



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE

DIDA
DIPARTIMENTO
DI ARCHITETTURA

sezione

**MATERIALI E
STRUTTURE**

MICHe project

Mitigating the impacts of natural hazards on cultural heritage sites, structures and artefacts (MICHe)

Rischio sismico centro storico di Firenze

Responsabile scientifico: Mario De Stefano

**Collaboratori: Marco Tanganelli
Antonino Marra
Maria Teresa Cristofaro**

Firenze 17 dicembre 2019

Indice di vulnerabilità

Sonia Giovinazzi – Sergio Lagomarsino

Attribuzione della classe di vulnerabilità per le differenti tipologie di edifici: EMS98

Typologies	Building type	Vulnerability Class EMS98						Vulnerability Index				
		A	B	C	D	E	F	V_{Imin}	V_I	V_I^*	V_I^+	V_{Imax}
Masonry	M1 Rubble stone	■						0.62	0.81	0.873	0.98	1.02
	M2 Adobe (earth bricks)	■	■					0.62	0.687	0.84	0.98	1.02
	M3 Simple stone	■	■	■				0.46	0.65	0.74	0.83	1.02
	M4 Massive stone		■	■	■			0.30	0.49	0.616	0.793	0.86
	M5 Unreinforced M (old bricks)	■	■	■				0.46	0.65	0.74	0.83	1.02
	M6 Unreinforced M with r.c. floors		■	■	■			0.30	0.49	0.616	0.79	0.86
	M7 Reinforced or confined masonry			■	■	■	■	0.14	0.33	0.451	0.633	0.70
Reinforced Concrete	RC1 Frame in r.c. (without E.R.D.)			■	■	■		0.3	0.49	0.644	0.80	1.02
	RC2 Frame in r.c. (moderate E.R.D.)			■	■	■	■	0.14	0.33	0.484	0.64	0.86
	RC3 Frame in r.c. (high E.R.D.)			■	■	■	■	-0.02	0.17	0.324	0.48	0.70
	RC4 Shear walls (without E.R.D.)			■	■	■		0.3	0.367	0.544	0.67	0.86
	RC5 Shear walls (moderate E.R.D.)			■	■	■		0.14	0.21	0.384	0.51	0.70
	RC6 Shear walls (high E.R.D.)			■	■	■	■	-0.02	0.047	0.224	0.35	0.54
Steel	S Steel structures			■	■	■	■	-0.02	0.17	0.324	0.48	0.70
Tiber	W Timber structures			■	■	■		0.14	0.207	0.447	0.64	0.86

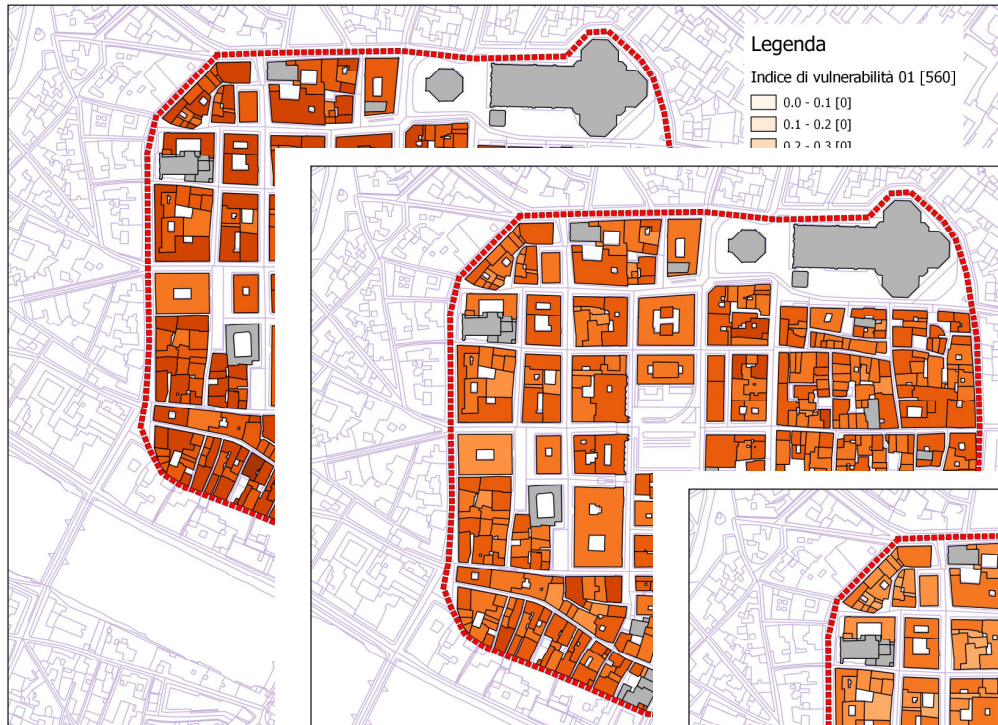
SITUAZIONE: ■ PIÙ PROBABILE ■ POSSIBILE ■ POCO PROBABILE

V_I^* → Indice di vulnerabilità tipologica

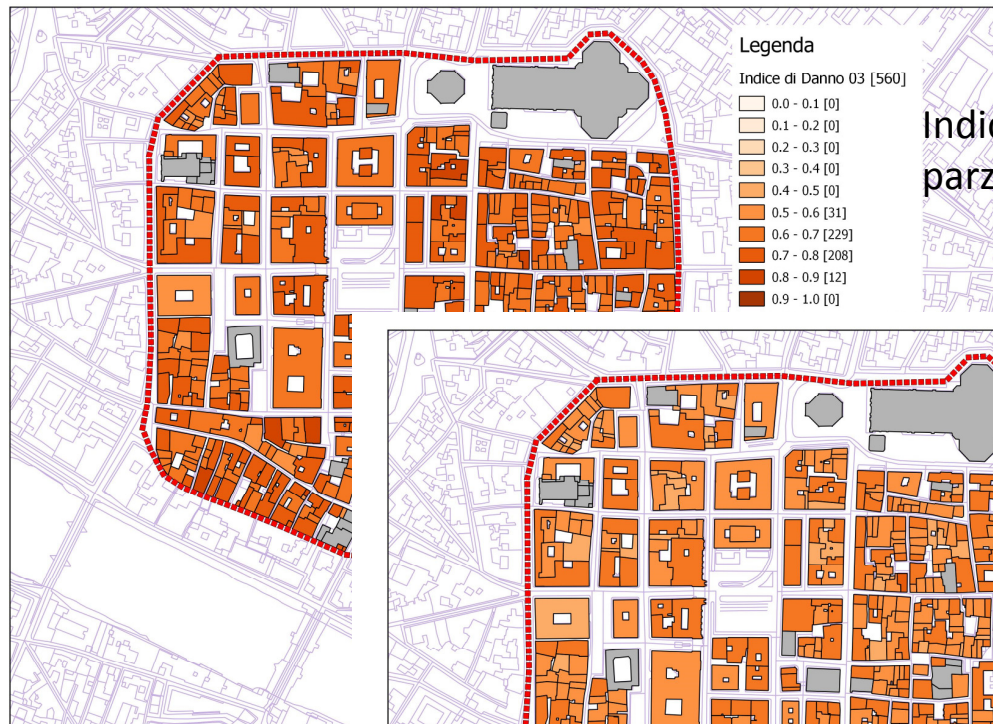
$V_I = V_I^* + \Delta V_m$ → Indice di vulnerabilità

$\Delta V_m = \sum V_{m,k}$ → Fattore che tiene conto dei modificatori del comportamento sismico

