

# Vulnerabilità sismica del patrimonio edilizio della città di Potenza

**Angelo MASI**

*DiSGG, Università della Basilicata ([masi@unibas.it](mailto:masi@unibas.it))  
Centro di Competenza sul Rischio Sismico della Regione Basilicata (CRiS) [www.crisbasilicata.it](http://www.crisbasilicata.it)*



Comune di Potenza



# La città di Potenza

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





Spesanti Principe di Piemonte CINZANO

La Repubblica

Spesanti Principe di Piemonte CINZANO

24 novembre 1980

Ann. 5 - Numero 278 - L. 400

**Sempre più gravi le proporzioni della catastrofe di domenica notte**

# Il Sud sprofonda

**Migliaia di morti, interi paesi cancellati**

**Colpite quattro province, da Napoli a Potenza**

**Non permetteremo un altro Belice**



**Cinque mila redi più difficili dalle interazioni della via di comunicazione intrasvolabili alcune linee ferroviarie, strade intaccate dalle auto in fuga. Oggi il Papa nelle zone terremotate**

**Il dramma ora per ora nelle sale del Viminale**

di DANIELA PASTI

ROMA. — E' una tragedia di dimensioni eccezionali quella che si è abbattuta domenica sera sul Italia centro-sudorientale. Nella cornice di un terremoto di magnitudo 6,9, si è verificata un'epidemia di frane, che ha provocato la morte di 2914 persone e ferite a 8800. Le cifre ufficiali, distinte dal ministero degli Interni, parlano di 1.500 morti e di migliaia di feriti. Ma si sa che il bilancio reale è molto più grave. Il numero delle vittime è pari a quello dei feriti, ma il numero delle persone che sono state salvate è molto inferiore. Il numero delle persone che sono state salvate è molto inferiore. Il numero delle persone che sono state salvate è molto inferiore.

**Il presidente ai terremotati: "Le parole sono vane, si spengono sui cadaveri"**

## "Pertini, non abbandonarci"

Il presidente ha detto che le parole sono vane, si spengono sui cadaveri. Il presidente ha detto che le parole sono vane, si spengono sui cadaveri. Il presidente ha detto che le parole sono vane, si spengono sui cadaveri.

**Il bilancio nei 97 comuni**  
**Si contano con le vittime**  
**I feriti e i senza tetto**

**Mobilitati i mezzi dell'esercito**  
**Sul posto 3900 soldati**  
**ma i soccorsi sono lenti**

**Si era occupato anche del Friuli**  
**Zamberletti coordinatore**  
**degli aiuti ai terremotati**

**Desolazione, materic, fuggiaschi**

## Ho viaggiato sulle strade dell'inferno

di ANSA INVIATO STEFANO MALATESTA

**POTENZA. In** — Siamo stati nell'entroterra del Sud devastato. L'abbiamo visto toccando i resti di paesi vinti e di città ridotte a macerie, una macchia di cadaveri. L'abbiamo visto toccando i resti di paesi vinti e di città ridotte a macerie, una macchia di cadaveri. L'abbiamo visto toccando i resti di paesi vinti e di città ridotte a macerie, una macchia di cadaveri.

- Massima intensità X MCS
- Magnitudo 6.9
- 2914 vittime
- 8800 feriti
- 300.000 senzatetto
- 4 regioni coinvolte
- 687 comuni danneggiati
- 36 comuni disastriati, di cui 9 in provincia di Potenza

# La città di Potenza: storia sismica recente



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

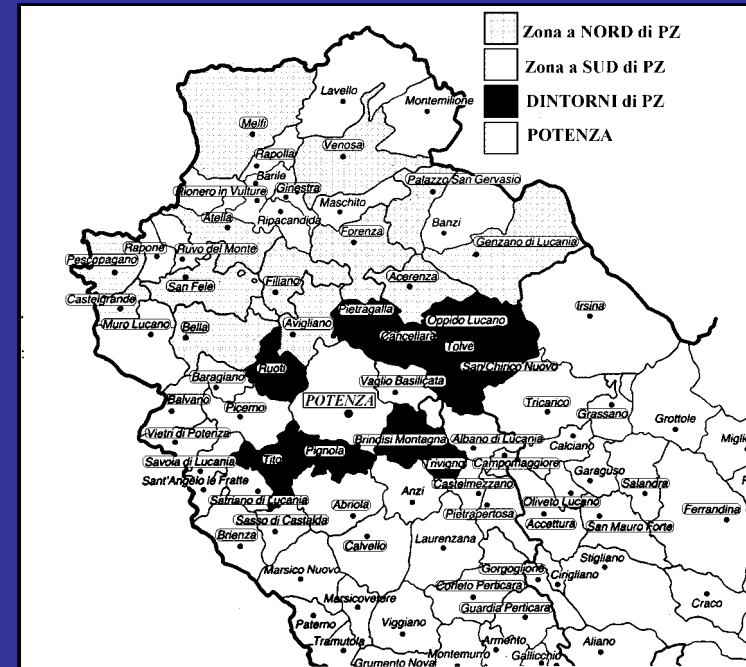
# Conseguenze del sisma del 1980



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



**Progetto POTENZA (parti I e II) finanziato dal SSN**

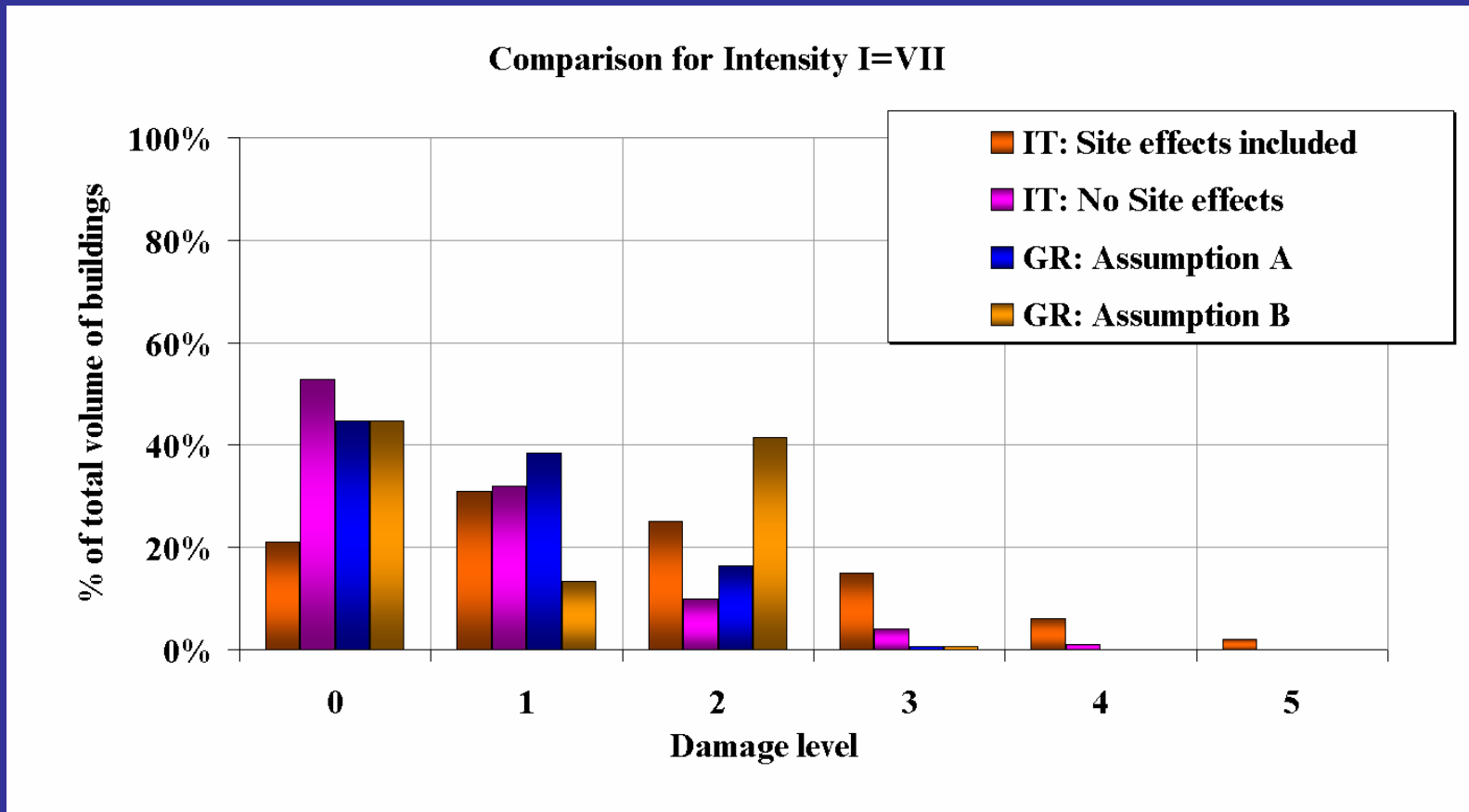
*“Valutazione e riduzione del rischio sismico del sistema urbano di Potenza”*

**Progetto ENSeRVES finanziato dalla Comunità Europea**

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

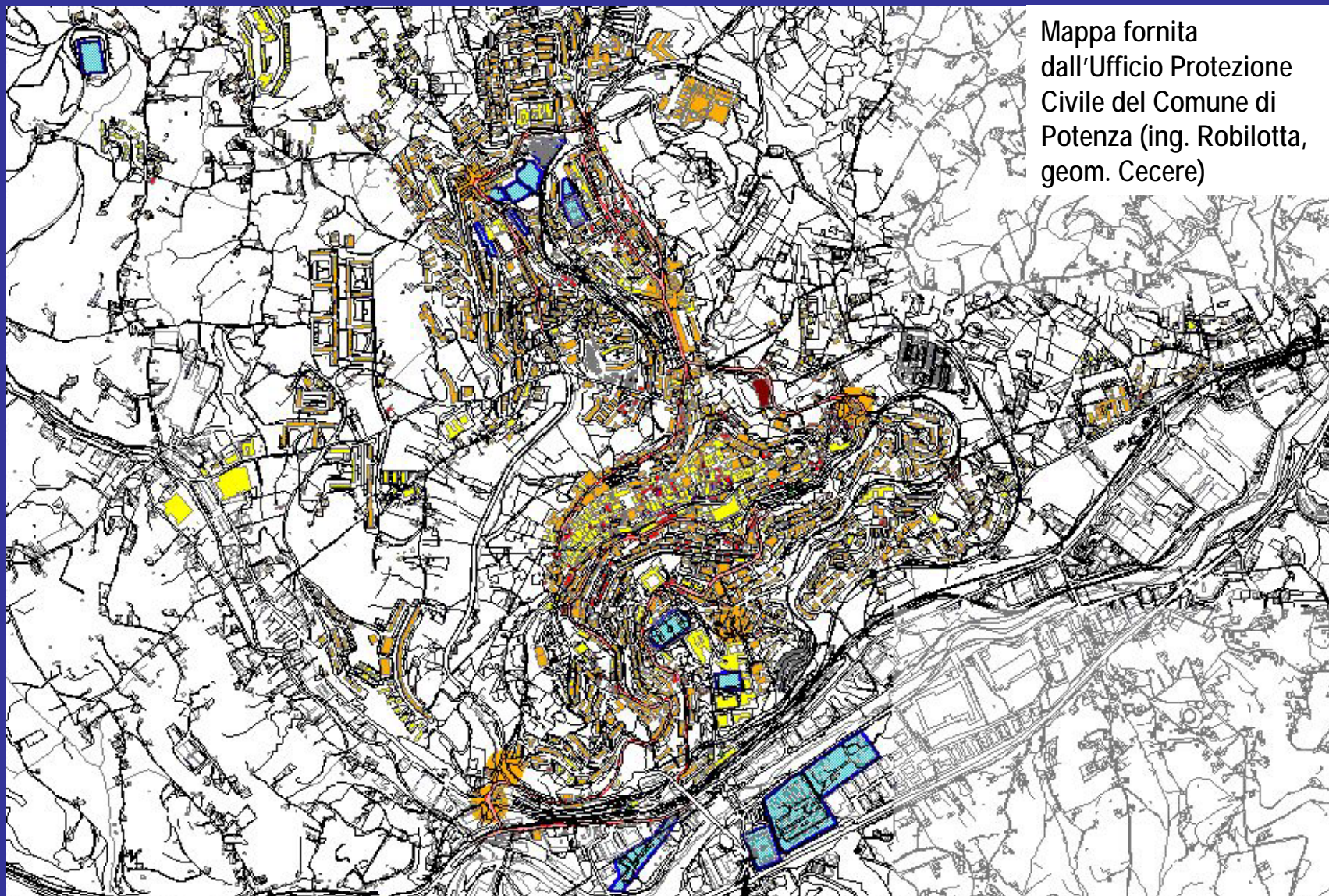
Coinvolti 11 centri di ricerca operanti nel rischio sismico di 10 paesi europei: Italy (coordinatore), Greece, France, Bulgaria, Romania, Albania, Czech Republic, Slovak Republic, Hungaria.

