



# CLASSIFICAZIONE SISMICA DEGLI EDIFICI E INTERVENTI DI MITIGAZIONE DEL RISCHIO SISMICO

Napoli - Basilica di San Giovanni Maggiore Pignatelli  
Mercoledì, 25 Gennaio 2017

## DANNI INDOTTI DAL SISMA: DATI E CONSIDERAZIONI SUI COSTI DI RIPARAZIONE E RAFFORZAMENTO SISMICO

### MARCO DI LUDOVICO

*University of Naples Federico II*

*Assistant Professor*

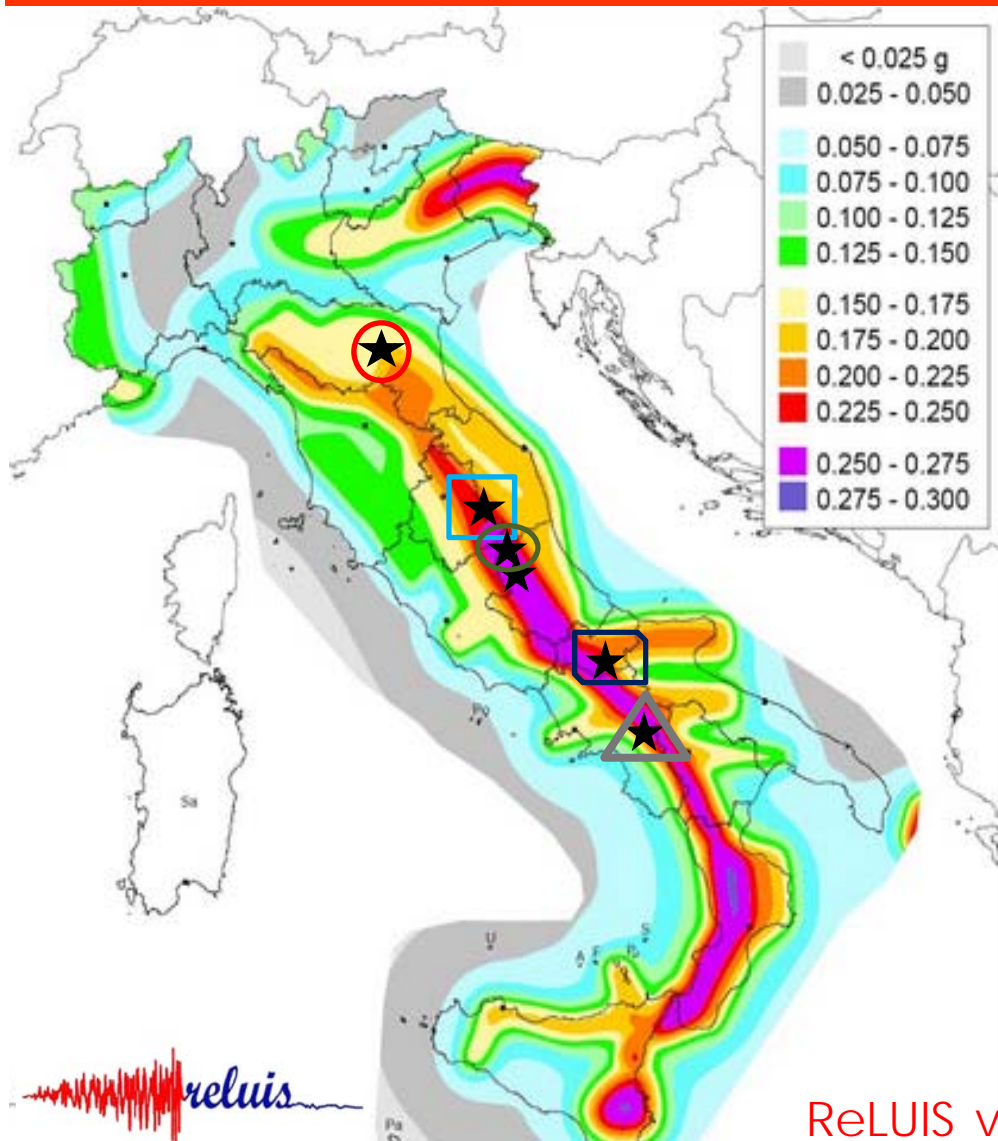
*Department of Structures for Engineering and Architecture*

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



**Napoli Basilica di San Giovanni  
Maggiore Pignatelli,  
Mercoledì 25 Gennaio 2017**

# Terremoti recenti in Italia



△★ Southern Italy Earthquake  
23 November **1980** ( $M_s=6,9$ )

□★ Umbria-Marche Earthquake  
26 September **1997** ( $M_s=5,5$ )

□★ Molise Earthquake  
31 October **2002** ( $M_w=6,3$ )

★ L'Aquila Earthquake  
6 April **2009** ( $M_w=6,3$ )

○★ Emilia-Romagna Earthquake  
20-29 may **2012** ( $M_w=5,9;5,8$ )

○★ Central Italy Earthquake 24  
August **2016** ( $M_w=6,0-6,2$ )