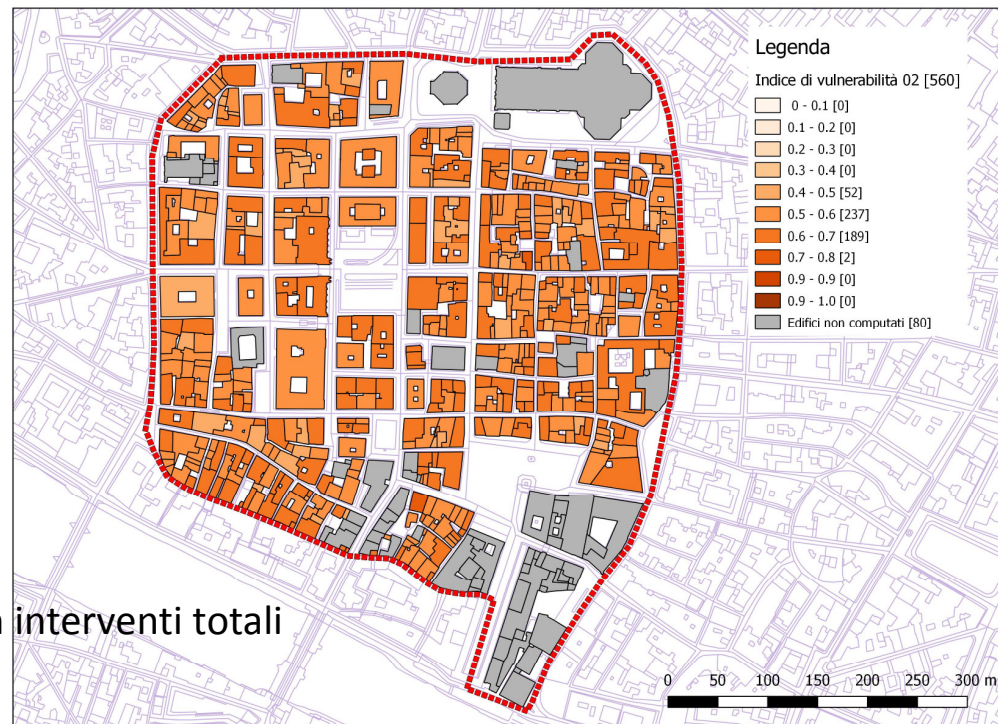




Indice di vulnerabilità – stato attuale



Indice di vulnerabilità – con interventi parziali



Indice di vulnerabilità – con interventi totali



Punteggi per i fattori modificatori di comportamento per edifici in muratura e RC

Behaviour modifier	Masonry	Reinforced Concrete				
		ERD Level	Pre/Low	Medium	High	
		V_{mk}	V_{mk}	V_{mk}	V_{mk}	
State of preservation	Good	-0.04	Good	-	-	-
	Bad	+0.04	Bad	+0.04	+0.02	0
Number of floors	Low (1 or 2)	-0.04	Low (1-3)	-0.02	-0.02	-0.02
	Medium (3,4 or 5)	0	Medium (4-7)	0	0	0
	High (6 or more)	+0.04	High (8 or more)	+0.08	+0.06	+0.04
Structural system	Wall thickness	-0.04+0.04				
	Wall distance					
	Wall connections					
Plan Irregularity	Geometry	+0.04	Geometry	+0.04	+0.02	0
	Mass distribution		Mass distribution	+0.02	+0.01	0
Vertical Irregularity	Geometry	+0.04	Geometry	+0.04	+0.02	0
	Mass distribution		Mass distribution			
Superimposed floors		+0.04				
Roof	Weight, thrust and connections	+0.04				
Retrofitting Intervention		-0.08+0.08				
Aseismic Devices	Barbican, Foil arches, Buttresses	-0.04				
Aggregate Building: position	Middle	-0.04	Insufficient aseismic joints	+0.04	0	0
	Corner	+0.04				
	Header	+0.06				
Aggregate Building: elevation	Staggered floors	+0.04				
	Buildings with different height	-0.04+0.04				
Foundation	Different level foundations	+0.04	Beams	-0.04	0	0
			Connected beams	0	0	0
			Isolated Footing	+0.04	0	0
			Short-column	+0.02	+0.01	0
			Bow windows	+0.04	+0.02	0

12 parametri:

1. Stato di conservazione
2. Numero dei piani
3. Sistema strutturale
4. Irregolarità in pianta
5. Irregolarità in elevazione
6. Sopraelevazioni
7. Copertura
8. Interventi di adeguamento
9. Dispositivi antisismici
10. Configurazione planimetrica
11. Configurazione in elevazione
12. Fondazioni

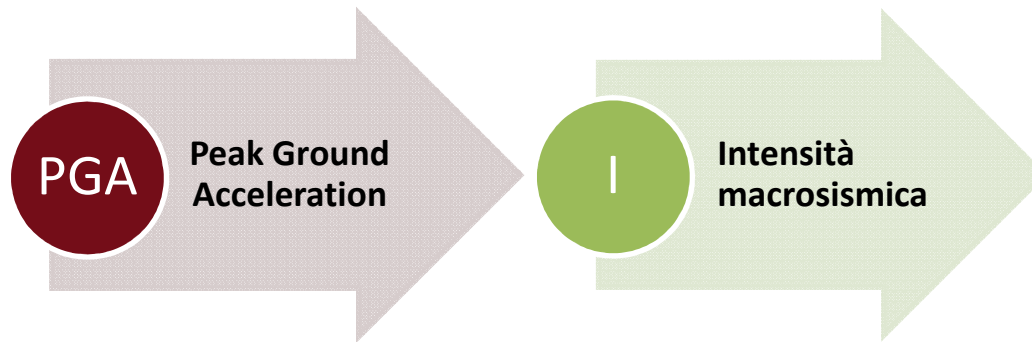
Indice di danno



$$\mu_D = 2.5 \left[1 + \tanh \left(\frac{I + 6.25 \cdot V_I - 13.1}{2.3} \right) \right]$$



Lagomarsino and Giovinazzi (2006)



Valori di c_1 e c_2 per tre leggi di correlazione

Legge di correlazione	c_1	c_2
Guarenti - Petrini	0.03	2.05
Margottini	0.04	1.65
Murphy O'Brien	0.03	1.75

$$a_g = c_1 \times c_2^{(I-5)}$$

I è l'intensità macrosismica misurata nella scala EMS-98

c_1 è il valore di accelerazione corrispondente ad un'intensità macrosismica pari a 5

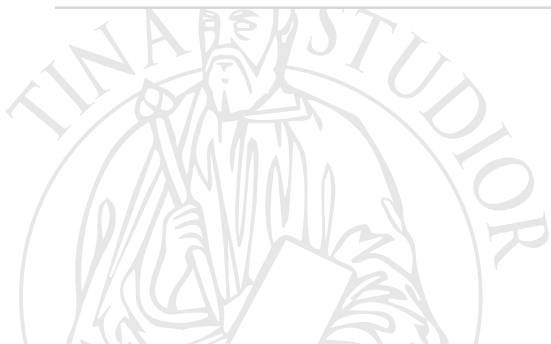
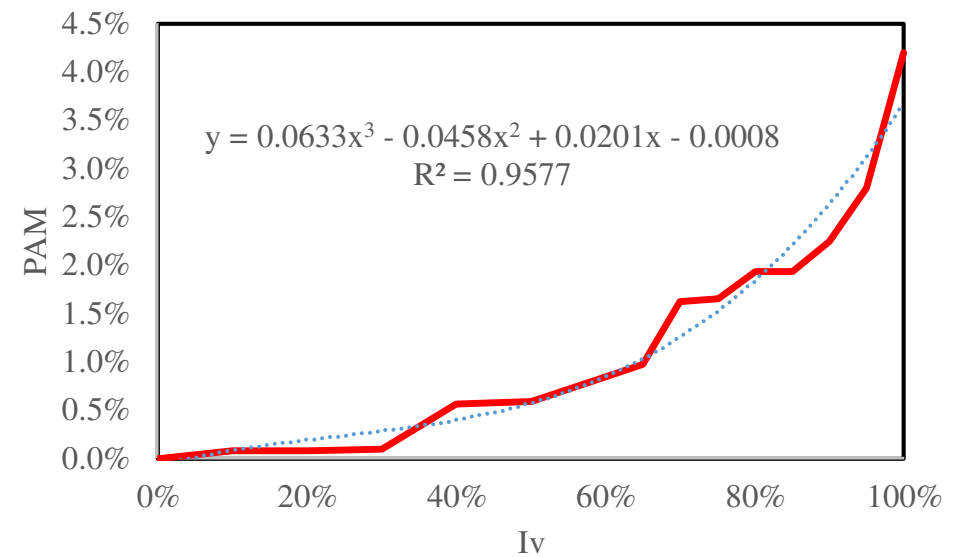
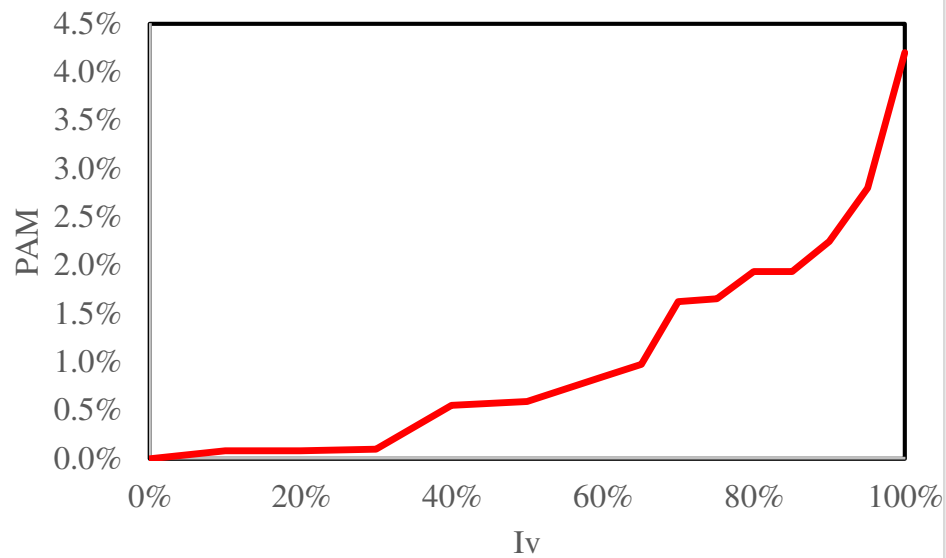
c_2 è la pendenza della curva di correlazione