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



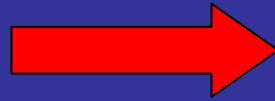
Mappa fornita  
dall'Ufficio Protezione  
Civile del Comune di  
Potenza (ing. Robilotta,  
geom. Cecere)

Mappa delle Classi di Vulnerabilità e delle zone di ammassamento

## 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

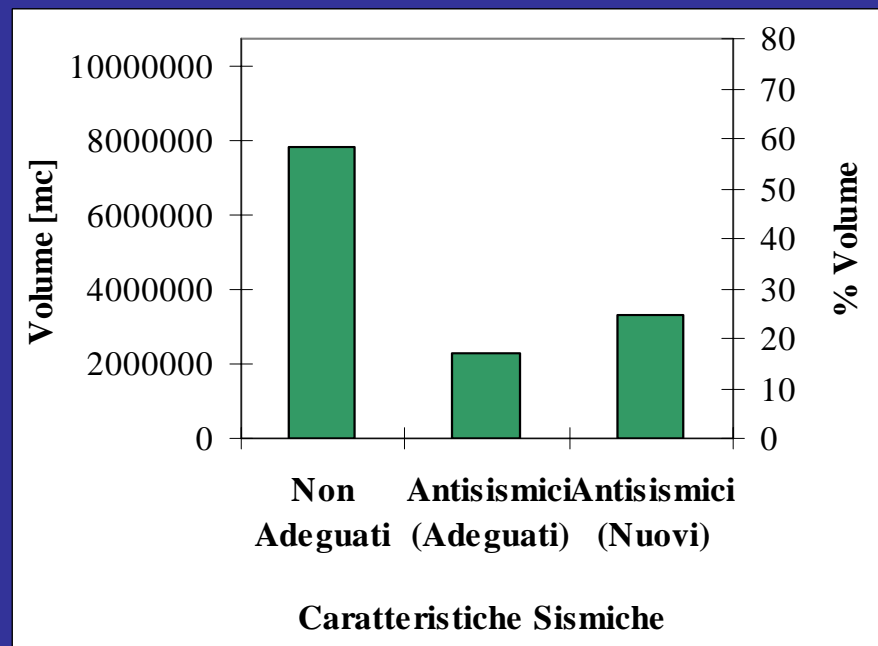
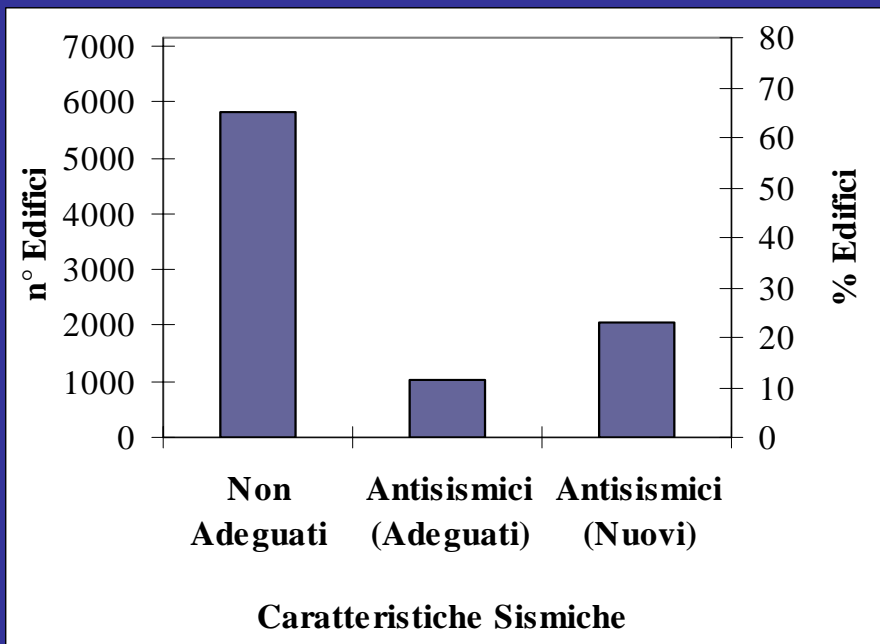
Mediante matrici di probabilità di danno (DPM)



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

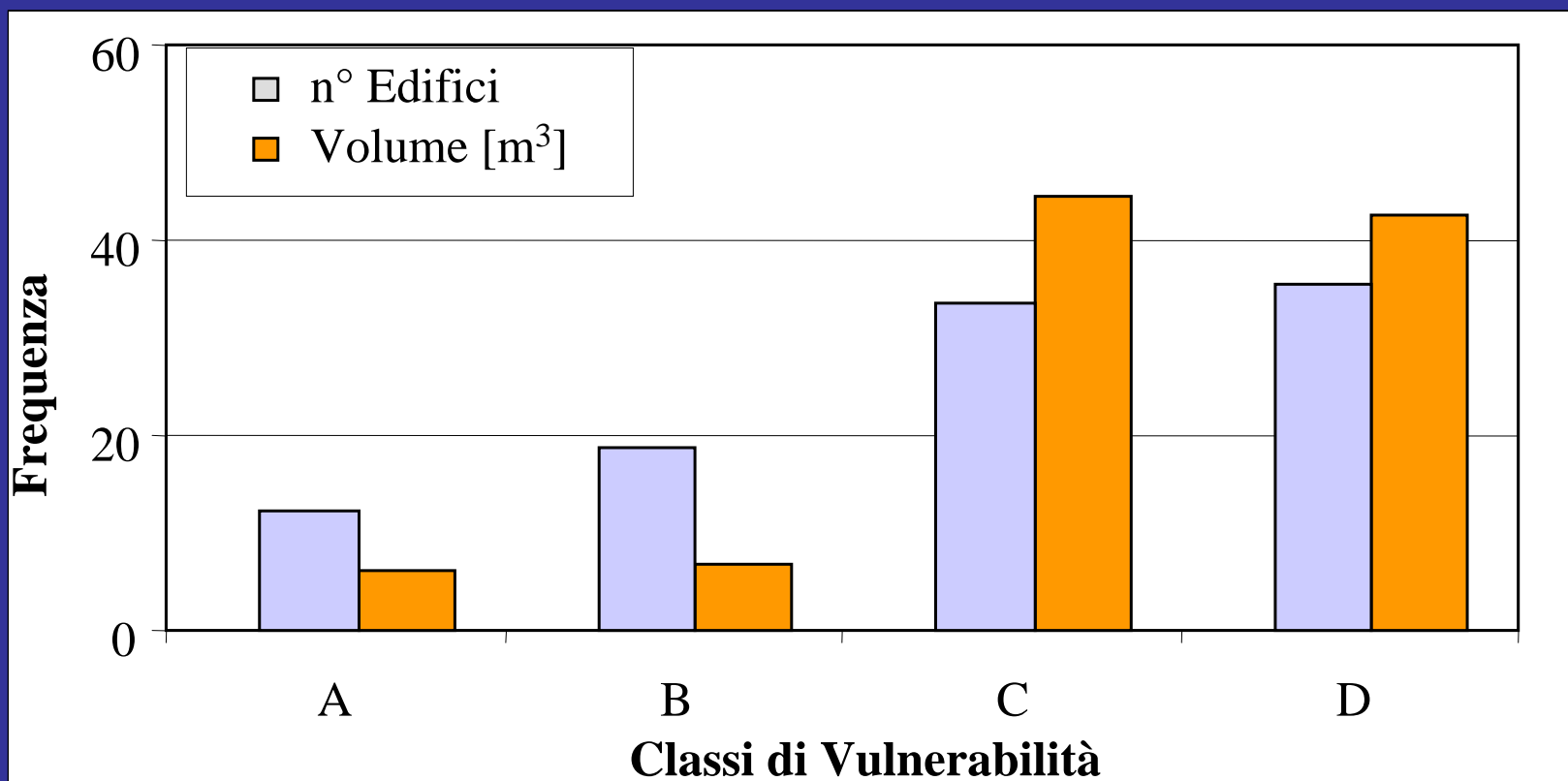
### Strutture verticali

<b>Strutture orizzontali</b>	<b>Muratura di qualità scadente</b>	<b>Muratura di qualità media</b>	<b>Muratura di buona qualità</b>	<b>Cemento armato</b>
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



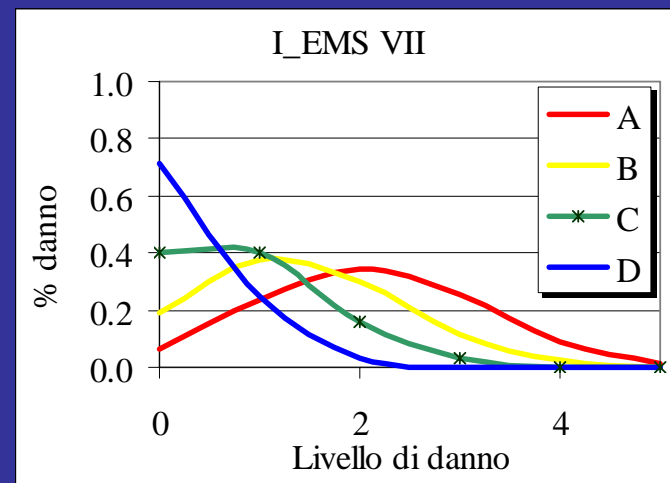
← + VULNERABILITA' -

# 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	0	1	2	3	4	5
<u>Classe A</u>	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
<u>Classe B</u>	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
<u>Classe C</u>	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
<u>Classe D</u>	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

