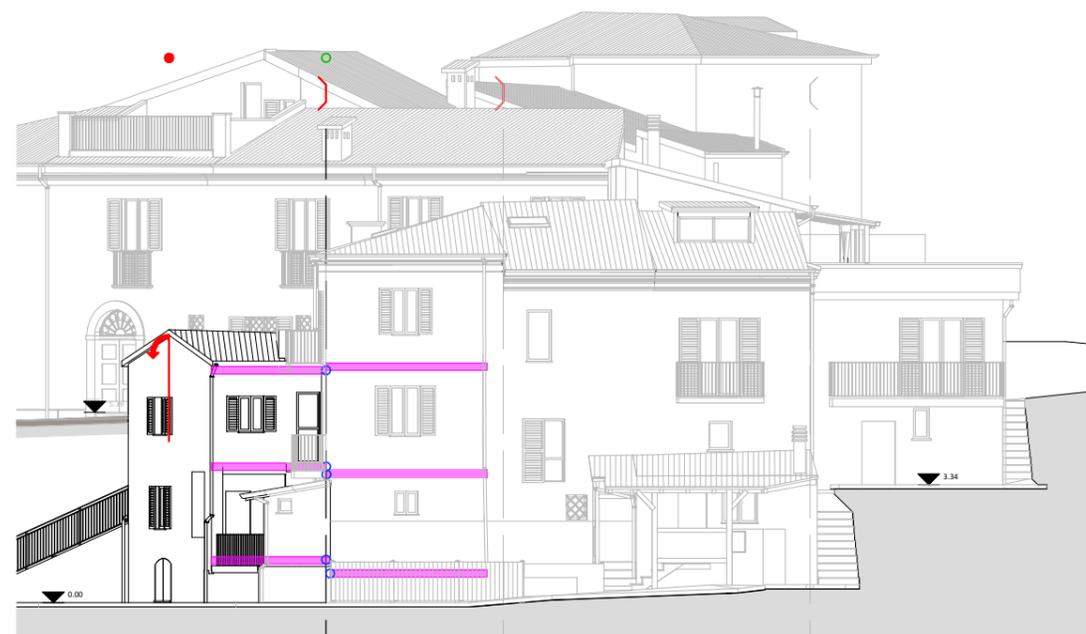
Prospetto A



Prospetto B

Legenda

- Solaio
- Nodo potenziale solaio
- Nodo potenziale timpano
- Nodo vulnerabile timpano
- Timpano vulnerabile



Prospetto C



Metodo 1 ribaltamento timpano

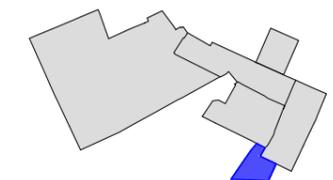
SOMMATORIA DISLIVELLI (m)	LUNGHEZZA TOTALE DEI PROSPETTI (m)	INDICE RIBALTAMENTO TIMPANO
3.00	15.18	0.20

Metodo 2 ribaltamento timpano

NODI VULNERABILI	NODI POTENZIALI	INDICE RIBALTAMENTO TIMPANO
1	5	0.20

Martellamento solai sfalsati

INDICE MARTELLAMENTO SOLAI SFALSATI
0.00



### Disconnessione muraria - Metodo 1

DISCONNESSIONE EFFETTIVA	DISCONNESSIONE POTENZIALE	INDICE DISCONNESSIONE MURARIA	INDICE DISCONNESSIONE MURARIA %
2	10	0.20	20 %

### Disconnessione muraria - Metodo 2

DISCONNESSIONE EFFETTIVA	DISCONNESSIONE POTENZIALE	INDICE DISCONNESSIONE MURARIA	INDICE DISCONNESSIONE MURARIA %
2	4	0.50	50 %

### Ribaltamento facciate - Metodo 1

SUPERFICIE SOPRAELEVATA (mq)	SUPERFICIE RIBALTABILE (mq)	SUPERFICIE TOTALE (mq)	INDICE RIBALTAMENTO FACCIATE	INDICE RIBALTAMENTO FACCIATE %
0.00	0.00	87.27	0.00	0 %

### Ribaltamento facciate - Metodo 2

SUPERFICIE RIBALTABILE RIDOTTA (mq)	SUPERFICIE TOTALE (mq)	INDICE RIBALTAMENTO FACCIATE	INDICE RIBALTAMENTO FACCIATE %
0.00	87.27	0.00	0 %

### Falsi puntoni

SUPERFICIE RIBALTABILE (mq)	SUPERFICIE VULNERABILE (mq)	INDICE FALSI PUNTONI	INDICE FALSI PUNTONI %
0.00	24.82	0.00	0 %

### Vulnerabilità a taglio

SUPERFICIE VULNERABILE (mq)	SUPERFICIE TOTALE (mq)	INDICE VULNERABILITA' A TAGLIO (SE > 55%)	INDICE VULNERABILITA' A TAGLIO %
4.00	20.37	0.20	20 %

### Martellamento solai sfalsati - Metodo 1

SUPERFICIE DI CONTATTO (mq)	SUPERFICIE PARETE D'AMBITO (mq)	INDICE MARTELLAMENTO SOLAI SFALSATI	INDICE MARTELLAMENTO SOLAI SFALSATI %
0.00	38.54	0.00	0 %

### Martellamento solai sfalsati - Metodo 2

NODI VULNERABILI	NODI POTENZIALI	INDICE MARTELLAMENTO SOLAI SFALSATI	INDICE MARTELLAMENTO SOLAI SFALSATI %
0	4	0.00	0 %

### Martellamento da cemento armato

SOMMATORIA ALTEZZE (m)	LUNGHEZZA TOTALE DEI PROSPETTI (m)	INDICE MARTELLAMENTO CEMENTO ARMATO	INDICE MARTELLAMENTO CEMENTO ARMATO %
0.00	0.00	0.00	0 %

### Ribaltamento timpano - Metodo 1

SOMMATORIA DISLIVELLI (m)	LUNGHEZZA TOTALE DEI PROSPETTI (m)	INDICE RIBALTAMENTO TIMPANO	INDICE RIBALTAMENTO TIMPANO %
3.00	15.18	0.20	20 %

### Ribaltamento timpano - Metodo 2

NODI VULNERABILI	NODI POTENZIALI	INDICE RIBALTAMENTO TIMPANO	INDICE RIBALTAMENTO TIMPANO %
1	5	0.20	20 %

### Muri in falso

AREA VULNERABILE (mq)	AREA TOTALE (mq)	INDICE MURI IN FALSO	INDICE MURI IN FALSO %
0.00	39.58	0.00	0 %

### Continuità muraria

AREA MURATURE U.P. (mq)	AREA MURATURE P.T. (mq)	INDICE CONTINUITA' MURARIA	INDICE CONTINUITA' MURARIA %	ESITO CONTINUITA' MURARIA (SE < 45%)
1.07	0.90	1.17	1.17	NON VULNERABILE

