



Rete dei Laboratori Universitari  
di Ingegneria Sismica e Strutturale



PROMOSSA DA  
**6 / 13**  
OTTOBRE  
**2024**

#settimanadiPC

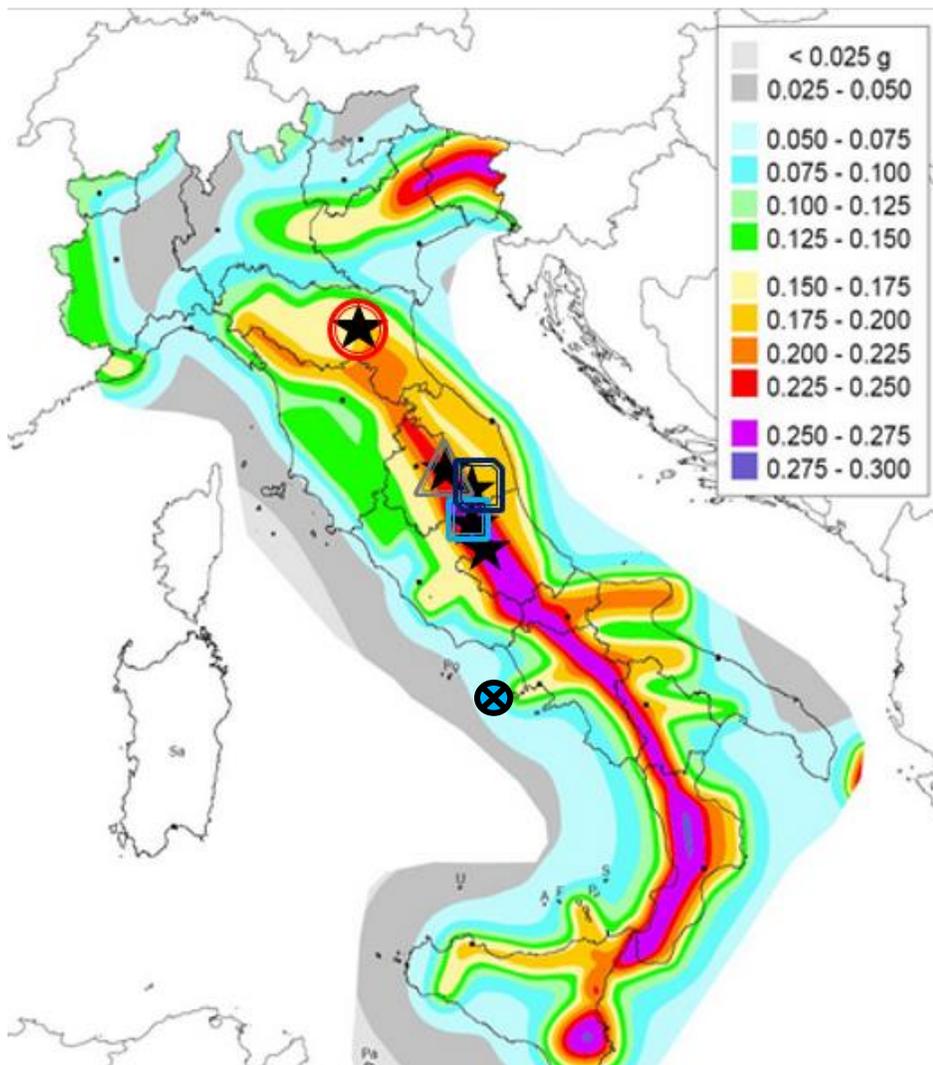
# SCUOLA DI INGEGNERIA STRUTTURALE – RELUIS

**Bologna, 9-11 ottobre 2024**

**Ricostruzione e prevenzione sismica: interventi e costi dopo i recenti eventi sismici in Italia – confronto con i costi degli interventi integrati**

**Prof. Marco Di Ludovico, Prof. Andrea Prota**

## ➤ EVENTI SISMICI RECENTI E PROCESSI DI RICOSTRUZIONE

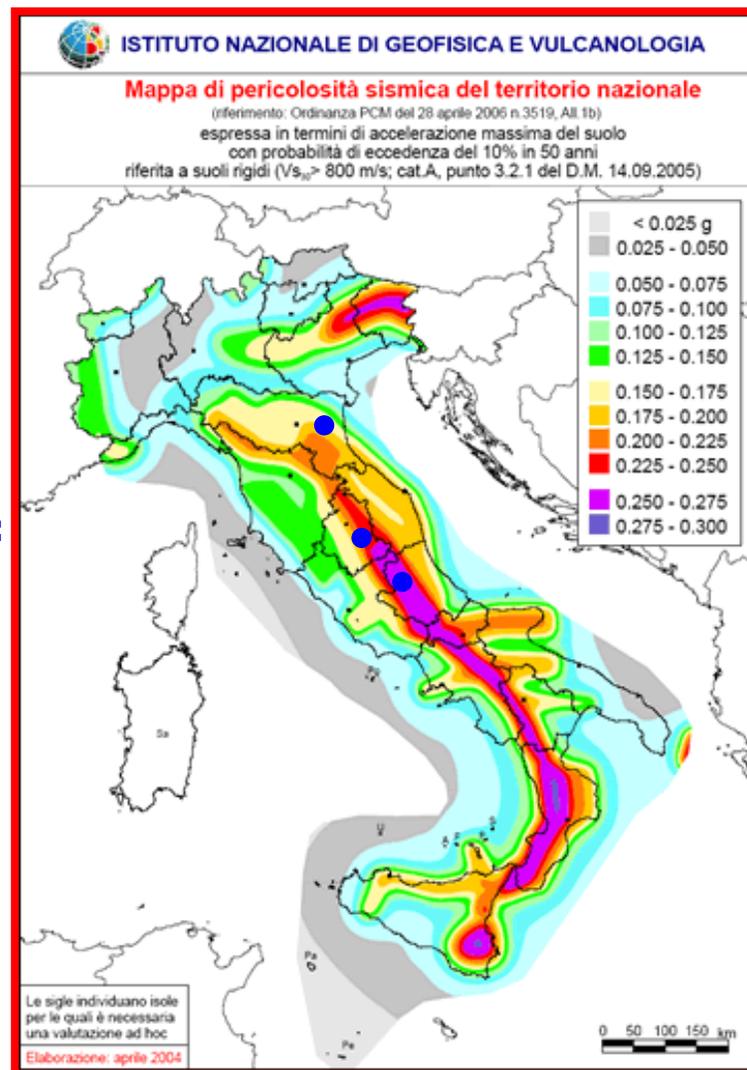


- ★ L'Aquila  
6 Aprile **2009** (Mw=6,3)
- ★ Emilia-Romagna  
20-29 Maggio **2012** (Mw=5,9;5,8)
- ★ Centro Italia  
24 Agosto **2016** (Mw=6,0)
- ★ Centro Italia  
26 Ottobre **2016** (Mw=5,9)
- ★ Centro Italia  
30 Ottobre **2016** (Mw=6,5)
- ★ Ischia  
21 Agosto **2017** (Mw=4,0)

## ➤ EVENTI SISMICI RECENTI E PROCESSI DI RICOSTRUZIONE

**ABRUZZO 2009**  
Mw 6.3  
309 victims, 13.700 M€

**MODELLI DI RICOSTRUZIONE:**  
1. MODELLO ANALITICO  
2. MODELLO PARAMETRICO



**EMILIA 2012**  
Mw 5.9  
27 victims, 13.300 M€

**MODELLO PARAMETRICO  
BASATO SUI LIVELLI  
OPERATIVI**

**ITALIA CENTRALE 2016-17**  
Mw 6.5  
299 victims, 23.500 M€

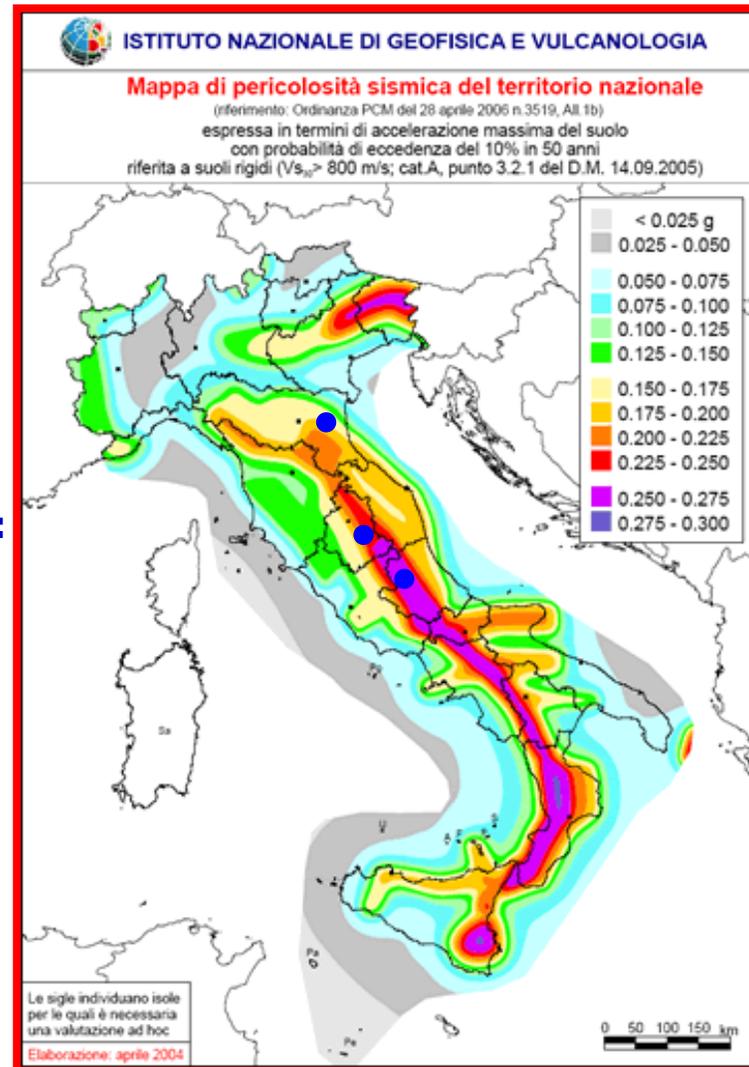
**ITALIA CENTRALE 2016-17**  
Mw 6.5  
299 victims, 23.500 M€

**MODELLO PARAMETRICO  
BASATO SUI LIVELLI  
OPERATIVI**

## ➤ EVENTI SISMICI RECENTI E PROCESSI DI RICOSTRUZIONE

**ABRUZZO 2009**  
Mw 6.3  
309 victims, 13.700 M€

**MODELLI DI RICOSTRUZIONE:**  
1. MODELLO ANALITICO  
2. MODELLO PARAMETRICO



**EMILIA 2012**  
Mw 5.9  
27 victims, 13.300 M€

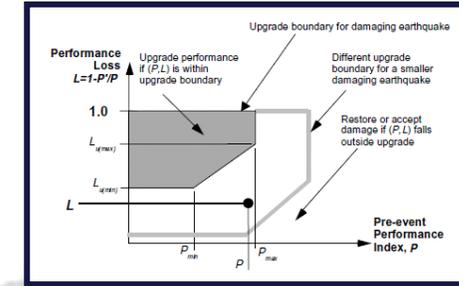
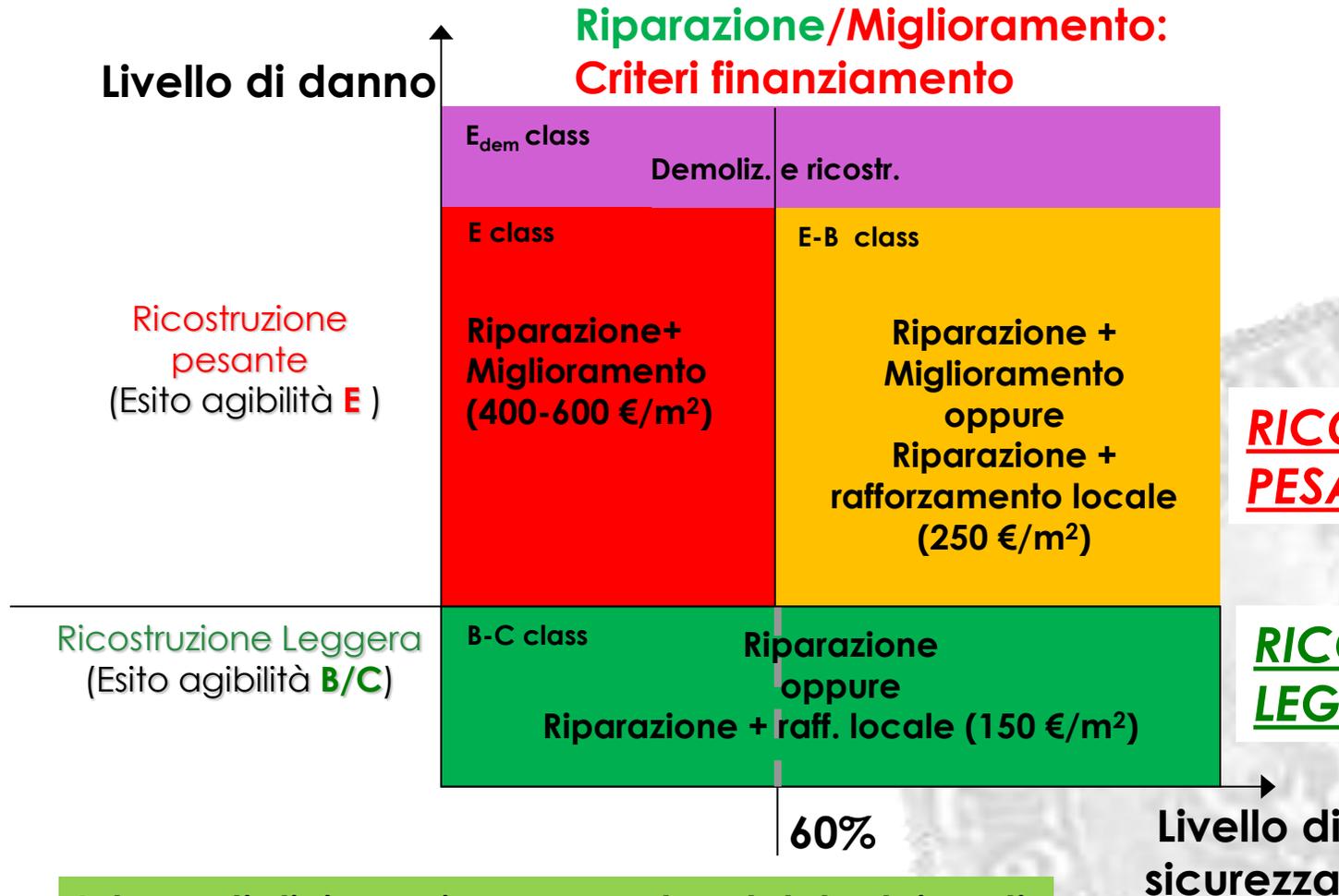
**MODELLO PARAMETRICO  
BASATO SUI LIVELLI  
OPERATIVI**

**ITALIA CENTRALE 2016-17**  
Mw 6.5  
299 victims, 23.500 M€

**ITALIA CENTRALE 2016-17**  
Mw 6.5  
299 victims, 23.500 M€

**MODELLO PARAMETRICO  
BASATO SUI LIVELLI  
OPERATIVI**

## ➤ EDILIZIA PRIVATA FUORI DAI CENTRI STORICI



FEMA 308 (1998)