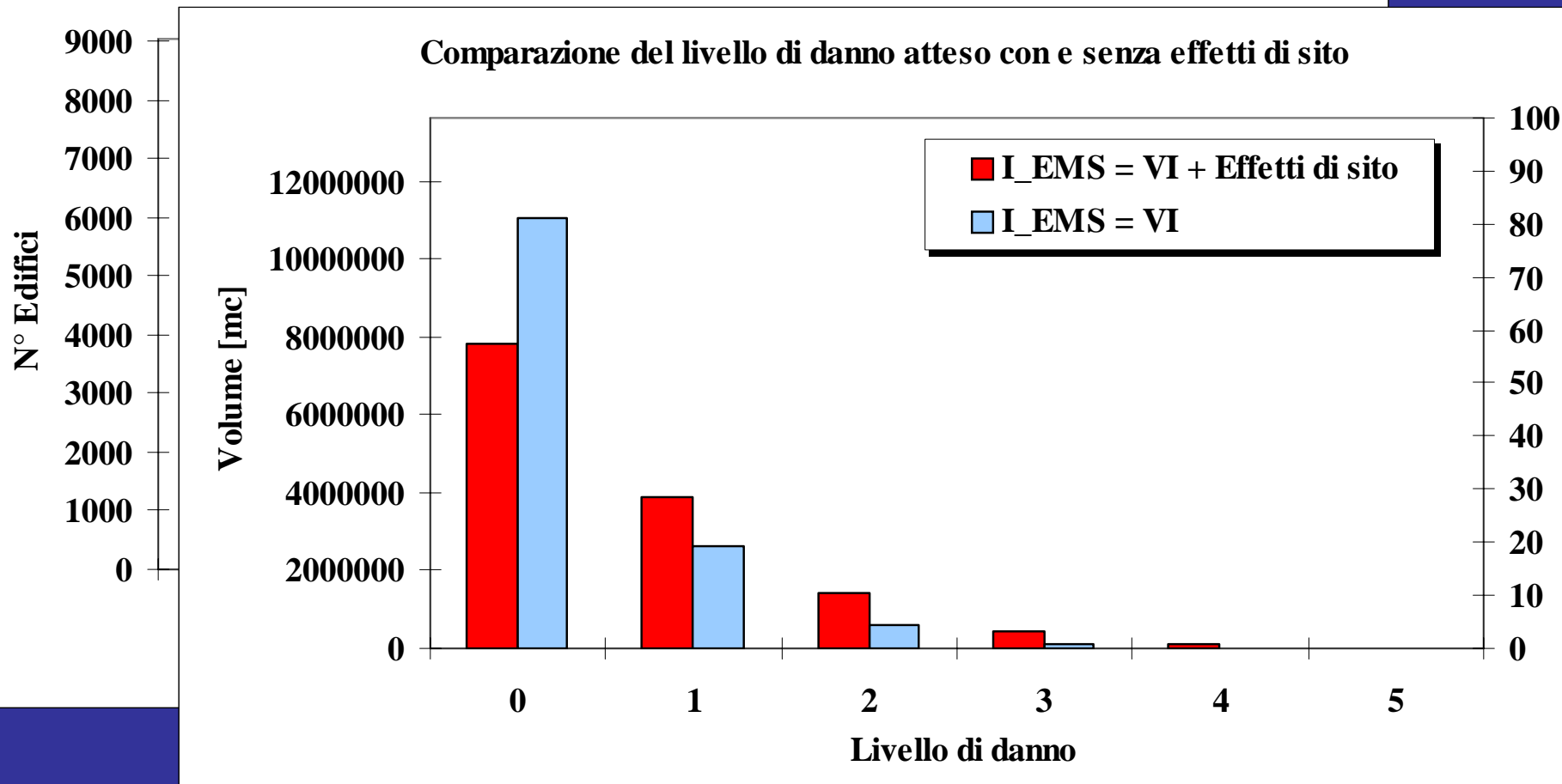


Crollo Totale



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

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

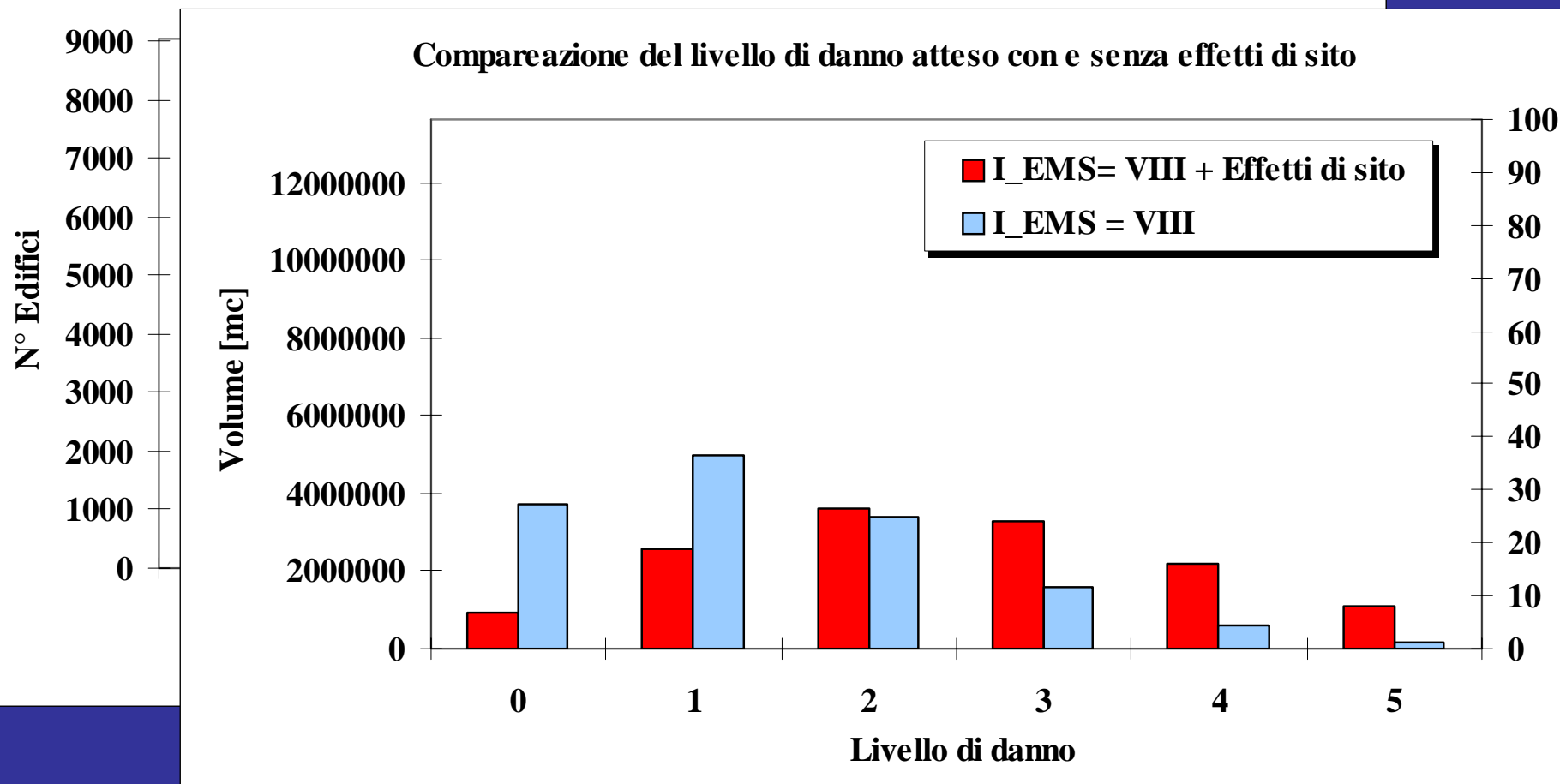


$$DI_{med} = \sum_1^n \frac{d_i f_i}{n}$$

$I_{EMS}$	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

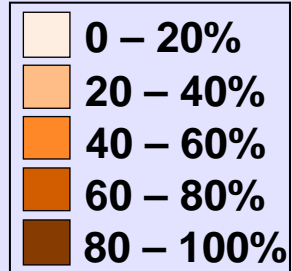
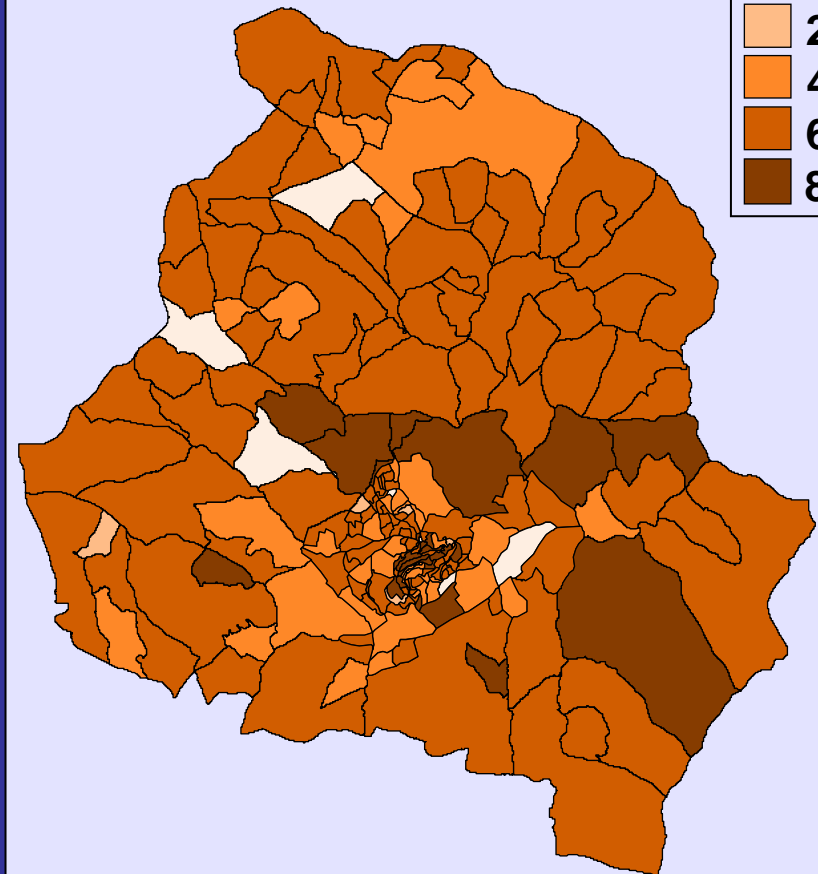
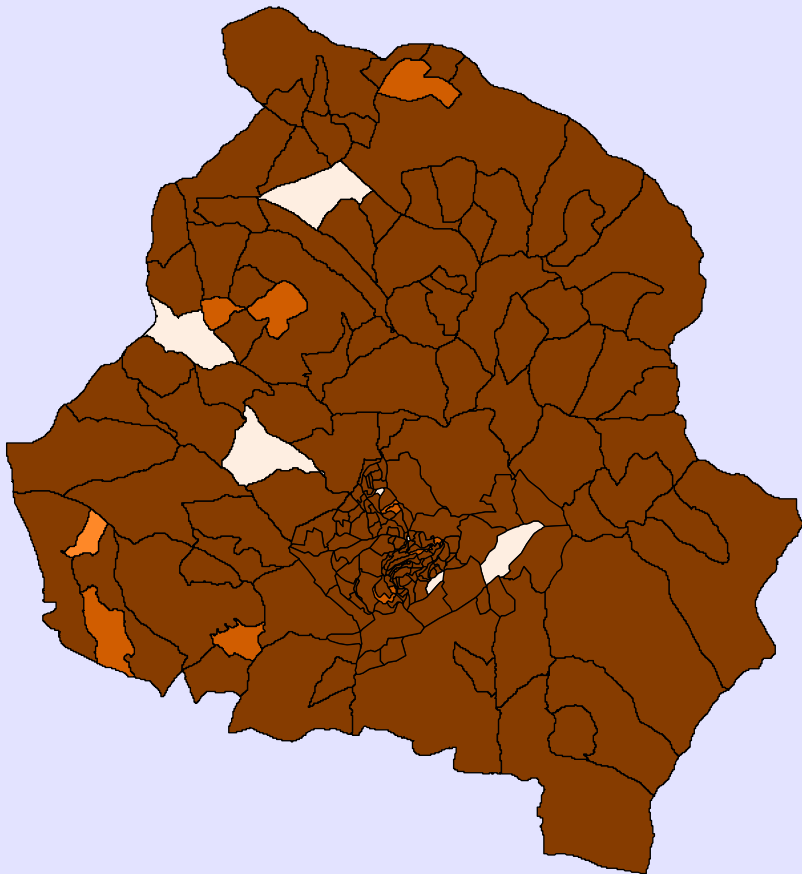
Evento:  $T_r = 50$  anni

