



Corso di Laurea Magistrale a ciclo unico in Ingegneria Edile-Architettura

TESI DI LAUREA

Curve di fragilità per la valutazione della vulnerabilità sismica del centro storico di Alzano (RI), nella Valle del Salto

Relatore:

Chiar.ma Prof.ssa FRANCESCA DA PORTO

Correlatori:

Dott.ssa Ing. SABRINA TAFFAREL

Laureando:

STEFANO BOSCARO

matr. 451705



Il problema sismico nel territorio del centro Italia

- Caratteristiche urbane: presenza di piccoli borghi ricchi di edilizia storica
- Eventi sismici: storici e recenti che si manifestano con grande frequenza
- Conseguenze drammatiche: per la popolazione (perdita di vite umane)
per le architetture (danni e/o crolli)
per l'economia (ricostruzione)
- Forte spopolamento causato da un limitato sviluppo industriale ed economico dal problema sismico

CASO STUDIO:

Piccolo borgo di Alzano nel comune di Pescorocchiano (RI) nella Valle del Salto



OBIETTIVI DELLA TESI

VALUTAZIONE DELLA VULNERABILITA' SISMICA



CURVE DI FRAGILITA'

- Analisi sismiche globali per alcuni edifici utilizzando il software VULNUS
- Analisi sismiche locali con approccio deterministico su base tipologica per i principali meccanismi di collasso a scala territoriale



COSTRUZIONE DI MAPPE DI VULNERABILITA' SISMICA

Su scala territoriale utili a stabilire priorità di intervento per la mitigazione del danno e la conseguente riduzione del rischio sismico

VALORIZZAZIONE DEL TERRITORIO DA PARTE DEGLI ENTI PUBBLICI LOCALI

- Attraverso lo sviluppo di un sentiero europeo a lenta percorrenza (sentiero E1)
- Rilancio turistico



Base di partenza per eventuali analisi e studi futuri



PRIMA FASE:	Studio preliminare del borgo
SECONDA FASE:	Sopralluogo
TERZA FASE:	Analisi statistico-tipologiche
QUARTA FASE:	Analisi sismiche globali - Software VULNUS
QUINTA FASE:	Analisi sismiche locali - Approccio deterministico su base tipologica
SESTA FASE:	Valutazione della vulnerabilità sismica



PRIMA FASE: Studio preliminare del borgo

Localizzazione geografica e caratteristiche geomorfologiche



Relazione geologica (dicembre 2016):

Caratteristiche sottosuolo (NTC 2008)

- Categoria sottosuolo: B
- Categoria topografica: T3

Le analisi di vulnerabilità sismica locali e globali saranno effettuate utilizzando le seguenti accelerazioni:

- | | |
|-----------|----------------------------|
| PGA=0,105 | (Terremoto del 13/01/1915) |
| PGA=0,233 | (Normativa vigente) |
| PGA=0,252 | (Terremoto del 30/10/2016) |





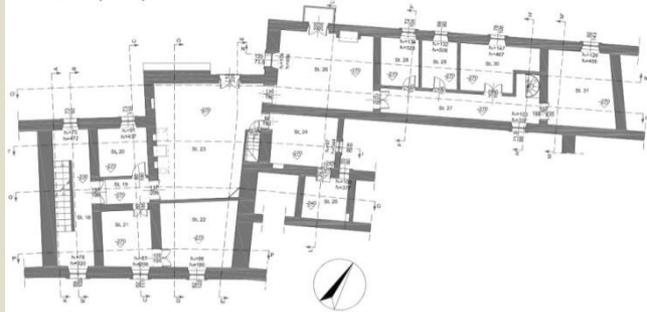
PRIMA FASE:	Studio preliminare del borgo
SECONDA FASE:	Sopralluogo
TERZA FASE:	Analisi statistico-tipologiche
QUARTA FASE:	Analisi sismiche globali - Software VULNUS
QUINTA FASE:	Analisi sismiche locali - Approccio deterministico su base tipologica
SESTA FASE:	Valutazione della vulnerabilità sismica



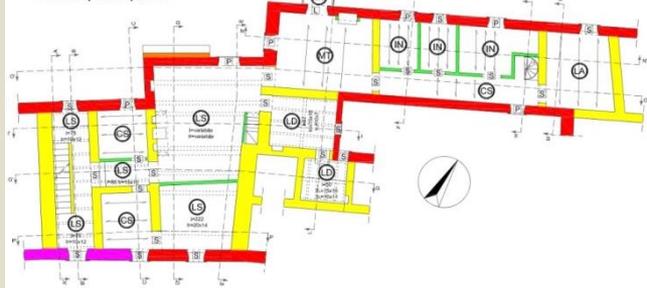
SECONDA FASE: Sopralluogo

b) Rilievo geometrico, strutturale e critico per 6 US

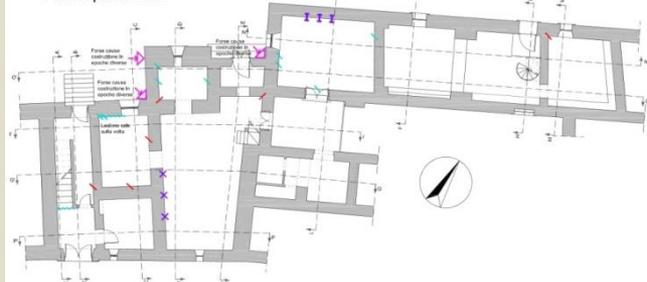
Pianta piano primo



Pianta piano primo



Pianta piano terra



Aggregato 6 (US 23 – US 25 – US 26)





