



Riparazione e rafforzamento sismico: tecniche e costi di intervento

Prof. MARCO DI LUDOVICO

University of Naples Federico II

Associate Professor

Department of Structures for Engineering and Architecture

Email: diludovi@unina.it



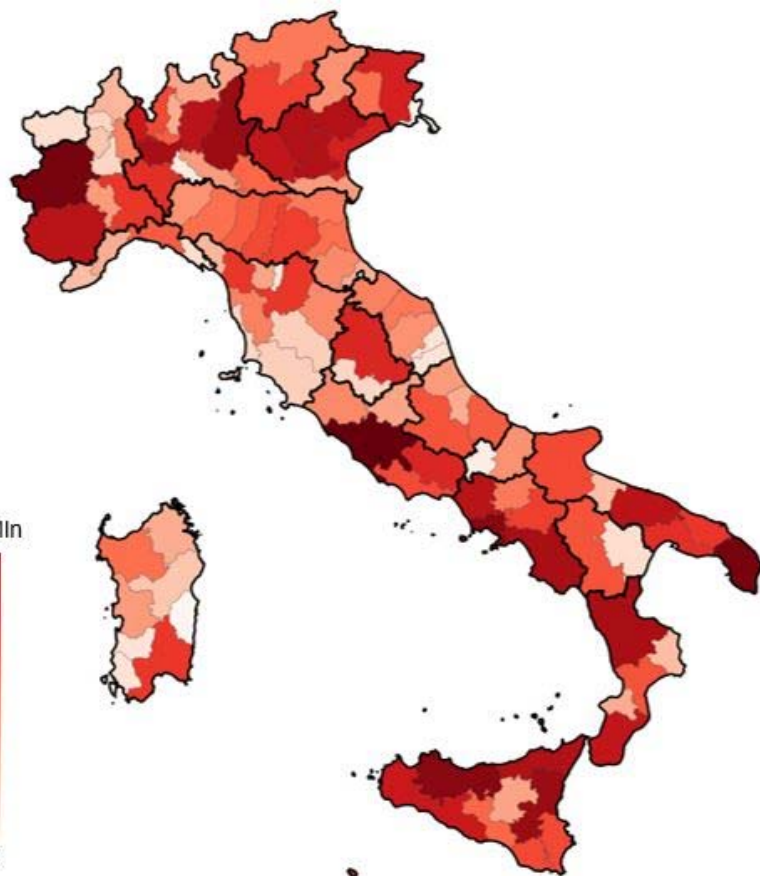
Palazzo San Giorgio, Trani

Lunedì 17 Febbraio 2020

IL PATRIMONIO COSTRUITO IN ITALIA

➤ Le Regioni Italiane

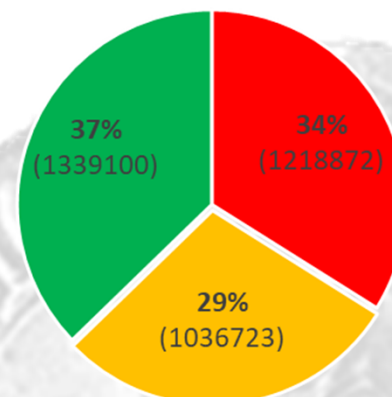
✓ Numero di edifici residenziali



- ☐ Italia: **circa 12.187.698 edifici residenziali**
- ☐ ..di cui: **3.594.695 c.a. (29%) e 6.975.977 muratura (57%)**

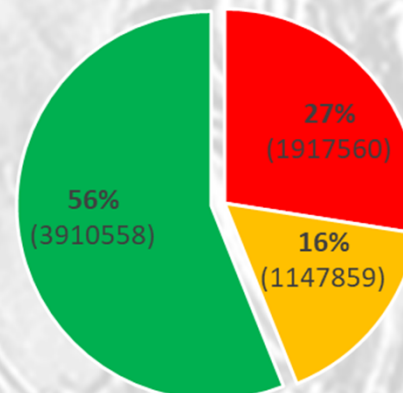
- ☐ in c.a.: **circa 1.218.872 (34%) più di 50 anni**
- ☐ in muratura: **circa 1.917.560 (27%) ante 1919**

❖ Cemento Armato



- Costruiti prima del 1970
- Costruiti dal 1971 al 1980
- Costruiti dal 1980 al 2011

❖ Muratura



- Costruiti prima del 1919
- Costruiti dal 1919 al 1945
- Costruiti dopo il 1945

LA PREVENZIONE MANCATA

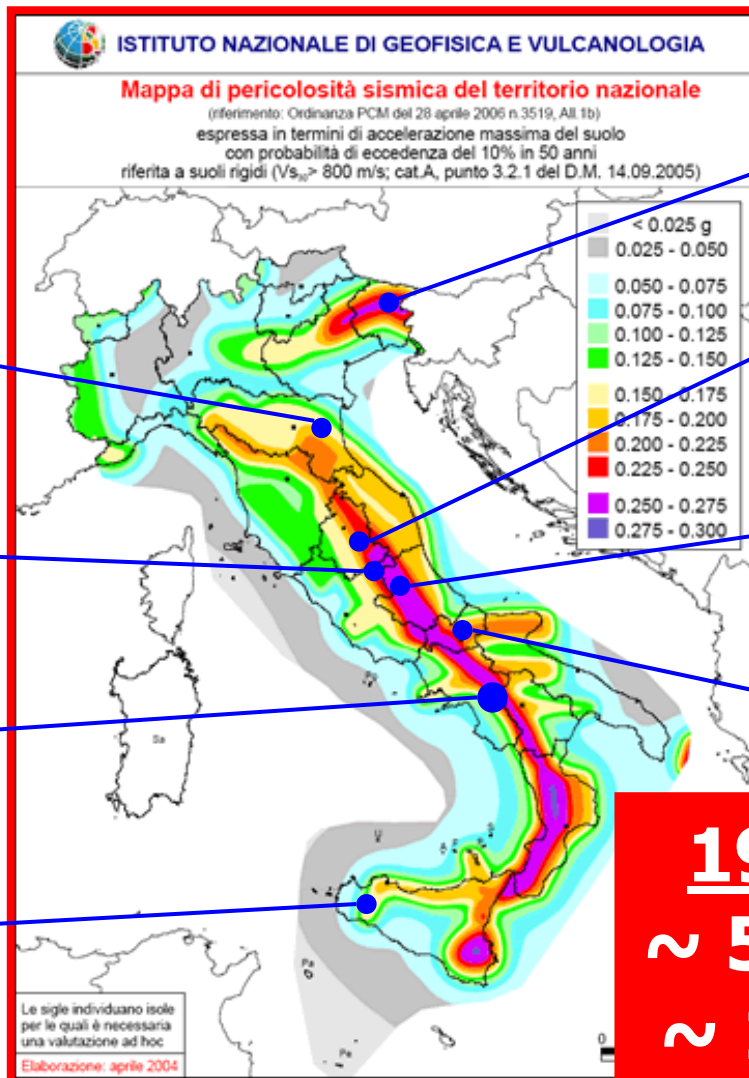
**Vittime e Costi
dei terremoti degli
ultimi 50 anni in
Italia**

EMILIA 2012
Mw 5.9
27 vittime, 13.300 M€

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

CAMPANIA-BASILICATA 1980
Mw 6.9
2700 vittime, 52.000 M€

BELICE 1968
Mw 6.1
296 vittime, 9.200 M€



FRIULI 1976
Mw 6.4
989 vittime, 18.500 M€

UMBRIA-MARCHE 1997
Mw 6.1
11 vittime, 13.400 M€

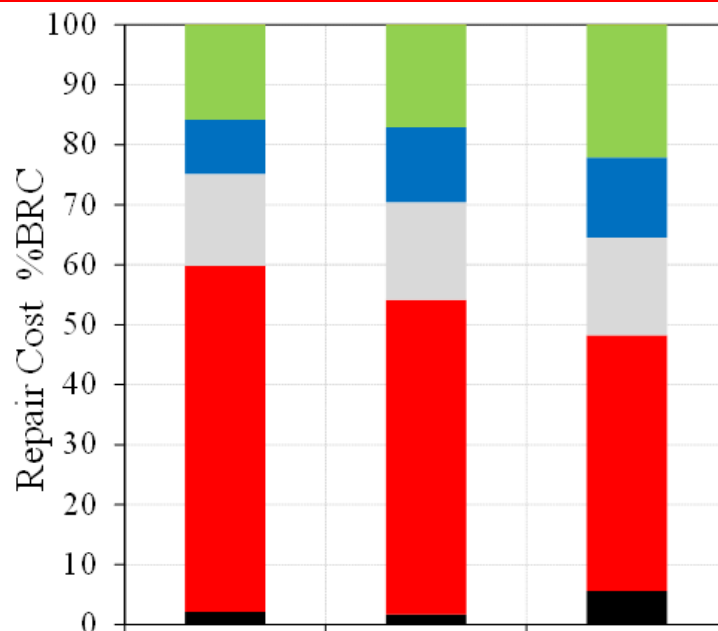
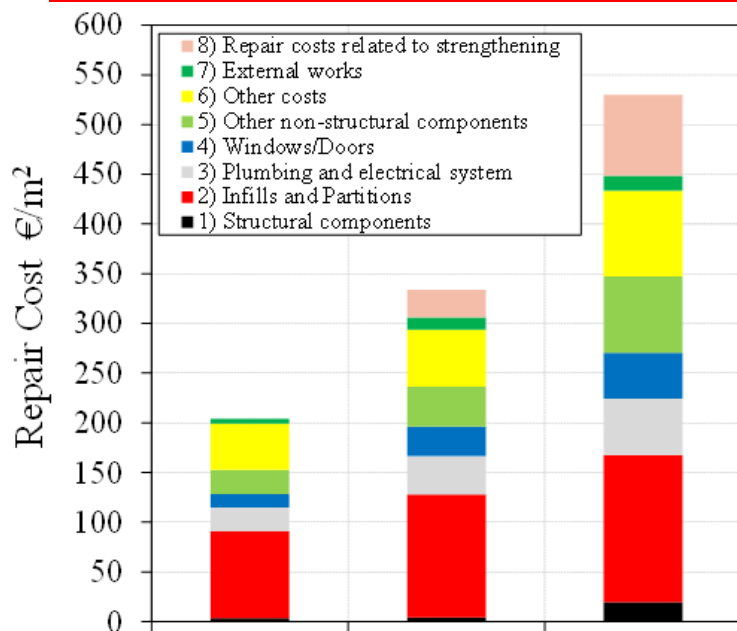
ABRUZZO 2009
Mw 6.3
309 vittime, 13.700 M€

MOLISE 2002
Mw 5.7
30 vittime, 1.400 M€

1968 – 2017
~ 5000 vittime
~ 150.000 M€

Courtesy of Prof. Angelo Masi

COSTI DI RIPARAZIONE SISMA L'AQUILA



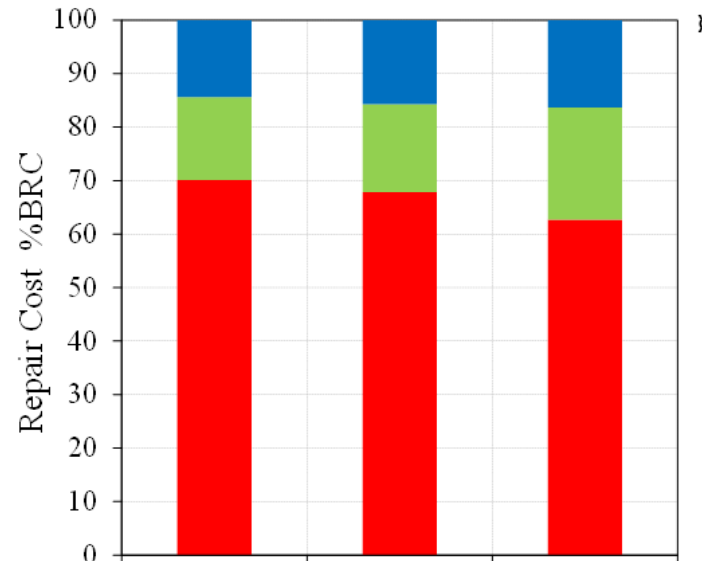
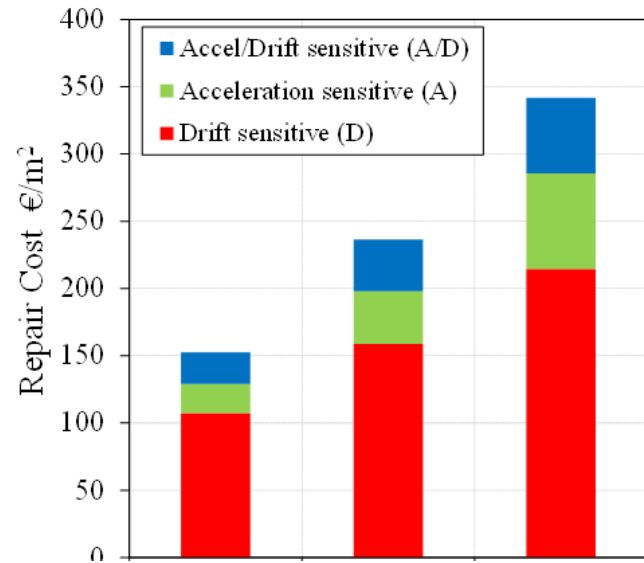
PE 2019-2021
DPC-ReLUIS

Danni leggeri Danni medi Danni severi Danni leggeri Danni medi Danni severi

- Strutture (2%-6%)**
- Tamponature/tramezzature (42%-58%)**
- Impianti (10%-12%)**
- Porte e finestre (7%-9%)**
- Altri elementi non strutturali (12%-15%)**

Edifici demoliti non inclusi nell'analisi

COSTI DI RIPARAZIONE SISMA L'AQUILA



PE 2019-2021
DPC-ReLUIS

Danni leggeri Danni medi Danni severi Danni leggeri Danni medi Danni severi

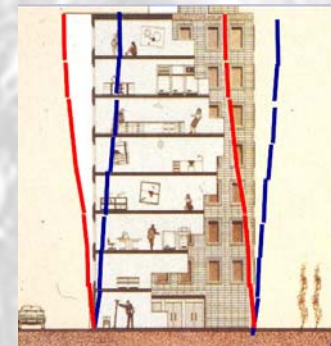
Drift Sensitive (63%-70%):

- Strutture, Tramezzi, porte e finestre, scale (FEMA P-58, 2012)



Acceleration Sensitive Components (15%-21%):

- coperture, ciminiere, piastrelle, sanitari, oggetti interni.



Riqualificazione energetica e.....

➤ Interventi eseguiti



DETRAZIONI FISCALI DEL 65%
PER LA RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA
DEL PATRIMONIO EDILIZIO ESISTENTE

AGENZIA NAZIONALE
EFFICIENZA ENERGETICA
ENEA

- Nel triennio 2014-2016 sono stati realizzati circa un **milione di interventi**
- Oltre **360.000 nel 2016**, richieste di detrazione fiscale del 65% per interventi di **riqualificazione energetica** del patrimonio immobiliare esistente
- Totale di oltre **3,3 miliardi di euro di investimenti attivati** (fonte ENEA 2017)

Riqualificazione energetica e.....

➤ Interventi attivati in M€

Tabella 3.2 - Investimenti attivati per comma (M€), anni 2014-2016

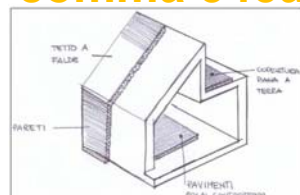
Anno	2014		2015		2016		Totale		INVESTIMENTI 2016 (M€)
	M€	%	M€	%	M€	%	n.	%	
Comma 344	283,3	9,2%	275,6	8,9%	303,9	9,2%	862,9	9,1%	
Comma 345a	861,3	28,1%	776,1	25,1%	764,2	23,1%	2.401,6	25,4%	
Comma 345b	1.345,5	43,9%	1.296,0	42,0%	1.355,5	41,0%	3.997,0	42,2%	
Comma 345c			100,4	3,2%	148,4	4,5%	248,8	2,6%	
Comma 346	99,9	3,3%	66,3	2,1%	56,4	1,7%	222,6	2,4%	
Comma 347	476,4	15,5%	574,0	18,6%	611,3	18,6%	1.721,3	18,2%	
B.A.							9,2	0,1%	
Totale	3.066,4	100%	3.088,2	100%	3.088,2	100%	9.463,3	100%	

Fonte: ENEA

comma 344



comma 345a



comma 346



comma 345b



comma 347



comma 345c



Tabella 3.2 - b

Anno	Totale	
Comma	n.	%
comma 344	862,9	9,1%
comma 345a	2.401,6	25,4%
comma 345b	3.997,0	42,2%
comma 345c	248,8	2,6%
comma 346	222,6	2,4%
comma 347	1.721,3	18,2%
B.A.	9,2	0,1%
Totale	9.463,3	100%

Fonte: ENEA

Rafforzamento sismico & efficientamento energetico

➤ Investimenti?



AUMENTO DEL VALORE
ESPOSTO

Terremoto Italia Centrale 2016

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

AGGIORNAMENTO NORMATIVO

.....NTC 2018 – Circolare Esplicativa....

Supplemento ordinario alla "Gazzetta Ufficiale", n. 43 del 20 febbraio 2018 - Serie generale

Opus. abb. post. - art. 1, comma 1
Legge 741-2014 n. 96 - Filatelidatura

GAZZETTA UFFICIALE
DELLA REPUBBLICA ITALIANA

PARTI PRIMA

Roma - Martedì, 20 febbraio 2018

SI PUBBLICA TUTTI I
GIORNI NON FESTIVI

DIREZIONE E REDAZIONE PRESSO IL MINISTERO DELLA GIUSTIZIA - UFFICIO PUBBLICAZIONE LEGGI E DECRETI - VIA SRENIOLA, 10 - 00187 ROMA
AMMINISTRAZIONE PRESSO L'ISTITUTO POLIGRAFICO E ZECCA DELLO STATO - VIA SALERNA, 691 - 00187 ROMA - CENTRALINO 06/55081 - UFFICIO DELLO STATO
PUBBLICAZIONE PRESSO: VIA SRENIOLA, 10 - 00187 ROMA

N. 8

MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE
E DEI TRASPORTI

DECRETO 17 gennaio 2018.

Aggiornamento delle «Norme tecniche per
le costruzioni».



Supplemento ordinario alla "Gazzetta Ufficiale", n. 95 del 11 febbraio 2019 - Serie generale

Opus. abb. post. - art. 1, comma 1
Legge 741-2014 n. 96 - Filatelidatura

GAZZETTA UFFICIALE
DELLA REPUBBLICA ITALIANA

PARTI PRIMA

Roma - Lunedì, 11 febbraio 2019

SI PUBBLICA TUTTI I
GIORNI NON FESTIVI

DIREZIONE E REDAZIONE PRESSO IL MINISTERO DELLA GIUSTIZIA - UFFICIO PUBBLICAZIONE LEGGI E DECRETI - VIA SRENIOLA, 10 - 00187 ROMA
AMMINISTRAZIONE PRESSO L'ISTITUTO POLIGRAFICO E ZECCA DELLO STATO - VIA SALERNA, 691 - 00187 ROMA - CENTRALINO 06/55081 - UFFICIO DELLO STATO
PUBBLICAZIONE PRESSO: VIA SRENIOLA, 10 - 00187 ROMA

N. 5

MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE
E DEI TRASPORTI

CIRCOLARE 21 gennaio 2019, n. 7 C.S.LL.PP.

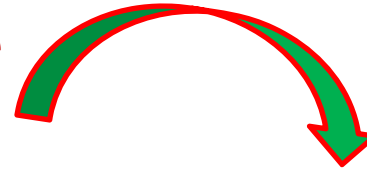
Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento
delle "Norme tecniche per le costruzioni"» di cui al de-
creto ministeriale 17 gennaio 2018.



NTC 2018 VS. 2008

.....NTC 2018 – Verifiche elementi strutturali e non strutturali....

➤ Edifici di nuova progettazione



© Rebus 2009
www.rebus.it

NTC 2018 VS. 2008

.....NTC 2018 – Verifiche elementi strutturali e non strutturali....

➤ Edifici di nuova progettazione

ST

RIG = Rigidezza
RES = Resistenza
DUT = Duttilità

NS

STA = Stabilità

IM

FUN = Funzionamento
STA = Stabilità

SICUREZZA

FRUIBILITA'

FUNZIONALITA'



NTC 2018 VS. 2008

.....e gli edifici esistenti come rispondono a questi requisiti?



Degrado dei materiali...



Incipiente collasso del camino

Effetto azioni da sisma...

Verifiche statiche...Verifiche sismiche

NTC 2018 VS. 2008

.....NTC 2018 – Verifiche elementi strutturali e non strutturali....

➤ Edifici di nuova progettazione

ST

RIG = Rigidezza
RES = Resistenza
DUT = Duttilità

NS

STA = Stabilità

IM

FUN = Funzionamento
STA = Stabilità

SICUREZZA

FRUIBILITA'

FUNZIONALITA'

➤ Edifici esistenti

**DISSESTI, AZIONI DEL TEMPO,
CRITICITA' DOVUTE A MODIFICHE**

Verifiche statiche...

Febbraio 2017, nasce il

SISMABONUS

D.M. 58 – 28/02/2017

SICUREZZA

FRUIBILITA'

FUNZIONALITA'

Verifiche sismiche...E SISMABONUS

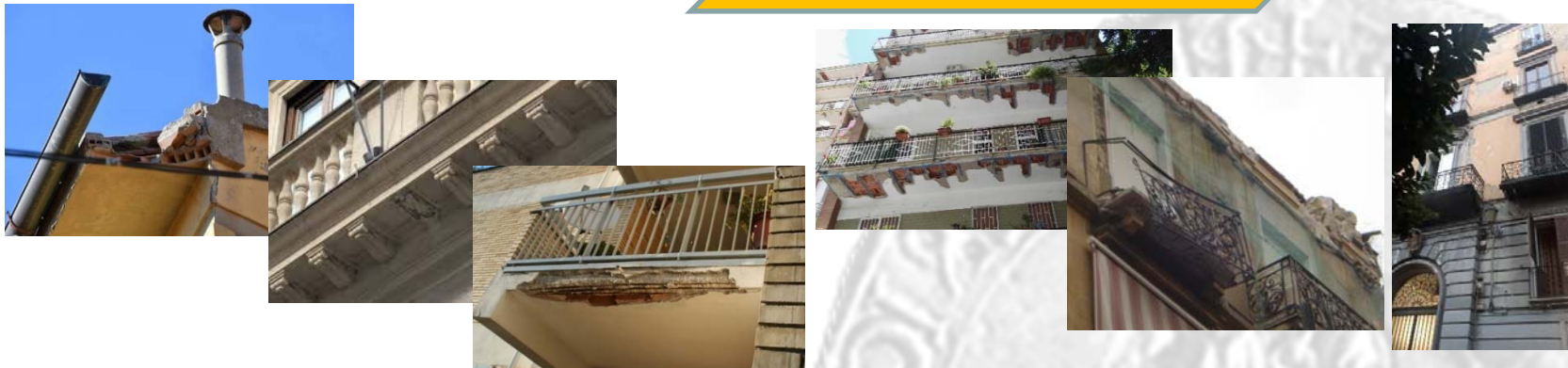
DISSESTI – AZIONI DEL TEMPO

➤ Dissesto, azione del tempo

✓ **Catalogazione tipologie di dissesti e diagnostica**

Elementi non Strutturali

Elementi Strutturali



Fasce di coronamento

- **Cornicioni, marcapiano**

Frontoni, fregi ed elementi decorativi delle aperture

Decorazioni in stucco

Rivestimenti

Balconi

Muri portanti

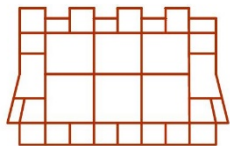
Il fenomeno dello «sfondellamento»

- Degrado dei solai in c.a. gettati in opera

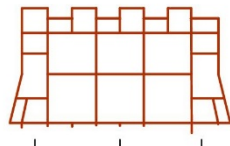
Il fenomeno di "sfondellamento" di solai latero-cementizi comporta la caduta di porzioni significative di intonaco e di laterizio dall'intradosso



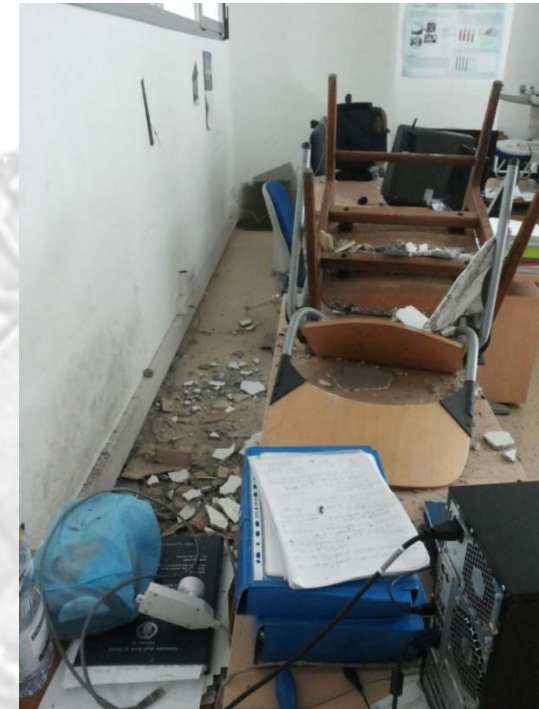
PIGNATTA DI LATERIZIO
DI UN SOLAIO INTEGRA
NON SFONDELLATA



PIGNATTA DI LATERIZIO
DI UN SOLAIO
SFONDELLATA



CROLLO



Edifici scolastici in Italia:

- 33.825 di cui il 55% costruito prima del 1976
- Più di 60 casi di sfondellamento registrati negli edifici scolastici nel 2015-2016

Il fenomeno dello «sfondellamento»



Ancoraggio meccanico
mediante tasselli



Rete in fibra di vetro +
Malta fibrorinforzata a presa
rapida per strato di livellamento



- Applicazione rete in
fibra di vetro
antisfondellamento



- Trattamento
- Ripristino travetti, se necessario

DISSESTI – AZIONI DEL TEMPO

➤ Facciate degli edifici esistenti

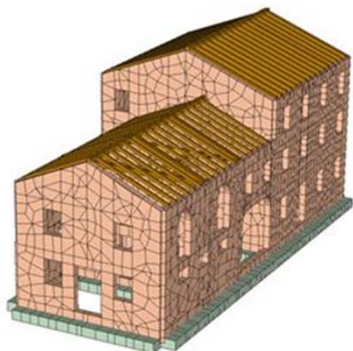
❑ Fasce di coronamento



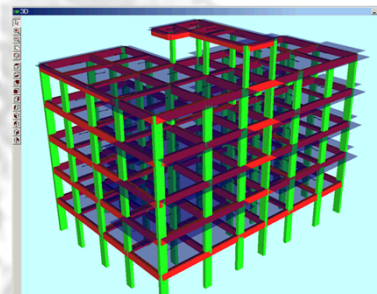
❑ Frontoni, fregi ed elementi decorativi delle aperture



Edifici in MURATURA



Edifici in CEMENTO ARMATO

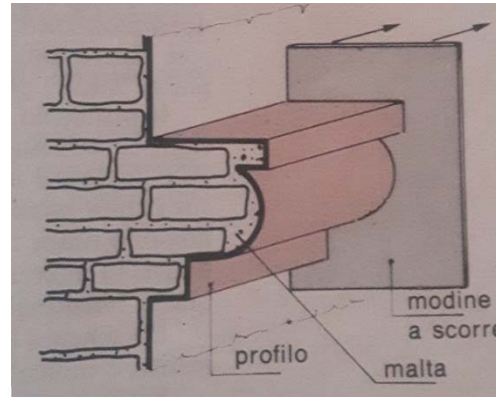
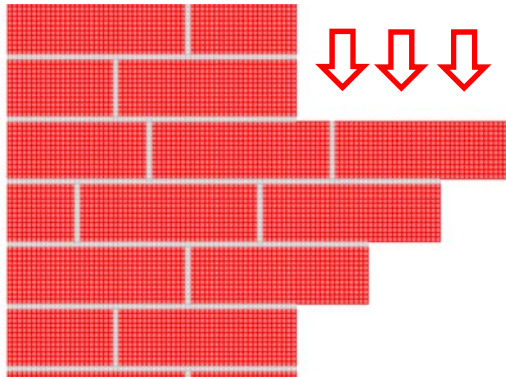


❑ Balconi



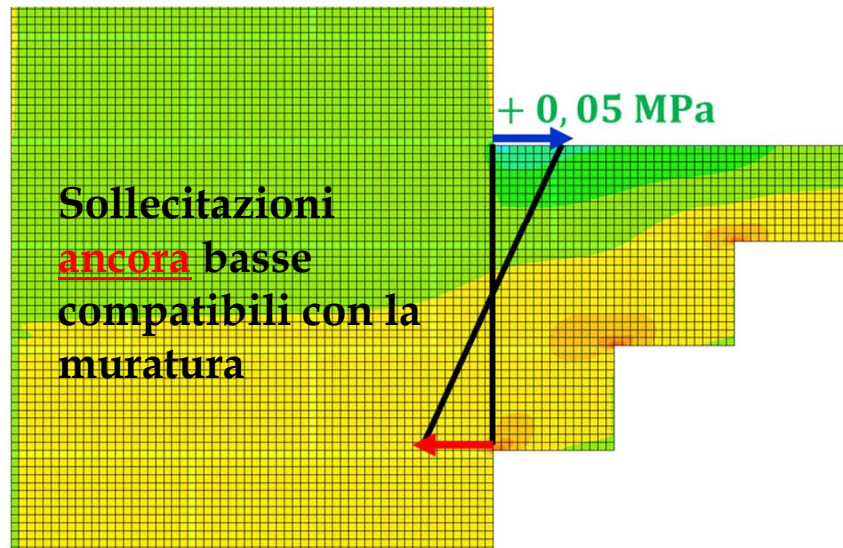
DISSESTI – AZIONI DEL TEMPO

Crollo dei cornicioni in muratura



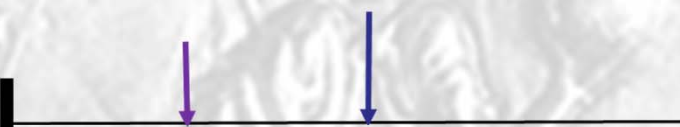
Peso proprio:

tensioni orizzontali (valori in MPa)



Muratura di tufo:

- Blocco: $37 \times 25 \times 12 \text{ cm}^3$
- Giunto di malta: $\approx 1 \text{ cm}$



$$Msd = P \cdot xg + R \cdot \frac{ls}{2} = 0,08 + 0,24 = 0,32 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{max} = \frac{Msd}{\frac{bh^2}{6}} = \frac{0,32}{\frac{0,25 \cdot 0,38^2}{6}} = 0,054 \text{ MPa}$$

-0,15 MPa compr.