### Indice analitico globale metodo 1

VGA1 = 6.60

### Indice analitico globale metodo 2

VGA2 = 11.70

### Nuova proposta indice analitico globale metodo 1

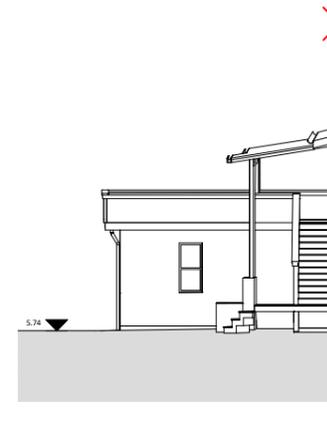
NVGA1 = 5.40

### Nuova proposta indice analitico globale metodo 2

NVGA2 = 9.60



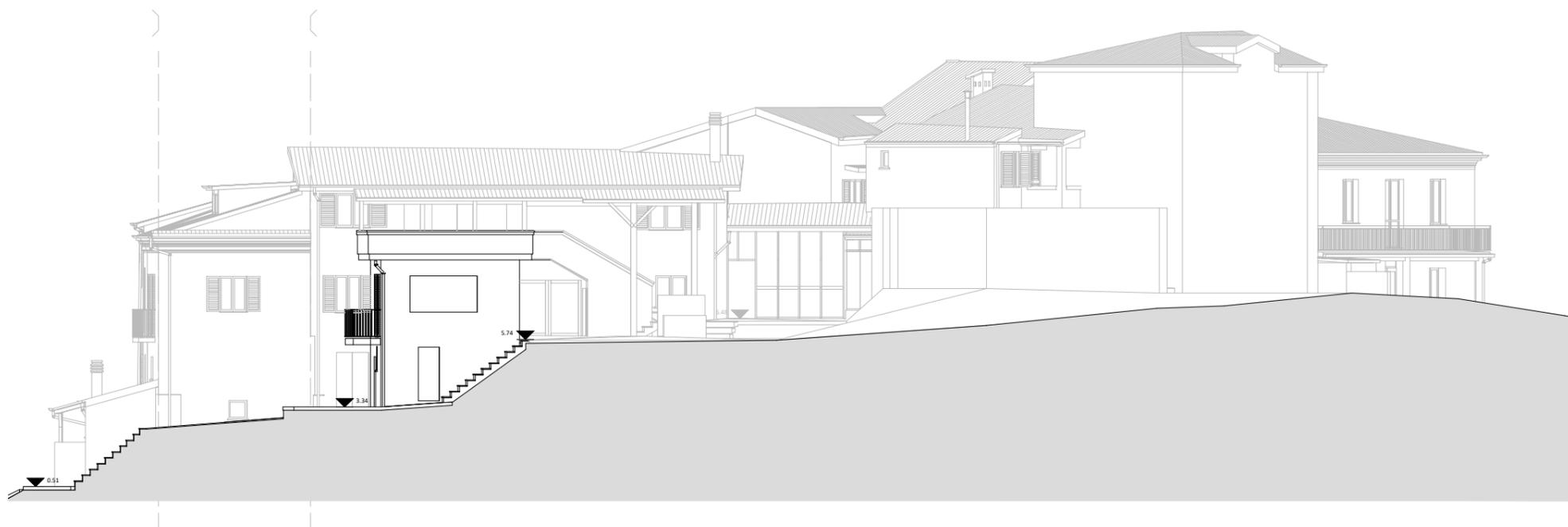
Prospetto A



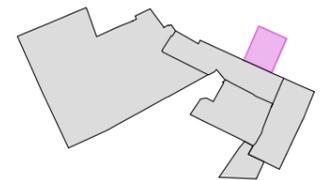
Prospetto B

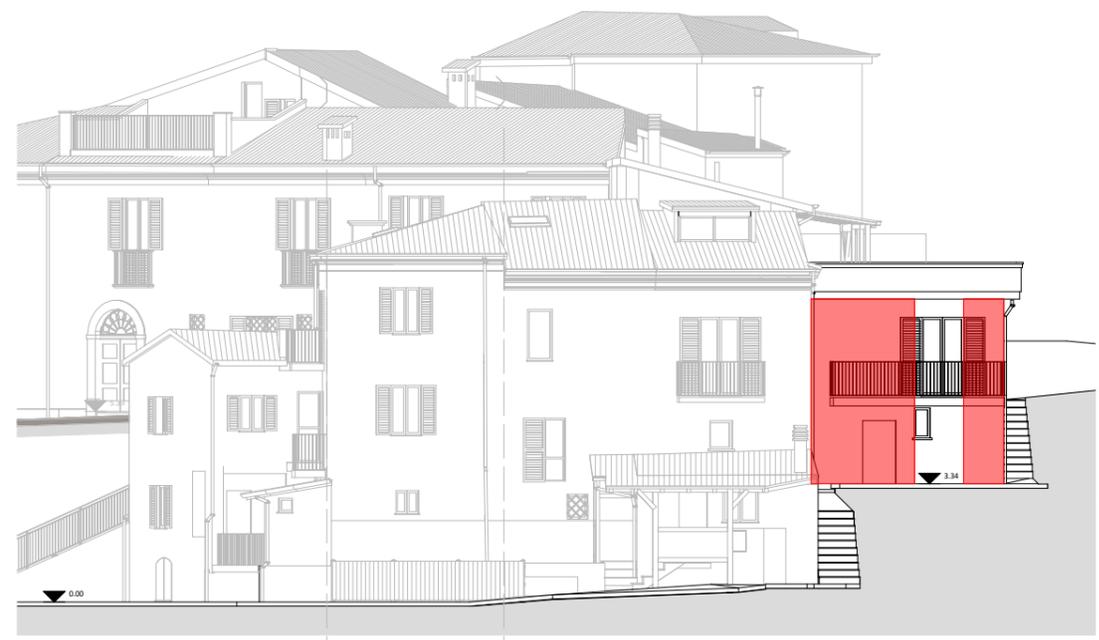
Legenda

 Disconnessione effettiva



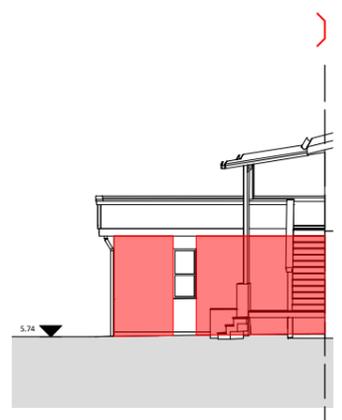
Prospetto C





Prospetto A

26 %



Prospetto B 11 %

Legenda

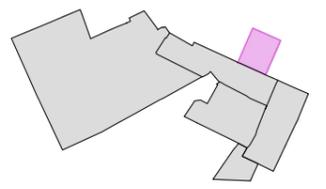
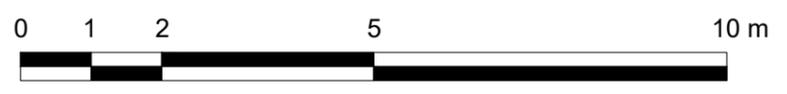
■ Maschi murari

INDICE VULNERABILITÀ A TAGLIO
0.00



Prospetto C

51 %



### Disconnessione muraria - Metodo 1

DISCONNESSIONE EFFETTIVA	DISCONNESSIONE POTENZIALE	INDICE DISCONNESSIONE MURARIA	INDICE DISCONNESSIONE MURARIA %
2	7	0.28	28 %

### Disconnessione muraria - Metodo 2

DISCONNESSIONE EFFETTIVA	DISCONNESSIONE POTENZIALE	INDICE DISCONNESSIONE MURARIA	INDICE DISCONNESSIONE MURARIA %
2	3	0.66	66 %

### Ribaltamento facciate - Metodo 1

SUPERFICIE SOPRAELEVATA (mq)	SUPERFICIE RIBALTABILE (mq)	SUPERFICIE TOTALE (mq)	INDICE RIBALTAMENTO FACCIATE	INDICE RIBALTAMENTO FACCIATE %
0.00	0.00	67.59	0.00	0 %

### Ribaltamento facciate - Metodo 2

SUPERFICIE RIBALTABILE RIDOTTA (mq)	SUPERFICIE TOTALE (mq)	INDICE RIBALTAMENTO FACCIATE	INDICE RIBALTAMENTO FACCIATE %
0.00	67.59	0.00	0 %

### Falsi puntoni

SUPERFICIE RIBALTABILE (mq)	SUPERFICIE VULNERABILE (mq)	INDICE FALSI PUNTONI	INDICE FALSI PUNTONI %
0.00	24.46	0.00	0 %

### Vulnerabilità a taglio

SUPERFICIE VULNERABILE (mq)	SUPERFICIE TOTALE (mq)	INDICE VULNERABILITA' A TAGLIO (SE > 55%)	INDICE VULNERABILITA' A TAGLIO %
20.64	67.59	0.00	0 %

### Martellamento solai sfalsati - Metodo 1

SUPERFICIE DI CONTATTO (mq)	SUPERFICIE PARETE D'AMBITO (mq)	INDICE MARTELLAMENTO SOLAI SFALSATI	INDICE MARTELLAMENTO SOLAI SFALSATI %
0.00	25.44	0.00	0 %

### Martellamento solai sfalsati - Metodo 2

NODI VULNERABILI	NODI POTENZIALI	INDICE MARTELLAMENTO SOLAI SFALSATI	INDICE MARTELLAMENTO SOLAI SFALSATI %
0	3	0.00	0 %

### Martellamento da cemento armato

SOMMATORIA ALTEZZE (m)	LUNGHEZZA TOTALE DEI PROSPETTI (m)	INDICE MARTELLAMENTO CEMENTO ARMATO	INDICE MARTELLAMENTO CEMENTO ARMATO %
0.00	0.00	0.00	0 %

### Ribaltamento timpano - Metodo 1

SOMMATORIA DISLIVELLI (m)	LUNGHEZZA TOTALE DEI PROSPETTI (m)	INDICE RIBALTAMENTO TIMPANO	INDICE RIBALTAMENTO TIMPANO %
0.00	16.97	0.00	0 %

### Ribaltamento timpano - Metodo 2

NODI VULNERABILI	NODI POTENZIALI	INDICE RIBALTAMENTO TIMPANO	INDICE RIBALTAMENTO TIMPANO %
0	4	0.00	0 %

### Muri in falso

AREA VULNERABILE (mq)	AREA TOTALE (mq)	INDICE MURI IN FALSO	INDICE MURI IN FALSO %
0.00	55.78	0.00	0 %

### Continuità muraria

AREA MURATURE U.P. (mq)	AREA MURATURE P.T. (mq)	INDICE CONTINUITA' MURARIA	INDICE CONTINUITA' MURARIA %	ESITO CONTINUITA' MURARIA (SE < 45%)
0.00	0.00	0.00	0.00	0 %

### Indice analitico globale metodo 1

VGA1 = 4.76

### Indice analitico globale metodo 2

VGA2 = 11.22

### Nuova proposta indice analitico globale metodo 1

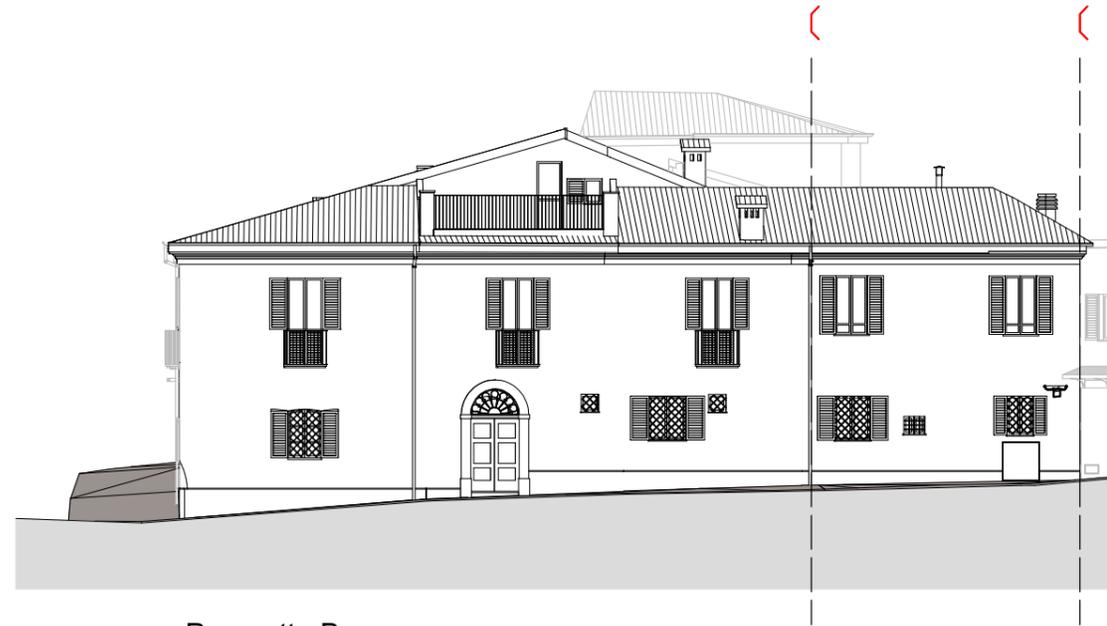
NVGA1 = 3.92

### Nuova proposta indice analitico globale metodo 2

NVGA2 = 9.24



Prospetto A



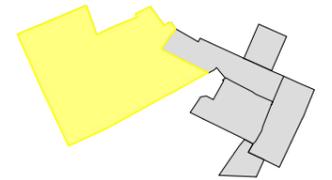
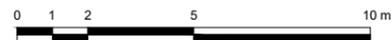
Prospetto B

Legenda

⌋ Disconnessione effettiva



Prospetto C





Prospetto A



Prospetto B

Legenda

 Area rifiuta

 Area ribaltabile



Prospetto C

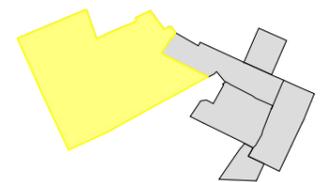


Metodo 1

SUPERFICIE RIFUSA (mq)	SUPERFICIE RIBALTABILE (mq)	SUPERFICIE TOTALE (mq)	INDICE RIBALTAMENTO FACCIATE
232.34	184.43	377.41	0.49