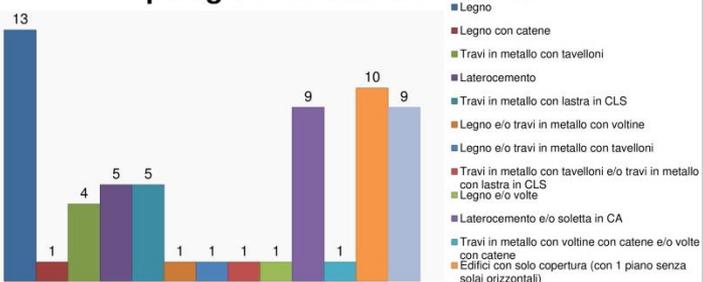
PRIMA FASE:	Studio preliminare del borgo
SECONDA FASE:	Sopralluogo
TERZA FASE:	Analisi statistico-tipologiche
QUARTA FASE:	Analisi sismiche globali - Software VULNUS
QUINTA FASE:	Analisi sismiche locali - Approccio deterministico su base tipologica
SESTA FASE:	Valutazione della vulnerabilità sismica



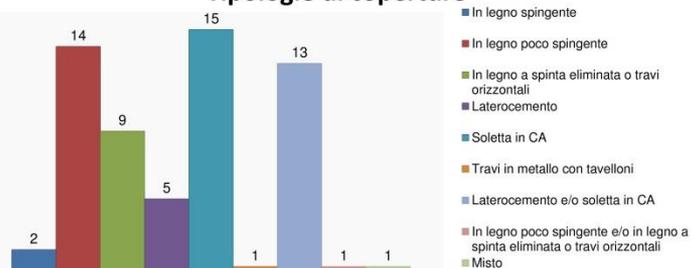
Tipologie di strutture verticali



Tipologie di strutture orizzontali



Tipologie di coperture



Tipologie di strutture verticali

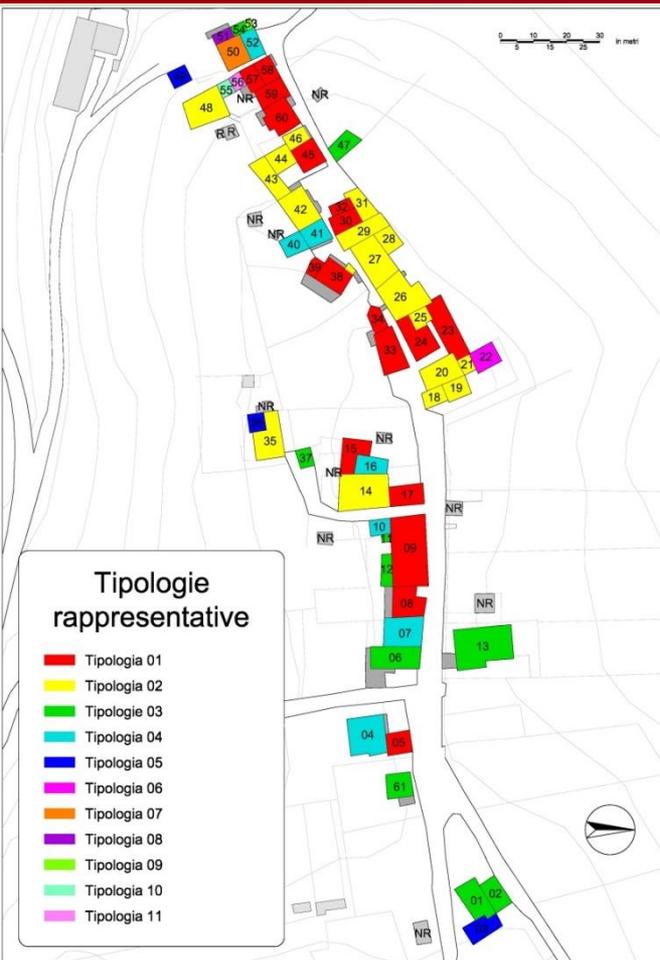
- Muratura in pietre sbazzate
- Muratura in blocchetti di CLS con inerti leggeri
- Muratura in laterizio

Tipologie di strutture orizzontali

- Solaio deformabile molto leggero (0,0 – 2,0 KN/mq)
- Solaio rigido leggero (2,0 – 4,0 KN/mq)
- Solaio rigido medio-pesante (4,0 – 6,0 KN/mq)

Tipologie di coperture

- Solaio deformabile molto leggero (0,0 – 2,0 KN/mq)
- Solaio rigido leggero (2,0 – 4,0 KN/mq)
- Solaio rigido medio-pesante (4,0 – 6,0 KN/mq)



Si sono individuate 11 tipologie rappresentative

- 1) Tipologia 01 – 18 US
- 2) Tipologia 02 – 17 US
- 3) Tipologia 03 – 10 US
- 4) Tipologia 04 – 7 US
- 5) Tipologia 05 – 3 US

Le altre 6 tipologie sono composte da 1 sola US (unicum)

Microtipologia	Numero di US	US	Tipologie delle strutture verticali	Tipologie delle strutture orizzontali	Tipologie delle coperture
01	18	5, 8, 9, 15, 17, 23, 24, 30, 32, 33, 34, 38, 39, 45, 57, 58, 59, 60	Muratura in pietre sbazzate	Solaio rigido medio-pesante (4,0 - 6,0 KN/mq)	Solaio rigido medio-pesante (4,0 - 6,0 KN/mq)
02	17	14, 18, 19, 20, 21, 25, 26, 27, 28, 29, 31, 35, 42, 43, 44, 46, 48	Muratura in pietre sbazzate	Solaio deformabile molto leggero (0,0 - 2,0 KN/mq)	Solaio deformabile molto leggero (0,0 - 2,0 KN/mq)
03	10	1, 2, 6, 11, 12, 13, 37, 47, 54, 61	Muratura in blocchetti di CLS con inerti leggeri	Solaio rigido medio-pesante (4,0 - 6,0 KN/mq)	Solaio rigido medio-pesante (4,0 - 6,0 KN/mq)
04	7	4, 7, 10, 16, 40, 41, 52	Muratura in pietre sbazzate Muratura in Blocchetti di CLS	Solaio rigido medio-pesante (4,0 - 6,0 KN/mq)	Solaio rigido medio-pesante (4,0 - 6,0 KN/mq)
05	3	3, 36, 49	Muratura in blocchetti di CLS con inerti leggeri	Solaio rigido medio-pesante (4,0 - 6,0 KN/mq)	Solaio deformabile molto leggero (0,0 - 2,0 KN/mq)
06	1	22	Muratura in pietre sbazzate Muratura in Blocchetti di CLS	Solaio deformabile molto leggero (0,0 - 2,0 KN/mq)	Solaio deformabile molto leggero (0,0 - 2,0 KN/mq)
07	1	50	Muratura in pietre sbazzate	Solaio rigido medio-pesante (4,0 - 6,0 KN/mq)	Solaio deformabile molto leggero (0,0 - 2,0 KN/mq)
08	1	51	Muratura in laterizio	Solaio rigido medio-pesante (4,0 - 6,0 KN/mq)	Solaio rigido medio-pesante (4,0 - 6,0 KN/mq)
09	1	53	Muratura in laterizio Muratura in Blocchetti di CLS	Solaio rigido leggero (2,0 - 4,0 KN/mq)	Solaio deformabile molto leggero (0,0 - 2,0 KN/mq)
10	1	55	Muratura in laterizio Muratura in pietre sbazzate	Solaio rigido leggero (2,0 - 4,0 KN/mq)	Solaio rigido medio-pesante (4,0 - 6,0 KN/mq)
11	1	56	Muratura in laterizio		Solaio deformabile molto leggero (0,0 - 2,0 KN/mq)

