

Vulnerabilità sismica del patrimonio edilizio della città di Potenza

Angelo MASI

*DiSGG, Università della Basilicata (masi@unibas.it)
Centro di Competenza sul Rischio Sismico della Regione Basilicata (CRiS) www.crisbasilicata.it*



Comune di Potenza



La città di Potenza

- Capoluogo della Basilicata
- ~ 65.000 abitanti
- ~ 100.000 persone presenti





SISMA DEL 23.11.1980

Intensità sismica locale VII-VIII MCS

SISMA DEL 5.5.1990

Intensità sismica locale VI MCS

SISMA DEL 26.5.1991

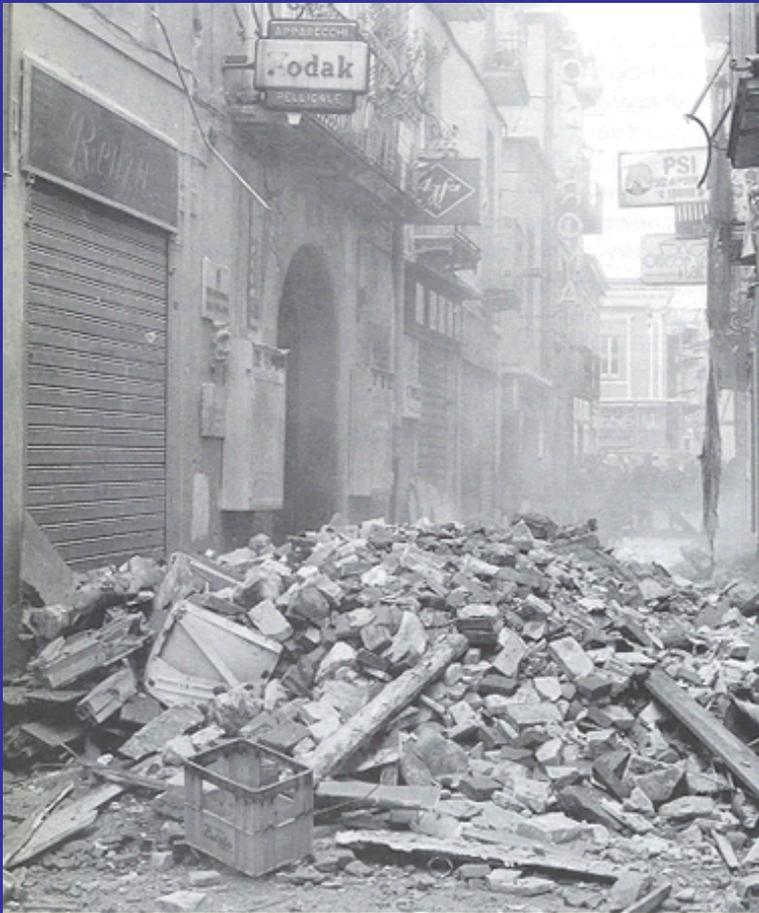
Intensità sismica locale VI MCS



Conseguenze del sisma del 1980

11 morti, ~ 50 feriti, 4000 senzatetto

Numerosi crolli



Ampio e diffuso danneggiamento



Conseguenze del sisma del 1980

- ✓ SOCIALI
- ✓ ASPETTO DELLA CITTÀ
- ✓ CLASSIFICAZIONE SISMICA IN 2° CATEGORIA (ORA 1° CATEGORIA)
- ✓ TIPOLOGIA EDIFICI
- ✓ DECENTRAMENTO E LOCALIZZAZIONE DEGLI EDIFICI STRATEGICI IN EDIFICI NUOVI ED ANTISISMICI
- ✓ ADEGUAMENTO SISMICO EDIFICI PUBBLICI

- ✓ STATO DELLA "RICOSTRUZIONE": finanziati circa 1400 interventi (1000 sulla muratura, 400 sul c.a.) per un importo totale (rivalutato) di circa 240 Milioni di EURO

Conseguenze del sisma del 1980



Interventi di recupero del
Centro Storico



Nascita di nuovi quartieri
"provvisori" (Zona prefabbricati)

Conseguenze del sisma del 1980



Adeguamento sismico con tecniche innovative (controventi dissipativi)
della Scuola Elementare D. Viola



DISGG
Angelo MASI

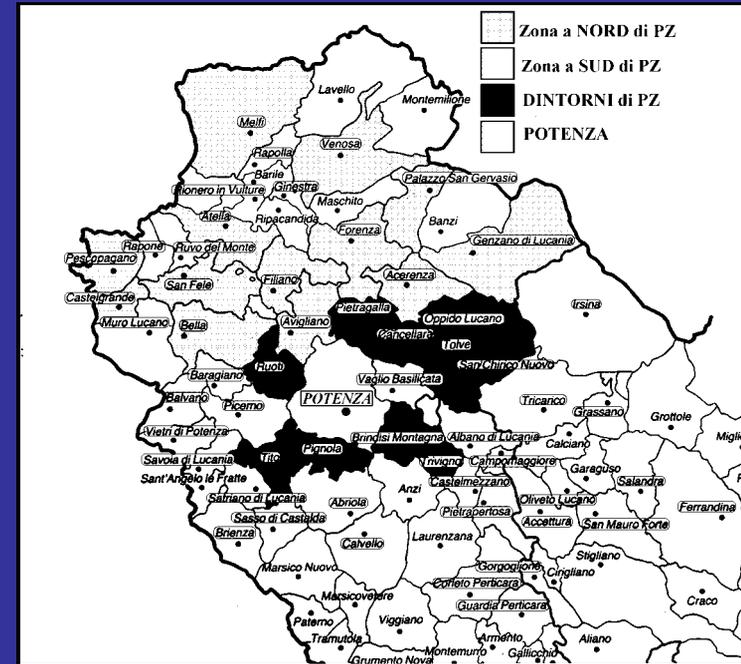
Conseguenze del sisma del 1980



Istituzione dell'Università degli Studi di Basilicata

Data base del rilievo post-sisma 1990

1. Il rilevamento (schede GNDD/90, I livello) interessò 41 comuni
2. Potenza: l'inventario iniziale comprendeva circa 12000 edifici
3. Aggiornamento database (1999): edifici in c.a. costruiti dopo il 1990



Correzioni e revisioni del database

1. Edifici con superficie ≤ 15 mq
2. Edifici ad 1 e 2 piani isolati con superficie totale ≤ 25
3. Edifici ad 1 piano con altezza max ≤ 2.4 m



Progetto POTENZA (parti I e II) finanziato dal SSN

“Valutazione e riduzione del rischio sismico del sistema urbano di Potenza”

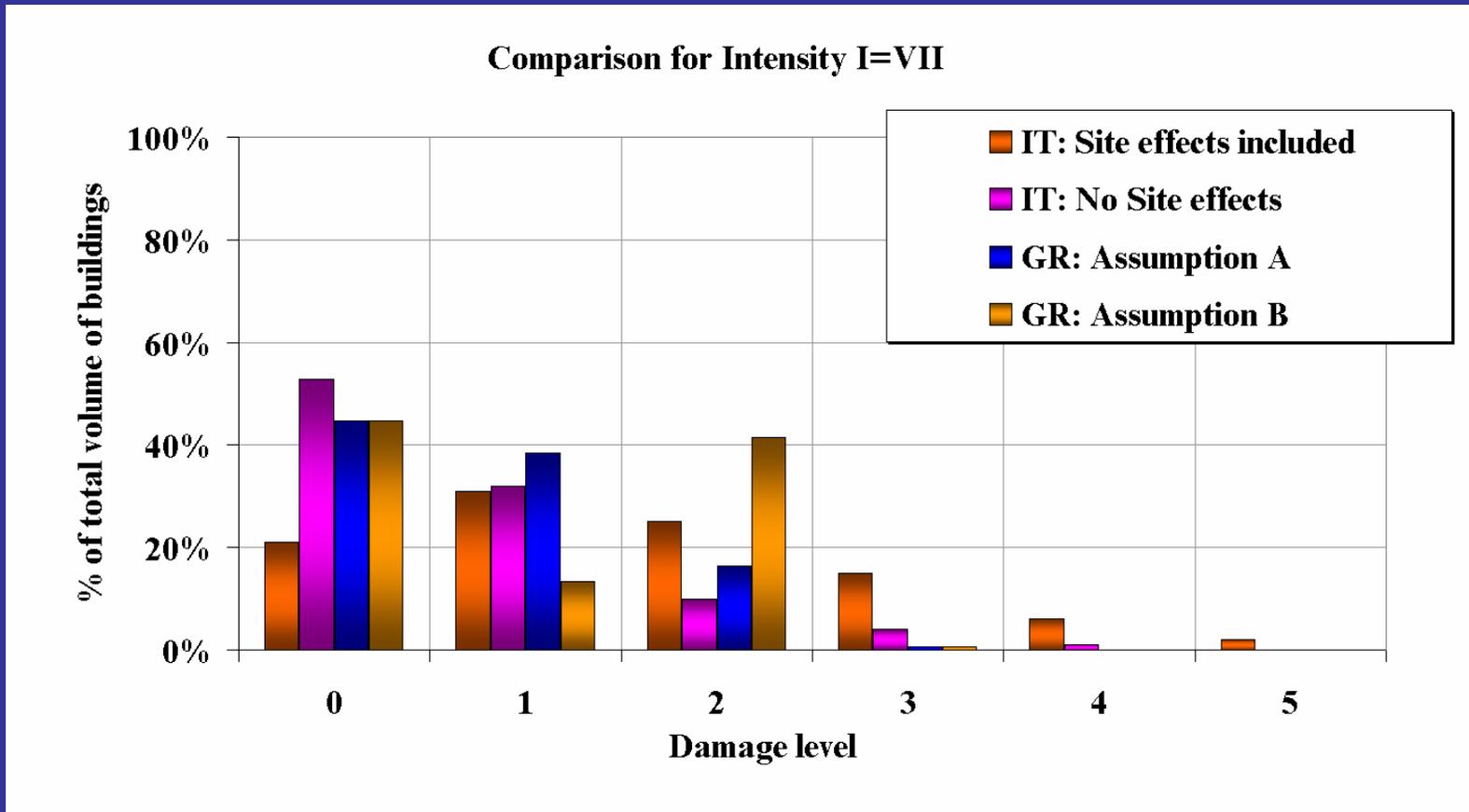
Progetto ENSeRVES finanziato dalla Comunità Europea

“European Network on Seismic Risk, Vulnerability and Earthquake Scenarios”

Coinvolti 11 centri di ricerca operanti nel rischio sismico di 10 paesi europei: Italy (coordinatore), Greece, France, Bulgaria, Romania, Albania, Czech Republic, Slovak Republic, Hungaria.

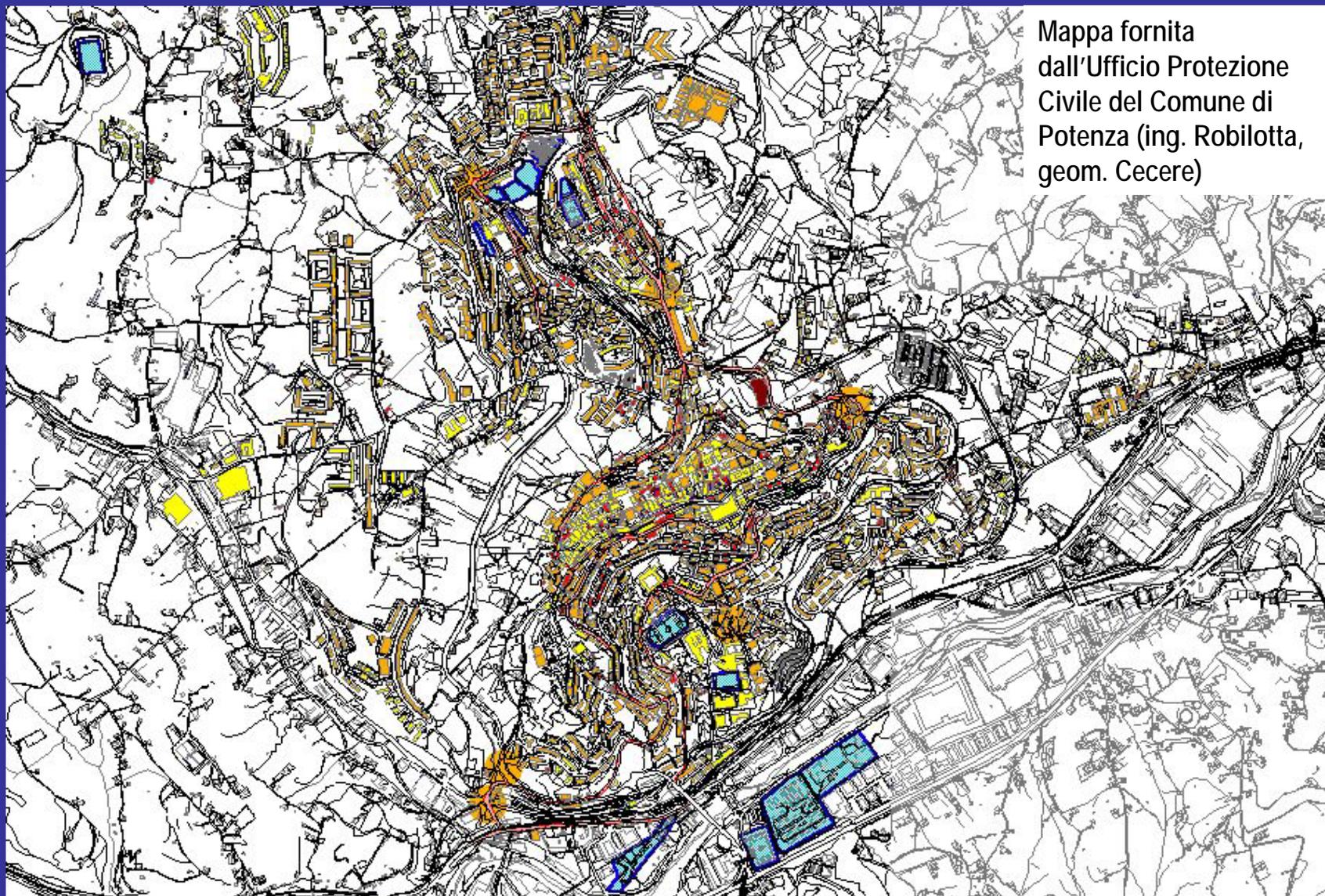
Progetto ENSeRVES

La città di POTENZA è stata utilizzata come caso studio



Greece studies: Damage scenarios for Potenza using the Italian (IT) and Greek (GR) methods

Piano di Protezione Civile di Potenza



Mappa fornita
dall'Ufficio Protezione
Civile del Comune di
Potenza (ing. Robilotta,
geom. Cecere)