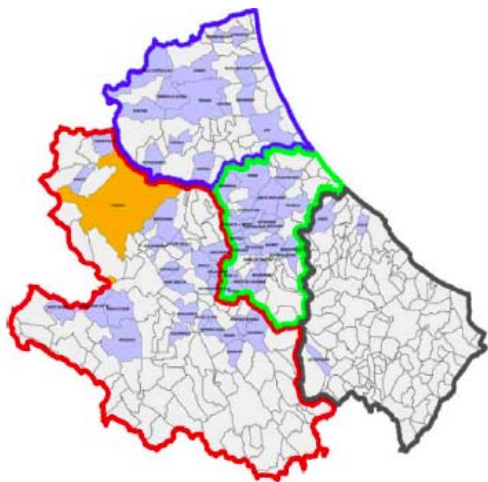


REte dei Laboratori **U**niversitari  
di Ingegneria **S**ismica

ReLUIS viene fondato nel 2003 come network degli atenei italiani dotati delle maggiori attrezzature sperimentali per ricerche di tipo sismico

# Danni indotti da sisma

➤ Terremoto di L'Aquila – 3:32 a.m, 6 Aprile, 2009 (Mw=6,3)



**RICOSTRUZIONE: Edilizia private fuori dai centri storici**

**20.000** pratiche di richiesta contributo  
**5.775 Edifici**  
**(4.885 L'Aquila- 920 Altri comuni)**

**Filiera**





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

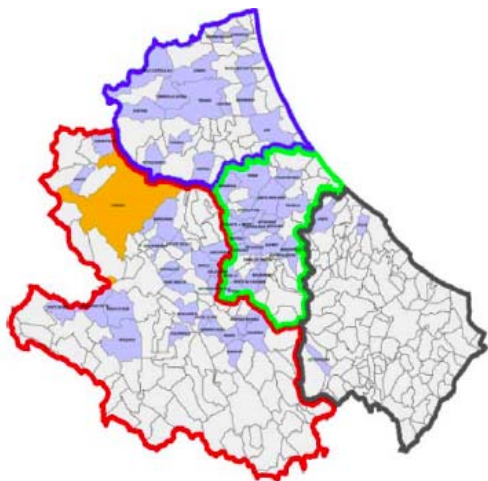
a cura di  
Mauro Dolce  
Gaetano Manfredi

**Download gratuito**  
[www.reluis.it](http://www.reluis.it)



# Danni indotti da sisma

➤ Terremoto di L'Aquila – 3:32 a.m, 6 Aprile, 2009 (Mw=6,3)