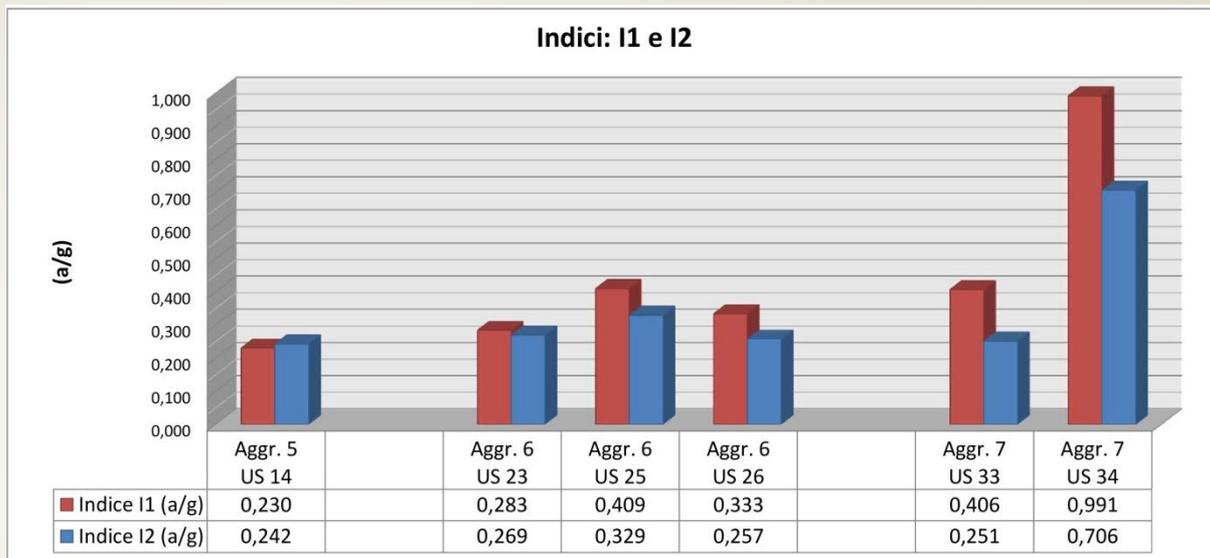
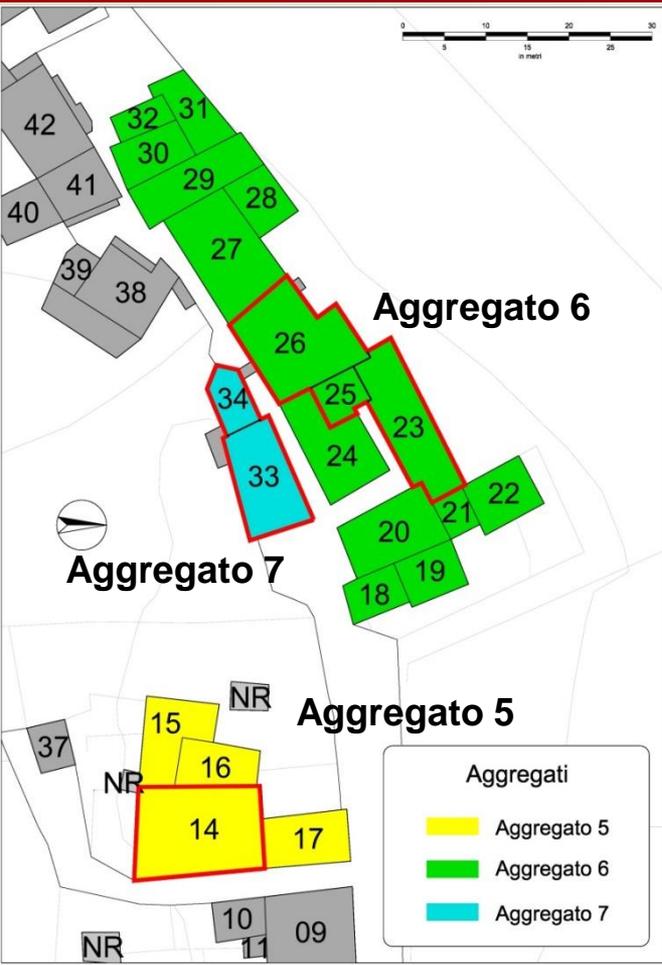


PRIMA FASE:	Studio preliminare del borgo
SECONDA FASE:	Sopralluogo
TERZA FASE:	Analisi statistico-tipologiche
QUARTA FASE:	Analisi sismiche globali - Software VULNUS
QUINTA FASE:	Analisi sismiche locali - Approccio deterministico su base tipologica
SESTA FASE:	Valutazione della vulnerabilità sismica