$I_{EMS} = VI$

$L_d = 0 - 1$

Senza effetti di sito

Con effetti di sito



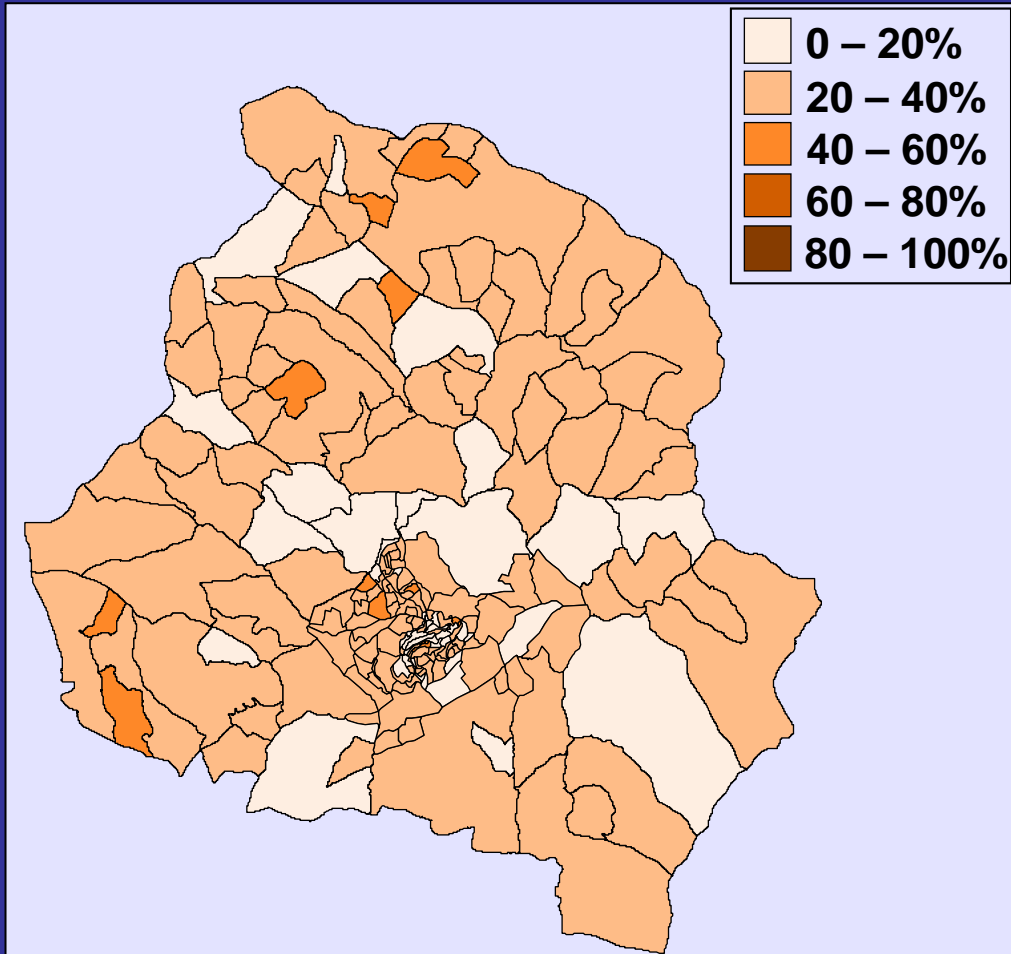
# Distribuzione geografica del danno

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

$L_d = 2 - 3$

Senza effetti di sito

Con effetti di sito



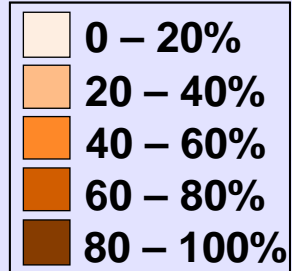
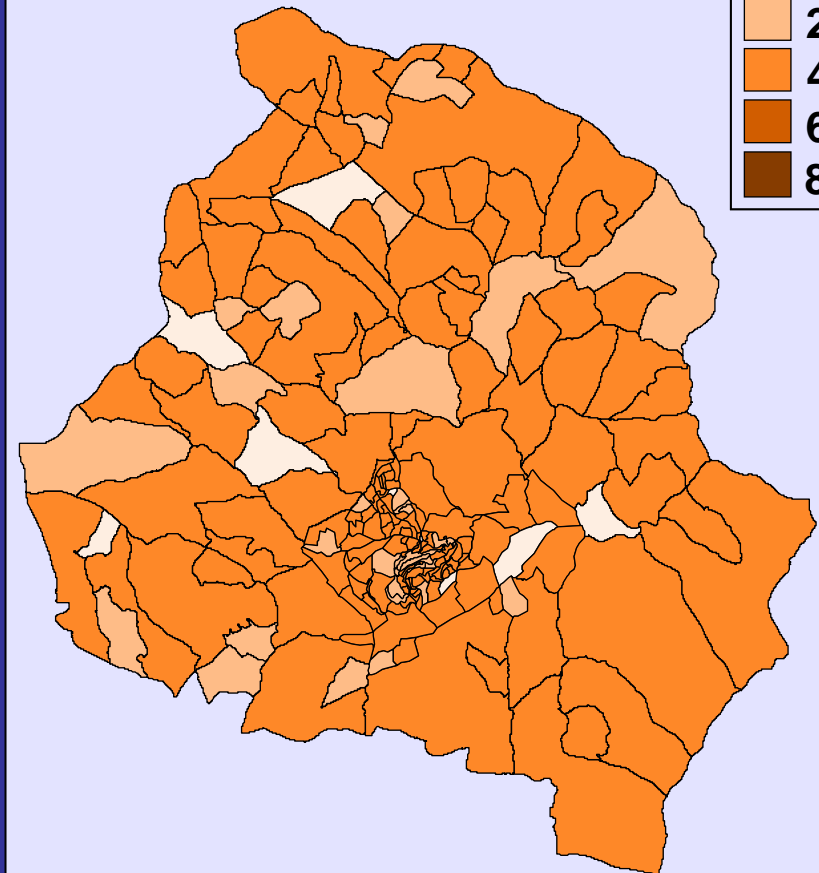
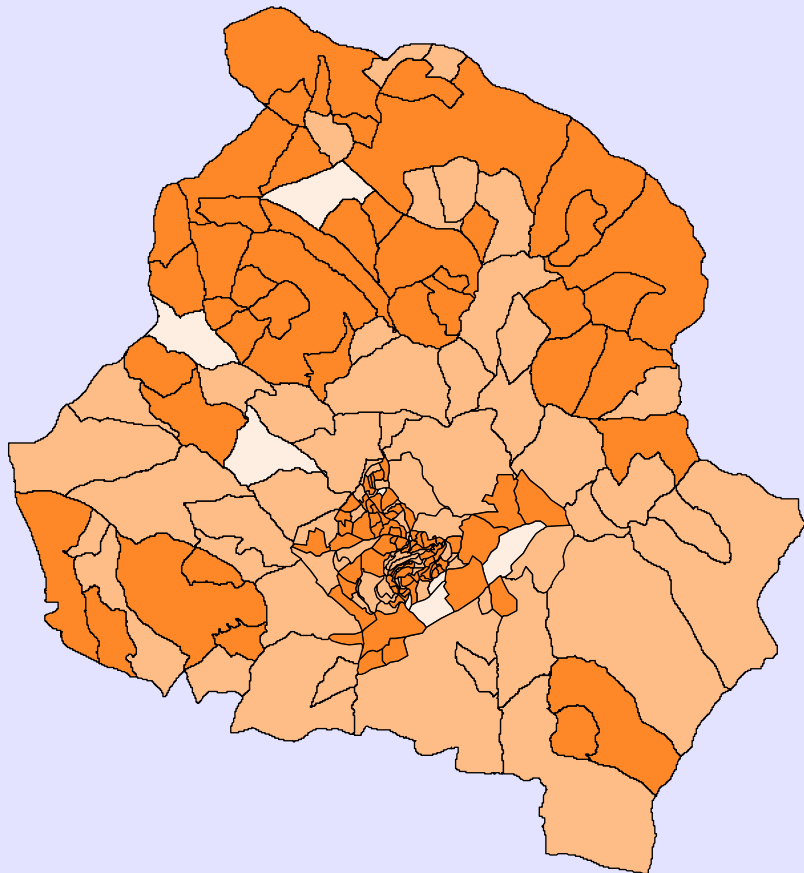
# Distribuzione geografica del danno

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

$L_d = 2 - 3$

Senza effetti di sito

Con effetti di sito



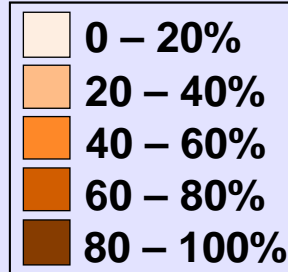
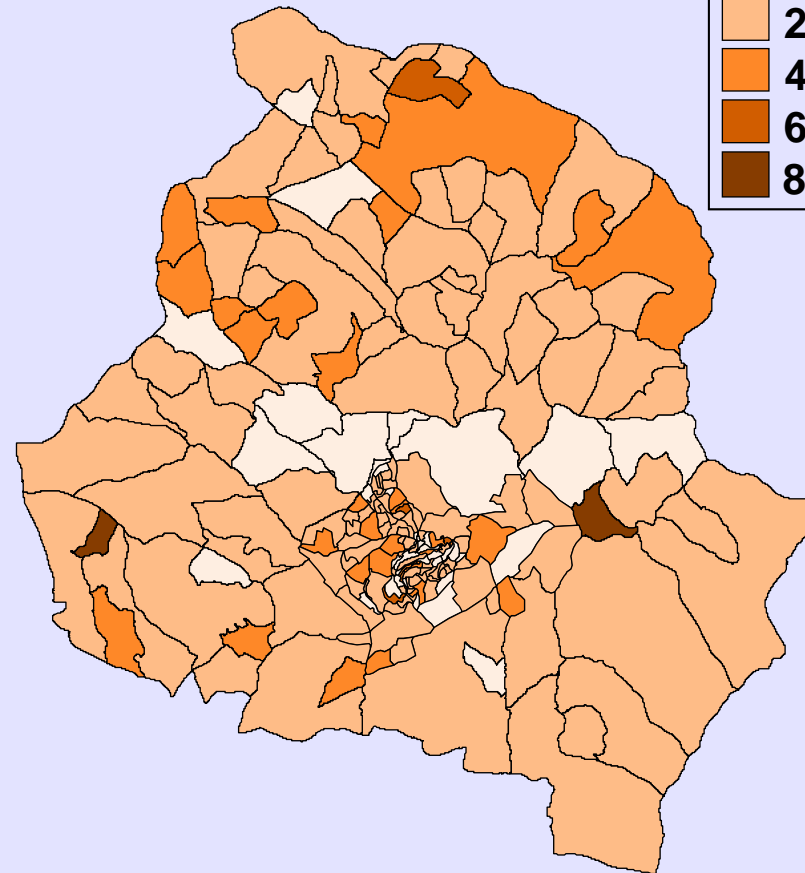
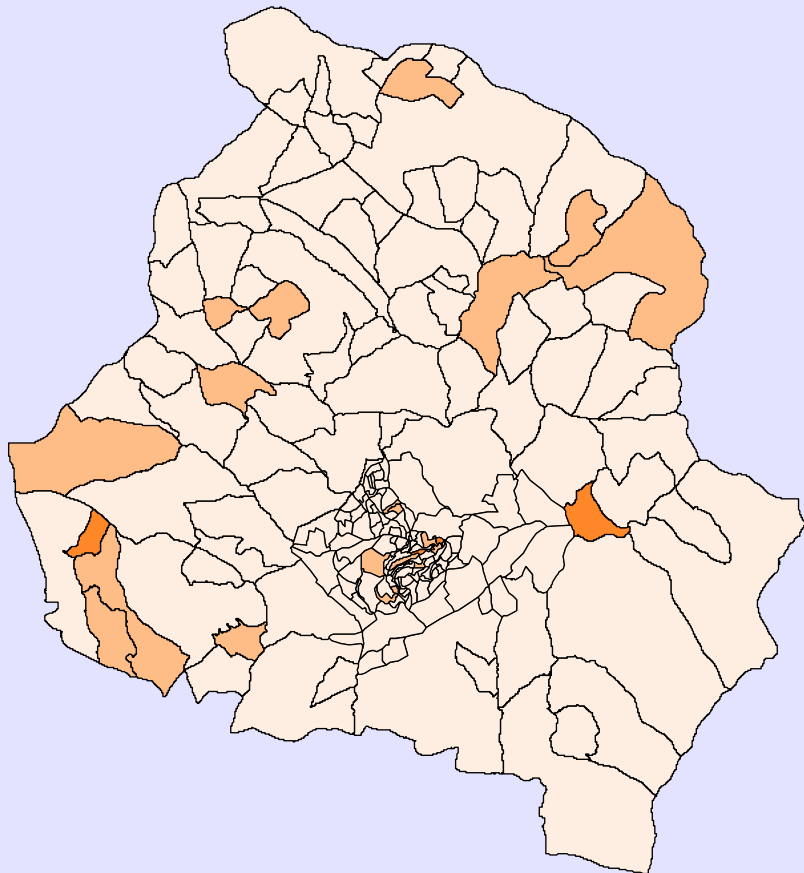
# Distribuzione geografica del danno