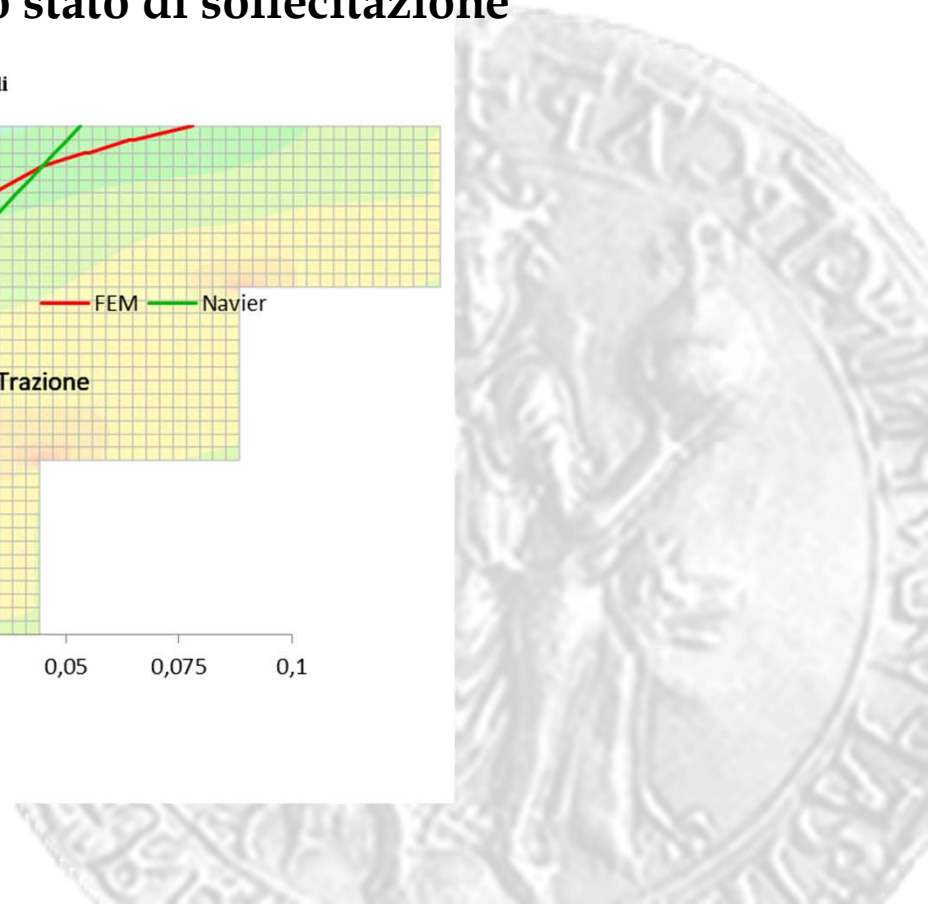
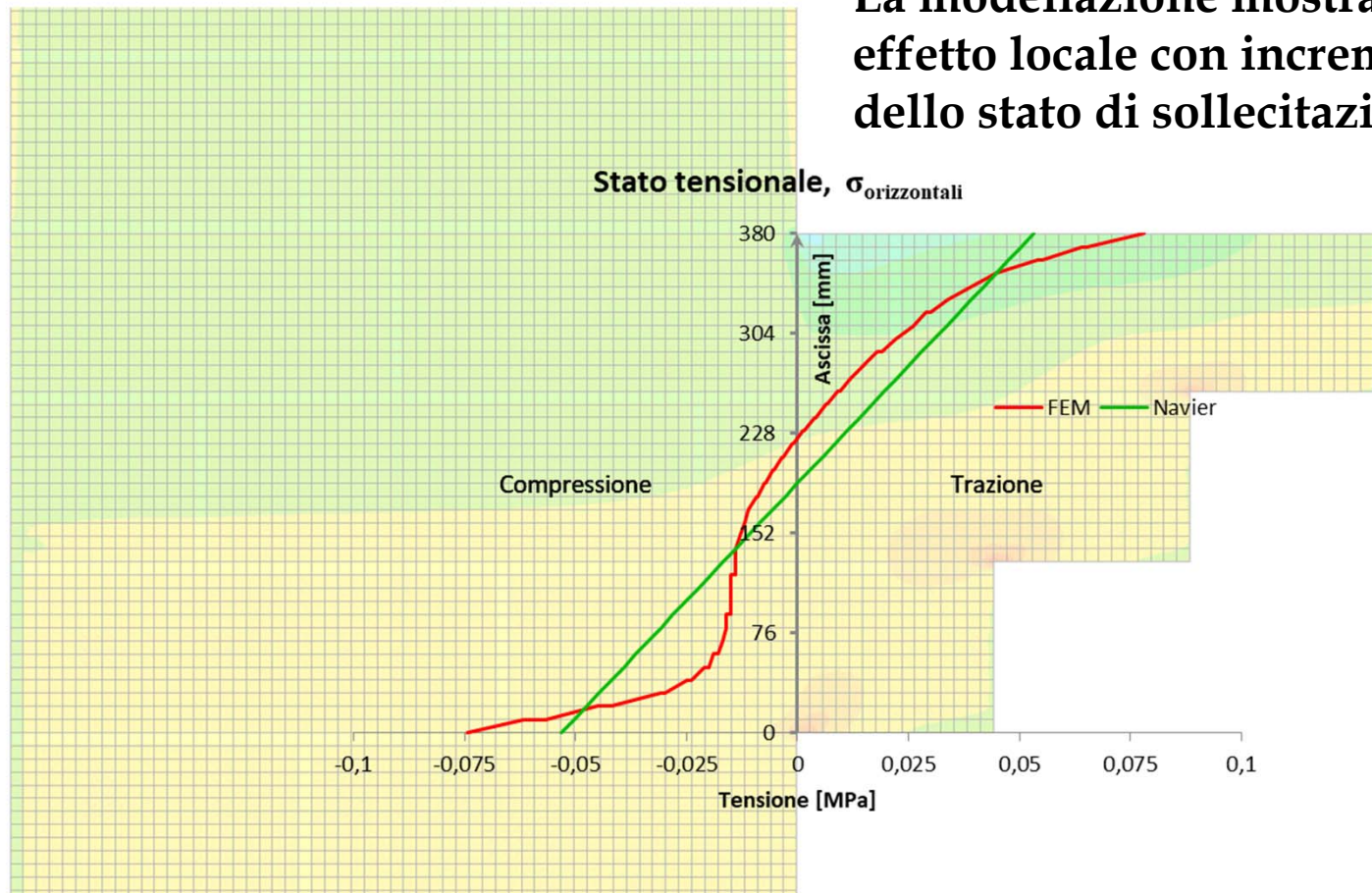
DISSESTI – AZIONI DEL TEMPO

Crollo dei cornicioni in muratura

Confronto Navier/FEM:

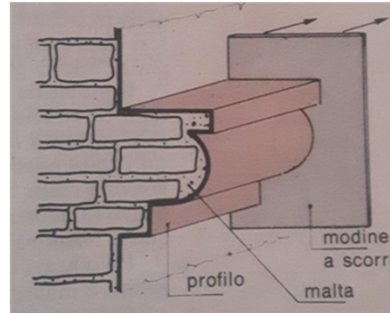
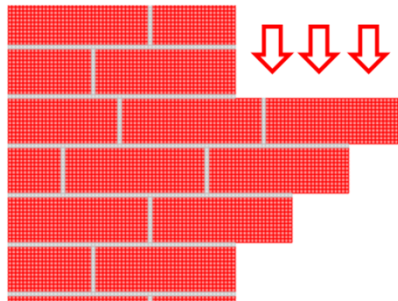
tensioni orizzontali (valori in MPa)

La modellazione mostra un effetto locale con incremento dello stato di sollecitazione



DISSESTI – AZIONI DEL TEMPO

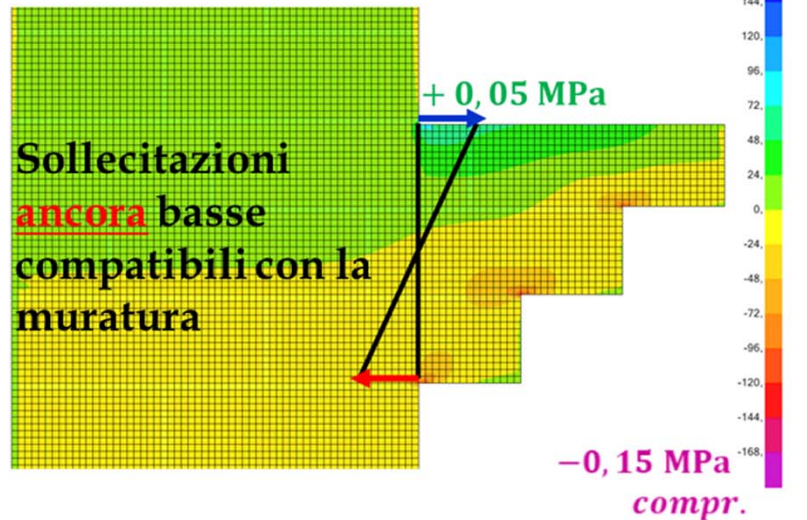
Crollo dei cornicioni in muratura



...cosa accade per effetto di vegetazione spontanea?

Peso proprio:

tensioni orizzontali (valori in MPa)



Peso proprio+apertura fessura 0,5mm:

tensioni principali di trazione (valori in MPa)



IL PROGETTO DELL'INTERVENTO

➤ INTERVENTI

➤ Conoscenza (diagnostica) e soluzioni tecniche

❑ Fasce di coronamento

ALCUNI ESEMPI DI INTERVENTI

Elementi non Strutturali

Il rinforzo può avvenire anche attraverso l'inserimento di barre elicoidali in **acciaio inox** ad altissima resistenza, da applicarsi "a secco"



Connessioni in acciaio inox



*Restauro della Chiesa di Santa Maria delle Convertite
Spagnole, Napoli – Cortesia Ing. PAOLA MARONE*

Altre situazioni critiche

C8.2 CRITERI GENERALI

..... Attenzione deve essere, dedicata alla individuazione, per quanto possibile, di **situazioni critiche locali** e al loro conseguente effetto sulle verifiche. Esempi tipici sono la presenza e la realizzazione di **cavedi, nicchie, canne fumarie, aperture in breccia,**

❑ Apertura vani



❑ Balconi



❑ Solai in legno



SISMABONUS: LEGGE BILANCIO 2017



Governo Italiano
Presidenza del Consiglio dei Ministri

Il Presidente

Il Governo

Sisma bonus, le novità nella Legge di Bilancio 2017

Prorogata fino al 31 dicembre 2021 la detrazione per gli interventi di

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti



Ministero delle
Infrastrutture e dei
Trasporti

Al via la classificazione del Rischio Sismico delle costruzioni per prevenzione e Sismabonus

Articolo 1, comma 2, lettera c) L. Stabilità 2017

Roma, 28 febbraio 2017

Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici

LINEE GUIDA PER L'ATTRIBUZIONE DELLA CLASSE DI RISCHIO SISMICO

(Legge di Stabilità 2017, « SISMABONUS»)

***Approvate dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici il 20 febbraio
2017, Presidente Massimo SESSA;***

DM del Ministro Delrio il 28 febbraio 2017 (e 7 marzo 2017)

SISMABONUS: LEGGE BILANCIO 2018



Governo Italiano
Presidenza del Consiglio dei Ministri

Legge di Bilancio 2018

È in vigore dal 1° gennaio la Legge di Bilancio 2018, Bilancio di previsione dello Stato per l'anno finanziario 2018 e bilancio pluriennale per il triennio 2018-2020 (L. 27 dicembre 2017, n. 205 pubblicata nella G.U. n.302 del 29/12/2017).

27 dicembre 2017

AGEVOLAZIONI PER LA CASA

- Sono prorogate al 31 dicembre 2018 le **detrazioni per interventi di ristrutturazione edilizia**, per l'acquisto di mobili ed elettrodomestici (**bonus mobili**) e, con alcune novità, quelle per l'efficientamento energetico degli edifici (**ecobonus**).
- Per le spese relative agli **interventi finalizzati congiuntamente alla riduzione del rischio sismico e alla riqualificazione energetica**, effettuati su parti comuni di edifici condominiali nelle zone sismiche 1, 2 e 3, in alternativa alle detrazioni previste dall'ecobonus e dal sisma bonus, si può usufruire di una detrazione dell'80% o dell'85% se gli interventi adottati comportano una riduzione del rischio sismico rispettivamente di una o due classi.

Il relativo disegno di legge, approvato dal [Consiglio dei Ministri del 16 ottobre 2017](#), è stato presentato dal Presidente Gentiloni e dal Ministro dell'Economia Padoan nel corso della successiva [conferenza stampa](#).

Sisma&Eco Bonus
Zone sismiche 1,2,3
Detrazione 80% - 85%
(riduzione di una o più classi di rischio sismico) per interventi su parti comuni di edifici condominiali

importo massimo di 136 mila euro di spesa per ciascuna unità immobiliare

e...2020 Bonus Facciate...

SISMABONUS: LEGGE BILANCIO 2017

Febbraio 2017, nasce il

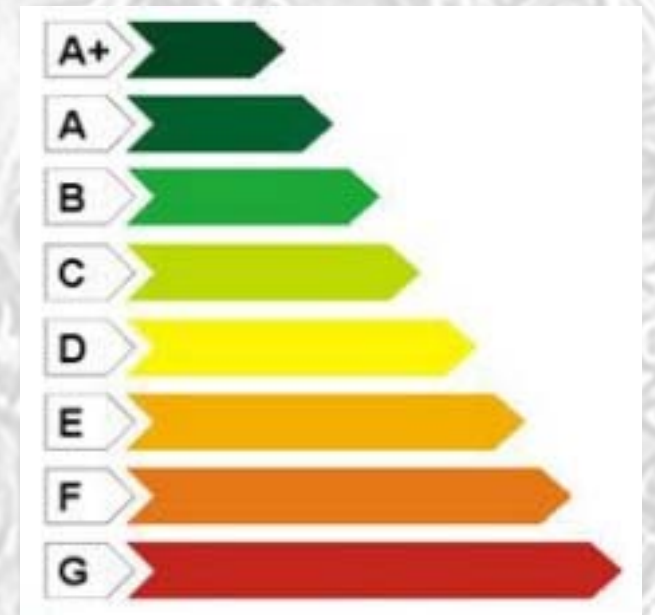
SISMABONUS

D.M. 58 – 28/02/2017

- Incentivi fiscali per interventi di rafforzamento sismico

LINEE GUIDA PER L'ATTRIBUZIONE DELLA CLASSE DI RISCHIO SISMICO

- Definizione classe di rischio (da **A+** a **G**)
- Valutazione incremento di classe a seguito di interventi
- Metodo semplificato e metodo convenzionale per determinazione classe



CLASSI DI RISCHIO

➤ Come si calcola la classe di rischio?

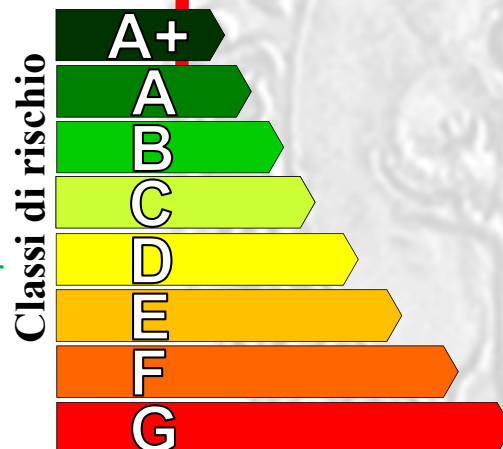
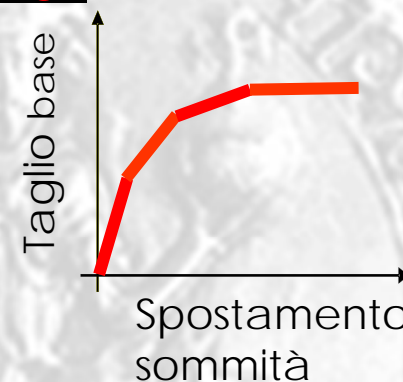
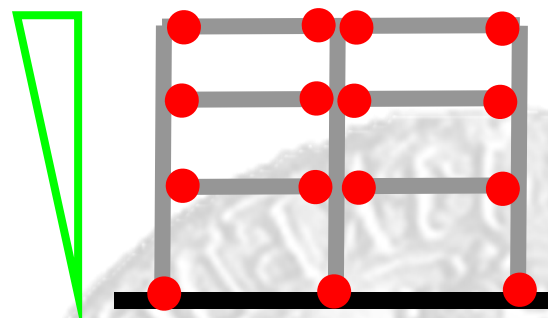
Classe minima tra quella relativa a:

Analisi delle perdite attese



**Calcolo Perdita Annua
Media Attesa: PAM
Classe PAM**

Indice di sicurezza



**Calcolo sicurezza
allo SLV
Classe IS-V**

CLASSI DI RISCHIO

➤ Come si calcola la classe di rischio?

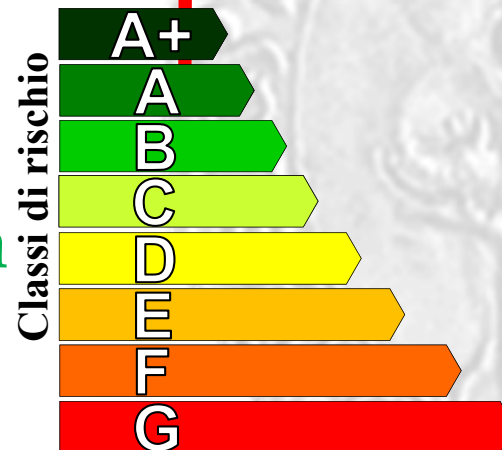
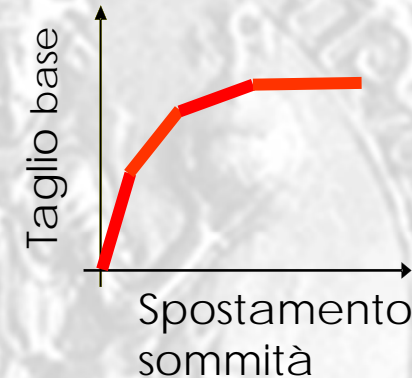
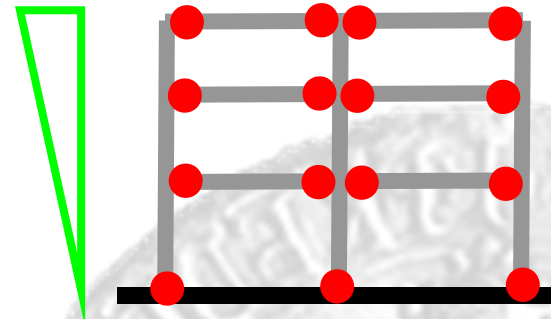
Classe minima tra quella relativa a:

Analisi delle perdite attese



**Calcolo Perdita Annua
Media Attesa: PAM
Classe PAM**

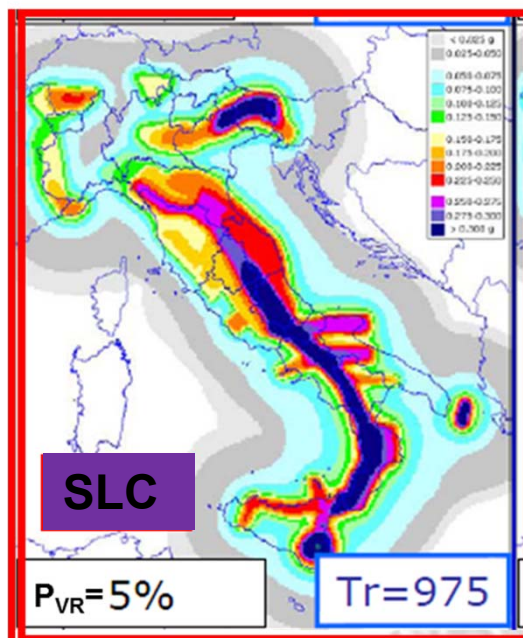
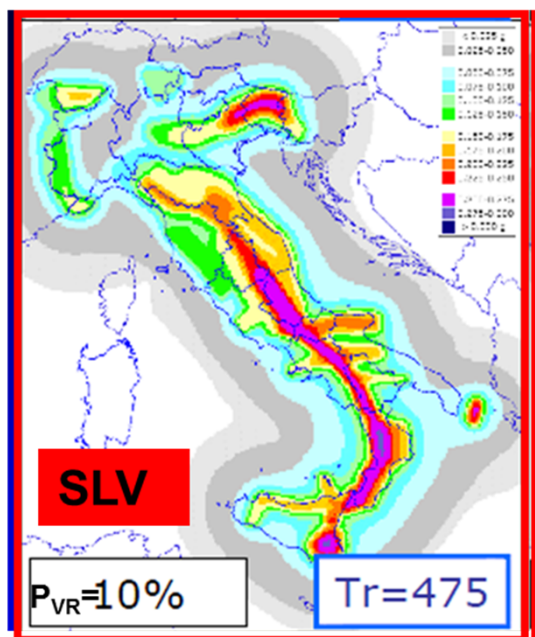
Indice di sicurezza



**Calcolo sicurezza
allo SLV
Classe IS-V**

AZIONE SISMICA – Spettro Elastico

* $V_R = 50$ anni per edifici ordinari di classe II ($V_N=50$; $C_u=1$)



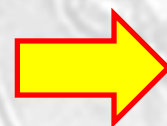
P_{VR} Probabilità di superamento nel periodo di riferimento

T_R Periodo di ritorno dell'azione sismica

New

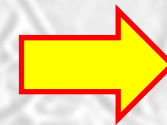
$\lambda =$ frequenza media annua di superamento ($1/T_R$)

SLV $P_{VR} = 10\%$ $T_R = 475$ anni



$\lambda = 0,21\%$

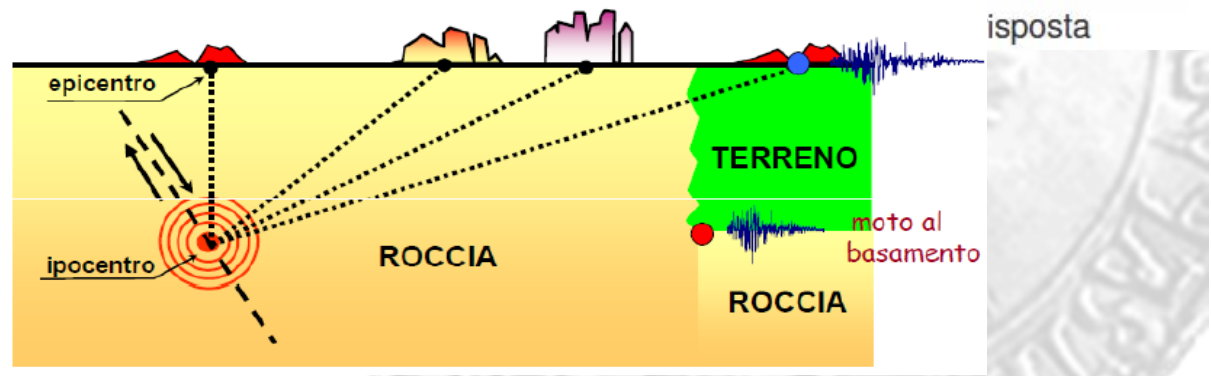
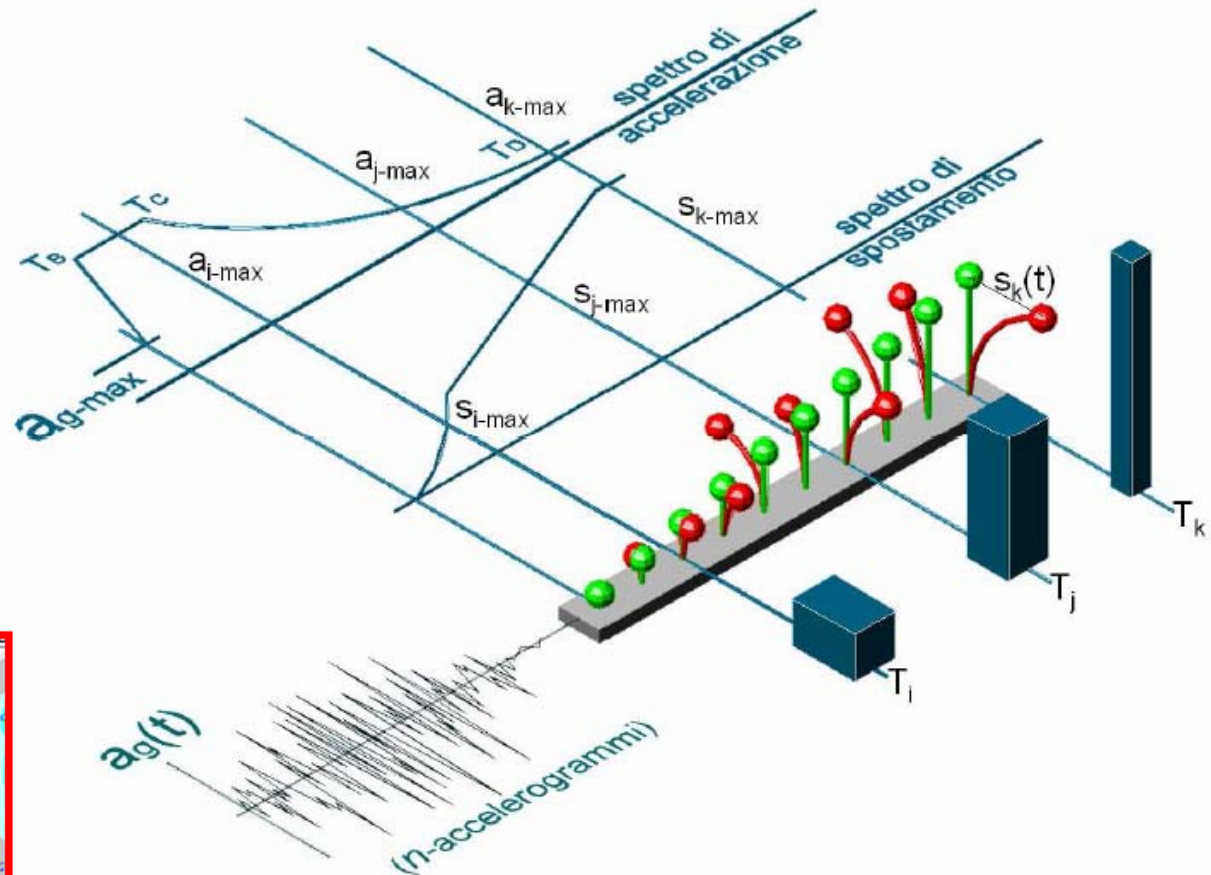
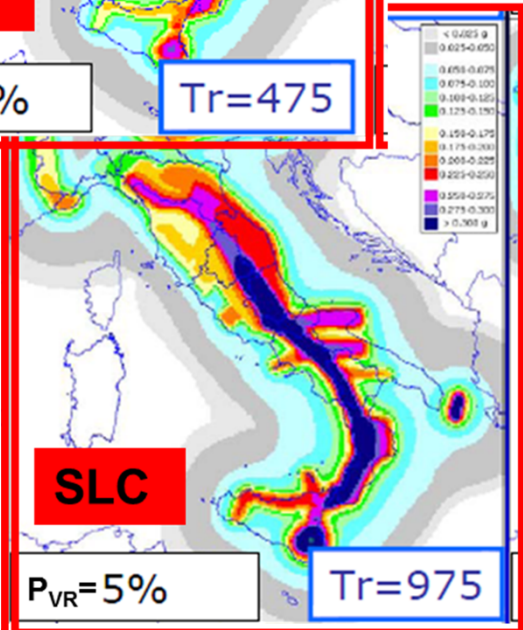
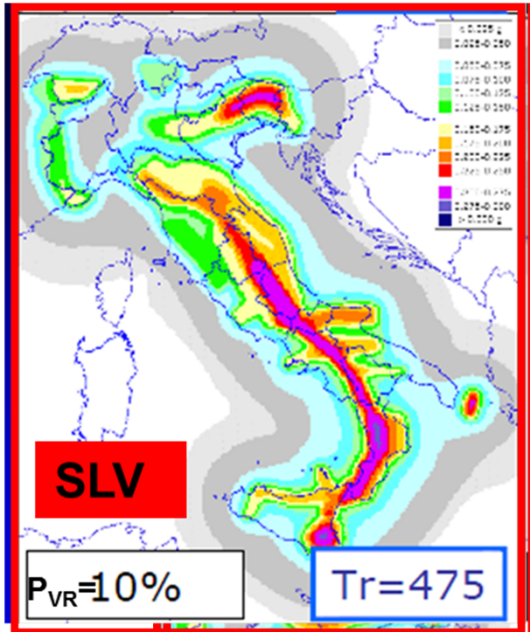
SLC $P_{VR} = 5\%$ $T_R = 975$ anni



$\lambda = 0,10\%$

AZIONE SISMICA – Spettro Elastico

* $V_R = 50$ anni per edifici ordinari di classe II ($V_N=50$; $C_u=1$)



CLASSI DI RISCHIO

➤ Come si calcola la classe di rischio?