QUARTA FASE: Analisi sismiche globali

a) Prime indicazioni di vulnerabilità locale tramite gli indici I1 e I2



US 25 – US 26 – US 33 – US 34

I2 minore rispetto a I1

Vulnerabilità maggiore è per
meccanismi fuori dal piano

US 14 – US 23

I1 e I2 quasi equivalenti

Vulnerabilità è sia per meccanismi
nel piano sia per meccanismi fuori dal piano

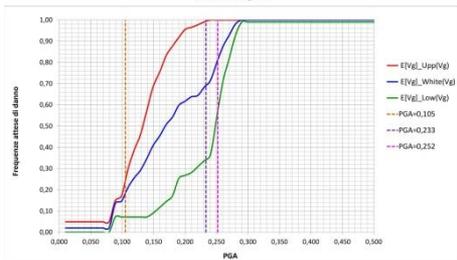


QUARTA FASE: Analisi sismiche globali

b) Valutazione della vulnerabilità sismica globale

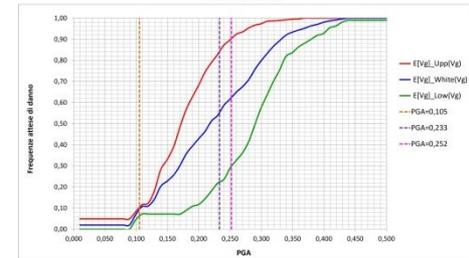
Aggregato 5

Curve di fragilità



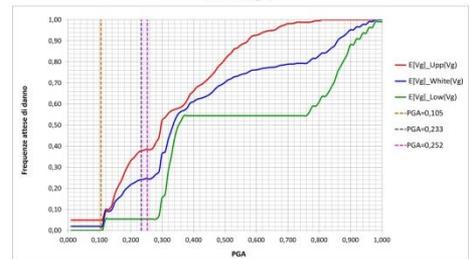
Aggregato 6

Curve di fragilità



Aggregato 7

Curve di fragilità



PGA=0,105 (13/01/1915)

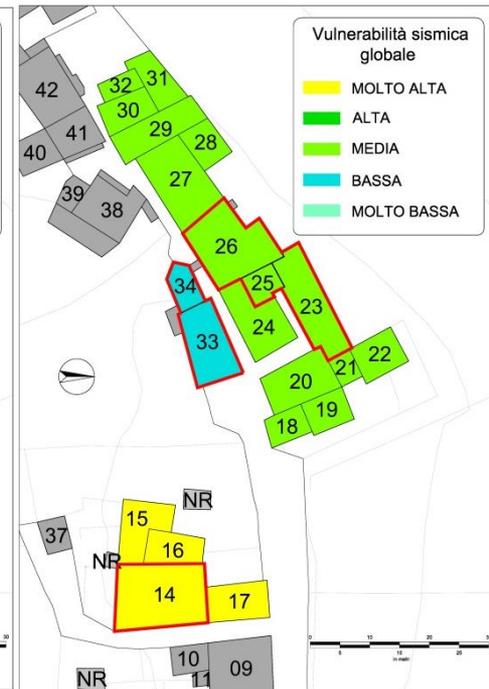
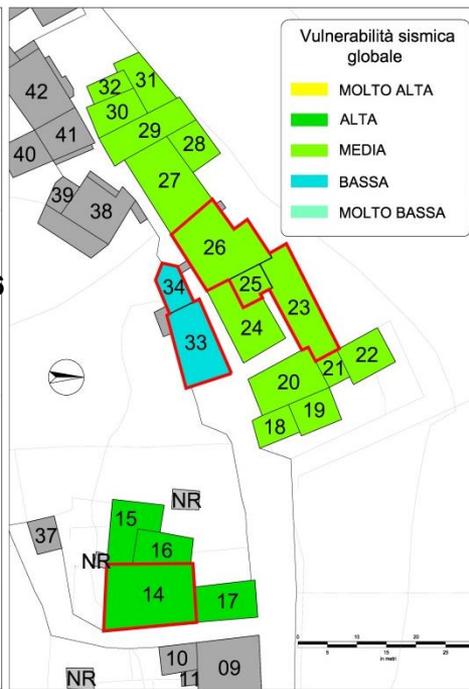
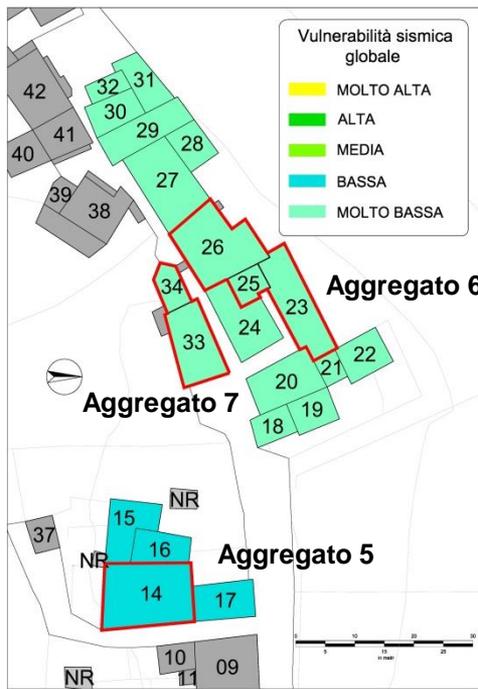
Aggr. 5 **BASSA**
Aggr. 6 **MOLTO BASSA**
Aggr. 7 **MOLTO BASSA**

PGA=0,233 (normativa)

Aggr. 5 **ALTA**
Aggr. 6 **MEDIA**
Aggr. 7 **BASSA**

PGA=0,252 (30/10/2016)