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

$L_d = 4 - 5$

Senza effetti di sito

Con effetti di sito

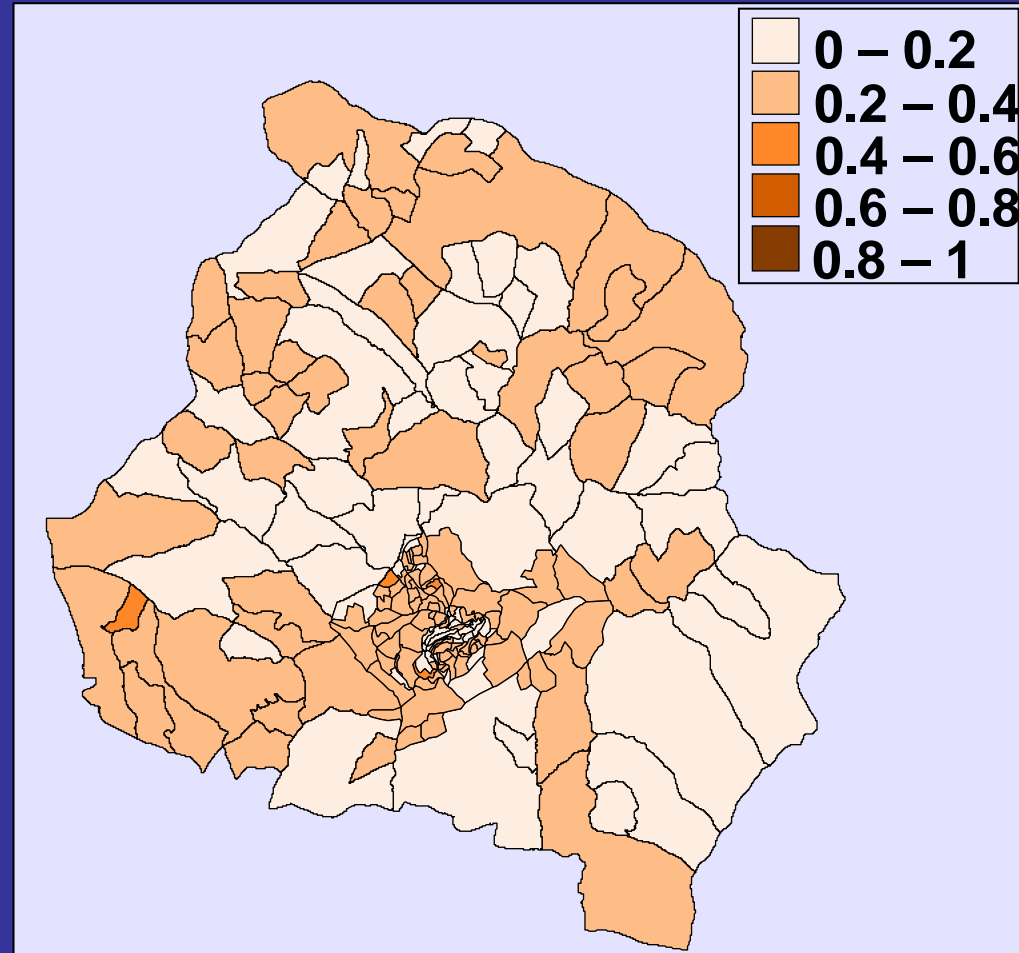


Evento:  $T_r = 50$  anni     $I_{EMS} = VI$

$DI_{med}$

Senza effetti di sito

Con effetti di sito



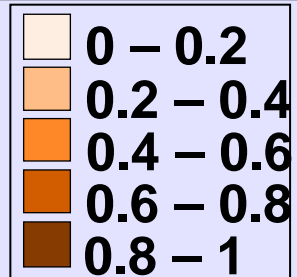
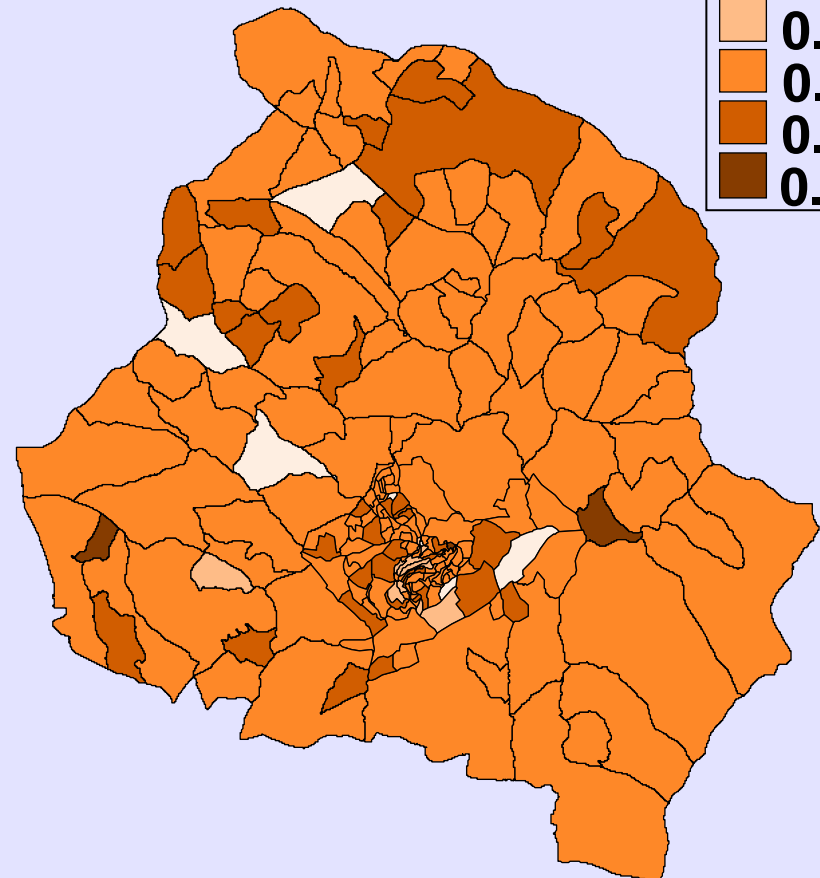
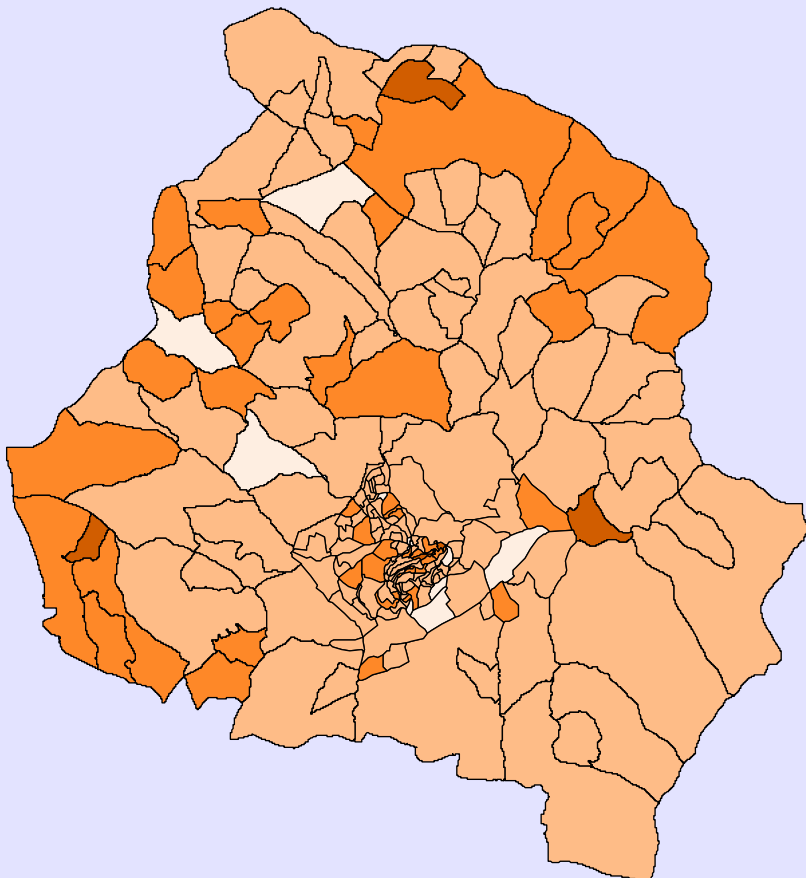


Evento:  $T_r = 475$  anni  $I_{EMS} = VIII$

$DI_{med}$

Senza effetti di sito

Con effetti di sito

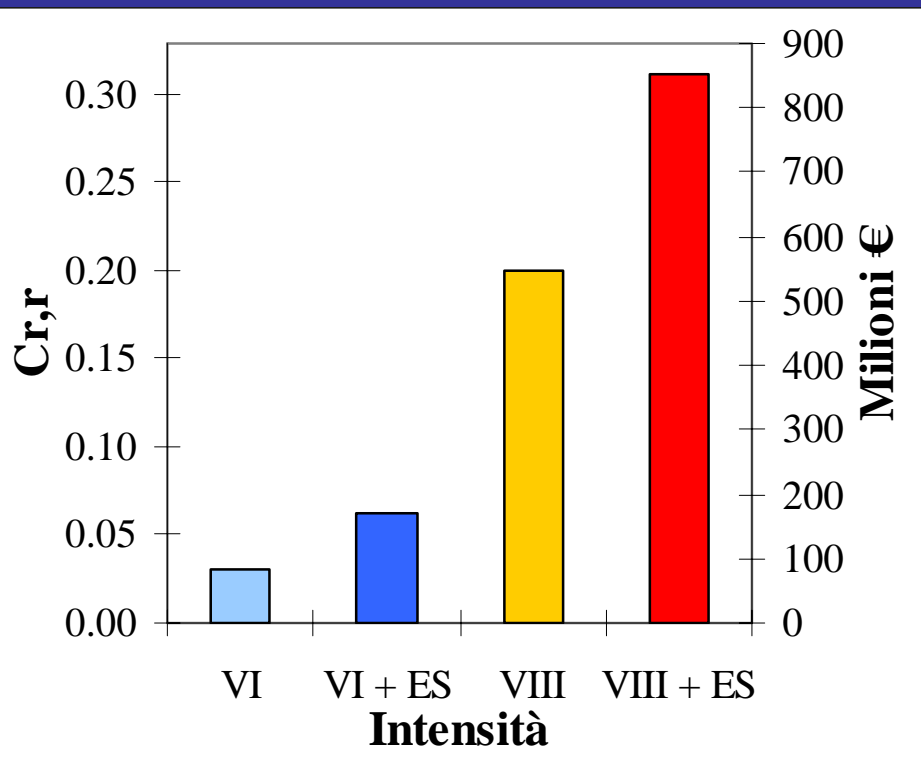


# Valutazione dei costi di riparazione

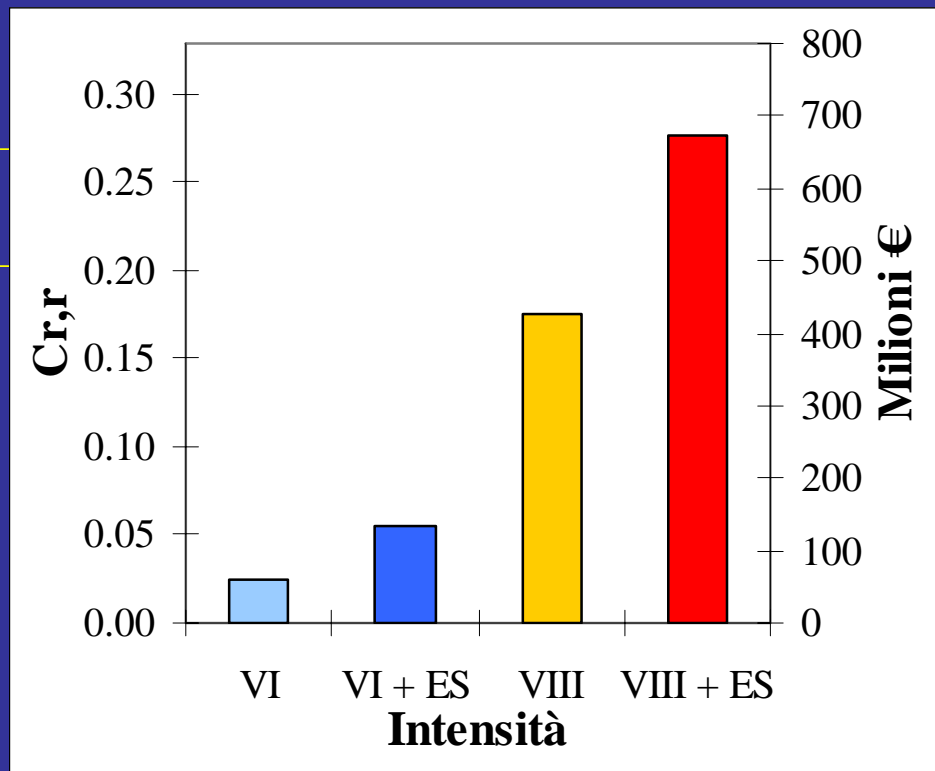
## INDICE DI DANNO ECONOMICO $C_{r,r}$

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

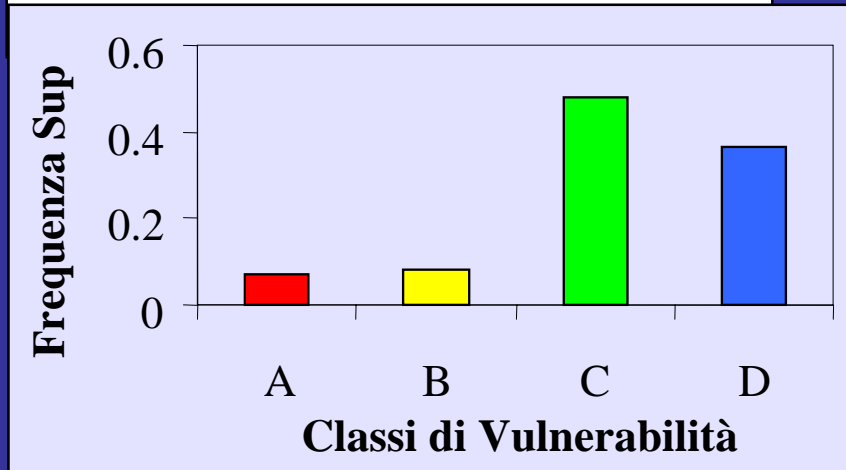
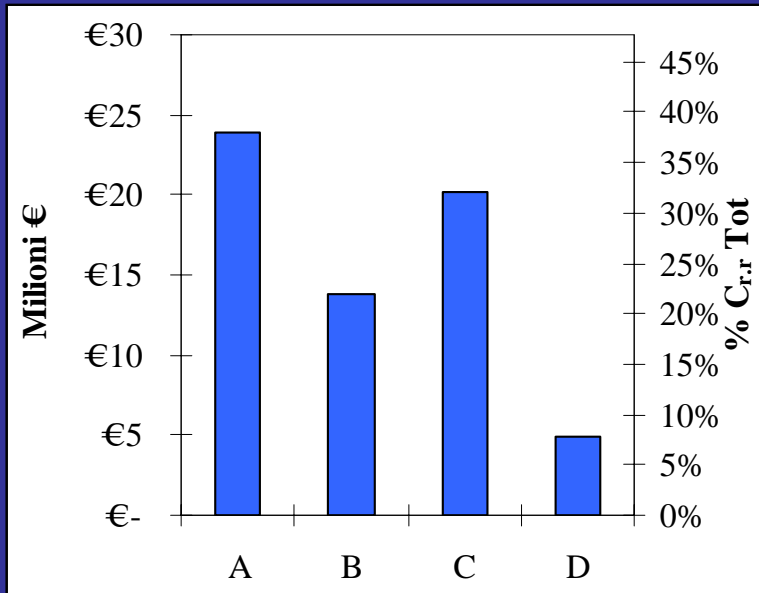
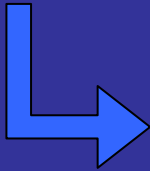