Mappa delle Classi di Vulnerabilità e delle zone di ammassamento

Progetto Potenza – I Parte

OBIETTIVI

Raccolta di dati

Sviluppo di metodologie



VALUTAZIONE DEL RISCHIO
SISMICO DEL SISTEMA URBANO
DI POTENZA

ATTIVITA'

Acquisizione, omogeneizzazione e informatizzazione (GIS) dati su:

- Caratteristiche geologiche e geotecniche del territorio
- Caratteristiche di vulnerabilità degli edifici
- Caratteristiche del sistema idrico e dei trasporti
- Esposizione del sistema urbano (dati su popolazione e attività)



Progetto Potenza II: Attività

1. Definizione dei terremoti di scenario
2. Definizione dei percorsi critici nell'ambito urbano di Potenza (in relazione alle esigenze post-sisma)
3. Microzonazione speditiva lungo i percorsi critici
4. Vulnerabilità del territorio lungo i percorsi critici
5. **Vulnerabilità del patrimonio edilizio**
6. Vulnerabilità delle opere stradali

OBIETTIVI

SCENARI SISMICI



- EDIFICI RESIDENZIALI E POPOLAZIONE
- FUNZIONALITÀ DEL SISTEMA DI TRASPORTI INTERNO (ACCESSIBILITÀ ALLE STRUTTURE STRATEGICHE E AI PUNTI CRITICI)

RISULTATI

- DANNI AGLI EDIFICI ED ALLE INFRASTRUTTURE
- COSTI DI RIPARAZIONE DEGLI EDIFICI
- PERSONE COINVOLTE (VITTIME, FERITI, SENZATETTO)
- CONDIZIONI DI FUNZIONALITÀ DEL SISTEMA VIARIO

Attività svolta in collaborazione con il Servizio Sismico Nazionale

Due eventi:

T_r di 50 anni (probabilità di superamento del 63% in 50 anni)

T_r di 475 anni (probabilità di superamento del 10% in 50 anni)

Dalle diverse metodologie disponibili in letteratura:

- $T_r = 50$ anni: $I_{MCS} = VI-VII$ $a/g=0.08$
- $T_r = 475$ anni: $I_{MCS} = VIII-IX$ $a/g=0.25$

Relazioni locali (Margottini et al., 1987)

- $T_r = 475$ anni $\rightarrow I_{EMS}=VIII$
- $T_r = 50$ anni $\rightarrow I_{EMS}=VI$

Scenari di danno al patrimonio edilizio

Analisi del database degli edifici



Tipologie edilizie

Valutazione della vulnerabilità

La classe di vulnerabilità è stata attribuita su base tipologica



Classi di Vulnerabilità

Stima del Danno

Mediante matrici di probabilità di danno (DPM)



Stima del danno

Caratteristiche sismiche degli edifici

Circa il 40 % (in termini di volume) degli edifici sono antisismici

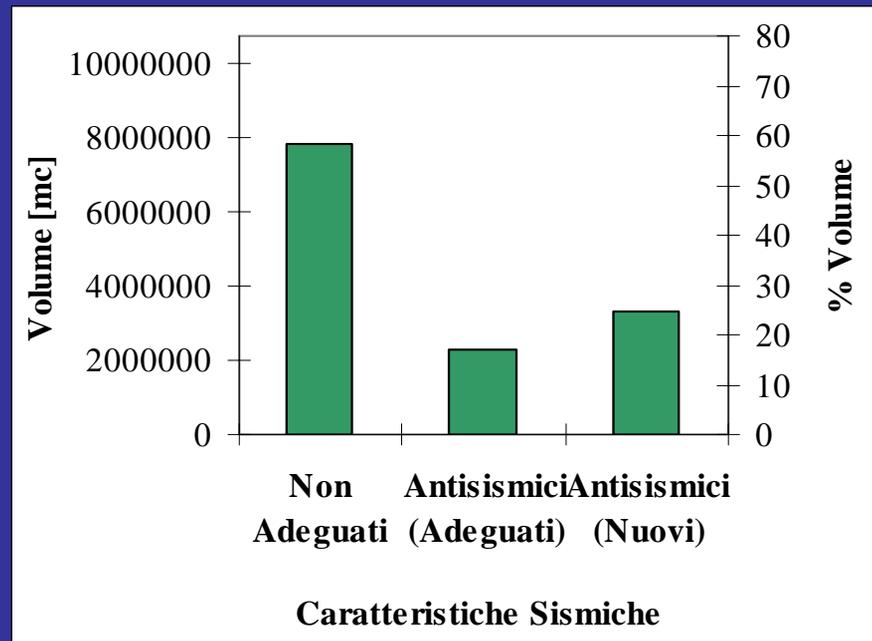
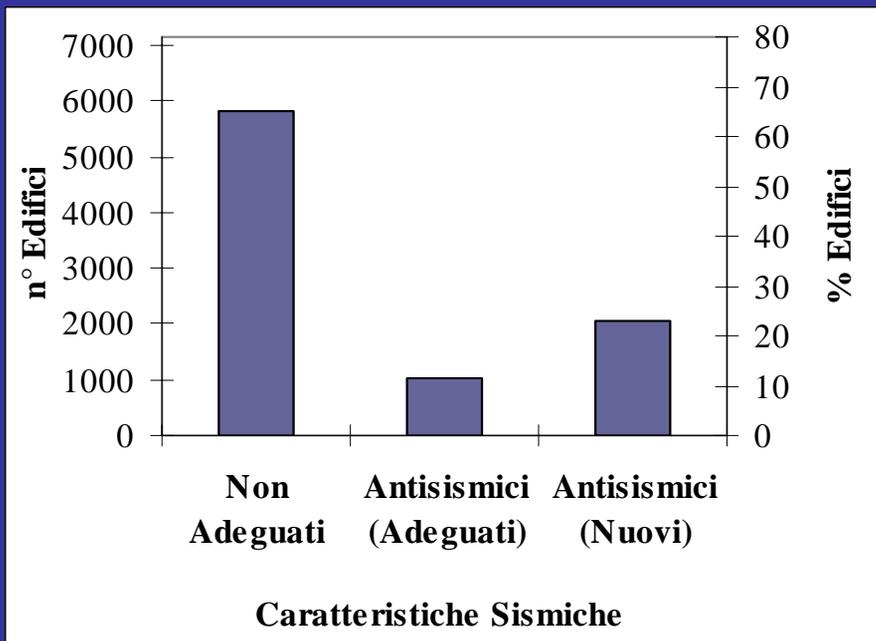


Tabella di corrispondenza tra Tipologie Edilizie e Classi di Vulnerabilità

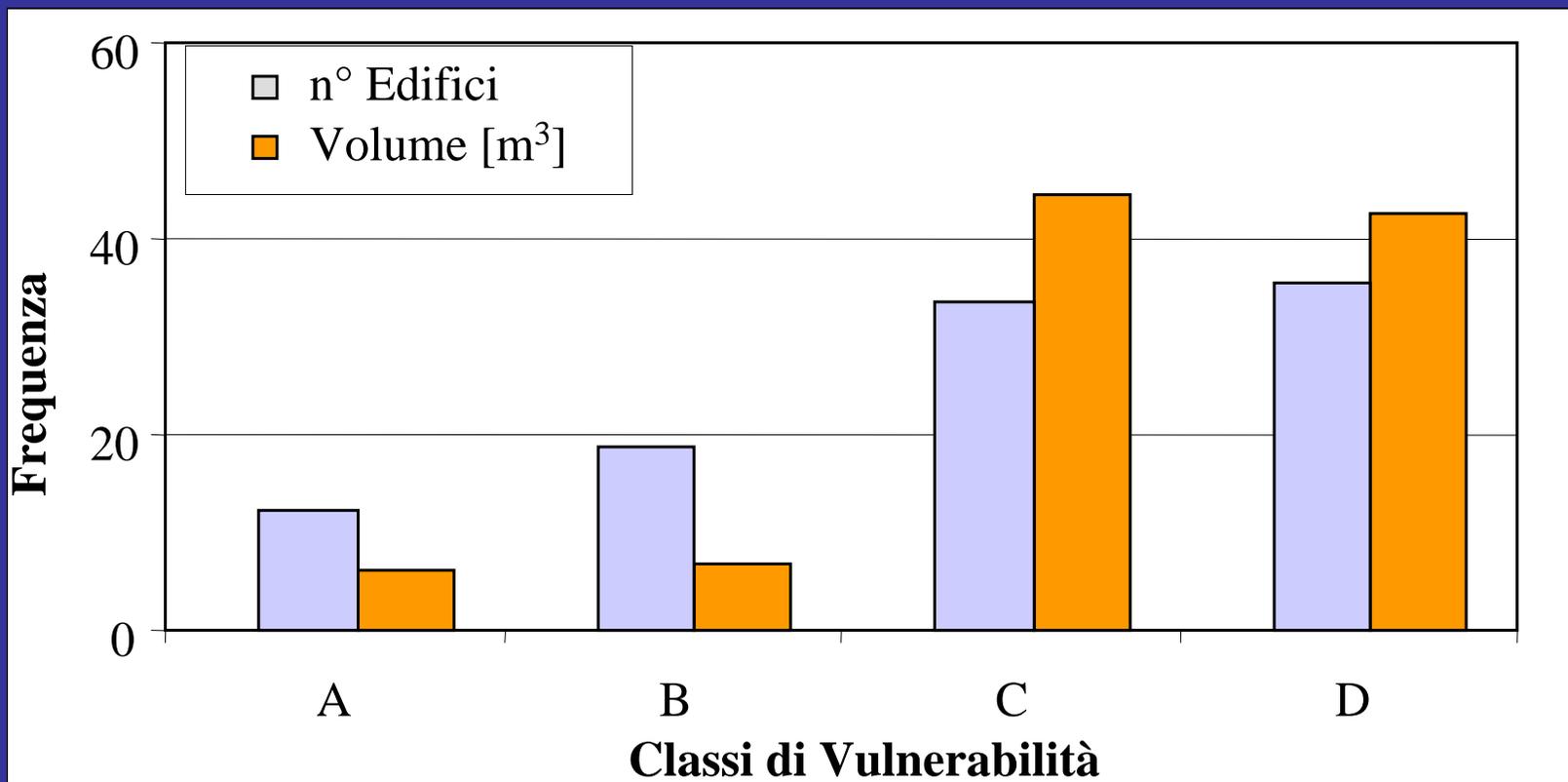
Strutture verticali

Strutture orizzontali	Muratura di qualità scadente	Muratura di qualità media	Muratura di buona qualità	Cemento armato
Sistemi a volte o misti	A	A	A	
Solai in legno con o senza catene	A	A	B	
Solai in putrelle con o senza catene	B	B	C	
Solai o solette in cemento armato	B	C	C	C
Edifici antisismici o adeguati	D	D	D	D

Le classi di vulnerabilità medio-basse (C e D) sono le più diffuse

- circa il 70 % in termini di edifici

- oltre l'85% in termini di volume



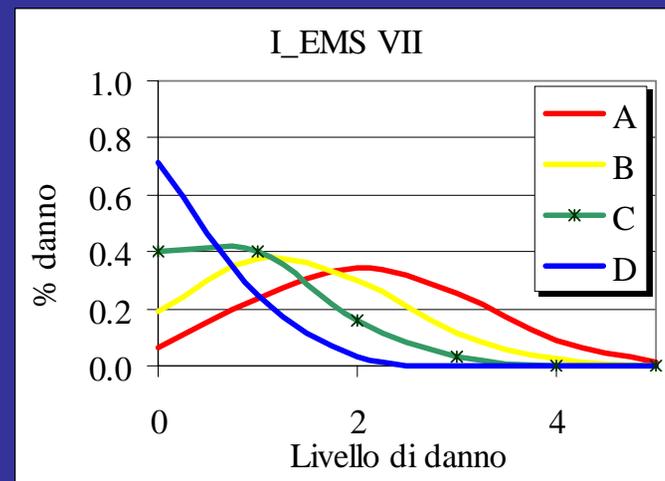
← + VULNERABILITA' -

Stima del danno

Sono state utilizzate le Matrici di Probabilità di Danno (DPM) calibrate sulla base dei rilievi effettuati dopo il terremoto del 1980

Le DPM disponibili erano relative a tre classi di vulnerabilità (alta A, media B e bassa C)

E' stata introdotta (Dolce, Masi, Vona) un'ulteriore classe a minore vulnerabilità (classe D) relativa agli edifici antisismici o adeguati



La DPM per la classe D è stata ricavata dalle DPM disponibili tenendo conto delle indicazioni tratte dalla scala EMS98.