Aggr. 5 **MOLTO ALTA**
Aggr. 6 **MEDIA**
Aggr. 7 **BASSA**

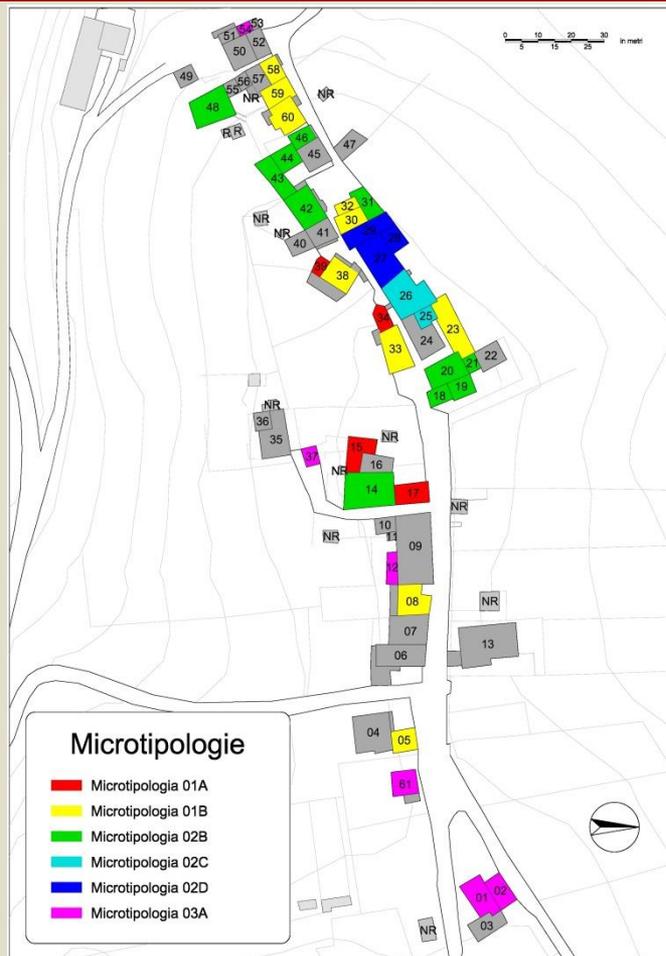




PRIMA FASE:	Studio preliminare del borgo
SECONDA FASE:	Sopralluogo
TERZA FASE:	Analisi statistico-tipologiche
QUARTA FASE:	Analisi sismiche globali - Software VULNUS
QUINTA FASE:	Analisi sismiche locali - Approccio deterministico su base tipologica
SESTA FASE:	Valutazione della vulnerabilità sismica

QUINTA FASE: Analisi sismiche locali

a) Individuazione delle microtipologie



Microtipologia	Numero di US	Numero di piani	US	Tipologie delle strutture verticali	Tipologie delle strutture orizzontali	Tipologie delle coperture
01A	4		15, 17, 34, 39	Muratura in pietre sbazzate	Solaio rigido medio-pesante (4,0 - 6,0 KN/mq)	Solaio rigido medio-pesante (4,0 - 6,0 KN/mq)
01B	10		5, 8, 23, 30, 32, 33, 38, 58, 59, 60	Muratura in pietre sbazzate	Solaio rigido medio-pesante (4,0 - 6,0 KN/mq)	Solaio rigido medio-pesante (4,0 - 6,0 KN/mq)
02B	11		14, 18, 19, 20, 21, 31, 42, 43, 44, 46, 48	Muratura in pietre sbazzate	Solaio deformabile molto leggero (0,0 - 2,0 KN/mq)	Solaio deformabile molto leggero (0,0 - 2,0 KN/mq)
02C	2		25, 26	Muratura in pietre sbazzate	Solaio deformabile molto leggero (0,0 - 2,0 KN/mq)	Solaio deformabile molto leggero (0,0 - 2,0 KN/mq)
02D	3		27, 28, 29	Muratura in pietre sbazzate	Solaio deformabile molto leggero (0,0 - 2,0 KN/mq)	Solaio deformabile molto leggero (0,0 - 2,0 KN/mq)
02D	6		1, 2, 12, 37, 54, 61	Muratura in blocchetti di CLS con inerti leggeri	Solaio rigido medio-pesante (4,0 - 6,0 KN/mq)	Solaio rigido medio-pesante (4,0 - 6,0 KN/mq)

Le tipologie rappresentative precedentemente individuate sono state divise in microtipologie in base al numero di piani

Per questo tipo di analisi sono state prese in considerazione solo le microtipologie con più di 3 US

Infatti un numero ridotto di unità renderebbe l'analisi parametrica, e di conseguenza quella di vulnerabilità sismica, poco significativa

È stata fatta eccezione per la microtipologia 02C in quanto composta da US oggetto di un rilievo di maggior dettaglio (US 25 e US 26)



QUINTA FASE: Analisi sismiche locali

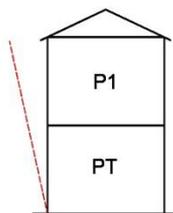
b) Analisi cinematiche lineari – Analisi cinematiche non lineari

Microtipologia 02B

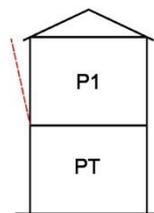
Dato geometrico	Variabile o costante	Valori	Unità di misura
Numero di piani	Costante	2	
Lunghezza muro	Costante	5,00	(m)
Area di influenza dei carichi	Costante	17,12	(m ²)
Resistenza a compressione di progetto della muratura	Costante	74,07	(N/cm ²)
Resistenza a taglio di progetto della muratura	Costante	1,30	(N/cm ²)
Peso specifico muratura	Costante	20	(KN/m ³)
Spessore muro	PT	Variabile	0,40 - 0,50 - 0,60 - 0,70 - 0,80 (m)
Spessore muro	P1	Variabile	0,40 - 0,50 - 0,60 - 0,70 - 0,80 0,36 - 0,42 - 0,48 - 0,56 - 0,60 (m)
Altezza media interpiano	PT	Variabile	1,90 - 2,40 - 2,90 (m)
Altezza media interpiano	P1	Variabile	3,00 - 3,50 - 4,00 (m)
Coefficiente d'attrito	Variabile	0,15 - 0,05	(m)
Carichi permanenti degli orizzontamenti	PT	Costante	1,80 (KN/m ²)
Carichi permanenti degli orizzontamenti	P1	Costante	0,00 (KN/m ²)
Carichi permanenti della copertura	Costante	2,00	(KN/m ²)
Carichi variabili degli orizzontamenti	PT	Costante	2,00 (KN/m ²)
Carichi permanenti degli orizzontamenti	P1	Costante	0,00 (KN/m ²)
Carichi variabili della copertura	Costante	1,72	(KN/m ²)