$C_{r,r}$  considerando la sup. degli edifici

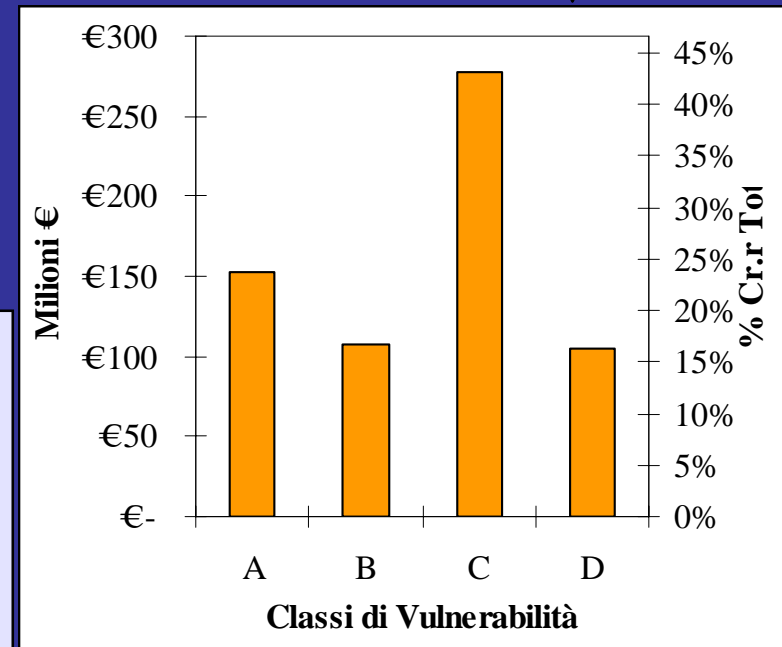
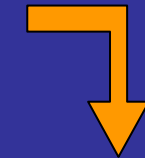
# Valutazione dei costi di riparazione

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

$I_{EMS} = VI$



$I_{EMS} = VIII$

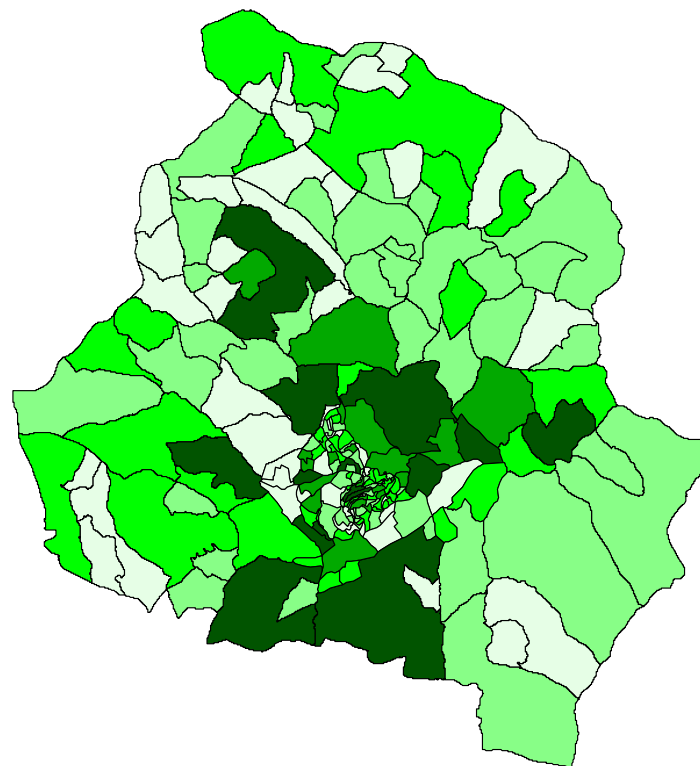
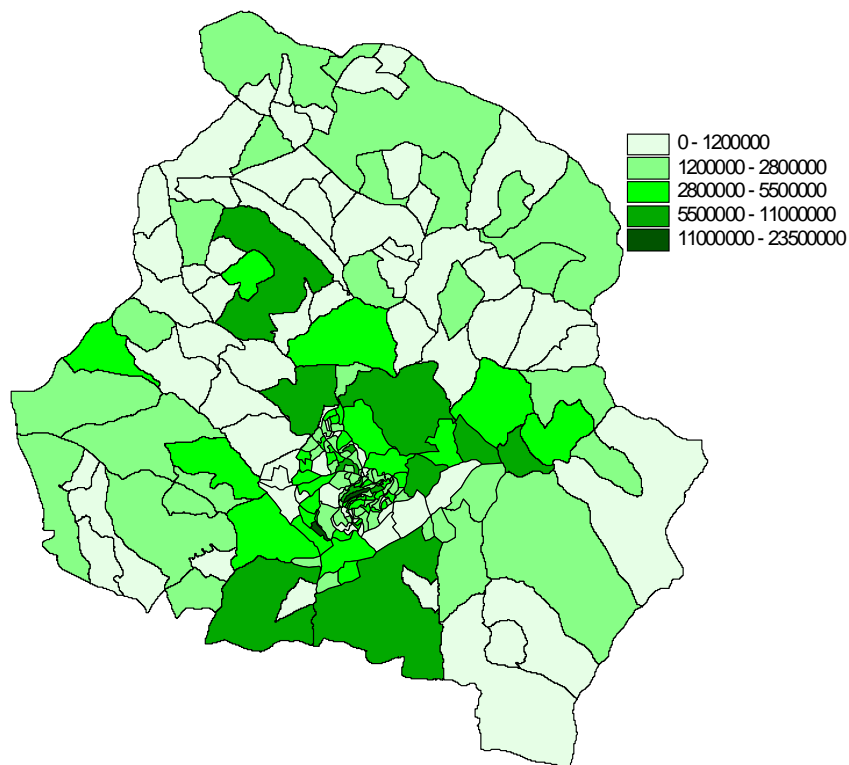


Evento:  $T_r = 475$  anni  $I_{EMS} = VIII$

$C_{r,r}$

Senza effetti di sito

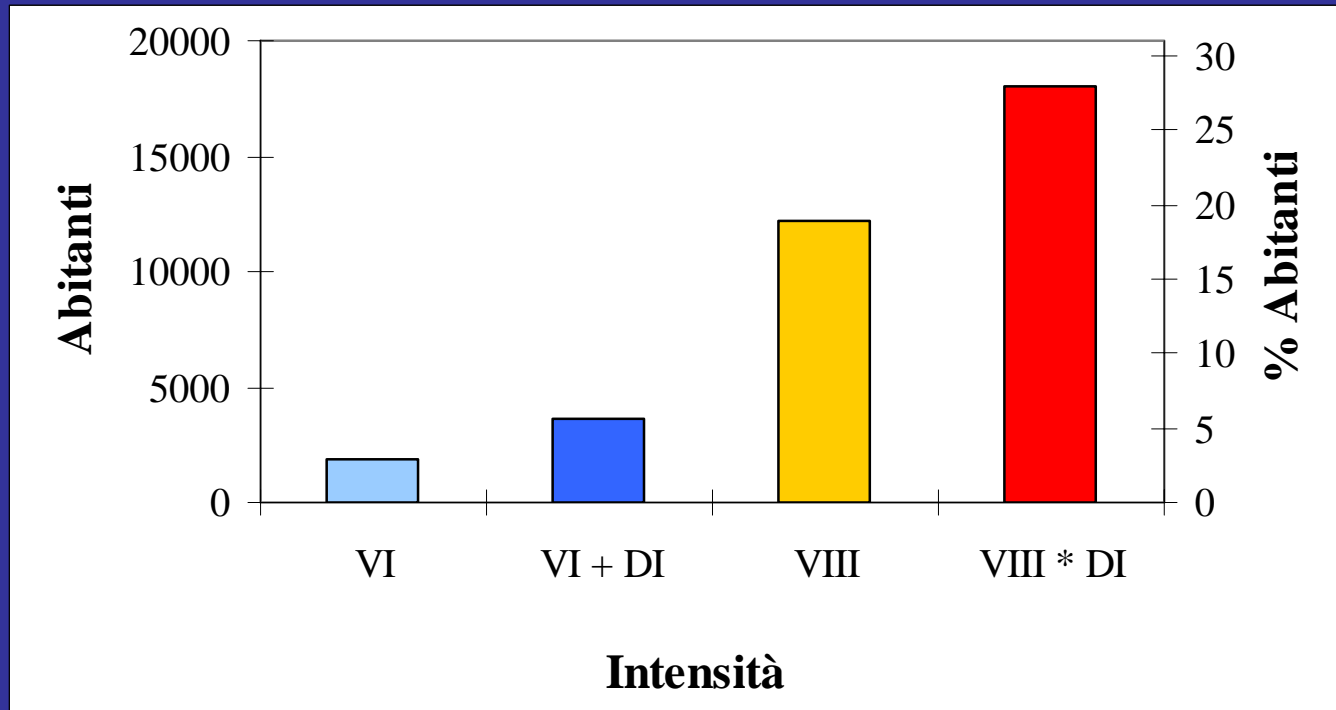
Con effetti di sito



# Valutazione delle persone coinvolte

## Coefficienti per la valutazione del numero di senzatetto

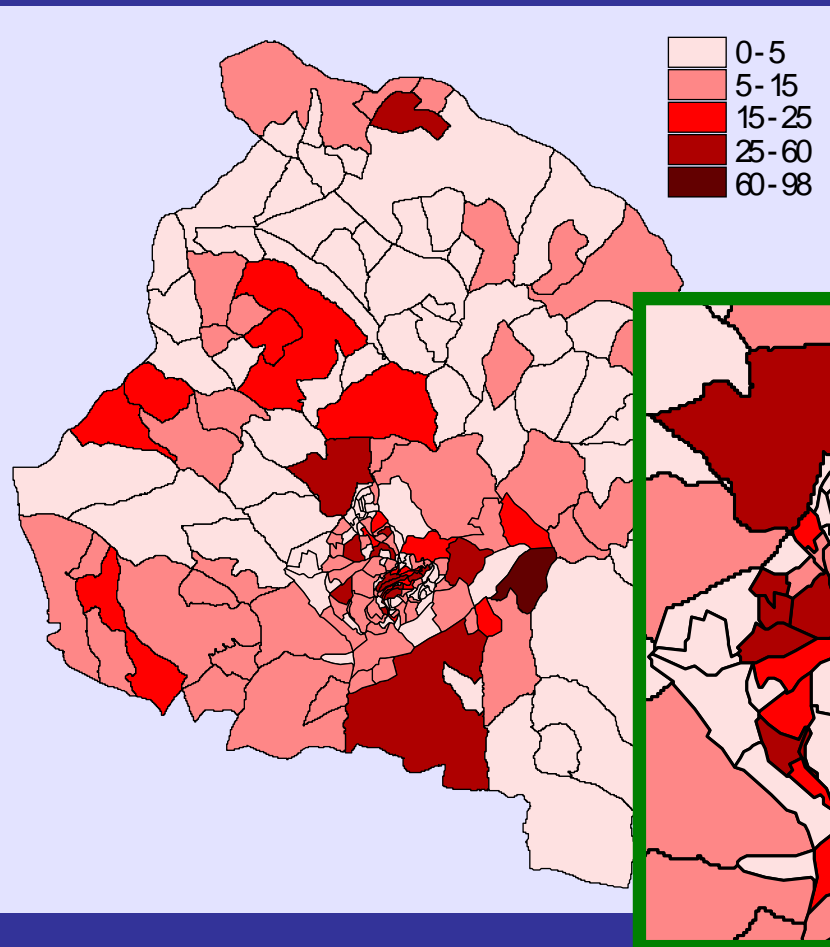
Classe di vulnerabilità	Livello di danno					
	0	1	2	3	4	5
<b>A</b>	0	0.1	0.3	0.82	1	1
<b>B</b>	0	0.05	0.23	0.75	1	1
<b>C, D (muratura)</b>	0	0.02	0.18	0.64	1	1
<b>C, D (c.a.)</b>	0	0	0.14	0.38	1	1



