

WEBINAR N.3 (3 CFP)
venerdì 23.02.2024 – ore 15.30
Stato dell'arte e prospettive sulla prevenzione sismica

Ricostruzione, prevenzione sismica e costi dopo il sisma aquilano del 2009

Prof. MARCO DI LUDOVICO

University of Naples Federico II

Associate Professor

Department of Structures for Engineering and Architecture

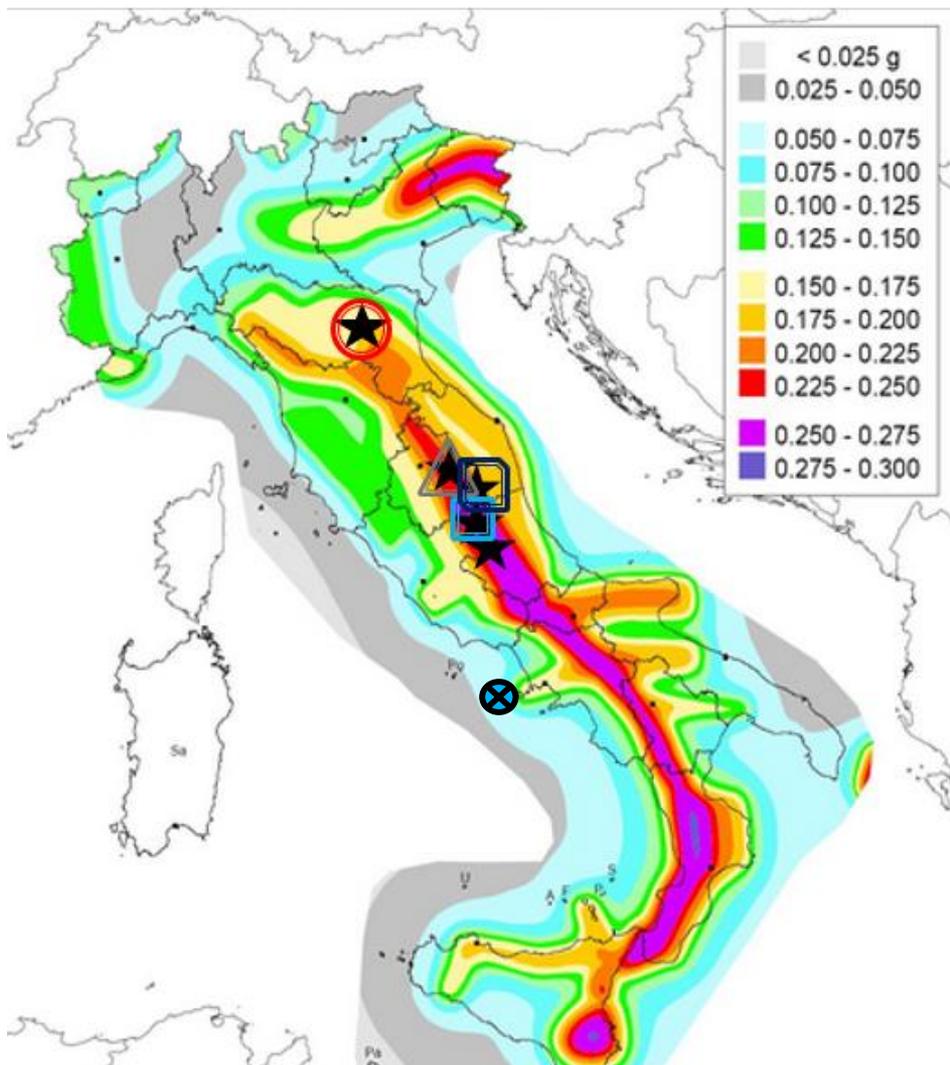
Email: diludovi@unina.it



Webinar
Venerdì 23 Febbraio 2024

INTRODUZIONE

➤ 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)

INTRODUZIONE

➤ EVENTI SISMICI RECENTI E PROCESSI DI RICOSTRUZIONE

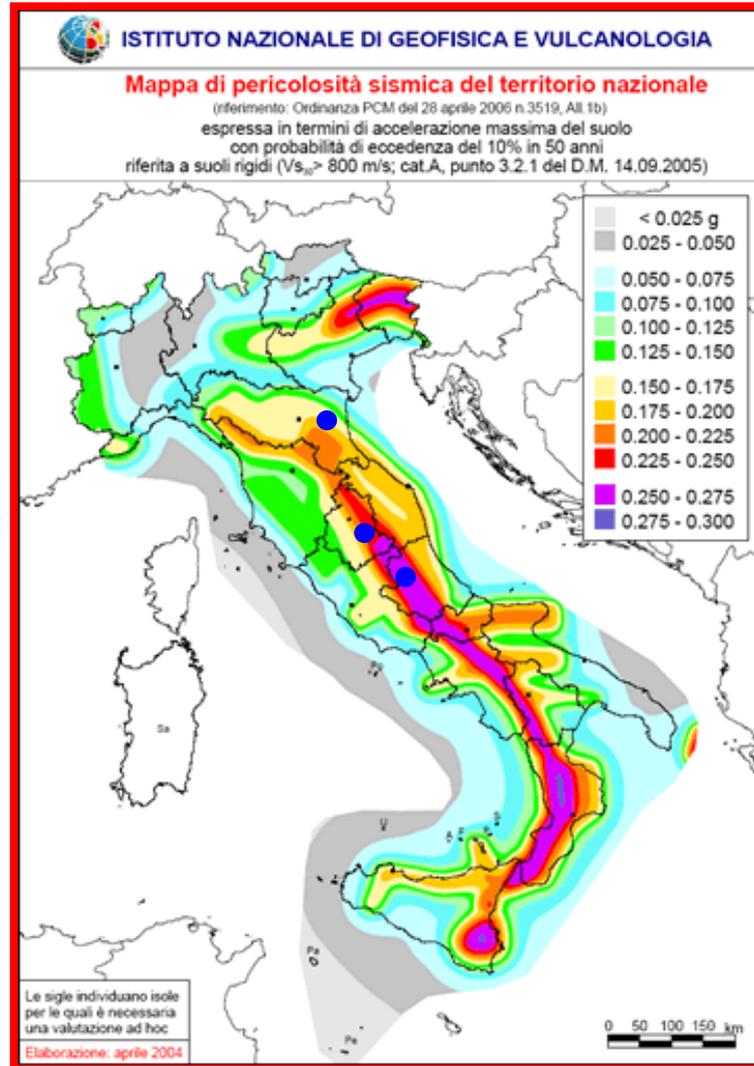
ABRUZZO 2009

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

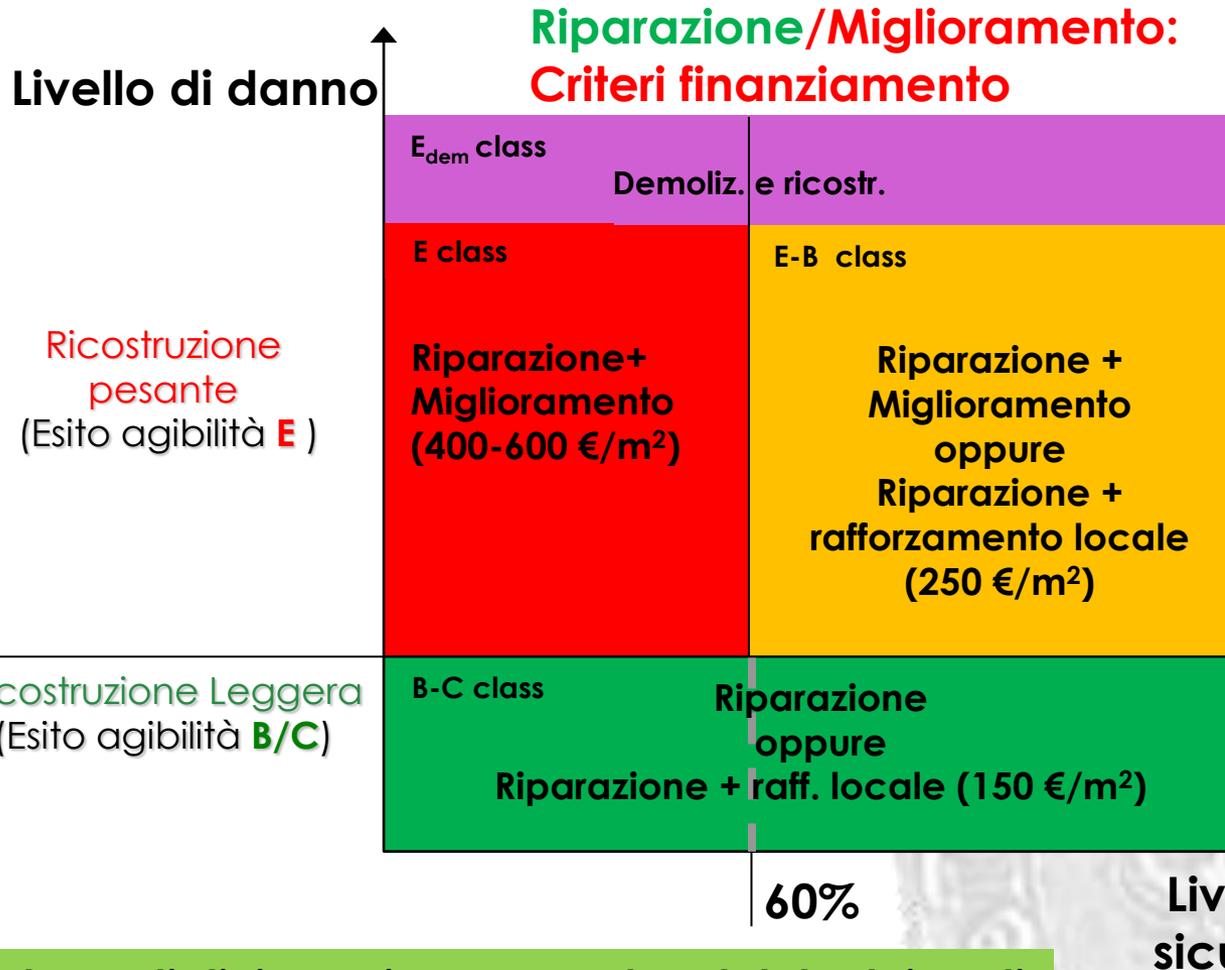
Mw 6.5

299 victims, 23.500 M€

**MODELLO PARAMETRICO
BASATO SUI LIVELLI
OPERATIVI**

I MODELLI PER LA RICOSTRUZIONE

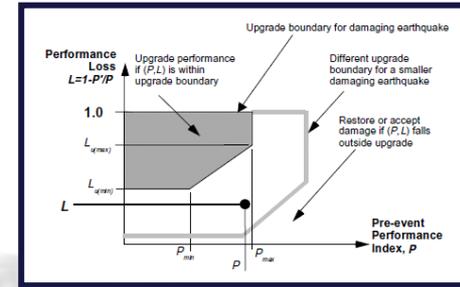
➤ EDILIZIA PRIVATA FUORI DAI CENTRI STORICI