**RICOSTRUZIONE PESANTE**

**RICOSTRUZIONE LEGGERA**

$$\zeta_E = \frac{PGA_{demand}}{PGA_{capacity}}$$

Interventi di riparazione: copertura totale dei costi

Rafforzamento/Miglioramento: finanziamento con limiti di costo unitario; Ricostruzione pesante: Livello di sicurezza minimo obbligatorio 60% (<80 % con finanziamento pubblico)

## ➤ EDILIZIA PRIVATA FUORI DAI CENTRI STORICI

**ABRUZZO 2009**  
**Mw 6.3**  
**309 victims, 13.700 M€**

**L'AQUILA 2009**



**309 vittime, -1% PIL**  
**(16 miliardi €)**

**MODELLI DI RICOSTRUZIONE:**  
**1. MODELLO ANALITICO**



**Oltre 80.000 edifici danneggiati**

**La cosiddetta "Filiera"**



**1. FINTECNA: Finanziaria per i Settori Industriale e dei Servizi S.p.A.**



**2. ReLUIIS: Rete dei Laboratori Universitari di Ingegneria Sismica**



**3. CINEAS: Consorzio Universitario per L'ingegneria delle Assicurazioni**



## ➤ EDILIZIA PRIVATA FUORI DAI CENTRI STORICI



Scaricabile gratuitamente da  
[www.reluis.it](http://www.reluis.it)



20.000 pratiche di richiesta contributo

**5.775 Edifici**

(4.885 L'Aquila- 920 Altri comuni)

Filiera



## ➤ EDILIZIA PRIVATA FUORI DAI CENTRI STORICI

*Quanto è costata la ricostruzione?*

*Edifici privati di L'Aquila (4.885) fuori dai centri storici*

**2,6 miliardi di euro**

### ➤ RICOSTRUZIONE LEGGERA

- ✓ **2.904 edifici con danni leggeri:**  
Contributo totale **534 milioni di euro**  
Contributo medio/edificio **184.000€**

### ➤ RICOSTRUZIONE PESANTE

- ✓ **1.951 edifici con danni severi**  
Contributo totale **2,1 miliardi di euro**  
Contributo medio edificio circa **1 milione €**



## ➤ EDILIZIA PRIVATA FUORI DAI CENTRI STORICI

*Quanto è costata la ricostruzione?*

*Edifici privati di L'Aquila (4.885) fuori dai centri storici*

**2,6 miliardi di euro**

**Riparazione**

**1,3 miliardi di euro**

**Demolizione/Ricostruzione**

**0,6 miliardi di euro**

**Rafforzamento sismico**

**0,7 miliardi di euro**

541 edifici su 2.211  
(25%) severamente danneggiati

## ➤ EDILIZIA PRIVATA FUORI DAI CENTRI STORICI

“LIGHT DAMAGE ”  
RECONSTRUCTION

“HEAVY DAMAGE ”  
RECONSTRUCTION

RC BUILD.S



Costi Diretti:  
Riparazione

MASONRY BUILDINGS



RC BUILD.S



Costi Indiretti:  
Assistenza alla popolazione

MASONRY BUILDINGS



## ➤ EDILIZIA PRIVATA FUORI DAI CENTRI STORICI

- Costi medi normalizzati rispetto alla superficie coperta (€/m<sup>2</sup>)  
B oC – ricostruzione leggera ; E – Ricostruzione pesante

**Table I.** Mean unit costs related to RC and masonry buildings in L'Aquila (Di Ludovico et al., 2017a, 2017b)

Usability class	Type of structure	No. of buildings	Repair cost <sup>a</sup> (€/m <sup>2</sup> )	Strengthening Cost (€/m <sup>2</sup> )	Structural and geotech. tests (€/m <sup>2</sup> )	Energy efficiency upgrade (€/m <sup>2</sup> )	Total grant <sup>b</sup> (€/m <sup>2</sup> )
B or C	RC	<b>1598</b>	<b>183.8</b>	33.9	–	–	217.8
	Masonry	899	216.8	68.3	–	–	285.1
	All	2497	195.7	46.3	–	–	241.9
E-B	RC	<b>200</b>	<b>342.3</b>	139.0	4.0	39.9	525.2
	Masonry	44	268.3	143.7	4.3	34.3	450.6
	All	244	329.0	139.9	4.0	38.9	511.8
E	RC	<b>447</b>	<b>532.9</b>	309.2	7.8	75.8	925.8
	Masonry	313	447.8	320.1	10.2	59.1	837.3
	All	760	497.9	313.7	8.8	68.9	889.3
E <sub>dem</sub>	RC	<b>267</b>	–	–	–	–	1213.4
	Masonry	224	–	–	–	–	1169.9
	All	491	–	–	–	–	1192.0

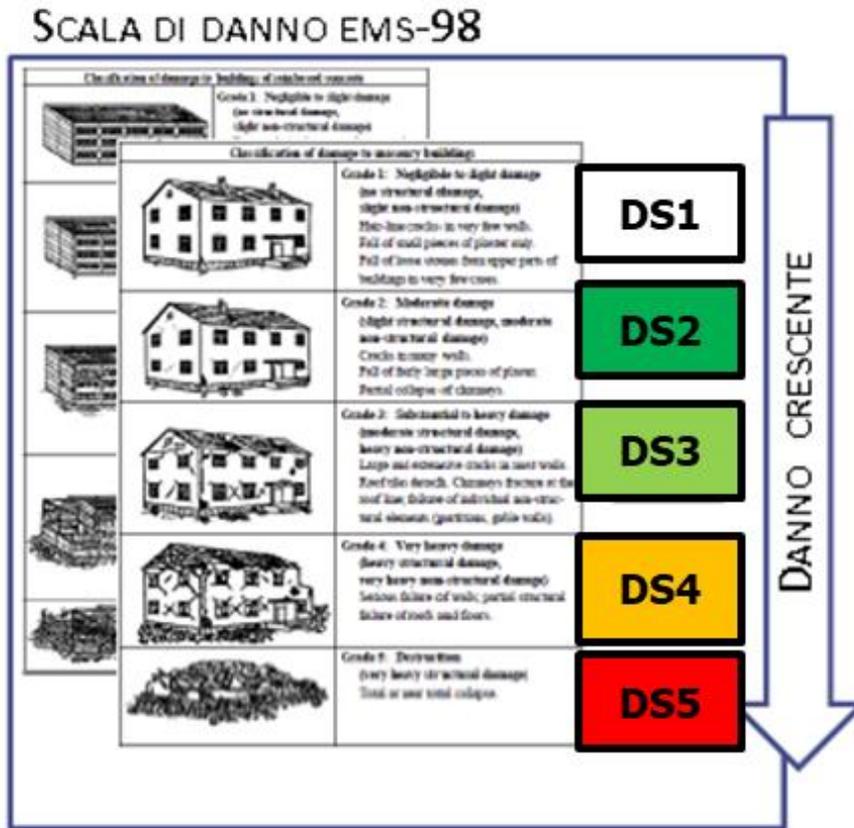
RC: reinforced concrete.

<sup>a</sup>The repair costs also include repair and finishing works relevant to the strengthening interventions; they do not include VAT; charges for the design and technical assistance of practitioners are included.

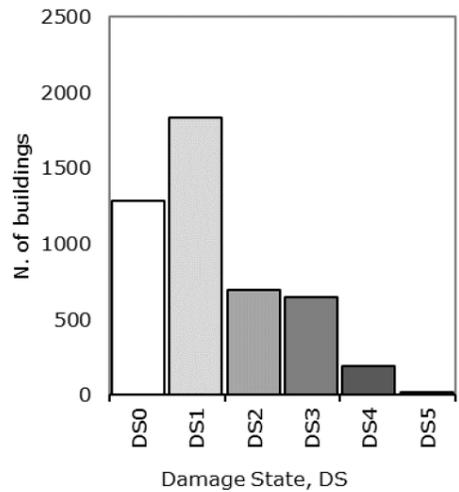
<sup>b</sup>The total grant does not include VAT; charges for the design and technical assistance of practitioners are included. The number of RC buildings and the relevant repair cost are in bold.

## ➤ EDILIZIA PRIVATA FUORI DAI CENTRI STORICI

Dati su 8,497 edifici residenziali



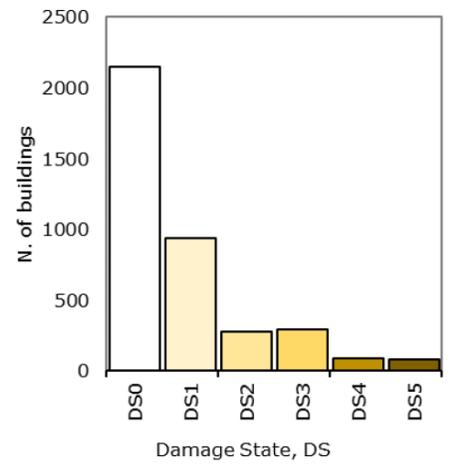
4,664 RC BUILDINGS



### EDIFICI IN C.A.



3,833 MASONRY BUILDINGS



### ED. IN MURATURA



# COSTI DI RICOSTRUZIONE: Riparazione

## ➤ EDILIZIA PRIVATA FUORI DAI CENTRI STORICI

$\%C_r$  = costo **riparazione** (%) normalizzato rispetto al costo di ricostruzione unitario (CU)

**CU** = Costo unitario di ricostruzione a m<sup>2</sup>(**1350 Euro/m<sup>2</sup>**) di un edificio, comprensivo di spese tecniche e IIVA)

$\%C_r$  Vs. Stato di Danno (DS)



EDIFICI IN C.A.



ED. IN MURATURA

Table 6.  $\%C_r$  as a function of damage states, DS.

	4,664 RC buildings					3,833 RC buildings				
Damage States	DS1	DS2	DS3	DS4	DS5	DS1	DS2	DS3	DS4	DS5
No. of buildings	1,835	690	643	194	20	941	276	292	92	81
$\%C_r$ - 16 <sup>th</sup> percentile	0%	6%	14%	26%	44%	0%	8%	16%	25%	34%
$\%C_r$ - median	3%	14%	34%	59%	81%	4%	17%	33%	52%	72%
$\%C_r$ - 84 <sup>th</sup> percentile	13%	29%	64%	95%	107%	17%	35%	78%	96%	95%
$\%C_r$ - mean	6%	19%	39%	62%	78%	8%	22%	41%	59%	67%
$\%C_r$ - standard deviation	10%	18%	26%	32%	32%	10%	19%	28%	33%	29%
$\%C_r$ - CoV	64%	105%	149%	195%	191%	76%	116%	157%	163%	235%

## ➤ EDILIZIA PRIVATA FUORI DAI CENTRI STORICI

%Cr Vs. Stato di Danno (DS)



EDIFICI IN C.A.

DS3



ED. IN MURATURA

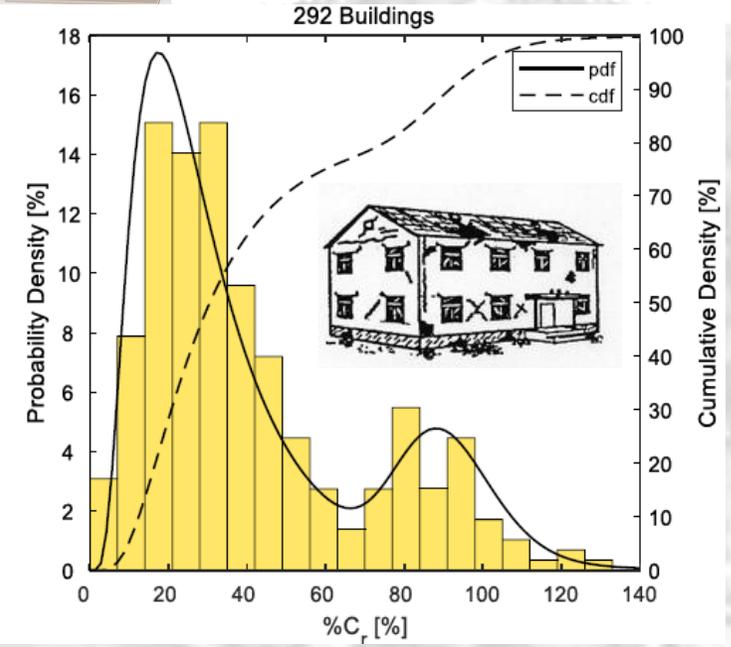
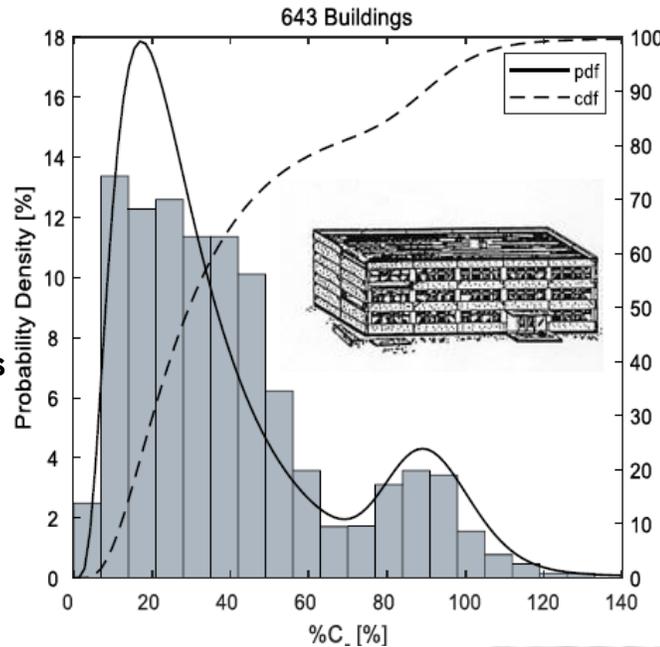
DS3

### Mixture Distribution

to combine a discrete (degenerate distribution) and a continuous probability distribution (normal/lognormal distribution) or two continuous ones;

### Two Lognormal distributions

Median and scatter of lognormal distribution:  $e^\mu$  and  $e^\sigma$ ,  
Mean and standard deviation of normal distribution,  $\mu$  and  $\sigma$ .