Intensità	Livello di danno					
	0	1	2	3	4	5
VI	0,900	0,090	0,010	0,000	0,000	0,000
VII	0,715	0,248	0,035	0,002	0,000	0,000
VIII	0,401	0,402	0,161	0,032	0,003	0,000
IX	0,131	0,329	0,330	0,165	0,041	0,004
X	0,050	0,206	0,337	0,276	0,113	0,018

Utilizzo delle DPM

MATRICI DI PROBABILITA' DI DANNO

Livello di danno

Intensità	Livello di danno						
	0	1	2	3	4	5	
Classe A	VI	18,8	37,3	29,6	11,7	2,3	0,2
	VII	6,4	23,4	34,4	25,2	9,2	1,4
	VIII	0,2	2,0	10,8	28,7	38,1	20,2
	IX	0,0	0,1	1,7	11,1	37,2	49,8
	X	0,0	0,0	0,2	3,0	23,4	73,4
Classe B	VI	36,0	40,8	18,5	4,2	0,5	0,0
	VII	18,8	37,3	29,6	11,7	2,3	0,2
	VIII	3,1	15,5	31,2	31,3	15,7	3,2
	IX	0,2	2,2	11,4	29,3	37,6	19,3
	X	0,0	0,1	1,7	11,1	37,2	49,8
Classe C	VI	71,5	24,8	3,5	0,2	0,0	0,0
	VII	40,1	40,2	16,1	3,2	0,3	0,0
	VIII	13,1	32,9	33,0	16,5	4,1	0,4
	IX	5,0	20,6	33,7	27,6	11,3	1,8
	X	0,5	4,9	18,1	33,6	31,2	11,6
Classe D	VI	90,0	9,0	1,0	0,0	0,0	0,0
	VII	71,5	24,8	3,5	0,2	0,0	0,0
	VIII	40,1	40,2	16,1	3,2	0,0	0,0
	IX	13,1	32,9	33,0	16,5	0,0	0,0
	X	5,0	20,6	33,7	27,6	0,0	0,0

ESEMPIO

Edificio con vulnerabilità di **Classe B**

Intensità sismica **VIII**

Il **31.3%** degli edifici subisce un **danno di livello 3**

Livello di danno 3



Moderati Danni Strutturali

Gravi Danni Non Strutturali

Livelli di danno degli edifici in muratura

Livello 0: danno nullo



Nessun danno

Livello 3: danno grave



Moderato danno
Strutturale
Forte danno
Non Strutturale

Livello 1 : danno lieve



Nessun danno
Strutturale
Lieve danno
Non Strutturale

Livello 4: danno gravissimo



Grave danno
Strutturale
Crollo Parziale

Livello 2: danno medio



Lieve danno
Strutturale
Moderato danno
Non Strutturale

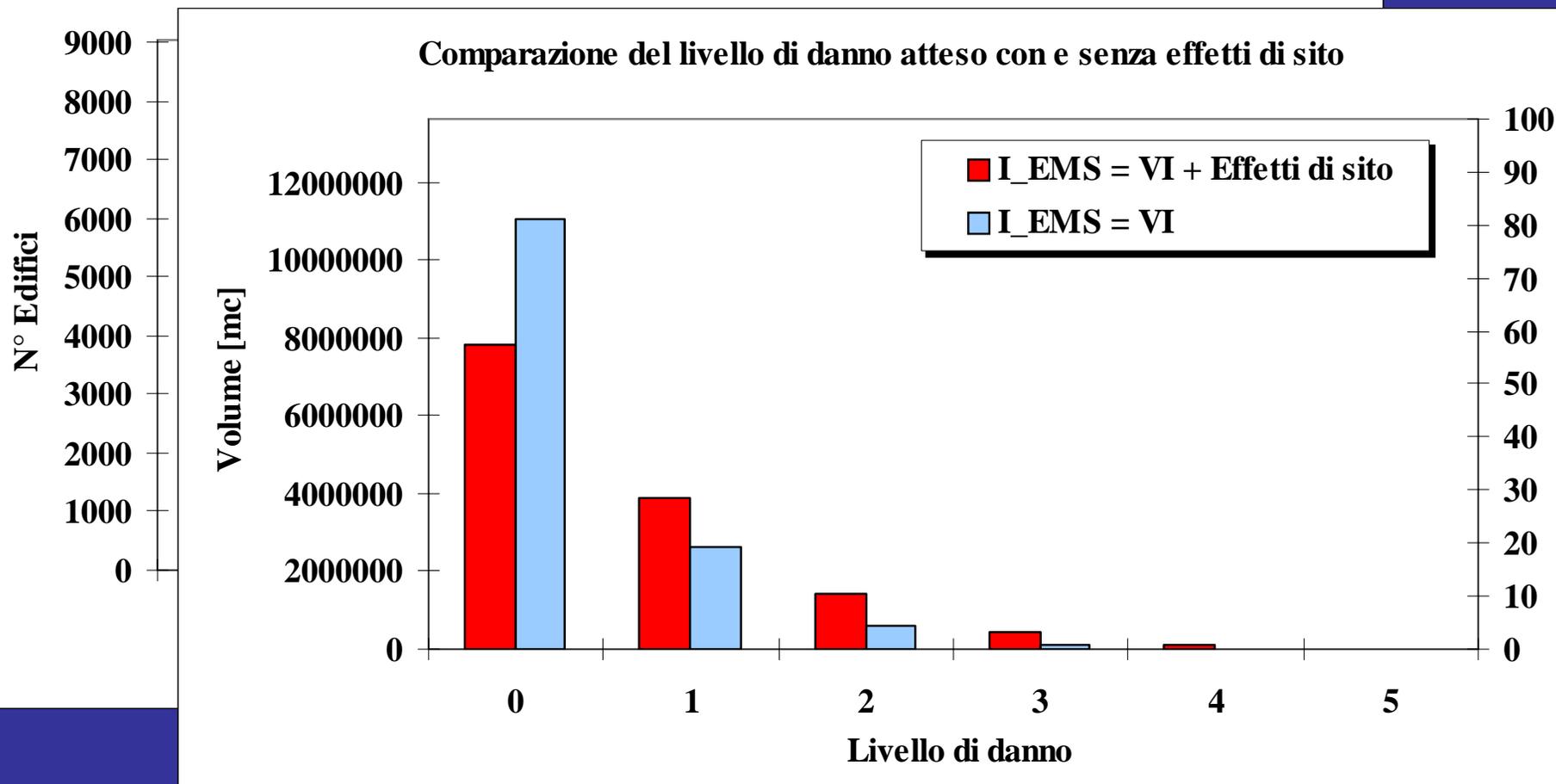
Livello 5: danno totale



Crollo Totale

Valutazione dei danni ($I_{EMS} = VI$)

Comparazione del livello di danno atteso con e senza effetti di sito

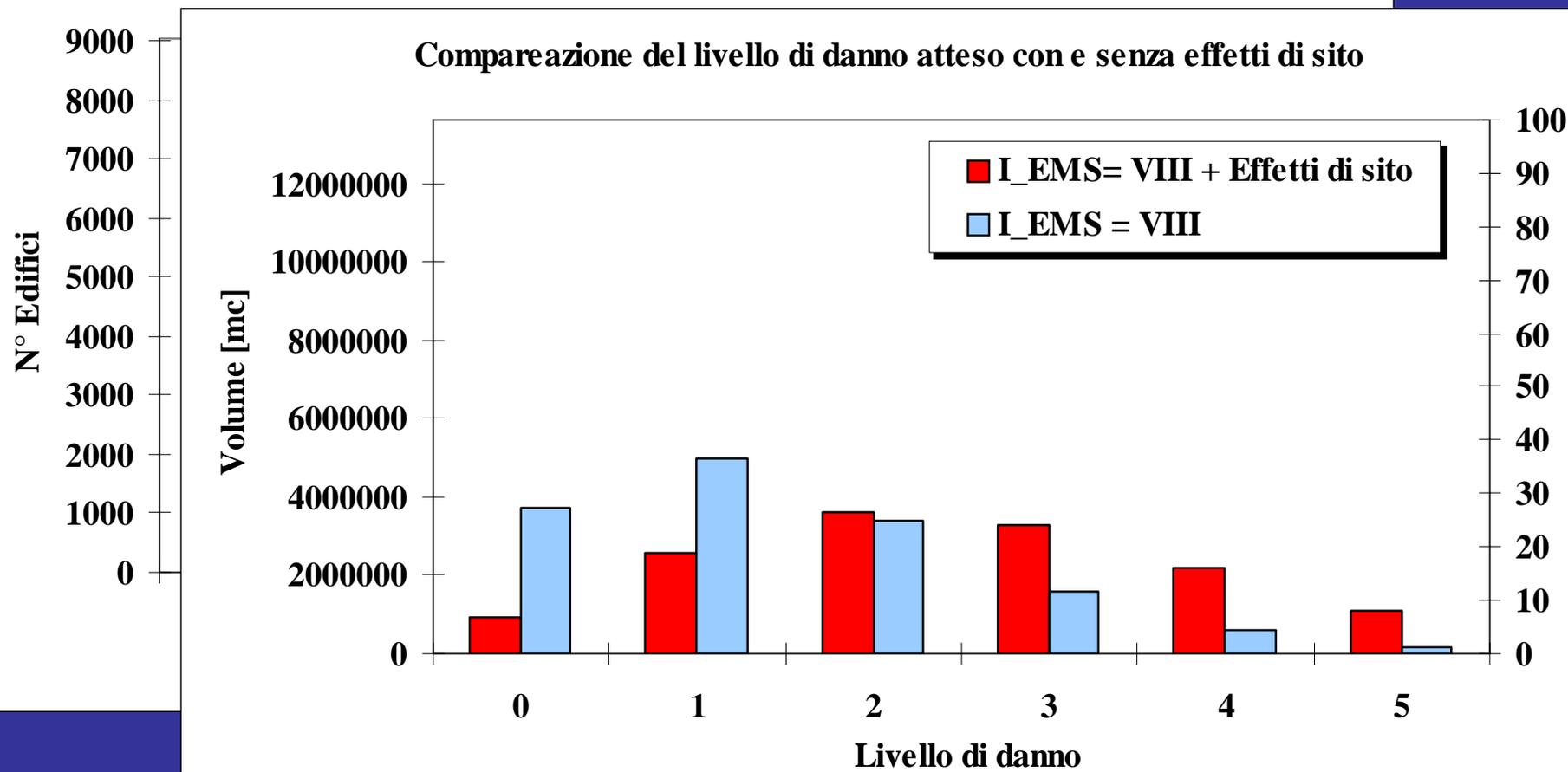


$$DI_{med} = \sum_1^n \frac{d_i f_i}{n}$$

I_{EMS}	VI (senza ES)	VI (con ES)
DI_{med}	0.097	0.220

Valutazione dei danni ($I_{EMS} = VIII$)

Comparazione del livello di danno atteso con e senza effetti di sito



$$DI_{med} = \sum_1^n \frac{d_i f_i}{n}$$

I_{EMS}	VIII (senza ES)	VIII (con ES)
DI_{med}	0.353	0.530

Riferimento alle sezioni censuarie ISTAT

Mappe per evento con $T_r = 50$ ($I_{EMS} = VI$)

$d = 0 - 1$ (danno nullo) (con e senza effetti di sito)

$d = 2 - 3$ (danno riparabile) (con e senza effetti di sito)

Mappe per evento con $T_r = 475$ ($I_{EMS} = VIII$)

$d = 2 - 3$ (danno riparabile) (con e senza effetti di sito)

$d = 4 - 5$ (danno irriparabile) (con e senza effetti di sito)

Distribuzione geografica del danno

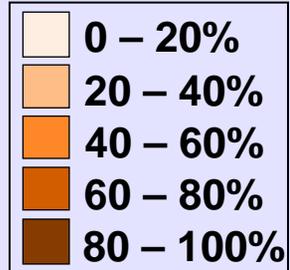
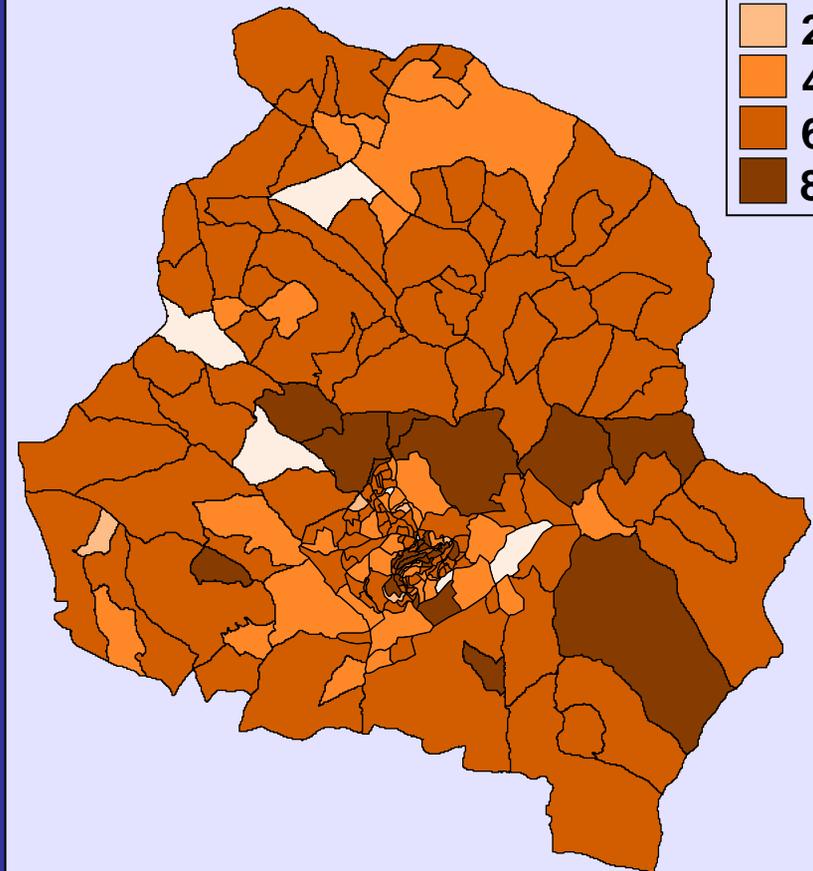
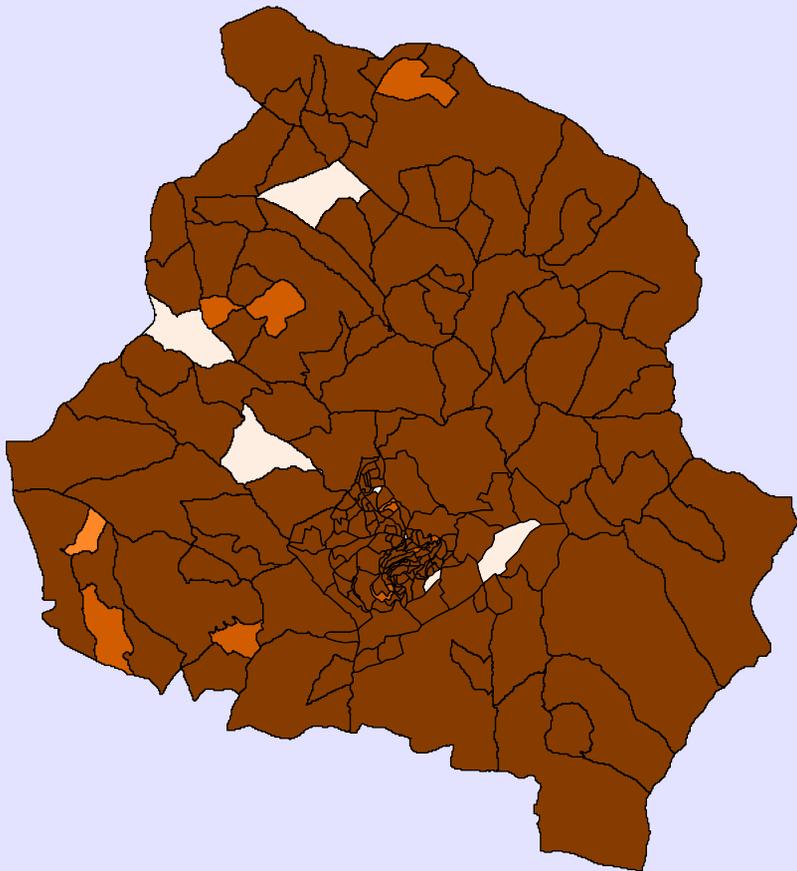
Evento: $T_r = 50$ anni