**RICOSTRUZIONE:** Edilizia privata fuori dai centri storici

**Ricostruzione Leggera:** 3.564 Edifici

**Ricostruzione Pesante:** 2.211 Edifici

**Agibilità  
Scheda AeDES**

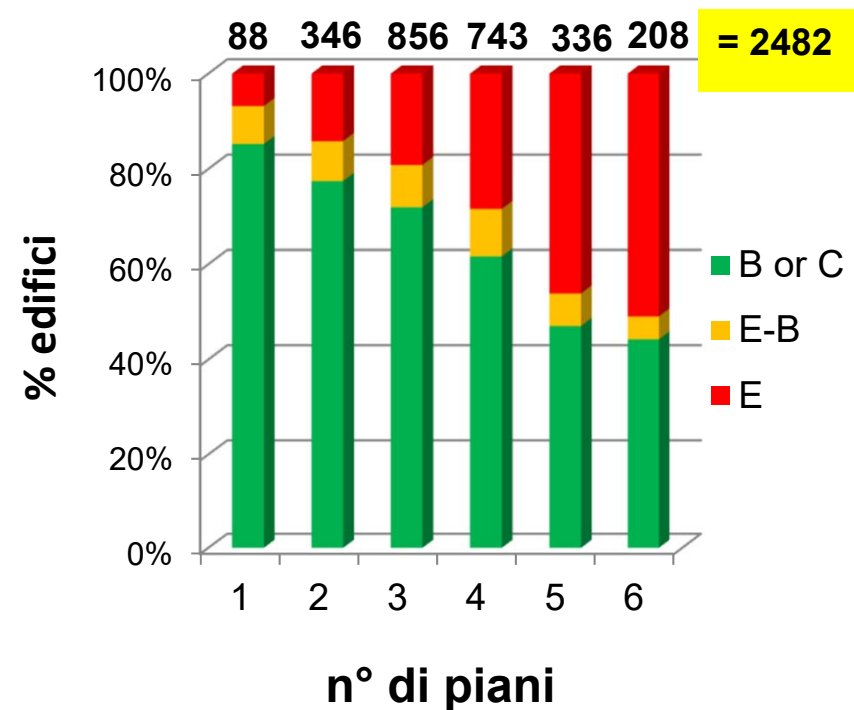
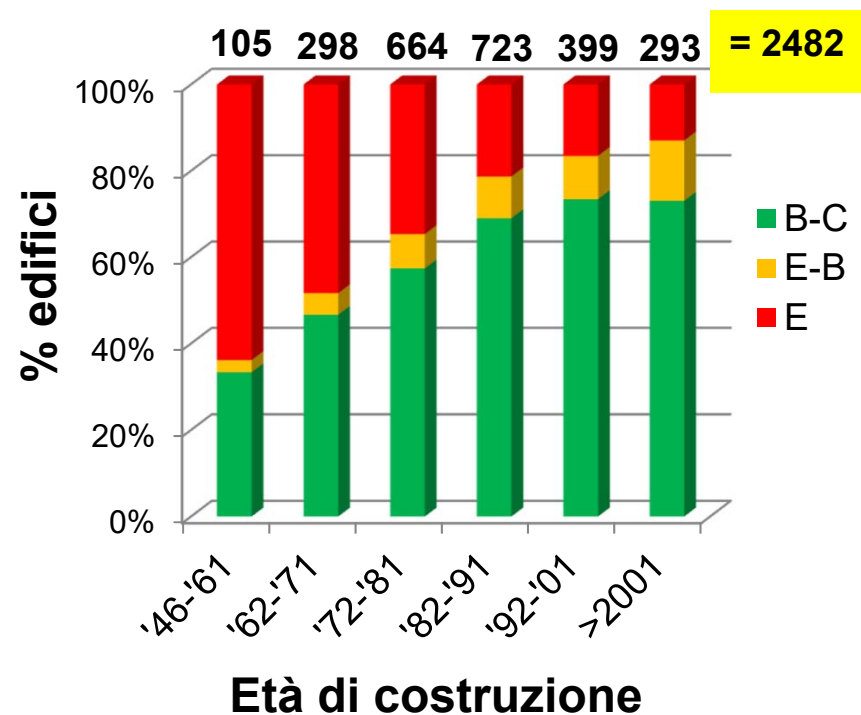
A	Edificio AGIBILE	<input type="checkbox"/>
B	Edificio TEMPORANEAMENTE INAGIBILE (tutto o parte) ma AGIBILE con provvedimenti di pronto intervento	<input type="checkbox"/>