Tr [anni]	a_g/g	I
30	0.047	5.33
101	0.072	6.16
201	0.094	6.70
475	0.131	7.37
975	0.167	7.84
2475	0.221	8.41

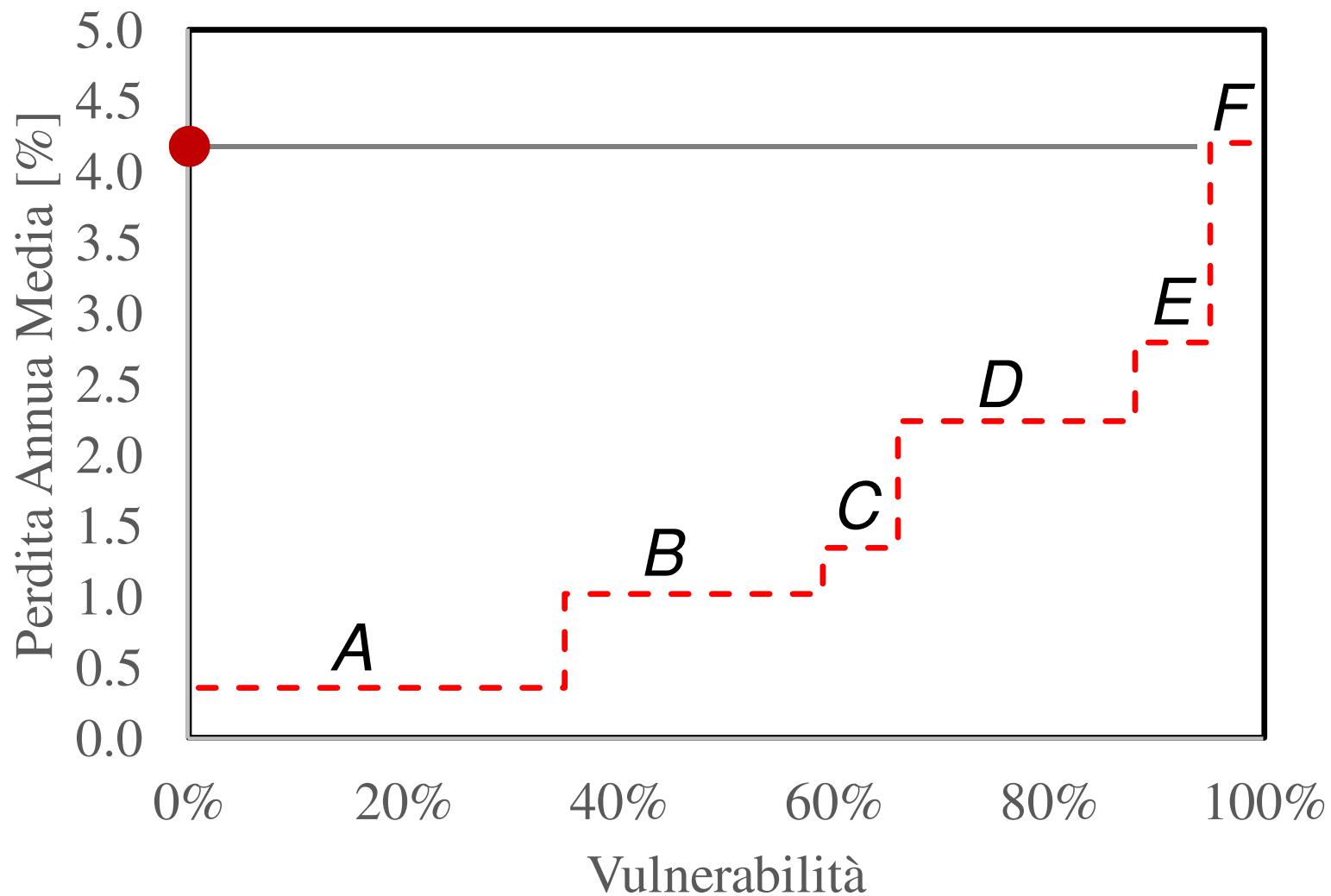




$ud < 0.05$	$0.05 < ud < 0.2$	$0.2 < ud < 1.0$	$1.0 < ud < 2.2$	$2.2 < ud < 3.2$	$3.0 < ud < 5$
ID_LS	O_LS	DS_LS	LS_LS	C_LS	R_LS
0	0.07	0.15	0.5	0.8	1