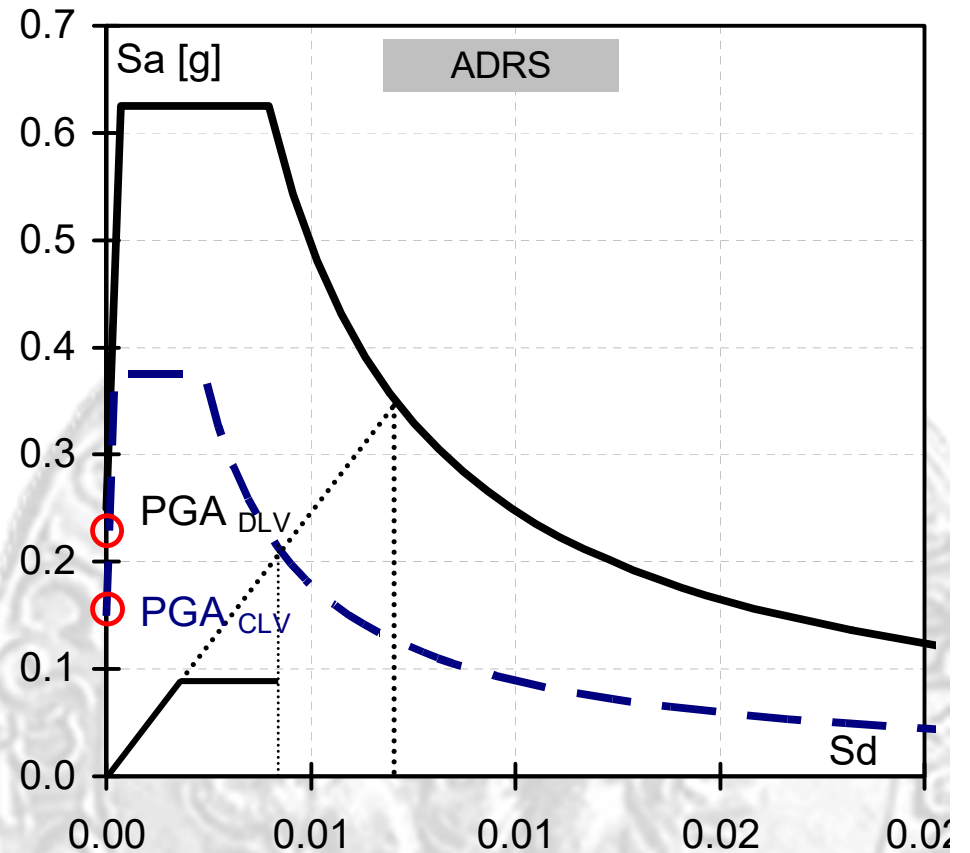
Indice di sicurezza

Calcolo sicurezza allo SLV
Classe IS-V

$$IS-V = \frac{PGA_{CLV}}{PGA_{DLV}}$$

PGA_{DLV} = accelerazione orizzontale massima su sito di riferimento che ha una probabilità di essere superato pari al 10% ($P_{vr}=10\%$) in un tempo pari al periodo di riferimento dell'opera (SLV)

PGA_{CLV} = accelerazione orizzontale massima su sito di riferimento che può essere sostenuta dalla struttura senza attingere meccanismi di crisi



CLASSI DI RISCHIO

➤ Come si calcola la classe di rischio?

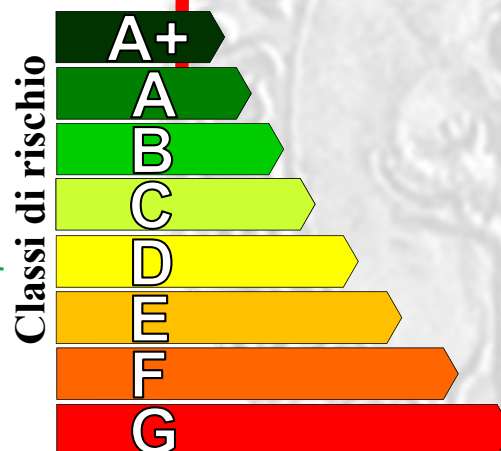
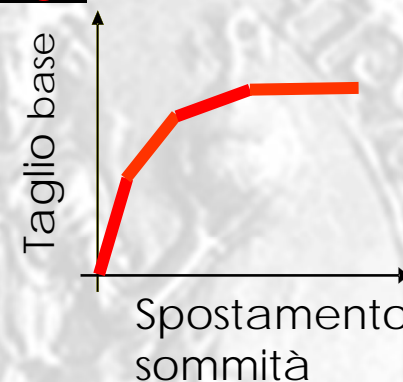
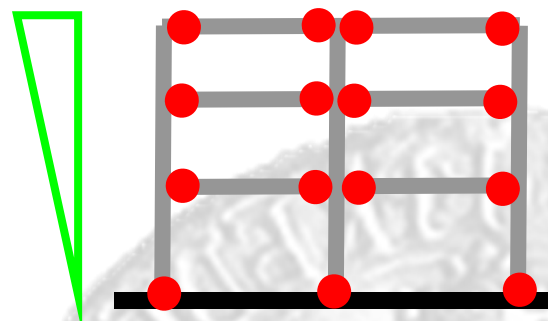
Classe minima tra quella relativa a:

Analisi delle perdite attese



**Calcolo Perdita Annua
Media Attesa: PAM
Classe PAM**

Indice di sicurezza



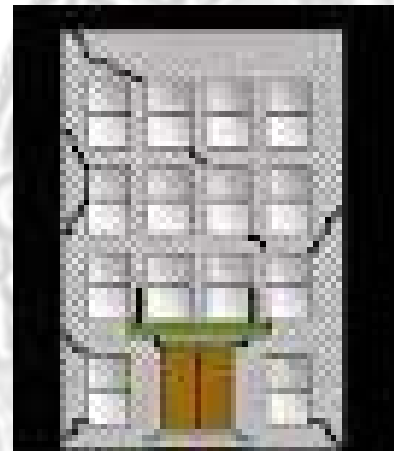
**Calcolo sicurezza
allo SLV
Classe IS-V**

INTRODUZIONE - STATI LIMITE

➤ Cosa cambia rispetto alla valutazione della sicurezza di un edificio esistente?

Definizione Stati Limite NTC (2008) – Edificio residenziale ($V_R=50$ anni)

Stato Limite	Evento	P_{VR}	V_R (anni)	T_R (anni)	λ (%)
		Probabilità di superamento	Periodo di riferimento	Periodo di ritorno	Frequenza media annua di superamento
SLU	Salvaguardia vita (SLV)	10%	50	475	0.21
		5%	50	975	0.10



(SLV)

Raro

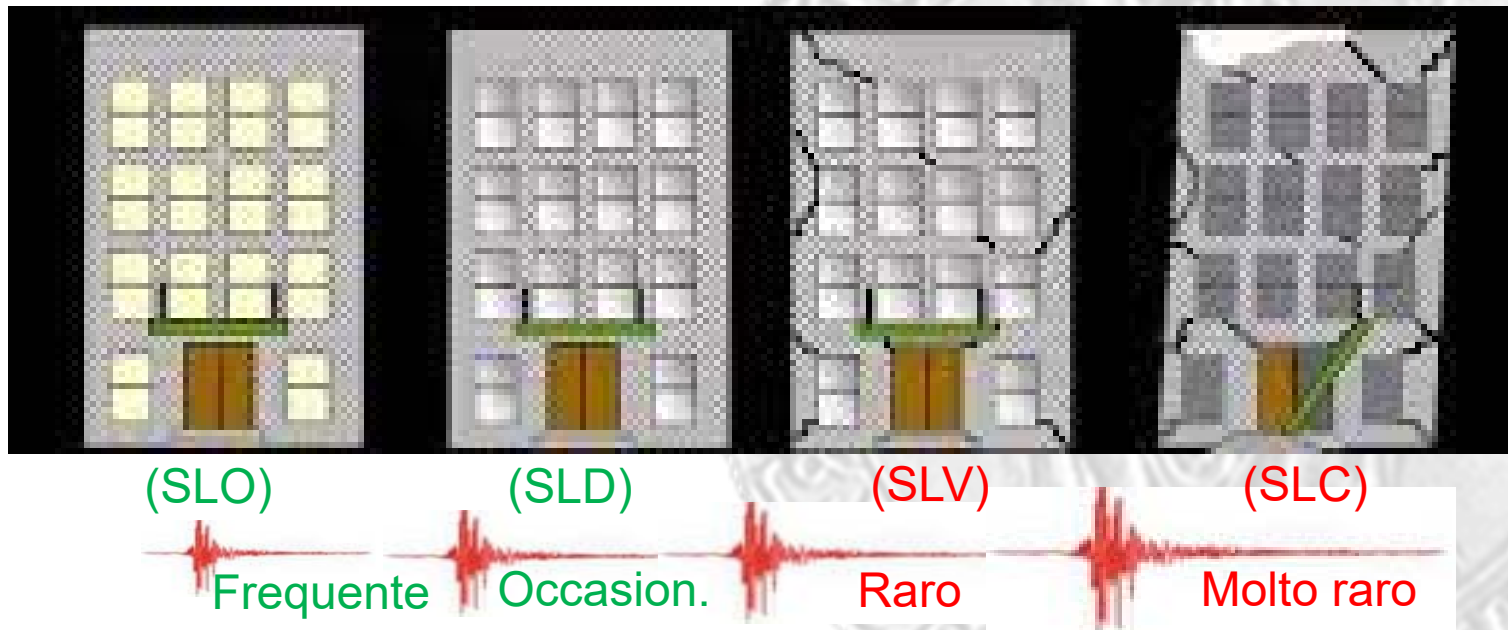


INTRODUZIONE - STATI LIMITE

- Cosa cambia rispetto alla valutazione della sicurezza di un edificio esistente?

Definizione Stati Limite NTC (2008) – Edificio residenziale ($V_R=50$ anni)

	Stato Limite	Evento	P_{VR}	V_R (anni)	T_R (anni)	λ (%)
SLE	Operatività (SLO)	Frequente	81%	50	30	3.3
	Danno (SLD)	Occasionale	63%	50	50	2.0
SLU	Salvaguardia vita (SLV)	Raro	10%	50	475	0.21
	Collasso (SLC)	Molto raro	5%	50	975	0.10



CLASSI DI RISCHIO

➤ Come si calcola la classe di rischio?

Classe minima tra quella relativa a:

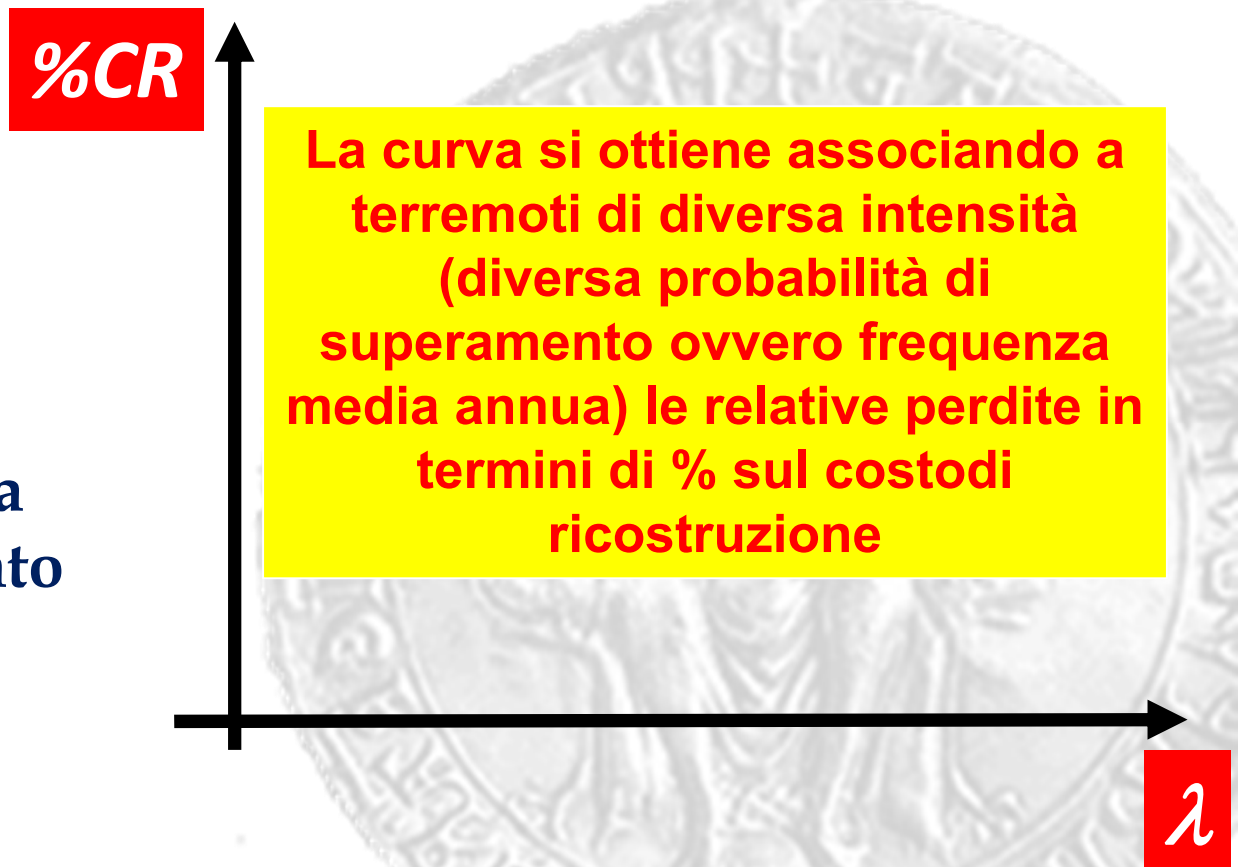
Analisi delle perdite attese

Classe PAM

Si determina la **Perdita Attesa Media** Annua come l'area sottesa alla curva $\%CR - \lambda$

$\%CR = \% \text{ costo di ricostruzione}$

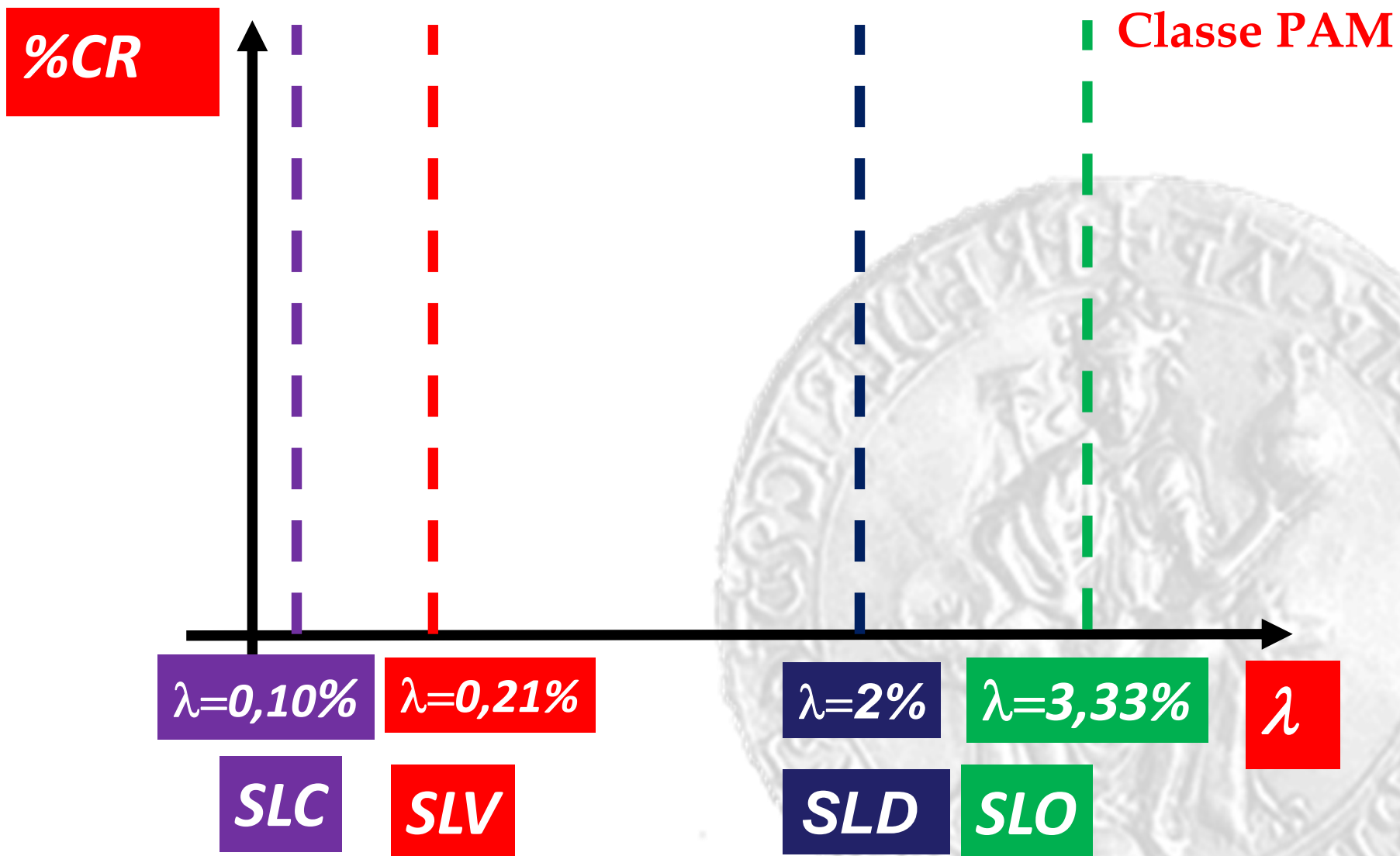
$\lambda = \text{frequenza media annua di superamento}$
 $(1/T_R)$



CLASSI DI RISCHIO

➤ Come si calcola la classe di rischio?

Classe minima tra quella relativa a:



COSTRUZIONE CURVE DI RIFERIMENTO

- ✓ Edificio nuovo (progettato in accordo con le NTC)

SLO	Freq. annuale $\lambda=3,33\%$	CR=7%
SLD	Freq. annuale $\lambda=2\%$	CR=15%
SLV	Freq. annuale $\lambda=0,21\%$	CR=50%
SLC	Freq. annuale $\lambda=0,10\%$	CR=80%

LE VALUTAZIONI DI «CR» CALIBRATE SUI DATI DEI RECENTI TERREMOTI ITALIANI (L'AQUILA 2009)

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



reluis FINTECNA CINEAS

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

d/

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

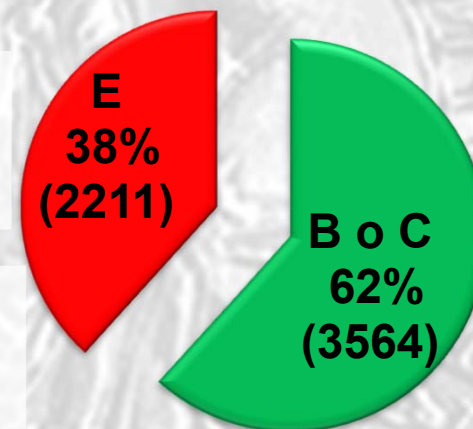
**Agibilità
Scheda AeDES**

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 checked="" 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"/>



**Esito B or C
Danno Leggero**

**Esito E
Danno Severo**

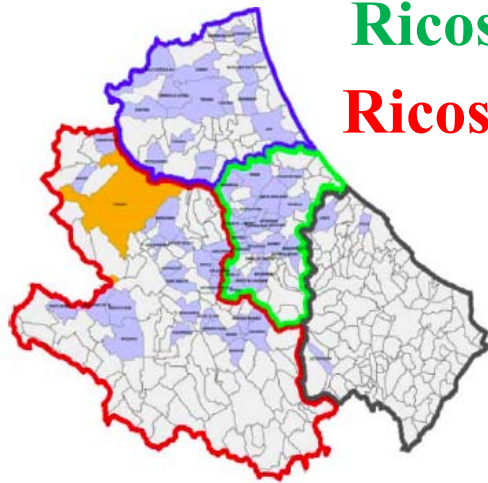


Danni indotti da sisma

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

Ricostruzione Leggera: 3.564 Edifici

Ricostruzione Pesante: 2.211 Edifici

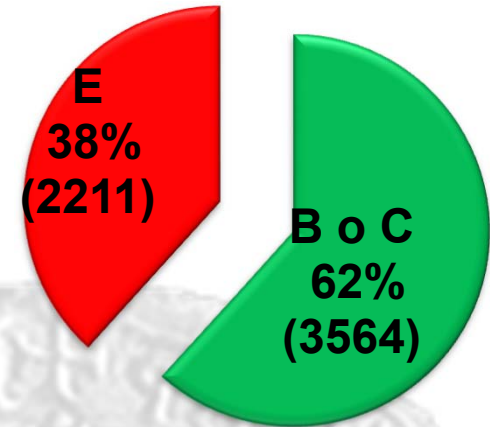


Esito B or C

Danno Leggero

Esito E

Danno Severo



Esito di agibilità	Tipologia costruttiva	N° edifici [-]	Costo mediano 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 $196 / 1200 = 16\% \text{ CR}$

6% - 24%

SLV

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

28% - 60%

COSTRUZIONE CURVE DI RIFERIMENTO

- ✓ Edificio nuovo (progettato in accordo con le NTC)

SLID

Freq. annuale $\lambda=10\%$

CR=0%

Danno Iniziale

SLO

Freq. annuale $\lambda=3,33\%$

CR=7%

SLD

Freq. annuale $\lambda=2\%$

CR=15%

SLV

Freq. annuale $\lambda=0,21\%$

CR=50%

SLC

Freq. annuale $\lambda=0,10\%$

CR=80%

SLR

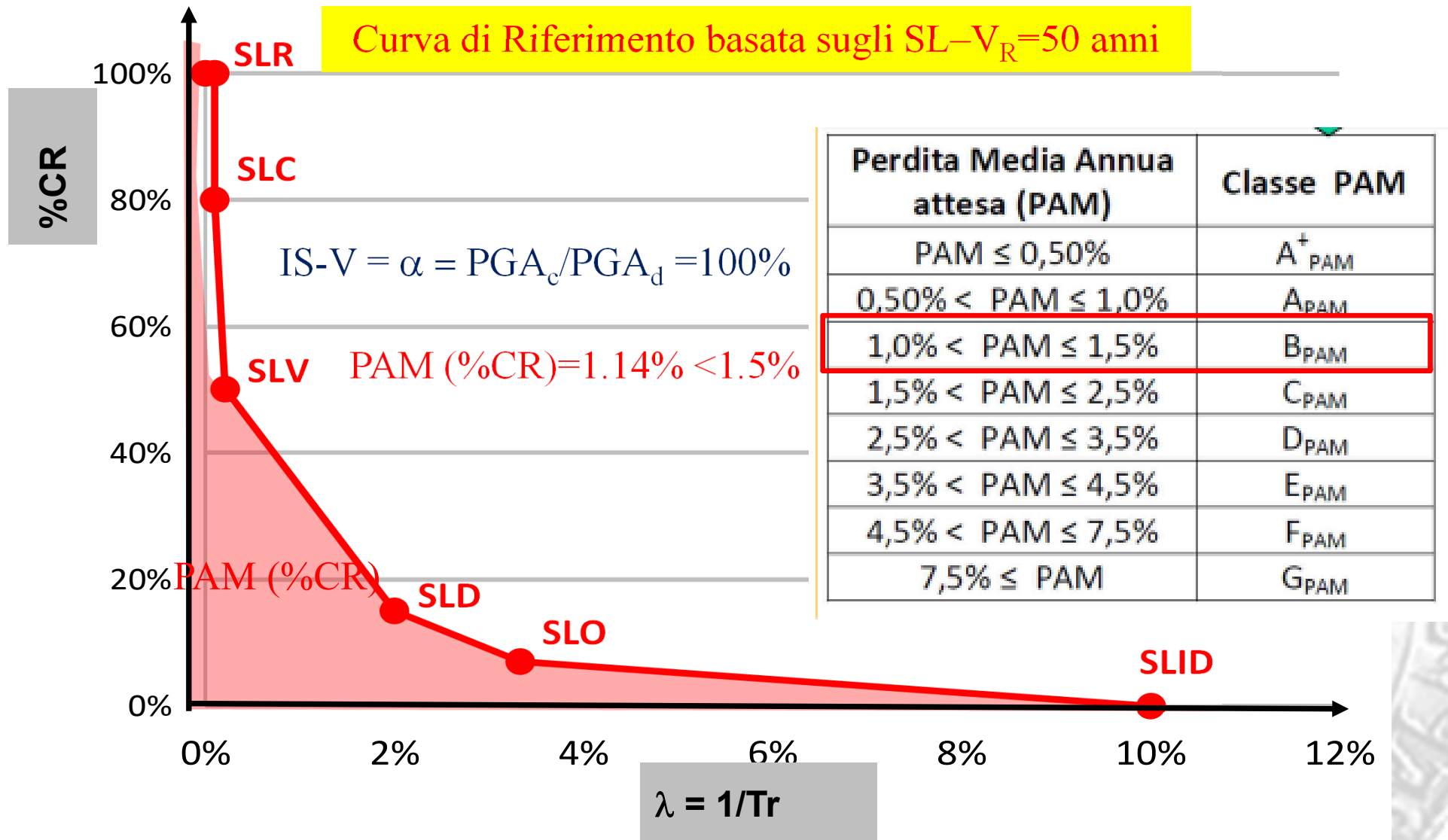
Freq. annuale $\lambda=0\%$

CR=100%

Demolizione/Ricostruzione

COSTRUZIONE CURVE DI RIFERIMENTO

✓ Edificio nuovo (progettato in accordo con le NTC)