Metodo 2

SUPERFICIE RIBALTABILE RIDOTTA (mq)	SUPERFICIE TOTALE (mq)	INDICE RIBALTAMENTO FACCIATE
157.42	377.41	0.41

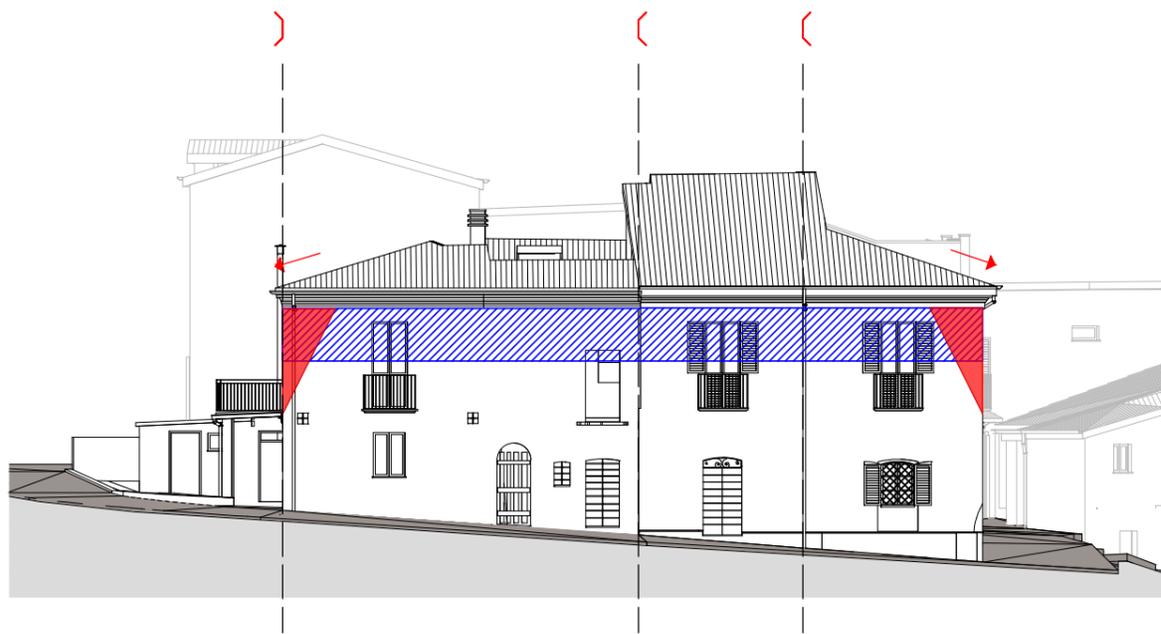


# Analisi della Vulnerabilità: Ribaltamento Facciate

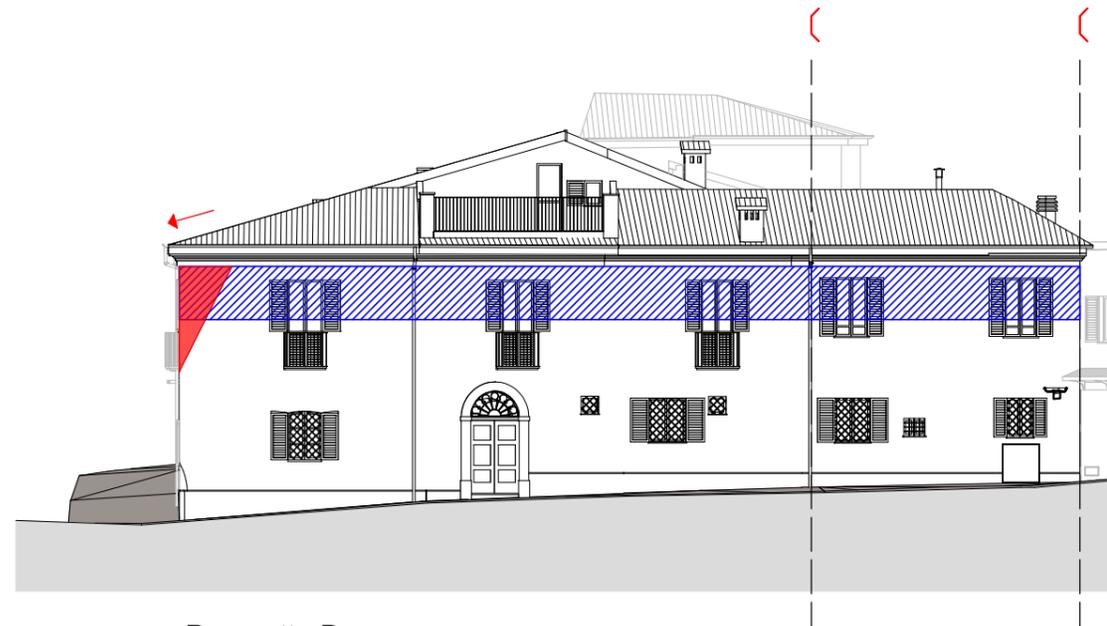
Unità  
6

Scala  
1:200

# T35



Prospecto A



Prospecto B

Legenda

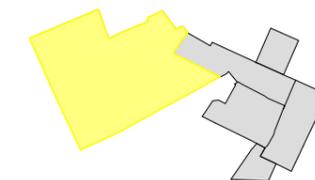
-  Fascia vulnerabile potenziale
-  Fascia vulnerabile effettiva
-  Cosciale spingente



Prospecto C



SUPERFICIE RIBALTABILE (mq)	SUPERFICIE VULNERABILE (mq)	INDICE FALSI PUNTONI
24.90	94.43	0.26



# Analisi della Vulnerabilità: Falsi Puntoni

Unità  
6

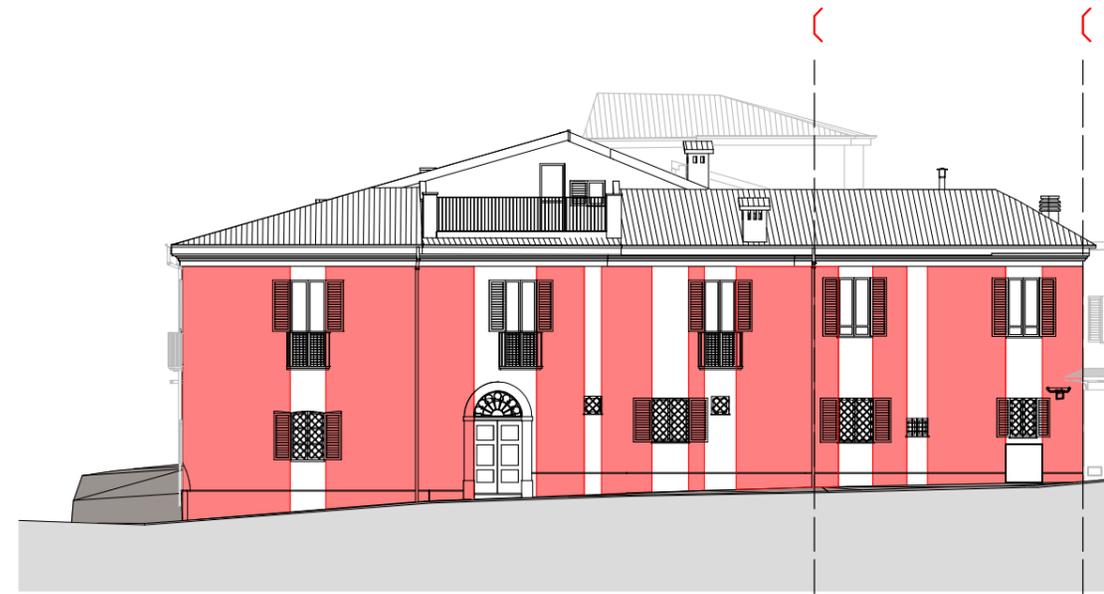
Scala  
1:200

# T36



Prospetto A

28 %



Prospetto B

30 %

Legenda

■ Maschi murari

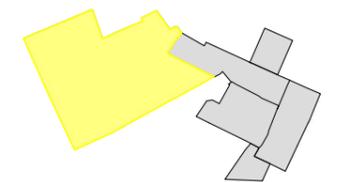


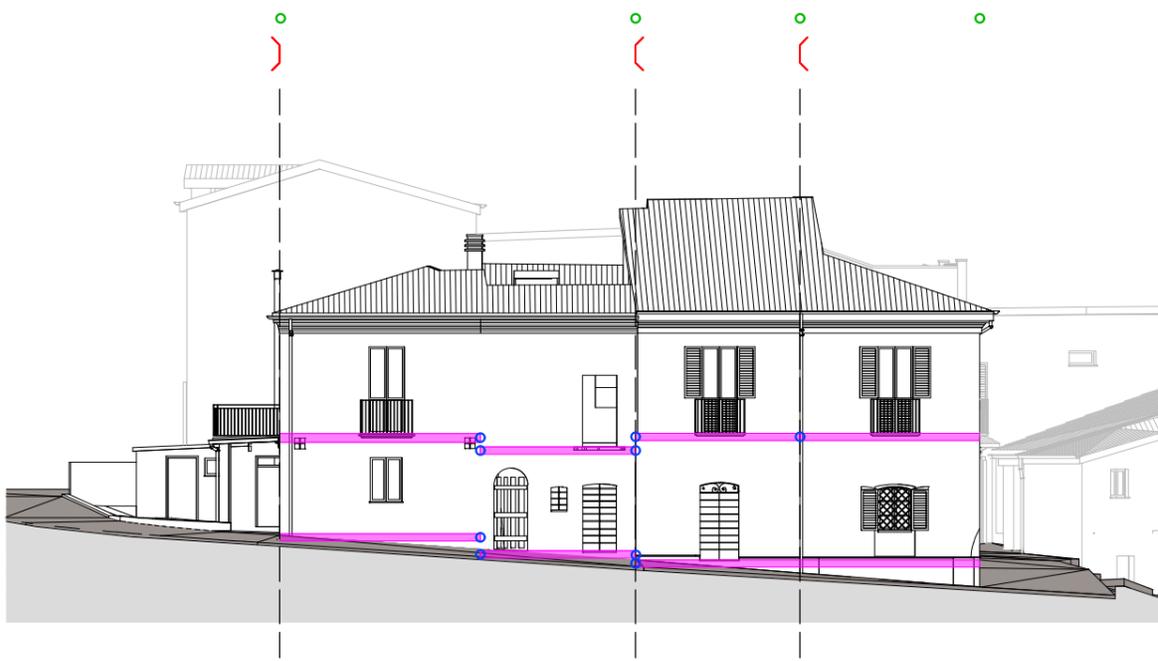
Prospetto C

36 %

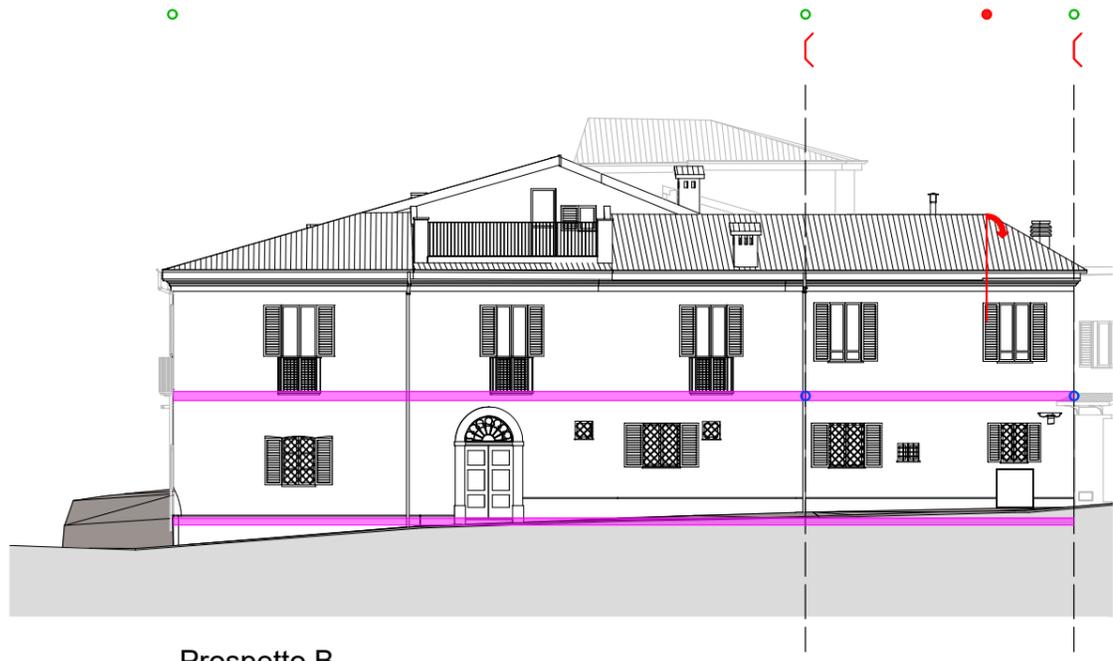
INDICE VULNERABILITÀ  
A TAGLIO  
0.00

0 1 2 5 10 m





Prospetto A



Prospetto B

- Legenda
- Solaio
  - Nodo potenziale solaio
  - Nodo vulnerabile timpano
  - Nodo potenziale timpano
  - Timpano vulnerabile



Prospetto C



Metodo 1 ribaltamento timpano

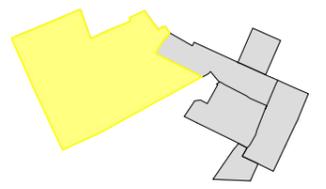
SOMMATORIA DISLIVELLI (m)	LUNGHEZZA TOTALE DEI PROSPETTI (m)	INDICE RIBALTAMENTO TIMPANO
3.00	62.95	0.05

Metodo 2 ribaltamento timpano

NODI VULNERABILI	NODI POTENZIALI	INDICE RIBALTAMENTO TIMPANO
1	12	0.08

Martellamento solai sfalsati

INDICE MARTELLAMENTO SOLAI SFALSATI
0.00



### Disconnessione muraria - Metodo 1

DISCONNESSIONE EFFETTIVA	DISCONNESSIONE POTENZIALE	INDICE DISCONNESSIONE MURARIA	INDICE DISCONNESSIONE MURARIA %
28	75	0.37	37 %