Ricostruzione pesante
(Esito agibilità **E**)

Ricostruzione Leggera
(Esito agibilità **B/C**)

Interventi di riparazione: copertura totale dei costi



FEMA 308 (1998)

RICOSTRUZIONE PESANTE

RICOSTRUZIONE LEGGERA

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

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

I MODELLI PER LA RICOSTRUZIONE

➤ 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. **ReLUI**S: Rete dei Laboratori Universitari di Ingegneria Sismica

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



I MODELLI PER LA RICOSTRUZIONE

➤ EDILIZIA PRIVATA FUORI DAI CENTRI STORICI



20.000 pratiche di richiesta contributo

5.775 Edifici

(4.885 L'Aquila- 920 Altri comuni)

Filiera



Scaricabile gratuitamente da
www.reluis.it

COSTI DI RICOSTRUZIONE

➤ 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 €**



COSTI DI RICOSTRUZIONE

➤ 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

COSTI DI RICOSTRUZIONE

➤ 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

➤ EDILIZIA PRIVATA FUORI DAI CENTRI STORICI

- Costi medi normalizzati rispetto alla superficie coperta (€/m²)
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 ^a (€/m ²)	Strengthening Cost (€/m ²)	Structural and geotech. tests (€/m ²)	Energy efficiency upgrade (€/m ²)	Total grant ^b (€/m ²)
B or C	RC	1598	183.8	33.9	–	–	217.8
	Masonry	899	216.8	68.3	–	–	285.1
	All	2497	195.7	46.3	–	–	241.9
E-B	RC	200	342.3	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	447	532.9	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 _{dem}	RC	267	–	–	–	–	1213.4
	Masonry	224	–	–	–	–	1169.9
	All	491	–	–	–	–	1192.0

RC: reinforced concrete.

^aThe 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.

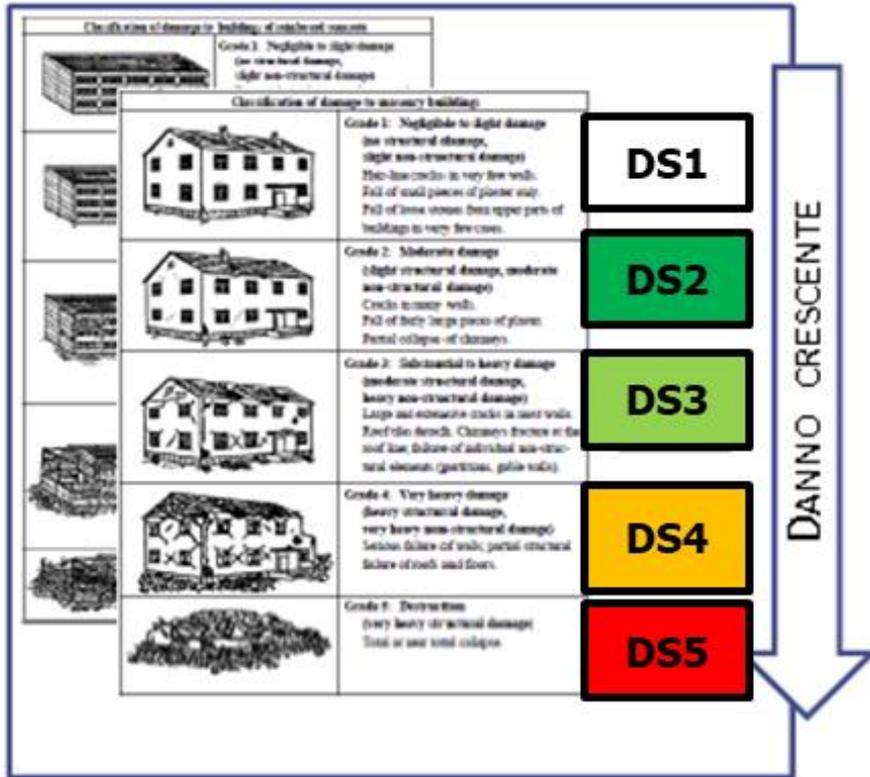
^bThe total grant does not include VAT; charges for the design and technical assistance of practitioners are included. The number of RC buildings and the relevant repair cost are in bold.

COSTI DI RICOSTRUZIONE: Riparazione

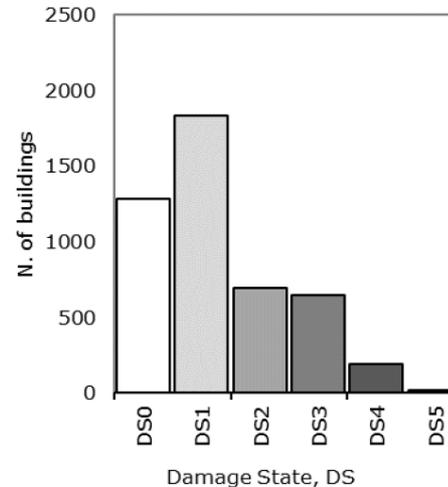
➤ EDILIZIA PRIVATA FUORI DAI CENTRI STORICI

Dati su 8,497 edifici residenziali

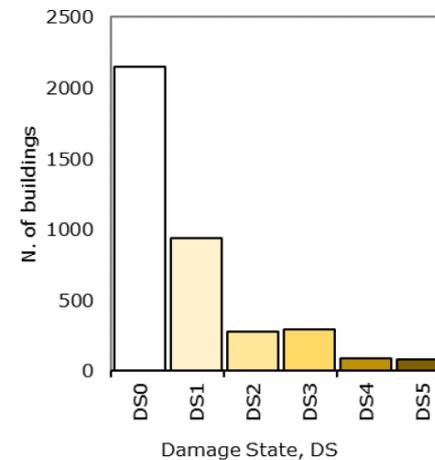
SCALA DI DANNO EMS-98



4,664 RC BUILDINGS



3,833 MASONRY BUILDINGS



EDIFICI IN C.A.



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^2 (**1350 Euro/m²**) 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 th 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 th 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%

COSTI DI RICOSTRUZIONE: Riparazione

➤ EDILIZIA PRIVATA FUORI DAI CENTRI STORICI

%Cr Vs. Stato di Danno (DS)



EDIFICI IN C.A.

DS3



ED. IN MURATURA

DS3

Mixture Distribution

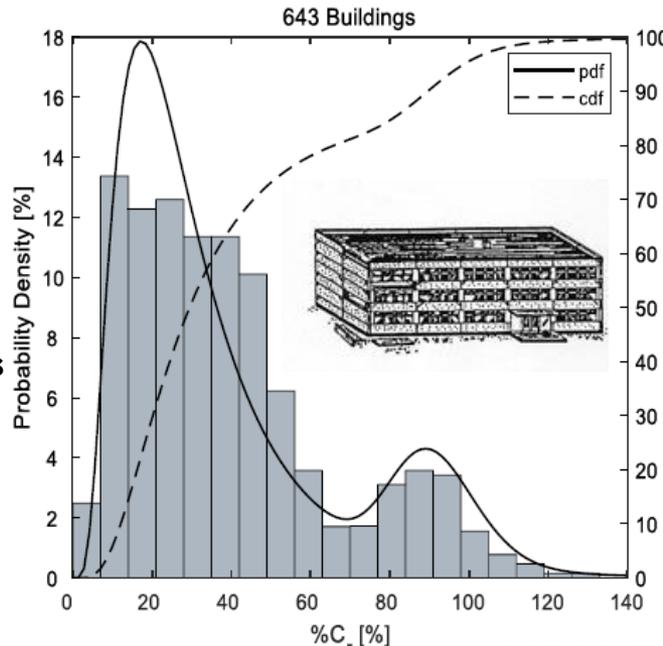
to combine a discrete (degenerate distribution) and a continuous probability distribution (normal/lognormal distribution) or two continuous ones;

Two Lognormal distributions

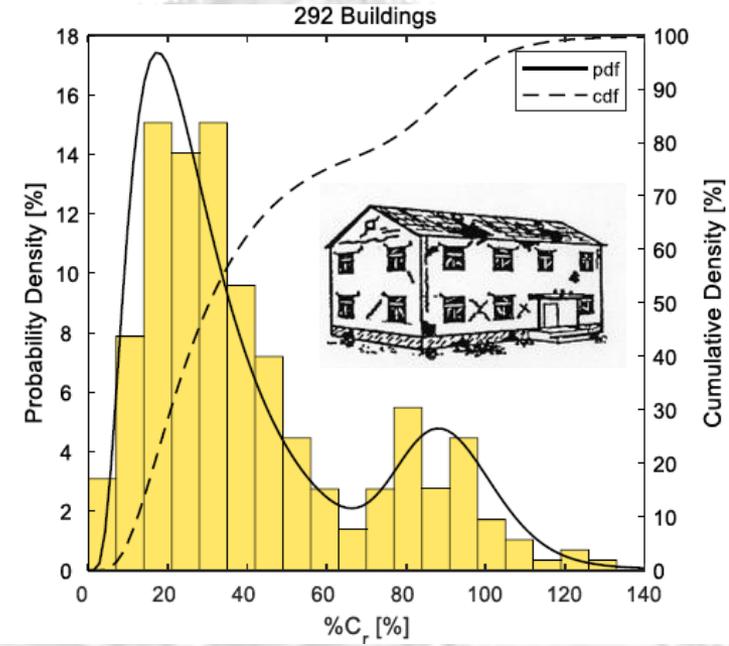
Median and scatter of lognormal distribution:

e^{μ} and e^s ,

Mean and standard deviation of normal distribution, μ and σ .