COSTRUZIONE CURVE DI RIFERIMENTO

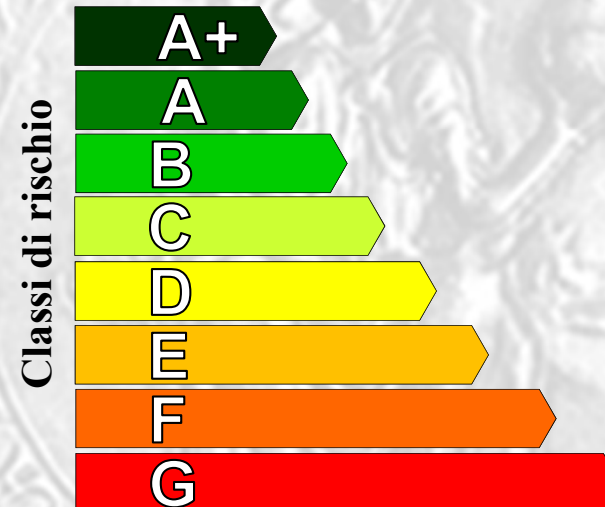
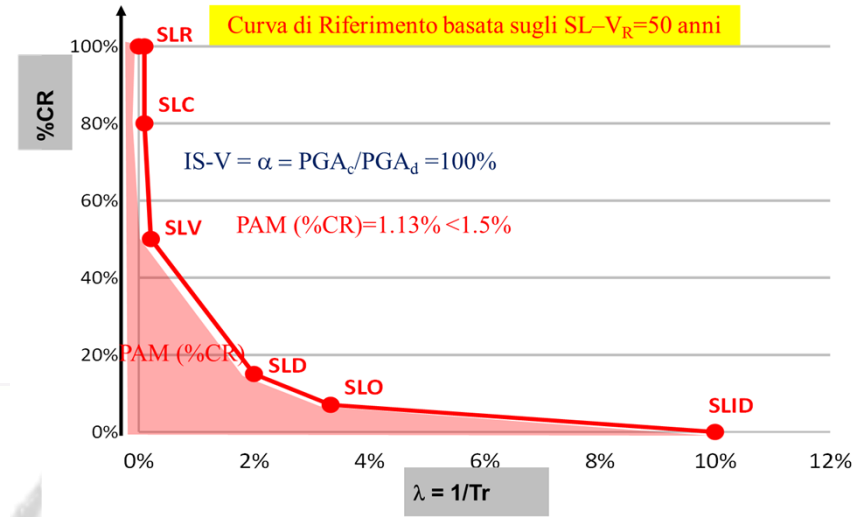
✓ Edificio nuovo (progettato in accordo con le NTC)

Analisi delle perdite attese

Un edificio di nuova progettazione ricade in classe

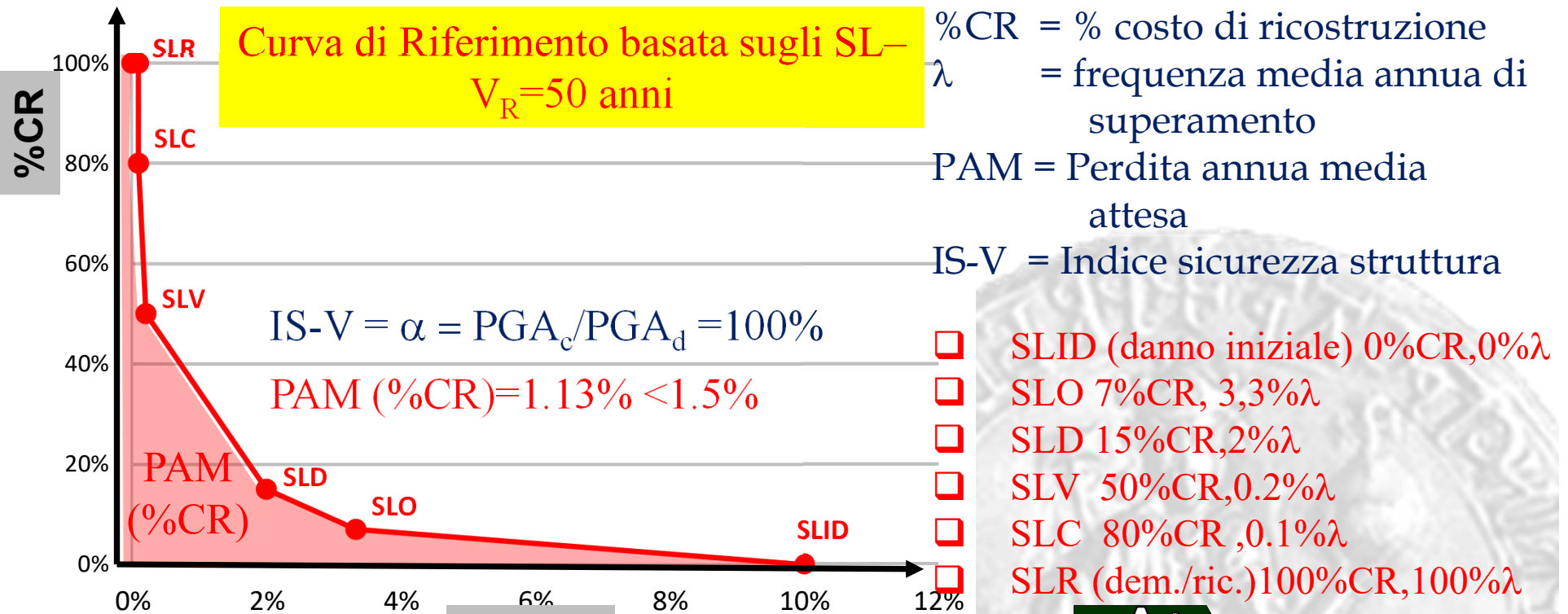
Classe PAM: B

Perdita Media Annua attesa (PAM)	Classe PAM
$PAM \leq 0,50\%$	A^+_{PAM}
$0,50\% < PAM \leq 1,0\%$	A_{PAM}
$1,0\% < PAM \leq 1,5\%$	B_{PAM}
$1,5\% < PAM \leq 2,5\%$	C_{PAM}
$2,5\% < PAM \leq 3,5\%$	D_{PAM}
$3,5\% < PAM \leq 4,5\%$	E_{PAM}
$4,5\% < PAM \leq 7,5\%$	F_{PAM}
$7,5\% \leq PAM$	G_{PAM}



COSTRUZIONE CURVE DI RIFERIMENTO

✓ Edificio nuovo (progettato in accordo con le NTC)



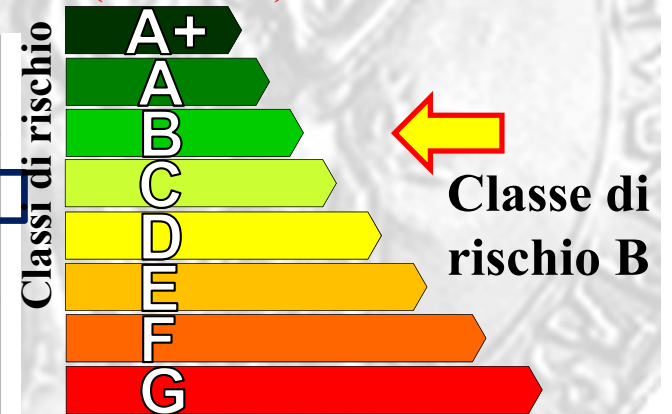
Perdita Media Annua attesa (PAM)	Classe PAM
$\text{PAM} \leq 0,50\%$	A^+_{PAM}
$0,50\% < \text{PAM} \leq 1,0\%$	A_{PAM}
$1,0\% < \text{PAM} \leq 1,5\%$	B_{PAM}
$1,5\% < \text{PAM} \leq 2,5\%$	C_{PAM}
$2,5\% < \text{PAM} \leq 3,5\%$	D_{PAM}
$3,5\% < \text{PAM} \leq 4,5\%$	E_{PAM}
$4,5\% < \text{PAM} \leq 7,5\%$	F_{PAM}
$7,5\% \leq \text{PAM}$	G_{PAM}

$\lambda = 1/Tr$

IS-V: A
PAM: B

Classe di rischio B

Indice di Sicurezza	Classe IS-V
$100\% < \text{IS-V}$	$A^+_{\text{IS-V}}$
$100\% \leq \text{IS-V} < 80\%$	$A_{\text{IS-V}}$
$80\% \leq \text{IS-V} < 60\%$	$B_{\text{IS-V}}$
$60\% \leq \text{IS-V} < 45\%$	$C_{\text{IS-V}}$
$45\% \leq \text{IS-V} < 30\%$	$D_{\text{IS-V}}$
$30\% \leq \text{IS-V} < 15\%$	$E_{\text{IS-V}}$
$\text{IS-V} \leq 15\%$	$F_{\text{IS-V}}$

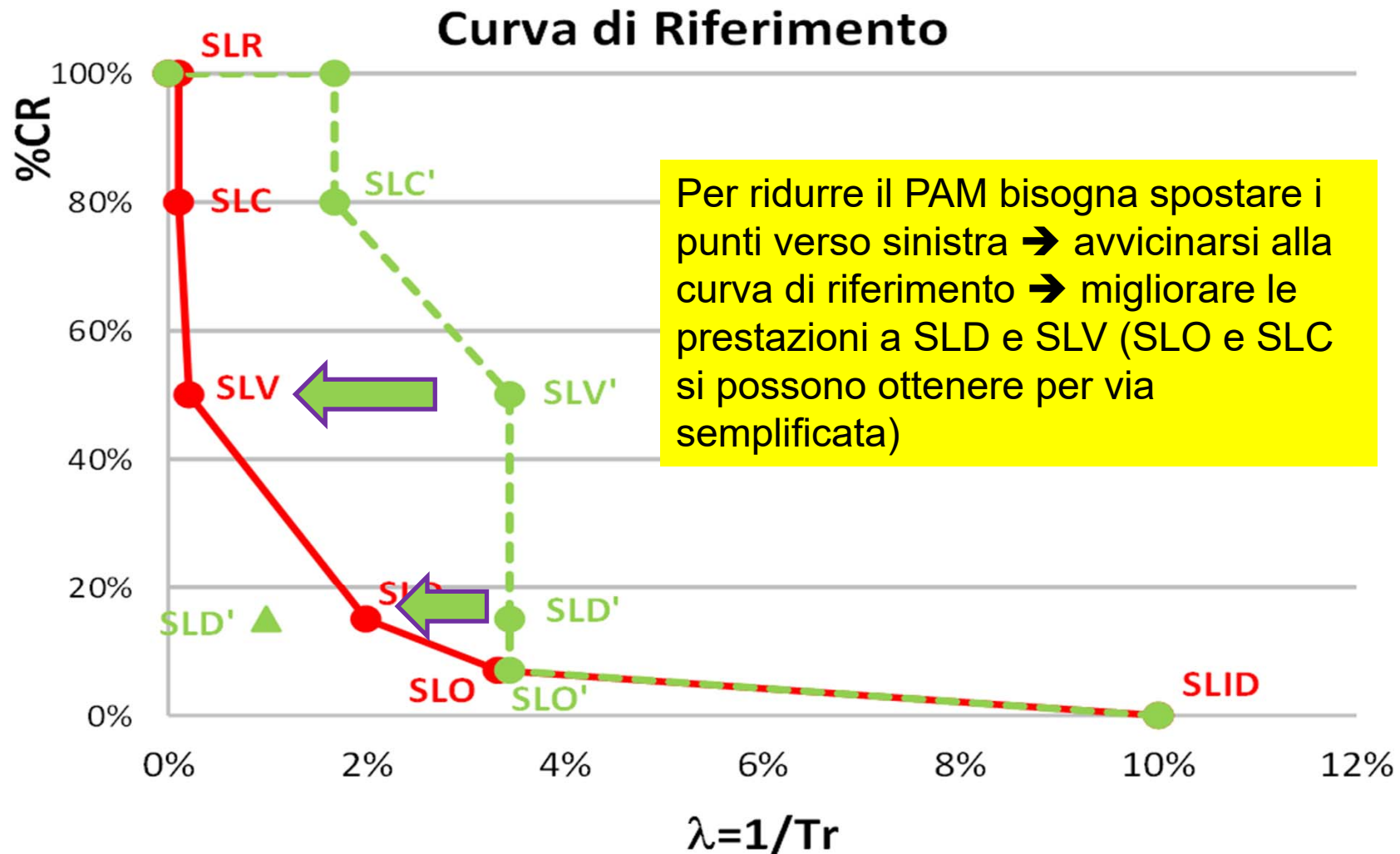


CLASSE DI RISCHIO

➤ E per un edificio esistente?

Analisi delle perdite attese

Classe PAM: ?



CLASSE DI RISCHIO

➤ E per un edificio esistente?

Analisi delle perdite attese

Perdita Media Annua attesa (PAM)	Classe PAM
$PAM \leq 0,50\%$	A+
$0,5\% < PAM \leq 1,0\%$	A
$1,0\% < PAM \leq 1,5\%$	B
$1,5\% < PAM \leq 2,5\%$	C
$2,5\% < PAM \leq 3,5\%$	D
$3,5\% < PAM \leq 4,5\%$	E
$4,5\% < PAM \leq 7,5\%$	F
$7,5\% < PAM$	G

Indice di sicurezza

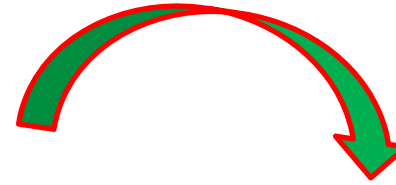
Indice di Sicurezza (IS-V)	Classe IS-V
$100\% < IS-V$	A+
$100\% \leq IS-V < 80\%$	A
$80\% \leq IS-V < 60\%$	B
$60\% \leq IS-V < 45\%$	C
$45\% \leq IS-V < 30\%$	D
$30\% \leq IS-V < 15\%$	E
$IS-V \leq 15\%$	F

1) Un progetto di rinforzo corretto migliora il PAM in modo equilibrato e tende a verificare anche IS-V

2) IS-V corregge progetti troppo sbilanciati verso lo SLD, che non garantirebbero adeguatamente la Salvaguardia della Vita

SICUREZZA STRUTTURALE

.....NTC 2018 – Edifici esistenti....



8.3 VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA

La valutazione della sicurezza e la progettazione degli interventi sulle costruzioni esistenti potranno essere eseguite con riferimento ai soli SLU, salvo che per le costruzioni in classe d'uso IV, per le quali sono richieste anche le verifiche agli SLE specificate al § 7.3.6;

$$IS-V = \frac{PGA_{CLV}}{PGA_{DLV}} = \zeta_E$$

.....NTC 2018 – Edifici esistenti....Interventi diffusi riduzione del rischio

CLASSI DI RISCHIO

➤ Come si calcola la classe di rischio?

Classe minima tra quella relativa a:

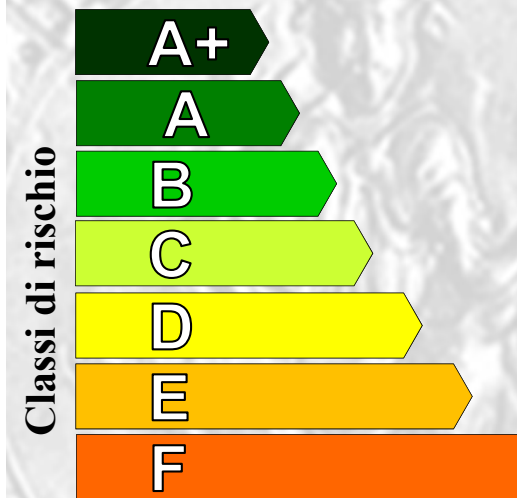
Indice di sicurezza

Calcolo sicurezza allo SLU

Classe IS-V

$$IS-V = \frac{PGA_{CLV}}{PGA_{DLV}}$$

Indice di Sicurezza	Classe IS-V
$100\% < IS-V$	A^+_{IS-V}
$100\% \leq IS-V < 80\%$	A_{IS-V}
$80\% \leq IS-V < 60\%$	B_{IS-V}
$60\% \leq IS-V < 45\%$	C_{IS-V}
$45\% \leq IS-V < 30\%$	D_{IS-V}
$30\% \leq IS-V < 15\%$	E_{IS-V}
$IS-V \leq 15\%$	F_{IS-V}



Un edificio di nuova progettazione ricade in classe IS-V: A

Classe di rischio – Indice di sicurezza

➤ E per un edificio esistente?

**Indice di sicurezza
(stato limite ultimo)**

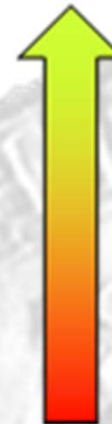
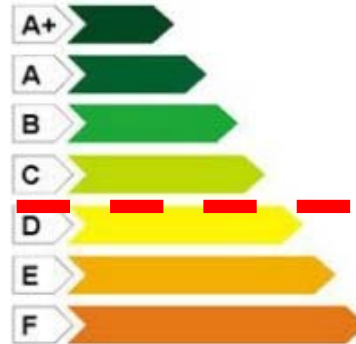
SLV

IS-V

$$IS-V = \frac{PGA_{CLV}}{PGA_{DLV}}$$

CLASSI DI RISCHIO SISMICO IN BASE AL IS-V
«INDICE DI SICUREZZA RISPETTO ALLO SLV»

Indice di Sicurezza	Classe IS-V
$100\% \leq IS-V$	A+
$100\% \leq IS-V < 80\%$	A
$80\% \leq IS-V < 60\%$	B
$60\% \leq IS-V < 45\%$	C
$45\% \leq IS-V < 30\%$	D
$30\% \leq IS-V < 15\%$	E
$IS-V < 15\%$	F

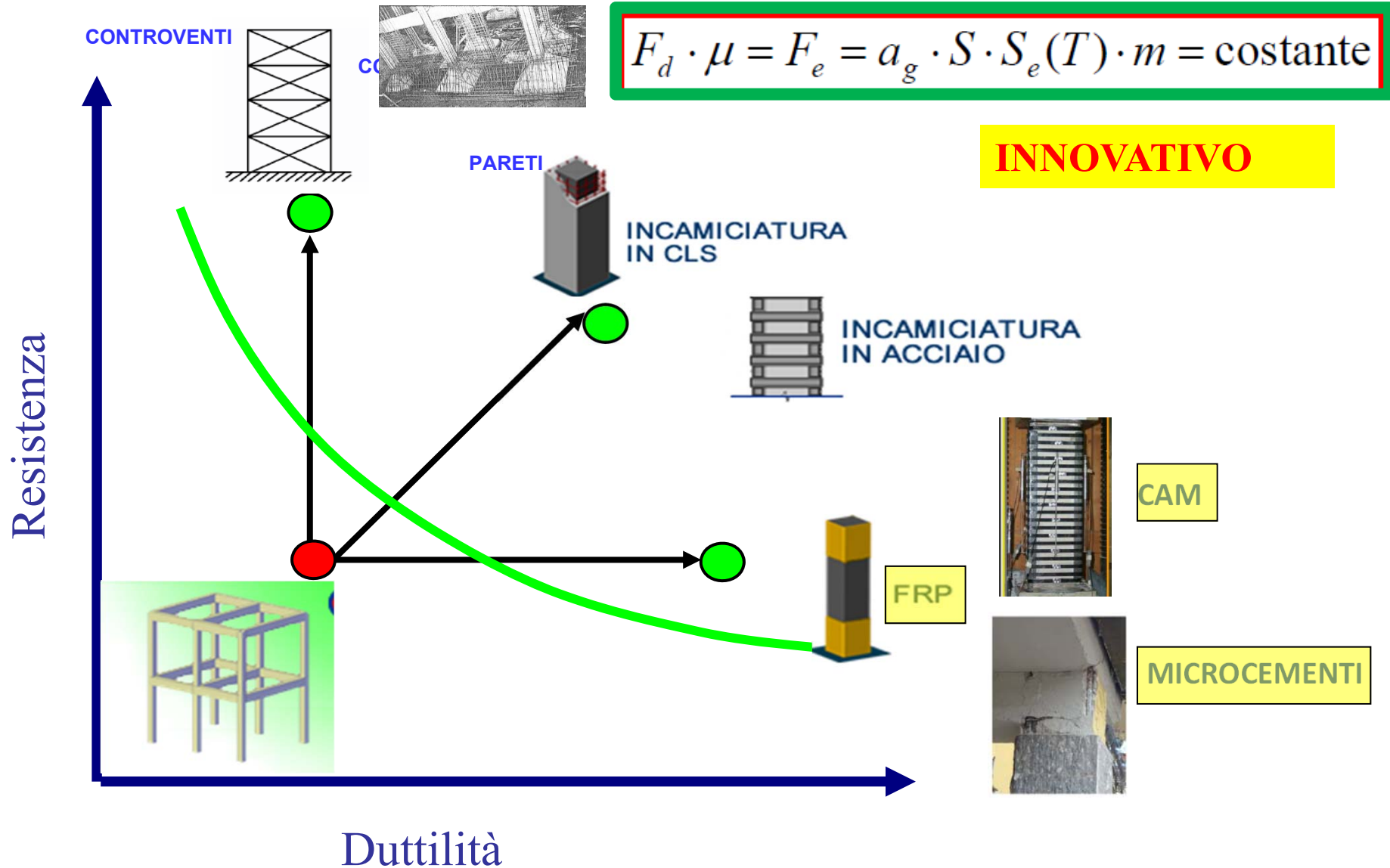


Come??



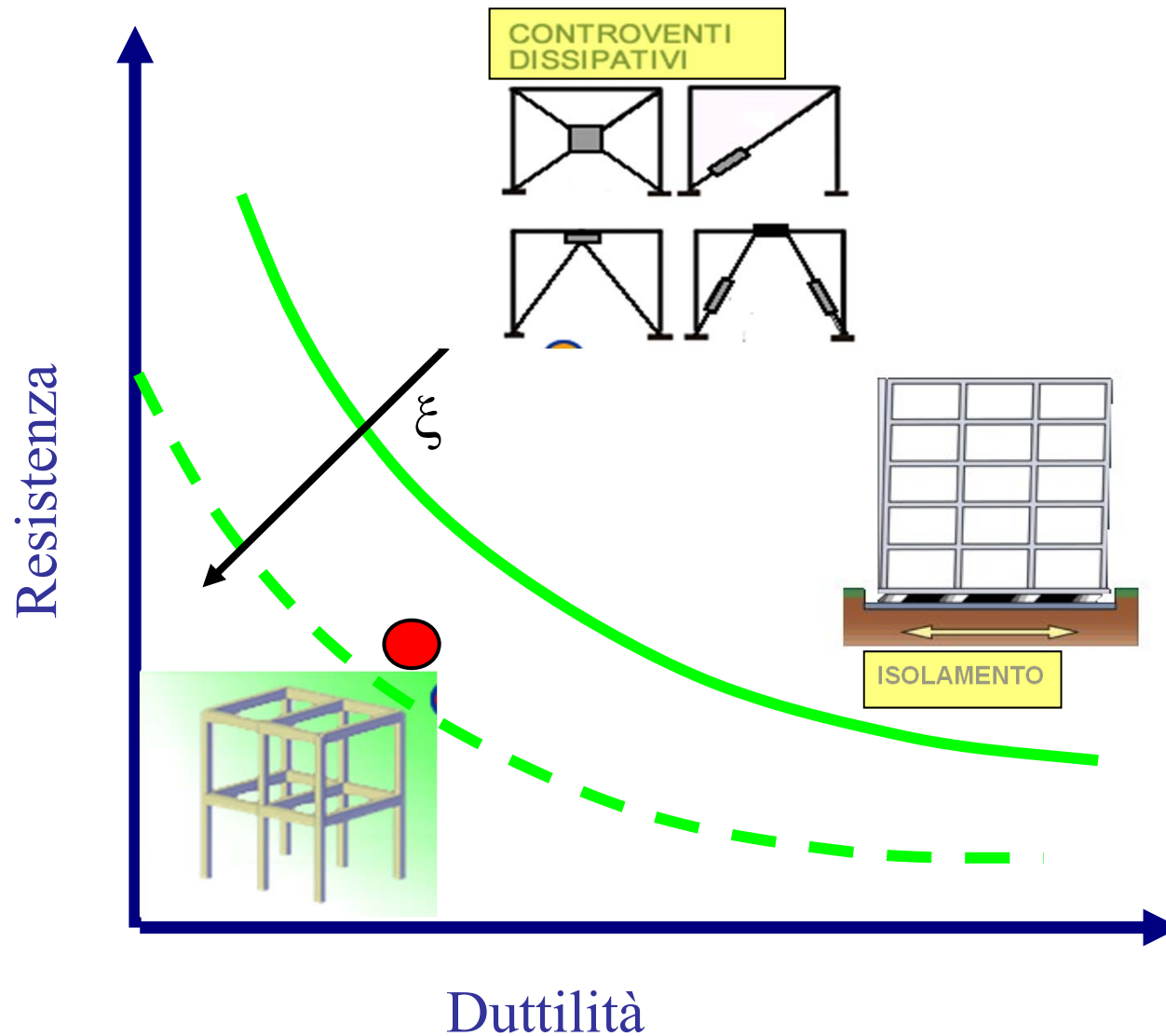
Edifici in c.a - Interventi

• Incremento di capacità



Edifici in c.a. - Interventi

- Riduzione della domanda



INNOVATIVO



Edifici in muratura - Interventi

➤ Collassi tipici e deficienze strutturali Edifici in MURATURA



L'AQUILA 2009



AMATRICE 2016



L'AQUILA 2009

II SISMA E I CAMBIAMENTI

.....NTC 2018 – Edifici esistenti....



- Interventi di adeguamento
- Interventi di miglioramento
- Riparazione o interventi locali



- Interventi di riparazione o locali
- Interventi di miglioramento
- Interventi di adeguamento

.....Interventi di miglioramento

$$IS-V = \frac{PGA_{CLV}}{PGA_{DLV}} = \zeta_E$$

.....NTC 2018 – Edifici Esistenti....
interventi diffusi riduzione del rischio

- ✓ Miglioramento edifici classe III (a meno di scolastici) e classe II è richiesto un incremento di ζ_E comunque non minore di 0,1: $\Delta\zeta_E \geq 0.1$

CLASSI DI RISCHIO

➤ Come si calcola la classe di rischio?

Classe minima tra quella relativa a:

Indice di sicurezza

Calcolo sicurezza allo SLU

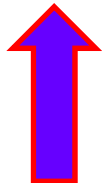
Classe IS-V

$$IS-V = \frac{PGA_{CLV}}{PGA_{DLV}}$$

Indice di Sicurezza	Classe IS-V
$100\% < IS-V$	A^+_{IS-V}
$100\% \leq IS-V < 80\%$	A_{IS-V}
$80\% \leq IS-V < 60\%$	B_{IS-V}
$60\% \leq IS-V < 45\%$	C_{IS-V}
$45\% \leq IS-V < 30\%$	D_{IS-V}
$30\% \leq IS-V < 15\%$	E_{IS-V}
$IS-V \leq 15\%$	F_{IS-V}

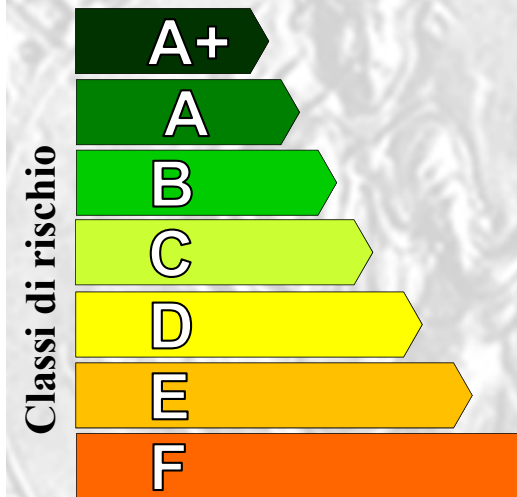
$\Delta\zeta_E \geq 0,1$

+10%



....circa un passaggio di classe

Un edificio di nuova progettazione ricade in classe IS-V: A



II SISMA E I CAMBIAMENTI

.....NTC 2018 – Edifici esistenti....



- Interventi di adeguamento
- **Interventi di miglioramento**
- Riparazione o interventi locali



- Interventi di riparazione o locali
- **Interventi di miglioramento**
- Interventi di adeguamento

.....**Interventi di miglioramento**.....

$$IS-V = \frac{PGA_{CLV}}{PGA_{DLV}} = \zeta_E$$

- ✓ **Miglioramento edifici scolastici e strategici (classe IV) $\zeta_E \geq 0.6$**

CLASSI DI RISCHIO

➤ Come si calcola la classe di rischio?