Lognormal distrib  
 $e^\mu=26\%$  ;  $e^\sigma=189\%$ ; Pp=86%  
Lognormal distrib  
 $e^\mu=91\%$  ;  $e^\sigma=112\%$ ; Pp=14%

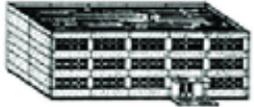
Lognormal distrib  
 $e^\mu=26\%$  ;  $e^\sigma=186\%$ ; Pp=82%  
Lognormal distrib  
 $e^\mu=91\%$  ;  $e^\sigma=114\%$ ; Pp=18%

# COSTI DI RICOSTRUZIONE: Riparazione

## ➤ EDILIZIA PRIVATA FUORI DAI CENTRI STORICI

### %Cr Vs. Stato di Danno (DS)



I	II	III	IV	V
Slight damage	Moderate damage	Heavy damage	Very heavy damage	Destruction
				

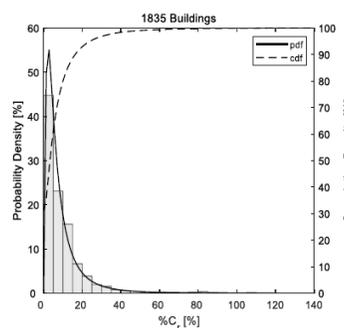
**DS1**

**DS2**

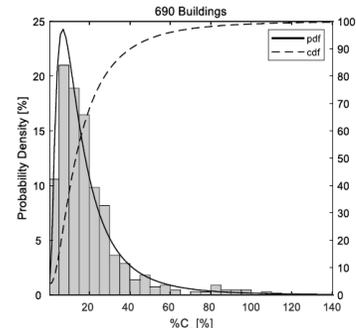
**DS3**

**DS4**

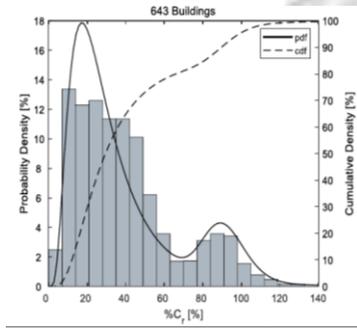
**DS5**



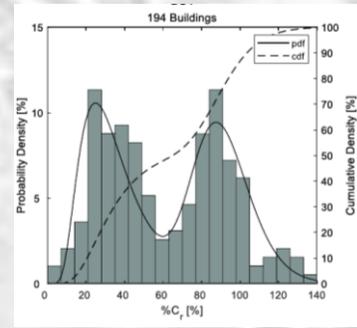
Degenerate distrib.  
 $x=0\%$ ;  $y=31\%$ ;  $P_p=31\%$   
Lognormal distrib  
 $e^\mu=6\%$ ;  $e^\sigma=263\%$ ;  $P_p=69\%$



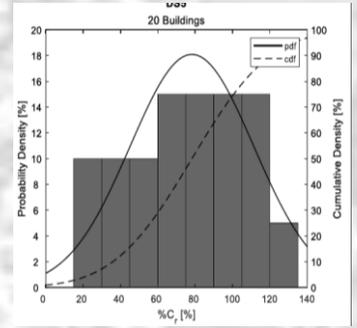
Degenerate distrib.  
 $x=0\%$ ;  $y=4\%$ ;  $P_p=4\%$   
Lognormal distrib  
 $e^\mu=14\%$ ;  $e^\sigma=234\%$ ;  $P_p=96\%$



Lognormal distrib  
 $e^\mu=26\%$ ;  $e^\sigma=189\%$ ;  $P_p=86\%$   
Lognormal distrib  
 $e^\mu=91\%$ ;  $e^\sigma=112\%$ ;  $P_p=14\%$



Lognormal distrib  
 $e^\mu=32\%$ ;  $e^\sigma=164\%$ ;  $P_p=53\%$   
Lognormal distrib  
 $e^\mu=90\%$ ;  $e^\sigma=118\%$ ;  $P_p=47\%$



Normal distrib  
 $\mu=78\%$ ;  $\sigma=33\%$

# COSTI DI RICOSTRUZIONE: Riparazione

## ➤ EDILIZIA PRIVATA FUORI DAI CENTRI STORICI

%Cr Vs. Stato di Danno (DS)



I	II	III	IV	V
Slight damage	Moderate damage	Heavy damage	Very heavy damage	Destruction
				

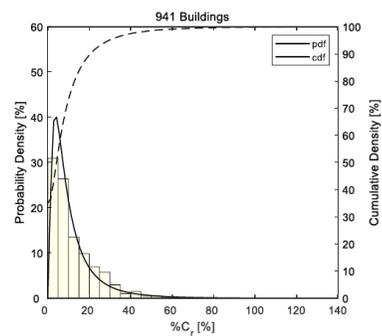
**DS1**

**DS2**

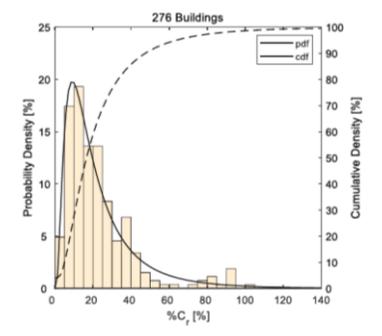
**DS3**

**DS4**

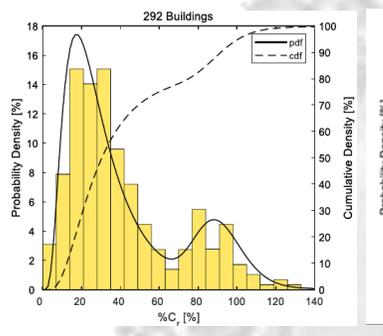
**DS5**



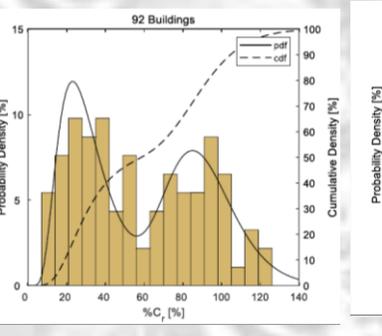
Degenerate distrib.  
 $x=0\%$ ;  $y=35\%$ ;  $P_p=35\%$   
Lognormal distrib  
 $e^\mu=8\%$ ;  $e^\sigma=246\%$ ;  $P_p=65\%$



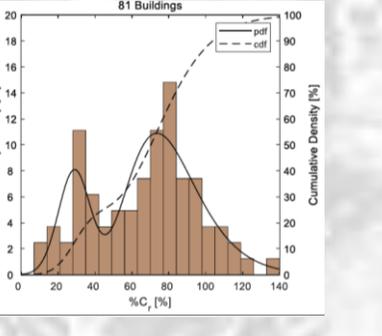
Degenerate distrib.  
 $x=0\%$ ;  $y=4\%$ ;  $P_p=4\%$   
Lognormal distrib  
 $e^\mu=17\%$ ;  $e^\sigma=223\%$ ;  $P_p=96\%$



Lognormal distrib  
 $e^\mu=26\%$ ;  $e^\sigma=186\%$ ;  $P_p=82\%$   
Lognormal distrib  
 $e^\mu=91\%$ ;  $e^\sigma=114\%$ ;  $P_p=18\%$



Lognormal distrib  
 $e^\mu=29\%$ ;  $e^\sigma=161\%$ ;  $P_p=53\%$   
Lognormal distrib  
 $e^\mu=89\%$ ;  $e^\sigma=122\%$ ;  $P_p=47\%$



Normal distrib  
 $\mu=29\%$ ;  $\sigma=9\%$ ;  $P_p=25\%$   
Lognormal distrib  
 $e^\mu=78\%$ ;  $e^\sigma=29\%$ ;  $P_p=75\%$

## ➤ EDILIZIA PRIVATA FUORI DAI CENTRI STORICI

Costi alla scala del componente

EDIFICI IN C.A.

### Classificazione componenti FEMA P-58 (2012):

- 1) Strutture
- 2) Tampon./tramezzat.
- 3) Porte/Finestre
- 4) Impianti
- 5) Altri componenti non strutturali
- 6) Altri costi
- 7) Lavori aree esterne
- 8) Riparazioni per rafforzamento

Analisi condotta su 120 edifici in c.a. rappresentativi dell'intero database di edifici in c.a. danneggiati dal sisma di L'Aquila (distribuzione di costi simile)

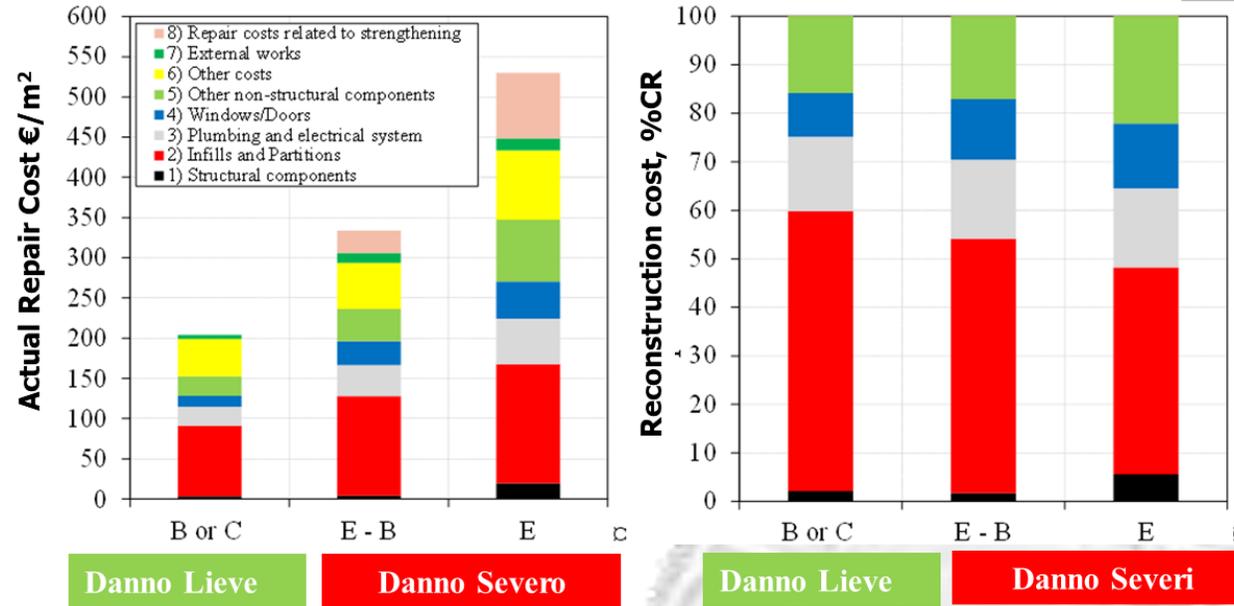


# COSTI DI RICOSTRUZIONE: Riparazione

## ➤ EDILIZIA PRIVATA FUORI DAI CENTRI STORICI

### Costi alla scala del componente

### EDIFICI IN C.A.



- Strutture (2%-6%)\***
- Tamponature/Tramezzature (42%-58%)**
- Impianti (10%-12%)**
- Porte/Finestre (7%-9%)**
- Altre componenti non strutturali (12%-15%)**

\*Edifici demoliti non inclusi; fino a **10%** escludendo dalla analisi gli edifici senza danno strutturale

## ➤ EDILIZIA PRIVATA FUORI DAI CENTRI STORICI

*Utilizzo dati della ricostruzione per analisi di  
perdite e calibrazione di Linee Guida*

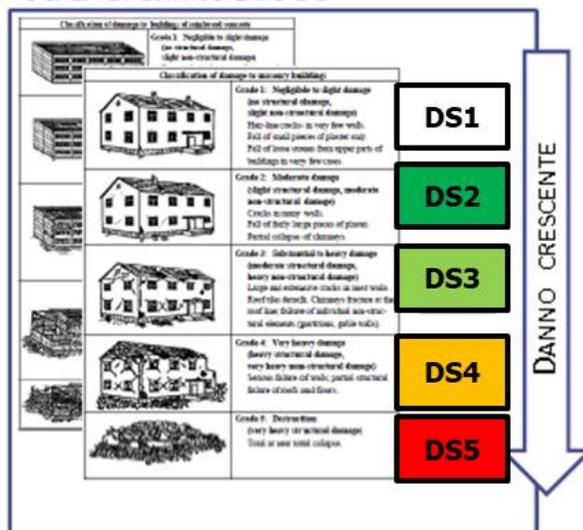




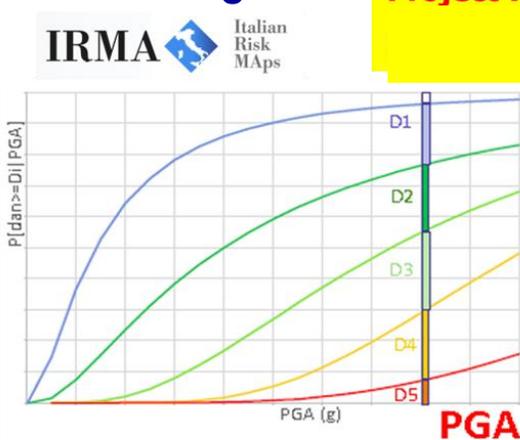
## ➤ EDILIZIA PRIVATA FUORI DAI CENTRI STORICI

Utilizzo dati della ricostruzione per analisi di perdite e calibrazione di Linee Guida

SCALA DI DANNO EMS-98



Curve di fragilità



Project ReLUIS-



DS	CrMin[%]*	CrMax[%]*
DS1	2	5
DS2	10	20
DS3	30	45
DS4	60	80
DS5	100	100

$P[d > DS / PGA]$

%Cr - Reconstruction Cost: 1350€/mq

Definizione di %Cr minimo e massimo (o distribuzione) associati ai diversi livelli di danno

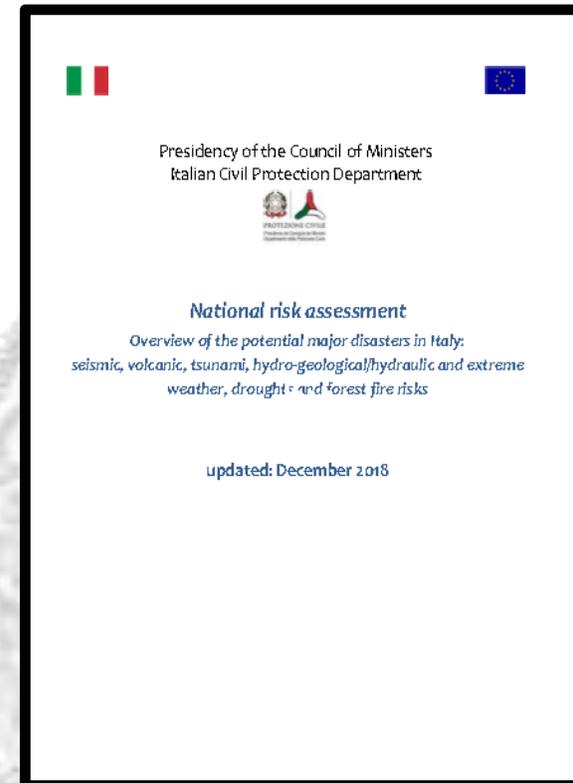
## ➤ EDILIZIA PRIVATA FUORI DAI CENTRI STORICI

*Utilizzo dati della ricostruzione per analisi di perdite e calibrazione di Linee Guida*

...dai dati...