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



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

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
				

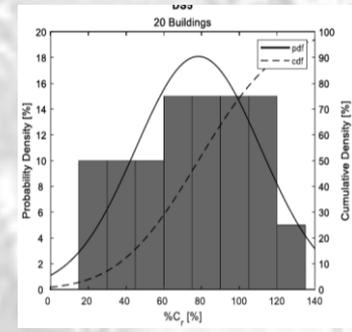
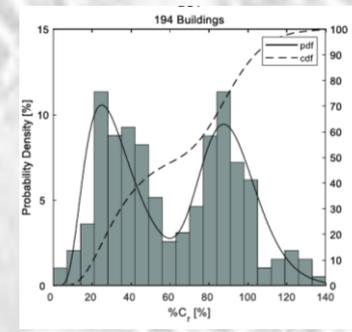
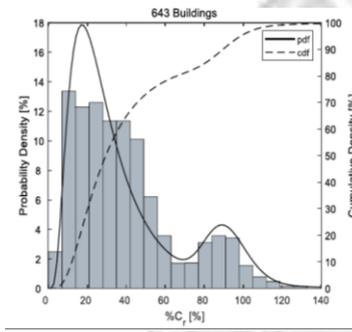
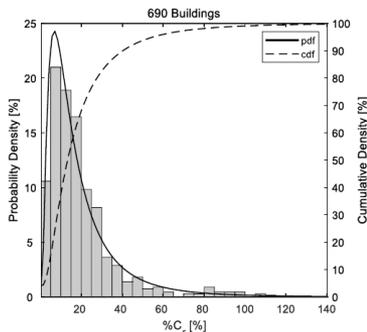
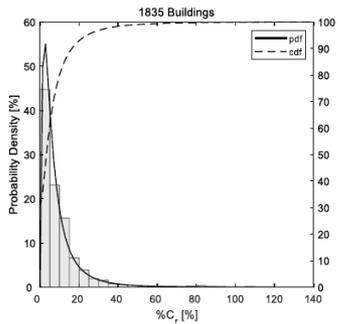
DS1

DS2

DS3

DS4

DS5



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

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

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

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

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

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
				

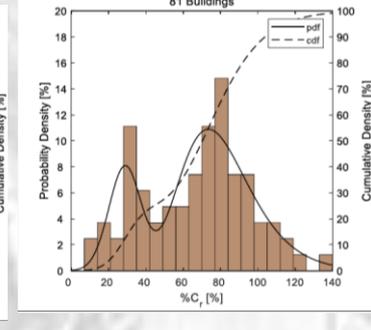
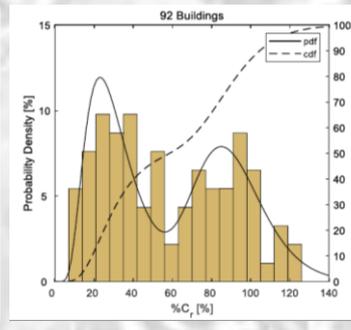
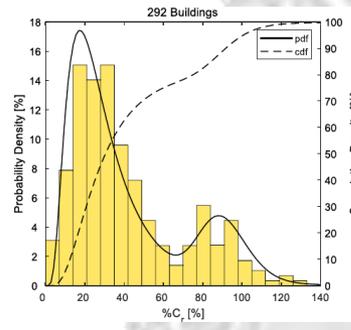
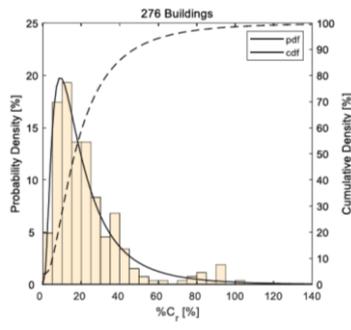
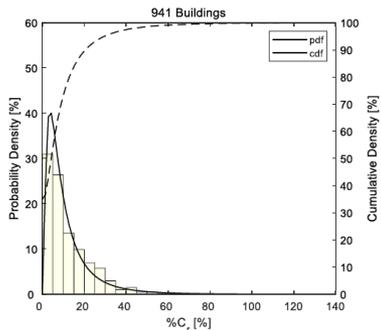
DS1

DS2

DS3

DS4

DS5



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

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

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

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

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

COSTI DI RICOSTRUZIONE: Riparazione

➤ 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)

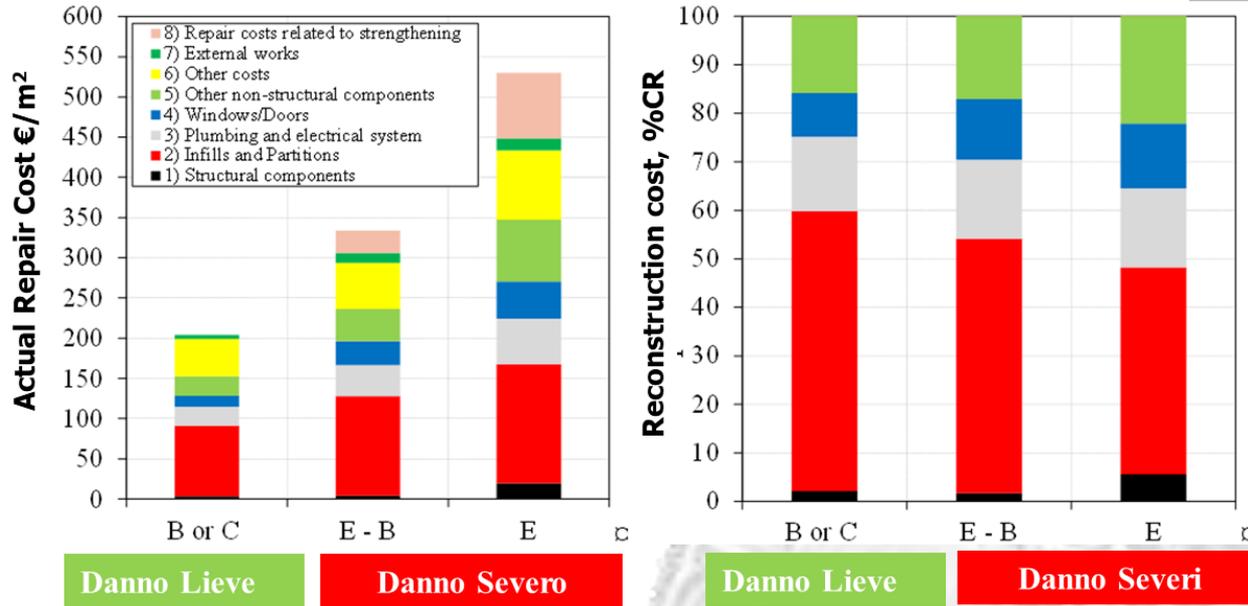


COSTI DI RICOSTRUZIONE: Riparazione

➤ 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

COSTI DI RICOSTRUZIONE

➤ EDILIZIA PRIVATA FUORI DAI CENTRI STORICI

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



COSTI DI RICOSTRUZIONE

➤ EDILIZIA PRIVATA FUORI DAI CENTRI STORICI

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



Esito di agibilità	Tipologia costruttiva	N° edifici [-]	Costo medio di riparazione [€/mq]	16p.le	84p.le	COV
B o C	c.a./mur	1598	196	82	315	64%
E	c.a./mur	447	498	310	685	37%

costo di ricostruzione di circa 1,200 €/mq:

SLD

Esito B-C $196 / 1200 = 16\% \text{CR}$

SLV

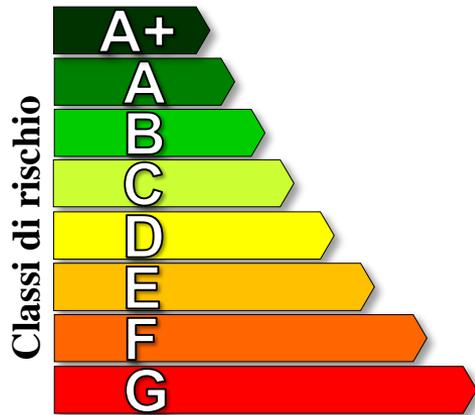
Esito E $533 / 1200 = 42\% \text{CR}$

6% - 24%

28% - 60%

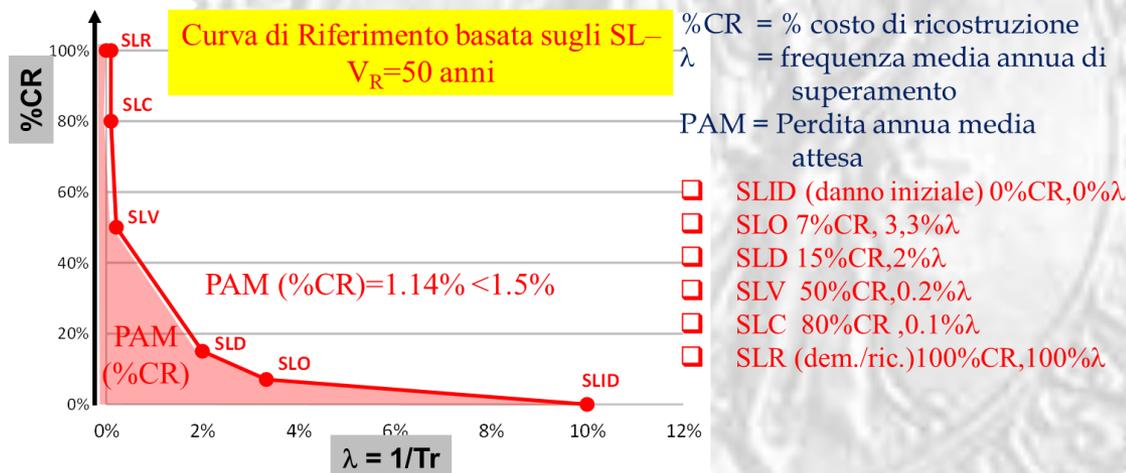
SISMABONUS 2017 LINEE GUIDA

CLASSIFICAZIONE DEL RISCHIO



Perdita Annua Media Attesa: PAM: Classe PAM

✓ Edificio nuovo (progettato in accordo con le NTC)

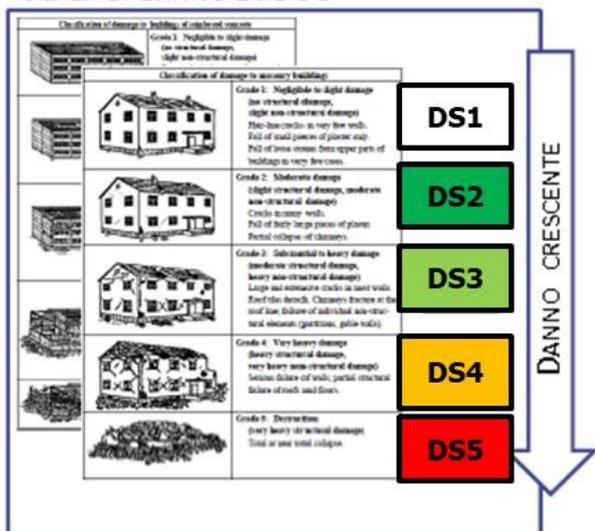


COSTI DI RICOSTRUZIONE

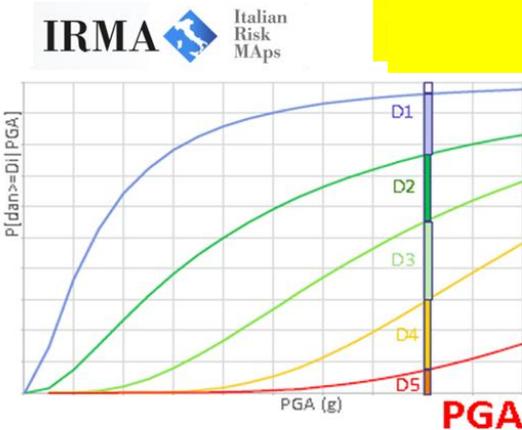
➤ EDILIZIA PRIVATA FUORI DAI CENTRI STORICI