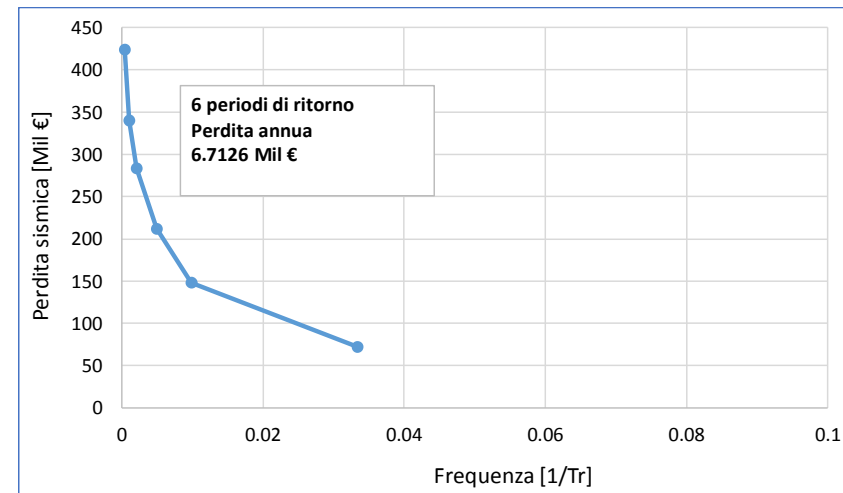
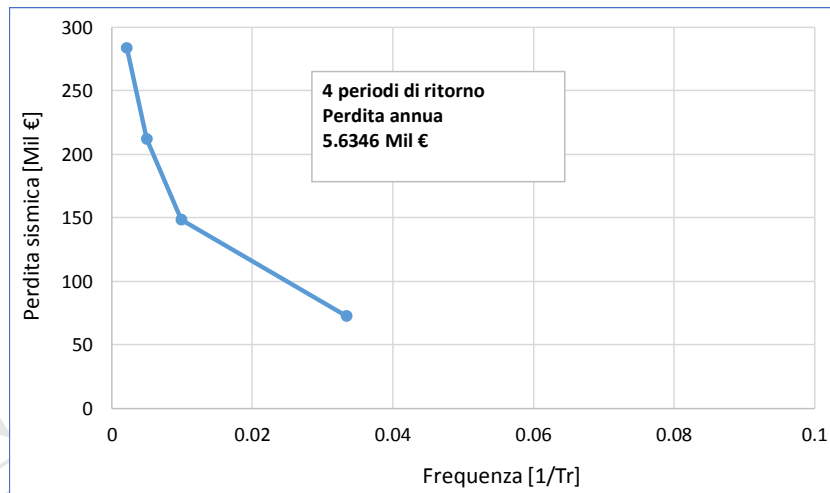
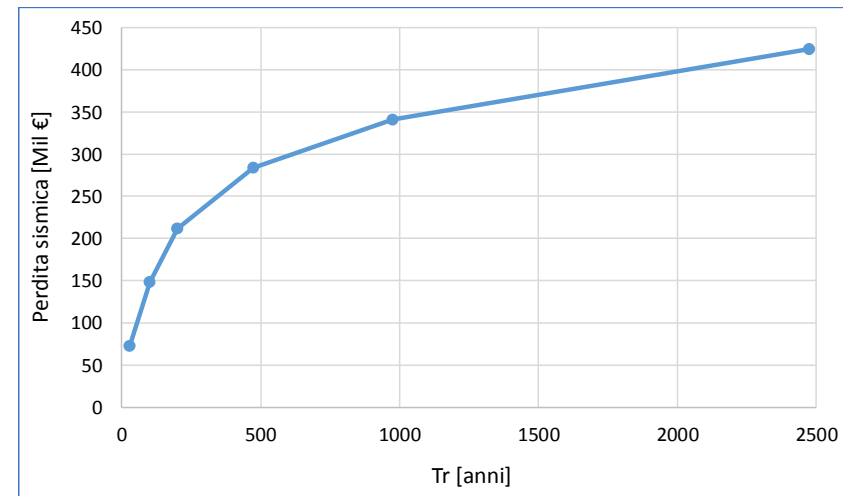
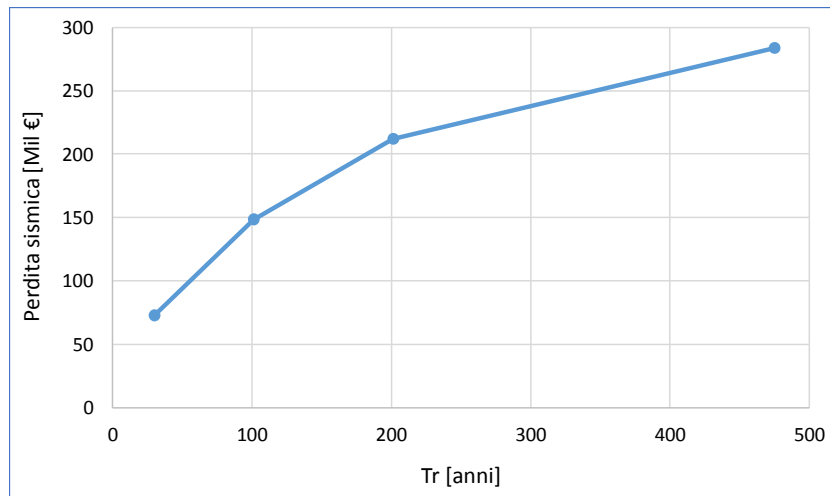


Perdita Annuale Media Firenze





Perdita Annuale Media - Stato attuale



PERDITA ANNUALE MEDIA 5.63 ml euro

PERDITA ANNUALE MEDIA 6.71 ml euro



Costo medio interventi

- *Costi medi per L'INTERVENTO DI RAFFORZAMNETO LOCALE* 68 €/mq
- *Costi medi di MIGLIORAMENTO SISMICO* 320 €/mq

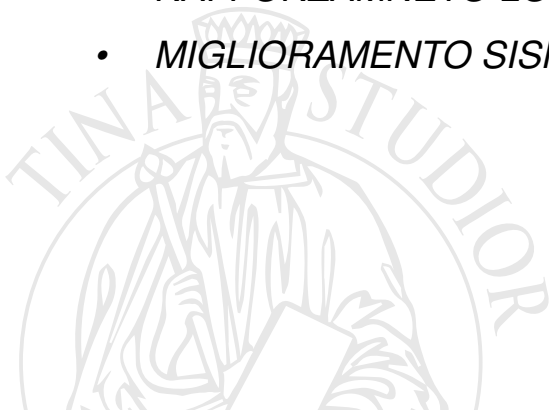
- *Costi medi per L'INTERVENTO DI RAFFORZAMNETO LOCALE* 8.09 ML €
- *Costi medi di MIGLIORAMENTO SISMICO* 38.10 ML €

CONSIDERANDO DUE IPOTESI:

10 ANNI

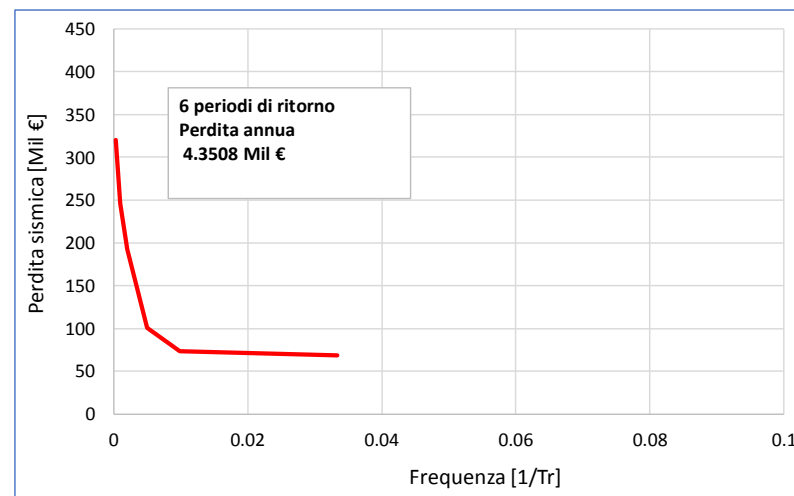
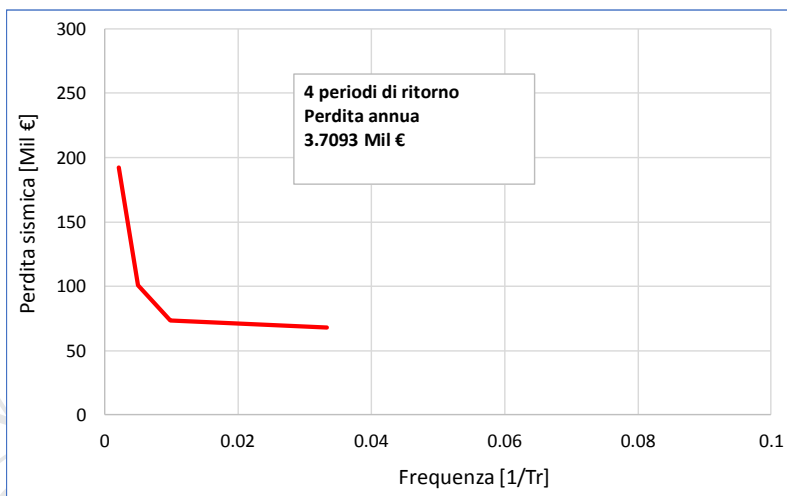
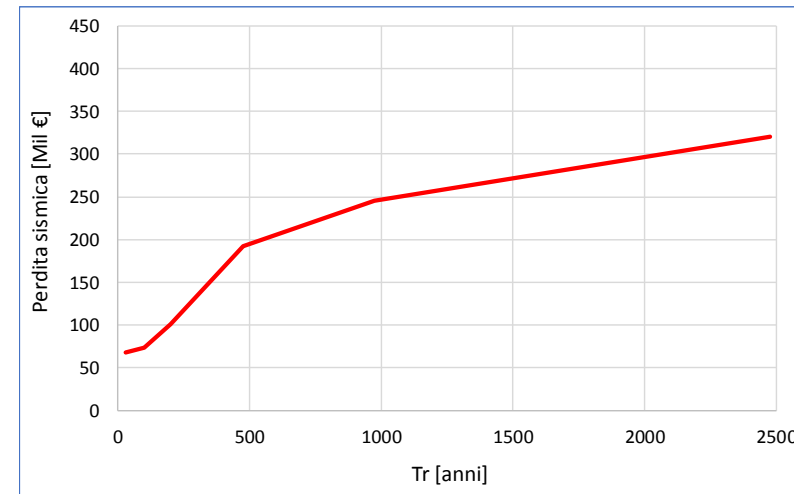
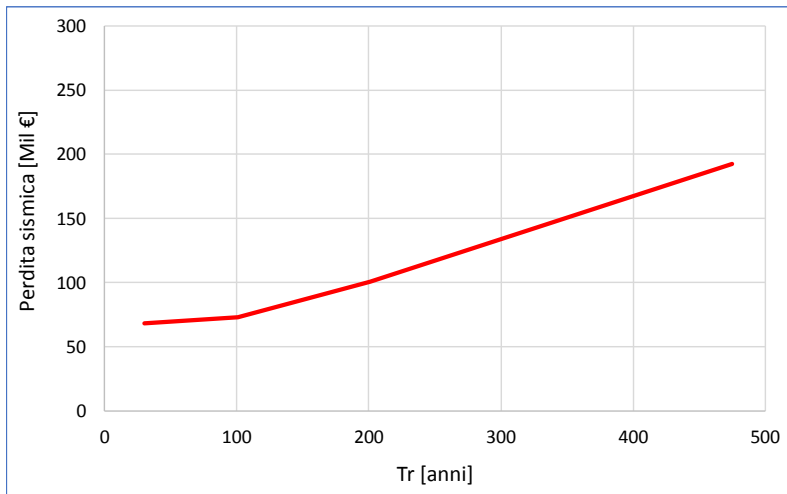
20 ANNI