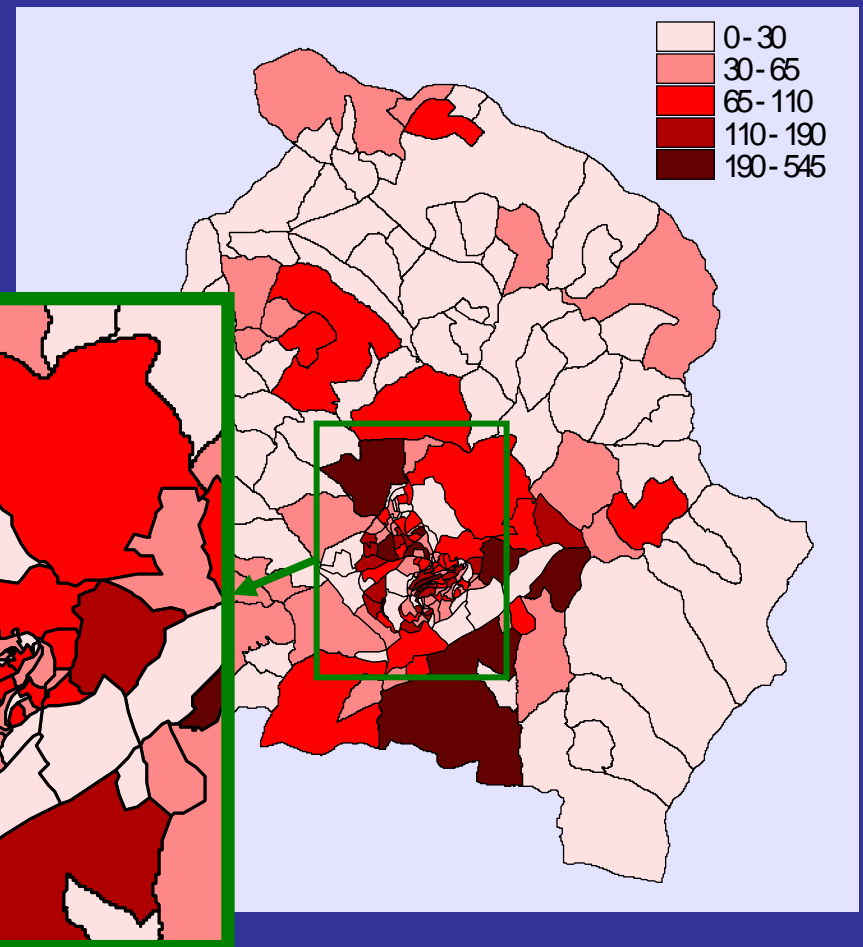
# Distribuzione geografica dei senza tetto

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

Senza effetti di sito

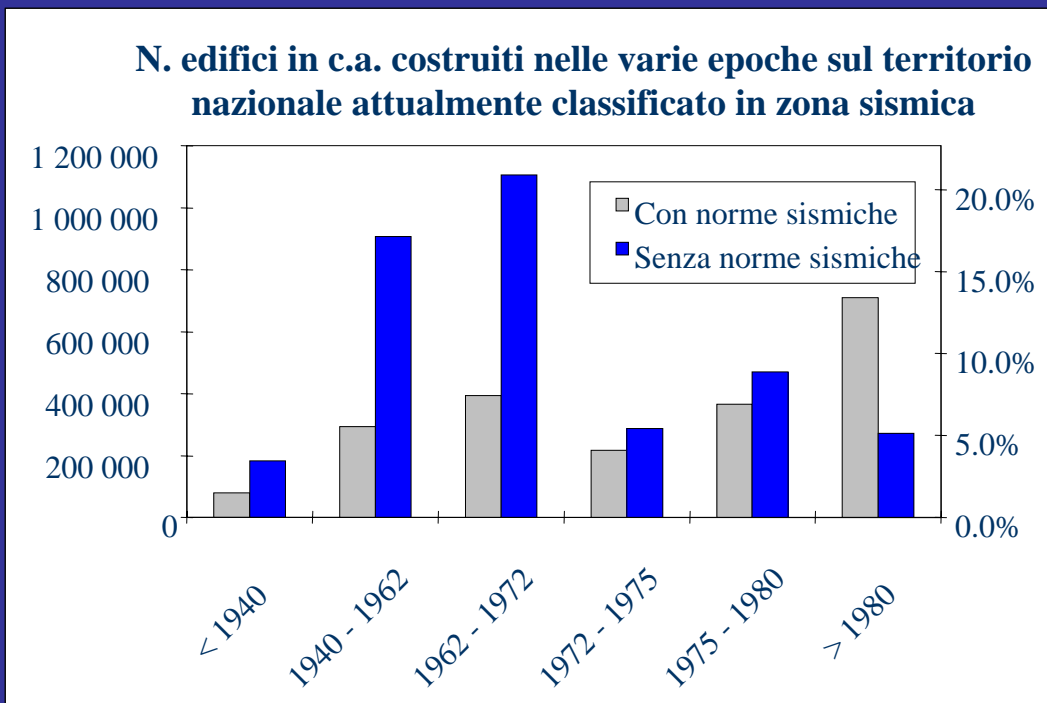


Con effetti di sito



# Studi e ricerche sugli edifici in c.a.

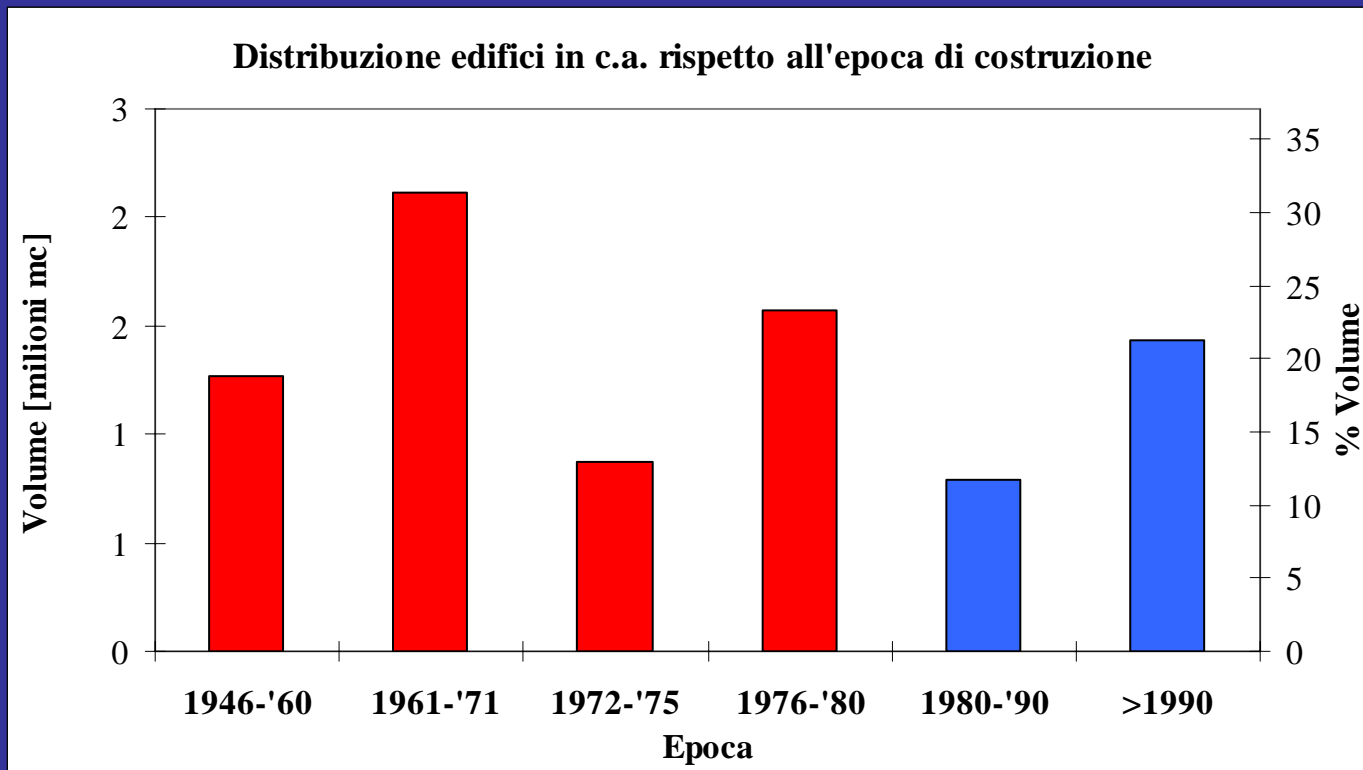
- In molti paesi una parte consistente del patrimonio edilizio è in c.a.
- In Italia gli edifici in c.a. sono oltre il 50%
- Molti edifici in c.a. non sono antisismici o sono stati progettati con criteri inadeguati



**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"***

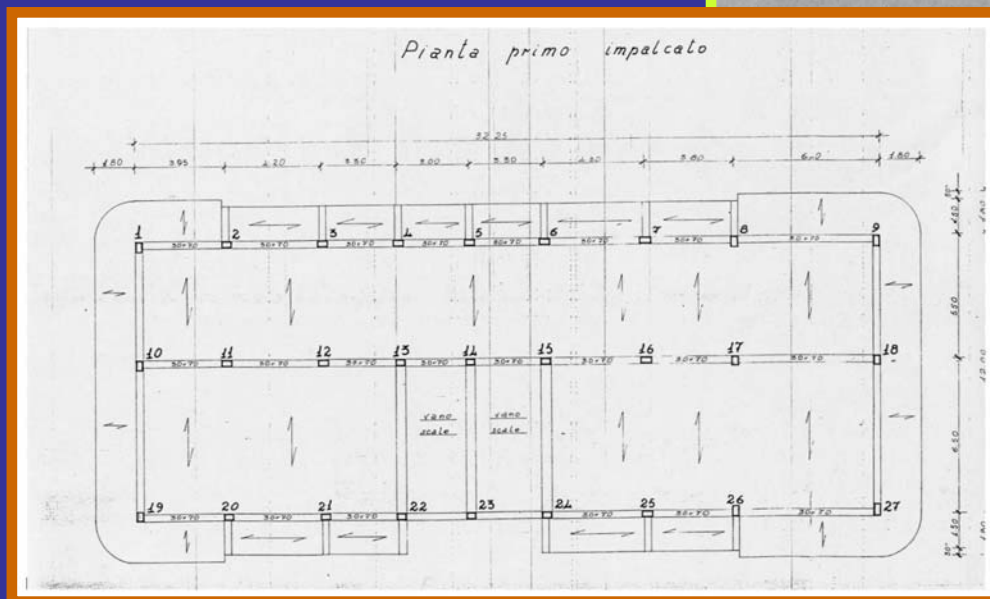
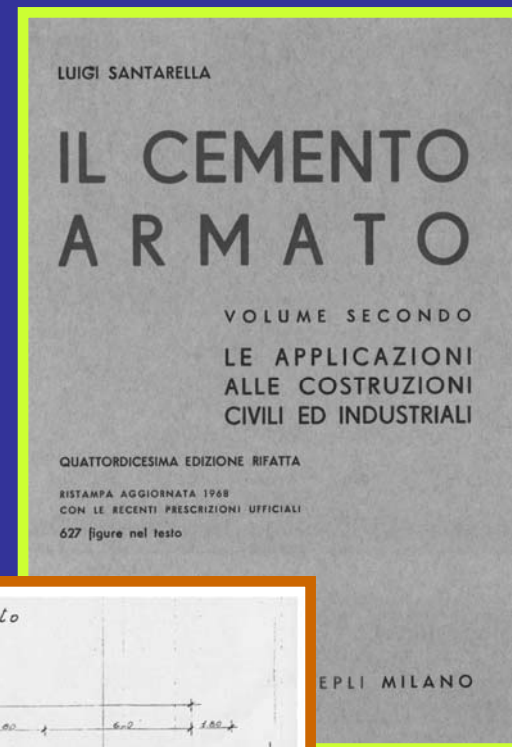
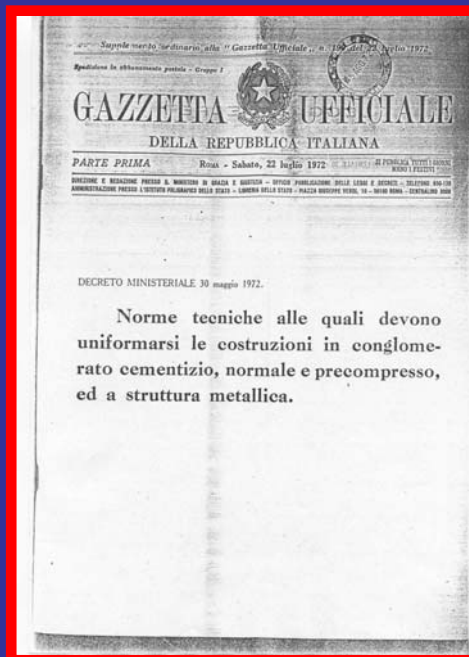