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

SCALA DI DANNO EMS-98



Curve di fragilità



$P[d > DS/PGA]$

Project ReLUIS-



IRMA Italian Risk MAs

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

COSTI DI RICOSTRUZIONE

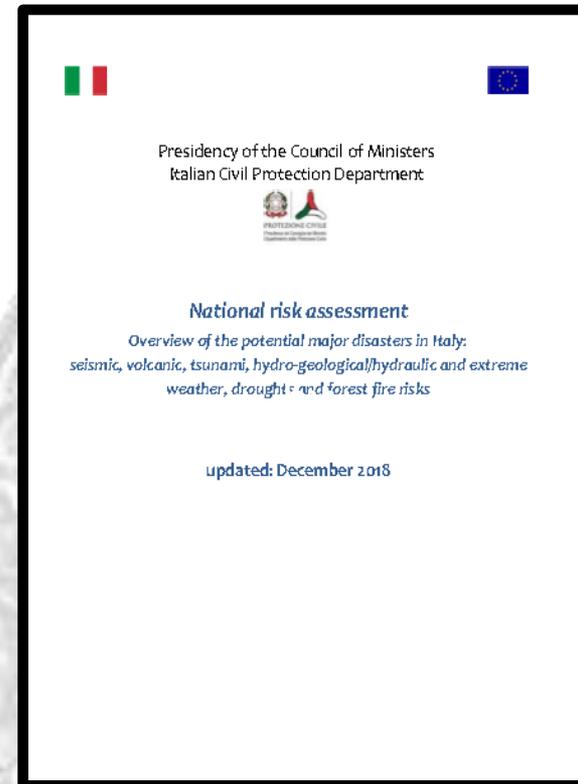
➤ EDILIZIA PRIVATA FUORI DAI CENTRI STORICI

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

...dai dati...



...al National risk assessment, DPC 2018



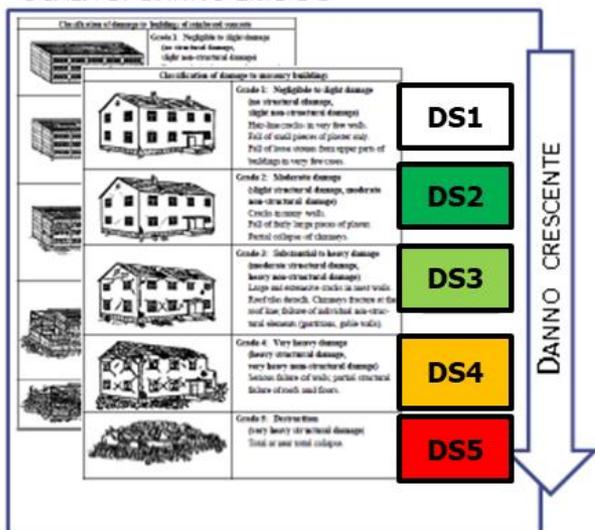
...aggiornamento continuo con i dati delle ricostruzioni

COSTI DI RICOSTRUZIONE

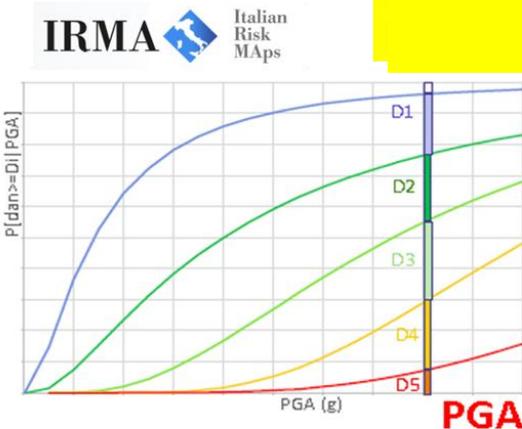
➤ EDILIZIA PRIVATA FUORI DAI CENTRI STORICI

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

SCALA DI DANNO EMS-98



Curve di fragilità



$P[d > DS / PGA]$

Project ReLUIS-



IRMA Italian Risk MAs

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?

COSTI DI RICOSTRUZIONE: Assistenza

➤ 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**

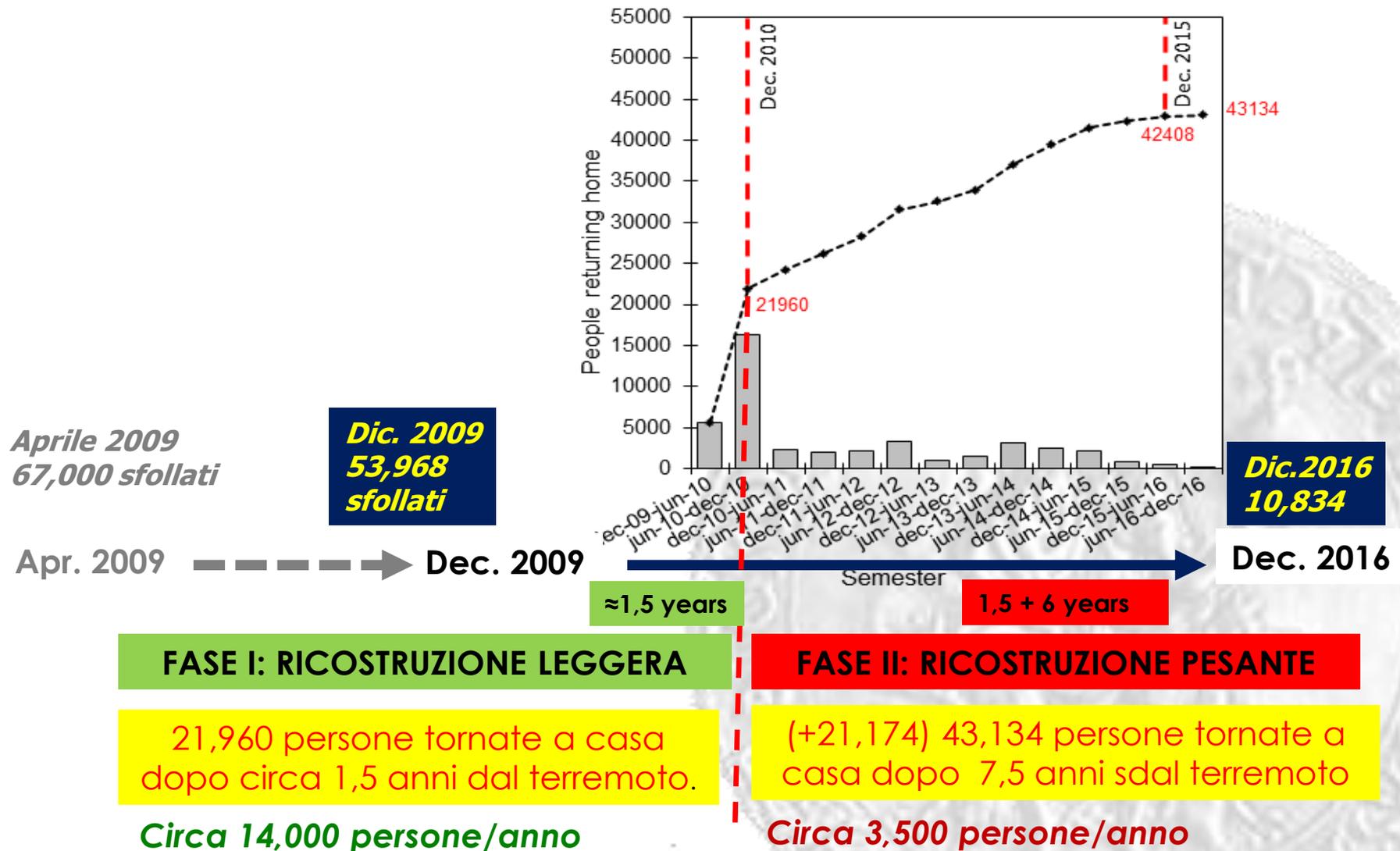
MASONRY
BUILDINGS



COSTI DI RICOSTRUZIONE: Assistenza

➤ EDILIZIA PRIVATA FUORI DAI CENTRI STORICI

Assistenza alla popolazione e tempi di rientro nelle abitazioni



COSTI DI RICOSTRUZIONE: Assistenza

➤ 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

COSTI DI RICOSTRUZIONE: Assistenza

➤ 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



Curca 1,7 miliardi di euro

- **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**

COSTI DI RICOSTRUZIONE: Assistenza

➤ 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



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

C.A.S.E.



€ 852 MILIONI

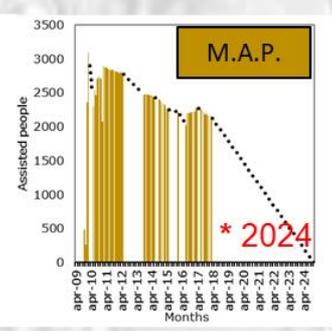
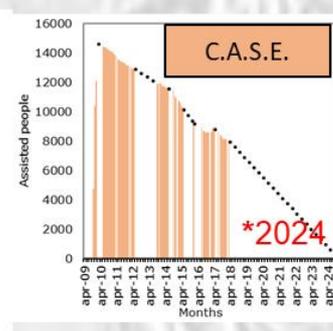
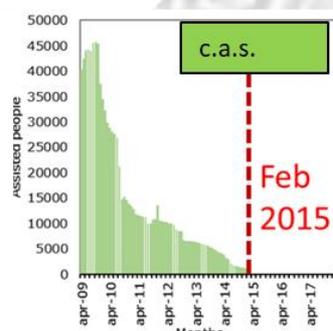
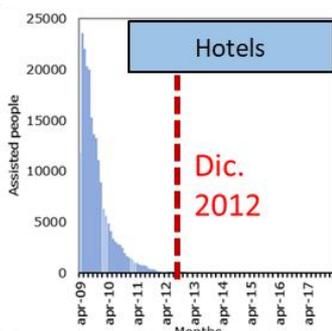
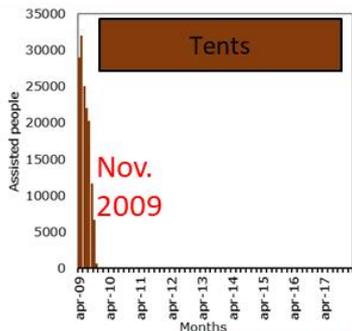
M.A.P.



€ 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

Tende



ASSISTENZA DA APRILE 2009 A DICEMBRE 2009

€ 175 MILIONI

Hotels



ASSISTENZA DA GIUGNO 2009 A DICEMBRE 2012

€ 319 MILIONI

contr. autonoma sistemazione, c.a.s.