C	Edificio PARZIALMENTE INAGIBILE	<input type="checkbox"/>
D	Edificio TEMPORANEAMENTE INAGIBILE da rivedere con approfondimento	<input type="checkbox"/>
E	Edificio INAGIBILE	<input type="checkbox"/>
F	Edificio INAGIBILE per rischio esterno	<input type="checkbox"/>



# Danni indotti da sisma

- Esito di agibilità vs. Tipologia costruttiva**

2482 Edifici in c.a.

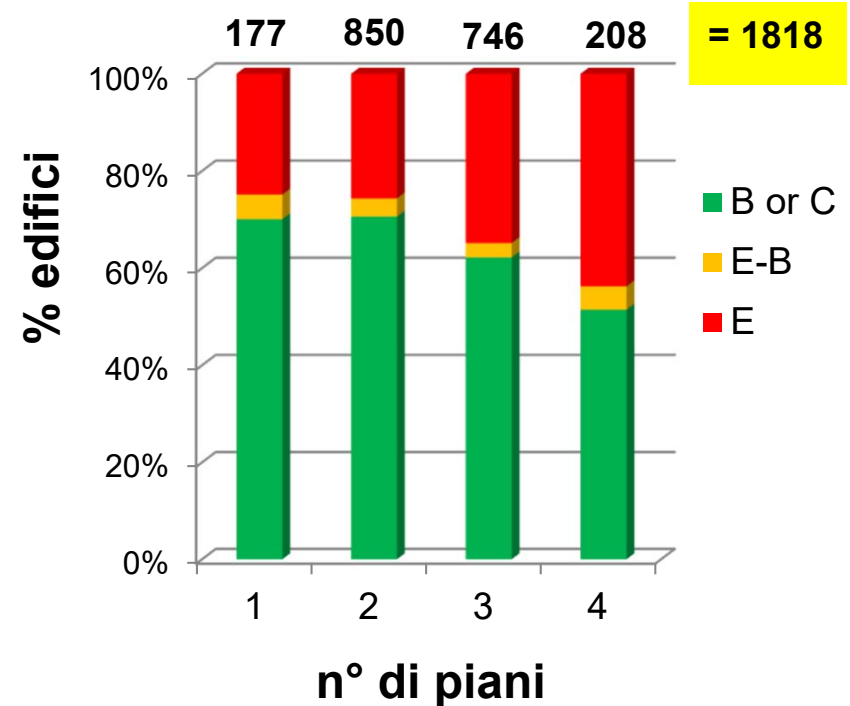
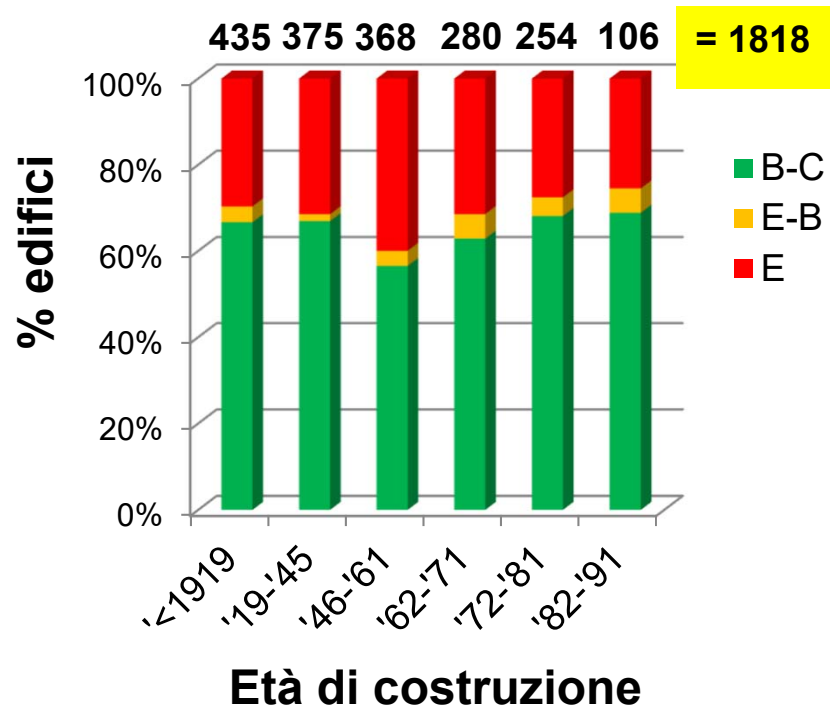