Combinazioni totali	180		
----------------------------	------------	--	--

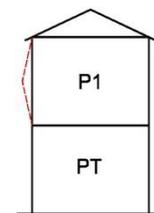
Ribaltamento semplice
A terra



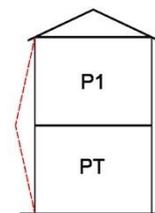
Ribaltamento semplice
In quota



Flessione verticale
a 1 piano - In quota



Flessione verticale
a 2 piani - A terra



Procedura per la costruzione delle curve di fragilità

- Individuazione dei parametri geometrici costanti e variabili
- Combinazione dei parametri geometrici variabili
- Calcolo delle accelerazioni spettrali (a_0^*) tramite analisi cinematica lineare per ogni combinazione
- Calcolo degli spostamenti spettrali (d_0^*) tramite analisi cinematica non lineare per ogni combinazione
- Tracciamento delle curve di capacità
- Scelta degli spettri di risposta elastici
- Individuazione dei performance points
- Definizione di 4 livelli di danno sulla curva di capacità
- Costruzione delle curve di fragilità



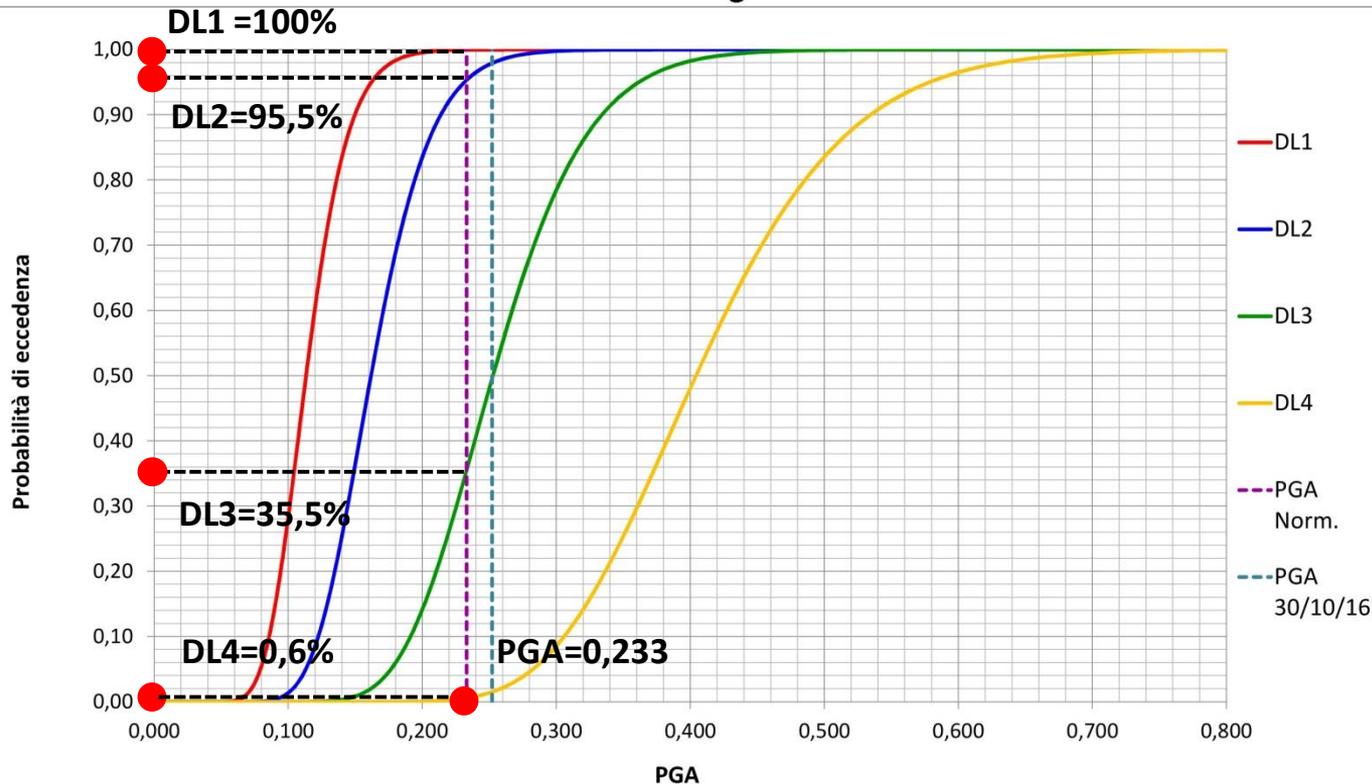
QUINTA FASE: Analisi sismiche locali

c) Le curve di fragilità – Valutazione della vulnerabilità sismica

Microtipologia 02B

Flessione verticale a 2 piani - Tipo D - A terra

Curve di fragilità



Valutazione della vulnerabilità sismica per PGA=0,233

DL1 (danno lieve)
probabilità di eccedenza 100,0%
MOLTO ALTA

DL2 (danno moderato)
probabilità di eccedenza 95,5%
MOLTO ALTA

DL3 (danno grave)
probabilità di eccedenza 35,5%
BASSA

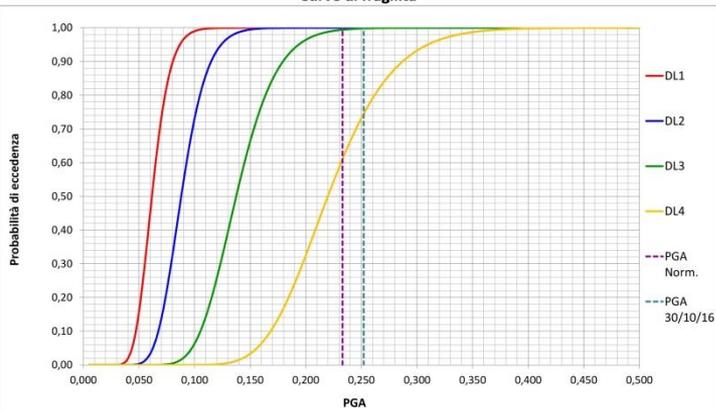
DL4 (danno molto grave)
probabilità di eccedenza 0,6%
MOLTO BASSA