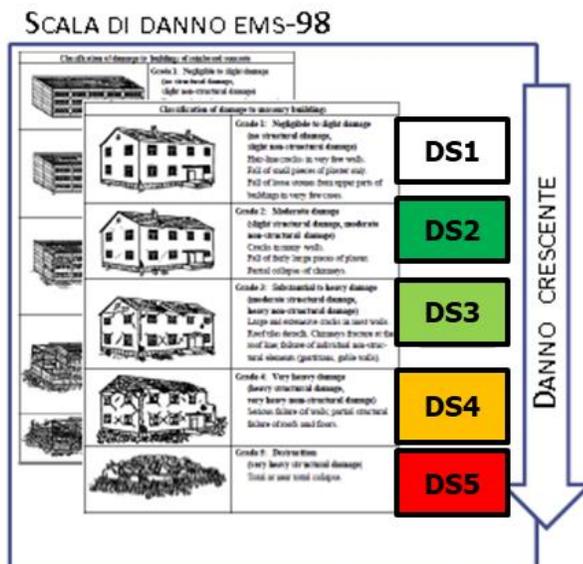
...al National risk assessment,  
DPC 2018



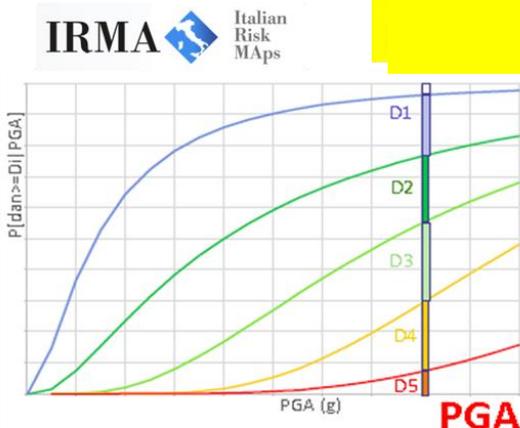
...aggiornamento continuo con i dati delle ricostruzioni

## ➤ EDILIZIA PRIVATA FUORI DAI CENTRI STORICI

Utilizzo dati della ricostruzione per analisi di perdite e calibrazione di Linee Guida



Curve di fragilità



Project ReLUIS- reluis

$P[d > DS / PGA]$

DS	CrMin[%]*	CrMax[%]*
DS1	2	5
DS2	10	20
DS3	30	45
DS4	60	80
DS5	100	100

%Cr - Reconstruction Cost: 1350€/mq

Definizione di %Cr minimo e massimo (o distribuzione) associati ai diversi livelli di danno

...e i costi indiretti?

## ➤ EDILIZIA PRIVATA FUORI DAI CENTRI STORICI

“LIGHT DAMAGE ”  
RECONSTRUCTION

“HEAVY DAMAGE ”  
RECONSTRUCTION

RC  
BUILD.S



Costi Diretti:  
Riparazione

MASONRY  
BUILDINGS



RC  
BUILD.S



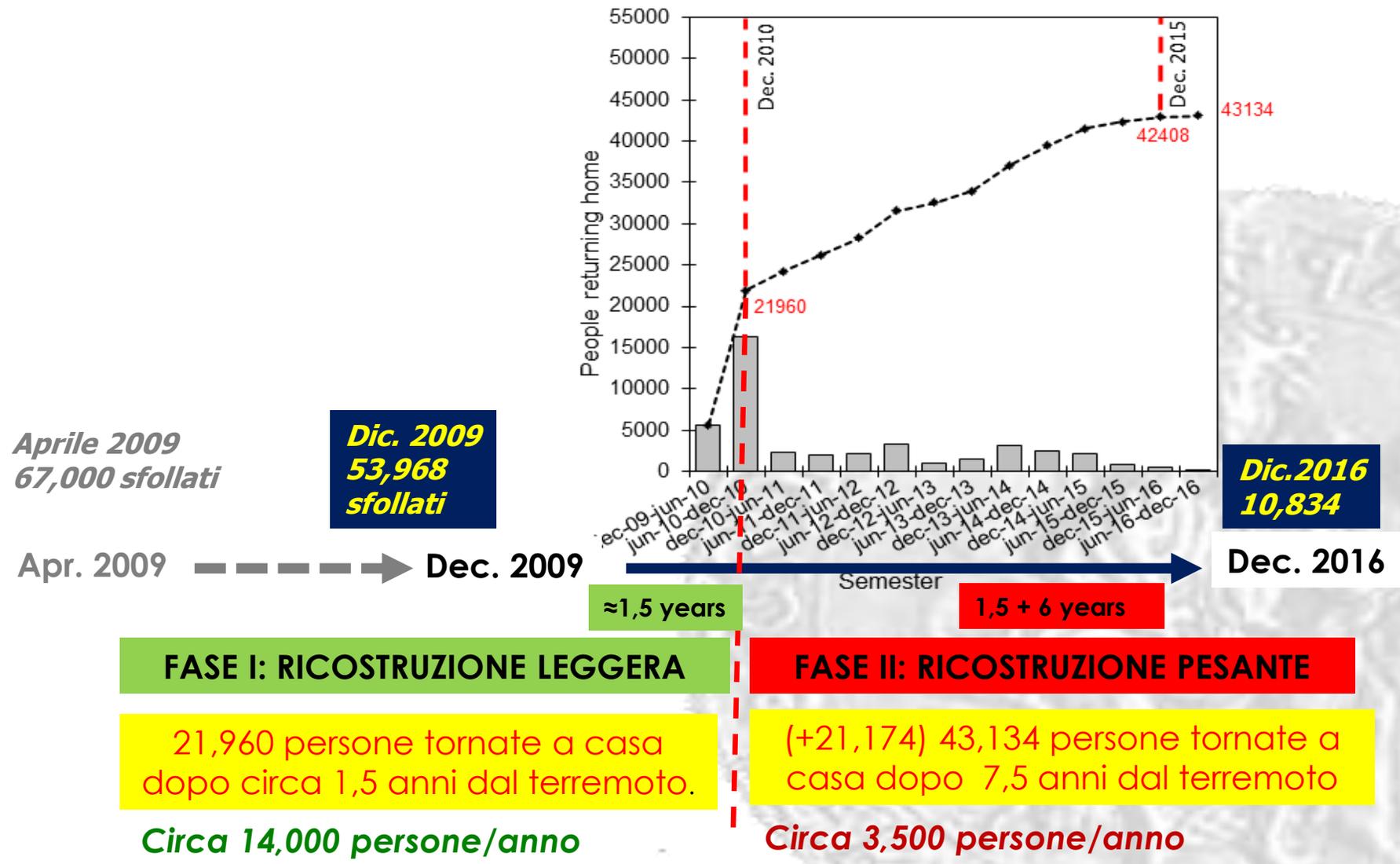
Costi Indiretti:  
Assistenza alla popolazione

MASONRY  
BUILDINGS



# COSTI DI RICOSTRUZIONE: Assistenza

## ➤ EDILIZIA PRIVATA FUORI DAI CENTRI STORICI Assistenza alla popolazione e tempi di rientro nelle abitazioni



Aprile 2009  
67,000 sfollati

**Dic. 2009**  
**53,968**  
**sfollati**

Apr. 2009 —————> Dec. 2009

≈1,5 years

**FASE I: RICOSTRUZIONE LEGGERA**

21,960 persone tornate a casa dopo circa 1,5 anni dal terremoto.

Circa 14,000 persone/anno

1,5 + 6 years

**FASE II: RICOSTRUZIONE PESANTE**

(+21,174) 43,134 persone tornate a casa dopo 7,5 anni dal terremoto

Circa 3,500 persone/anno

**Dic. 2016**  
**10,834**

Dec. 2016

## ➤ EDILIZIA PRIVATA FUORI DAI CENTRI STORICI

*Assistenza alla popolazione e tempi di rientro nelle abitazioni*

### ❑ Tende



### ❑ Hotels



### ❑ c.a.s. contr. autonoma sistemazione



### ❑ a.c.:

appartamenti affitto concordato



### ❑ C.A.S.E. and M.A.P.

C.A.S.E. Complessi Antisismici Sostenibili ed Ecocompatibili,  
M.A.P. Moduli Abitativi Provvisori



**PHASE I: THE "LIGHT DAMAGE" RECONSTRUCTION**

**PHASE II: THE "HEAVY DAMAGE" RECONSTRUCTION**

## ➤ EDILIZIA PRIVATA FUORI DAI CENTRI STORICI

*Assistenza alla popolazione e tempi di rientro nelle abitazioni*

Tende

ASSISTENZA DA APRILE 2009 A  
DICEMBRE 2009

€ 175 MILIONI



Hotels



contr. autonoma  
sistemazione, c.a.s.

ASSISTENZA DA GIUGNO 2009 A  
FEBBRAIO 2015

€ 235 MILIONI

ASSISTENZA DA GIUGNO 2009  
A DICEMBRE 2012

€ 319 MILIONI

COSTO FUNZIONE DEL NUMERO  
DI PERSONE ASSISTITE PER MESE



- **NUMERO DI PERSONE ASSISTITE PER MESE DA APRILE 2009 A MARZO 2018 (PER TIPOLOGIA DI FORMA DI ASSISTENZA)**
- **COSTO TOTALE PER TIPOLOGIA DI FORMA DI ASSISTENZA**

C.A.S.E.



€ 852 MILIONI

M.A.P



€ 116 MILIONI

COSTO INIZIALE PER LA REALIZZAZIONE  
DI EDIFICI E MODULI PROVVISORI...fine  
assistenza previsto: 2024

**Curca 1,7 miliardi di euro**

# COSTI DI RICOSTRUZIONE: Assistenza

## ➤ EDILIZIA PRIVATA FUORI DAI CENTRI STORICI Assistenza alla popolazione e tempi di rientro nelle abitazioni



**ASSISTENZA DA APRILE 2009 A DICEMBRE 2009**  
**€ 175 MILIONI**



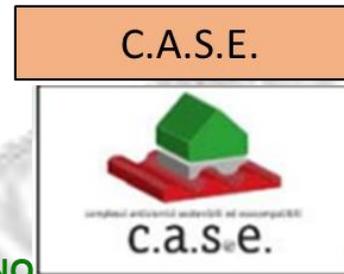
**ASSISTENZA DA GIUGNO 2009 A DICEMBRE 2012**  
**€ 319 MILIONI**

contr. autonoma sistemazione, c.a.s.



**ASSISTENZA DA GIUGNO 2009 A FEBBRAIO 2015**  
**€ 235 MILIONI**

**COSTO INIZIALE PER LA REALIZZAZIONE DI EDIFICI E MODULI PROVVISORI...fine assistenza previsto: 2024**

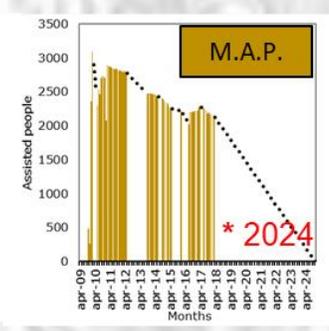
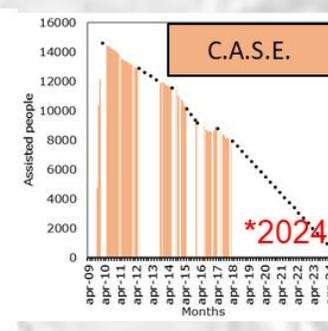
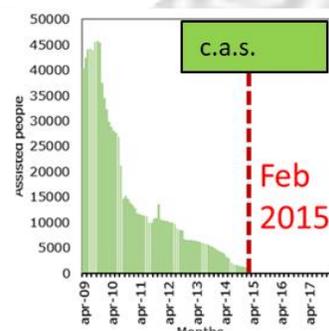
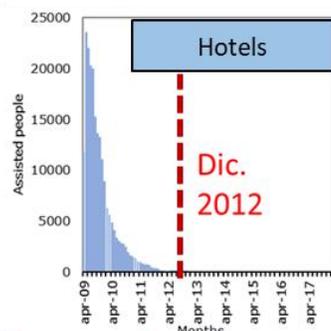
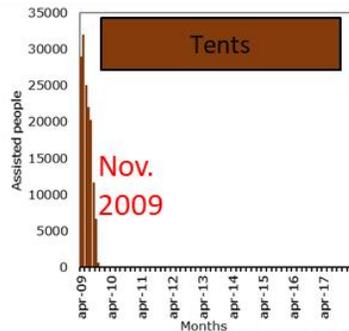


**€ 852 MILIONI**



**€ 116 MILIONI**

**COSTO PER MESE (funzione del numero di assistiti)**

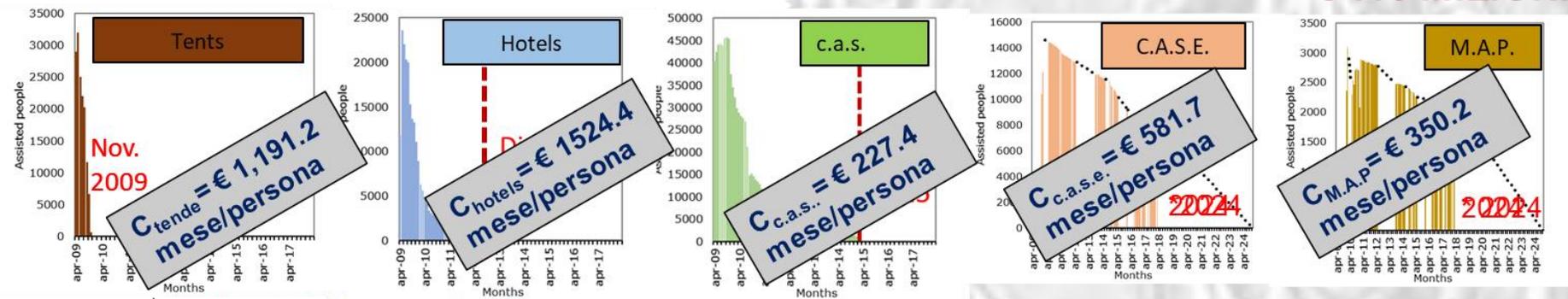


# COSTI DI RICOSTRUZIONE: Assistenza

## ➤ EDILIZIA PRIVATA FUORI DAI CENTRI STORICI Assistenza alla popolazione e tempi di rientro nelle abitazioni

<p><b>Tende</b></p>  <p><b>ASSISTENZA DA APRILE 2009 A DICEMBRE 2009</b> <b>€ 175 MILIONI</b></p>	<p><b>Hotels</b></p>  <p><b>ASSISTENZA DA GIUGNO 2009 A DICEMBRE 2012</b> <b>€ 319 MILIONI</b></p>	<p>contr. autonoma sistemazione, c.a.s.</p>  <p><b>ASSISTENZA DA GIUGNO 2009 A FEBBRAIO 2015</b> <b>€ 235 MILIONI</b></p>	<p><b>C.A.S.E.</b></p>  <p><b>ASSISTENZA DA GIUGNO 2009 A DICEMBRE 2012</b> <b>€ 852 MILIONI</b></p>	<p><b>M.A.P.</b></p>  <p><b>ASSISTENZA DA GIUGNO 2009 A DICEMBRE 2012</b> <b>€ 116 MILIONI</b></p>
--	--	--	---	---

**COSTO PER MESE (funzione del numero di assistiti)**



## ➤ EDILIZIA PRIVATA FUORI DAI CENTRI STORICI

*Assistenza alla popolazione e tempi di rientro nelle abitazioni*

$\%C_a$  = costo **assistenza** (%) normalizzato rispetto al costo di ricostruzione unitario (CU)

**CU** = Costo unitario di ricostruzione a m<sup>2</sup>(**1350 Euro/m<sup>2</sup>**) di un edificio, comprensivo di spese tecniche e IVA)

**%Ca Vs. Stato di Danno (DS)**

**EDIFICI IN C.A.**



**ED. IN MURATURA**

Table 9. Percentage assistance costs with respect to reference unit costs,  $\%C_a$ , as a function of damage states, *DS*.