### Disconnessione muraria - Metodo 2

DISCONNESSIONE EFFETTIVA	DISCONNESSIONE POTENZIALE	INDICE DISCONNESSIONE MURARIA	INDICE DISCONNESSIONE MURARIA %
28	34	0.82	82 %

### Ribaltamento facciate - Metodo 1

SUPERFICIE RIFUSA (mq)	SUPERFICIE RIBALTABILE (mq)	SUPERFICIE TOTALE (mq)	INDICE RIBALTAMENTO FACCIATE	INDICE RIBALTAMENTO FACCIATE %
232.34	184.43	377.41	0.49	49 %

### Ribaltamento facciate - Metodo 2

SUPERFICIE RIBALTABILE RIDOTTA (mq)	SUPERFICIE TOTALE (mq)	INDICE RIBALTAMENTO FACCIATE	INDICE RIBALTAMENTO FACCIATE %
157.42	377.41	0.41	41 %

### Falsi puntoni

SUPERFICIE RIBALTABILE (mq)	SUPERFICIE VULNERABILE (mq)	INDICE FALSI PUNTONI	INDICE FALSI PUNTONI %
24.90	94.43	0.26	26 %

### Vulnerabilità a taglio

SUPERFICIE VULNERABILE (mq)	SUPERFICIE TOTALE (mq)	INDICE VULNERABILITA' A TAGLIO (SE > 55%)	INDICE VULNERABILITA' A TAGLIO %
115.39	377.41	0.00	0 %

### Martellamento solai sfalsati - Metodo 1

SUPERFICIE DI CONTATTO (mq)	SUPERFICIE PARETE D'AMBITO (mq)	INDICE MARTELLAMENTO SOLAI SFALSATI	INDICE MARTELLAMENTO SOLAI SFALSATI %
0.00	159.80	0.00	0 %

### Martellamento solai sfalsati - Metodo 2

NODI VULNERABILI	NODI POTENZIALI	INDICE MARTELLAMENTO SOLAI SFALSATI	INDICE MARTELLAMENTO SOLAI SFALSATI %
0	7	0.00	0 %

### Martellamento da cemento armato

SOMMATORIA ALTEZZE (m)	LUNGHEZZA TOTALE DEI PROSPETTI (m)	INDICE MARTELLAMENTO CEMENTO ARMATO	INDICE MARTELLAMENTO CEMENTO ARMATO %
0.00	0.00	0.00	0 %

### Ribaltamento timpano - Metodo 1

SOMMATORIA DISLIVELLI (m)	LUNGHEZZA TOTALE DEI PROSPETTI (m)	INDICE RIBALTAMENTO TIMPANO	INDICE RIBALTAMENTO TIMPANO %
3.00	62.95	0.05	5 %

### Ribaltamento timpano - Metodo 2

NODI VULNERABILI	NODI POTENZIALI	INDICE RIBALTAMENTO TIMPANO	INDICE RIBALTAMENTO TIMPANO %
1	12	0.08	8 %

### Muri in falso

AREA VULNERABILE (mq)	AREA TOTALE (mq)	INDICE MURI IN FALSO	INDICE MURI IN FALSO %
0.00	763.69	0.00	0 %

### Continuità muraria

AREA MURATURE U.P. (mq)	AREA MURATURE P.T. (mq)	INDICE CONTINUITA' MURARIA	INDICE CONTINUITA' MURARIA %	ESITO CONTINUITA' MURARIA (SE < 45%)
57.71	75.13	0.76	76 %	NON VULNERABILE

### Indice analitico globale metodo 1

VGA1 = 26.89

### Indice analitico globale metodo 2

VGA2 = 32.80

### Nuova proposta indice analitico globale metodo 1

NVGA1 = 21.98

### Nuova proposta indice analitico globale metodo 2

NVGA2 = 26.70

### Disconnessione muraria - Metodo 1

DISCONNESSIONE EFFETTIVA	DISCONNESSIONE POTENZIALE	INDICE DISCONNESSIONE MURARIA	INDICE DISCONNESSIONE MURARIA %
48	138	0.35	35 %

### Disconnessione muraria - Metodo 2

DISCONNESSIONE EFFETTIVA	DISCONNESSIONE POTENZIALE	INDICE DISCONNESSIONE MURARIA	INDICE DISCONNESSIONE MURARIA %
48	61	0.79	79 %

### Ribaltamento facciate - Metodo 1

SUPERFICIE SOPRAELEVATA (mq)	SUPERFICIE RIFUSA (mq)	SUPERFICIE RIBALTABILE (mq)	SUPERFICIE TOTALE (mq)	INDICE RIBALTAMENTO FACCIATE	INDICE RIBALTAMENTO FACCIATE %
115.77	232.34	325.00	815.96	0.40	40 %

### Ribaltamento facciate - Metodo 2

SUPERFICIE RIBALTABILE RIDOTTA (mq)	SUPERFICIE TOTALE (mq)	INDICE RIBALTAMENTO FACCIATE	INDICE RIBALTAMENTO FACCIATE %
265.15	815.96	0.32	32 %

### Falsi puntoni

SUPERFICIE RIBALTABILE (mq)	SUPERFICIE VULNERABILE (mq)	INDICE FALSI PUNTONI	INDICE FALSI PUNTONI %
70.44	230.81	0.31	31 %

### Vulnerabilità a taglio

SUPERFICIE VULNERABILE (mq)	SUPERFICIE TOTALE (mq)	INDICE VULNERABILITA' A TAGLIO (SE > 55%)	INDICE VULNERABILITA' A TAGLIO %
4.00	815.96	0.005	0.5 %

### Martellamento solai sfalsati - Metodo 1

SUPERFICIE DI CONTATTO (mq)	SUPERFICIE PARETE D'AMBITO (mq)	INDICE MARTELLAMENTO SOLAI SFALSATI	INDICE MARTELLAMENTO SOLAI SFALSATI %
102.57	327.90	0.31	31 %

### Martellamento solai sfalsati - Metodo 2

NODI VULNERABILI	NODI POTENZIALI	INDICE MARTELLAMENTO SOLAI SFALSATI	INDICE MARTELLAMENTO SOLAI SFALSATI %
4	36	0.11	11 %

### Martellamento da cemento armato

SOMMATORIA ALTEZZE (m)	LUNGHEZZA TOTALE DEI PROSPETTI (m)	INDICE MARTELLAMENTO CEMENTO ARMATO	INDICE MARTELLAMENTO CEMENTO ARMATO %
0.00	0.00	0.00	0 %

### Ribaltamento timpano - Metodo 1

SOMMATORIA DISLIVELLI (m)	LUNGHEZZA TOTALE DEI PROSPETTI (m)	INDICE RIBALTAMENTO TIMPANO	INDICE RIBALTAMENTO TIMPANO %
6.00	152.68	0.04	4 %

### Ribaltamento timpano - Metodo 2

NODI VULNERABILI	NODI POTENZIALI	INDICE RIBALTAMENTO TIMPANO	INDICE RIBALTAMENTO TIMPANO %
2	37	0.05	5 %

### Muri in falso

AREA VULNERABILE (mq)	AREA TOTALE (mq)	INDICE MURI IN FALSO	INDICE MURI IN FALSO %
0.00	1450.42	0.00	0 %

### Trasformazione in pianta (speditiva)

AREA II IMPIANTO (mq)	AREA I IMPIANTO (mq)	TRASFORMAZIONE IN PIANTA	TRASFORMAZIONE IN PIANTA %
681.46	192.03	0.71	71 %

### Trasformazione in alzata (speditiva)

SUPERFICIE VULNERABILE (mq)	SUPERFICIE TOTALE (mq)	TRASFORMAZIONE IN ALZATO	TRASFORMAZIONE IN ALZATO %
348.11	815.96	0.43	43 %

### Vulnerabilità a taglio (speditivo)

SUPERFICIE VULNERABILE (mq)	SUPERFICIE TOTALE (mq)	INDICE VULNERABILITA' A TAGLIO (SE > 55%)	INDICE VULNERABILITA' A TAGLIO %
4.00	815.96	0.005	0.5 %