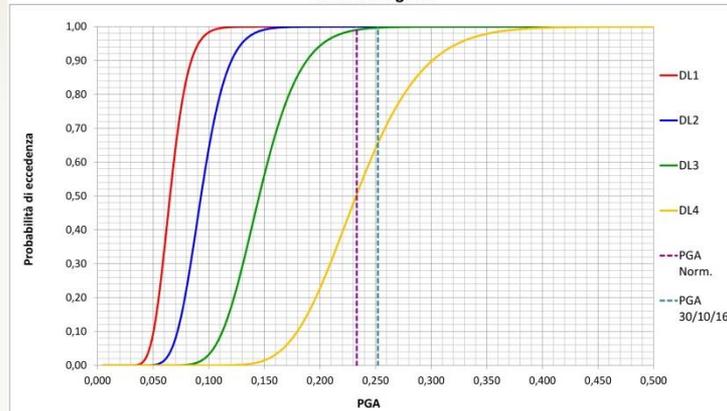
QUINTA FASE: Analisi sismiche locali

d) Le curve di fragilità per la microtipologia 02B

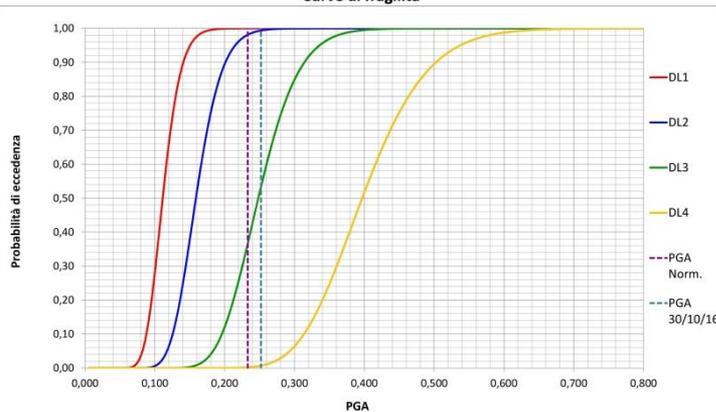
Microtipologia 02B
Ribaltamento semplice - A terra
Curve di fragilità



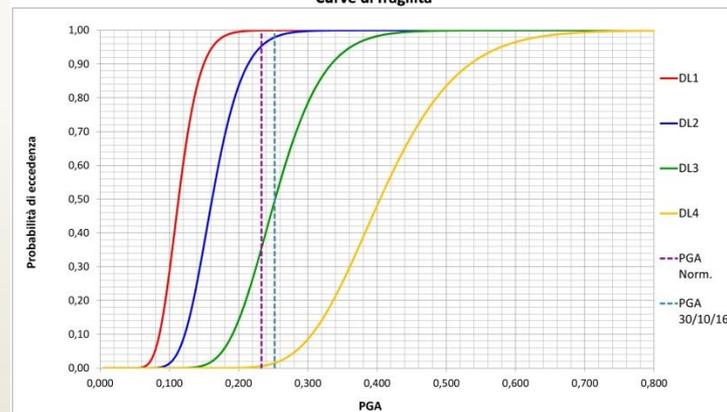
Microtipologia 02B
Ribaltamento semplice - In quota al 1° livello
Curve di fragilità



Microtipologia 02B
Flessione verticale a 1 piano - Tipo A - In quota al 1° livello
Curve di fragilità



Microtipologia 02B
Flessione verticale a 2 piani - Tipo D - A terra
Curve di fragilità





- | | |
|--------------------|--|
| PRIMA FASE: | Studio preliminare del borgo |
| SECONDA FASE: | Sopralluogo |
| TERZA FASE: | Analisi statistico-tipologiche |
| QUARTA FASE: | Analisi sismiche globali - Software
VULNUS |
| QUINTA FASE: | Analisi sismiche locali - Approccio
deterministico su base tipologica |
| SESTA FASE: | Valutazione della vulnerabilità sismica |



Per valori di accelerazione sismica pari a 0,233 (da normativa vigente)

- **Livelli di danno DL1 e DL2 (danno lieve e moderato)**

- Tutti i meccanismi locali di collasso hanno una vulnerabilità sismica **MOLTO ALTA**