Reconstruction class	4,329 RC buildings					3,518 masonry buildings				
	DS1	DS2	DS3	DS4	DS5	DS1	DS2	DS3	DS4	DS5
No. of buildings	1,753	608	536	152	16	869	217	216	64	49
$\%C_a$ - 16th percentile	0%	3%	8%	11%	15%	0%	4%	7%	8%	9%
$\%C_a$ - median	0%	10%	20%	25%	38%	0%	11%	16%	19%	18%
$\%C_a$ - 84th percentile	10%	25%	37%	40%	47%	11%	24%	36%	29%	46%
$\%C_a$ mean	4%	14%	23%	27%	35%	5%	14%	21%	22%	23%
$\%C_a$ standard deviation	9%	14%	16%	15%	17%	10%	13%	15%	17%	17%
$\%C_a$ - CoV	206%	95%	71%	55%	51%	206%	93%	74%	78%	75%

## ➤ EDILIZIA PRIVATA FUORI DAI CENTRI STORICI

### Assistenza alla popolazione e tempi di rientro nelle abitazioni

$\%C_r$  = costo **riparazione** (%) normalizzato rispetto al costo di ricostruzione unitario (CU)

$\%C_a$  = costo **assistenza** (%) normalizzato rispetto al costo di ricostruzione unitario (CU)

**CU** = Costo unitario di ricostruzione a m<sup>2</sup> (**1350 Euro/m<sup>2</sup>**) di un edificio, comprensivo di spese tecniche e IIVA)

### $\%C_a$ Vs. Stato di Danno (DS)

#### EDIFICI IN C.A.



#### ED. IN MURATURA

Reconstruction class	DS1	DS2	DS3	DS4	DS5	DS1	DS2	DS3	DS4	DS5
$\%C_r$ - median	3%	14%	34%	59%	81%	4%	17%	33%	52%	72%
$\%C_a$ - median	0%	10%	20%	25%	38%	0%	11%	16%	19%	18%

Sommando ai costi di riparazione i costi di assistenza alla popolazione si raggiungono valori che superano o prossimi al 50% del valore dell'edificio già in DS3

## ➤ EDILIZIA PRIVATA FUORI DAI CENTRI STORICI

- Costi medi normalizzati rispetto alla superficie coperta (€/m<sup>2</sup>)  
B o C – ricostruzione leggera ; E – Ricostruzione pesante

**Table I.** Mean unit costs related to RC and masonry buildings in L'Aquila (Di Ludovico et al., 2017a, 2017b)

Usability class	Type of structure	No. of buildings	Repair cost <sup>a</sup> (€/m <sup>2</sup> )	Strengthening Cost (€/m <sup>2</sup> )	Structural and geotech. tests (€/m <sup>2</sup> )	Energy efficiency upgrade (€/m <sup>2</sup> )	Total grant <sup>b</sup> (€/m <sup>2</sup> )
B or C	RC	<b>1598</b>	<b>183.8</b>	33.9	–	–	217.8
	Masonry	899	216.8	68.3	–	–	285.1
	All	2497	195.7	46.3	–	–	241.9
E-B	RC	<b>200</b>	<b>342.3</b>	139.0	4.0	39.9	525.2
	Masonry	44	268.3	143.7	4.3	34.3	450.6
	All	244	329.0	139.9	4.0	38.9	511.8
E	RC	<b>447</b>	<b>532.9</b>	309.2	7.8	75.8	925.8
	Masonry	313	447.8	320.1	10.2	59.1	837.3
	All	760	497.9	313.7	8.8	68.9	889.3
E <sub>dem</sub>	RC	<b>267</b>	–	–	–	–	1213.4
	Masonry	224	–	–	–	–	1169.9
	All	491	–	–	–	–	1192.0

RC: reinforced concrete.

<sup>a</sup>The repair costs also include repair and finishing works relevant to the strengthening interventions; they do not include VAT; charges for the design and technical assistance of practitioners are included.

<sup>b</sup>The total grant does not include VAT; charges for the design and technical assistance of practitioners are included. The number of RC buildings and the relevant repair cost are in bold.

## ➤ EDILIZIA PRIVATA FUORI DAI CENTRI STORICI

### Interventi di rafforzamento sismico

#### ➤ RICOSTRUZIONE LEGGERA

(Danni leggeri per lo più alle parti non strutturali)

1598 Edifici in cemento armato

899 Edifici in muratura

- Costo medio di riparazione: 196 €/mq (81%)
- Costo medio di rafforzamento sismico: 46 €/mq (19%)



**Costi includono le spese tecniche  
I costi non includono l'I.V.A.**

## ➤ EDILIZIA PRIVATA FUORI DAI CENTRI STORICI

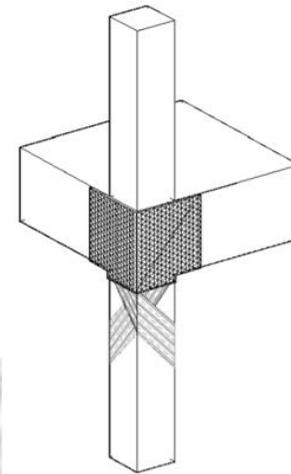
*Interventi di rafforzamento sismico*



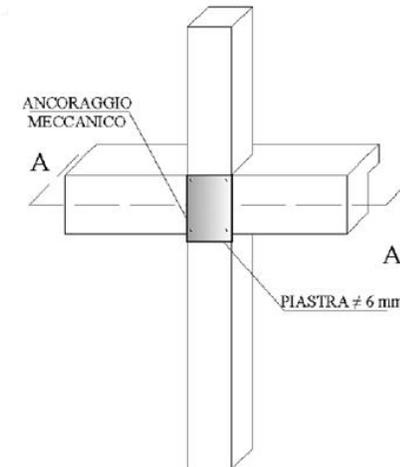
[www.reluis.it](http://www.reluis.it)

### Rinforzo nodi non confinati

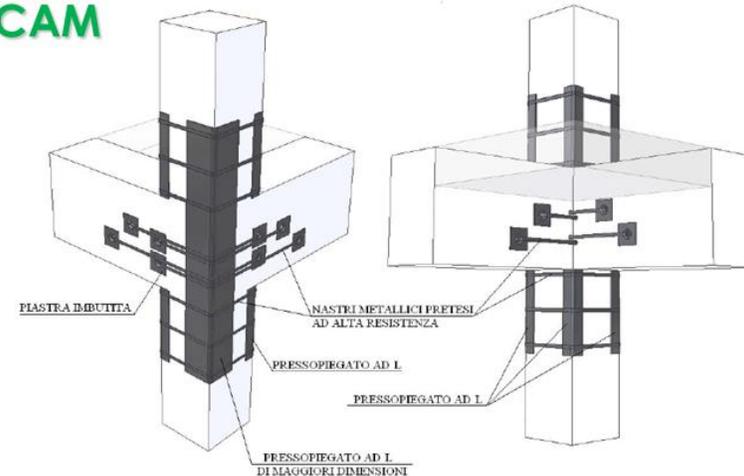
FRP



Acciaio



CAM



## ➤ EDILIZIA PRIVATA FUORI DAI CENTRI STORICI

### Interventi di rafforzamento sismico

#### ➤ RICOSTRUZIONE PESANTE

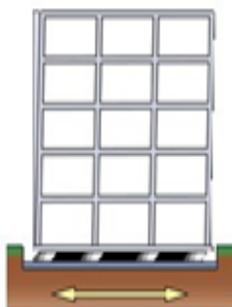
(Danni severi alle part strutturali e non strutturali)

447 Edifici in cemento armato

313 Edifici in muratura

- Costo medio di riparazione: 498 €/mq (56%)
- Costo medio di miglioramento sismico: 314 €/mq (35%)

✓ Forte impulso all'innovazione

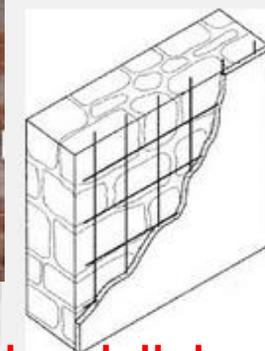


In 59 edifici sono stati adottati gli isolatori

Controventi: 25 edifici  
Controventi dissipativi: 7 edifici



Intonaco armato

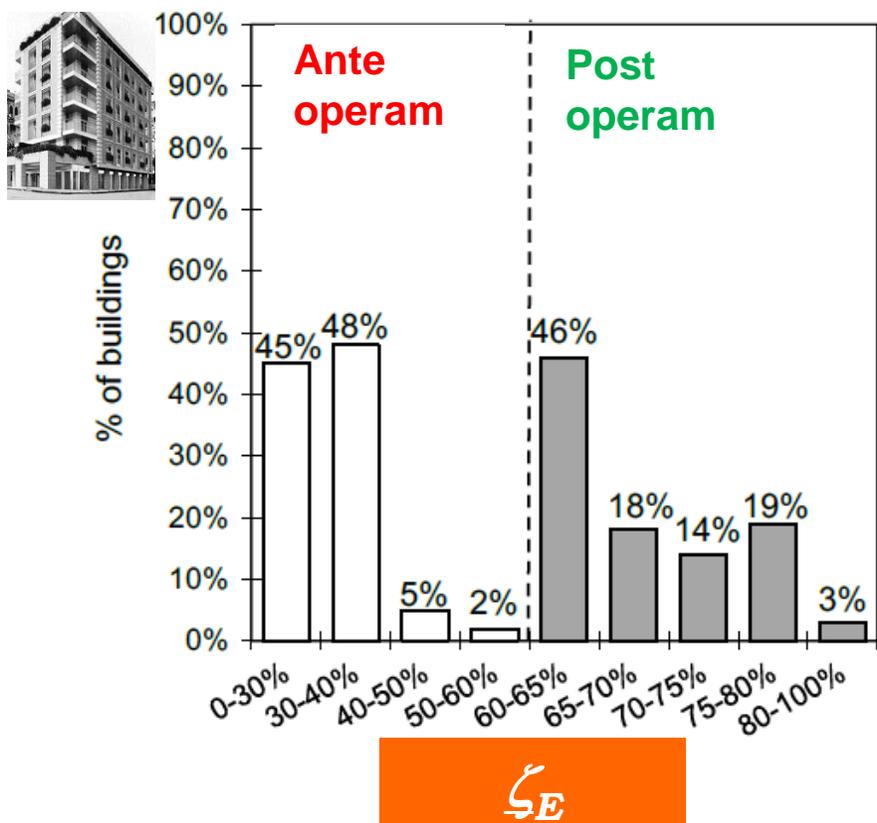


✓ Quasi sempre 2 o più tecniche sono state adottate in maniera combinate

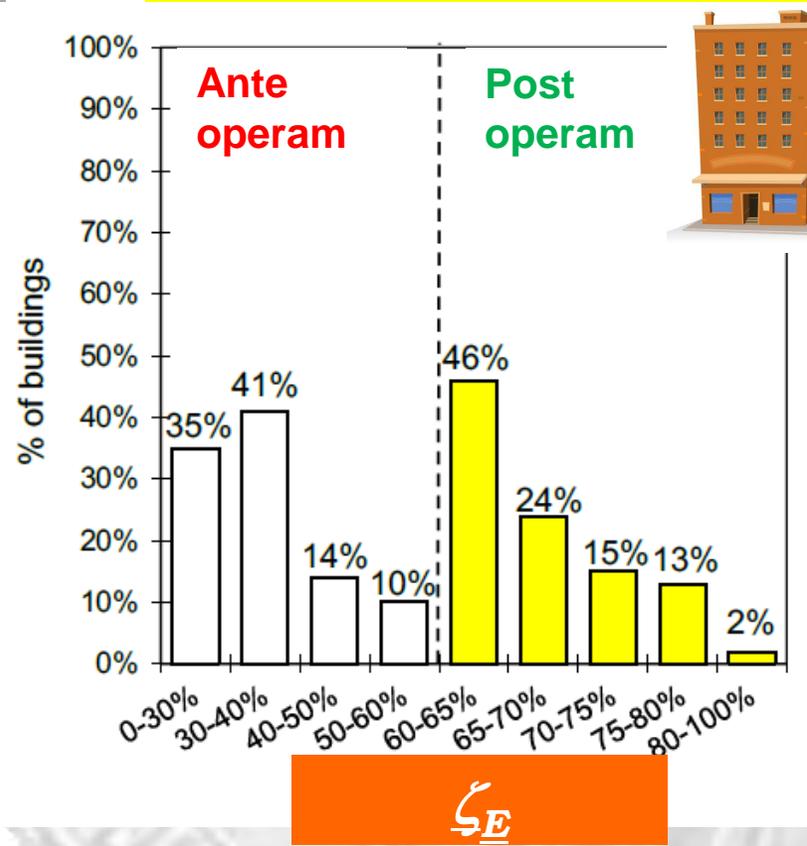
## RICOSTRUZIONE PESANTE

- Indice  $\zeta_E$  ante and post operam (*Edifici esito E*)

### RC Buildings



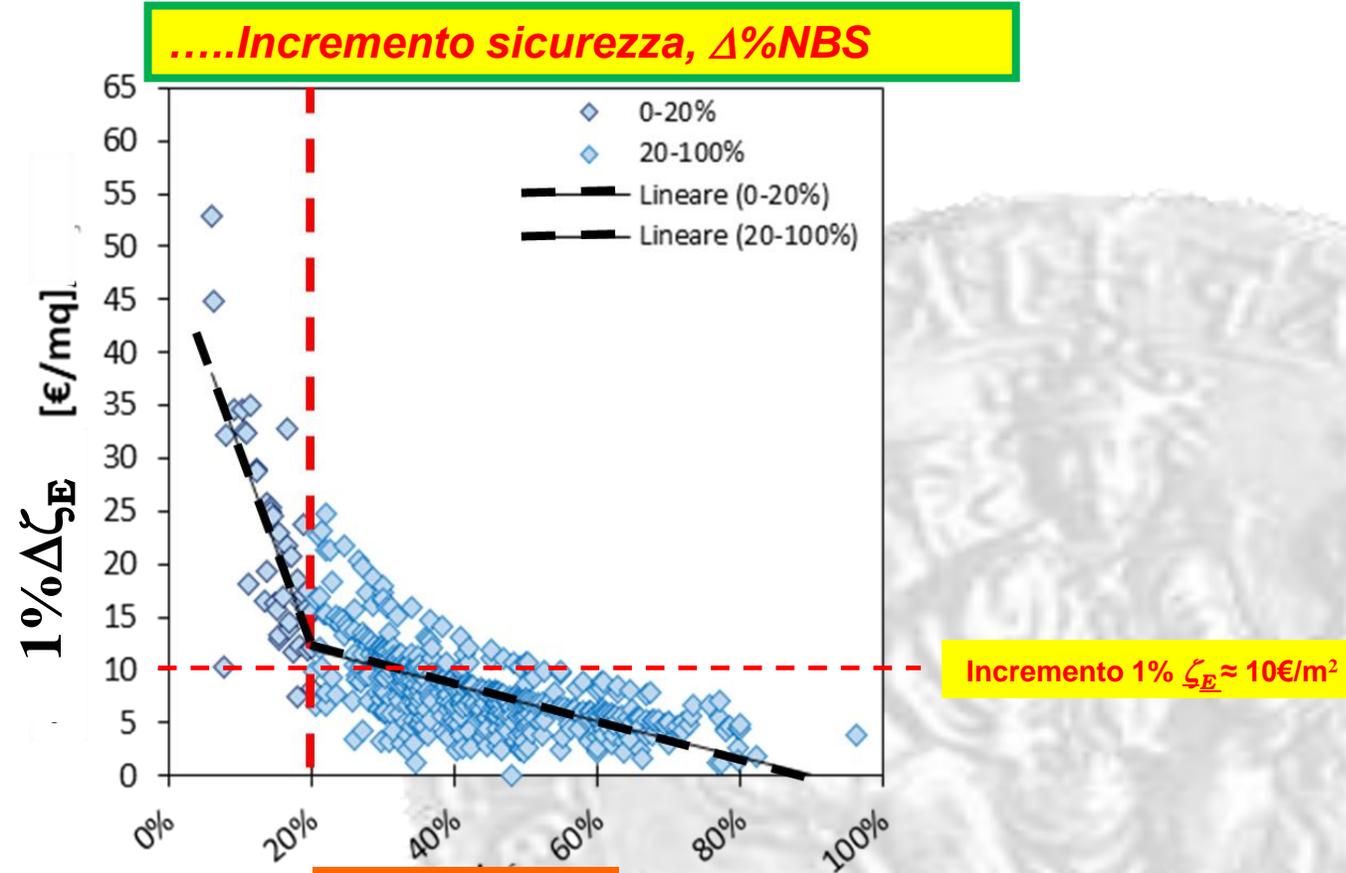
### Masonry Buildings



Incremento 1%  $\zeta_E \approx 10\text{€/m}^2$

## RICOSTRUZIONE PESANTE

- Indice  $\zeta_E$  ante and post operam) (Edifici esito E)



$\Delta\zeta_E \leq 20\%$  → media 22€/mq per 1%  
incremento  $\zeta_E$

$\Delta\zeta_E$

$\Delta\zeta_E > 20\%$  → media 8€/mq per 1%  
incremento  $\zeta_E$

## ➤ EDILIZIA PRIVATA NEI CENTRI STORICI

### Periferia



...dalla Filiera....