- ✓ **Età di costruzione** Gli edifici con esito E diminuiscono per epoche di costruzione più recenti (da circa 60% a circa 15%)
- ✓ **Numeri di piano.:** Gli edifici con esito E aumentano all'aumentare del numero di piani (da circa 10% a circa 50%)

# Danni indotti da sisma

## • Esito di agibilità vs. Tipologia costruttiva

1.818 Edifici in muratura



- ✓ **Età di costruzione:** Gli edifici con esito E sono costantemente pari al 35%)
- ✓ **Numero di piani:** Gli edifici con esito E aumentano all'aumentare del numero di piani (da circa 25% a circa 45%)

## Danni indotti da sisma

### **Quanto è costata la ricostruzione?**

**riparazione ed il rafforzamento sismico (o ricostruzione) edifici privati di L'Aquila (4.885) fuori dai centri storici??**

**2,6 miliardi di euro**



#### ➤ **RICOSTRUZIONE LEGGERA**

✓ **2.904 edifici:**

Contributo totale **534 milioni di euro**

Contributo medio/edificio **184.000€**

#### ➤ **RICOSTRUZIONE PESANTE**

✓ **1.951 edifici**

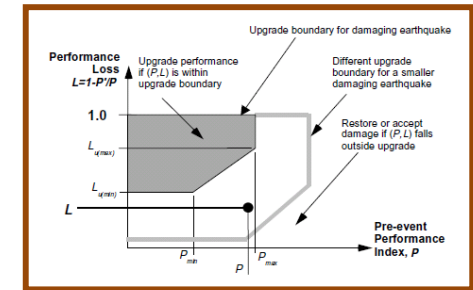
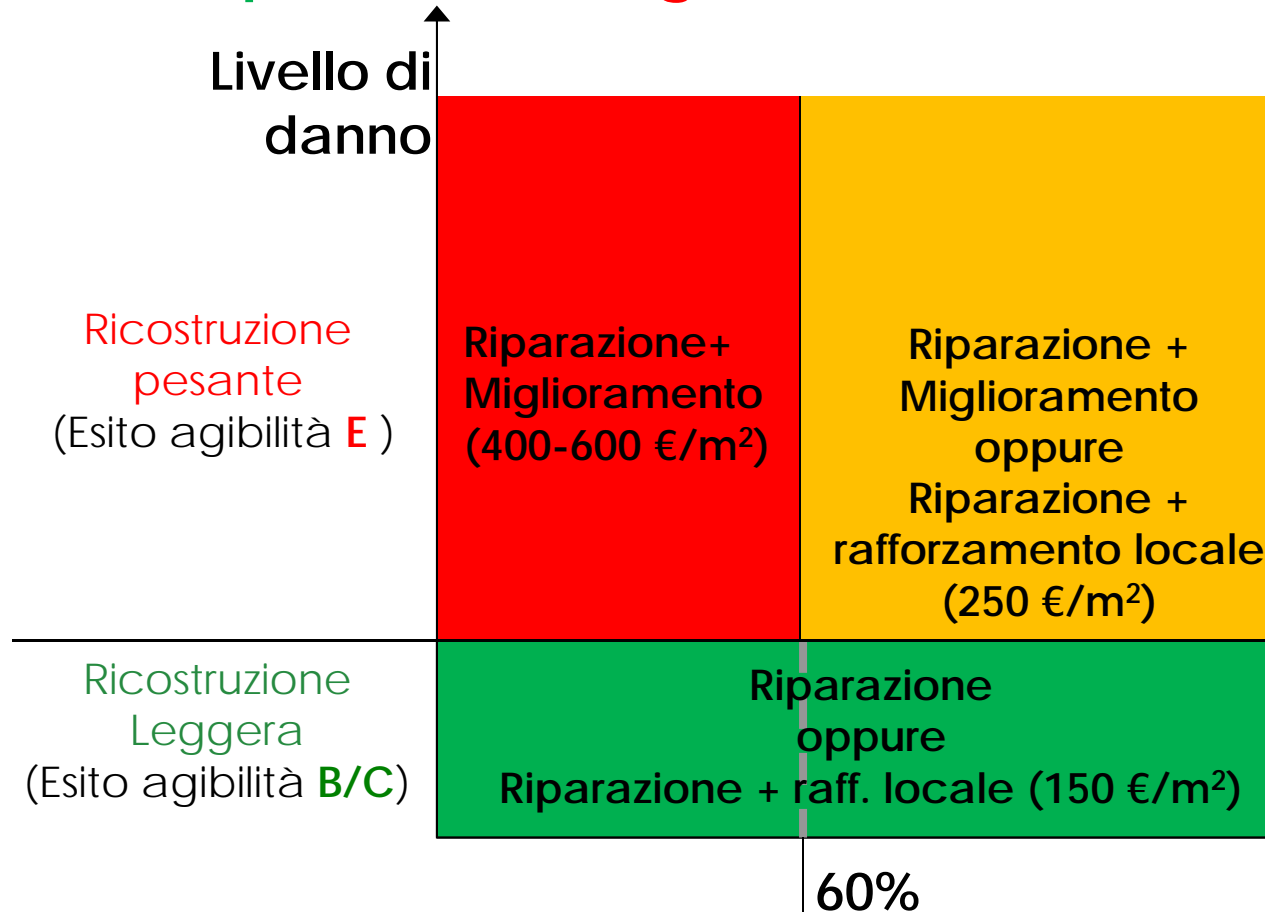
Contributo totale **2,1 miliardi di euro**