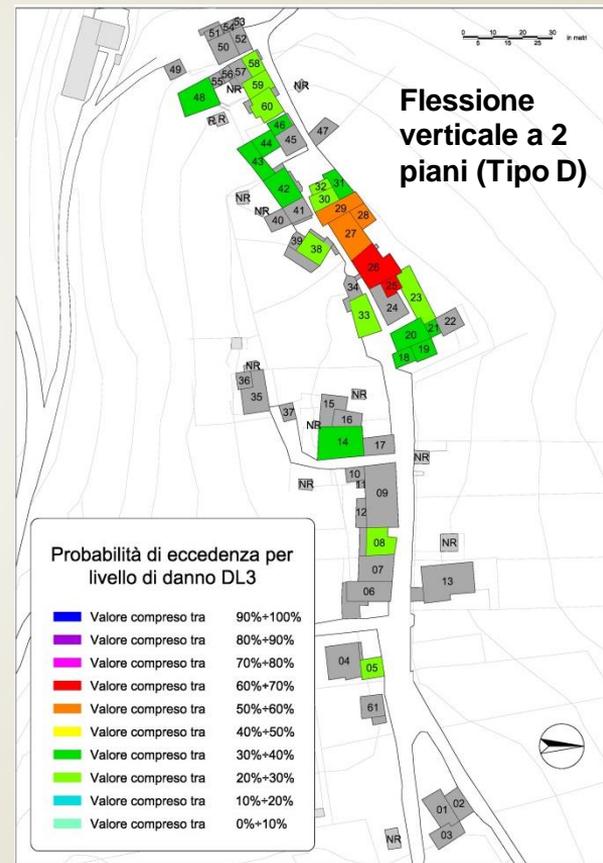
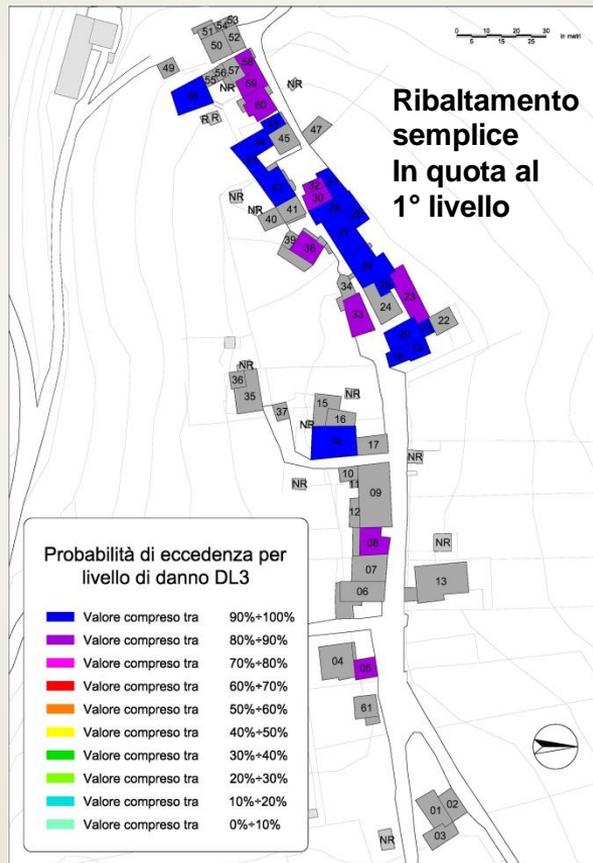
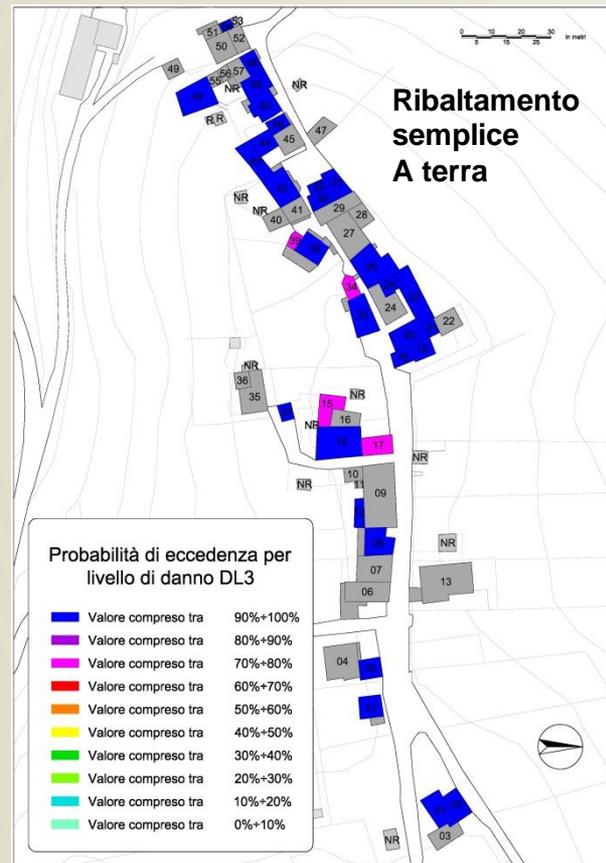
- **Livello di danno DL3 (danno grave)**

- I meccanismi di ribaltamento semplice (a terra o in quota) hanno una vulnerabilità sismica **MOLTO ALTA o ALTA**
- I meccanismi di flessione verticale a 1 piano o a 2 piani hanno una vulnerabilità sismica **MEDIA o BASSA**

- **Livello di danno DL4 (danno molto grave)**

- I meccanismi di flessione verticale a 1 piano o a 2 piani hanno una vulnerabilità sismica **MOLTO BASSA**
- I meccanismi di ribaltamento semplice (a terra o in quota), per le microtipologie a 1 piano, hanno una vulnerabilità sismica **BASSA o MOLTO BASSA**
- I meccanismi di ribaltamento semplice (a terra o in quota), per le microtipologie a 2 piani o a 3 piani, hanno una vulnerabilità sismica **VARIABILE** in base alle caratteristiche strutturali.

Per valori di accelerazione sismica pari a 0,233 (da normativa vigente)





Per valori di accelerazione sismica pari a 0,233 (da normativa vigente)

Vulnerabilità sismica per meccanismi nel piano e fuori dal piano

- US 14, US 23, US 25, US 26, US 33 e US 34

MODERATA o GRAVE

Vulnerabilità sismica globale

- US 14 e US 23

GRAVE

- US 25 e US 26

MODERATA

- US 33 e US 34

BASSA



A termine di questo lavoro di tesi si possono trarre le seguenti conclusioni:

- Il ribaltamento semplice sia a terra sia in quota si attiva per valori di accelerazione minori rispetto alla flessione verticale risultando più vulnerabile all'azione sismica
- si sono ricavate le mappe di vulnerabilità sismica su scala territoriale che sono utili per stabilire una scala di priorità di intervento finalizzata a mitigare e limitare il danno agli edifici e di conseguenza ridurre il rischio sismico
- È da evidenziare che la stazione sismica di Fiamignano (9-10 Km da Alzano) nel terremoto del 30/10/2016 ha registrato una PGA pari a 0,252 ma nel centro storico del borgo di Alzano non si sono evidenziati crolli per nessun meccanismo locale di collasso, molto probabilmente perché la direttività e la tipologia di suolo, oltre a possibili effetti di sito possono aver influito sulla risposta sismica degli edifici del borgo.
- Le valutazioni di vulnerabilità sismica globali ottenute tramite il software VULNUS hanno individuato una buona corrispondenza con gli stati di danneggiamento rilevati durante il sopralluogo



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

An aerial photograph of a small village nestled in a lush green valley. The houses are clustered together, and the surrounding hills are covered in dense forest. The sky is hazy, suggesting a misty or overcast day.

GRAZIE PER L'ATTENZIONE