...agli uffici speciali

### Centro storico L'Aquila



### Centro storico altri comuni



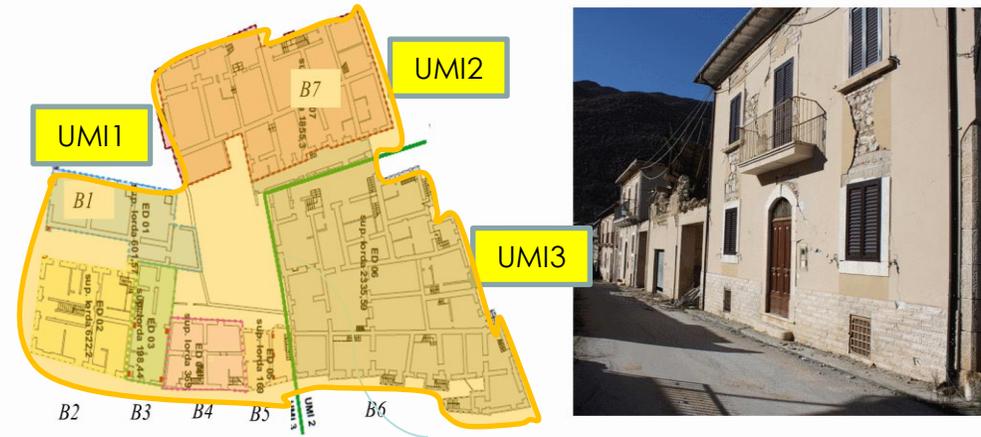
Dal modello analitico...il passaggio al modello parametrico

## ➤ EDILIZIA PRIVATA NEI CENTRI STORICI

❑ **Aggregato Edilizio AE**



❑ **Unità Minima di Intervento UMI**



❑ **Edificio ED**

Gli edifici dei centri storici, sono raggruppati in modo da formare complessi edilizi, definiti "Aggregati Edilizi" (AE), questi sono costituiti da Unità Minime d'Intervento (UMI), che a loro volta sono costituite da più edifici (ED).

**Necessità di adottare un modello diverso più idoneo alle complessità del costruito in aggregato**

## ➤ EDILIZIA PRIVATA NEI CENTRI STORICI

### EMILIA ROMAGNA 2012

Legge 122/2012

### CENTRO ITALIA 2016

D.L. 189/2016 convertito con  
modificazioni dalla Legge 229/2016

### ISCHIA 2017

D.L. 109/2018 convertito con  
modificazioni dalla Legge 130/2018

## CONTRIBUTO RILASCIATO

Funzione di analisi livello operativo – costo parametrico

TABELLA 5- LIVELLI OPERATIVI				
Vulnerabilità	Stato di danno 1	Stato di danno 2	Stato di danno 3	Stato di danno 4
BASSA	L0	L1	L2	L4
SIGNIFICATIVA	L0	L1	L3	L4
ALTA	L0	L2	L3	L4

## LIVELLO OPERATIVO

Vulnerabilità



Danno



## TABELLA 6 - COSTI PARAMETRICI

Costi parametrici riferiti ai livelli operativi della Tabella 5

Costo parametrico	L0	L1	L2	L3	L4
Fino a 130 mq	400	850	1100	1250	1450
Da a 130 a 220 mq	330	750	900	1100	1250
Oltre 220 mq	300	650	800	950	1100

## ➤ EDILIZIA PRIVATA FUORI DAI CENTRI STORICI



d/

A cura di  
Marco Di Ludovico  
Mauro Dolce  
Andrea Prota



### INTRODUZIONE

CAPITOLO 1: Le procedure per la ricostruzione dell'edilizia privata nel post- sisma del 2009

CAPITOLO 2: Il processo di ricostruzione dei centri storici

CAPITOLO 3: Caratteristiche del costruito dei centri storici

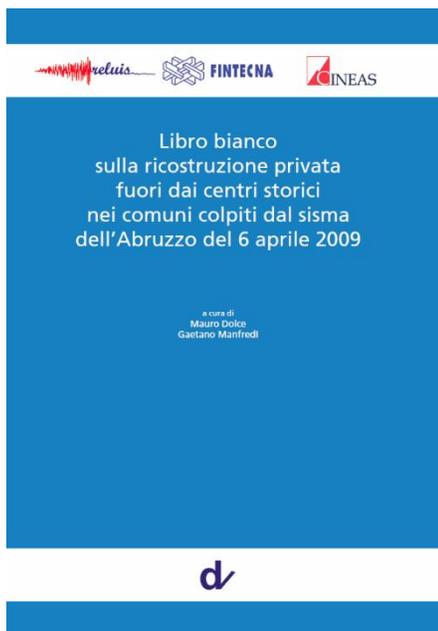
CAPITOLO 4: Il danno rilevato nel costruito dei centri storici

CAPITOLO 5: Interventi di riparazione, rafforzamento sismico

CAPITOLO 6: Analisi dei costi

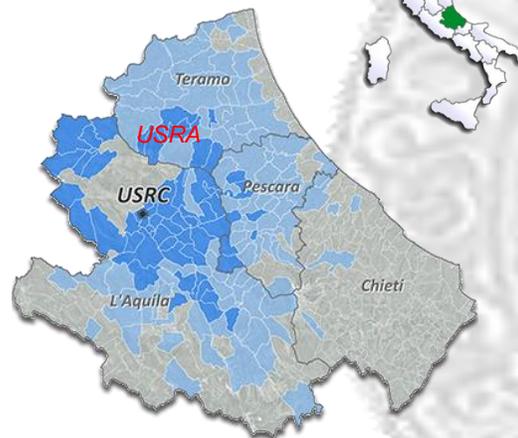
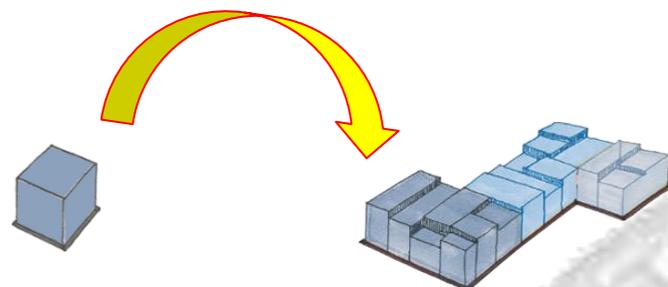
CAPITOLO 7: Analisi comparativa costi di ricostruzione fuori e dentro i centri storici

## ➤ EDILIZIA PRIVATA FUORI DAI CENTRI STORICI



**FCS - Fuori Centro Storico**

**5,775 edifici**  
**€ 2,6 MLD**



**CS - Centri Storici**

**6,198 edifici**  
**1,595 UMI**  
**1,410 Aggregati**  
**€ 3 MLD**



**...il passaggio al modello parametrico**

## ➤ EDILIZIA PRIVATA FUORI DAI CENTRI STORICI

*Un costruito caratterizzato da un patrimonio di edifici più articolato*

➤ EDIFICI CON VINCOLO DIRETTO  
(D.lgs n.42/2002)



10% L'Aquila  
1% Comuni del cratere

➤ EDIFICI CON ATTESTAZIONE DI INTERESSE PAESAGGISTICO



Fronte dell'edificio su Via Sinizzo

Ortofoto

21% L'Aquila  
0% Comuni del cratere

➤ EDIFICI CON CARATTERISTICHE DI PREGIO STORICO-ARTISTICO



46% L'Aquila  
89% Comuni del cratere

➤ EDIFICI ORDINARI



23% L'Aquila  
10% Comuni del cratere

2,257 edifici L'Aquila  
3,941 edifici Comuni minori

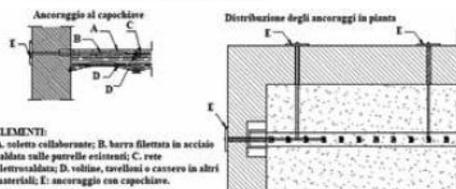
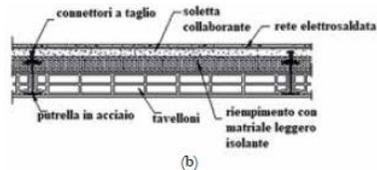
## ➤ EDILIZIA PRIVATA FUORI DAI CENTRI STORICI

Un costruito caratterizzato da un patrimonio di edifici più articolato

➤ Interventi più eseguiti nelle UMI soggette a miglioramento sismico.



Consolidamento SO

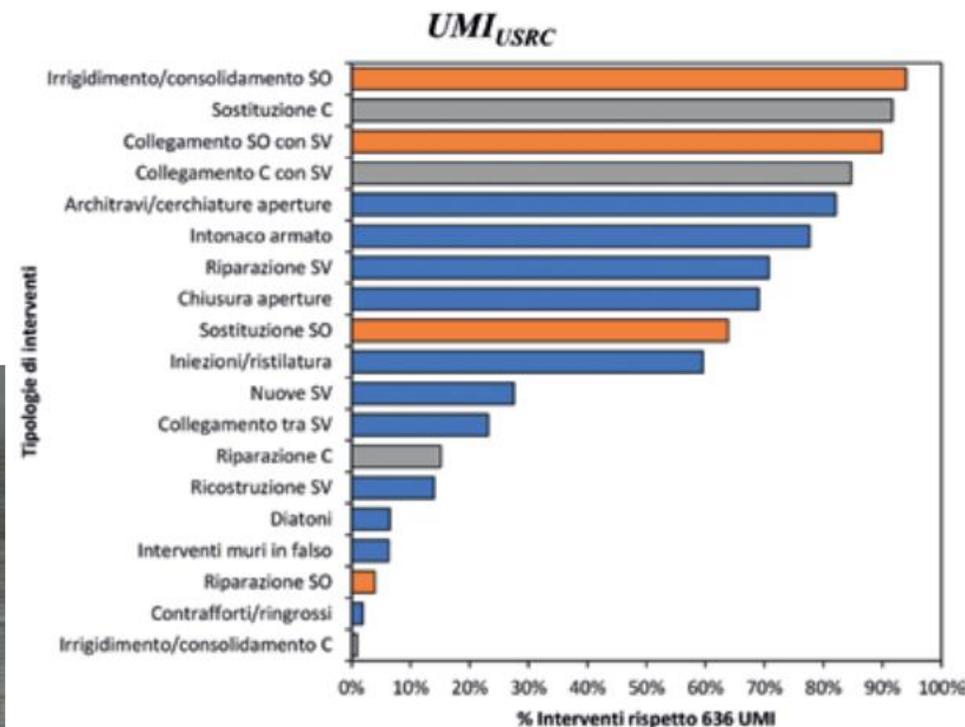


ELEMENTI  
A: soletta collaborante; B: barra filettata in acciaio saldata sulle perille esistenti; C: rete elettrosaldata; D: voltine, tavelloni o casse in altri materiali; E: ancoraggio con capochine.



COLLEGAMENTO SO vs SV

CONSOLIDAMENTO SV



Strutture Verticali

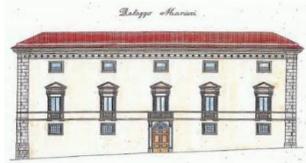
Strutture Orizzontali

Coperture

## ➤ EDILIZIA PRIVATA FUORI DAI CENTRI STORICI

*Un costruito caratterizzato da un patrimonio di edifici più articolato*

IL COSTO DI INTERVENTO VARIA IN FUNZIONI DELLE PECULIARITA' DEGLI EDIFICI DEI CENTRI STORICI



**EDIFICI CON VINCOLO DIRETTO (D.lgs n.42/2002)**

**+90% / +126%**

**EDIFICI CON ATTESTAZIONE DI INTERESSE PAESAGGISTICO**

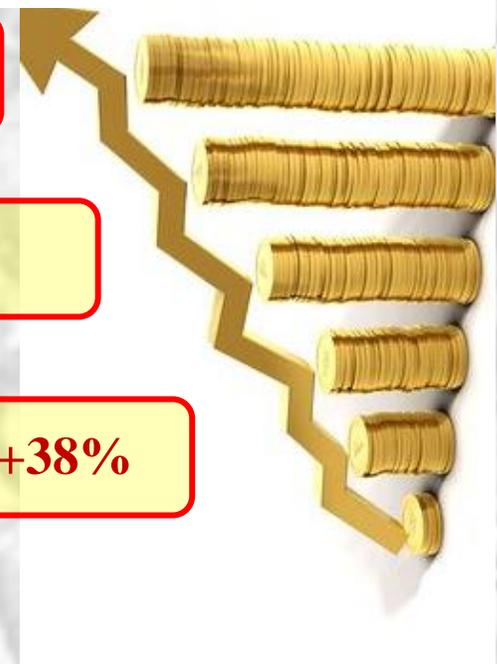
**89%**

**EDIFICI CON CARATTERISTICHE DI PREGIO STORICO-ARTISTICO**

**+37% / +38%**

**EDIFICI NON DI PREGIO**

<b>Fuori Centro Storico</b>	<b>Centri storici L'Aquila</b>	<b>Comuni del cratere</b>
<b>Euro 767€/mq</b>	<b>Euro 776€/mq</b>	<b>Euro 836€/mq</b>



## ➤ EDILIZIA PRIVATA FUORI DAI CENTRI STORICI

*Un costruito caratterizzato da un patrimonio di edifici più articolato*

%Cr Vs. Stato di Danno (DS)