Contributo medio edificio circa **1 milione €**



# Il processo di ricostruzione degli edifici residenziali

## Riparazione/Miglioramento: Criteri finanziamento



FEMA 308 (1998)

**RICOSTRUZIONE PESANTE**

**RICOSTRUZIONE LEGGERA**

Livello di sicurezza  $\alpha = \frac{PGA_{demand}}{PGA_{capacity}}$

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)



## Danni indotti da sisma

### Quanto è costata la ricostruzione?

riparazione ed il rafforzamento (o 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

# L'Aquila: la ricostruzione leggera

## ➤ **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**

**Costi includono le spese tecniche**

**I costi non includono l'I.V.A.**



# L'Aquila: la ricostruzione leggera

## ➤ 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: 43 €/mq (19%)



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

# L'Aquila: la ricostruzione pesante

## ➤ **RICOSTRUZIONE PESANTE**

(Danni severi alle part strutturali e non strutturali)

447 Edifici in cemento armato

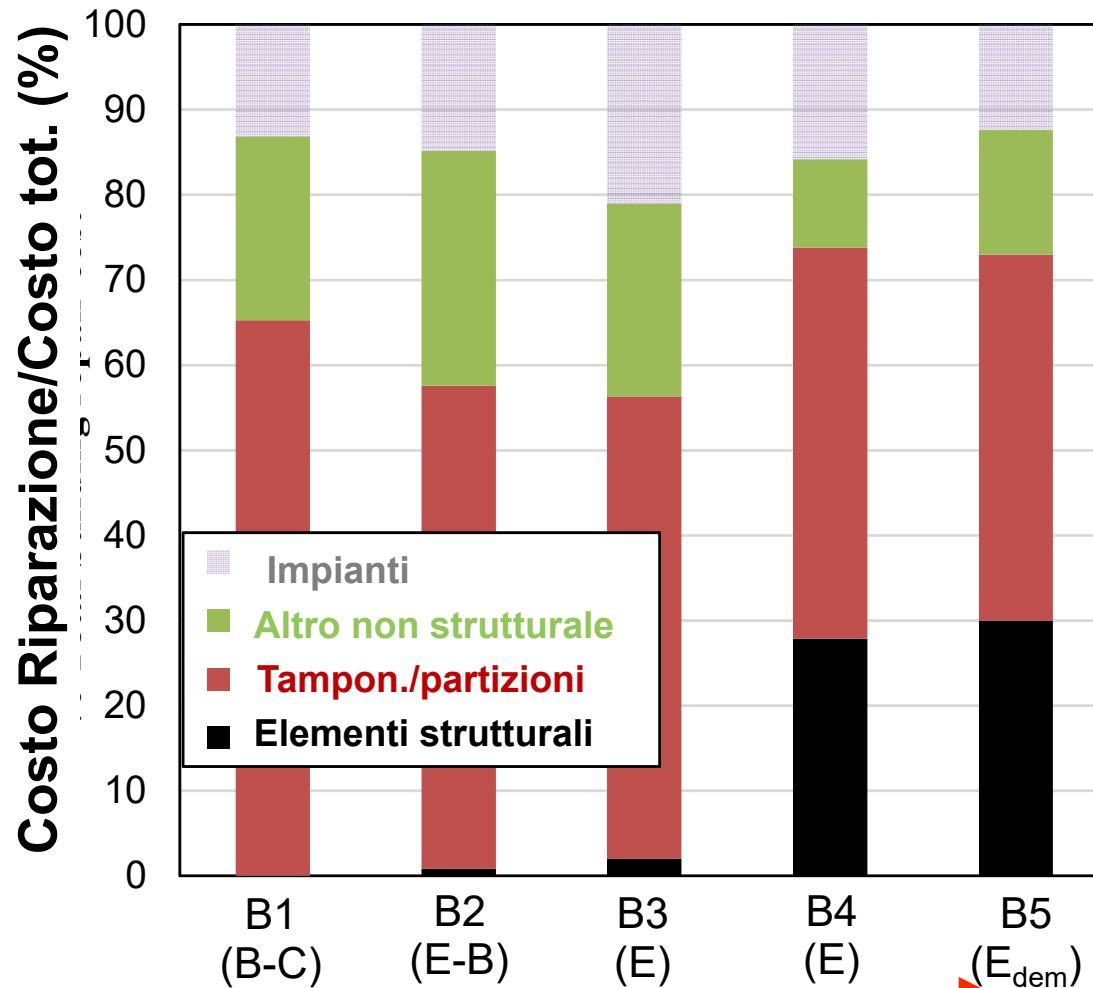
313 Edifici in muratura

- **Costo medio di riparazione: 498 €/mq**

# L'Aquila: la ricostruzione pesante

## ➤ RICOSTRUZIONE PESANTE Voci di Costo: Riparazione

Edifici in cemento armato



Incidenza costo componenti non strutturali (tamponature, partizioni, finiture ed impianti) **70%÷90%** sul costo totale di riparazione



Edifici a livello di danno crescente

# L'Aquila: la ricostruzione pesante

## ➤ **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

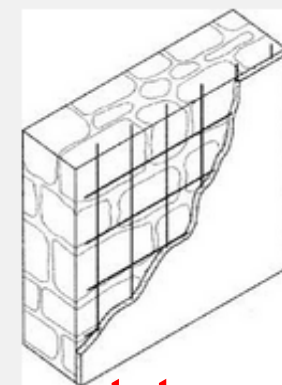


**In 59 edifici sono stati adottati gli isolatori**

**Controventi: 25 edifici**  
**Controventi dissipativi: 7 edifici**



**Intonaco armato**



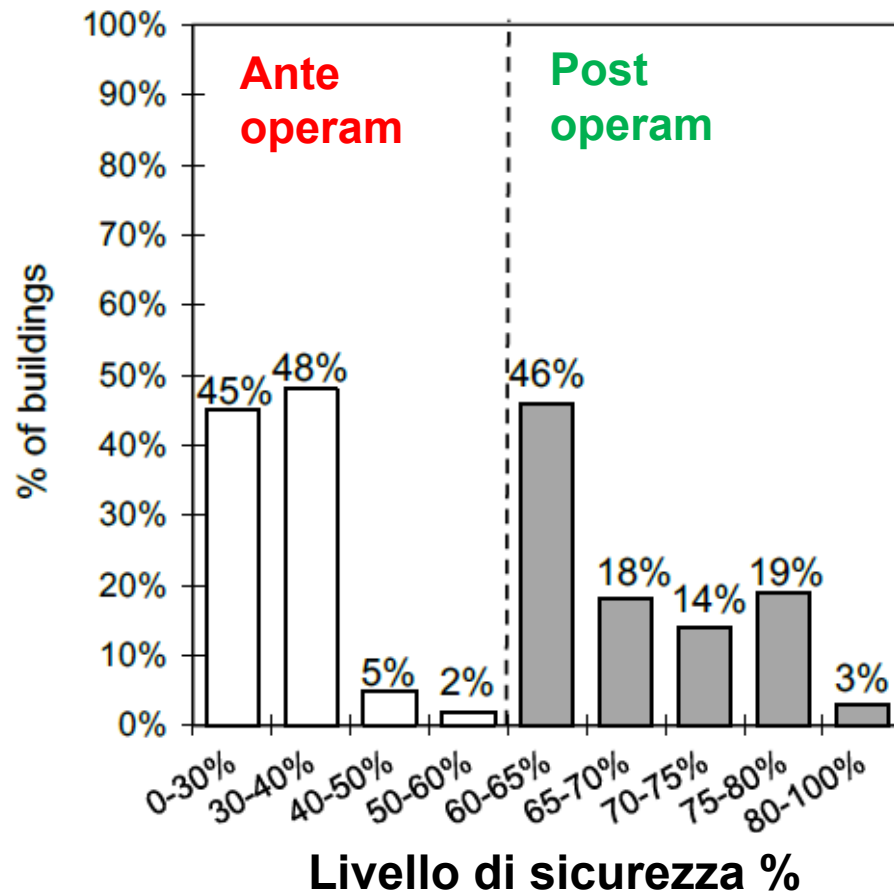
✓ Quasi sempre 2 o più tecniche sono state adottate in maniera combinate