ASSISTENZA DA GIUGNO 2009 A FEBBRAIO 2015

€ 235 MILIONI

C.A.S.E.



€ 852 MILIONI

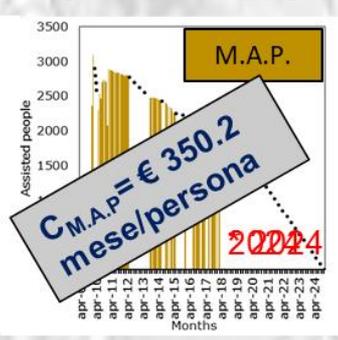
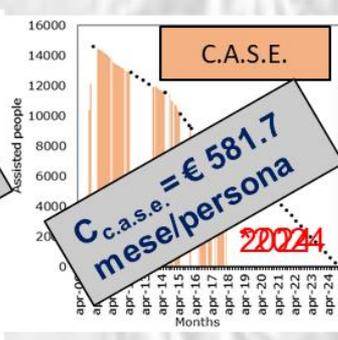
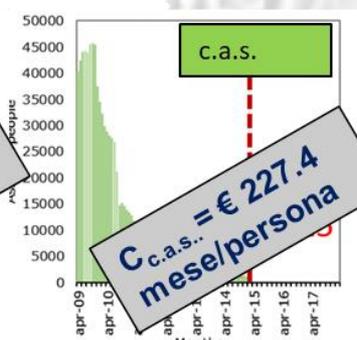
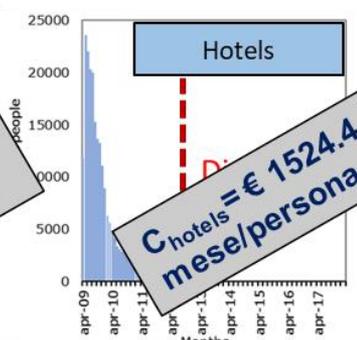
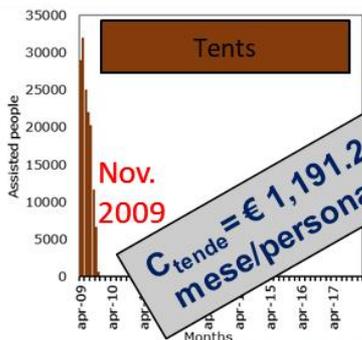
M.A.P.



€ 116 MILIONI

COSTO PER MESE

(funzione del numero di assistiti)



8 MESI (18,335 persone/mese)

45 MESI (4,650 persone/mese)

72 MESI

184 MESI

COSTI DI RICOSTRUZIONE: Assistenza

➤ 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^2 (**1350 Euro/ m^2**) di un edificio, comprensivo di spese tecniche e IVA)

$\%C_a$ 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%

COSTI DI RICOSTRUZIONE: Assistenza

➤ 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 m² (**1350 Euro/m²**) di un edificio, comprensivo di spese tecniche e IVA)

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

EDIFICI IN C.A.



ED. IN MURATURA

Reconstruction class

DS1 DS2 DS3 DS4 DS5 DS1 DS2 DS3 DS4 DS5

$\%C_r$	$\%C_r$ - median	3%	14%	34%	59%	81%	4%	17%	33%	52%	72%
---------	------------------	----	-----	-----	-----	-----	----	-----	-----	-----	-----

+

$\%C_a$	$\%C_a$ - 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 il 50% del valore dell'edificio già in DS3

COSTI DI RICOSTRUZIONE

➤ EDILIZIA PRIVATA FUORI DAI CENTRI STORICI

- Costi medi normalizzati rispetto alla superficie coperta (€/m²)
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 ^a (€/m ²)	Strengthening Cost (€/m ²)	Structural and geotech. tests (€/m ²)	Energy efficiency upgrade (€/m ²)	Total grant ^b (€/m ²)
B or C	RC	1598	183.8	33.9	–	–	217.8
	Masonry	899	216.8	68.3	–	–	285.1
	All	2497	195.7	46.3	–	–	241.9
E-B	RC	200	342.3	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	447	532.9	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 _{dem}	RC	267	–	–	–	–	1213.4
	Masonry	224	–	–	–	–	1169.9
	All	491	–	–	–	–	1192.0

RC: reinforced concrete.

^aThe 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.

^bThe 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.

COSTI DI RICOSTRUZIONE: Interventi

➤ 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.

COSTI DI RICOSTRUZIONE: Interventi

➤ EDILIZIA PRIVATA FUORI DAI CENTRI STORICI

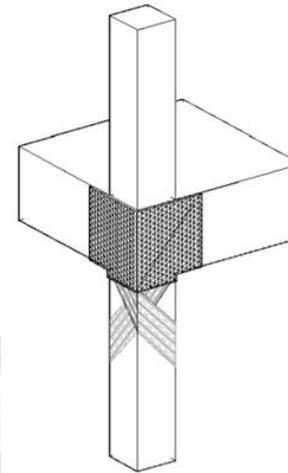
Interventi di rafforzamento sismico



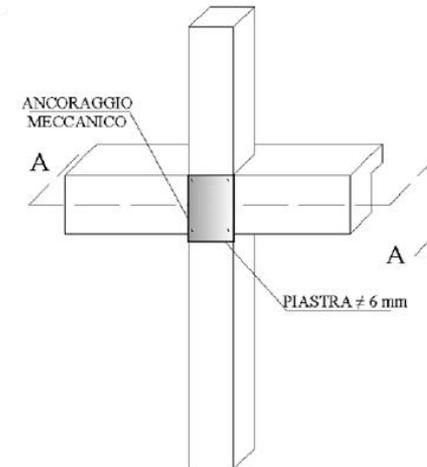
www.reluis.it

Rinforzo nodi non confinati

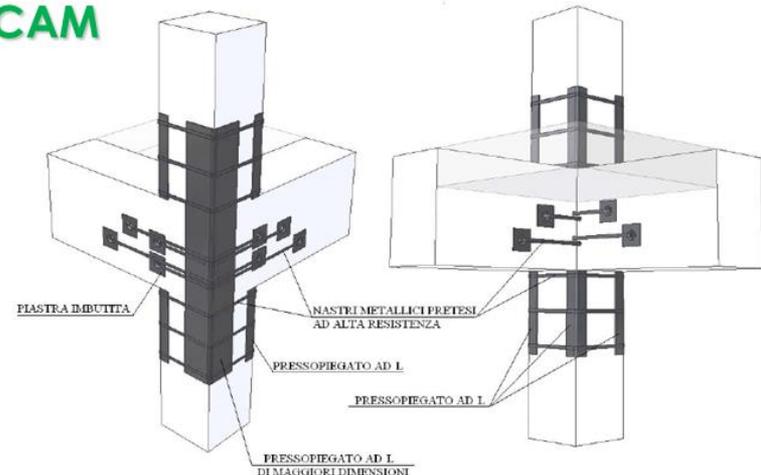
FRP



Acciaio



CAM



COSTI DI RICOSTRUZIONE: Interventi

➤ EDILIZIA PRIVATA FUORI DAI CENTRI STORICI

Interventi di rafforzamento sismico

➤ RICOSTRUZIONE PESANTE

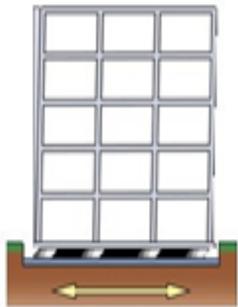
(Danni severi alle part strutturali e non strutturali)

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

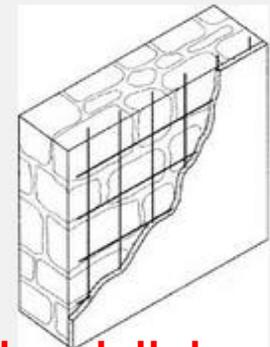


In 59 edifici sono stati adottati gli isolatori

Controventi: 25 edifici
Controventi dissipativi: 7 edifici



Intonaco armato



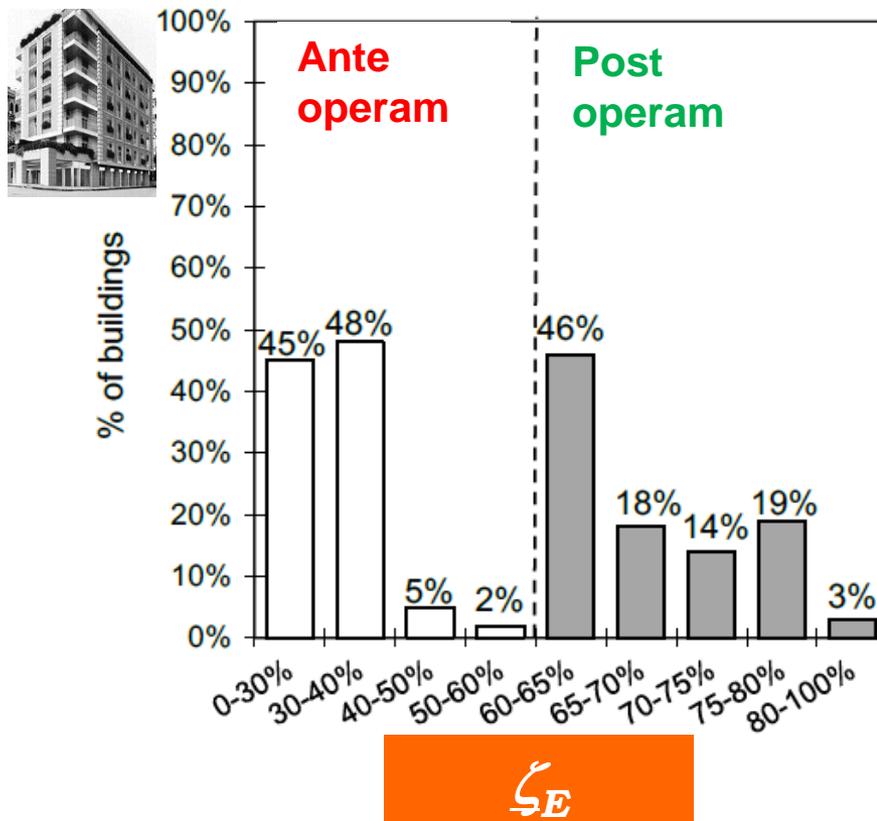
✓ Quasi sempre 2 o più tecniche sono state adottate in maniera combinate