### Indice analitico globale metodo 1

VGA1 = 27.31

### Indice analitico globale metodo 2

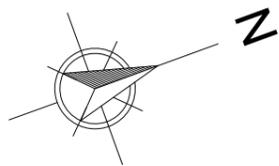
VGA2 = 31.90

### Indice speditivo globale metodo 2

VGS1 = 34.24

### Indice speditivo globale metodo 2

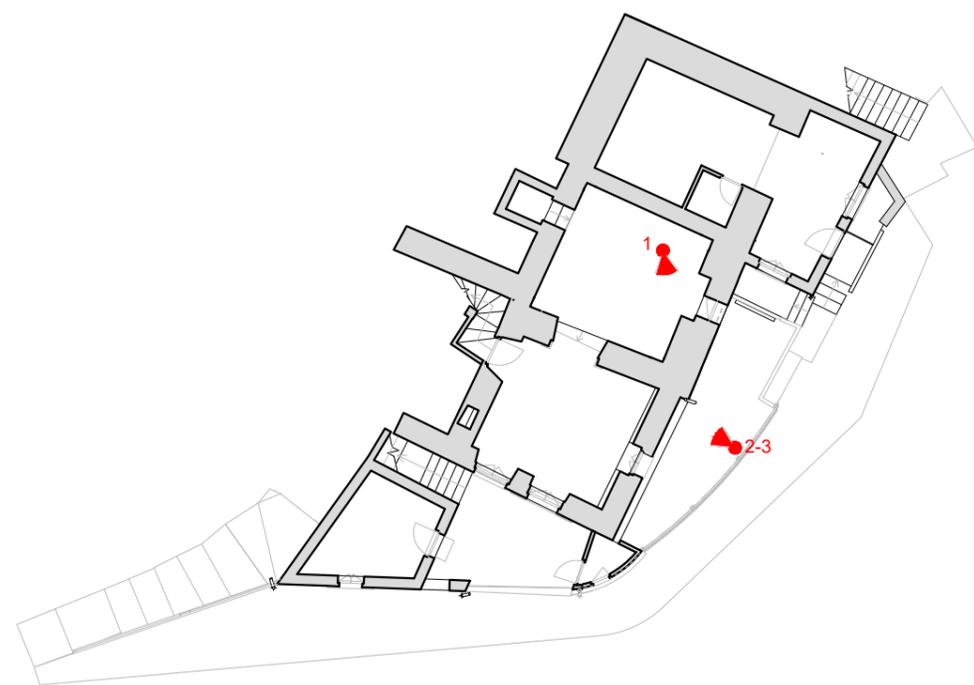
VGS2 = 33.51



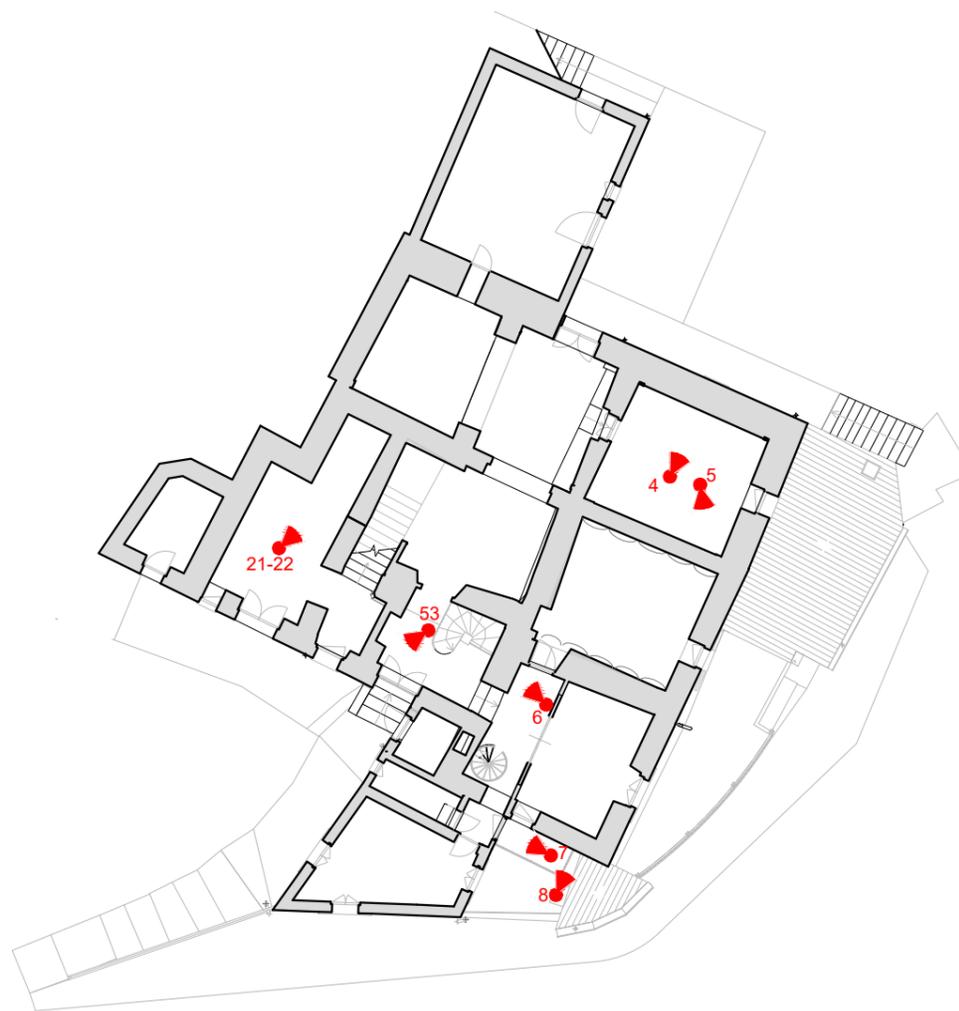
### Legenda



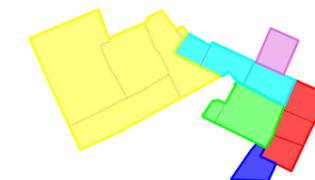
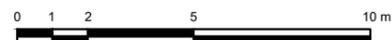
Cono ottico

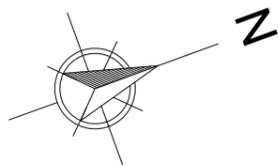


Piano terra



Piano primo

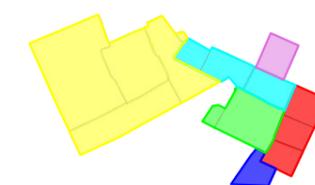
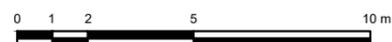


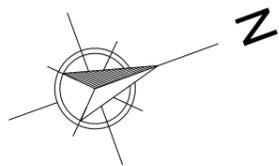


### Legenda



Cono ottico

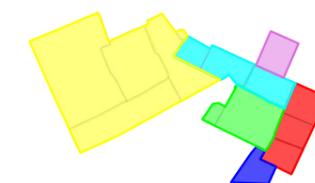
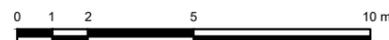


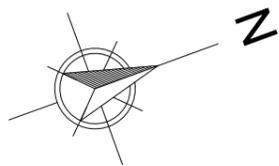


### Legenda



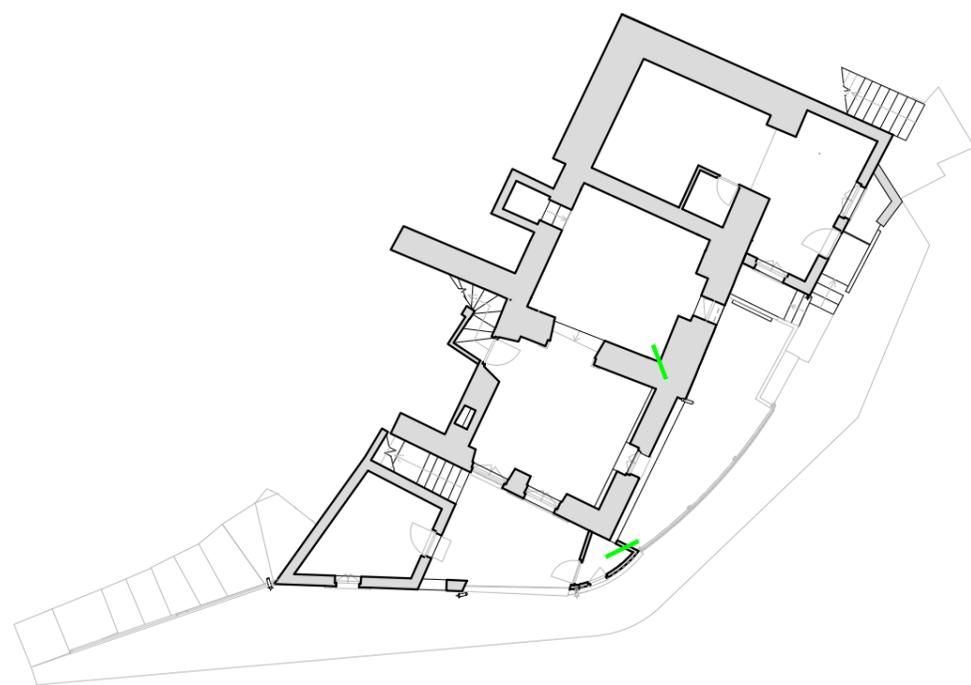
Cono ottico





### Legenda

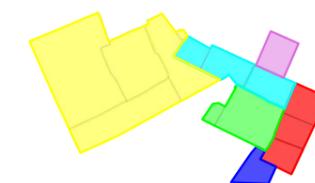
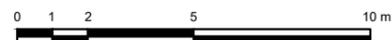
-  lesione isolata
-  lesioni architrave
-  lesione tra muratura e solaio
-  lesioni diffuse
-  lesione passante
-  lesione/dissesto del solaio/copertura
-  Entità lieve del danno
-  Entità medio-grave del danno

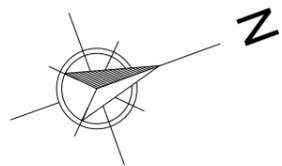


Piano terra



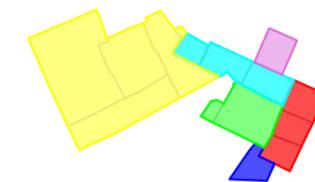
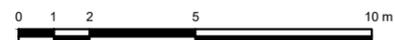
Piano primo

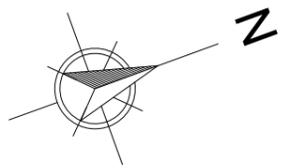




Legenda

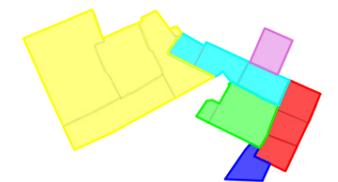
-  lesione isolata
-  lesioni architrave
-  lesione tra muratura e solaio
-  lesioni diffuse
-  lesione passante
-  lesione/dissesto del solaio/copertura
-  Entità lieve del danno
-  Entità medio-grave del danno





Legenda

-  lesione isolata
-  lesioni architrave
-  lesione tra muratura e solaio
-  lesioni diffuse
-  lesione passante
-  lesione/dissesto del solaio/copertura
-  Entità lieve del danno
-  Entità medio-grave del danno





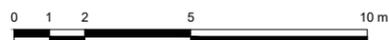
Prospetto A



Prospetto B

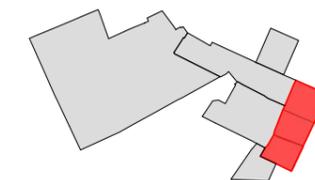


Prospetto C



Legenda

- Lesione di lieve entità
- Lesione di medio-grave entità



Legenda

— Lesione di lieve entità

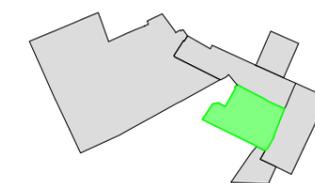
— Lesione di medio-grave entità

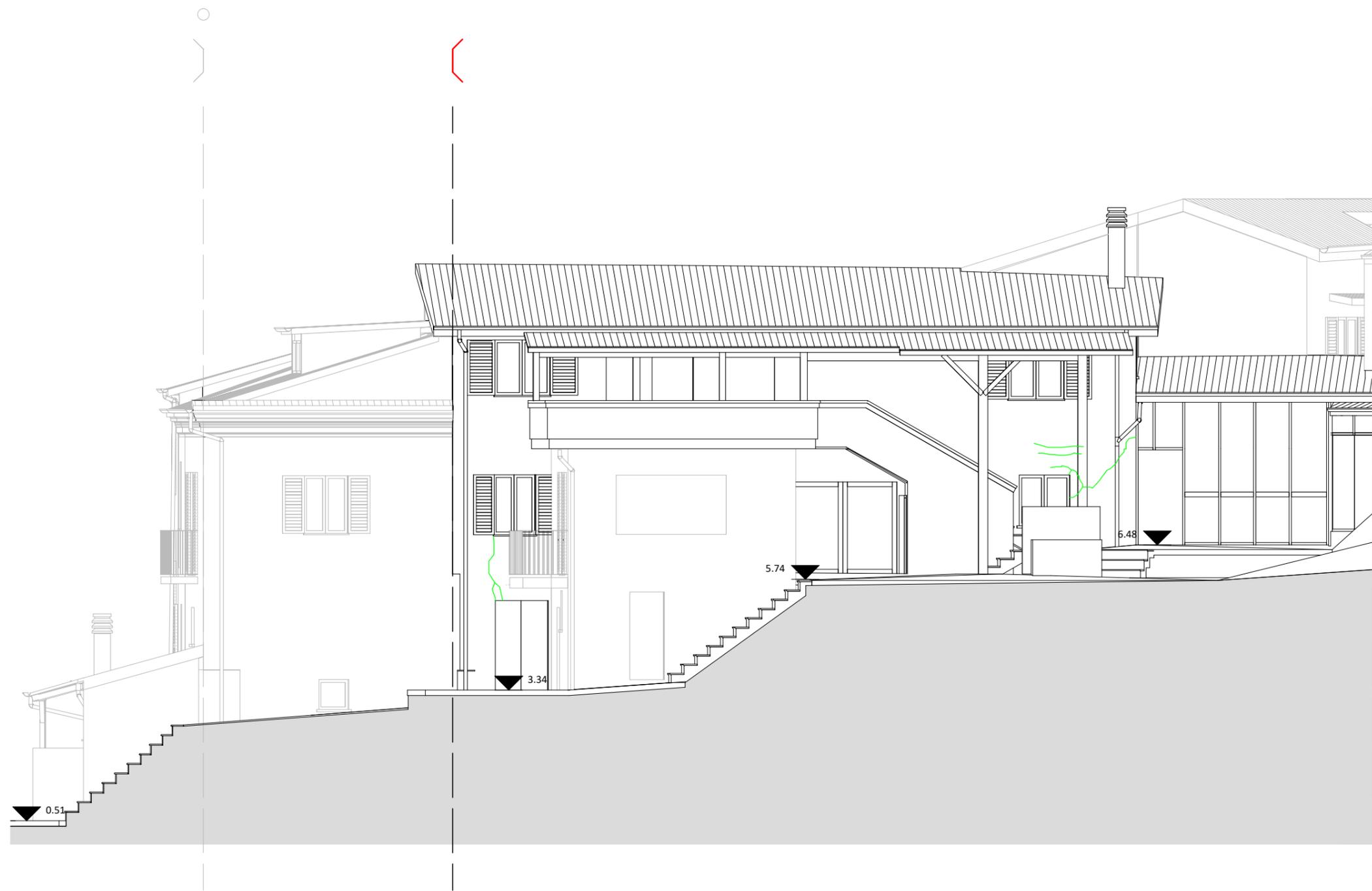


Prospetto A



Prospetto B

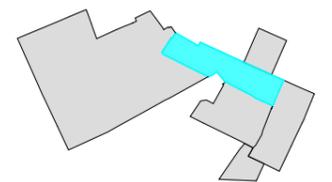




Legenda

— Lesione di lieve entità

— Lesione di medio-grave entità



Alma Mater Studiorum - Università di Bologna - Scuola di  
Ingegneria e Architettura  
Tesi di Laurea in Architettura Tecnica II