- *RAFFORZAMNETO LOCALE* 0.81 ML€/ANNO
- *MIGLIORAMENTO SISMICO* 3.81 ML€/ANNO
- *RAFFORZAMNETO LOCALE* 0.40 ML€/ANNO
- *MIGLIORAMENTO SISMICO* 1.90 ML€/ANNO





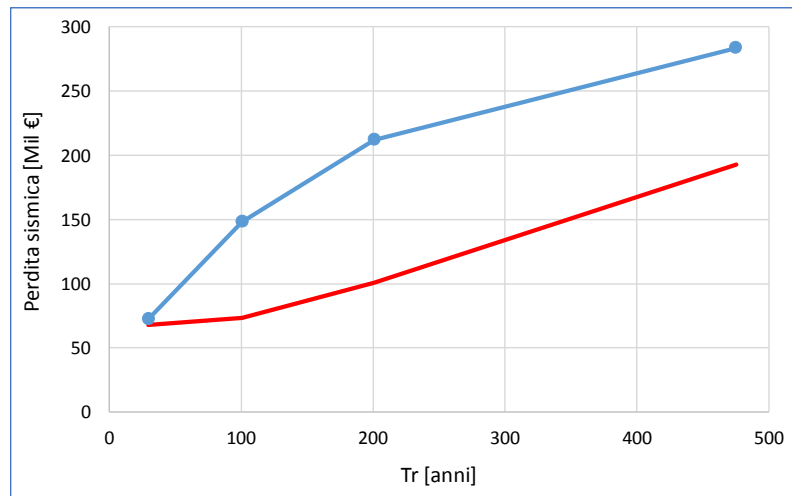
Perdita Annuale Media - intervento locale



PERDITA MEDIA ANNUA 3.71 ml euro

PERDITA MEDIA ANNUA 4.35 ml euro

Confronto Perdita Annuale Media - intervento locale



PERDITA MEDIA ANNUA 5.63 ml euro

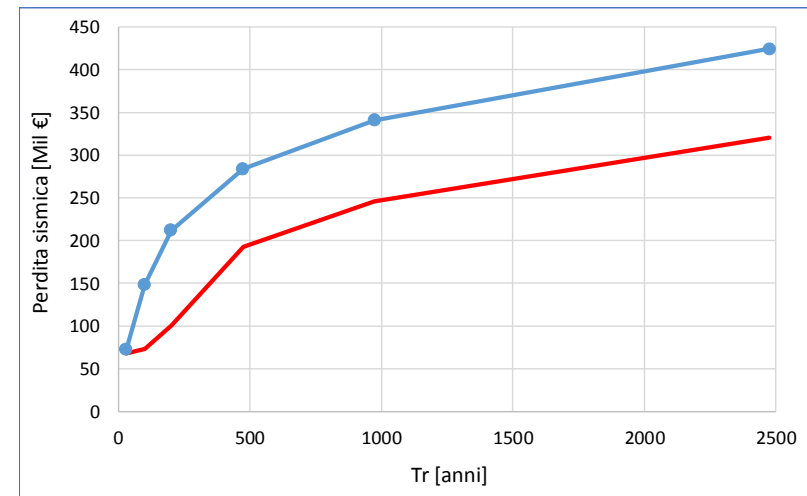
PERDITA MEDIA ANNUA 3.71 ml euro

DIFFERENZA

1.92 ml euro

10 ANNI

- RAFFORZAMNETO LOCALE 0.81 ML€/ANNO
- MIGLIORAMENTO SISMICO 3.81 ML€/ANNO



PERDITA MEDIA ANNUA 6.71 ml euro

PERDITA MEDIA ANNUA 4.35 ml euro

DIFFERENZA

2.36 ml euro

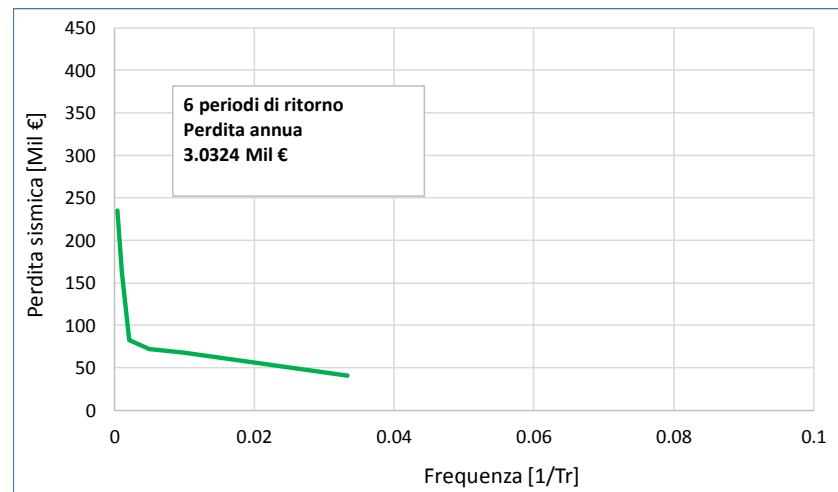
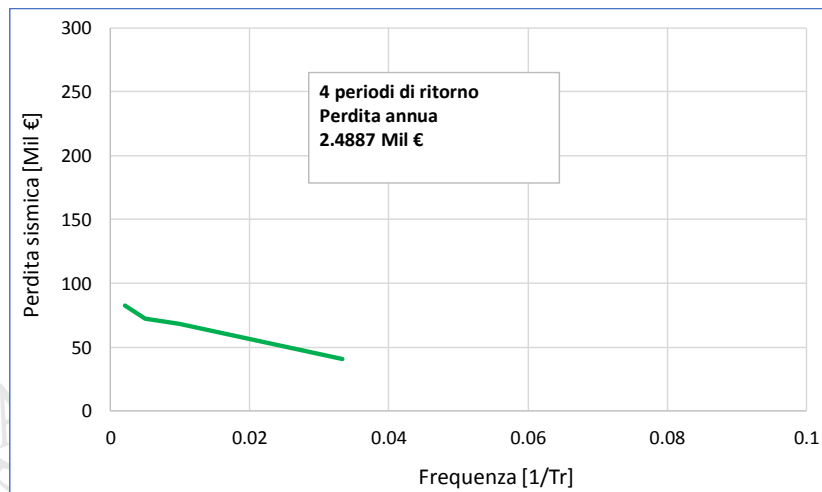
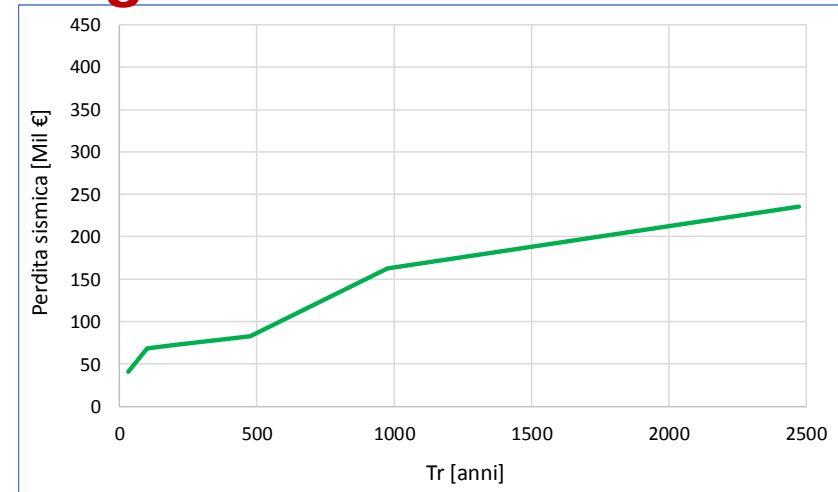
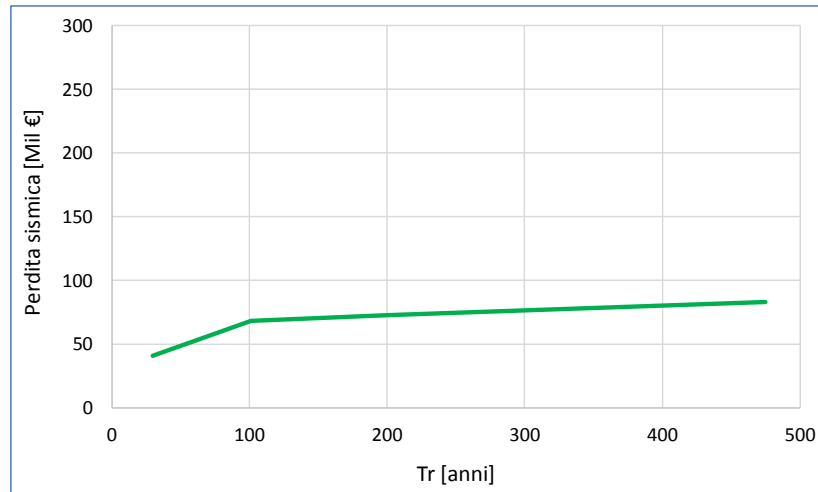
20 ANNI