COSTI DI RICOSTRUZIONE: Interventi

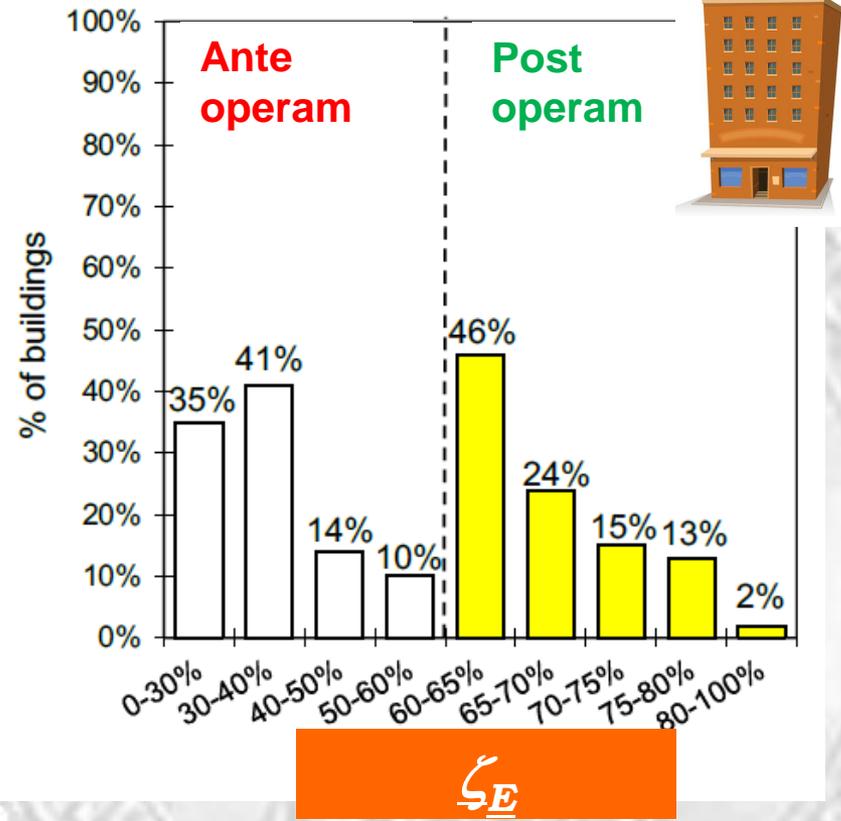
RICOSTRUZIONE PESANTE

- Indice ζ_E ante and post operam (*Edifici esito E*)

RC Buildings



Masonry Buildings

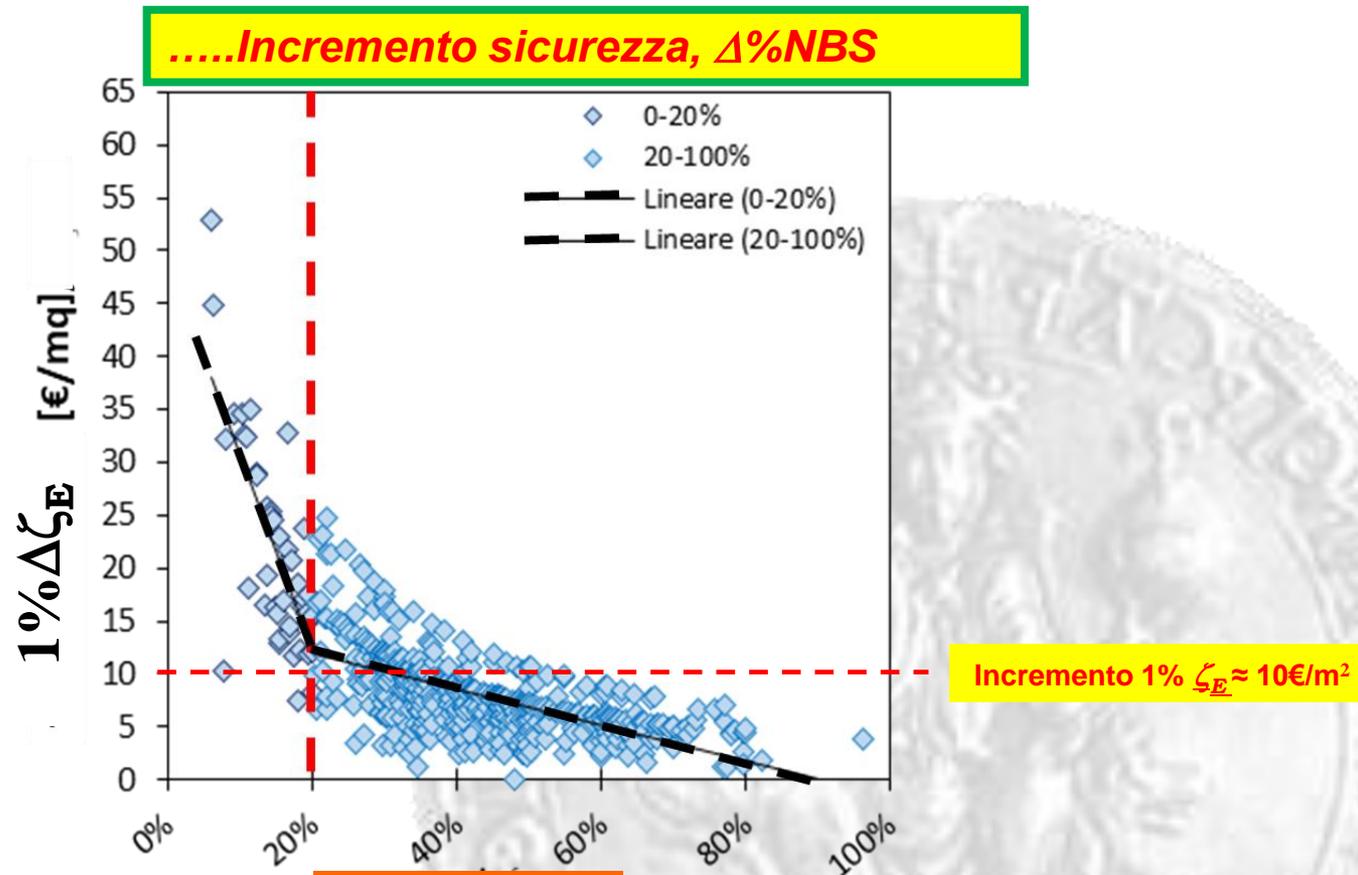


Incremento 1% $\zeta_E \approx 10\text{€}/\text{m}^2$

COSTI DI RICOSTRUZIONE: Interventi

RICOSTRUZIONE PESANTE

- Indice ζ_E ante and post operam) (Edifici esito E)



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

$\Delta\zeta_E$

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

I MODELLI PER LA RICOSTRUZIONE

➤ EDILIZIA PRIVATA NEI CENTRI STORICI

Periferia



...dalla Filiera....



...agli uffici speciali

Centro storico L'Aquila



Centro storico altri comuni

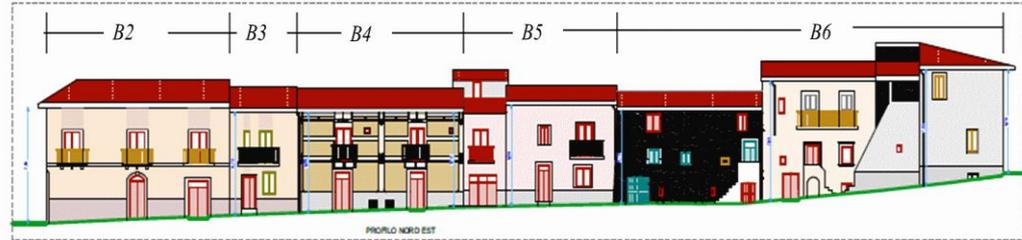


Dal modello analitico...il passaggio al modello parametrico

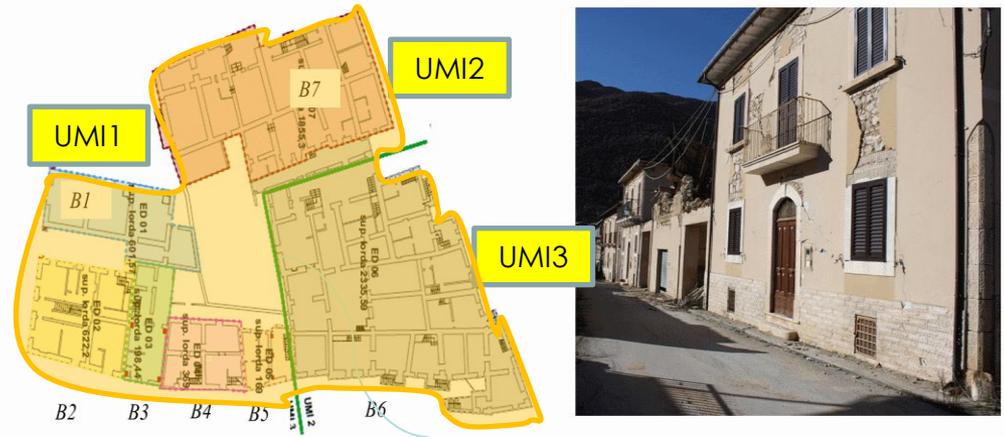
I MODELLI PER LA RICOSTRUZIONE

➤ 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

I MODELLI PER LA RICOSTRUZIONE

➤ 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

I MODELLI PER LA RICOSTRUZIONE

➤ EDILIZIA PRIVATA FUORI DAI CENTRI STORICI



Libro bianco
sulla ricostruzione privata
dei centri storici
nei comuni colpiti dal sisma
dell'Abruzzo del 6 aprile 2009

a cura di
Marco Di Ludovico
Mauro Dolce
Andrea Prota



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

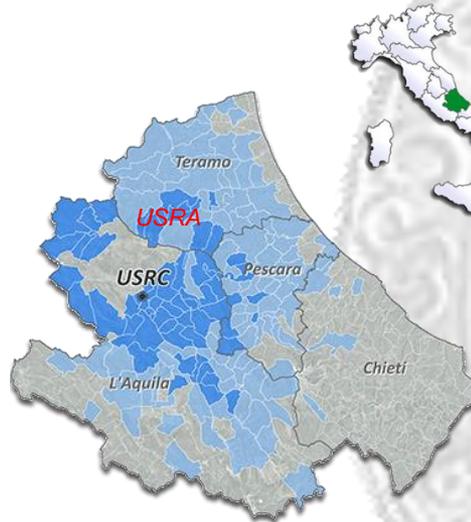
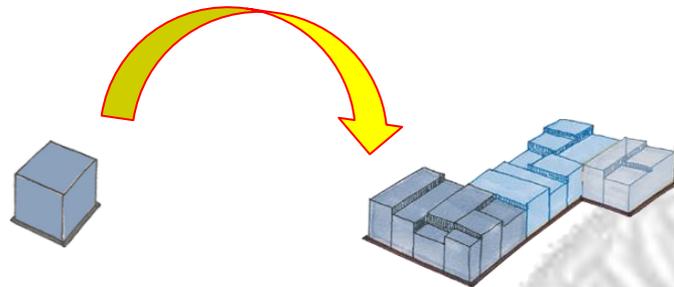
COSTI DI RICOSTRUZIONE