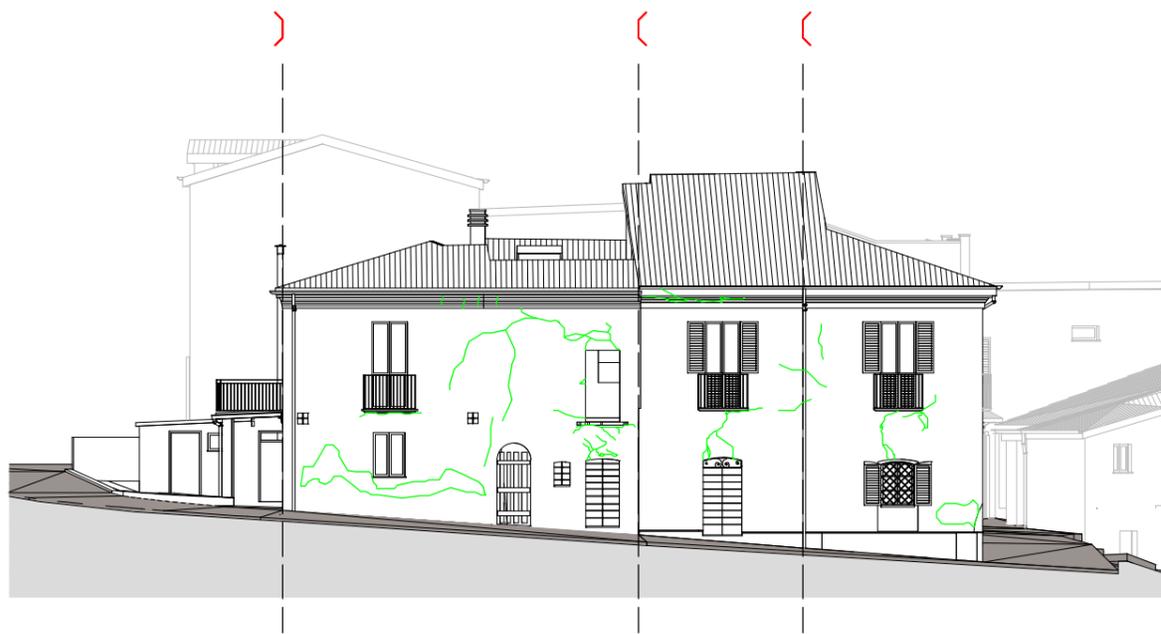
Studente: Marco Salvi  
Relatore: Ing. Giovanni Mochi

## Rilievo del Danno: Prospetti

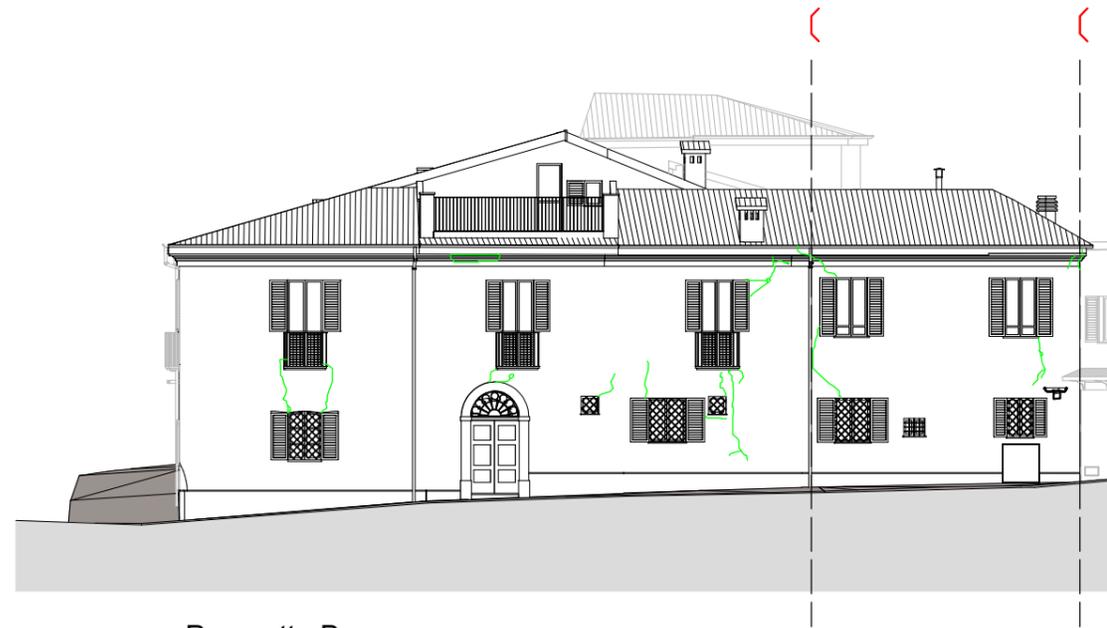
Unità  
3

Scala  
1:100

# T49



Prospetto A



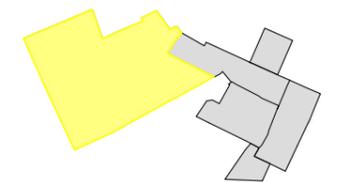
Prospetto B

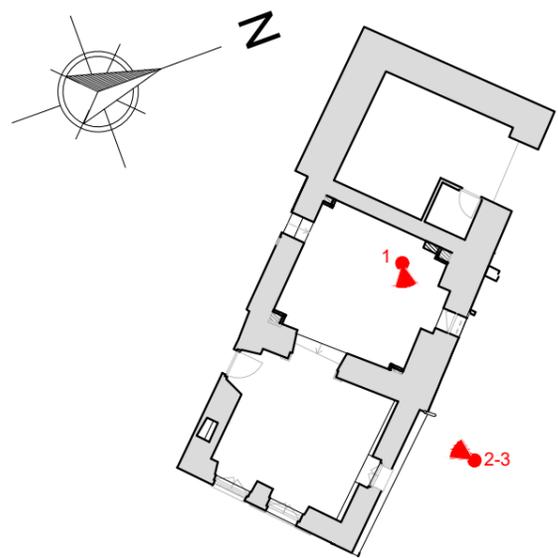
Legenda

- Lesione di lieve entità
- Lesione di medio-grave entità



Prospetto C





Piano terra



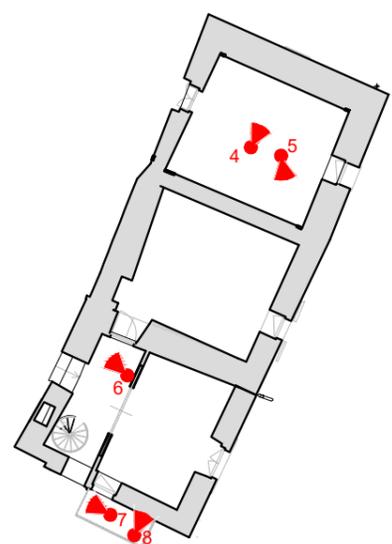
Foto n. 3



Foto n. 11



Foto n. 8



Primo piano



Foto n. 4

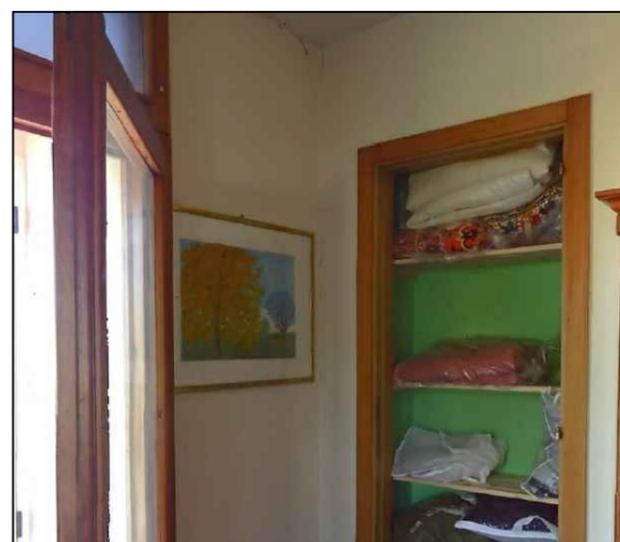
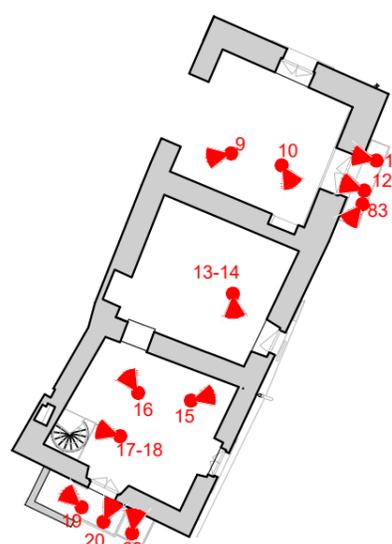