- RAFFORZAMNETO LOCALE 0.40 ML€/ANNO
- MIGLIORAMENTO SISMICO 1.90 ML€/ANNO





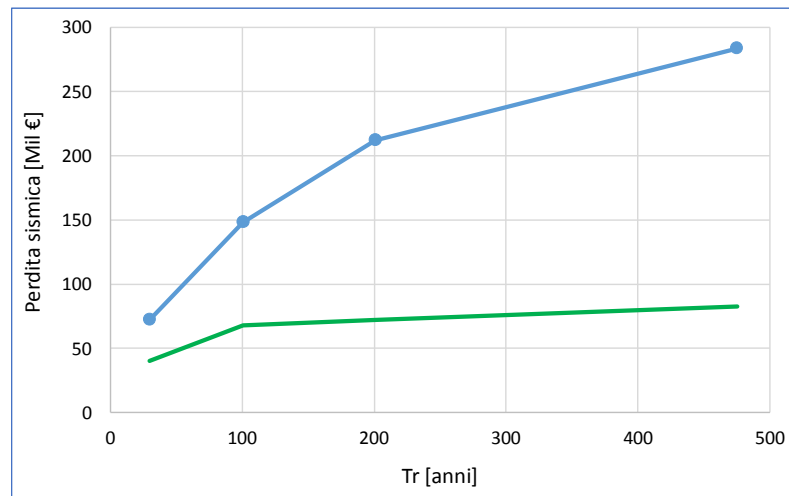
Perdita Annuale Media - miglioramento sismico