$I_{EMS} = VI$

$L_d = 0 - 1$

Senza effetti di sito

Con effetti di sito



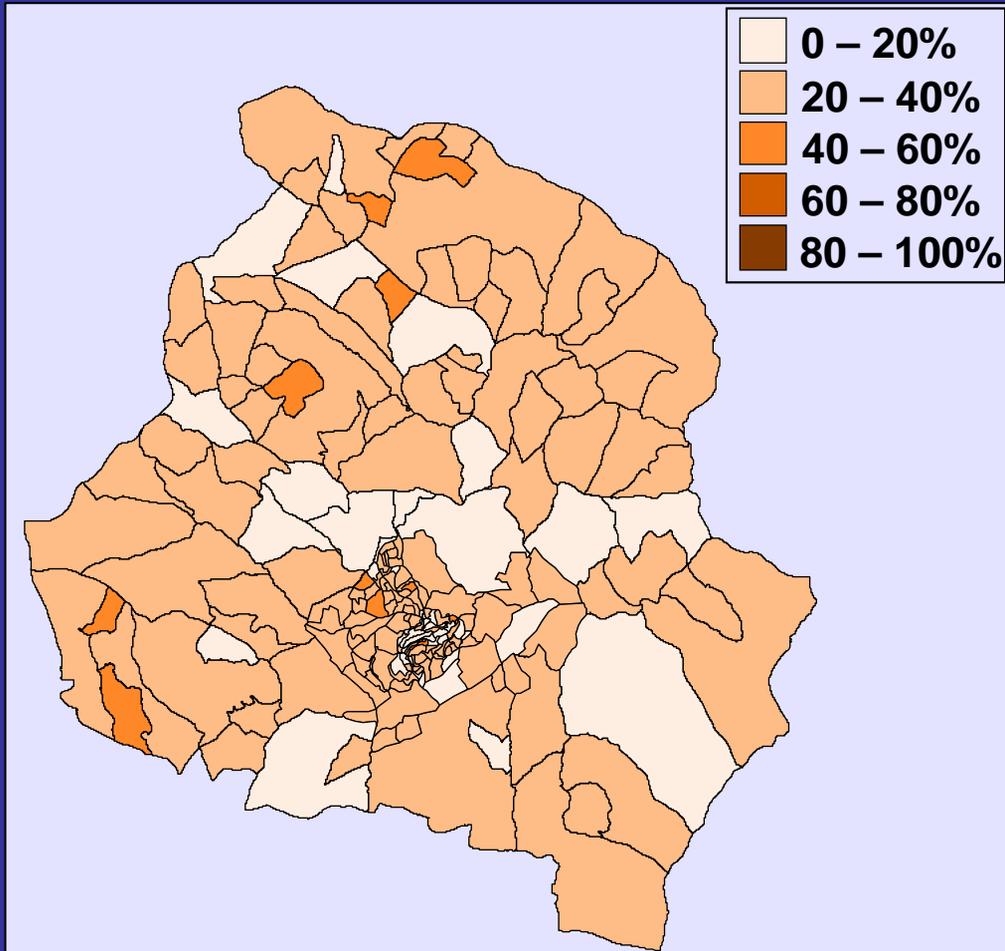
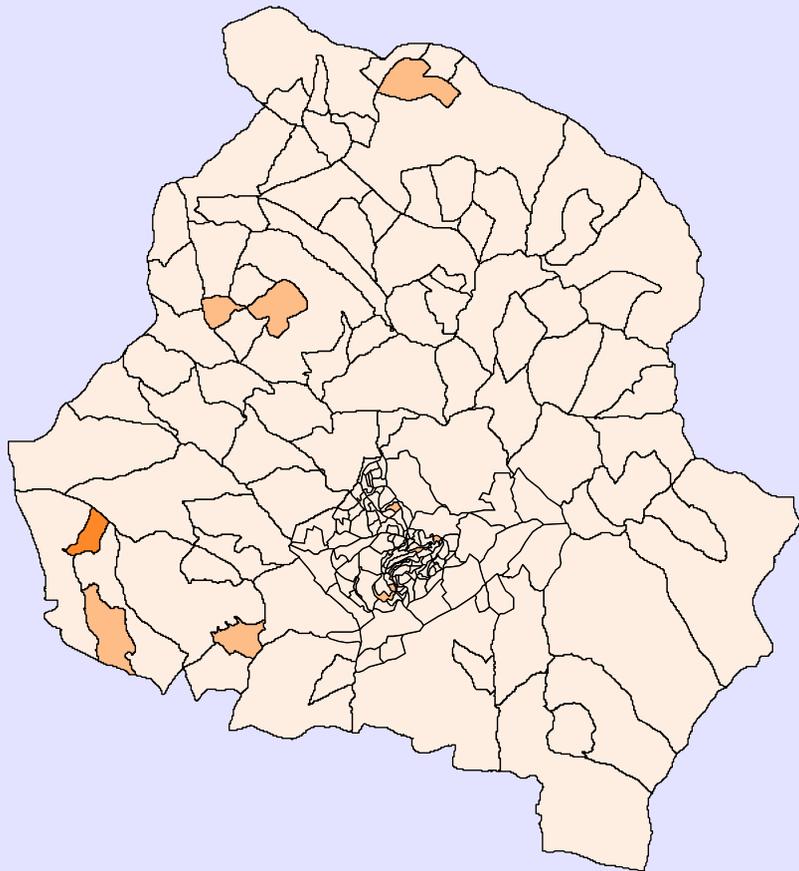
Distribuzione geografica del danno

Evento: $T_r = 50$ anni $I_{EMS} = VI$

$L_d = 2 - 3$

Senza effetti di sito

Con effetti di sito



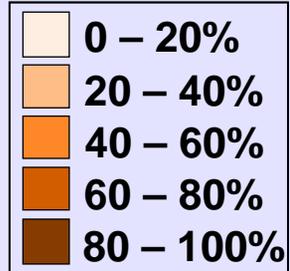
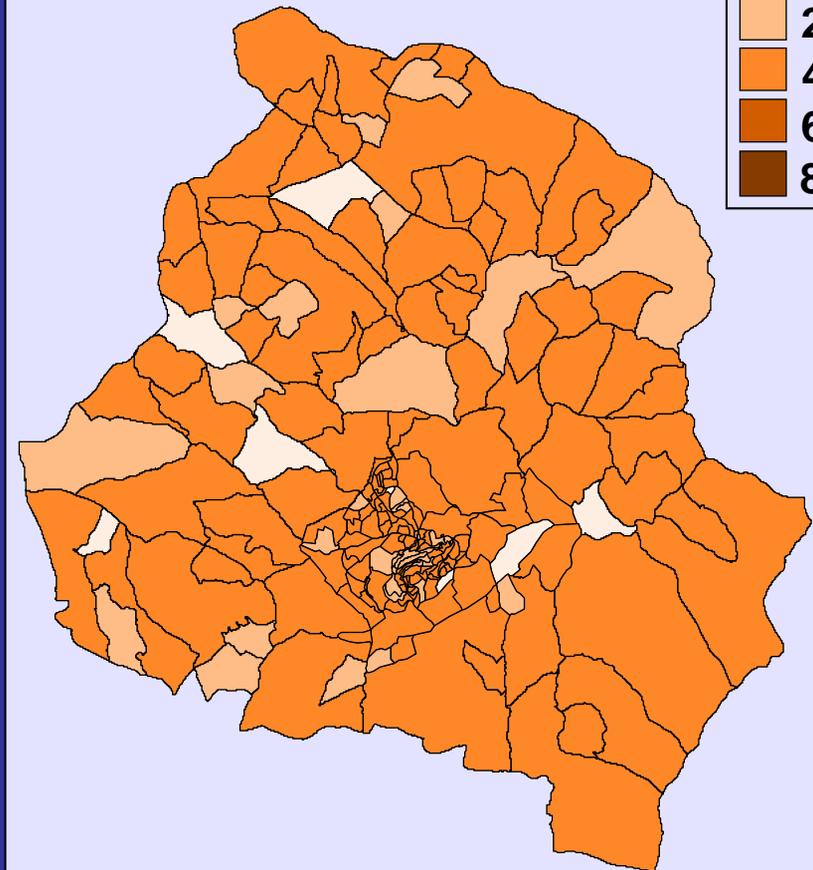
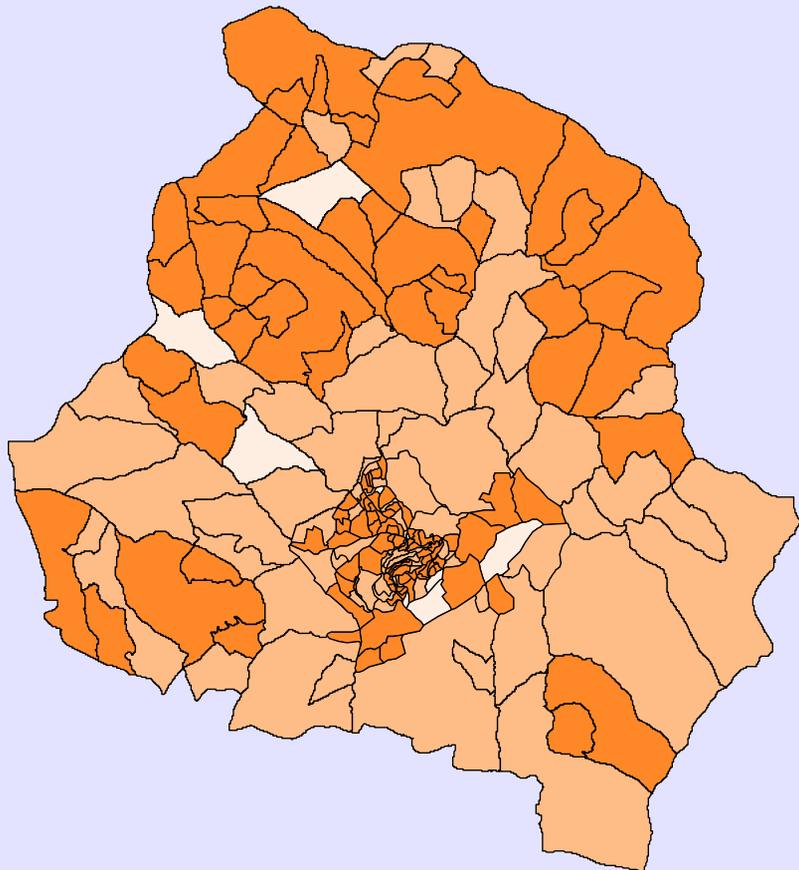
Distribuzione geografica del danno

Evento: $T_r = 475$ anni $I_{EMS} = VIII$

$L_d = 2 - 3$

Senza effetti di sito

Con effetti di sito



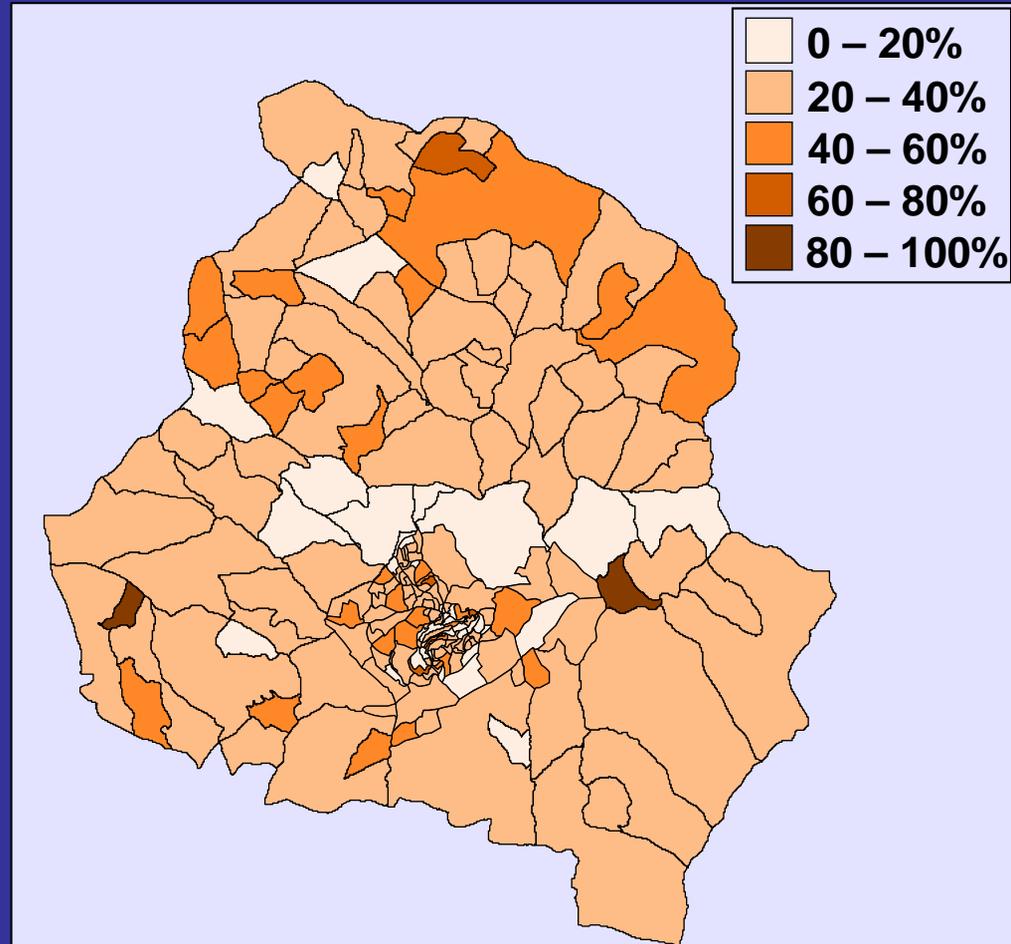
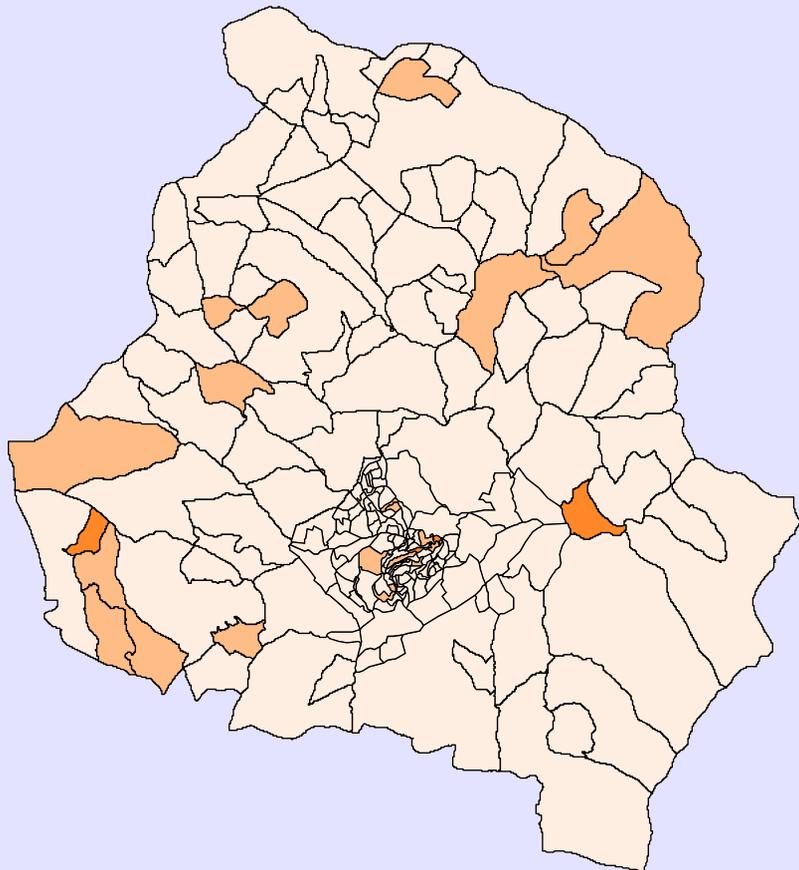
Distribuzione geografica del danno