Foto n. 10



Foto n. 14



Secondo piano



Foto n. 15

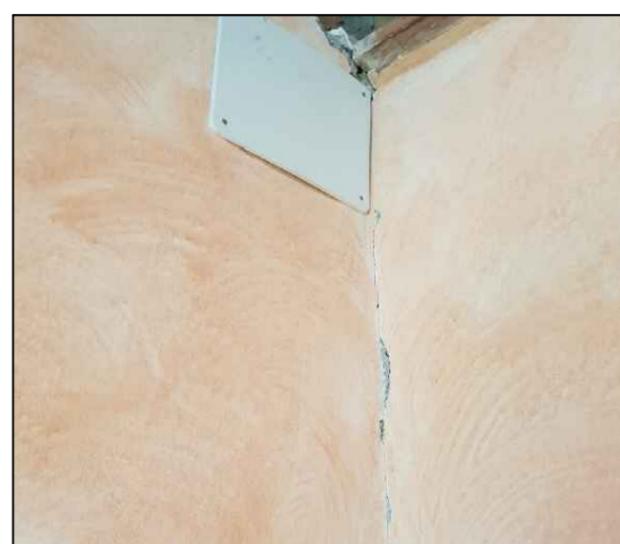


Foto n. 16

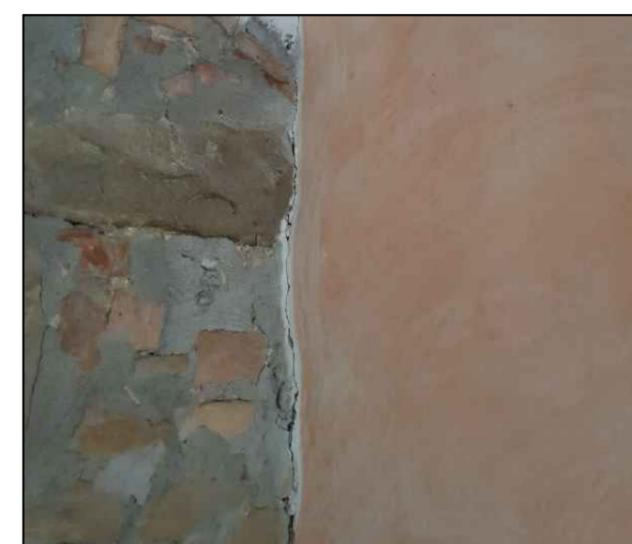


Foto n. 17

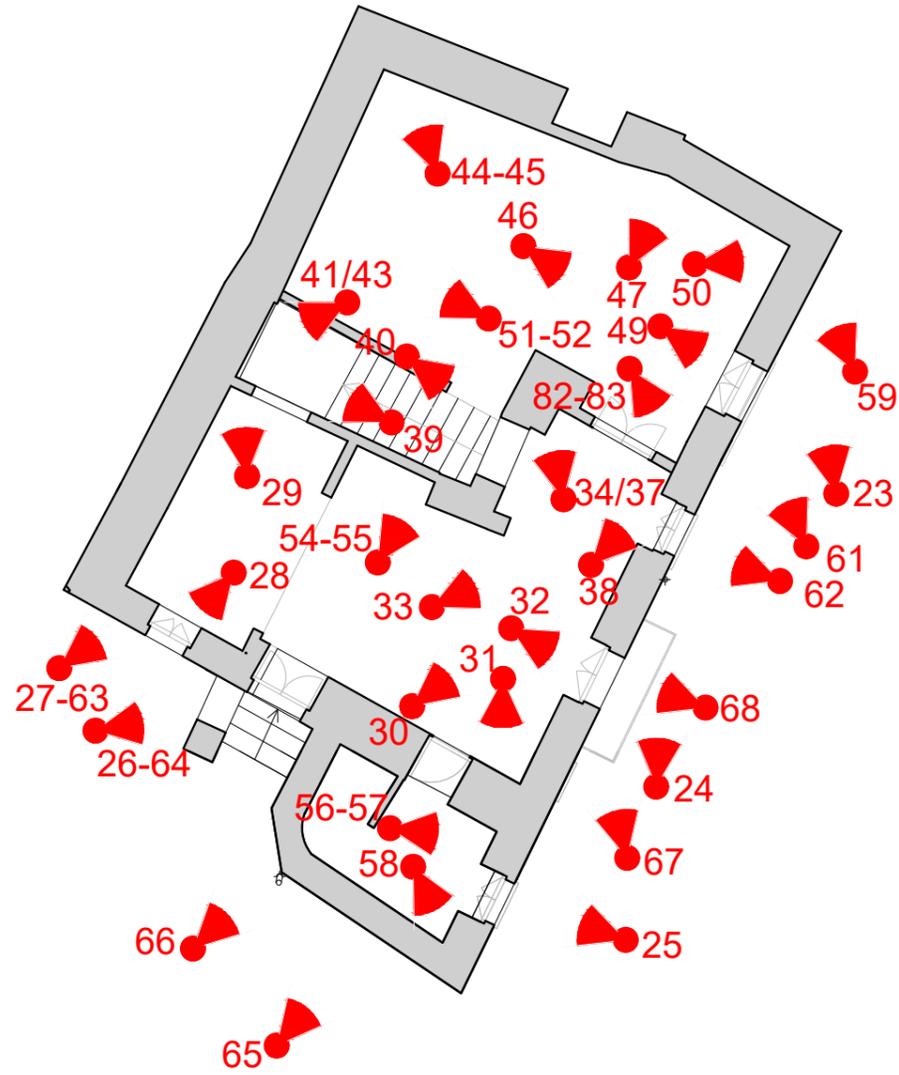
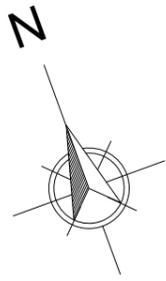