**ED. IN MURATURA**

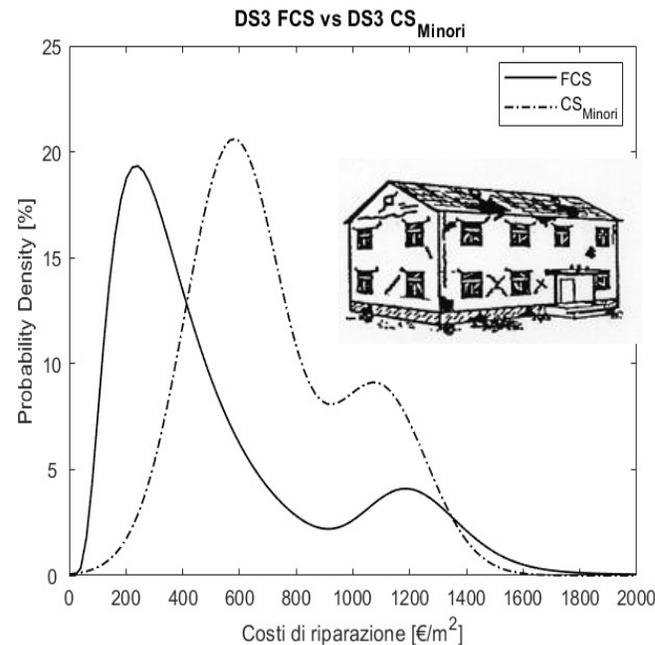


**DS3**

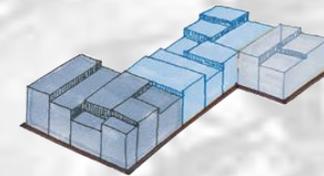
**292 edifici FCS**



**Costi di riparazione**



**87 edifici CS<sub>minori</sub>**



**FCS<sub>DS3</sub>**

**CS<sub>minori</sub><sub>DS3</sub>**

**554,54 €/m²**

**708,16€/m²**

**+27% di cui 11%  
elementi di pregio**

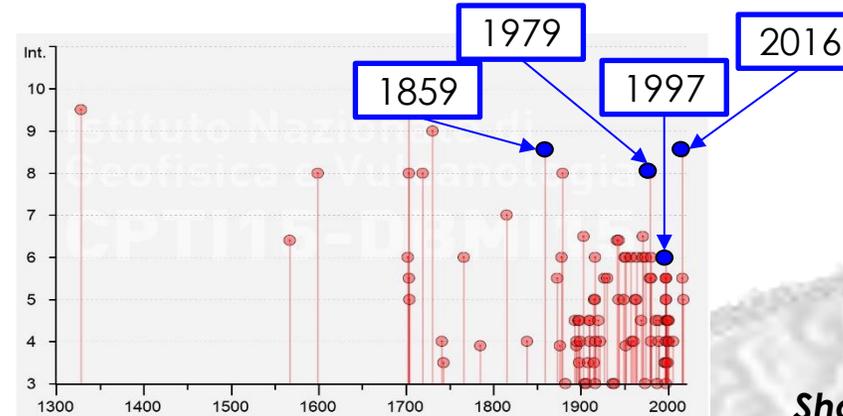
## ➤ INTERVENTI DI MITIGAZIONE

**E' POSSIBILE PROVARE L'EFFICACIA DEGLI  
INTERVENTI DI MITIGAZIONE DEL RISCHIO SISMICO**

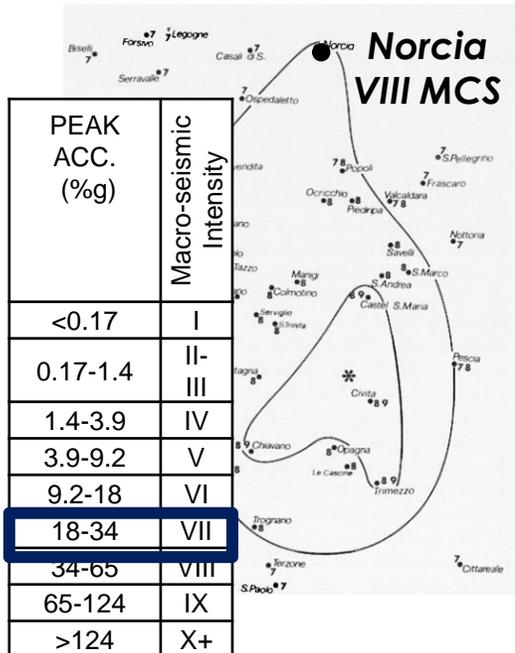


## ➤ IL TERREMOTO DEL CENTRO ITALIA 2016: IL CASO NORCIA

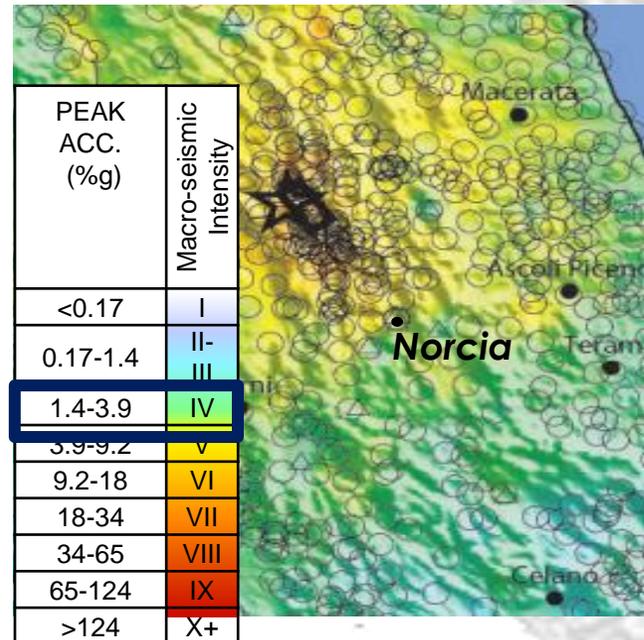
La storia sismica di **Norcia** è contraddistinta dal ripetersi di eventi di grande intensità.



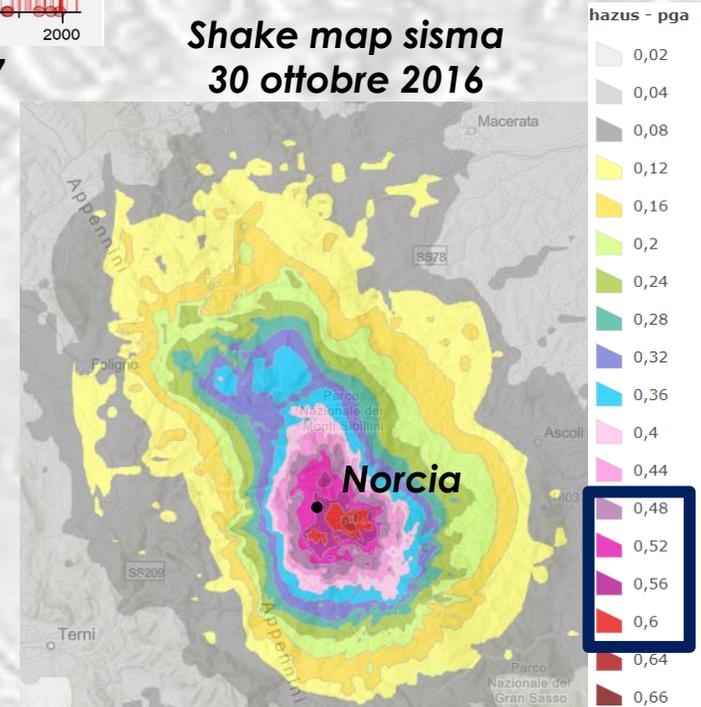
Mappa isosisma  
19 settembre 1979



Shake map sisma 26 settembre 1997



Shake map sisma  
30 ottobre 2016

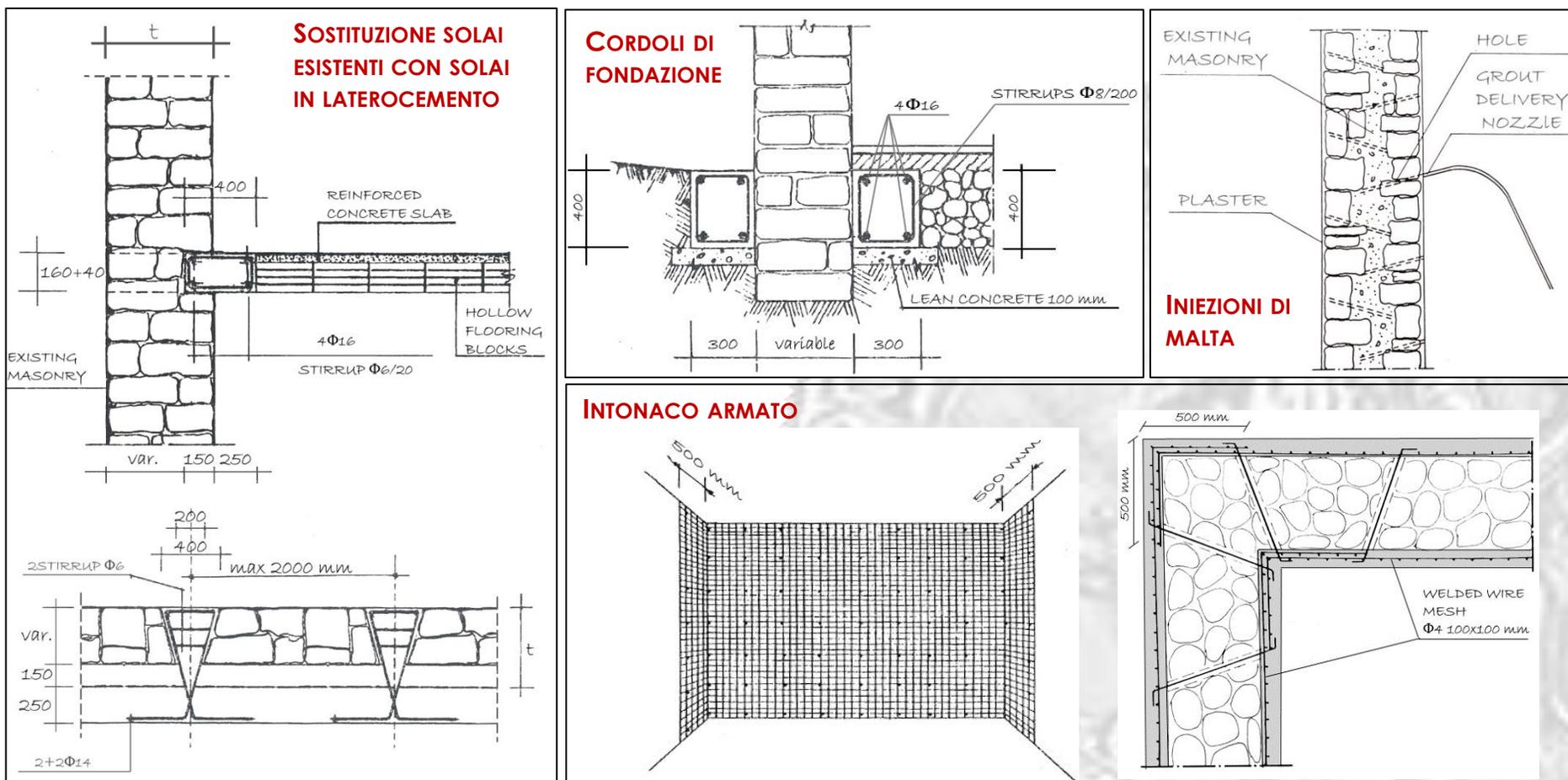


## ➤ IL TERREMOTO DEL CENTRO ITALIA 2016: IL CASO NORCIA

«**Direttive Tecniche** ed esemplificazioni delle metodologie di interventi per la riparazione ed il consolidamento degli edifici danneggiati da eventi sismici (Art. 38 L.R: **01/07/81** n.34)»

Contenevano una **raccolta di interventi di consolidamento dei vari elementi strutturali.**

Interventi maggiormente adottati



## ➤ IL TERREMOTO DEL CENTRO ITALIA 2016: IL CASO NORCIA

### Analisi dei contributi erogati per il centro storico di Norcia

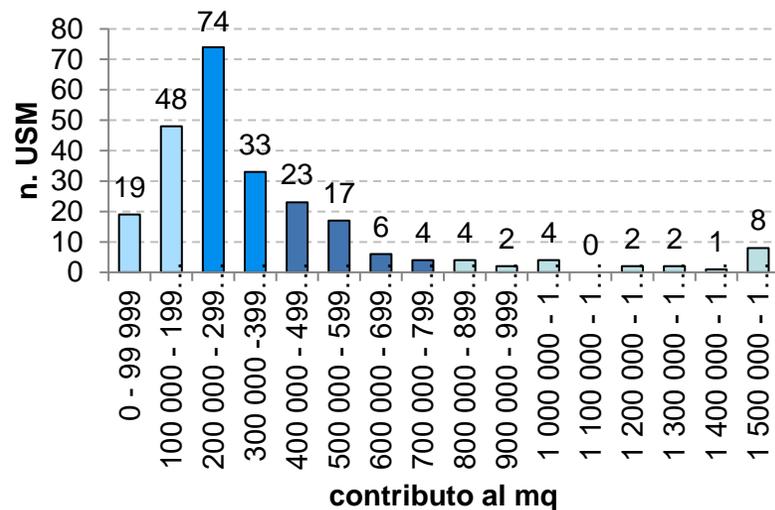
189 contributi erogati

Post Terremoto del 1979

I contributi (espressi in lire) comprendono sia la quota riguardante le opere strutturali che quella riguardante le opere di finitura.



Distribuzione in funzione del valore del contributo erogato a metro quadro



189 contributi erogati  
Circa 36 Miliardi di £  
Contributo medio circa 200 milioni di £

valore medio  
**389 635 £/mq**

Il contributo medio di **389 635 £/mq**,  
attualizzato al 2018 risulta pari a **397,4 €/mq**.

## ➤ IL TERREMOTO DEL CENTRO ITALIA 2016: IL CASO NORCIA

### Effetto degli interventi

#### Terremoto del 22 agosto 1859

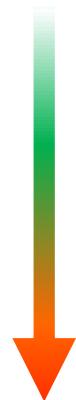
Regolamento edilizio di Norcia del 1860

#### Terremoto del 19 settembre 1979

Legge regionale n. 34 del 1 luglio 1981

Direttive Tecniche emanate con D.G.R. n. 290 del 29 giugno 1981

- Influenza della presenza di un intervento di rinforzo e sull'indice di danno.