Evento: $T_r = 475$ anni $I_{EMS} = VIII$

$L_d = 4 - 5$

Senza effetti di sito

Con effetti di sito

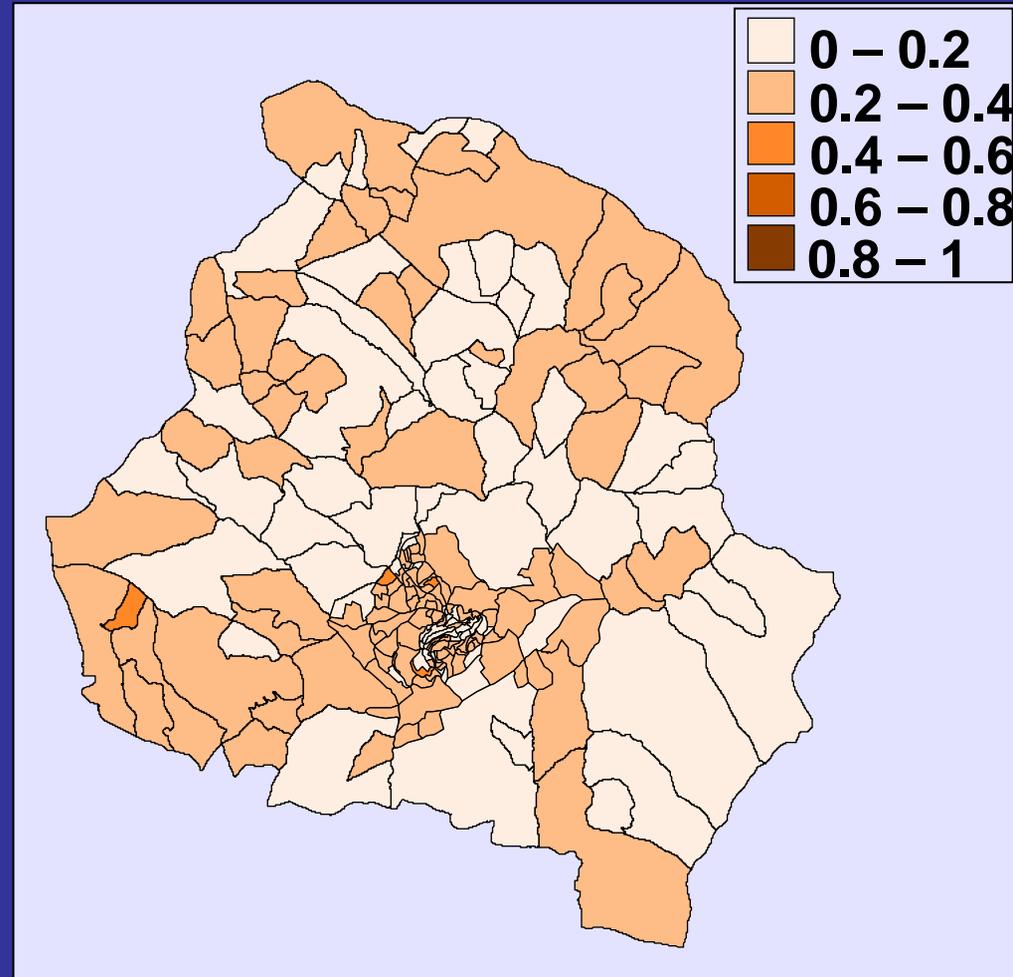
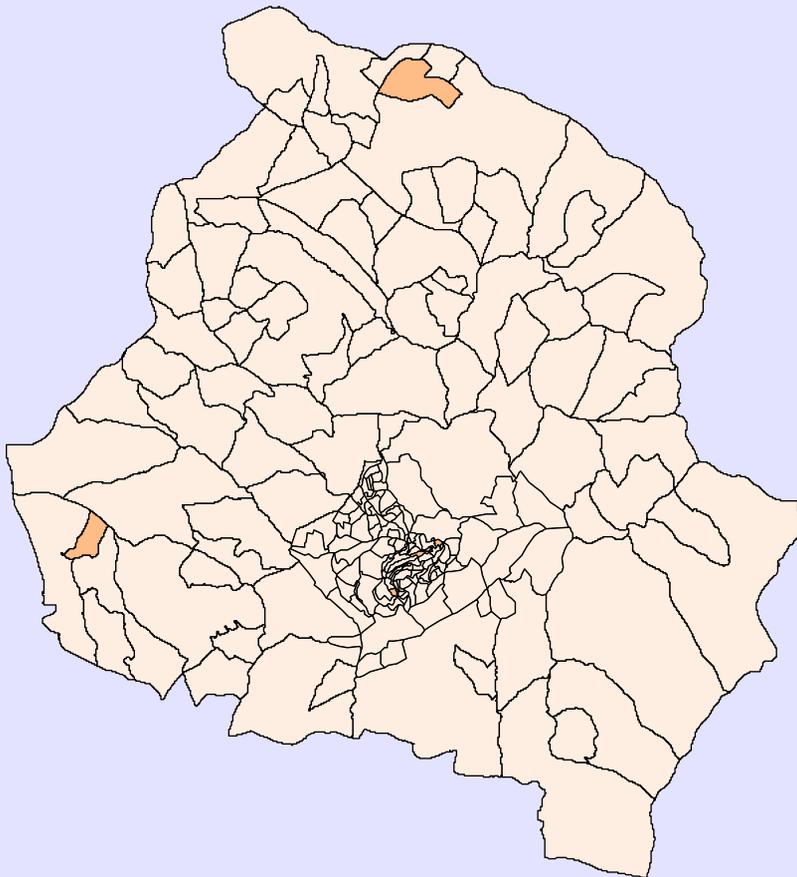


Evento: $T_r = 50$ anni $I_{EMS} = VI$

DI_{med}

Senza effetti di sito

Con effetti di sito

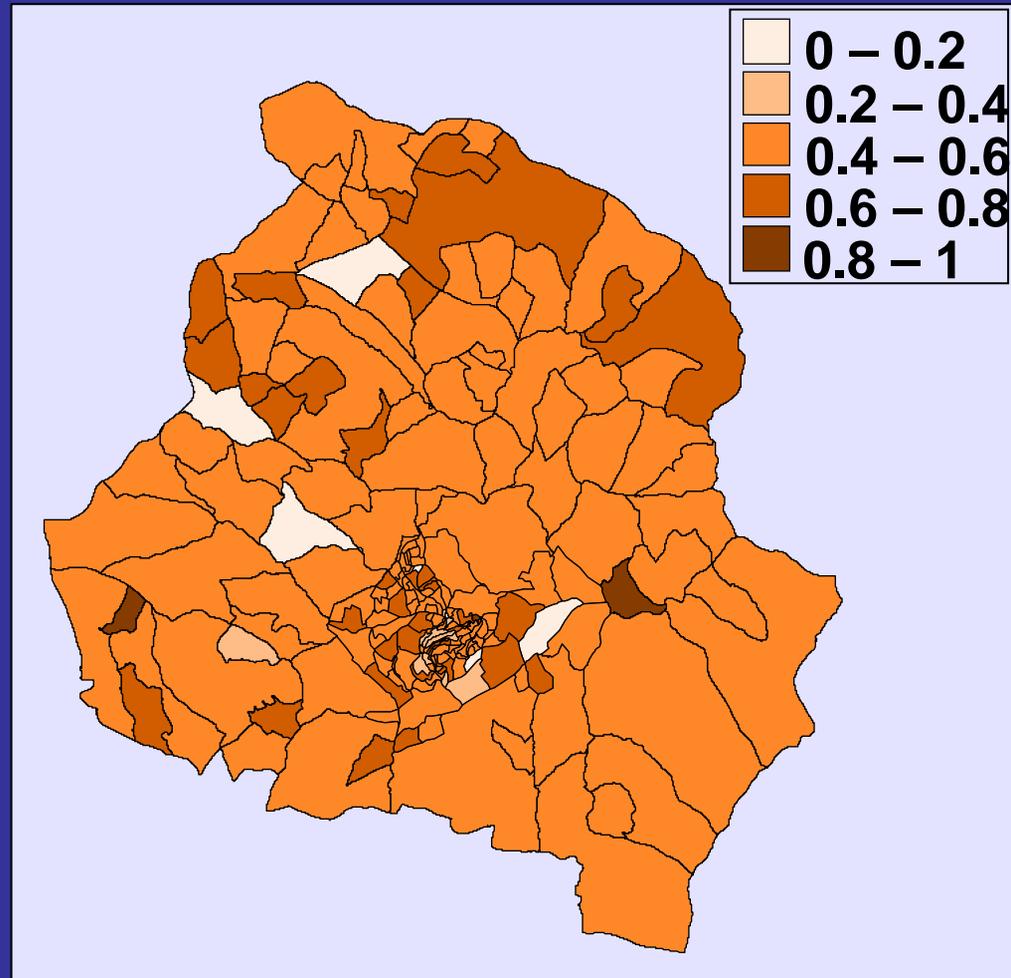
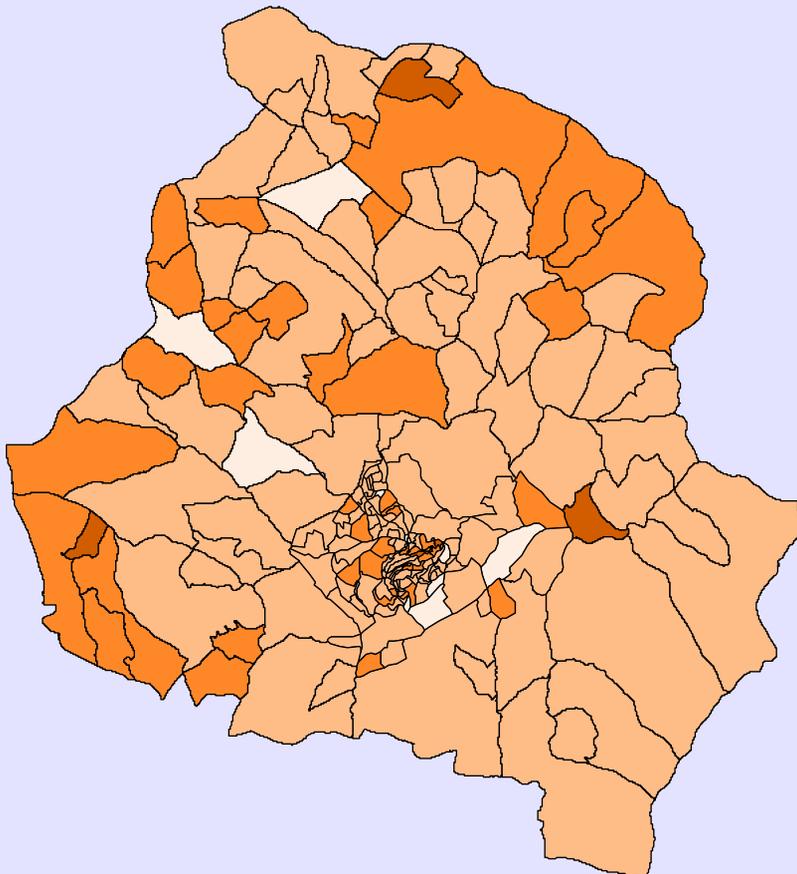