Foto 26

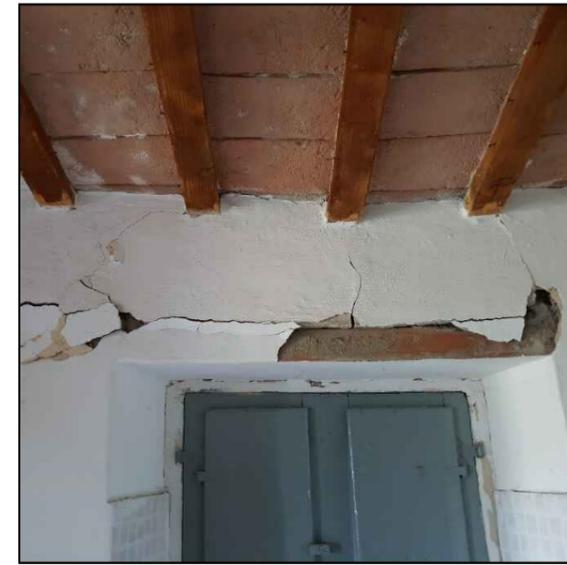


Foto 28



Foto 50



Foto 29



Foto 63



Foto 44



Foto 31

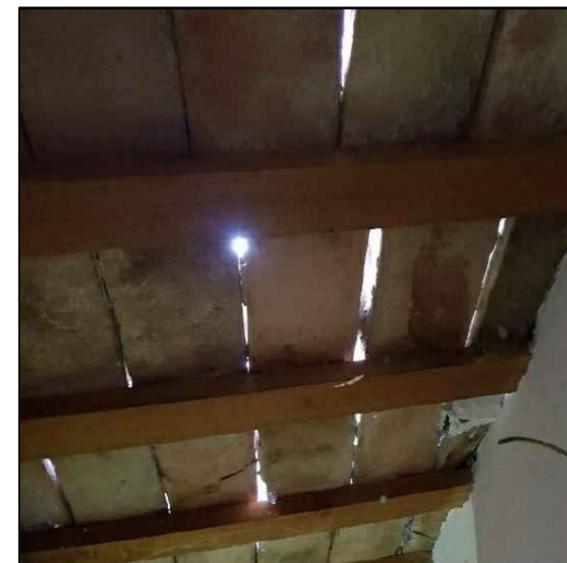


Foto 51

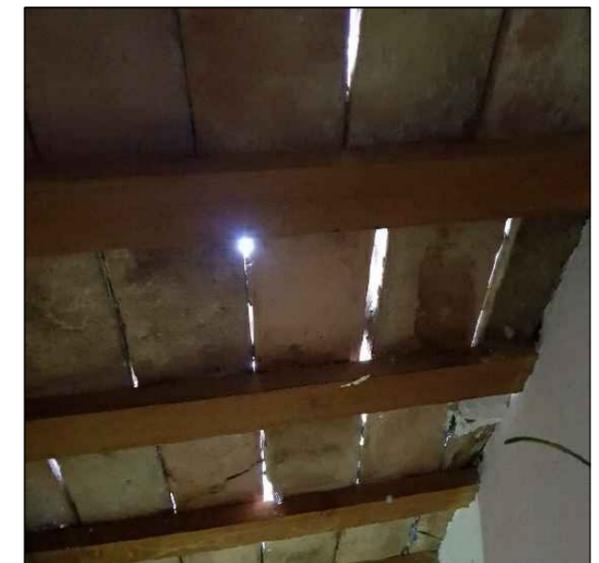


Foto 52

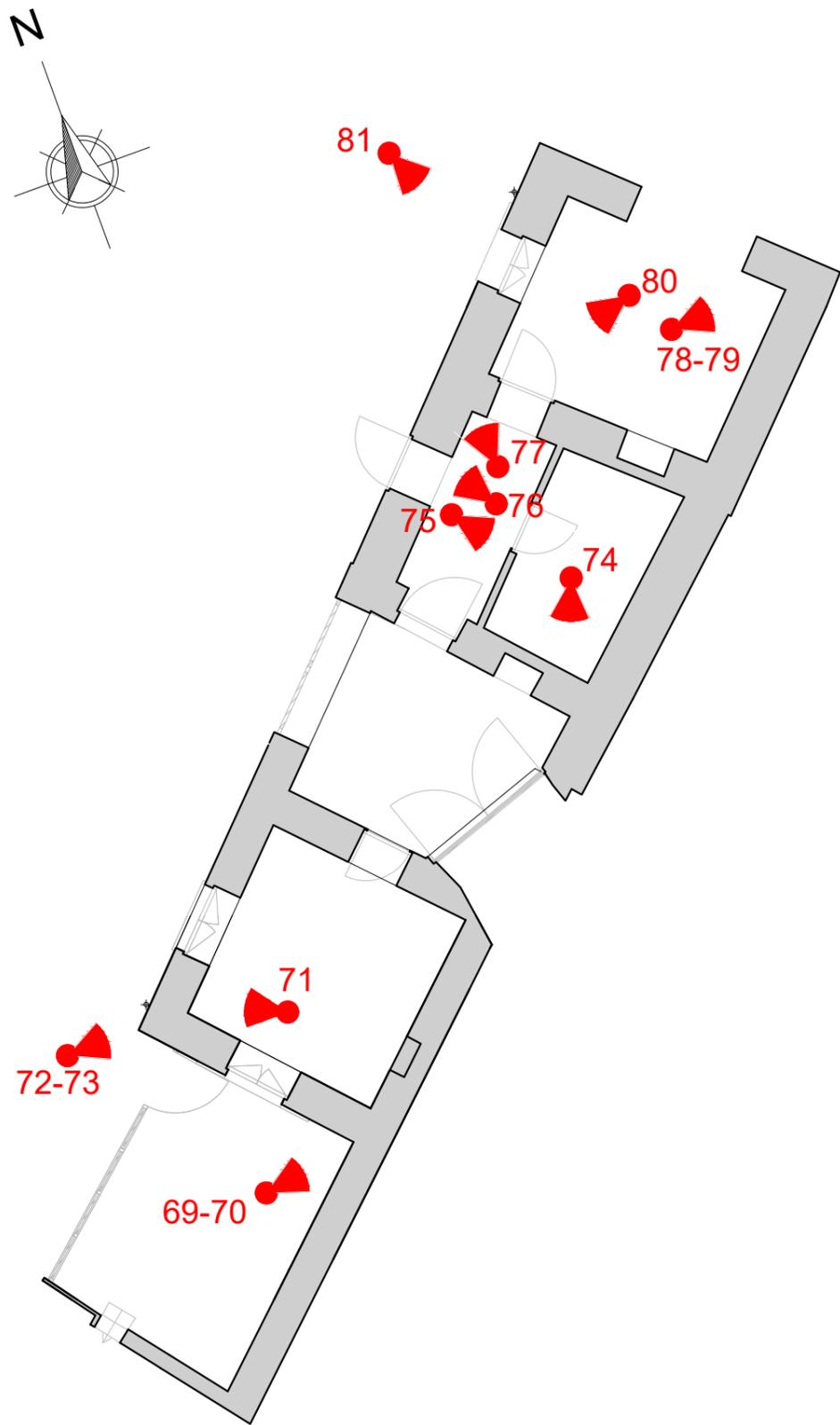


Foto 69



Foto 70



Foto 73



Foto 74

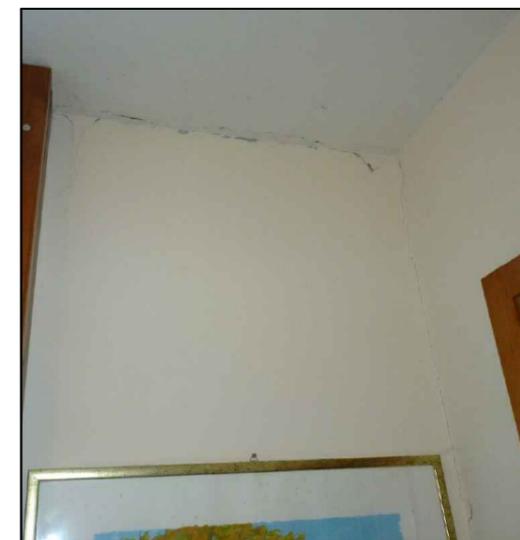


Foto 76



Foto 77



Foto 78

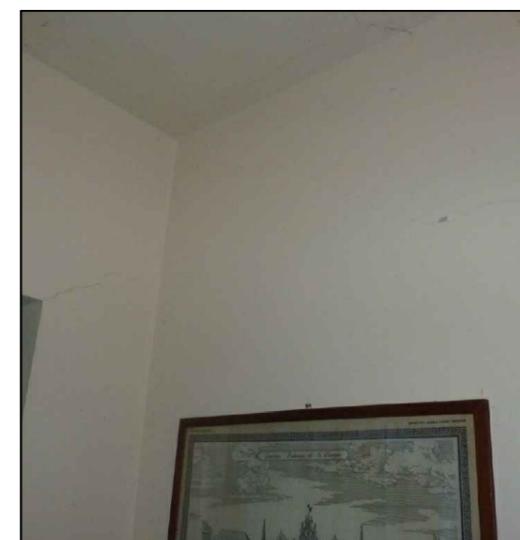


Foto 80



Foto 81

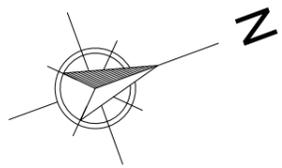


Foto 86



Foto 88

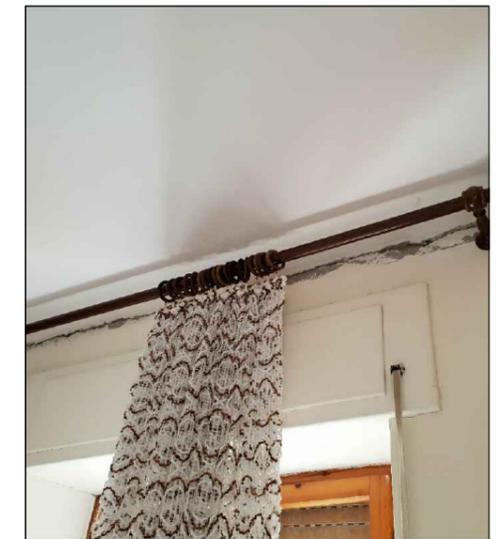


Foto 113



Foto 114



Foto 138



Foto 145



Foto 1147

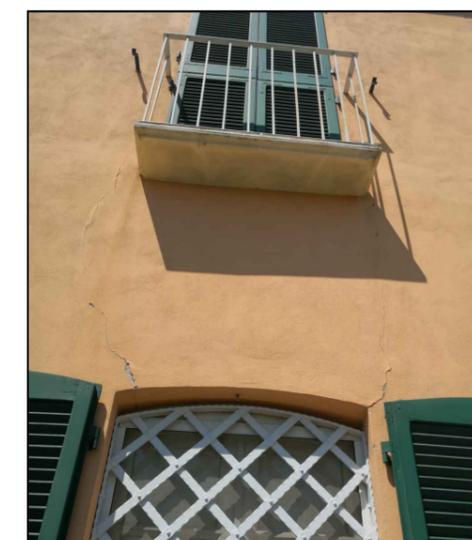


Foto 150



Foto 160

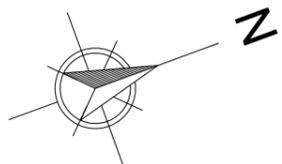


Foto 89



Foto 92



Foto 98

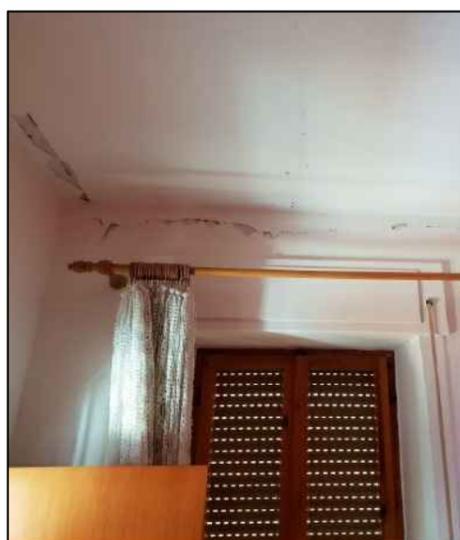


Foto 116



Foto 128



Foto 171



Foto 179



Foto 182



Foto 189

### Analisi del danno unità 1

	PIANO TERRA	PRIMO PIANO	SECONDO PIANO	INDICE DI DANNO
MURATURE	0.06	0.33	1.16	
SOLAIO	0.00	0.00	0.00	
TOTALE	0.06	0.33	1.16	
INDICE DI DANNO				0.52

### Analisi del danno unità 2

	PIANO TERRA	PRIMO PIANO	SECONDO PIANO	INDICE DI DANNO
MURATURE	0.14	2.86	-	
SOLAIO	0.31	2.73	-	
TOTALE	0.45	5.59	-	
INDICE DI DANNO				3.02

### Analisi del danno unità 3

	PIANO TERRA	PRIMO PIANO	SECONDO PIANO	INDICE DI DANNO
MURATURE	0.00	0.68	0.00	
SOLAIO	0.00	0.00	0.00	
TOTALE	0.00	0.00	0.00	
INDICE DI DANNO				0.23

### Analisi del danno unità 4

	PIANO TERRA	PRIMO PIANO	SECONDO PIANO	INDICE DI DANNO
MURATURE	0.00	0.00	-	
SOLAIO	0.00	0.00	-	
TOTALE	0.00	0.00	-	
INDICE DI DANNO				0.00

### Analisi del danno unità 5

	PIANO TERRA	PRIMO PIANO	SECONDO PIANO	INDICE DI DANNO
MURATURE	0.00	0.00	-	
SOLAIO	0.00	0.00	-	
TOTALE	0.00	0.00	-	
INDICE DI DANNO				0.00

### Analisi del danno unità 6

	PIANO TERRA	PRIMO PIANO	SECONDO PIANO	INDICE DI DANNO
MURATURE	0.26	1.27	-	
SOLAIO	0.09	0.72	-	
TOTALE	0.35	1.99	-	
INDICE DI DANNO				1.17

### Analisi della vulnerabilità - Metodo 1

UNITA'	DISCONNESSIONE MURARIA	RIBALTAMENTO FACCIATE	FALSI PUNTONI	VULNERABILITA' A TAGLIO	MARTELLAMENTO SOLAI SFALSATI	MARTELLAMENTO C.A.	RIBALTAMENTO TIMPANO	INDICE DI VULNERABILITA'
1	0.17	0.43	0.52	0.00	0.69	0.00	0.00	33.37
2	0.38	0.48	0.82	0.00	0.00	0.00	0.00	41.56
3	0.12	0.52	0.00	0.00	0.21	0.00	0.00	17.34
4	0.20	0.00	0.00	0.20	0.00	0.00	0.20	6.60
5	0.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.76
6	0.37	0.49	0.26	0.00	0.00	0.00	0.05	26.89

### Analisi della vulnerabilità - Metodo 2

UNITA'	DISCONNESSIONE MURARIA	RIBALTAMENTO FACCIATE	FALSI PUNTONI	VULNERABILITA' A TAGLIO	MARTELLAMENTO SOLAI SFALSATI	MARTELLAMENTO C.A.	RIBALTAMENTO TIMPANO	INDICE DI VULNERABILITA'
1	0.50	0.28	0.52	0.00	0.25	0.00	0.00	31.85
2	0.82	0.39	0.82	0.00	0.00	0.00	0.00	46.61
3	0.23	0.52	0.00	0.00	0.20	0.00	0.00	19.15
4	0.50	0.00	0.00	0.20	0.00	0.00	0.20	11.70
5	0.66	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11.22
6	0.82	0.41	0.26	0.00	0.00	0.00	0.08	32.80

### Analisi del danno

UNITA'	PIANO TERRA	PRIMO PIANO	SECONDO PIANO	INDICE DI DANNO
1	0.06	0.33	1.16	0.52
2	0.45	5.59	-	3.02
3	0.00	0.68	0.00	0.23
4	0.00	0.00	-	0.00
5	0.00	0.00	-	0.00
6	0.35	1.99	-	1.17

### Confronto tra vulnerabilità e danno

GERARCHIA DELLA VULNERABILITA' (M1)	INDICE DI VULNERABILITA' (M1)	GERARCHIA DELLA VULNERABILITA' (M2)	INDICE DI VULNERABILITA' (M2)	GERARCHIA DEL DANNO	INDICE DI DANNO
2	41.56	2	46.61	2	3.02
1	33.37	6	32.80	6	1.17
6	26.89	1	31.85	1	0.52
3	17.34	3	19.15	3	0.23
4	6.60	4	11.70	4	0.00
5	4.76	5	11.22	5	0.00

### Analisi della vulnerabilità - NUOVA PROPOSTA - Metodo 1

UNITA'	DISCONNESSIONE MURARIA	RIBALTAMENTO FACCIATE	FALSI PUNTONI	VULNERABILITA' A TAGLIO	MARTELLAMENTO SOLAI SFALSATI	MARTELLAMENTO C.A.	RIBALTAMENTO TIMPANO	CONTINUITA' MURATURE	INDICE DI VULNERABILITA'
1	0.17	0.43	0.52	0.00	0.69	0.00	0.00	0.00	26.04
2	0.38	0.48	0.82	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	42.32
3	0.12	0.52	0.00	0.00	0.21	0.00	0.00	0.00	13.96
4	0.20	0.00	0.00	0.20	0.00	0.00	0.20	0.20	5.40
5	0.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.92
6	0.37	0.49	0.26	0.00	0.00	0.00	0.05	0.05	21.98

### Analisi della vulnerabilità - NUOVA PROPOSTA - Metodo 2

UNITA'	DISCONNESSIONE MURARIA	RIBALTAMENTO FACCIATE	FALSI PUNTONI	VULNERABILITA' A TAGLIO	MARTELLAMENTO SOLAI SFALSATI	MARTELLAMENTO C.A.	RIBALTAMENTO TIMPANO	CONTINUITA' MURATURE	INDICE DI VULNERABILITA'
1	0.50	0.28	0.52	0.00	0.25	0.00	0.00	0.00	25.60
2	0.82	0.39	0.82	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	46.50
3	0.23	0.52	0.00	0.00	0.20	0.00	0.00	0.00	15.46
4	0.50	0.00	0.00	0.20	0.00	0.00	0.20	0.20	9.60
5	0.66	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.24
6	0.82	0.41	0.26	0.00	0.00	0.00	0.08	0.08	26.70

### Analisi del danno

UNITA'	PIANO TERRA	PRIMO PIANO	SECONDO PIANO	INDICE DI DANNO
1	0.06	0.33	1.16	0.52
2	0.45	5.59	-	3.02
3	0.00	0.68	0.00	0.23
4	0.00	0.00	-	0.00
5	0.00	0.00	-	0.00
6	0.35	1.99	-	1.17

### Confronto tra vulnerabilità e danno

GERARCHIA DELLA VULNERABILITA' (M1)	INDICE DI VULNERABILITA' (M1)	GERARCHIA DELLA VULNERABILITA' (M2)	INDICE DI VULNERABILITA' (M2)	GERARCHIA DEL DANNO	INDICE DI DANNO
2	42.32	2	46.50	2	3.02
1	26.04	6	26.70	6	1.17
6	21.98	1	25.60	1	0.52
3	13.96	3	15.46	3	0.23
4	5.40	4	9.60	4	0.00
5	3.92	5	9.24	5	0.00

## **Ringraziamenti**

Un ringraziamento a mia mamma e mio padre, che mi hanno sempre ascoltato, consigliato e sostenuto in tutti i momenti di difficoltà.

Un sincero grazie al Professor Giovanni Mochi, per i preziosi consigli e per avermi seguito e supportato nella realizzazione di questo progetto.

Desidero, inoltre, ringraziare Sandro De Marcellis per la disponibilità mostratami in questi mesi di lavoro.

Ed infine, un pensiero a mia nonna Giuliana che certamente avrebbe voluto condividere con me la gioia di questo momento.