Edifici a livello di danno crescente

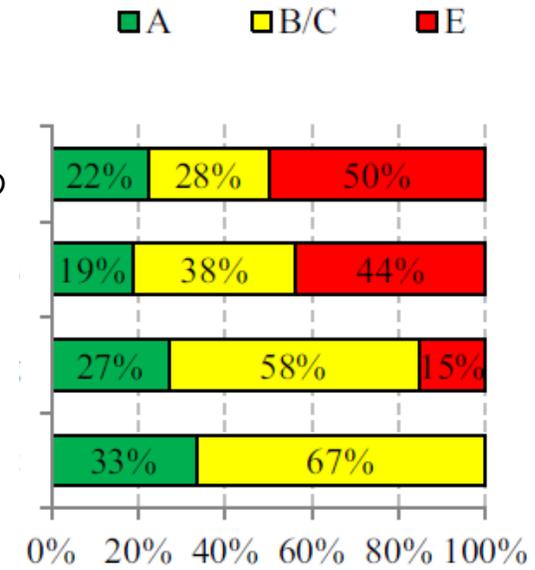
- Agibile (A)
- Temporaneamente inagibile ma agibile con provvedimenti di pronto intervento (B/C)
- Inagibile (E)

*Parzialmente rinforzato*

*Rinforzato: iniezioni*

*Rinforzato: iniezioni e intonaco armato*

*Ricostruito*



## ➤ IL TERREMOTO DEL CENTRO ITALIA 2016: IL CASO NORCIA

### Effetto degli interventi



**SI** Contributi 1979/1997 **NO** Danno 2016

**SI** Contributi 1997/1999 **SI** Danno 2016

**NO** Contributi 1979/1997 **SI** Danno 2016

Database	Numero di US	Contributi 1979/1997	AeDES 2016	Contributi 2016
<b>DB_79</b>	73	si	si	no*
<b>DB_79_2016</b>	129	si	si	si
<b>DB_2016</b>	99	no	si	si

\* Non presentano pratiche al 06/02/2024

## ➤ IL TERREMOTO DEL CENTRO ITALIA 2016: IL CASO NORCIA

### CENTRO ITALIA 2016 AMATRICE 24 Agosto



Mw6.0 – 6,2

**EVITARE...SI  
PUO'...SI DEVE**

### CENTRO ITALIA 2016 NORCIA 30 Ottobre



Mw6.5



#### STRUCTURAL BUILDING ENGINEERING + STRUCTURAL DES

#### COMPORTAMENTO STRUTTURALE DEGLI EDIFICI ORDINARI DEL CENTRO STORICO DI NORCIA NELLA SEQUENZA SISMICA DEL 2016

Antonio Borri, Romina Sisti  
Università degli Studi di Perugia, Dipartimento di Ingegneria  
[antonio.borri@unipg.it](mailto:antonio.borri@unipg.it)  
[romina.sisti@unipg.it](mailto:romina.sisti@unipg.it)

Andrea Prota, Marco Di Ludovico  
Università degli Studi di Napoli - Federico II, Dipartimento di Strutture per l'Ingegneria e l'Architettura  
[aprote@unina.it](mailto:aprote@unina.it)  
[mdiludo@unina.it](mailto:mdiludo@unina.it)

Sandro Costantini, Marco Barlazzi, Alessandro De Maria, Elisabetta Aisa, Alessio Bragetti, Francesco Savi, Gianluca Fagotti, Luciano Baldi  
Regione Umbria - Servizio rischio sismico  
[ademaria@regione.umbria.it](mailto:ademaria@regione.umbria.it)



## Pubblicazioni

### **Criteri e soluzioni per la progettazione di interventi integrati e sostenibili – Rafforzamento sismico ed efficienza energetica degli edifici esistenti**

Andrea Prota, Francesca da Porto, Mauro Dolce (a cura di)  
ReLUIS, Dipartimento della Protezione Civile

### **Criteria and solutions for the design of integrated and sustainable interventions - Seismic strengthening and energy efficiency of existing buildings (in Italian)**

Andrea Prota, Francesca da Porto, Mauro Dolce (Editors)  
ReLUIS, Civil Protection Dept.

Luglio 2024

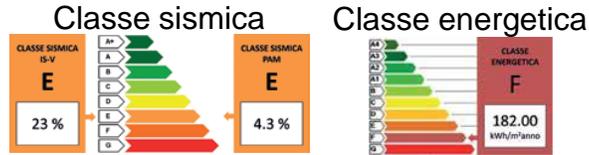
Scaricabile gratuitamente da [www.reluis.it](http://www.reluis.it)  
<https://www.reluis.it/divulgazione/pubblicazioni/>

***Singoli Report casi applicativi [www.reluis.it](http://www.reluis.it)***  
<https://www.reluis.it/progetto-dpc-reluis-2022-2024/#report>



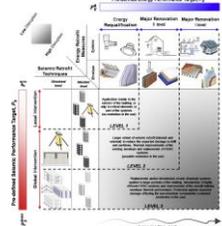


## Interventi locali nodi, pilastri e rinforzo tamponature



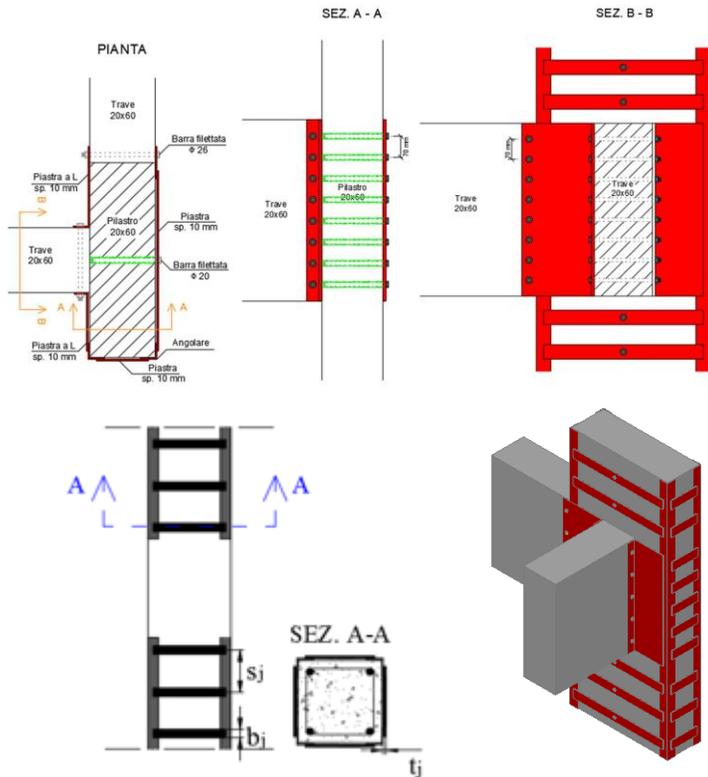
Epoca costruttiva: 1960-1970,  
2 piani, 1470 m<sup>2</sup>

### Interventi incrementali



Caso Studio 1: Edificio scolastico in Provincia di Teramo

### Sismico: Interventi locali con placcaggi metallici



### Energetico: isolamento copertura, sostituzione infissi, valvole termostatiche + insuflaggio intercapedini



INTERVENTO 3

+

+



+4 classi energetiche



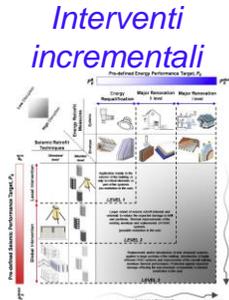
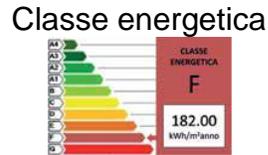
Tempi: 7 mesi

Costi: 500 €/m<sup>2</sup>

# Risultati raggiunti: applicazioni ai casi studio



## Interventi globali con controventi



Epoca costruttiva: 1960-1970, 2 piani, 1470 m<sup>2</sup>

Epoca costruttiva: 1950-1960, 3 piani, 1200 m<sup>2</sup>



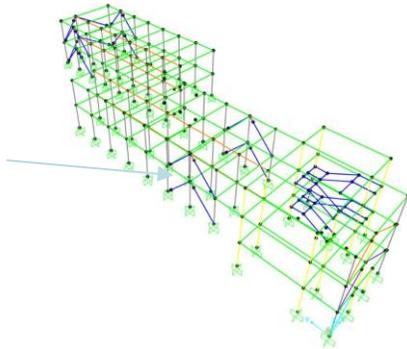
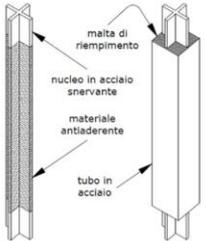
Caso Studio 1: Edificio scolastico in Provincia di Teramo

Caso Studio 2: Edificio scolastico in Provincia di Macerata

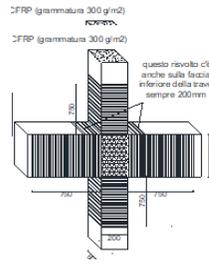
*Sismico: Interventi globali con controventi, rinforzi a taglio FRP, + ringrosso fondazioni e micropali fondazioni*

*Energetico: cappotto termico, sostituzione serramenti, isolamento copertura, sostituzione impianti, energie rinnovabili*

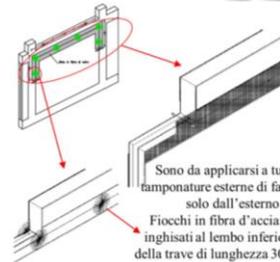
Controvento ad instabilità impedita



+

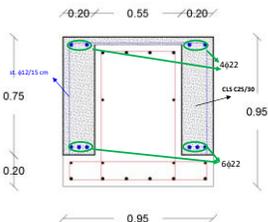


+



Sono da applicarsi a tutte le tamponature esterne di facciata e solo dall'esterno  
Fiochetti in fibra d'acciaio inghisati al lembo inferiore della trave di lunghezza 30 cm

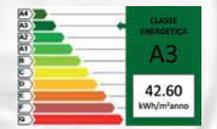
+



+4 classi sismiche



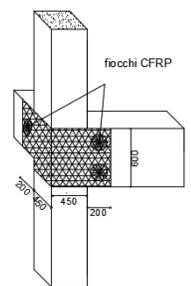
+8 classi energetiche



Controventi con shear link



+



+

Tempi: 6-8 mesi

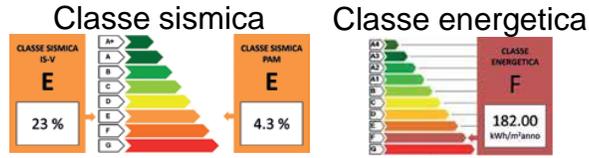
Costi: 600- 700 €/m<sup>2</sup>

INTERVENTO 4

# Risultati raggiunti: applicazioni ai casi studio

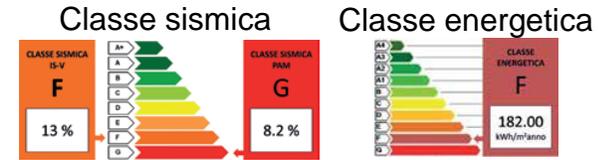
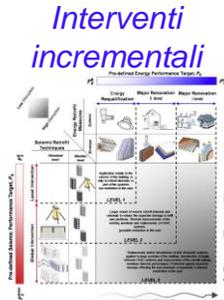


## Interventi globali con esoscheletri acciaio o misti acciaio c.a.



Epoca costruttiva: 1960-1970,  
2 piani, 1470 m<sup>2</sup>

Caso Studio 1: Edificio scolastico in Provincia di Teramo



Epoca costruttiva: 1950-1960,  
3 piani, 1200 m<sup>2</sup>

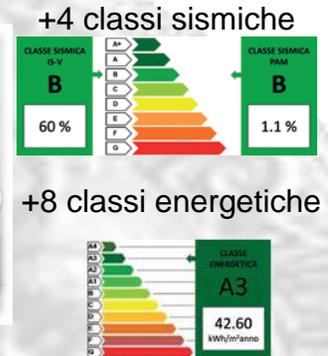
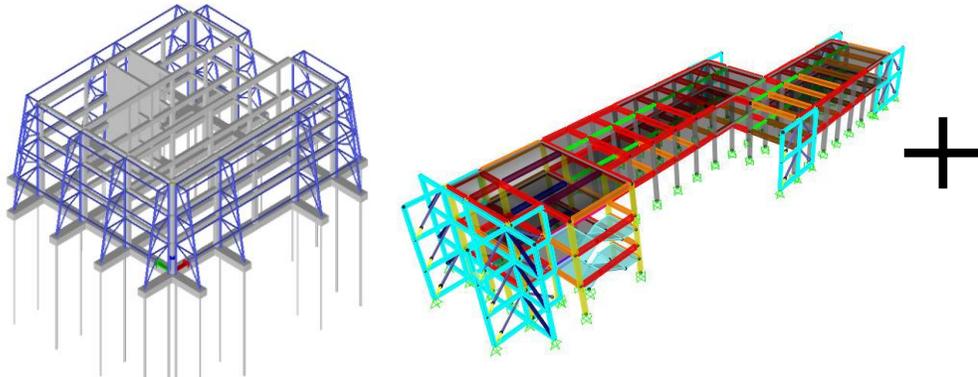
Caso Studio 2: Edificio scolastico in Provincia di Macerata



### Sismico: Esoscheletri esterni in acciaio

### Energetico: isolamento copertura, sostituzione infissi, valvole termostatiche

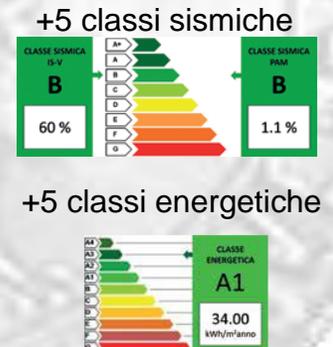
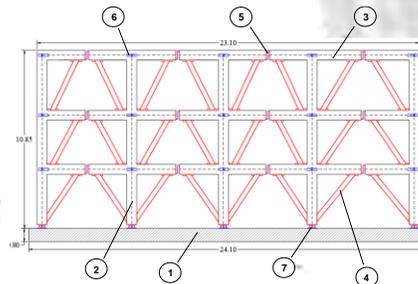
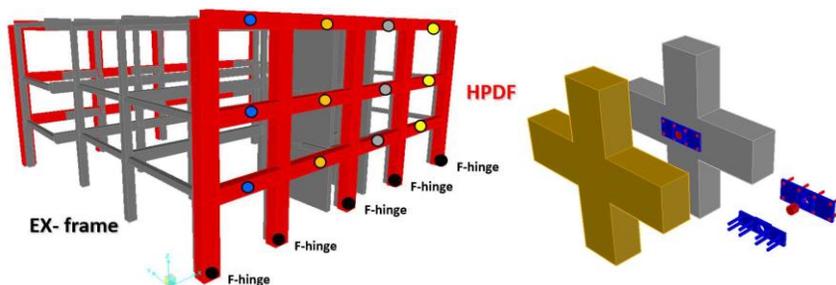
INTERVENTO 5



### Sismico: esoscheletro esterno misto c.a. e acciaio

### Energetico: cappotto termico, sostituzione serramenti, isolamento copertura, sostituzione impianti, energie rinnovabili

INTERVENTO 6



# ***Grazie per l'attenzione***

---



**RE**te dei **L**aboratori **U**niversitari di **I**ngegneria  
**S**ismica



**Marco Di Ludovico**

*University of Naples Federico II*

*Department of Structures for Engineering and Architecture*

*Email: [diludovi@unina.it](mailto:diludovi@unina.it)*





Rete dei Laboratori Universitari  
di Ingegneria Sismica e Strutturale



6/13  
OTTOBRE  
2024

#settimanadiPC

# SCUOLA DI INGEGNERIA STRUTTURALE – RELUIS

Bologna, 9-11 ottobre 2024

**Ricostruzione e prevenzione sismica: interventi e costi dopo i recenti eventi sismici in Italia – confronto con i costi degli interventi integrati**

**Prof. Marco Di Ludovico, Prof. Andrea Prota**