➤ 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
1,41 Aggregati
€ 3 MLD



...il passaggio al modello parametrico

COSTI DI RICOSTRUZIONE

➤ 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

COSTI DI RICOSTRUZIONE

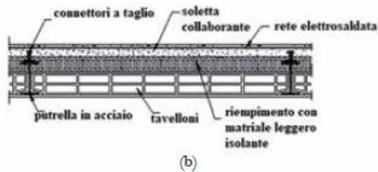
➤ EDILIZIA PRIVATA FUORI DAI CENTRI STORICI

Un costruito caratterizzato da un patrimonio di edifici più articolato

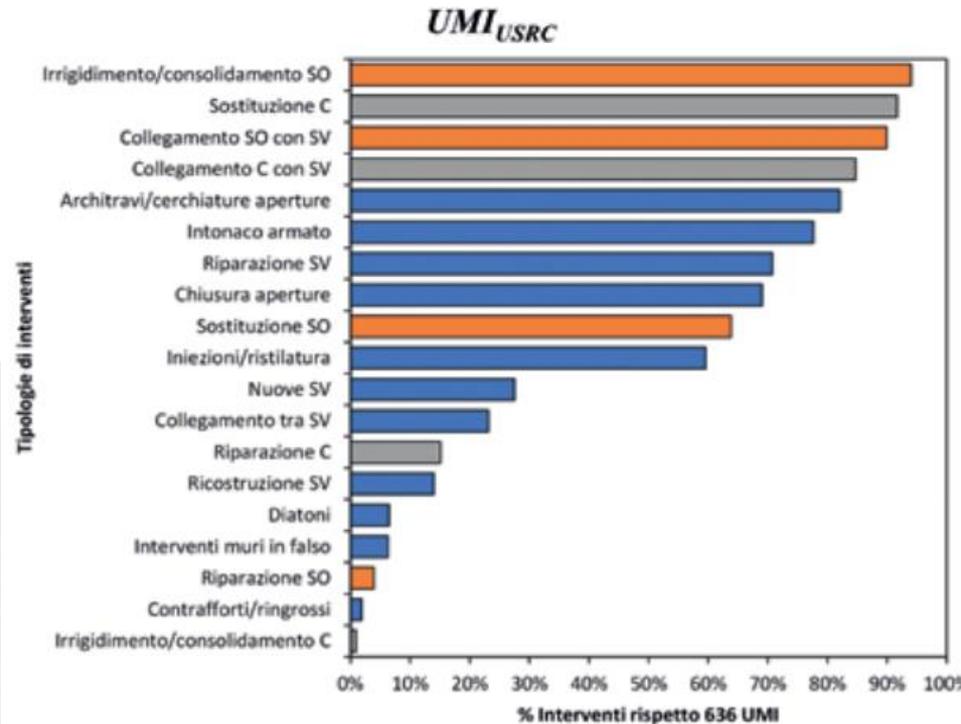
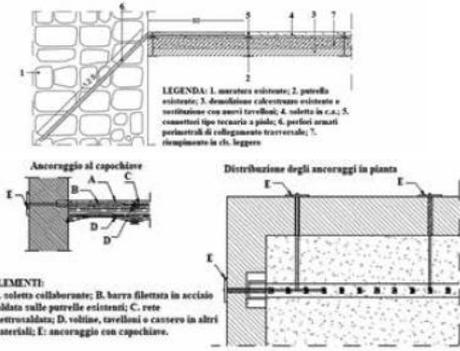
➤ Interventi più eseguiti nelle UMI soggette a miglioramento sismico.



Consolidamento SO



(b)



Strutture Verticali

Strutture Orizzontali

Coperture

COLLEGAMENTO SO vs SV

CONSOLIDAMENTO SV

COSTI DI RICOSTRUZIONE

➤ 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

Fuori Centro Storico Centri storici L'Aquila Comuni del cratere

Euro 767€/mq

Euro 776€/mq

Euro 836€/mq



Fronte dell'edificio
su Via Sinizzo

Ortofoto



COSTI DI RICOSTRUZIONE

➤ 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

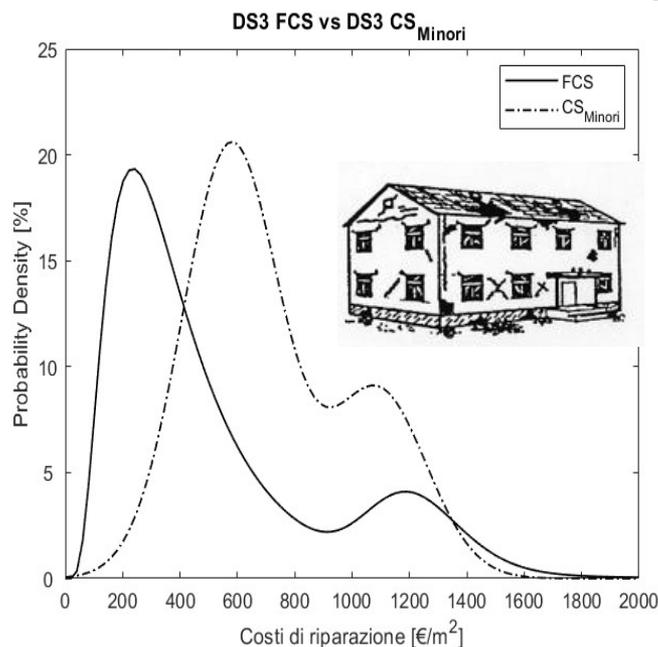


DS3

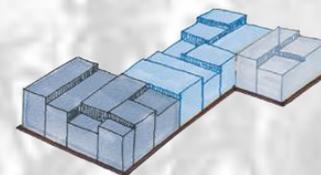
292 edifici FCS



Costi di riparazione



87 edifici CS_{minori}



FCS_{DS3}

CS_{minori}_{DS3}

554,54 €/m²

708,16€/m²

+27% di cui 11%
elementi di pregio

LA MITIGAZIONE DEL RISCHIO

➤ INTERVENTI DI MITIGAZIONE

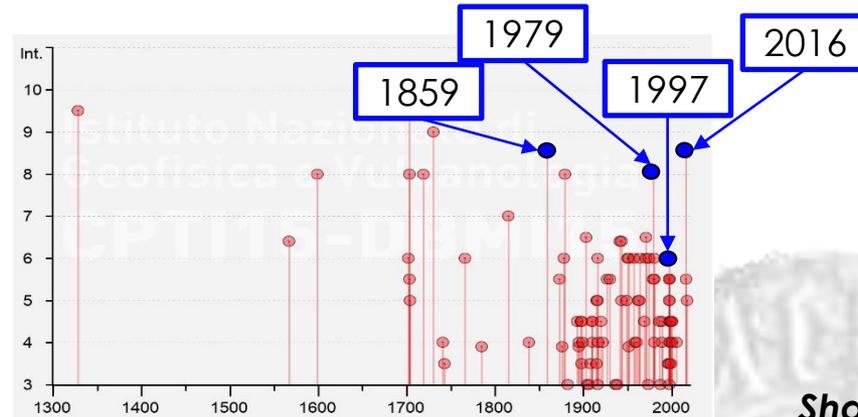
***E' POSSIBILE PROVARE L'EFFICACIA DEGLI
INTERVENTI DI MITIGAZIONE DEL RISCHIO SISMICO***



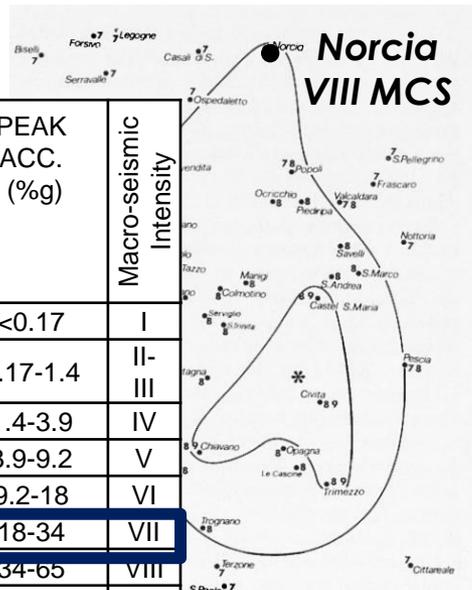
EFFICACIA INTERVENTI

➤ IL TERREMOTO DEL CENTRO ITALIA 2016: IL CASO NORCIA

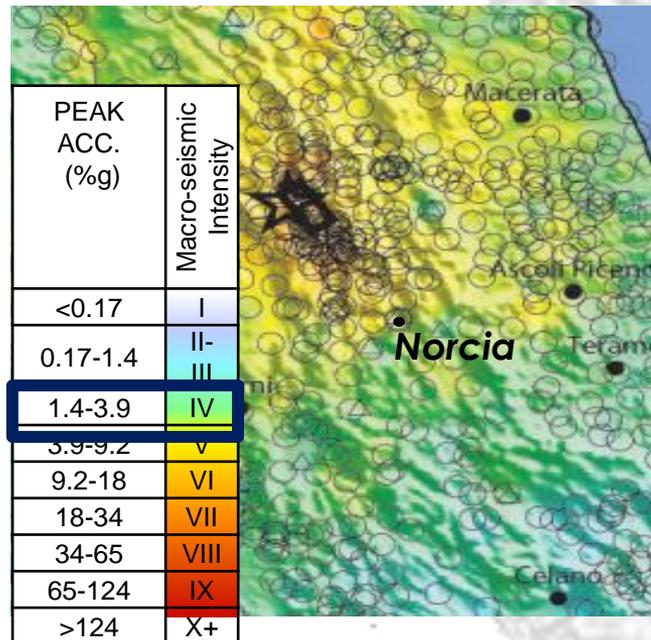
La storia sismica di **Norcia** è contraddistinta dal ripetersi di eventi di grande intensità.