	1946-'70	1971-'80	1981-'99
<b>Abitanti</b>	17000	12000	11000



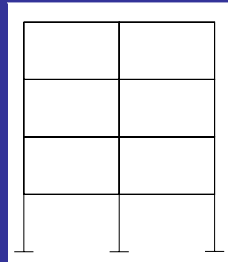
# Caratteristiche edifici esistenti → Periodo di costruzione

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



# Vulnerabilità sismica (media) degli edifici in c.a.

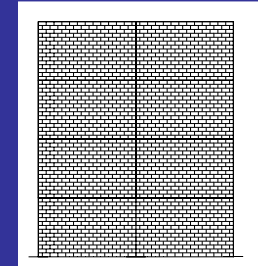
**Vulnerabilità  
Media**



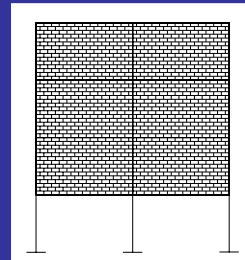
Edifici non tamponati

Edifici tamponati

**Vulnerabilità  
Bassa**



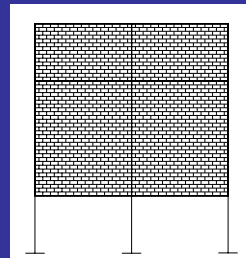
**Vulnerabilità  
Alta**



Edifici con piano porticato

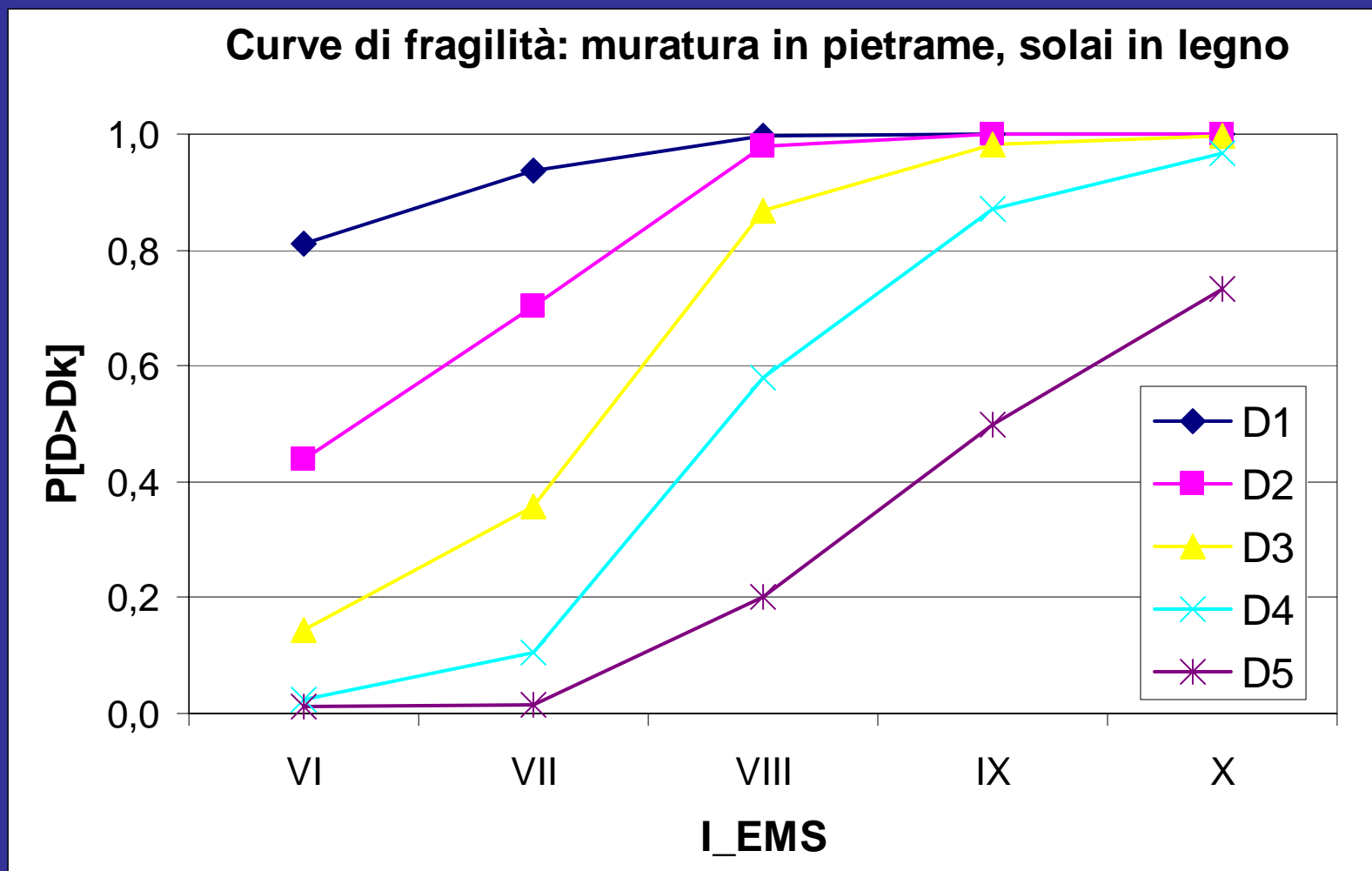


**Vulnerabilità  
Alta**

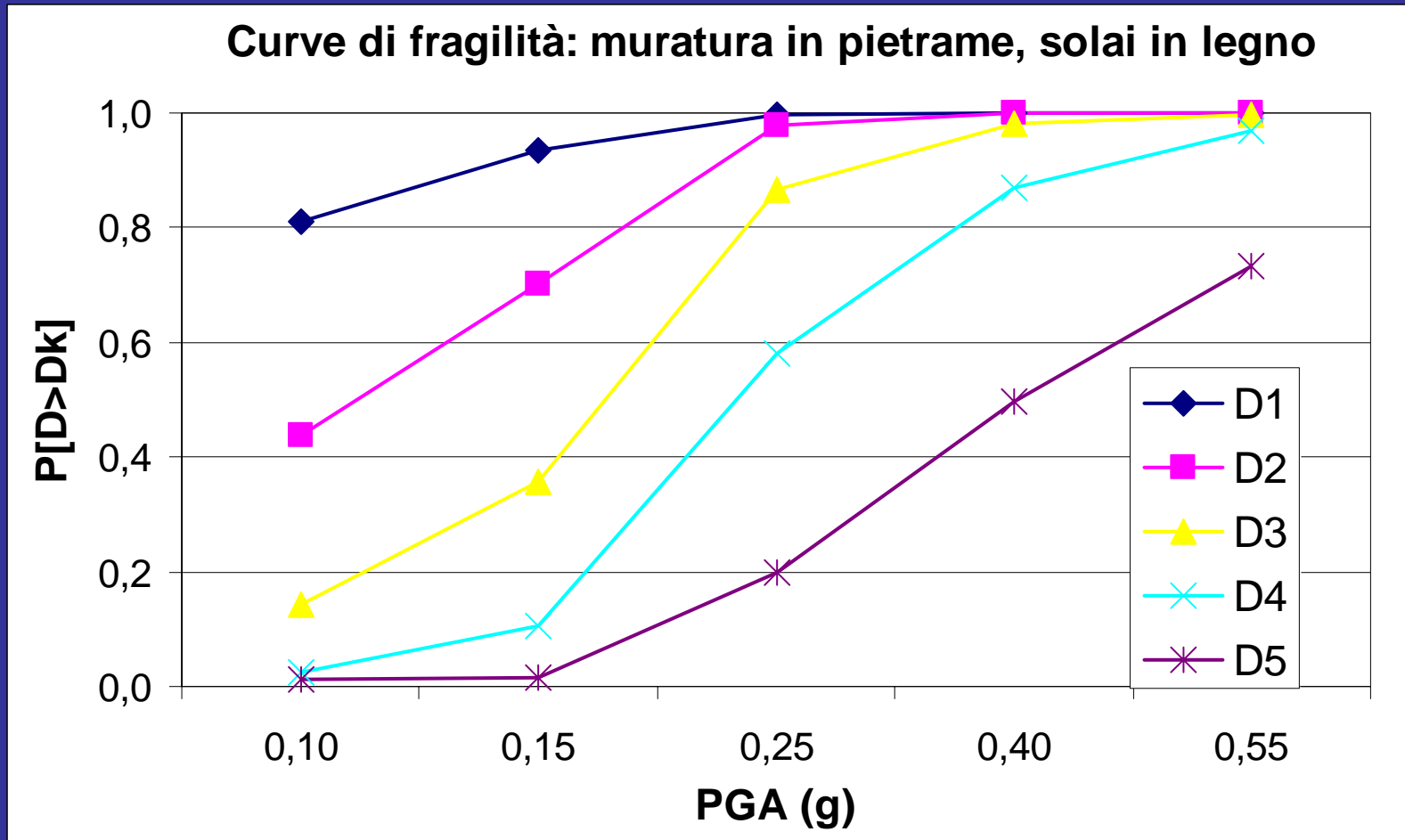


Esempi di edifici con piano  
porticato a POTENZA

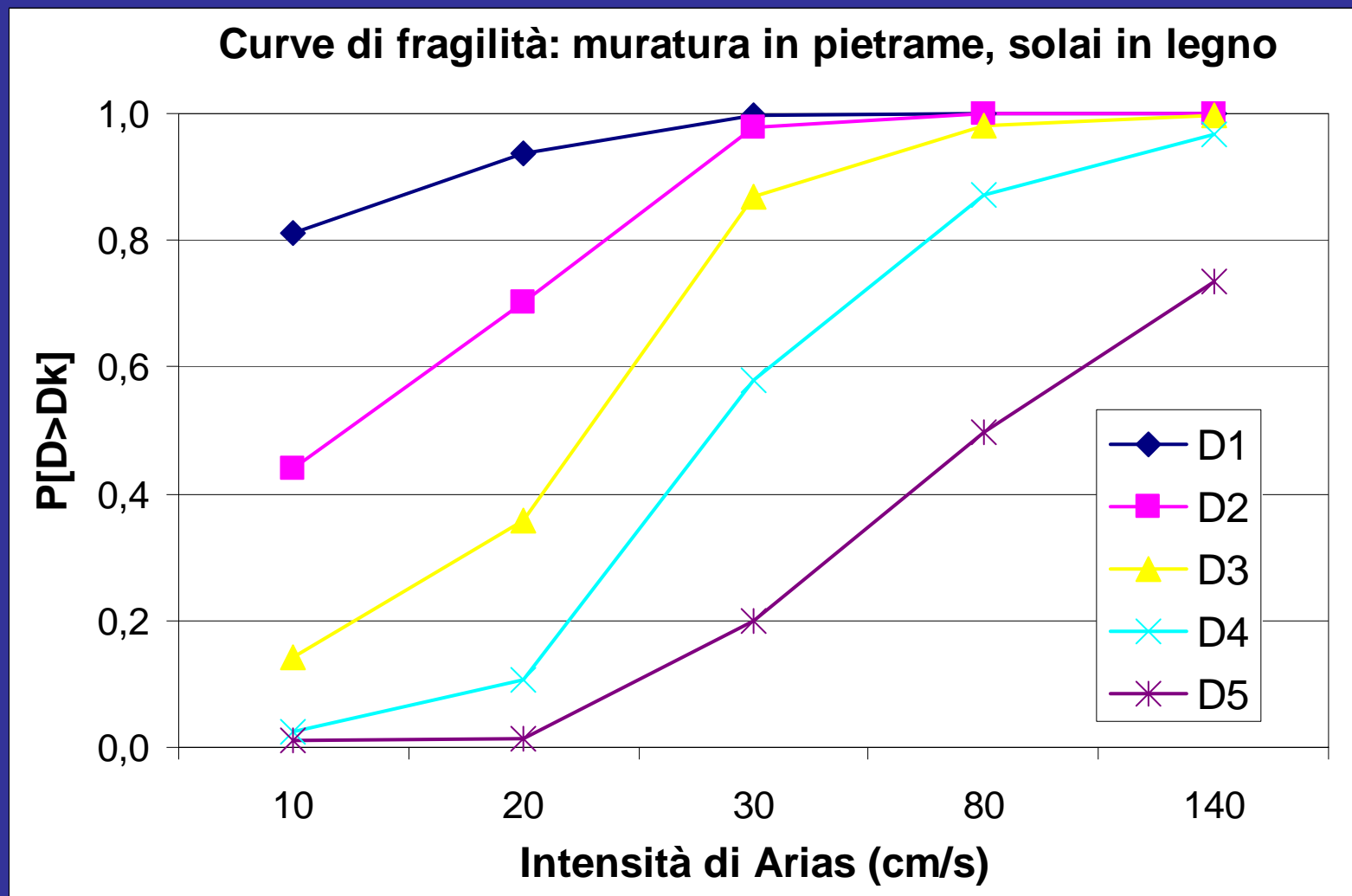
# Curve di Fragilità in termini di I\_EMS



# 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)*