PERDITA MEDIA ANNUA 2.49 ml euro

PERDITA MEDIA ANNUA 3.03 ml euro

Confronto Perdita Annuale Media - miglioramento sismico



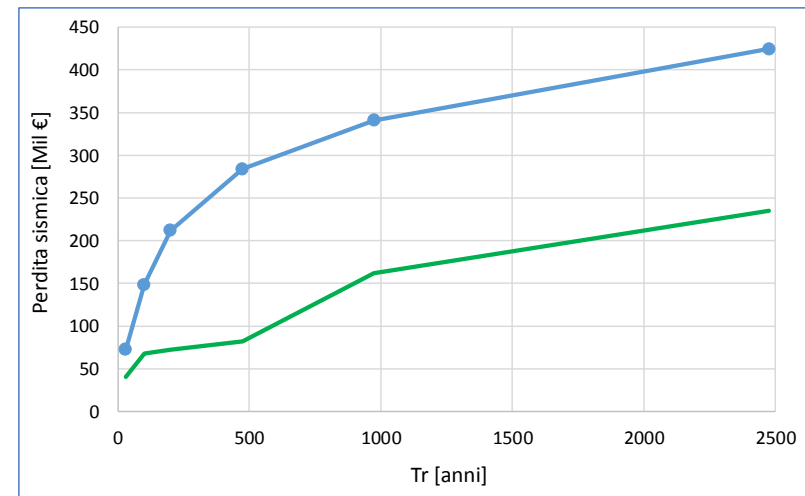
PERDITA MEDIA ANNUA 5.63 ml euro

PERDITA MEDIA ANNUA 2.49 ml euro

DIFFERENZA 3.24 ml euro

10 ANNI

- RAFFORZAMNETO LOCALE 0.81 ML€/ANNO
- MIGLIORAMENTO SISMICO 3.81 ML€/ANNO



PERDITA MEDIA ANNUA 6.71 ml euro

PERDITA MEDIA ANNUA 3.03 ml euro

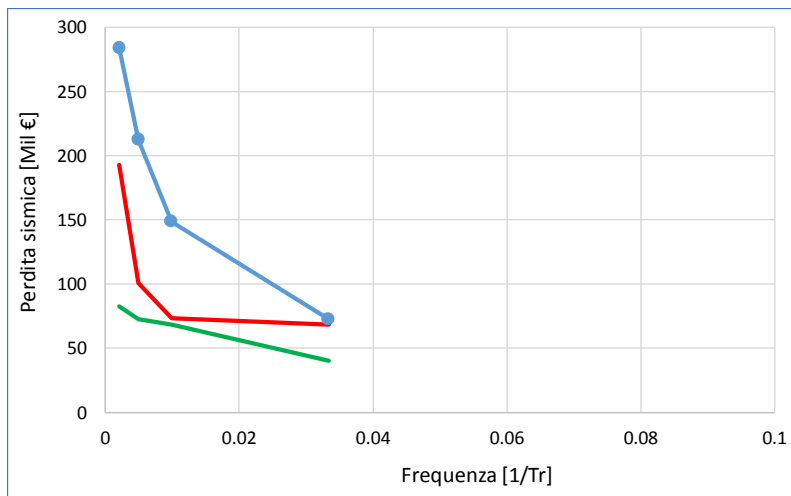
DIFFERENZA 3.69 ml euro

20 ANNI

- RAFFORZAMNETO LOCALE 0.40 ML€/ANNO
- MIGLIORAMENTO SISMICO 1.90 ML€/ANNO



Confronto Perdita Annuale Media



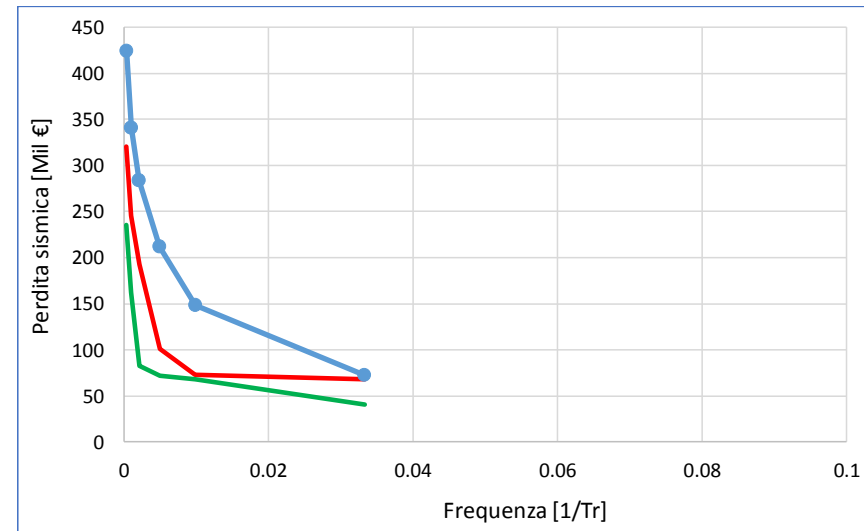
PERDITA MEDIA ANNUA 5.63 ml euro

PERDITA MEDIA ANNUA 3.71 ml euro

PERDITA MEDIA ANNUA 2.49 ml euro

10 ANNI

- RAFFORZAMNETO LOCALE 0.81 ML€/ANNO
- MIGLIORAMENTO SISMICO 3.81 ML€/ANNO



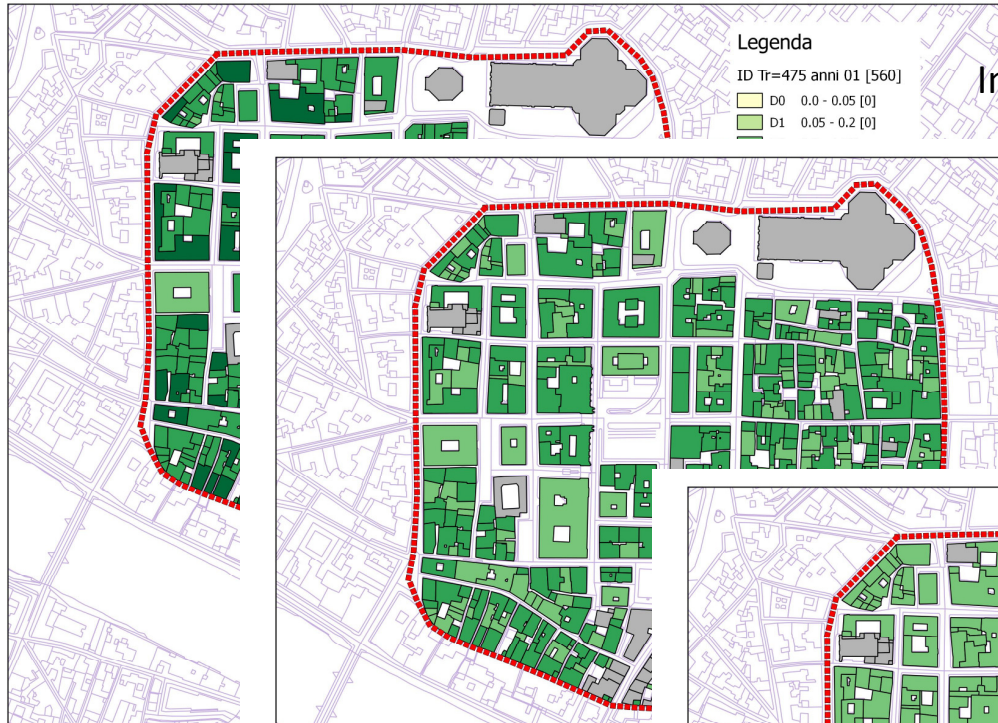
PERDITA MEDIA ANNUA 6.71 ml euro

PERDITA MEDIA ANNUA 4.35 ml euro

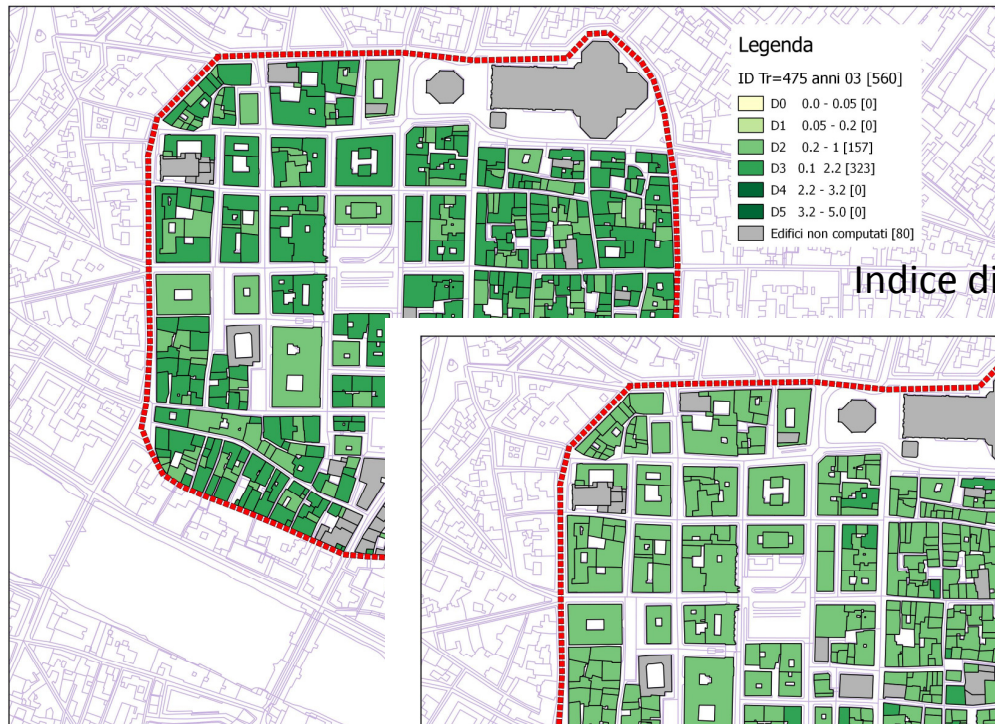
PERDITA MEDIA ANNUA 3.03 ml euro

20 ANNI

- RAFFORZAMNETO LOCALE 0.40 ML€/ANNO
- MIGLIORAMENTO SISMICO 1.90 ML€/ANNO

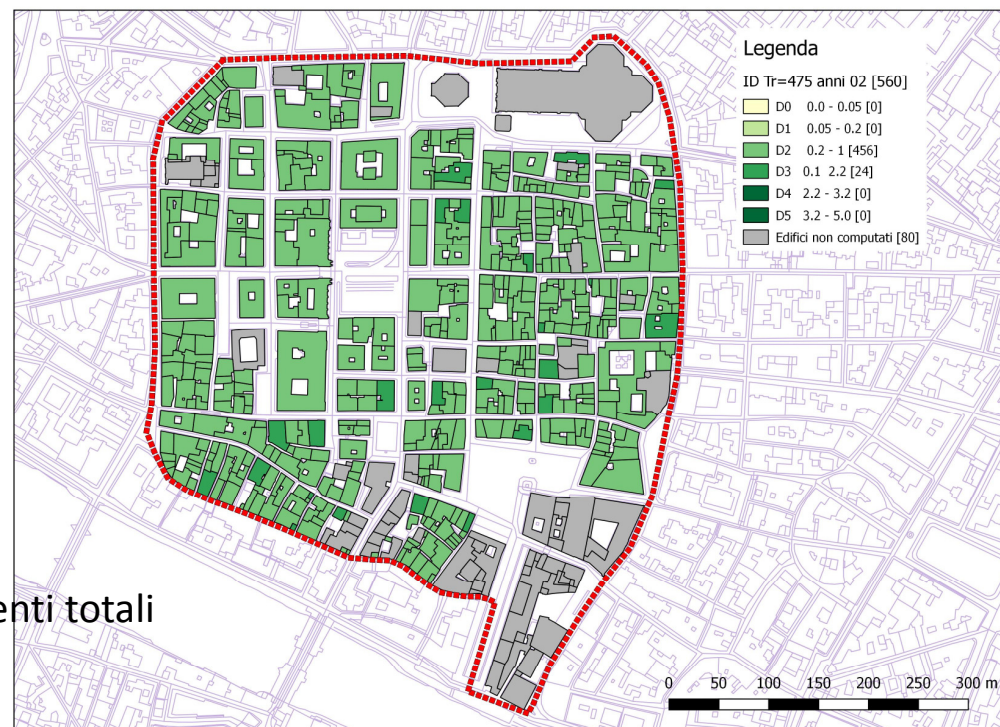


Indice di danno – stato attuale



Indice di danno – con interventi parziali

ID
Tr = 475 anni



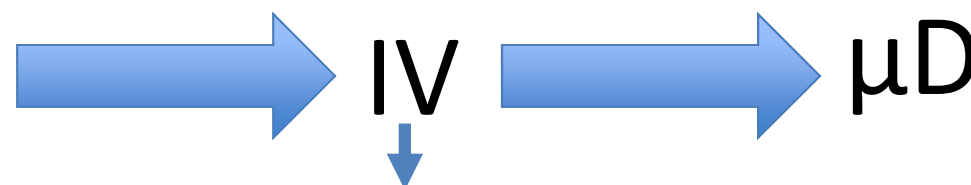
Indice di danno – con interventi totali





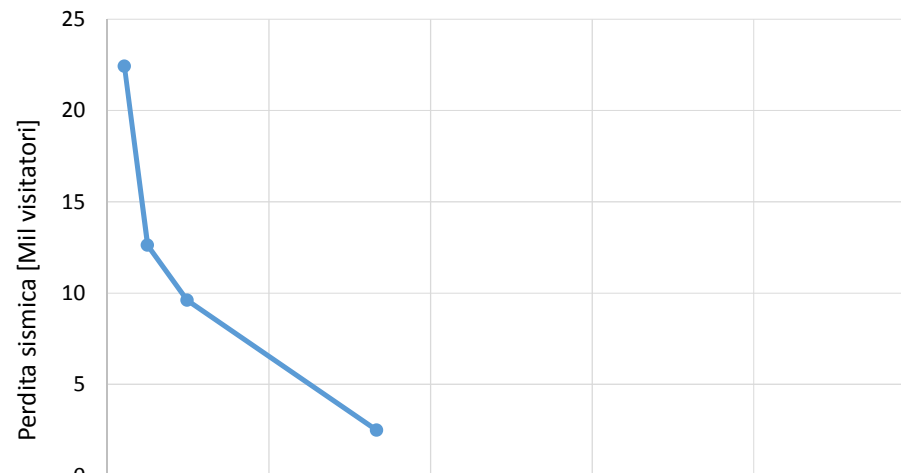
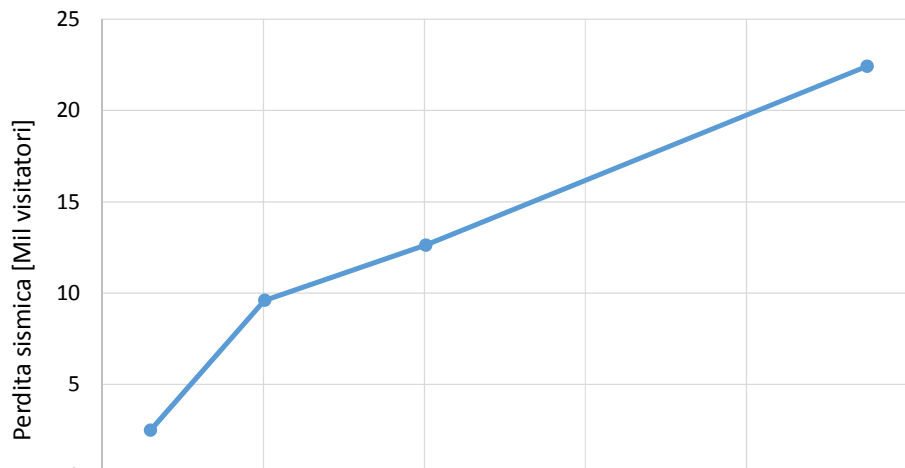
1. Duomo e Cripta Santa Reparata
2. Campanile di Giotto
3. Battistero di S. Giovanni
4. Museo del Bigallo
5. Chiesa di S. Maria Maggiore
6. Chiesa dei SS. Michele e Gaetano
7. Museo della Misericordia di Firenze
8. Capitolo Metropolitano Fiorentino
9. Palazzo Strozzi