Evento: $T_r = 475$ anni $I_{EMS} = VIII$

DI_{med}

Senza effetti di sito

Con effetti di sito

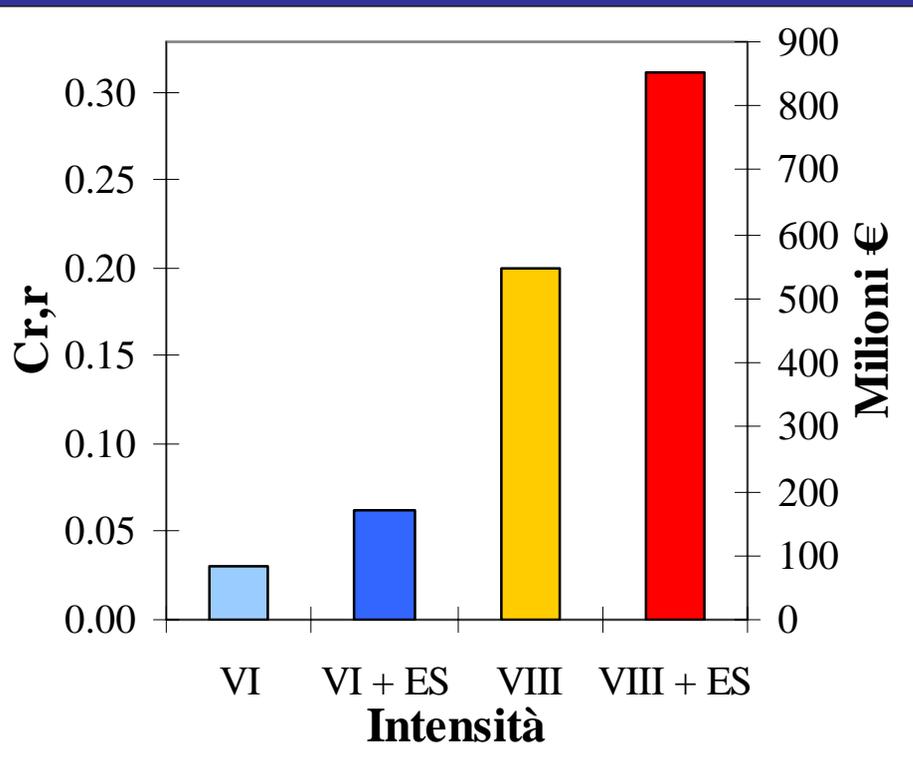


Valutazione dei costi di riparazione

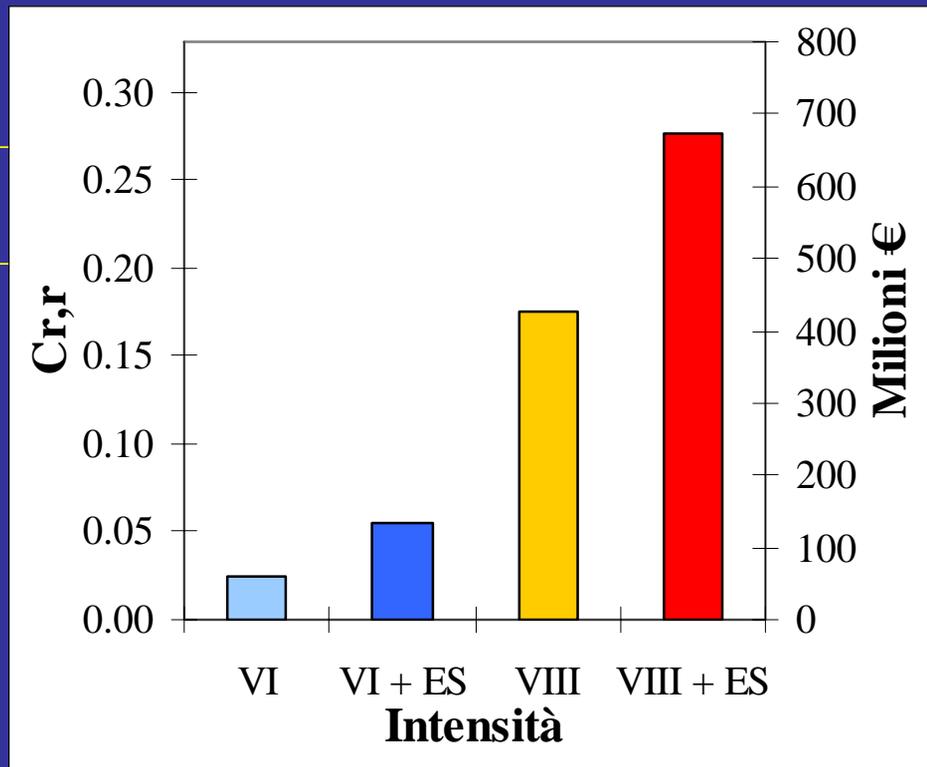
INDICE DI DANNO ECONOMICO $C_{r,r}$

Costo di Riparazione Relativo (Costo di Riparazione / Costo di Ricostruzione)

Coefficienti per la valutazione del costo di riparazione degli edifici



$C_{r,r}$ considerando il n° di edifici

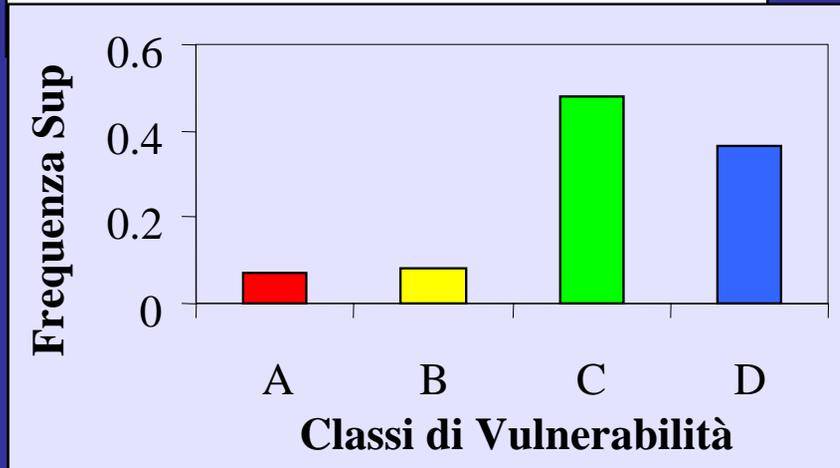
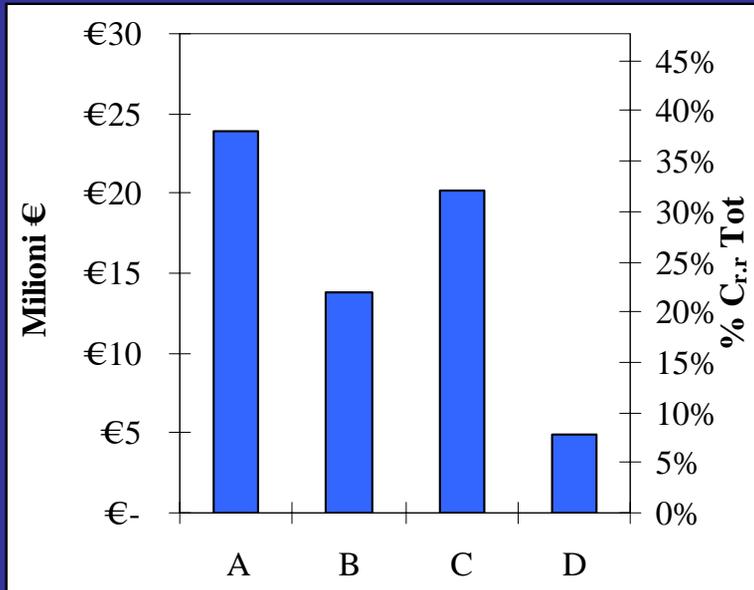


$C_{r,r}$ considerando la sup. degli edifici

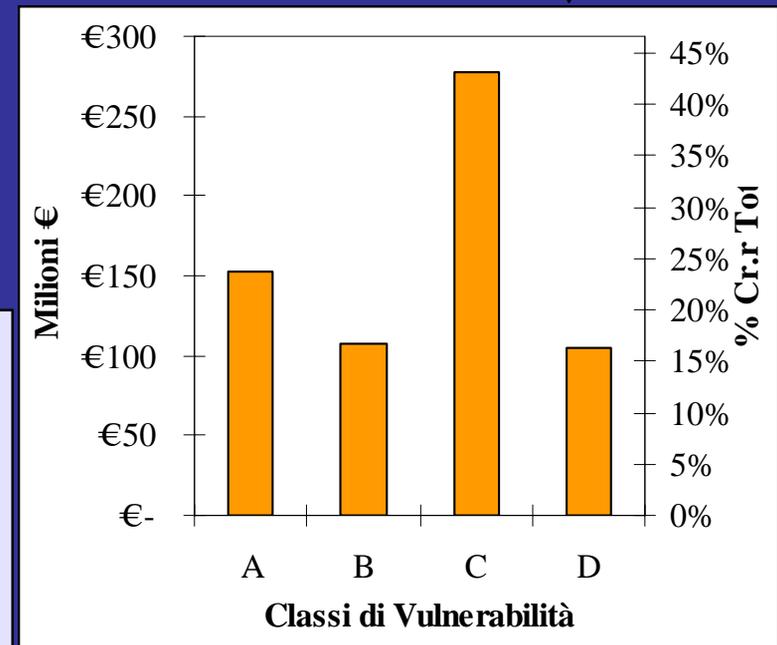
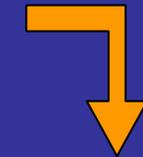
Valutazione dei costi di riparazione

Distribuzione del $C_{r,r}$ in funzione delle Classi di Vulnerabilità

$I_{EMS} = VI$



$I_{EMS} = VIII$

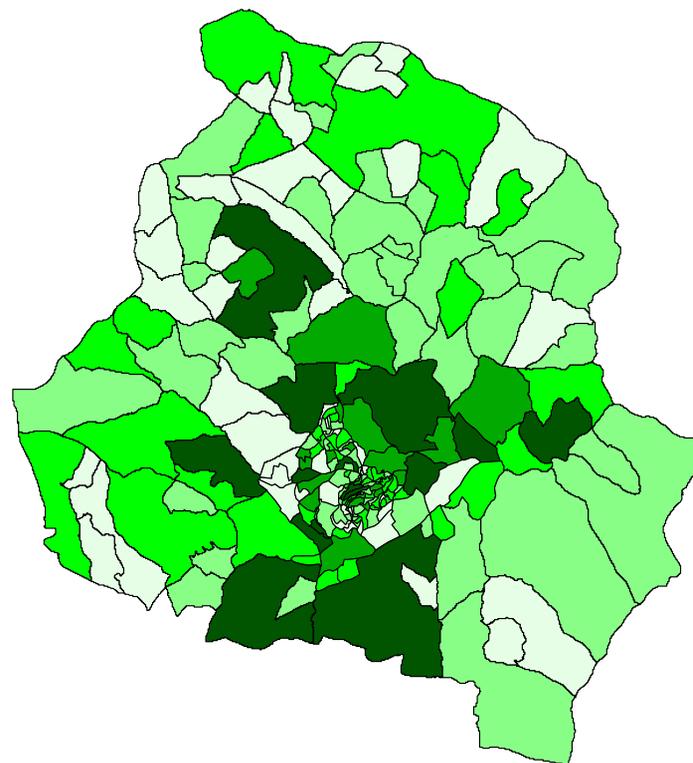
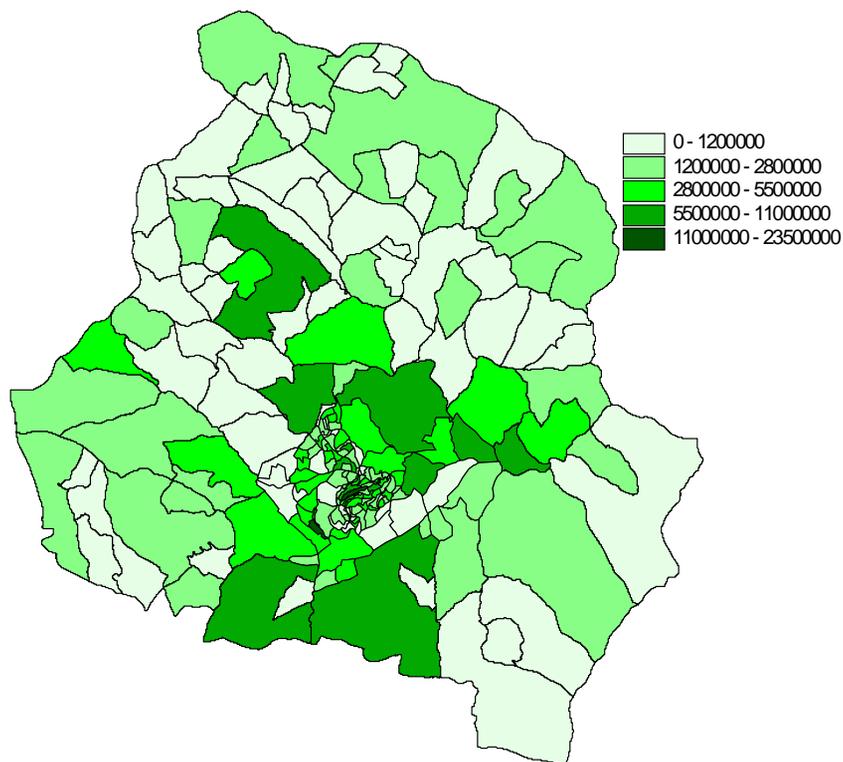