Classe minima tra quella relativa a:

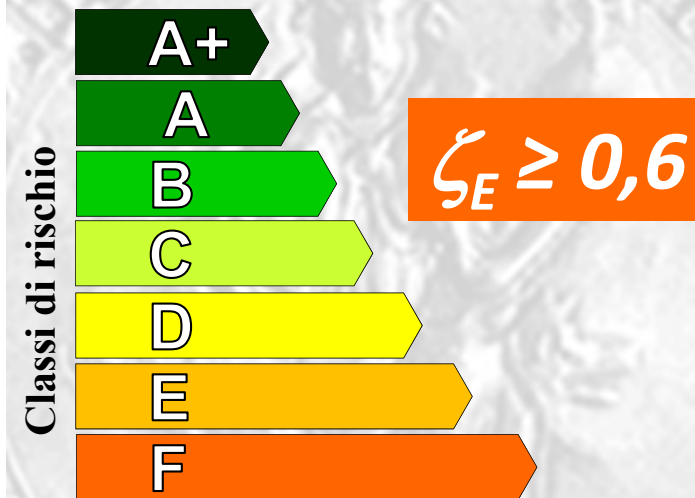
Indice di sicurezza

Calcolo sicurezza allo SLU

Classe IS-V

$$IS-V = \frac{PGA_{CLV}}{PGA_{DLV}}$$

Indice di Sicurezza	Classe IS-V
$100\% < IS-V$	A^+_{IS-V}
$100\% \leq IS-V < 80\%$	A_{IS-V}
$80\% \leq IS-V < 60\%$	B_{IS-V}
$60\% \leq IS-V < 45\%$	C_{IS-V}
$45\% \leq IS-V < 30\%$	D_{IS-V}
$30\% \leq IS-V < 15\%$	E_{IS-V}
$IS-V \leq 15\%$	F_{IS-V}



Un edificio di nuova progettazione ricade in classe IS-V: A

EDIFICI SCOLASTICI

Mechanismi di collasso sotto azione sismica:

➤ Rinforzo taglio FRP



<http://www.cnr.it/sitocnr/IIcNR/Attivita/NormazioneeCertificazione.html>

Amatrice (2016) – Scuola Romolo Capranica

CNR - Commissione Nazionale di Studio per la materia di cemento armato e strutture in cemento armato

CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE
COMMISSIONE INCARICATA DI FORMULARE PARERI IN MATERIA
DI NORMATIVA TECNICA RELATIVA ALLE COSTRUZIONI

**Istruzioni
per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo
di Interventi di Consolidamento Statico
mediante l'utilizzo di
Compositi Fibrorinforzati**

Materiali, strutture di c.a. e di c.a.p., strutture murarie



CNR DT 200 R1/2013

CNR-DT 200/2013

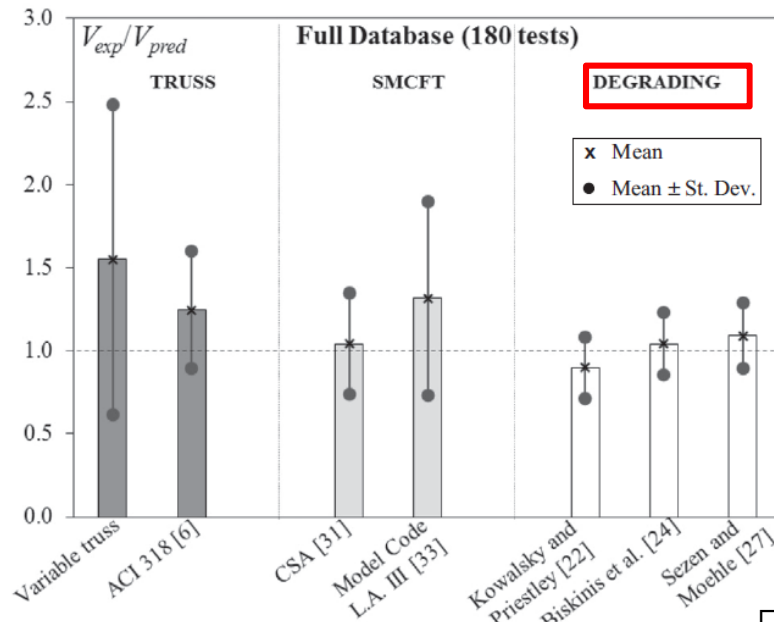
ROMA - 09/11/2013



EDIFICI ESISTENTI – C.A

• Modelli di capacità a taglio

- ❖ Database 180 pilastri
'non conforming' (75 shear, 105 flex-shear)
- ❖ Valutazione comparativa 8 modelli capacità



Circolare 617 C8.7.2.5

“la resistenza a taglio si valuta come nel caso di nuove costruzioni per situazioni non sismiche, considerando comunque un contributo del conglomerato al massimo pari a quello relativo agli elementi senza armature trasversali resistenti a taglio [...]”

Circolare: C.8.7.2.3.5:Travi e pilastri: taglio Nuova proposta sul modello di Biskinis (EC8)

$$V_R = \frac{1}{\gamma_{el}} [V_N + V_c + V_w]$$

$$V_N = \frac{H \cdot \bar{x}}{2L_v} \cdot \min(N; 0.55A_c f_c)$$

$$V_w = (1 - 0.05 \min(5; \mu_{\Delta pl})) \cdot (\rho_w b_w z \cdot f_{yw})$$

$$V_c = (1 - 0.05 \min(5; \mu_{\Delta pl})) \cdot \left[0.16 \max(0.5; 100\rho_{tot}) \cdot \left(1 - 0.16 \min\left(5; \frac{L_v}{H}\right) \right) \sqrt{f_c} A_c \right]$$

✓ Circolare esplicativa delle nuove NTC – Gruppo di Lavoro Circolare esplicativa



Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici

M INF.CSLP.REGISTRO UFFICIALE.U.0002024.01-03-2017

EDIFICI SCOLASTICI

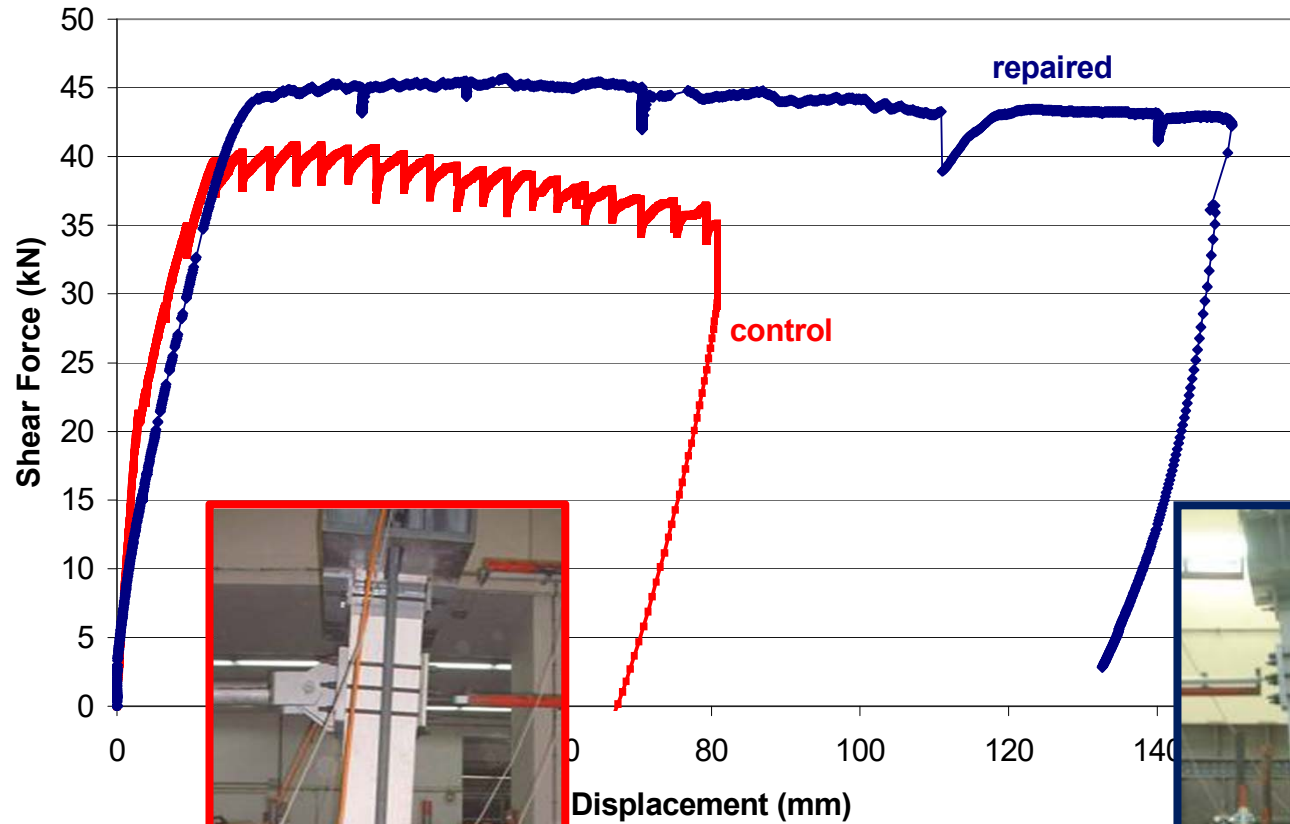
- Incremento di capacità deformativa - confinamento

Amatrice (2016) – Scuola Romolo Capranica



VALUTAZIONE E RINFORZO

➤ Incremento di capacità deformativa - confinamento



II SISMA E I CAMBIAMENTI

.....NTC 2018 – Edifici esistenti....



- Interventi di adeguamento
- Interventi di miglioramento
- Riparazione o interventi locali



- Interventi di riparazione o locali
- Interventi di miglioramento
- Interventi di adeguamento

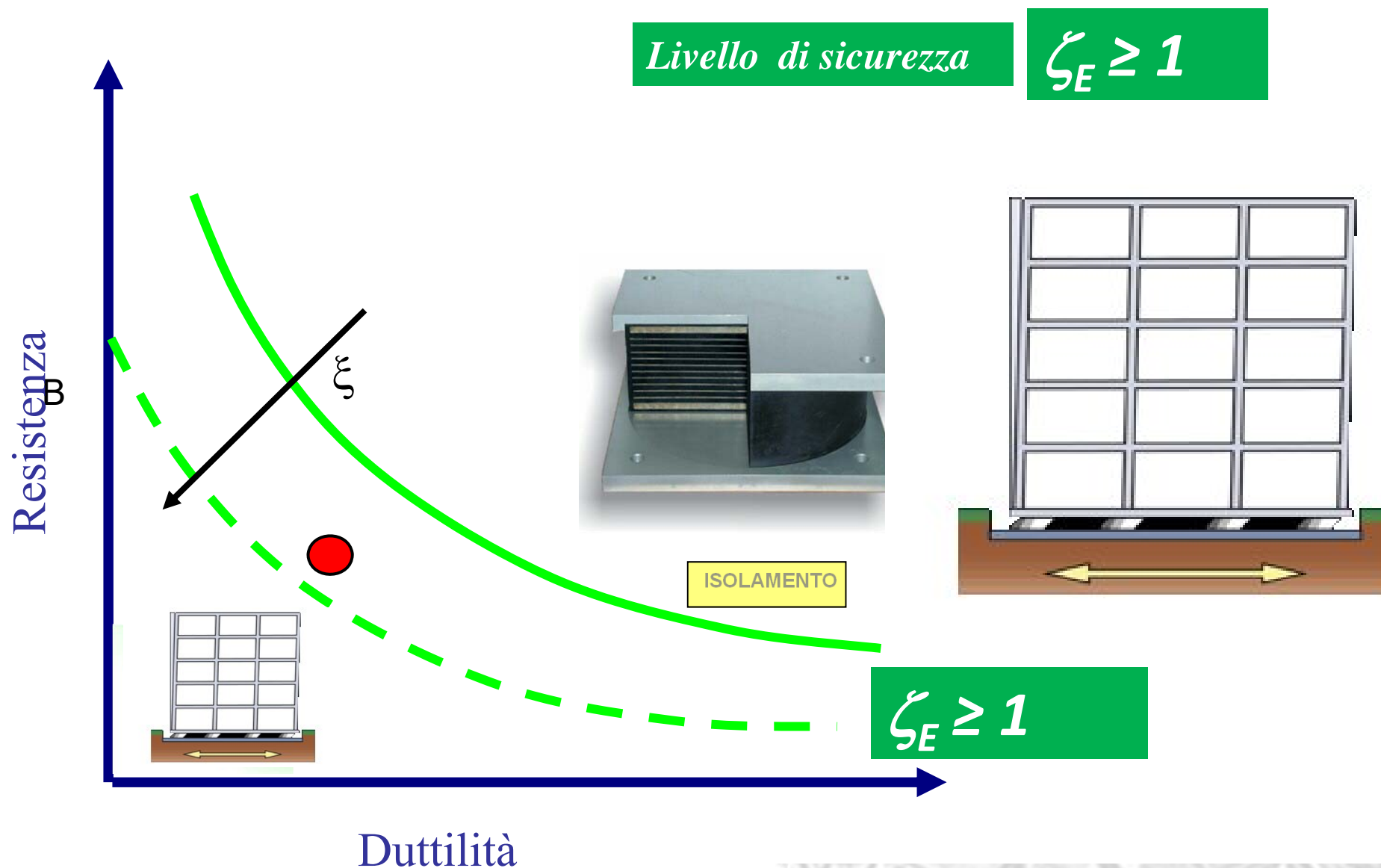
.....Interventi di miglioramento

$$IS-V = \frac{PGA_{CLV}}{PGA_{DLV}} = \zeta_E$$

- ✓ Nel caso di interventi che prevedano l'impiego di sistemi di isolamento, per la verifica del sistema di isolamento, si deve avere almeno $\zeta_F \geq 1$

Edifici in c.a. - Interventi

- Riduzione della domanda: adeguamento NTC 2018



Edifici in c.a. - Interventi

- Riduzione della domanda: adeguamento** NTC 2018

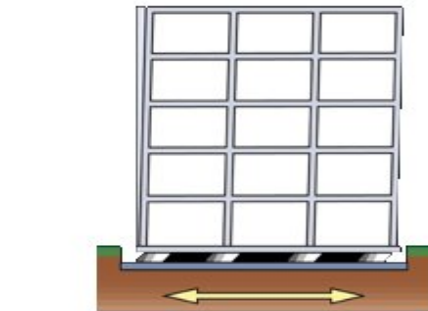
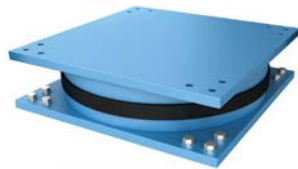
59 Edifici esistenti isolati:
Post sisma di L'Aquila

Livello di sicurezza

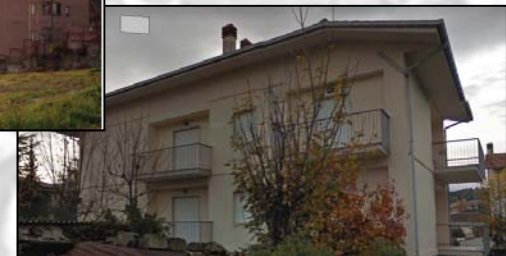
$$\zeta_E \geq 1$$



FRICION PENDULUM



ELASTOMERIC



SLIDERS

FRP



R.C JACKETING



Edifici in c.a. - Interventi

• Riduzione della domanda: adeguamento **NTC 2018**

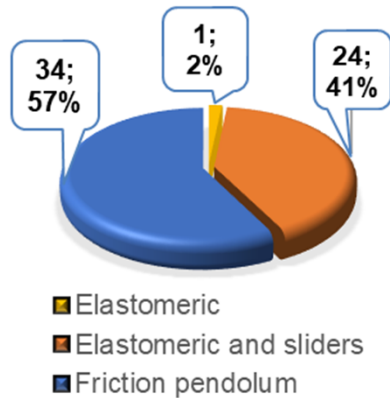
59 Edifici esistenti isolati:
Post sisma di L'Aquila

Livello di sicurezza

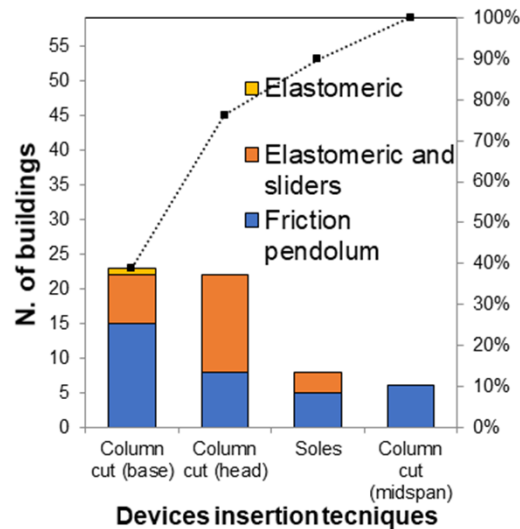
$$\zeta_E \geq 1$$

DEVICES

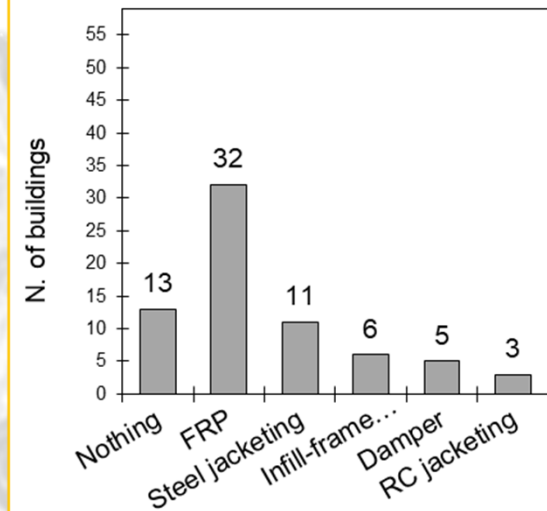
Seismic isolation devices



INSTALLATION TECHNIQUE



COMBINATION OF TECHNIQUES



II SISMA E I CAMBIAMENTI

.....NTC 2018 – Edifici esistenti....



- **Interventi di adeguamento**
- **Interventi di miglioramento**
- **Riparazione o interventi locali**



- **Interventi di riparazione o locali**
- **Interventi di miglioramento**
- **Interventi di adeguamento**

.....Interventi di adeguamento

✓ **Adeguamento $\zeta_E \geq 1$**

✓ **Adeguamento anche in alcuni casi con $\zeta_E \geq 0,8$**

$$IS-V = \frac{PGA_{CLV}}{PGA_{DLV}} = \zeta_E$$

II SISMA E I CAMBIAMENTI

.....NTC 2018 – Edifici esistenti....



- **Interventi di adeguamento**
- **Interventi di miglioramento**
- **Riparazione o interventi locali**



- **Interventi di riparazione o locali**
- **Interventi di miglioramento**
- **Interventi di adeguamento**

.....Interventi di adeguamento

✓ **Adeguamento $\zeta_E \geq 1$**

✓ **Adeguamento anche in alcuni casi con $\zeta_E \geq 0,8$**

$$IS-V = \frac{PGA_{CLV}}{PGA_{DLV}} = \zeta_E$$

II SISMA E I CAMBIAMENTI

.....NTC 2018 – Edifici esistenti....



.....Interventi di adeguamento...
E' OBBLIGATORIO QUANDO....



✓ Adeguamento $\zeta_E \geq 1$ (casi a) b) e d))

L'intervento di adeguamento della costruzione è obbligatorio quando si intenda:

- sopraelevare la costruzione;
- ampliare la costruzione mediante opere ad essa strutturalmente connesse e tali da alterarne significativamente la risposta;
- effettuare interventi strutturali volti a trasformare la costruzione mediante un insieme sistematico di opere che portino ad un sistema strutturale diverso dal precedente; nel caso degli edifici, effettuare interventi strutturali che trasformano il sistema strutturale mediante l'impiego di nuovi elementi verticali portanti su cui grava almeno il 50% dei carichi gravitazionali complessivi riferiti ai singoli piani.

✓ Adeguamento anche in alcuni casi con $\zeta_E \geq 0,8$ (casi c) ed e))

- apportare variazioni di classe e/o di destinazione d'uso che comportino incrementi dei carichi globali verticali in fondazione **superiori al 10%**, valutati secondo la combinazione caratteristica ~~per carichi gravitazionali~~ di cui alla Equazione 2.5.2 **includendo i soli carichi gravitazionali superiori al 10%**. Resta comunque fermo l'obbligo di procedere alla verifica locale delle singole parti e/o elementi della struttura, anche se interessano porzioni limitate della costruzione;

- apportare modifiche di classe d'uso che conducano a costruzioni di classe III ad uso scolastico o di classe IV.

PROGETTAZIONE INTEGRATA edifici scolastici

➤ Edifici scolastici

Al fine di sviluppare una metodologia di progettazione integrata e proporre soluzioni efficaci di rinforzo sismico ed efficientamento energetico per gli edifici scolastici esistenti



Il Dipartimento di Protezione Civile all'interno del progetto di ricerca
PE 2019–2021 DPC-ReLUIS



WP5: “Interventi di rapida esecuzione ed integrati”

Progettazione integrata

1) Interventi di rinforzo locale (dal solo esterno)

Incremento prestazioni sismiche $\zeta_E=60\%$

Riduzione consumi energetici PEC = -20%

2) Interventi di rinforzo locale (a basso impatto)

Incremento prestazioni sismiche $\zeta_E>60\%$

Riduzione consumi energetici PEC = -40%

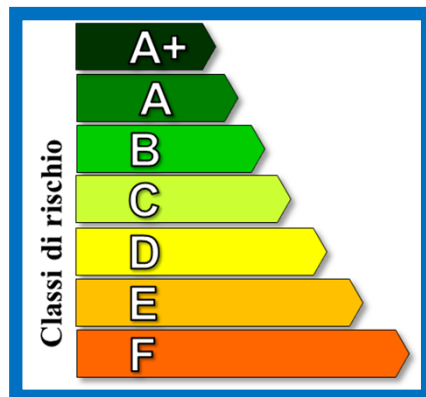
3) Interventi globali (impatto elevato)

Incremento prestazioni sismiche $\zeta_E = 100\%$

Riduzione consumi energetici PEC $\leq -60\%$

Impatto crescente

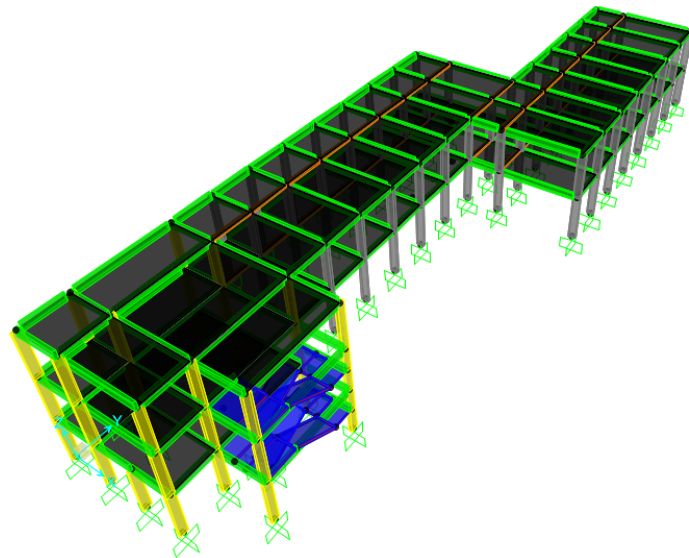
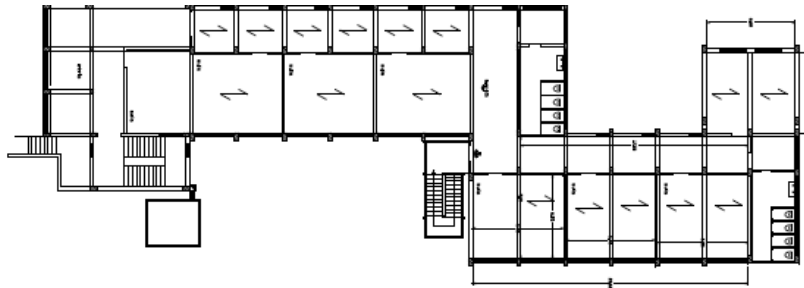
Incremento di prestazioni
sismiche ed energetiche



...Un esempio di progettazione integrata

Edificio scolastico selezionato tra quelli ispezionati da ReLUIS durante l'emergenza sismica del Centro Italia (2016-2017)

scuola media Parozzani Isola del Gran Sasso (TE)



$\zeta_E = 23\%$



$\zeta_E = 26\%$



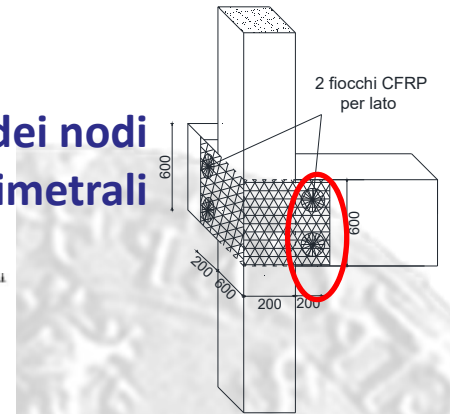
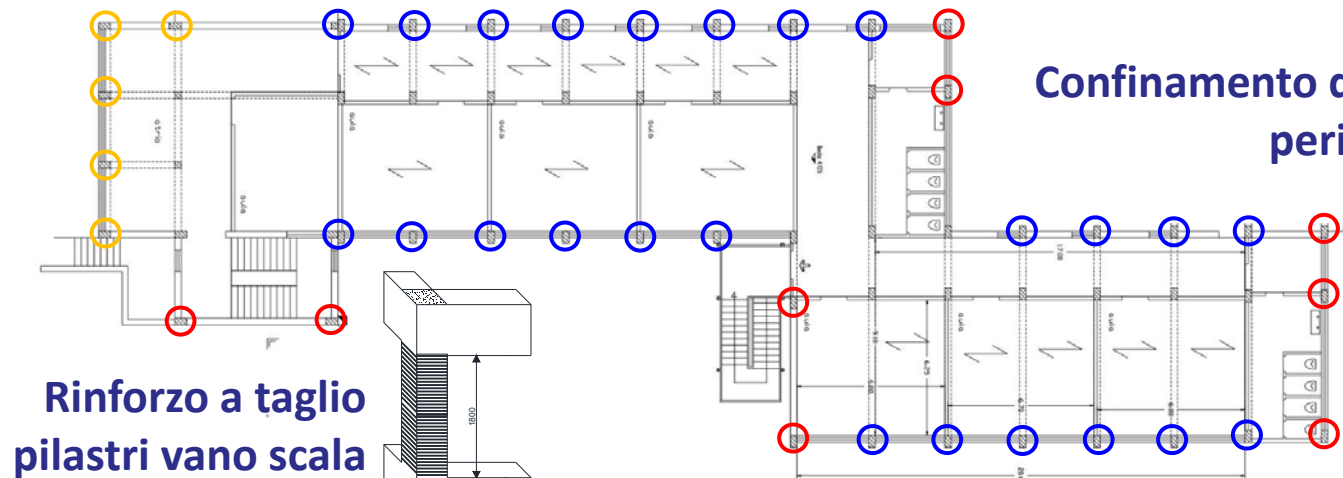
$\zeta_E = 66\%$



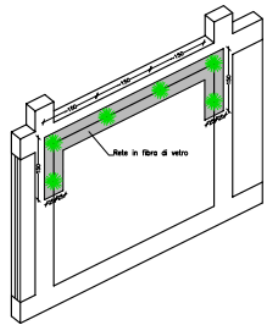
Progettazione integrata

- 1) **Interventi di rinforzo locale (dal solo esterno)**
Incremento prestazioni sismiche $\zeta_E=60\%$
Riduzione consumi energetici PEC = -20%

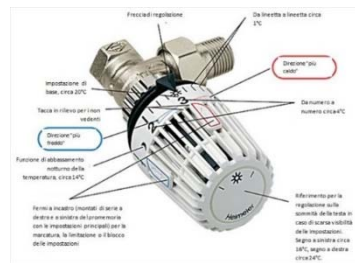
**Minimo impatto,
tempi ridotti**



**Nuova soluzione
dal solo esterno**



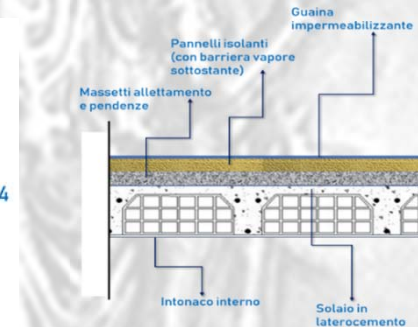
**Antiribaltamento
tamponature**



**Valvole
termostatiche**



Sostituzione serramenti



Isolamento copertura

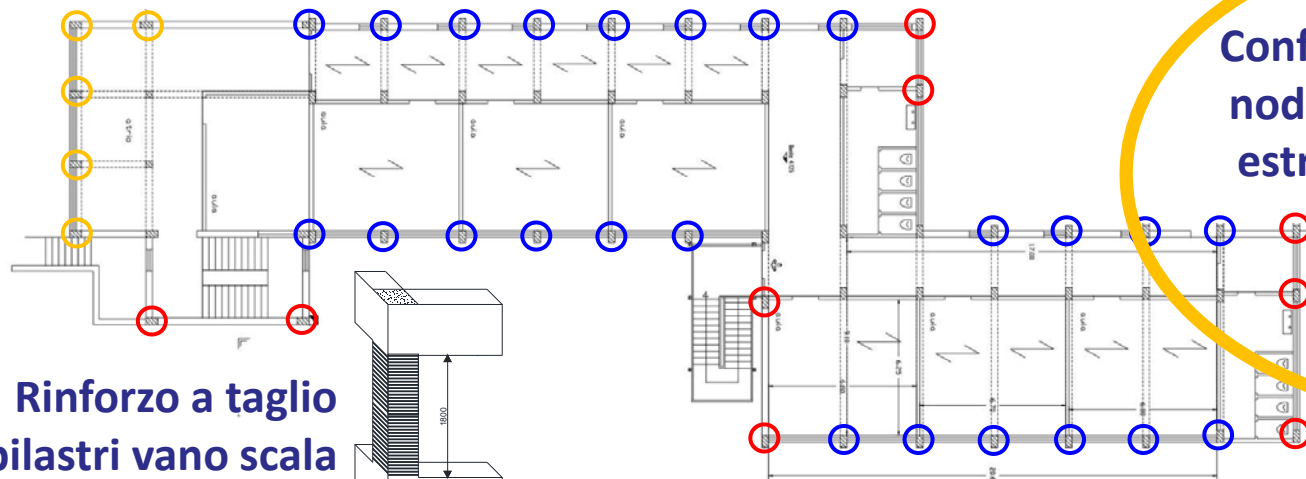
Progettazione integrata

2) Interventi di rinforzo locale (a basso impatto)