10. Biblioteca gabinetto Vieusseux
11. Chiesa S.Margherita in S.Maria dei Ricci
12. Museo casa di Dante
13. Museo di Orsanmichele
14. Palazzo dell'Arte della Lana
15. Chiesa della Badia Fiorentina
16. Museo di Palazzo Davanzati
17. Biblioteca Palagio di Parte Guelfa
18. Palazzo Vecchio-quartieri monumentali
19. Galleria degli Uffizi
20. Museo di Storia della Scienza

Turisti persi



Mesi di chiusura

D0	D1	D2	D3	D4	D5
0	2	8	50	132	168

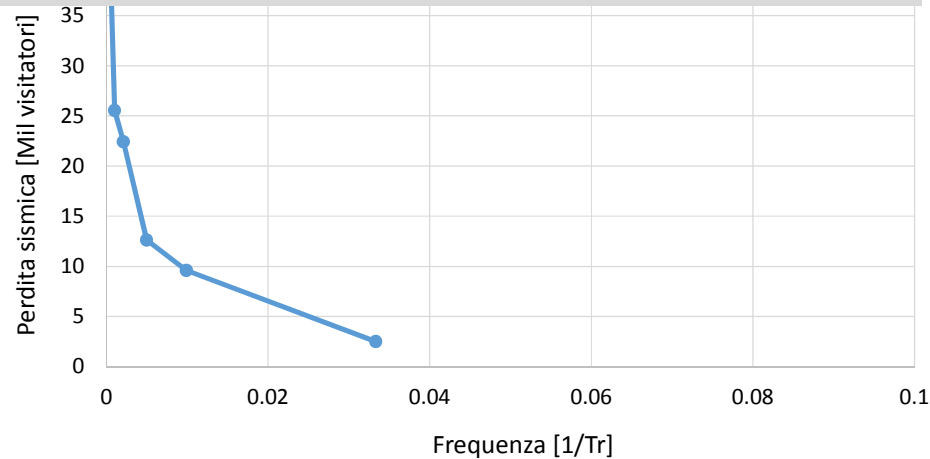
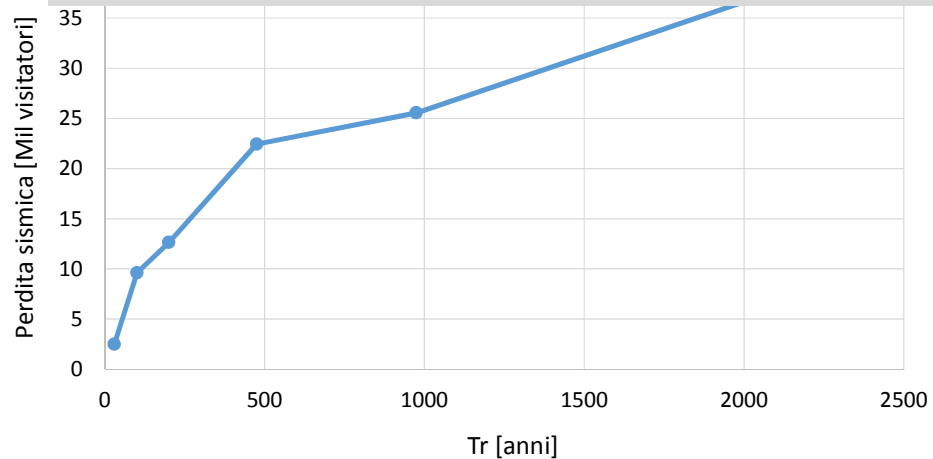


Rischio 0.3231 Mil visitatori / anno

0.28%

Rischio 0.4014 Mil visitatori / anno

0.35%





1. Duomo e Cripta Santa Reparata

2. Campanile di Giotto

3. Battistero di S. Giovanni

4. Museo del Bigallo

5. Chiesa di S. Maria Maggiore Ingresso libero

6. Chiesa dei SS. Michele e Gaetano Ingresso libero

7. Museo della Misericordia di Firenze

8. Capitolo Metropolitano Fiorentino ????

9. Palazzo Strozzi

10. Biblioteca Gabinetto Vieusseux Ingresso libero

11. Chiesa S.Margherita in S.Maria dei Ricci Ingresso libero

12. Museo casa di Dante

13. Museo di Orsanmichele

14. Palazzo dell'Arte della Lana Ingresso libero

15. Chiesa della Badia Fiorentina Ingresso libero

16. Museo di Palazzo Davanzati

17. Biblioteca Palagio di Parte Guelfa Ingresso libero

18. Palazzo Vecchio-quartieri monumentali

19. Galleria degli Uffizi

20. Museo di Storia della Scienza



Firenzecard **85€**

- 72 ore a disposizione per visitare il patrimonio culturale di Firenze e dell'area metropolitana
- Mostre e prenotazioni incluse
- Ingresso gratuito per i minori di 18 anni appartenenti al nucleo familiare del possessore della card

[Scopri di più](#) [Acquista](#)

Firenze Card
€ 85/72 ore