Evento: $T_r = 475$ anni $I_{EMS} = VIII$

$C_{r,r}$

Senza effetti di sito

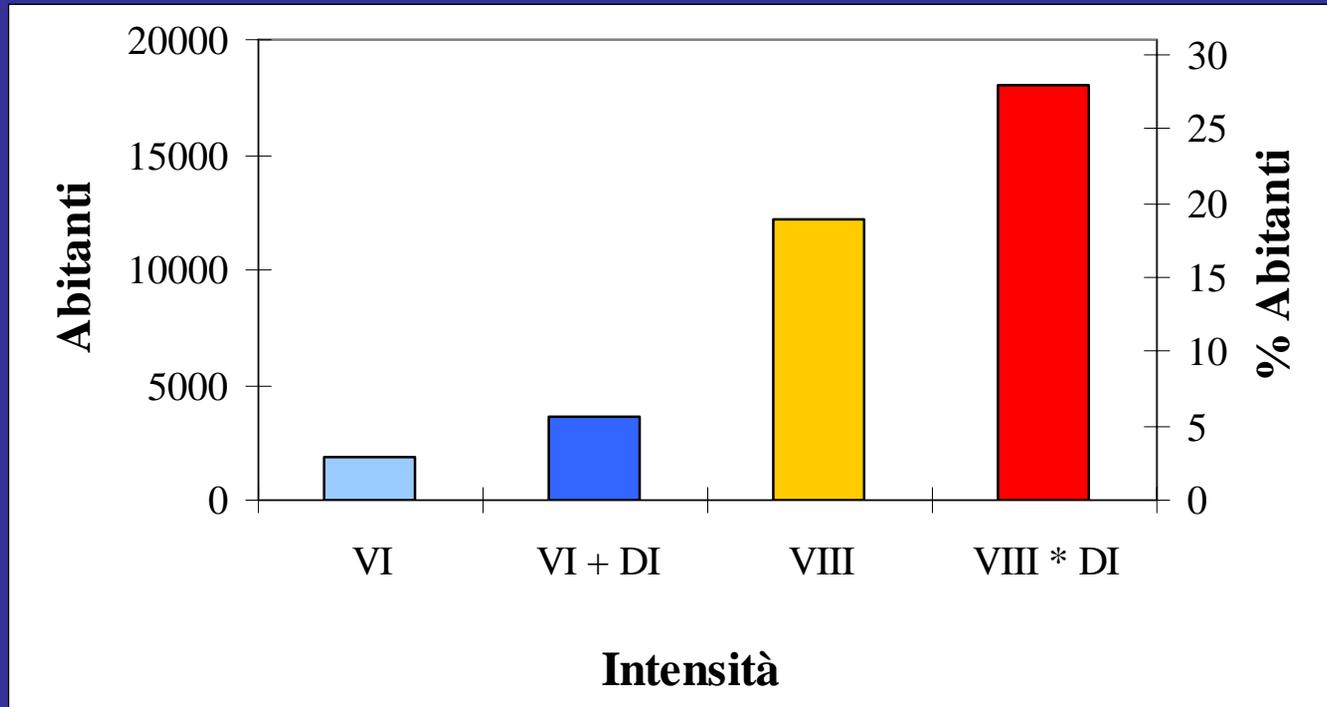
Con effetti di sito



Valutazione delle persone coinvolte

Coefficienti per la valutazione del numero di senzatetto

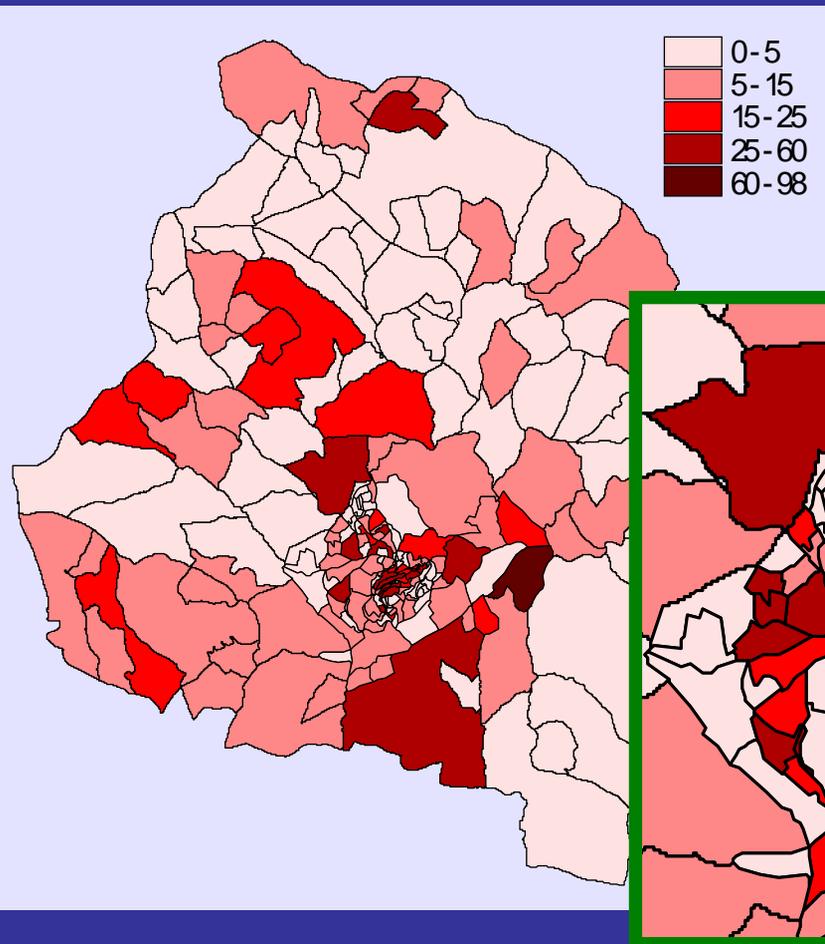
Classe di vulnerabilità	Livello di danno					
	0	1	2	3	4	5
A	0	0.1	0.3	0.82	1	1
B	0	0.05	0.23	0.75	1	1
C, D (muratura)	0	0.02	0.18	0.64	1	1
C, D (c.a.)	0	0	0.14	0.38	1	1



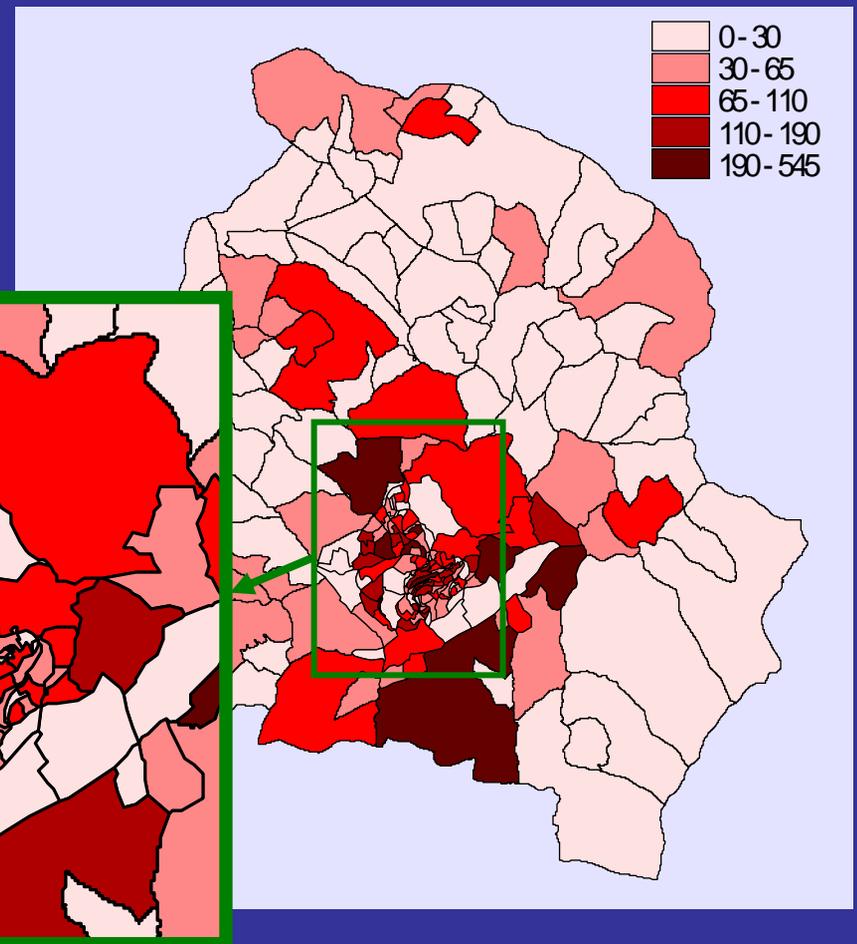
Distribuzione geografica dei senzatetto

Evento: $T_r = 475$ anni $I_{EMS} = VIII$

Senza effetti di sito

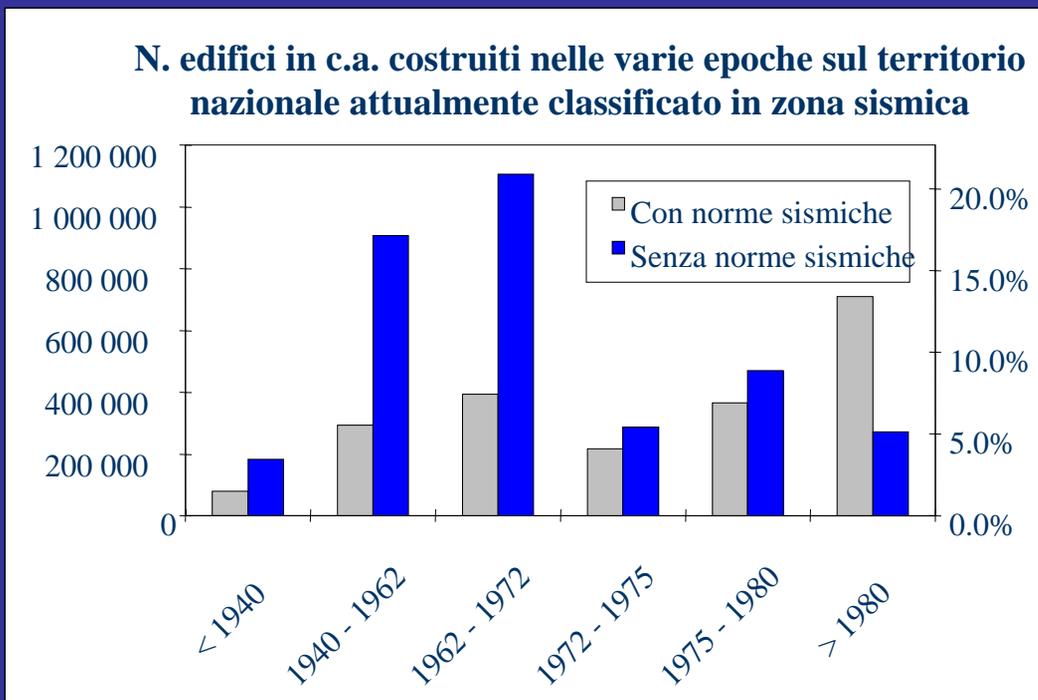


Con effetti di sito



Studi e ricerche sugli edifici in c.a.

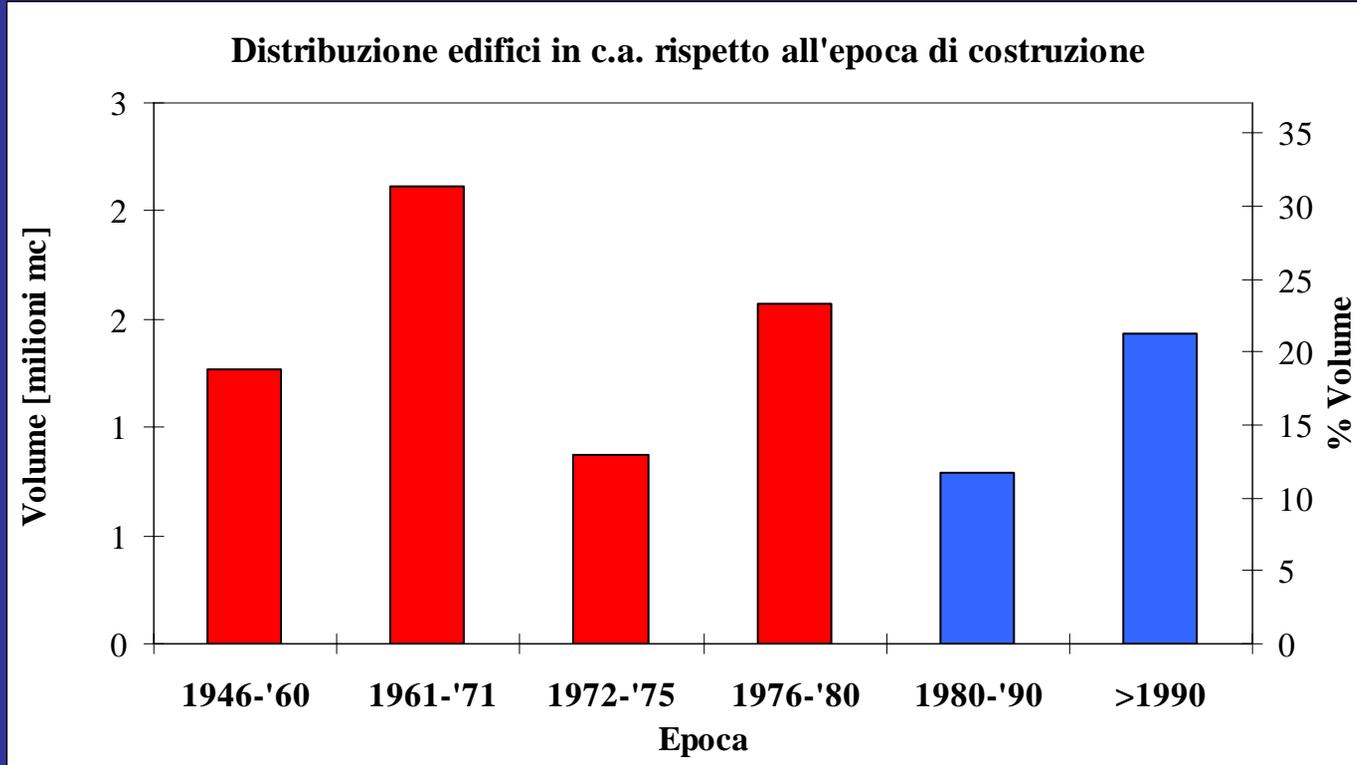
- In molti paesi una parte consistente del patrimonio edilizio è in c.a.
- In Italia gli edifici in c.a. sono oltre il 50%
- Molti edifici in c.a. non sono antisismici o sono stati progettati con criteri inadeguati



**Rischio elevato per
persone e beni da
edifici esistenti in c.a.**

Progetto VULNERABILITA' (parti I e II) finanziato dal SSN

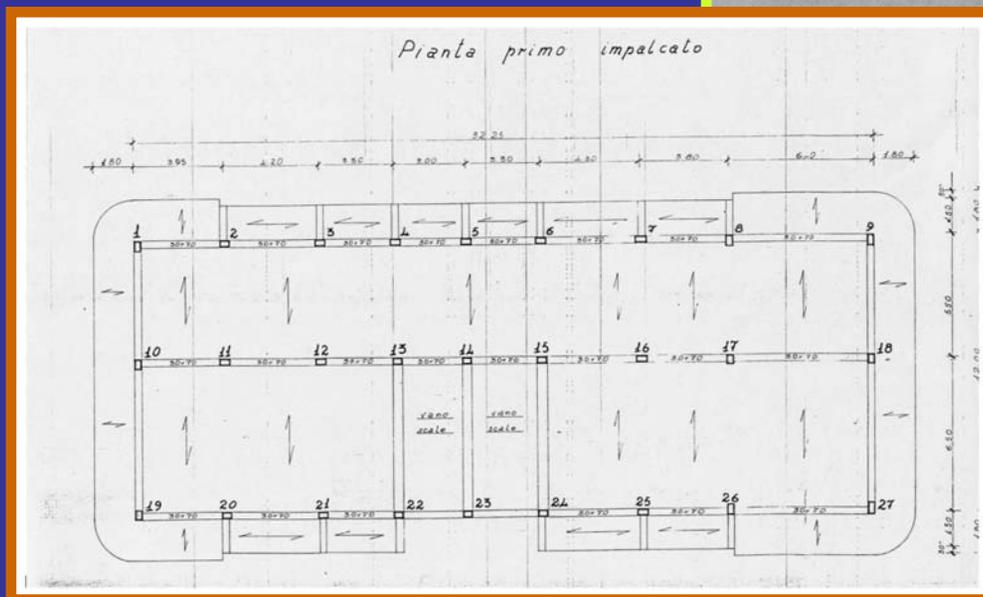
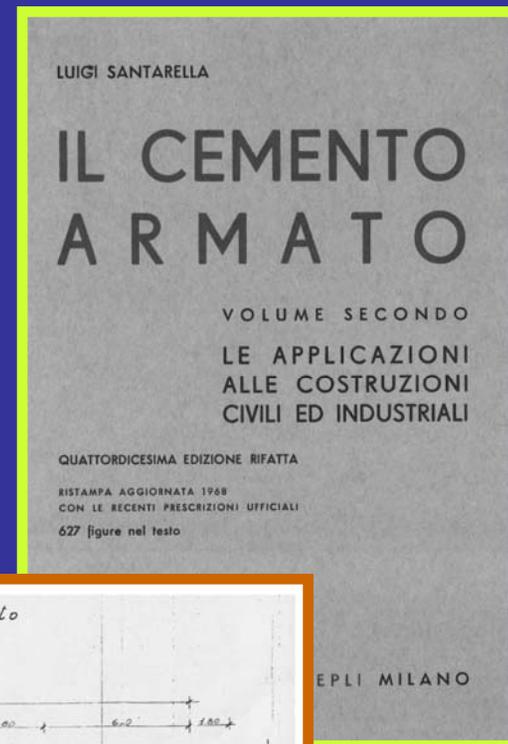
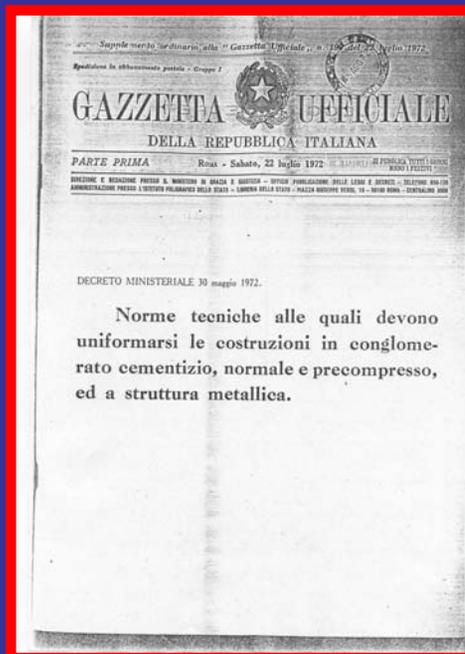
"Valutazione della vulnerabilità sismica degli edifici in c.a. italiani"