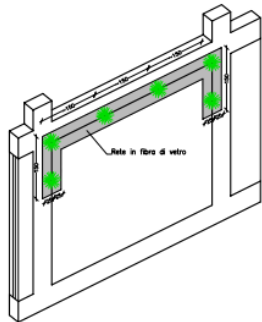
Incremento prestazioni sismiche $\zeta_E > 60\%$

Riduzione consumi energetici PEC = -40%

Impatto basso,
tempi medi



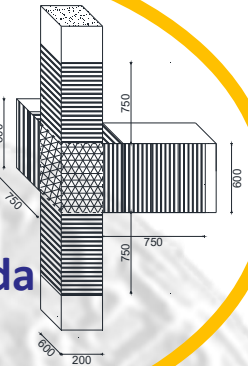
Rinforzo a taglio pilastri vano scala



Antiribaltamento tamponature

Confinamento dei nodi perimetrali -
estremità pilastri

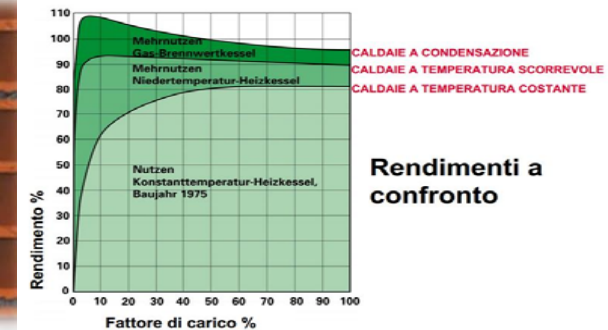
Protezione da azione tamponatura



LIVELLO L +



Insufflaggio intercapedini



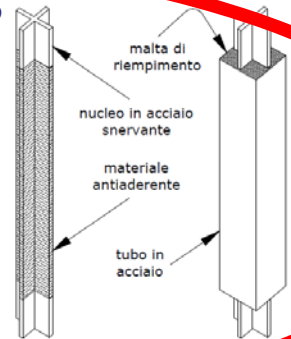
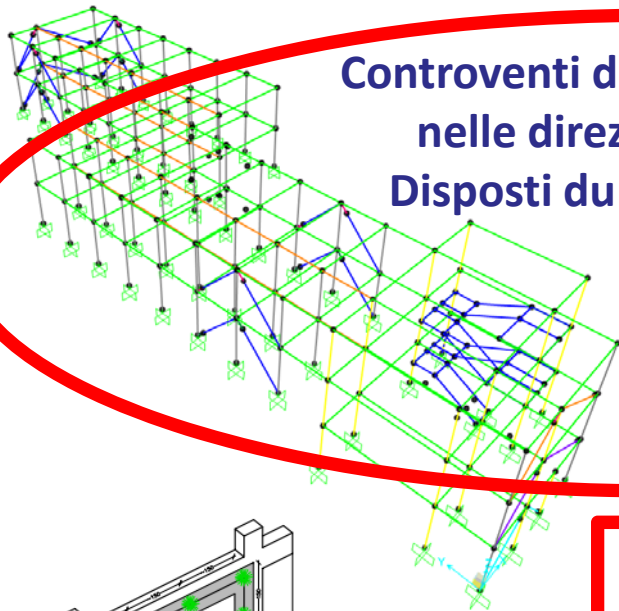
Caldaia ad alto rendimento

Progettazione integrata

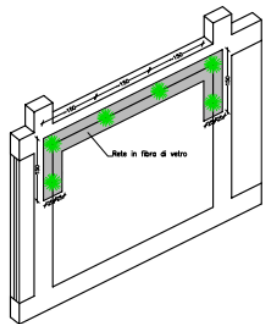
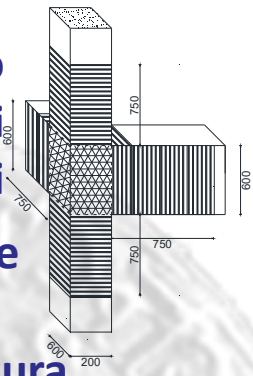
3) Interventi globali (impatto elevato)
Incremento prestazioni sismiche $\zeta_E = 100\%$
Riduzione consumi energetici PEC $\leq -60\%$

**Impatto elevato,
tempi lunghi**

**Controventi dissipativi BRB
nelle direzioni X e Y
Disposti du perimetro**



**Confinamento
dei nodi
perimetrali
Protezione
azione
tamponatura**



**Antiribaltamento
tamponature**

LIVELLO 1



Cappotto termico






**Fonti rinnovabili e rifacimento
impianti**

Progettazione integrata

Livello 1-2-3:

Interventi ad impatto crescente

Livello di Progettazione	Descrizione	Importo	Superficie calpestabile	Volumetria		
	OPERE CIVILI	[€]	[m ²]	[m ³]	€/m ²	€/m ³
Livello I (IS-V=60%, PAM=1.1%) +3 classi Sismiche +2 Classi Energ	Opere strutturali	104,000			70.75	22.13
	Opere di demolizione e ripristino finiture	21,500			14.63	4.57
	Parziale strutturale	125,500	1,470	4,700	85.37	26.70
	Opere di efficientamento energetico	255,000			173.47	54.26
	TOTALE INTERVENTI	380,500				258.84
Livello II (IS-V=60%, PAM=1.1%) +3 classi Sismiche +4 Classi Energetiche	Opere strutturali	240,500			163.61	51.17
	Opere di demolizione e ripristino finiture	60,000			40.82	12.77
	Parziale strutturale	300,500	1,470	4,700	204.42	63.94
	Opere di efficientamento energetico	289,000			196.60	61.49
	TOTALE INTERVENTI	589,500				401.02
Livello III (IS-V=60%, PAM=0.47%) +5 classi Sismiche +7 Classi Energetiche	Opere strutturali (contro 280.000€)	359,000			244.21	76.40
	Opere di demolizione e ripristino finiture	80,000			54.42	17.00
	Parziale strutturale	439,000	1,470	4,700	298.64	93.40
	Opere di efficientamento energetico	513,500			349.32	109.3
	TOTALE INTERVENTI	952,500				647.96
	ONERI DELLA SICUREZZA (PSC)					
	Oneri comuni ai vari livelli di progettazione	25,000	1,470	4,700	17.01	5.32

II SISMA E I CAMBIAMENTI

.....NTC 2018 – Edifici esistenti....



- **Interventi di adeguamento**
- **Interventi di miglioramento**
- **Riparazione o interventi locali**



- **Interventi di riparazione o locali**
- **Interventi di miglioramento**
- **Interventi di adeguamento**

8.4 CLASSIFICAZIONE DEGLI INTERVENTI

Si individuano le seguenti categorie di intervento:

- interventi di adeguamento atti a conseguire i livelli di sicurezza previsti dalle presenti norme;
- interventi di miglioramento atti ad aumentare la sicurezza strutturale esistente, pur senza necessariamente raggiungere i livelli richiesti dalle presenti norme;
- riparazioni o interventi locali che interessino elementi isolati, e che comunque comportino un miglioramento delle condizioni di sicurezza preesistenti.

Gli interventi di adeguamento e miglioramento devono essere sottoposti a collaudo statico.

8.4. CLASSIFICAZIONE DEGLI INTERVENTI

Si individuano le seguenti categorie di intervento:

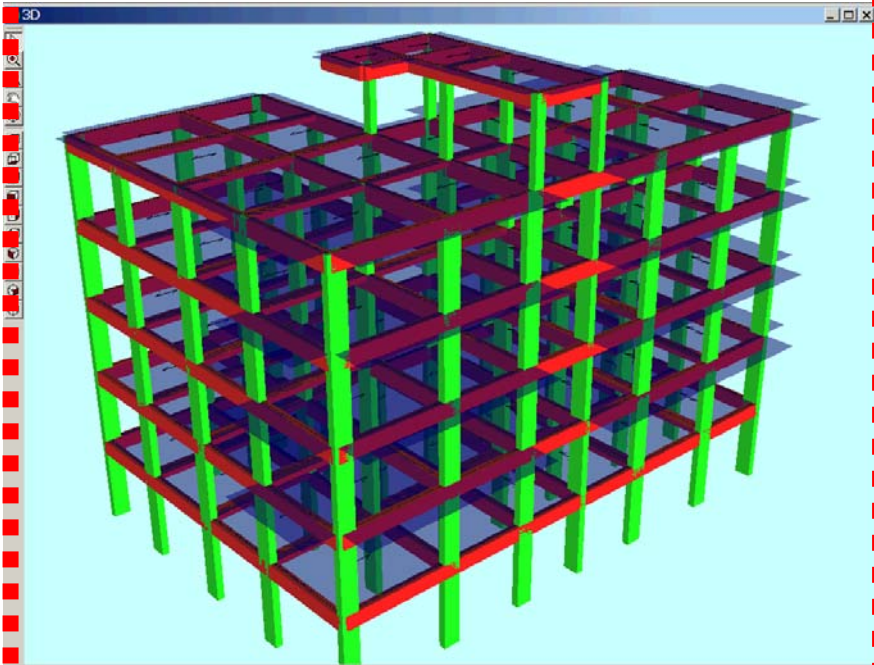
- **interventi di riparazione o locali:** interventi che interessino singoli elementi strutturali e che, comunque, non riducano le condizioni di sicurezza preesistenti;
- **interventi di miglioramento:** interventi atti ad aumentare la sicurezza strutturale preesistente, senza necessariamente raggiungere i livelli di sicurezza fissati al § 8.4.3;
- **interventi di adeguamento:** interventi atti ad aumentare la sicurezza strutturale preesistente, conseguendo i livelli di sicurezza fissati al paragrafo 8.4.3.

.....Interventi locali....interventi che interessino singoli elementi strutturali e che, comunque, non riducano le condizioni di sicurezza preesistenti

METODO SEMPLIFICATO

➤ EDIFICI IN C.A.

Edifici in CEMENTO
ARMATO



Schema Strutturale a
RESISTENZA CONCENTRATA

VULNERABILITÀ SISMICA

➤ **Interventi locali** mirati alla eliminazione delle maggiori fonti di vulnerabilità e criticità per l'incolumità degli occupanti (non è necessaria la valutazione del comportamento globale della struttura)

Incremento di 1 classe

EDIFICI ESISTENTI – C.A

➤ Collassi tipici e deficienze strutturali

Edifici in C. A.

L'Aquila, 2009

- I nodi trave-pilastro



Assenza di staffe nel nodo



Instabilità armatura pilastro passante nel n

EDIFICI ESISTENTI – C.A

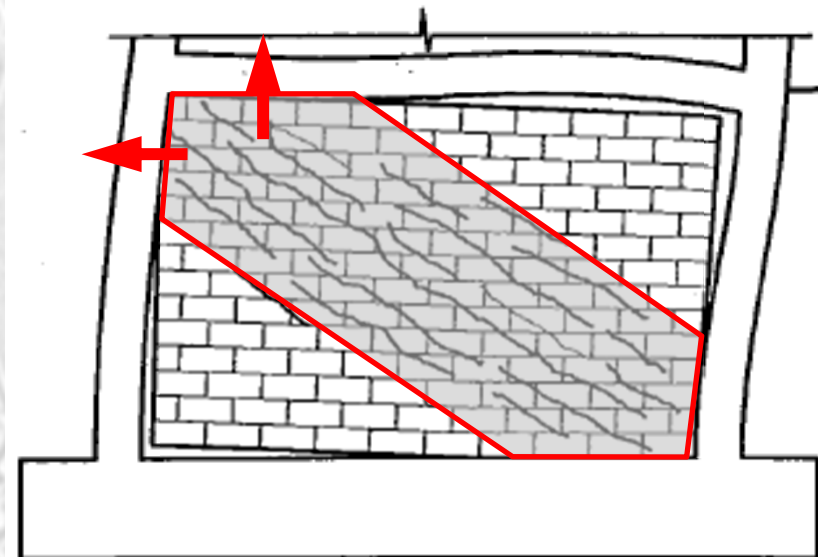
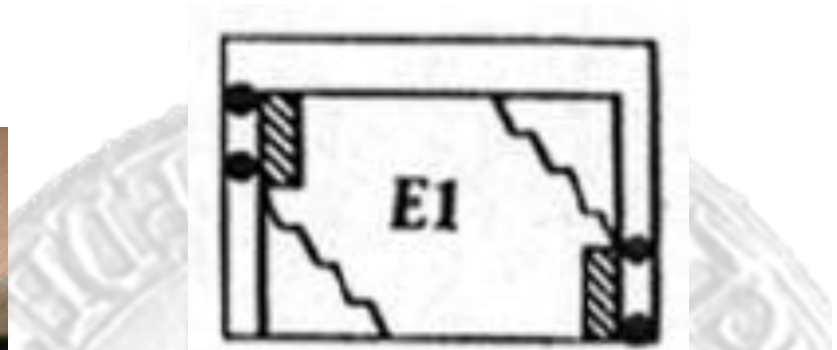
➤ Collassi tipici e deficienze strutturali

Edifici in C. A.

L'Aquila, 2009

- I nodi trave-pilastro

Interazione con tamponature



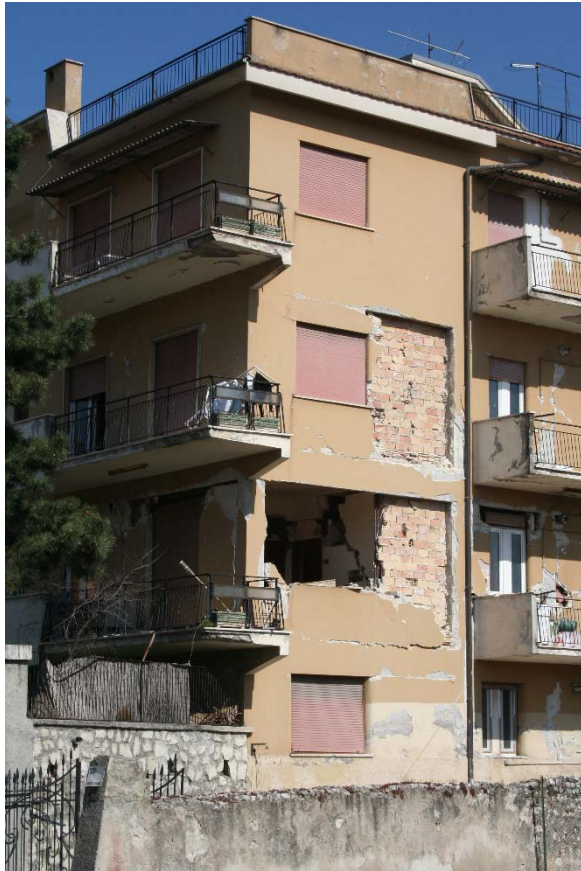
EDIFICI ESISTENTI – C.A

➤ Collassi tipici e deficienze strutturali

Edifici in C. A.

L'Aquila, 2009

■ Elementi non strutturali



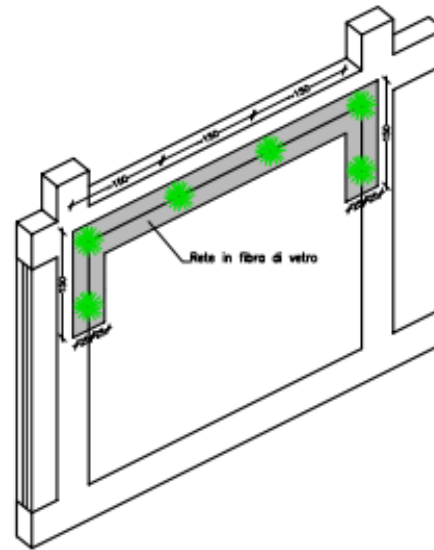
Discontinuità prodotte dalle aperture.

Ribaltamento della fodera esterna della tamponatura

METODO SEMPLIFICATO

➤ EDIFICI IN C.A.

- **Interventi locali** (non è necessaria la valutazione del comportamento globale della struttura)
- E' possibile passare alla classe di rischio immediatamente superiore se:
 - **Presenza di telai in entrambe le direzioni**
 - **Confinamento di tutti i nodi perimetrali non confinati dell'edificio**
 - **Anti-ribaltamento su tutte le tamponature di facciata**
 - **Ripristino di eventuali zone danneggiate o degradate**



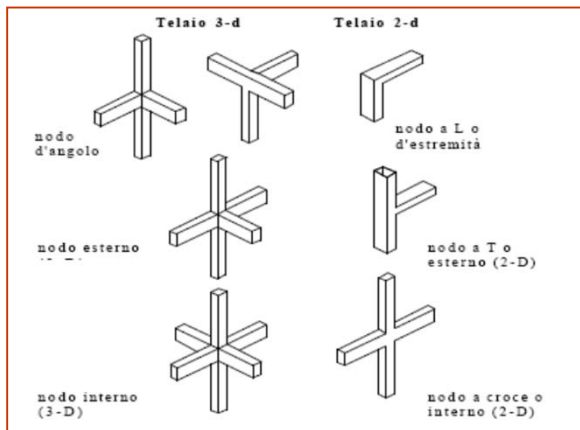
Incremento di 1 classe

EDIFICI ESISTENTI – C.A

Meccanismi di collasso sotto azione sismica:

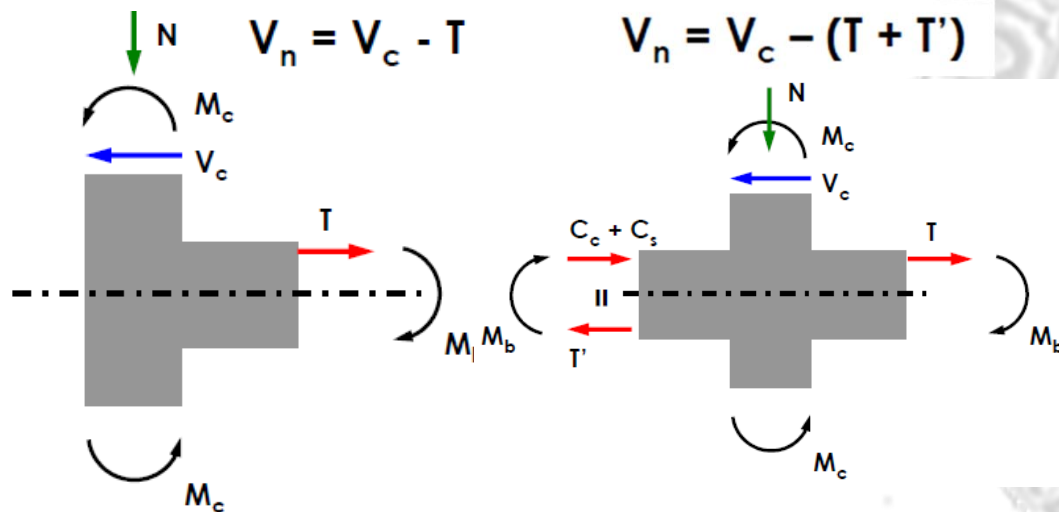
➤ Verifiche sui nodi

- ❖ La verifica di resistenza va effettuata solo per i **nodi non interamente confinati**
- ❖ La resistenza deve essere verificata lungo la **diagonale tesa** e la **diagonale compressa**



$$\sigma_{nt} = \left| \frac{N}{2A_g} - \sqrt{\left(\frac{N}{2A_g}\right)^2 + \left(\frac{V_n}{A_g}\right)^2} \right| \leq 0.3\sqrt{f_c}$$

$$\sigma_{nc} = \frac{N}{2A_g} + \sqrt{\left(\frac{N}{2A_g}\right)^2 + \left(\frac{V_n}{A_g}\right)^2} \leq 0.5f_c$$



Al fine di valutarne il potenziale danneggiamento risulta maggiormente significativa l'analisi dei valori di tensione principale che si raggiungono nel nodo.

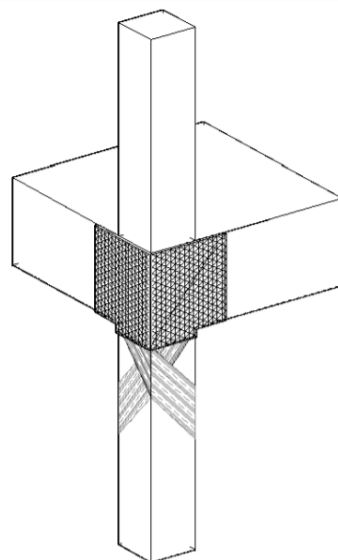
EDIFICI ESISTENTI – C.A

➤ Rinforzo nodi

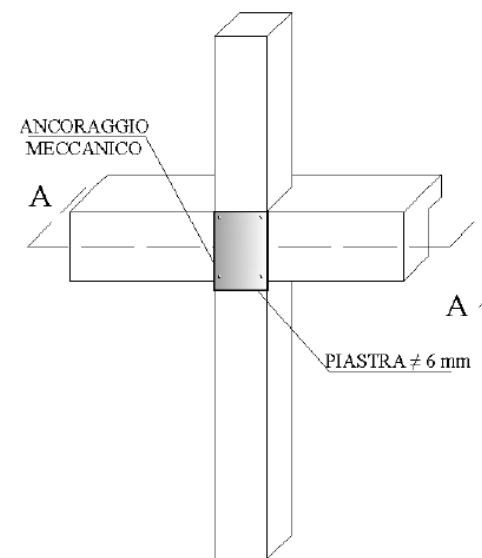


www.reluis.it

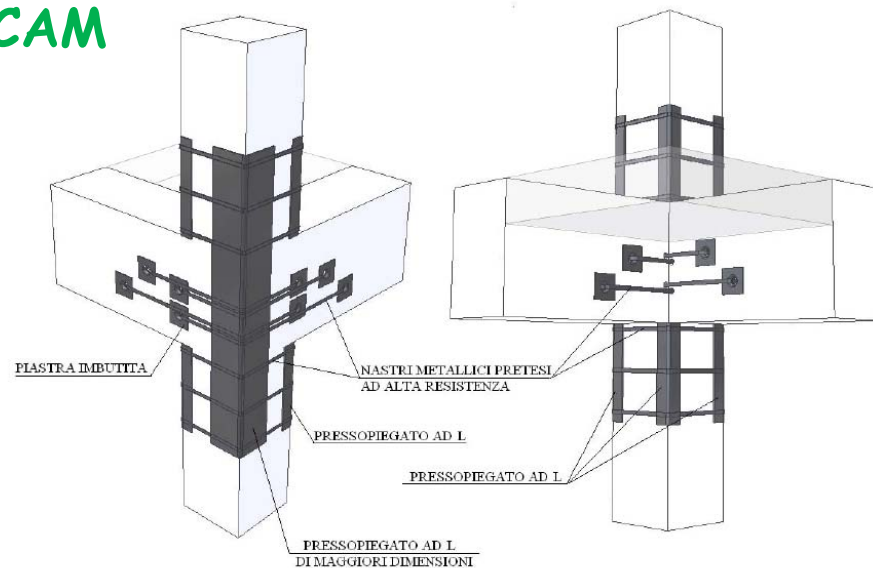
FRP



Acciaio

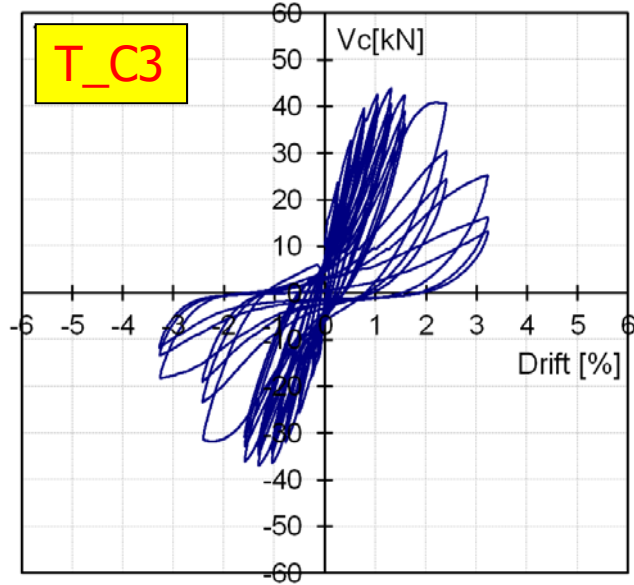


CAM

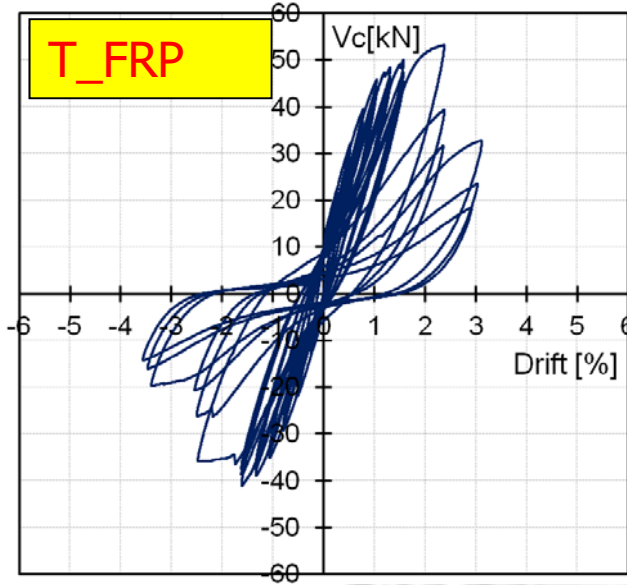


INNOVATIVE RETROFIT SOLUTIONS

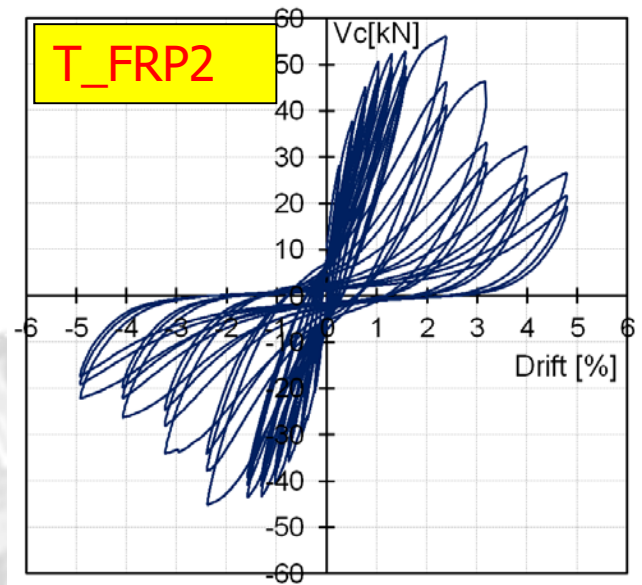
FRP su pannello nodale: Test Results



“As built”

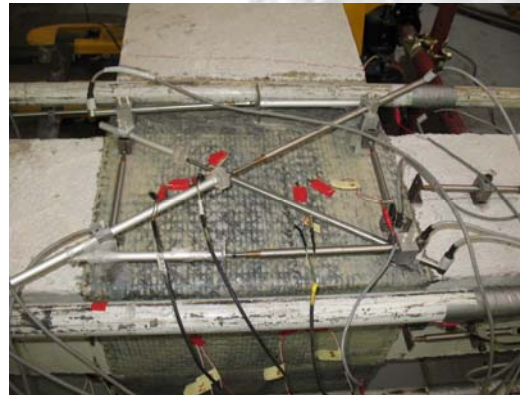
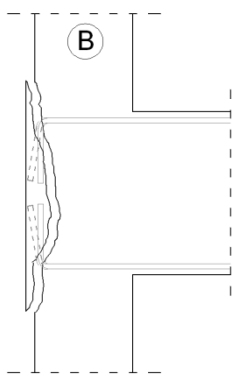


“Light” strengthening
(Scheme 1)



“Strong” strengthening
(Scheme 2a)

FAILURE MODE



INNOVATIVE RETROFIT SOLUTIONS

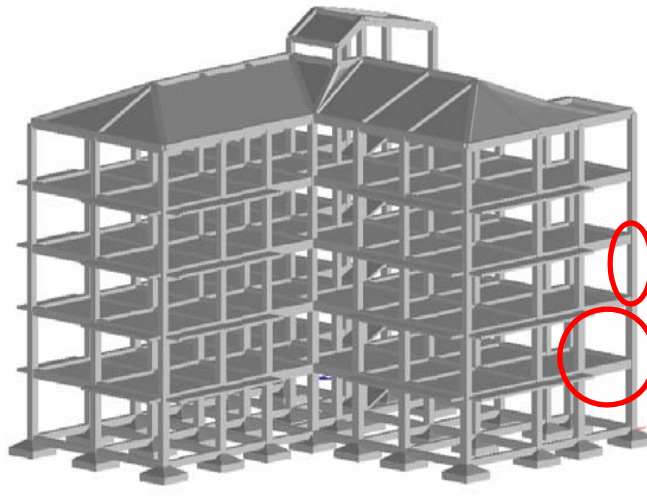
FRP su pannello nodale



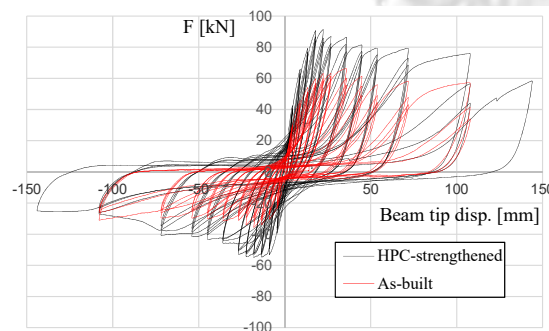
Rinforzo nodi: sviluppi futuri

➤ Rinforzo nodi

- ✓ Edificio L'Aquila demolito a seguito del terremoto. Calcestruzzo scadente ($f_{cm} = 12 \text{ Mpa}$)



- ✓ Rimozione del copriferro esistente (circa 4 cm)
- ✓ Getto camicia in malta cementizia fibrorinforzata (FRCC – Fiber Reinforced Cementitious Mortar)



Rinforzo nodi: sviluppi futuri

➤ Rinforzo nodi

- ✓ Edificio L'Aquila demolito a seguito del terremoto. Calcestruzzo scadente ($f_{cm} = 12 \text{ Mpa}$)



INNOVATIVE RETROFIT SOLUTIONS

Rinforzo pannello di nodo con compositi fibrorinforzati ad elevate prestazioni
High Performance Fiber Reinforce Cementitious Composites (HPFRCC).