# L'Aquila: la ricostruzione pesante

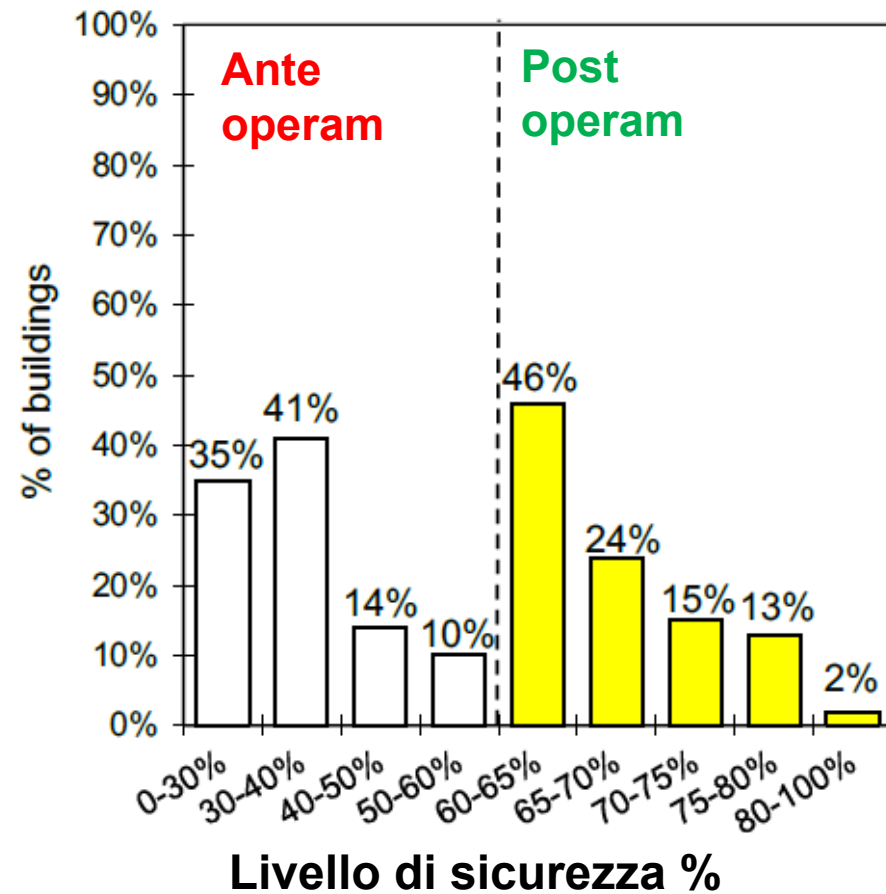
## ➤ RICOSTRUZIONE PESANTE

- Livello di sicurezza (SLV) ante e post operam:

Edifici in cemento armato



Edifici in muratura



**Incremento di 1% di livello di sicurezza  $\approx$  10€/m<sup>2</sup>**

# L'Aquila: la ricostruzione pesante

## ➤ 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%)
- Costo medio per le prove e l'ad. energetico: 69 €/mq (8%)
- Costo medio per le prove strutturali e geot: 9 €/mq (1%)

✓ Forte impulso all'innovazione

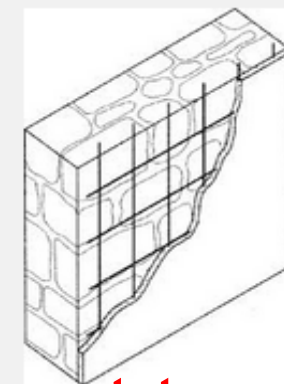


In 59 edifici sono stati adottati gli isolatori

Controventi: 25 edifici  
Controventi dissipativi: 7 edifici



Intonaco armato



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



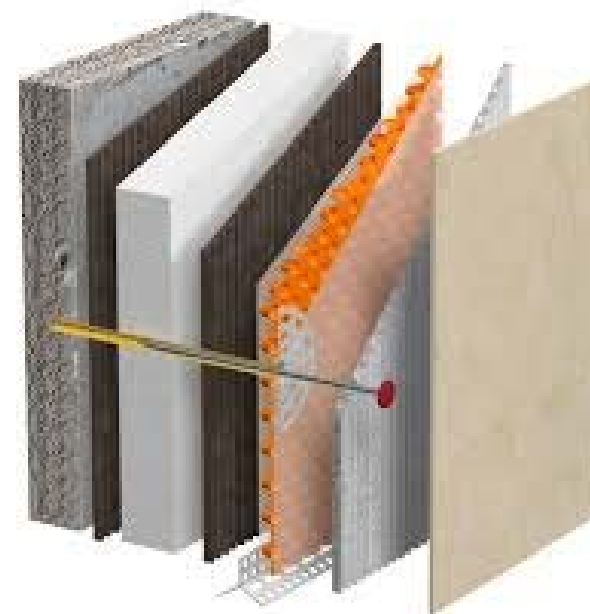
# L'Aquila: la ricostruzione pesante

## ➤ **RICOSTRUZIONE PESANTE**



Interventi di efficientamento energetico acquisiscono un ruolo fondamentale per il raggiungimento di target ambientali e per l'ottimizzazione della spesa energetica, **tuttavia aumentano il valore esposto del bene!!!**