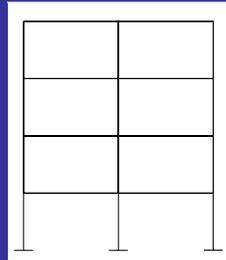
	1946-'70	1971-'80	1981-'99
Abitanti	17000	12000	11000

Caratteristiche edifici esistenti → Periodo di costruzione

- Normativa tecnica del periodo
- Manualistica tipica del periodo
- Progetti "tipici" del periodo e della regione



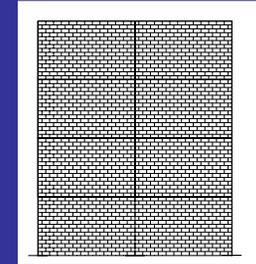
**Vulnerabilità
Media**



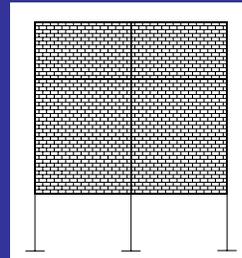
Edifici non tamponati

Edifici tamponati

**Vulnerabilità
Bassa**



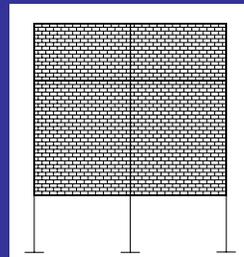
**Vulnerabilità
Alta**



Edifici con piano porticato

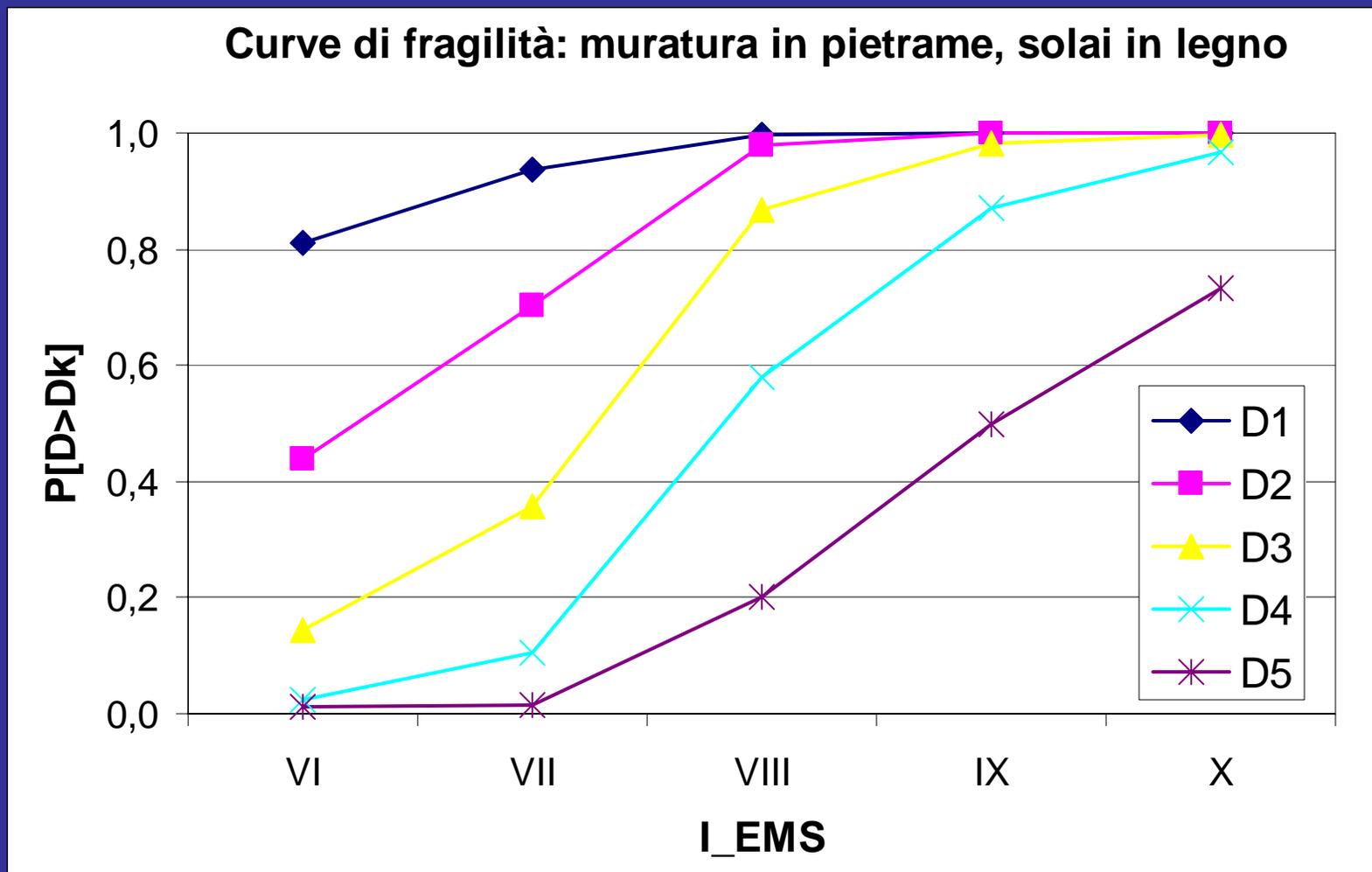


**Vulnerabilità
Alta**

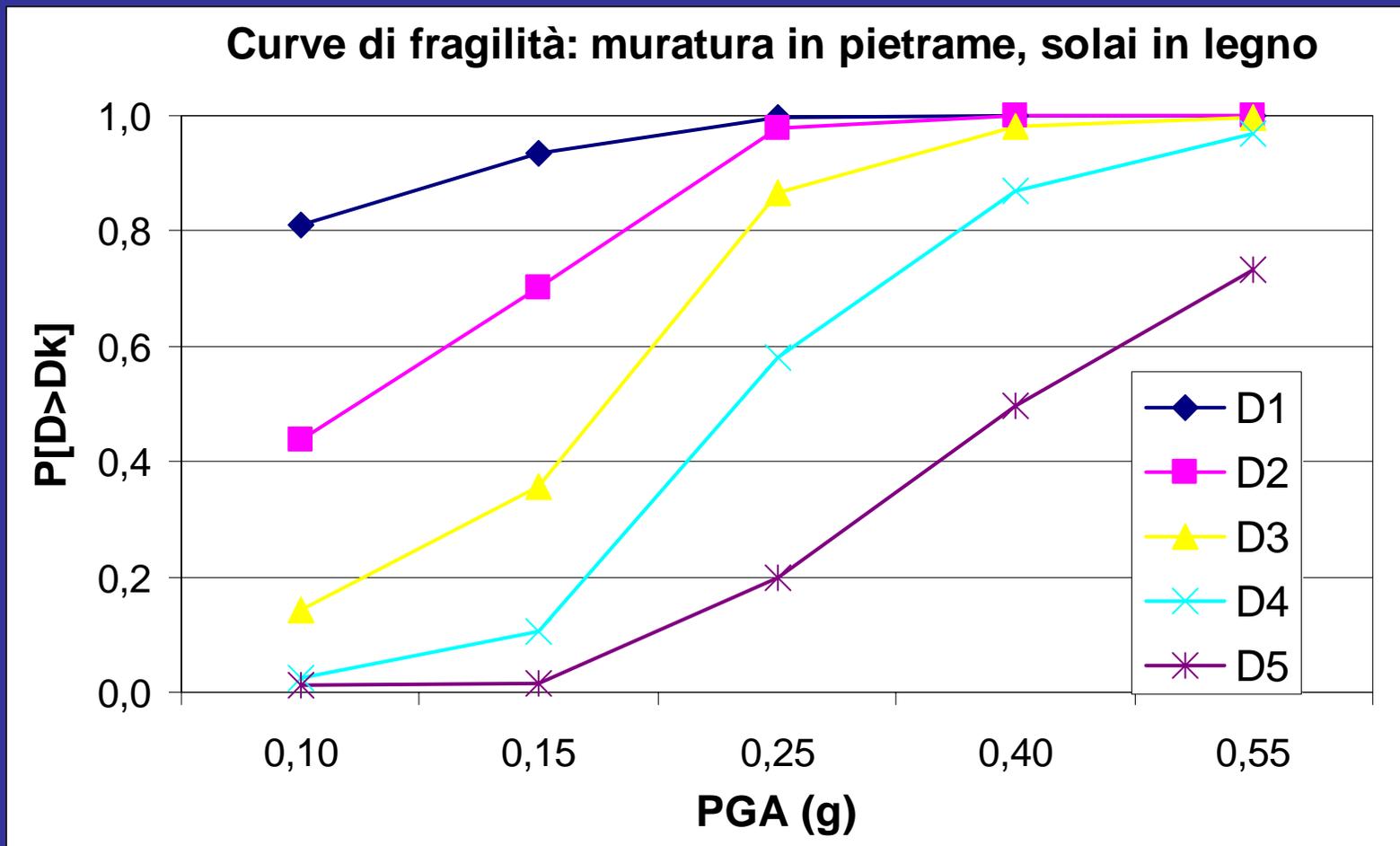


Esempi di edifici con piano
porticato a POTENZA

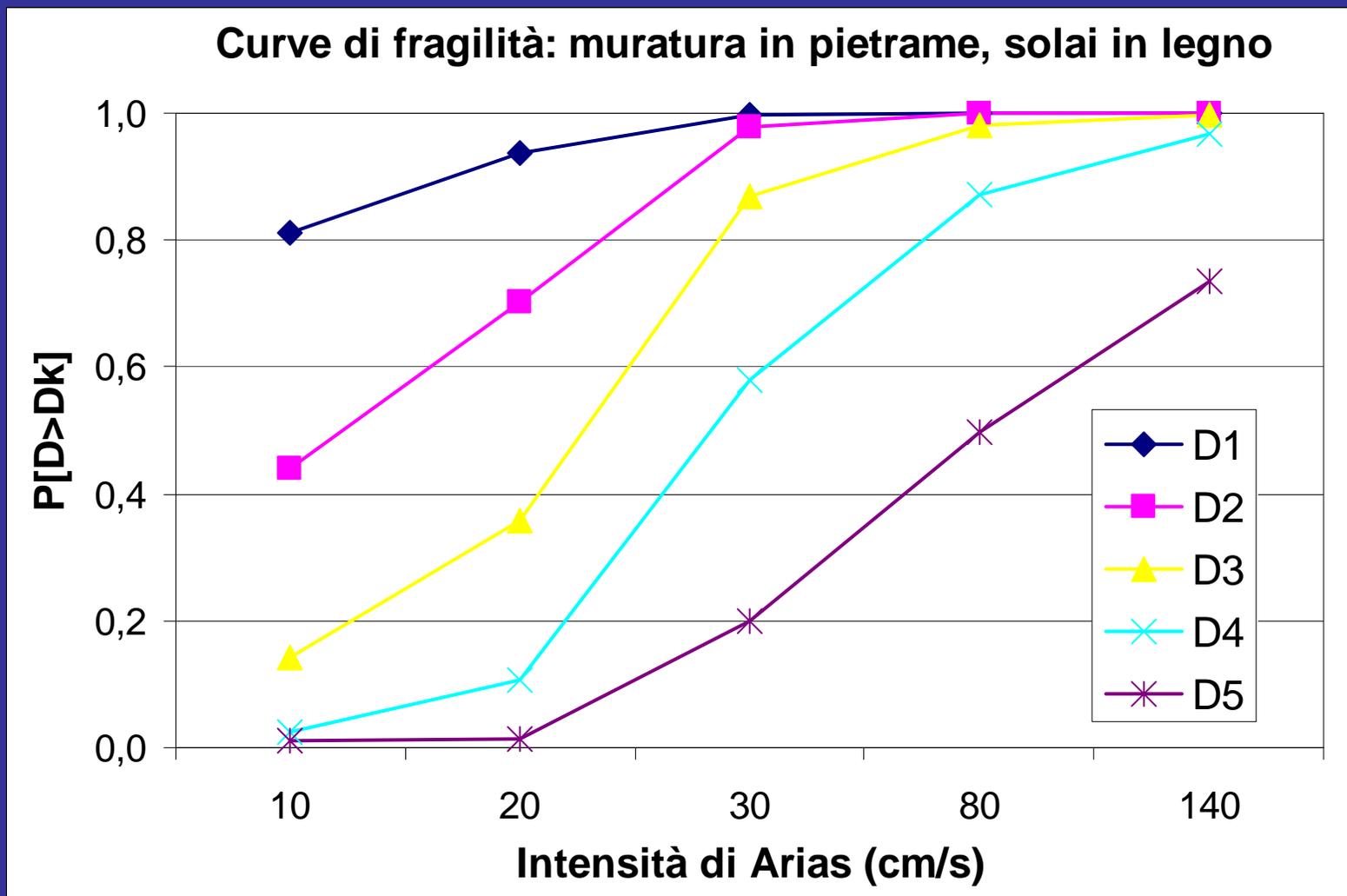
Curve di Fragilità in termini di I_EMS



Curve di Fragilità in termini di PGA



Curve di Fragilità in termini di IA





- ✓ *Il patrimonio edilizio di Potenza mostra complessivamente una vulnerabilità sismica relativamente bassa, conseguenza del vasto programma di adeguamento post-sisma 1980*
- ✓ *Nonostante ciò c'è ancora molto lavoro da fare in particolare nell'adeguamento di edifici in c.a. costruiti in assenza di norme sismiche*
- ✓ *Sulla mitigazione del rischio al patrimonio edilizio in c.a. sono stati svolti e sono ancora in corso molti studi e ricerche*
- ✓ *Il DiSGG ha svolto due convenzioni di ricerca finanziate dal SSN, dal titolo "Vulnerabilità sismica degli edifici in c.a." (resp. scientifico Angelo MASI)*