Resistenza media a compressione
calcestruzzo esistente **12 Mpa.**

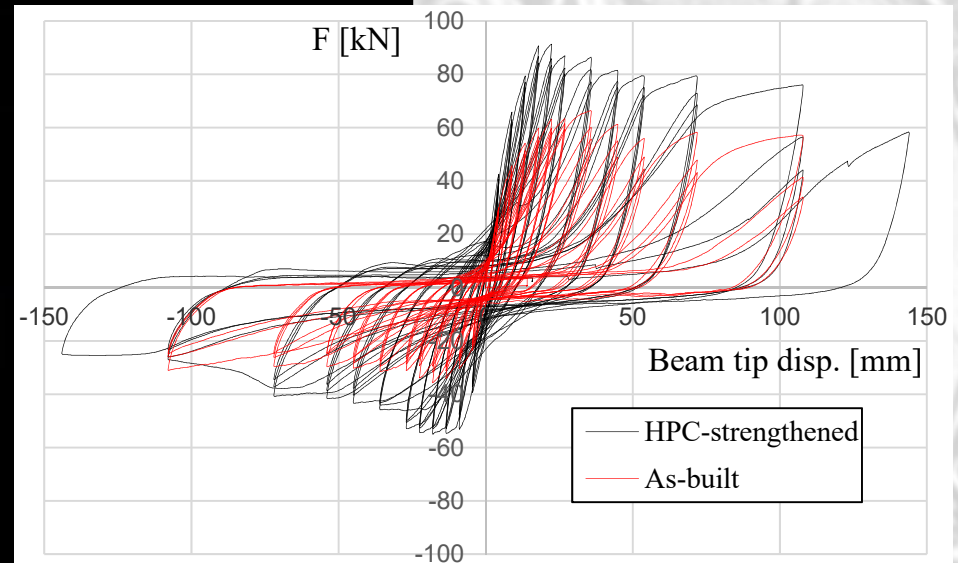
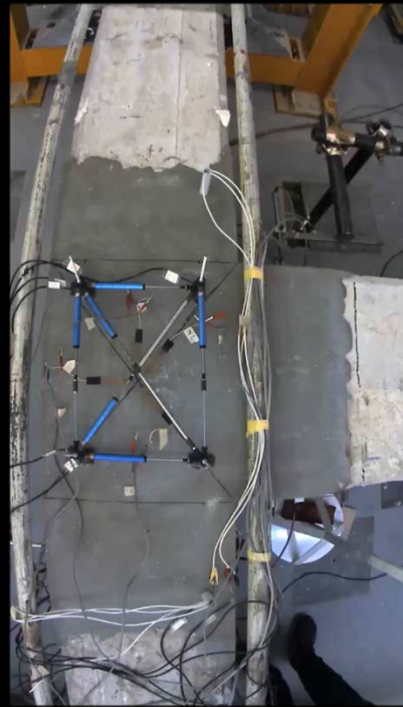
Sostituzione del copriferro
4 cm FRCC ($f_{cm} > 100 \text{ MPa}$)



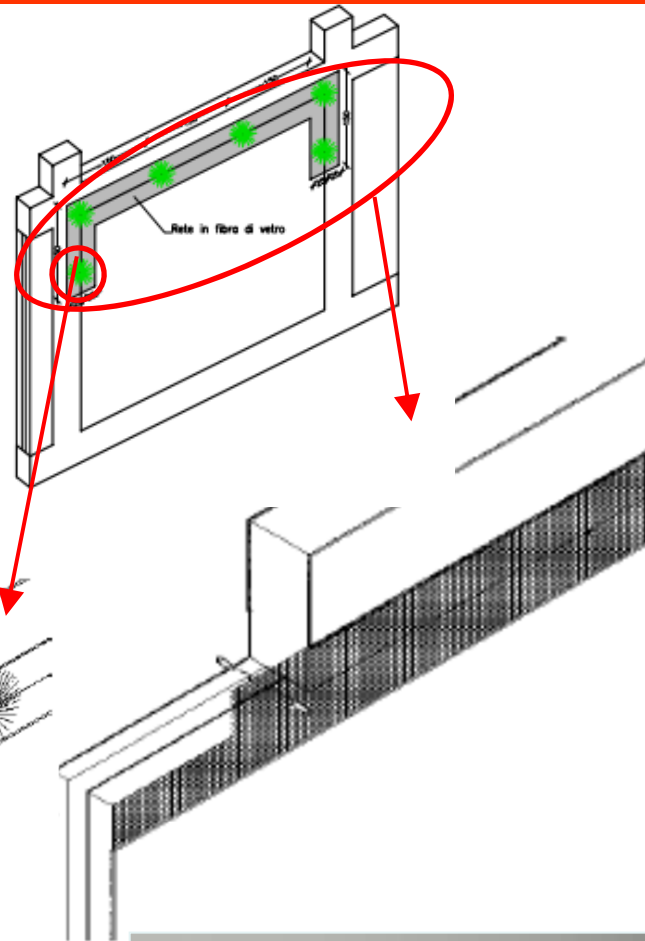
Rinforzo nodi: sviluppi futuri

➤ Rinforzo nodi

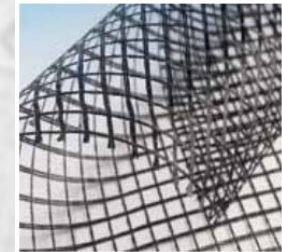
- ✓ Edificio L'Aquila demolito a seguito del terremoto. Calcestruzzo scadente ($f_{cm} = 12 \text{ Mpa}$)



Interventi su elementi non strutturali



- Rete in fibra di vetro o basalto



Interventi su elementi non strutturali



Rete metallica per aumentare la resistenza del pannello

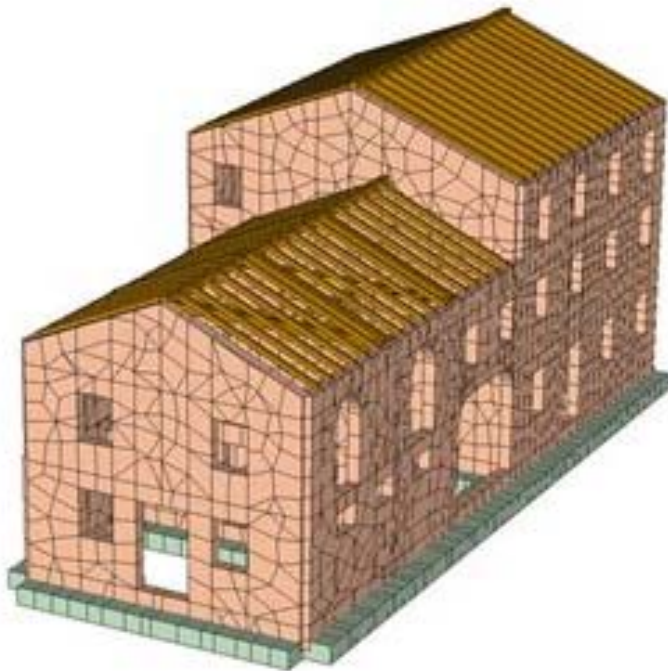


Tessuto in fibra di vetro. Incremento di duttilità legato ad una migliore distribuzione delle azioni derivanti dalle sollecitazioni dinamiche

METODO SEMPLIFICATO

➤ EDIFICI IN MURATURA

Edifici in MURATURA



Schema Strutturale a
RESISTENZA DISTRIBUITA

VULNERABILITÀ SISMICA

➤ **Interventi locali** mirati alla eliminazione delle maggiori fonti di vulnerabilità e criticità per l'incolumità degli occupanti (non è necessaria la valutazione del comportamento globale della struttura)

Incremento di 1 classe

SISMABONUS METODO SEMPLIFICATO

➤ EDIFICI IN MURATURA

- Valutazione classe di Vulnerabilità V_1 - V_6 (tipologia muraria, caratteristiche strutturali, peculiarità negative)
- Interventi atti a ridurre la vulnerabilità (Riduzione di una classe di vulnerabilità)
- Calcolo classe di rischio pre e post intervento (tabella 5)

Determinazione della tipologia strutturale e della classe di vulnerabilità

Tipologia di struttura	Classe di vulnerabilità					
	V_6 (=A _{EMS})	V_5 (=B _{EMS})	V_4 (=C _{EMS})	V_3 (=D _{EMS})	V_2 (=E _{EMS})	V_1 (=F _{EMS})
Muratura di pietra senza legante (a secco)	○					
Muratura di mattoni di terra cruda (adobe)	○—					
Muratura di pietra sbazzata	—○					
Muratura di pietra massiccia per costruzioni monumentali	—○—					
Muratura di mattoni e pietra lavorata	—○—	○				
Muratura di mattoni e solai di rigidità elevata		—○—				
Muratura rinforzata e/o confinata		—○—				

Figura 2 – Approccio semplificato per l'attribuzione della Classe di Vulnerabilità agli edifici in muratura

Classe di Rischio	PAM	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4
A+*	$PAM \leq 0,50\%$				$V_1 \div V_2$
A*	$0,50\% < PAM \leq 1,0\%$			$V_1 \div V_2$	$V_3 \div V_4$
B*	$1,0\% < PAM \leq 1,5\%$	V_1	$V_1 \div V_2$	V_3	V_5
C*	$1,5\% < PAM \leq 2,5\%$	V_2	V_3	V_4	V_6
D*	$2,5\% < PAM \leq 3,5\%$	V_3	V_4	$V_5 \div V_6$	
E*	$3,5\% < PAM \leq 4,5\%$	V_4	V_5		
F*	$4,5\% < PAM \leq 7,5\%$	V_5	V_6		
G*	$7,5\% \leq PAM$	V_6			

Tabella 5 – Classe PAM attribuita in funzione della classe di vulnerabilità assegnata all'edificio e della zona sismica in cui lo stesso è situato

SISMABONUS METODO SEMPLIFICATO

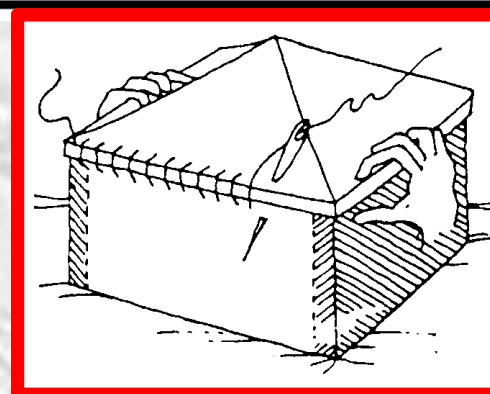
➤ EDIFICI IN MURATURA

➤ Passaggio classe di rischio

3. Interventi e relativo passaggio di classe di rischio

TIPOLOGIA STRUTTURALE	INTERVENTI DI RAFFORZAMENTO LOCALE	FINALITÀ DELL'INTERVENTO	PASSAGGIO DI CLASSE DI VULNERABILITÀ
INERTI/MAGLIA MURARIA			
pietra grezza	Non applicabili (non sono rispettate le condizioni del §3.2)		V ₆
mattoni di terra cruda (adobe)			
pietra sbozzata	<p>ESECUZIONE DEI SEGUENTI INTERVENTI SULL'INTERA UNITÀ STRUTTURALE</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ripristino delle zone danneggiate e/o degradate • Eliminazione delle spinte orizzontali non contrastate • Stabilizzazione fuori piano delle pareti di elevate dimensioni (larghezza e altezza) • Collegamento dei pannelli murari agli orizzontamenti <p>INTERVENTI AUSPICATI MA NON OBBLIGATORI</p> <ul style="list-style-type: none"> • Riduzione delle aperture di elevate dimensioni (soprattutto se intervallate da maschi di ridotte dimensioni) 	<ul style="list-style-type: none"> • Perseguire un comportamento d'insieme "regolare" e "scatolare".⁽¹⁰⁾ • Posticipare l'attivazione dei meccanismi locali e/o fuori del piano, rispetto all'attivazione dei meccanismi globali 	da V ₆ a V ₅

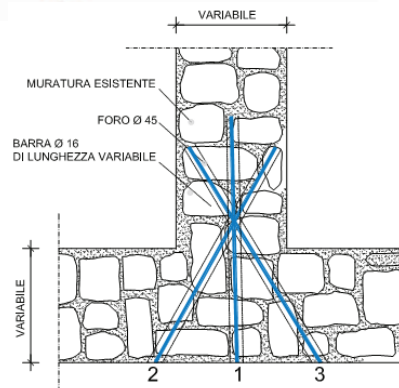
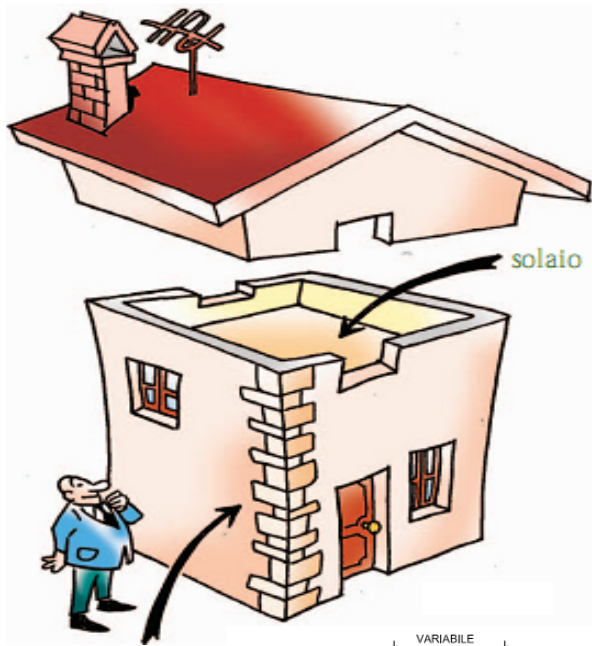
Incremento di 1 classe



Amatrice Terremoto Centro Italia 2016

➤ Caserma Carabinieri

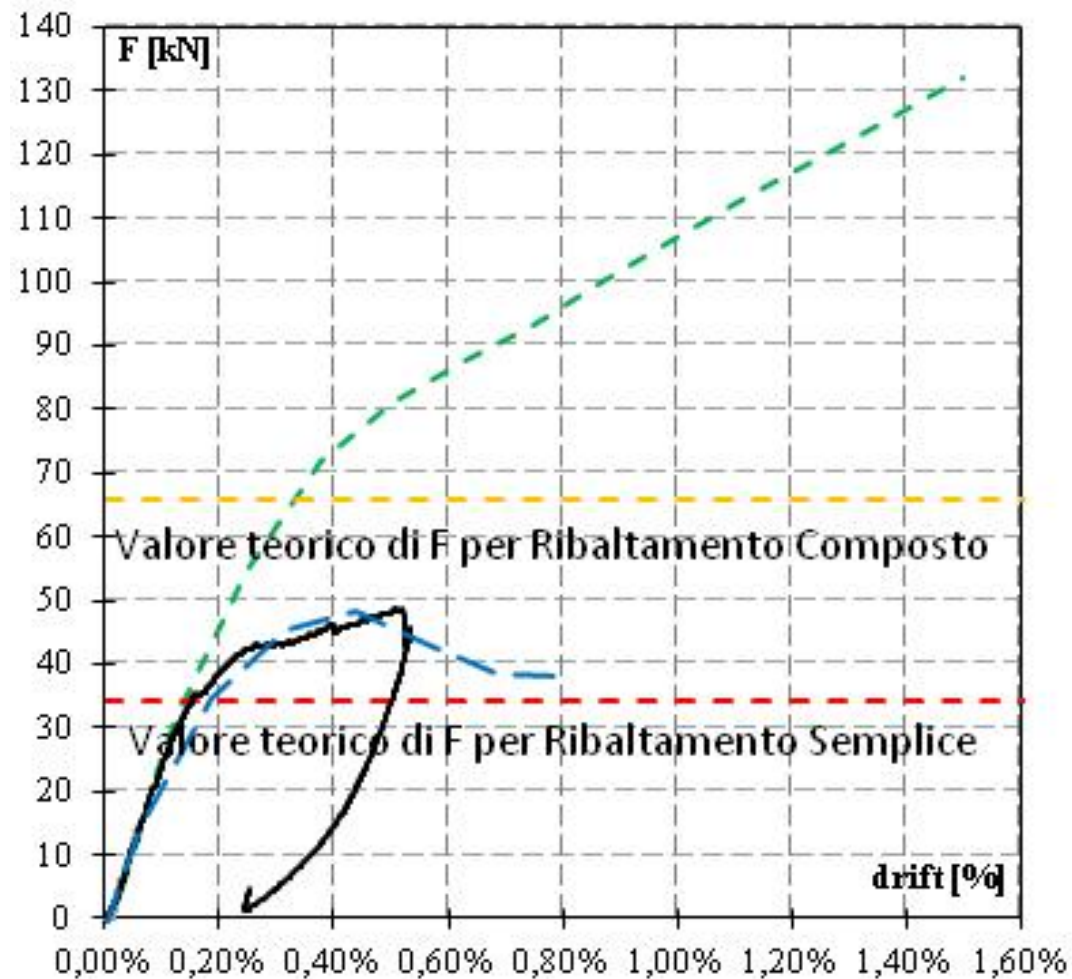
Tecniche di rinforzo per evitare fenomeni di ribaltamento: chiodature (in acciaio o in composito)



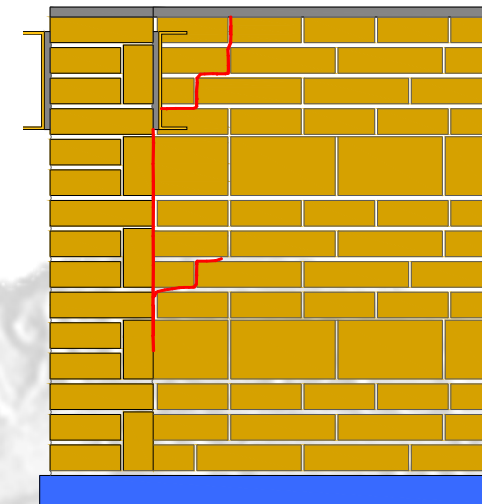
Rinforzo per meccanismi di ribaltamento FUORI PIANO

POSSIBILE INTERVENTO DI RINFORZO

- Chiodature in composito

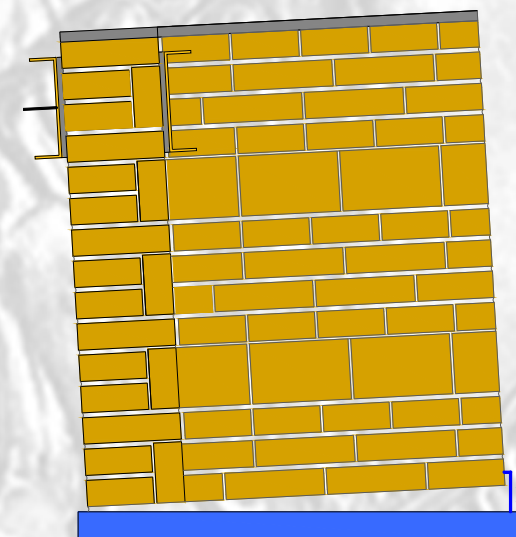


Non rinforzato



VISTA LATO SINISTRO

Rinforzato



EDIFICI ESISTENTI - MURATURA

➤ Collassi tipici e deficienze strutturali Edifici in MURATURA

Amatrice 2016



Non è sufficiente se la muratura sottostante è di scarsa qualità

EDIFICI ESISTENTI - MURATURA

➤ Collassi tipici e deficienze strutturali Edifici in MURATURA

Fibre Reinforced Cementitious Matrix (FRCM)

ALLEGATO A



Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici

Servizio Tecnico Centrale

*Linea Guida per la identificazione, la qualificazione ed il controllo di
accettazione di compositi fibrorinforzati a matrice inorganica
(FRCM) da utilizzarsi per il consolidamento strutturale di costruzioni
esistenti*

**Approvato
Luglio 2018**

Luglio 2018

CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE

COMMISSIONE DI STUDIO PER LA PREDISPOSIZIONE E L'ANALISI
DI NORME TECNICHE RELATIVE ALLE COSTRUZIONI

**Istruzioni
per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo
di Interventi di Consolidamento Statico
mediante l'utilizzo di
Sistemi di rinforzo FRCM**

BOZZA DEL 18 FEBBRAIO 2017



EDIFICI ESISTENTI - MURATURA

➤ Collassi tipici e deficienze strutturali Edifici in MURATURA

Intervento di rinforzo: Chiodature e Fibre Reinforced Cementitious Matrix (FRCM):
Validazione mediante prove su tavola vibrante su edificio in scala 1:2



metrics

Dimensioni: B= 270 cm L=270 cm H=250 cm t= 20 cm

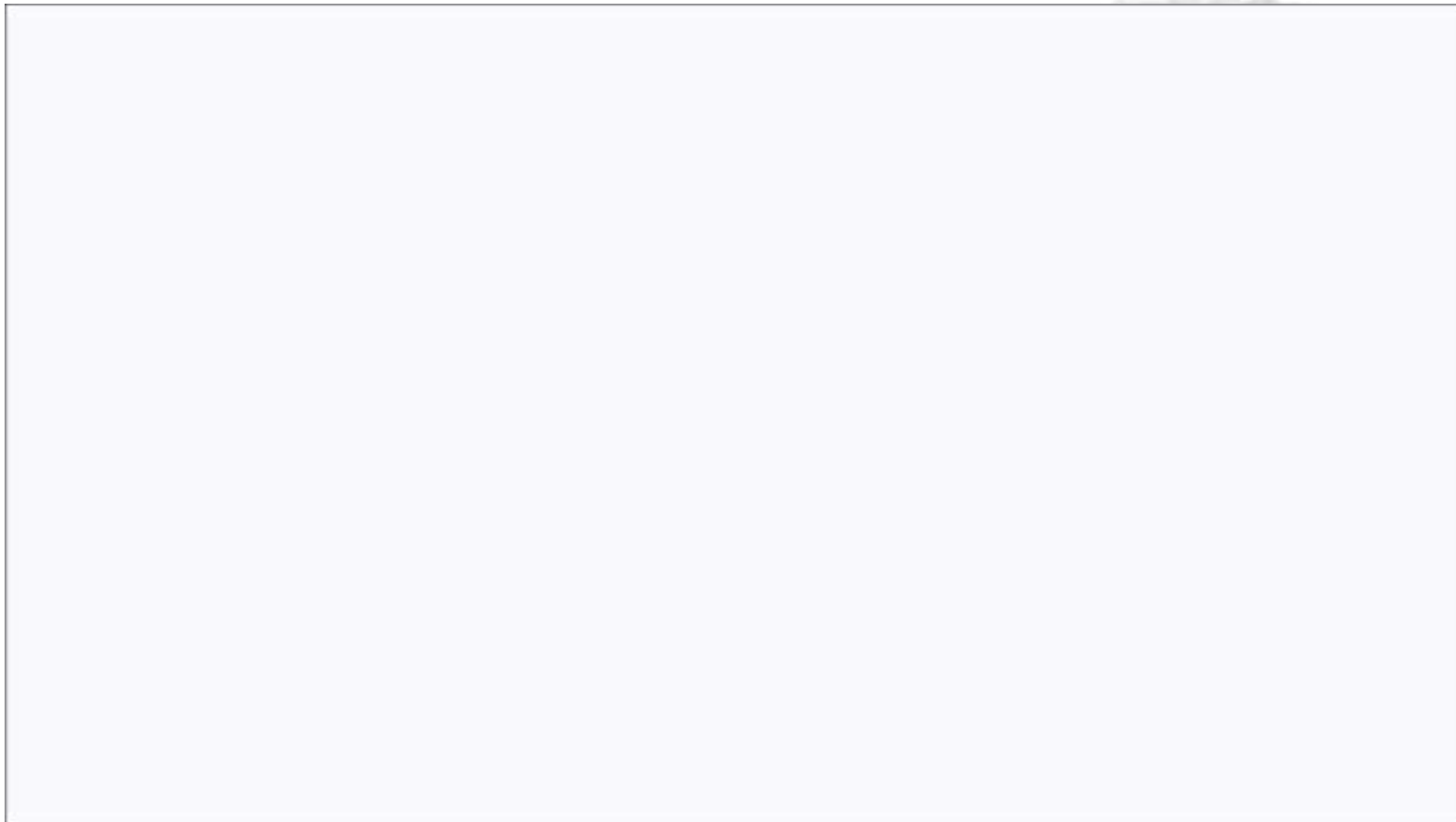
EDIFICI ESISTENTI - MURATURA

➤ **Collassi tipici e deficienze strutturali** Edifici in **MURATURA**

Intervento di rinforzo: Chiodature e Fibre Reinforced Cementitious Matrix (FRCM):

Validazione mediante prove su tavola vibrante su edificio in scala 1:2

Input terremoto L'Aquila(AQV_Est) S.F.= 125% PGA=0,8 g



EDIFICI ESISTENTI - MURATURA

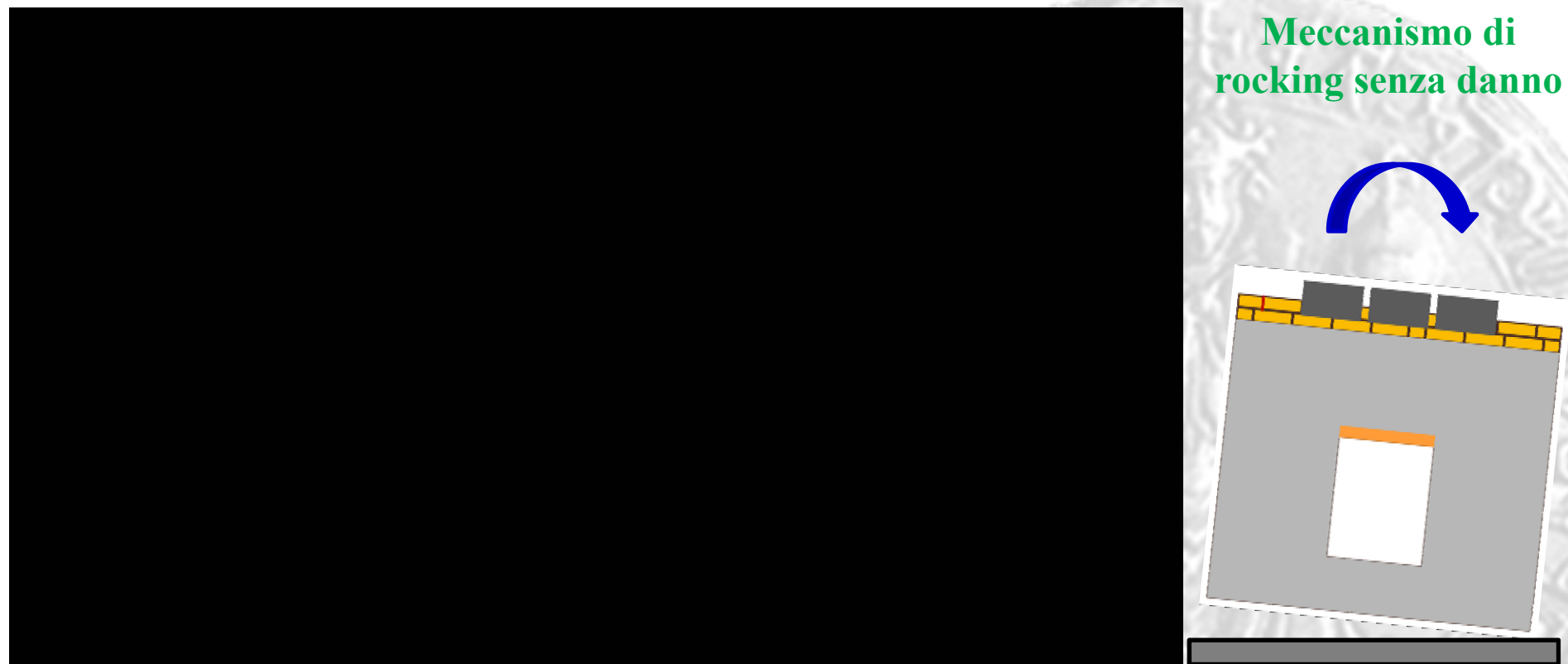
➤ Collassi tipici e deficienze strutturali Edifici in MURATURA