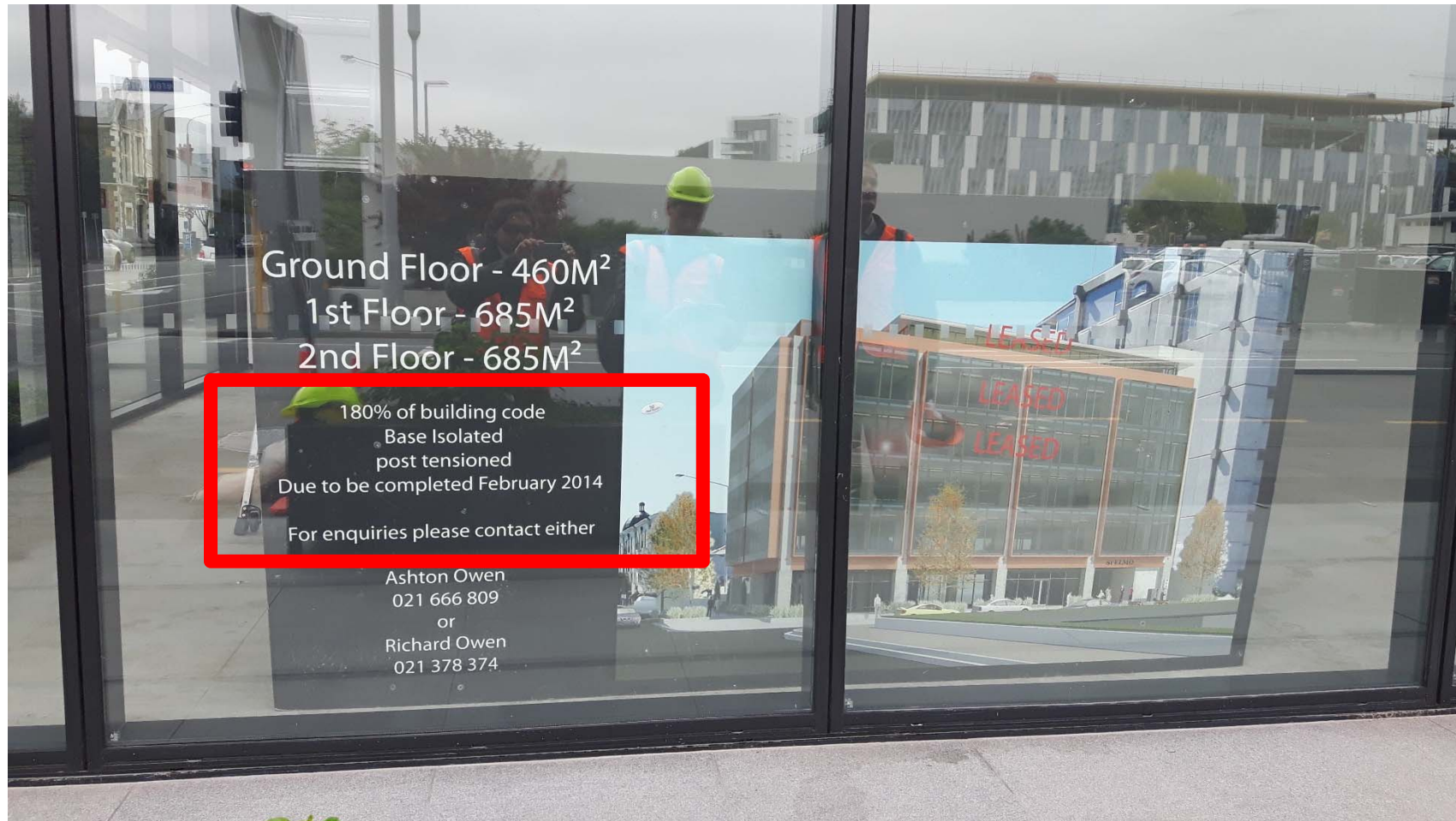
**Tali interventi vanno eseguiti in una ottica globale di mitigazione del rischio**



## Conclusioni

- Esistono oggi tecnologie di intervento, più o meno invasive, attraverso cui, con costi ragionevoli, specie se paragonati ai costi diretti ed indiretti da sostenersi a valle di un evento sismico, è possibile intervenire per incrementare il livello di sicurezza delle costruzioni esistenti (**incremento sicurezza SLV**);
- E' necessario coniugare interventi di rinforzo strutturale con interventi mirati a salvaguardare anche la funzionalità delle componenti non strutturali (**abbattimento perdite attese SLD**);
- Il perseguimento di tali obiettivi è inestricabilmente connesso ad una presa di coscienza ed una corretta percezione del rischio (**azioni sinergiche di informazione e prevenzione**)

# Conclusioni



- **Obiettivo:** trasformare in un prossimo futuro drammatiche stime di perdite post-sisma in analisi di investimenti di prevenzione del rischio sismico effettivamente eseguiti.