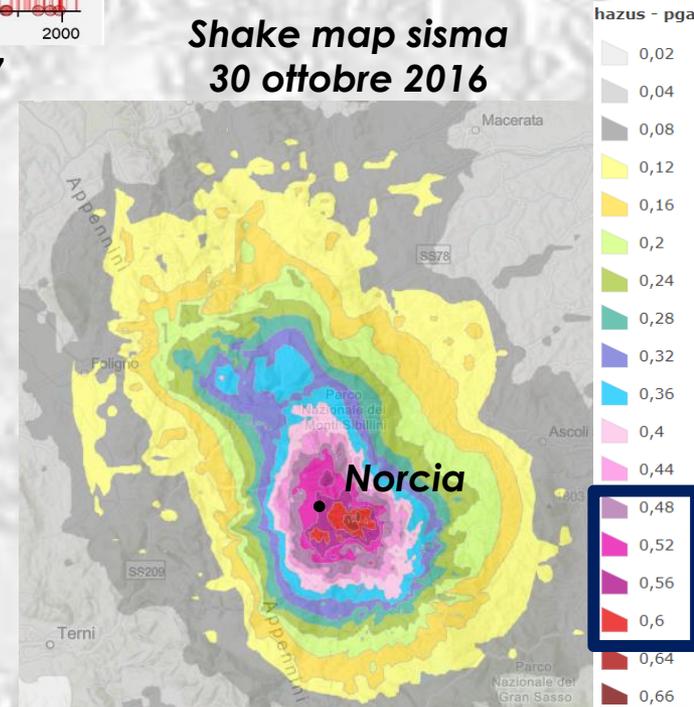
**Mappa isosisma
19 settembre 1979**



Shake map sisma 26 settembre 1997



**Shake map sisma
30 ottobre 2016**



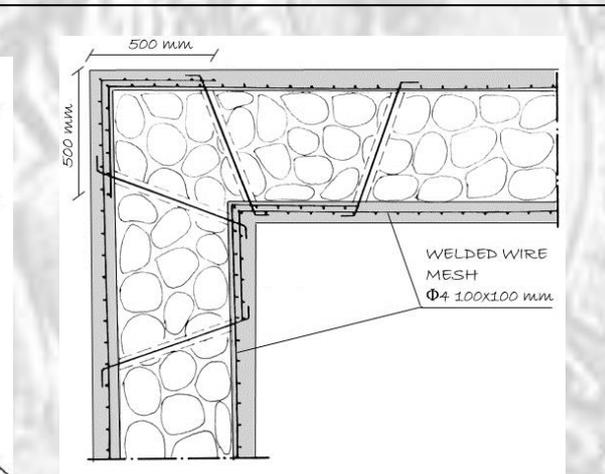
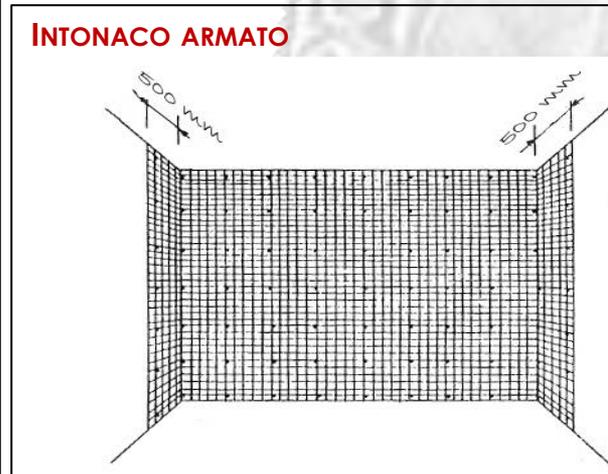
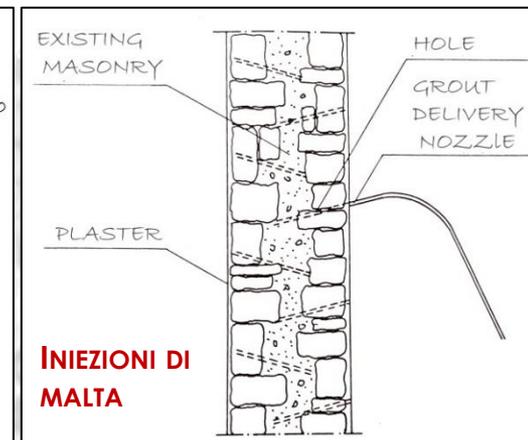
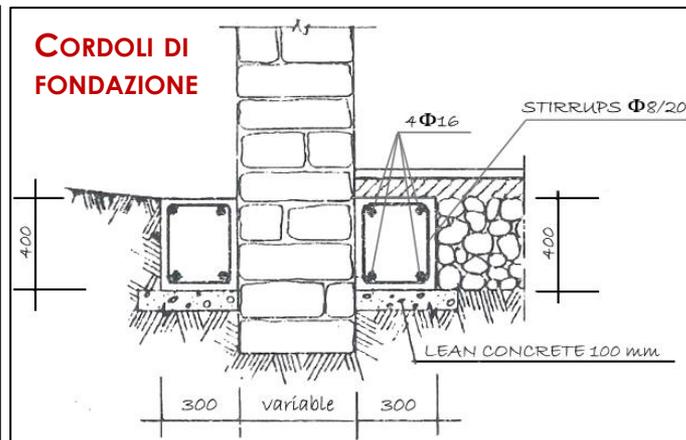
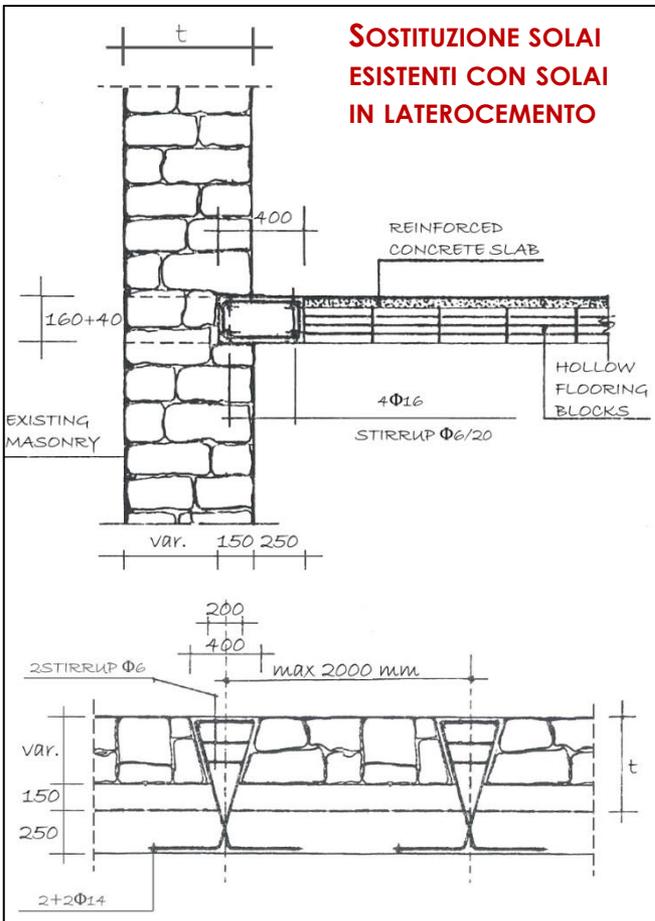
EFFICACIA INTERVENTI

➤ 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



EFFICACIA INTERVENTI

➤ IL TERREMOTO DEL CENTRO ITALIA 2016: IL CASO NORCIA

Analisi dei contributi erogati per il centro storico di Norcia

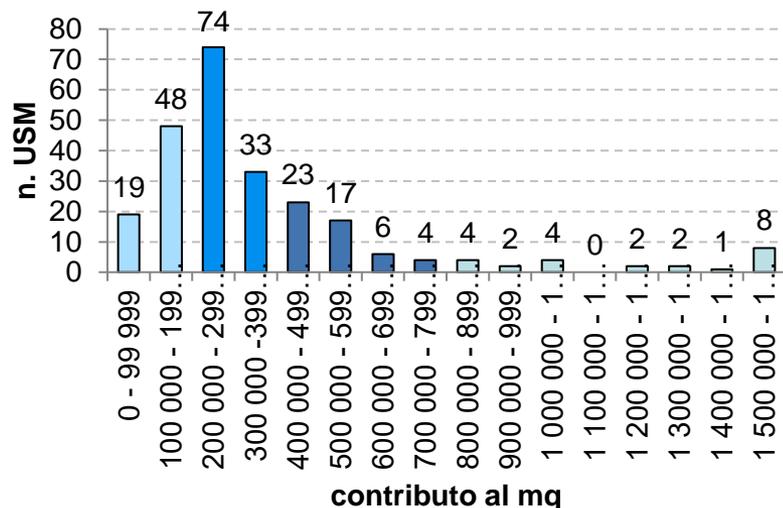
189 contributi erogati

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**.

EFFICACIA INTERVENTI

➤ 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

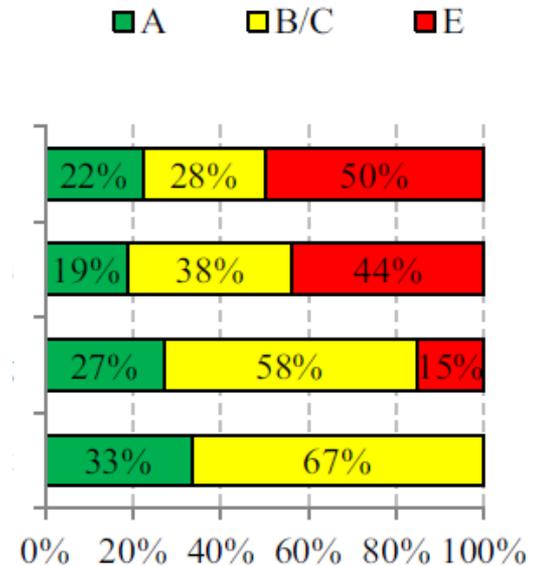
-  **Agibile (A)**
-  **Temporaneamente inagibile ma agibile con provvedimenti di pronto intervento (B/C)**
-  **Inagibile (E)**

Parzialmente rinforzato

Rinforzato: iniezioni

Rinforzato: iniezioni e intonaco armato

Ricostruito



EFFICACIA INTERVENTI

➤ IL TERREMOTO DEL CENTRO ITALIA 2016: IL CASO NORCIA

Effetto degli interventi



SI Contributi 1979/1997 **NO** Danno

SI Contributi 1997/1979 **SI** Danno

NO Contributi 1979/1997 **SI** Danno

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

* Non presentano pratiche al 06/02/2024

EFFICACIA INTERVENTI

➤ 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 DESIGN

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

Antonio Berti, Romina Sisti
Università degli Studi di Perugia, Dipartimento di Ingegneria
antonio.berti@unipg.it
rominasisti@hotmail.it

Andrea Prota, Marco Di Ludovico
Università degli Studi di Napoli - Federico II, Dipartimento di Strutture per l'Ingegneria e l'Architettura
apota@unina.it
@diroco@unina.it

Sandro Costantini, Marco Barlazzi, Alessandro De Maria, Elisabetta Aisa, Alessio Bragetti, Francesco Savi, Gianluca Fagetti, Luciano Baldi
Regione Umbria - Servizio Rischio Sismico
edemario@regione.umbria.it

Thanks for your attention



REte dei **L**aboratori **U**niversitari di **I**ngegneria
Sismica



Marco Di Ludovico

University of Naples Federico II

Department of Structures for Engineering and Architecture

Email: diludovi@unina.it