Fibre Reinforced Cementitious Matrix (FRCM):

Validazione mediante prove su tavola vibrante su edificio in scala 1:2

Input terremoto L'Aquila (AQV_Est) S.F.= 200% PGA=1,3 g

Meccanismo di
rocking senza danno



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

✓ Forte impulso all'innovazione

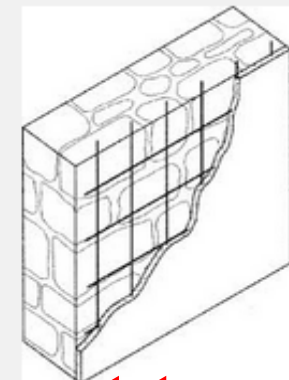


In 59 edifici sono stati adottati gli isolatori

Controventi: 25 edifici
Controventi dissipativi: 7 edifici



Intonaco armato



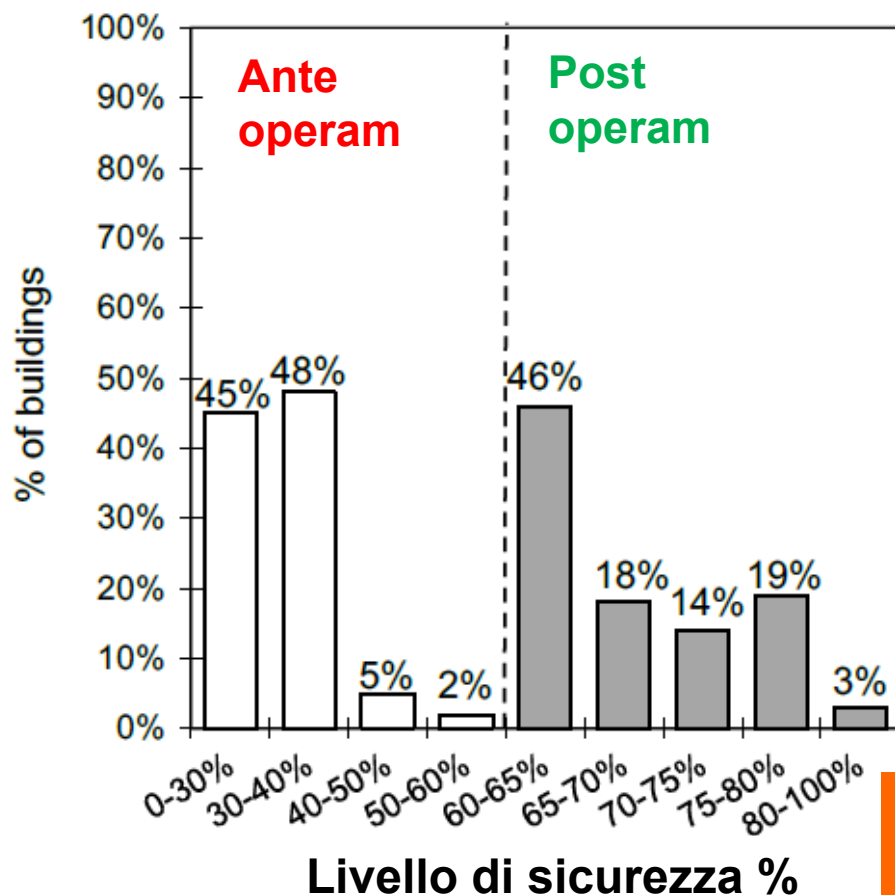
✓ Quasi sempre 2 o più tecniche sono state adottate in maniera combinata

L'Aquila: la ricostruzione pesante

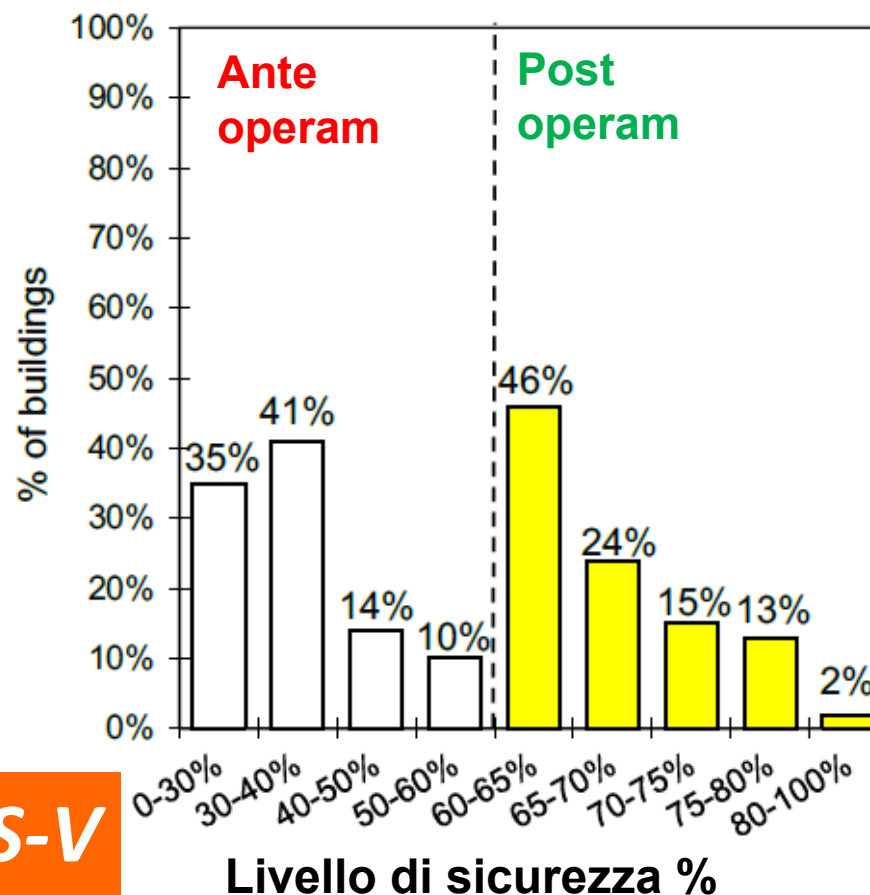
➤ RICOSTRUZIONE PESANTE

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

Edifici in cemento armato



Edifici in muratura



IS-V

Incremento di 1% di livello di sicurezza \approx 10€/m²

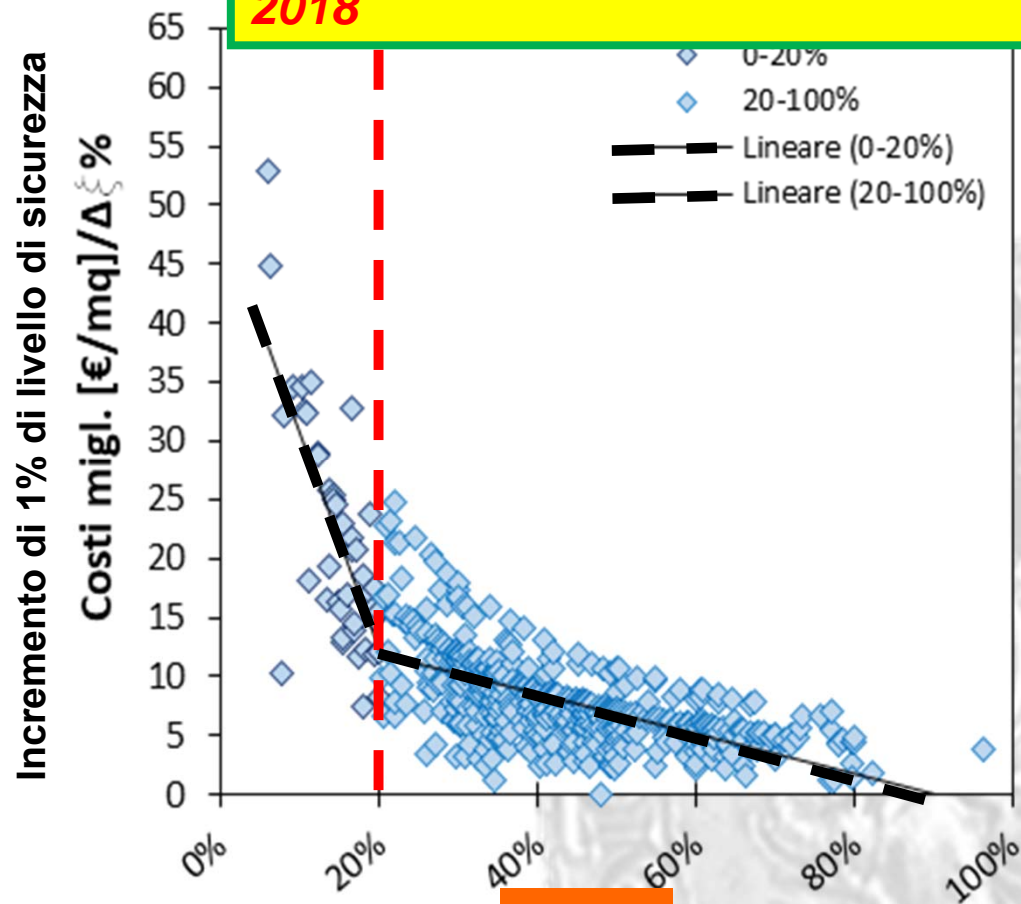
Costo incremento sicurezza - Edifici residenziali

➤ Edifici residenziali



.....Interventi di miglioramento NTC
2018

$$\Delta\zeta_E \geq 0.1$$



$\Delta\zeta_E \leq 20\%$ → in media 22€/mq per incrementare 1% livello sicurezza

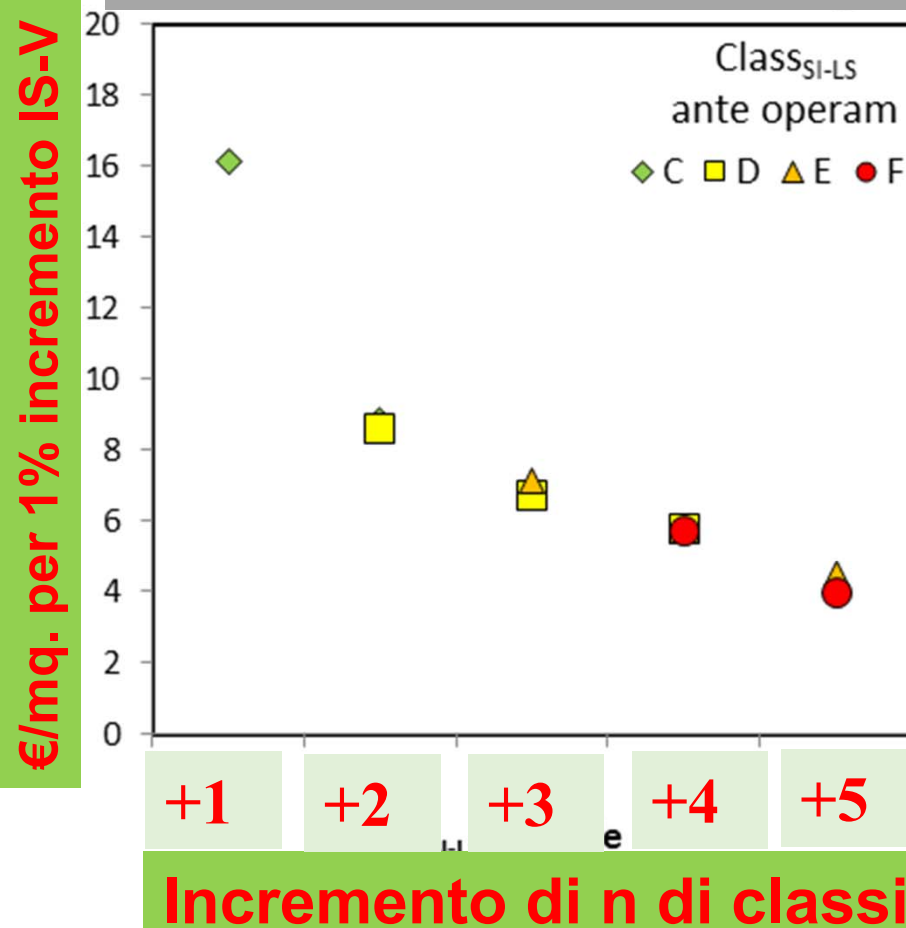
$\Delta\zeta_E$

$\Delta\zeta_E > 20\%$ → in media 8€/mq per incrementare 1% livello sicurezza

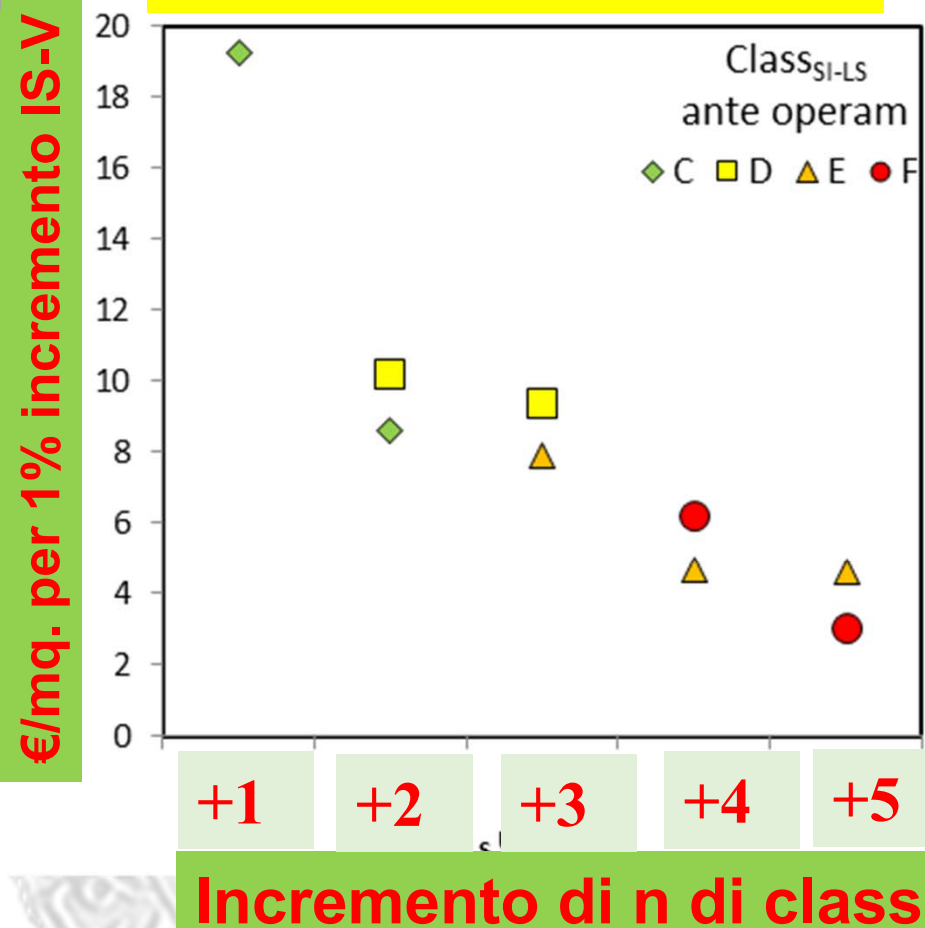
L'Aquila: la ricostruzione pesante

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

360 Edifici in cemento armato



229 Edifici in muratura



EFFICACIA INTERVENTI: NORCIA

STORIA SISMICA DI NORCIA

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

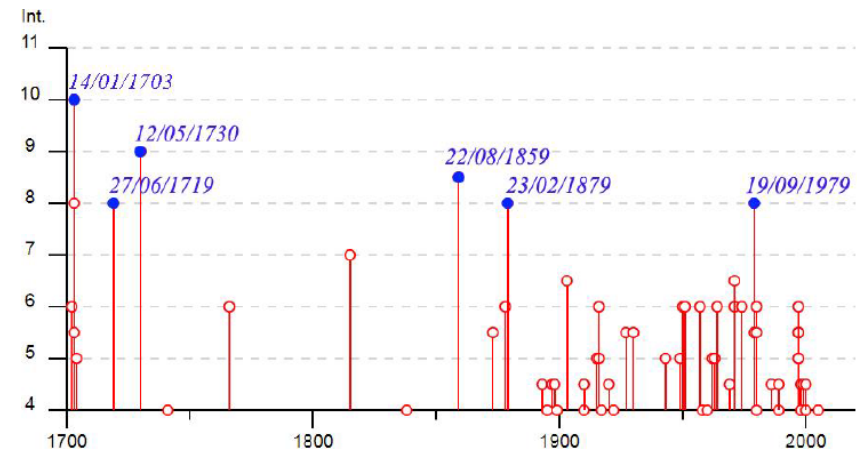


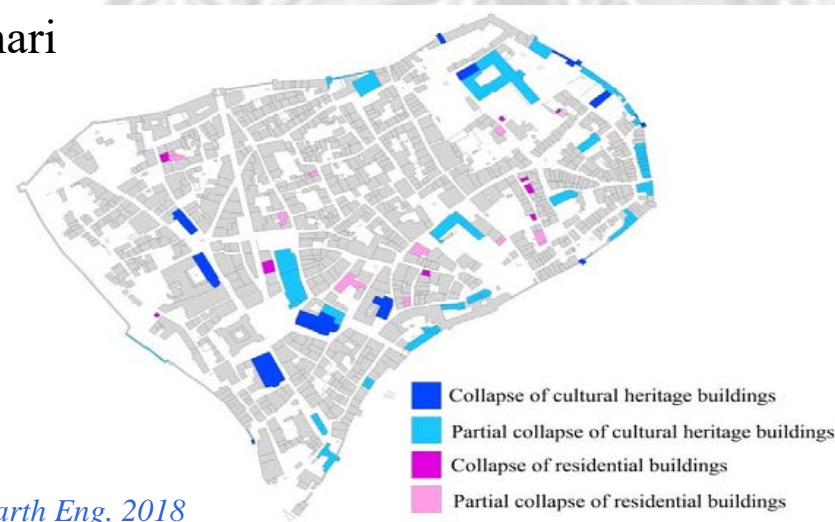
Figura 1. Terremoti verificatisi a Norcia. Immagine elaborata a partire dal grafico e dai dati disponibili in [2].

Analisi del danno degli edifici ordinari
nel **centro storico di Norcia**
sulla base dei dati di 714 Schede
AeDES.

*Sono stati analizzati i dati di 670
unità strutturali in muratura*

*Damage assessment and the effectiveness of prevention:
the response in buildings in Norcia*

R. Sisti, M. Di Ludovico, A. Borri, A. Prota. Bulletin of Earth Eng. 2018



EFFICACIA INTERVENTI: NORCIA

STORIA SISMICA DI NORCIA

Terremoto del 22 agosto 1859

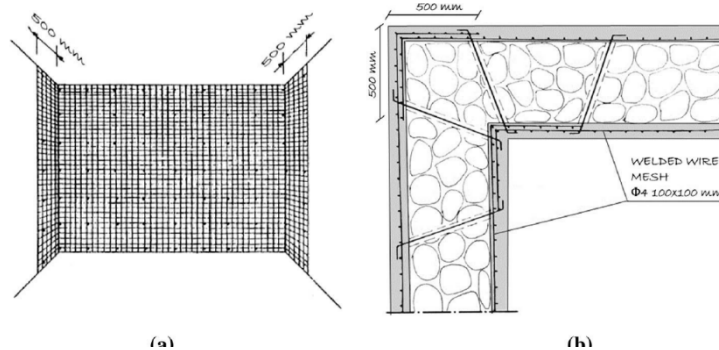
Regolamento edilizio di Norcia del 1860

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

H1: Muratura rinforzata con iniezioni o intonaci non armati

H2: Muratura armata o con intonaci armati

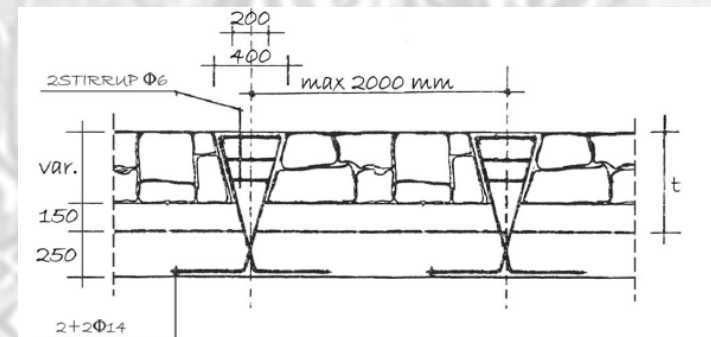
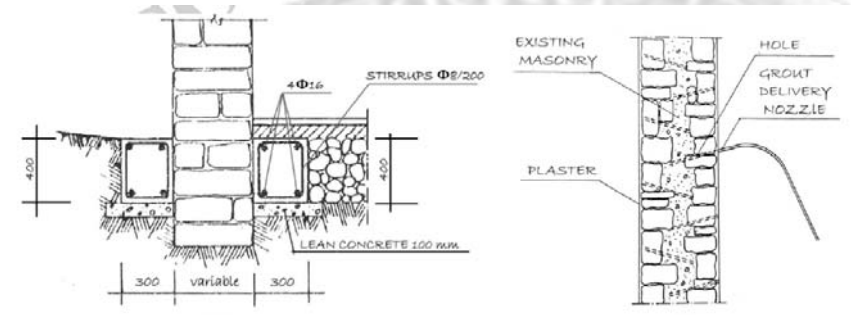
H3: Muratura con altri o non identificati rinforzi



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



Efficacia interventi

Analisi dei contributi erogati per il centro storico di Norcia

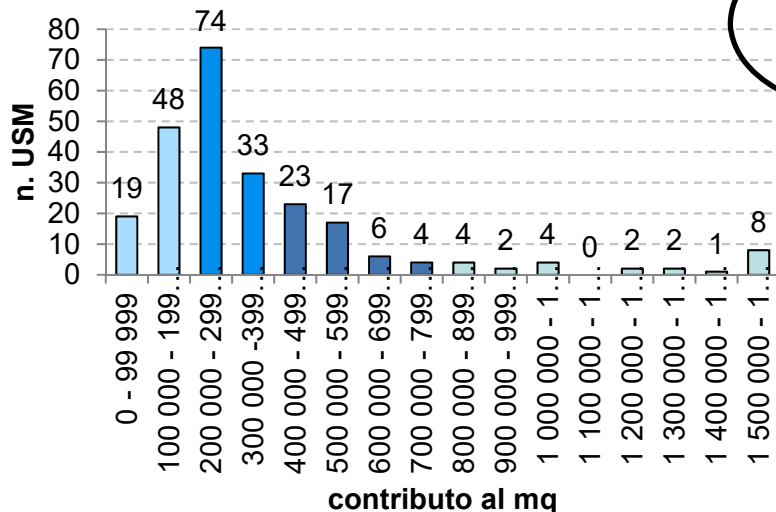
189 contributi erogati

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: NORCIA

STORIA SISMICA DI NORCIA

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

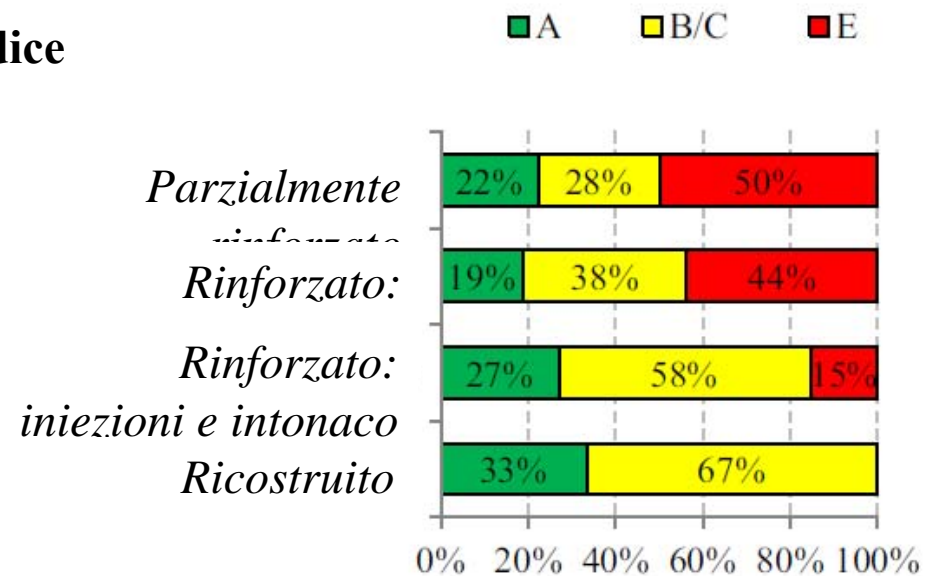
D.G.R. n. 290 del 29 giugno 1981

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



Edifici a livello di danno crescente

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



Danni indotti da sisma: L'Aquila 2009

Costi diretti riparazione e retrofit sismico (o demolizione e ricostruzione) di edifici privati(4.885) fuori dai centri storici

2,6 miliardi di euro

1,3 miliardi di euro riparazione



I FASE : LA RICOSTRUZIONE LEGGERA

✓ **2.904 edifici:**

Costo totale **0,5 milioni di euro**

Costo medio per edificio **184.000€** (128.000 per interventi di rip., 70%)

II FASE: LA RICOSTRUZIONE PESANTE

✓ **1.951 edifici:**

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

Costo medio per edificio **1 milione €** (580.000 per interventi di rip., 58%)

Danni indotti da sisma: L'Aquila 2009

ASSISTENZA ALLA POPOLAZIONE

Costi diretti di riparazione

Costi indiretti – Assistenza alla popolazione

1,3 miliardi di euro

0,95 miliardi di euro*

I FASE: LA RICOSTRUZIONE LEGGERA

Costi diretti della riparazione

Costi indiretti – Assistenza alla popolazione

**128.000€/edifici per
interventi di riparazione**

~ 380€/mese/persona per 1,5 anni
6.874 €/persona → 62.928,00 €/ed.*

In media, Tot: diretti +indiretti ~ 191.000 €/edifici

II FASE: LA RICOSTRUZIONE PESANTE

Costi diretti della riparazione

Costi indiretti – Assistenza alla popolazione

**580.000€/ edifici per interventi di
riparazione**

~ 420€/ mese/persona per 7,5 anni
37.615€/persona

On average, Tot: diretti +indiretti ~ 928.000 €/edificio

* N. medio abitante/edificio a L'Aquila = 9,2 persone/ edificio

CONCLUSIONI

**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

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

Antonio Borelli, Romina Sisti
Università degli Studi di Perugia, Dipartimento di Ingegneria
antonio.borelli@unipg.it
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
www.diss.unina.it
ap@dis.unina.it

Sandro Costantini, Marco Berkezi, Alessandro De Maria, Elisabetta Aisa, Alessio Bragetti, Francesco Savi, Gianluca Fagotti, Luciano Babil
Regione Umbria - Servizio Rischio Sismico
ediceroni@regione.umbria.it

CONCLUSIONI



Ecobonus



Sismabonus



...e Circolare esplicativa ...

➤ **Obiettivo:**

Progettazione integrata interventi di riduzione del rischio e delle perdite attese nonché di efficienza energetica. Sfruttando al meglio le opportunità derivanti dai recenti strumenti normativi.

BIM – Building Information Modelling

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

