

La valutazione economica degli interventi in base all'esperienza della ricostruzione a L'Aquila

30 maggio 2017



Prof. Ing. Andrea Prota

Università degli Studi di Napoli Federico II

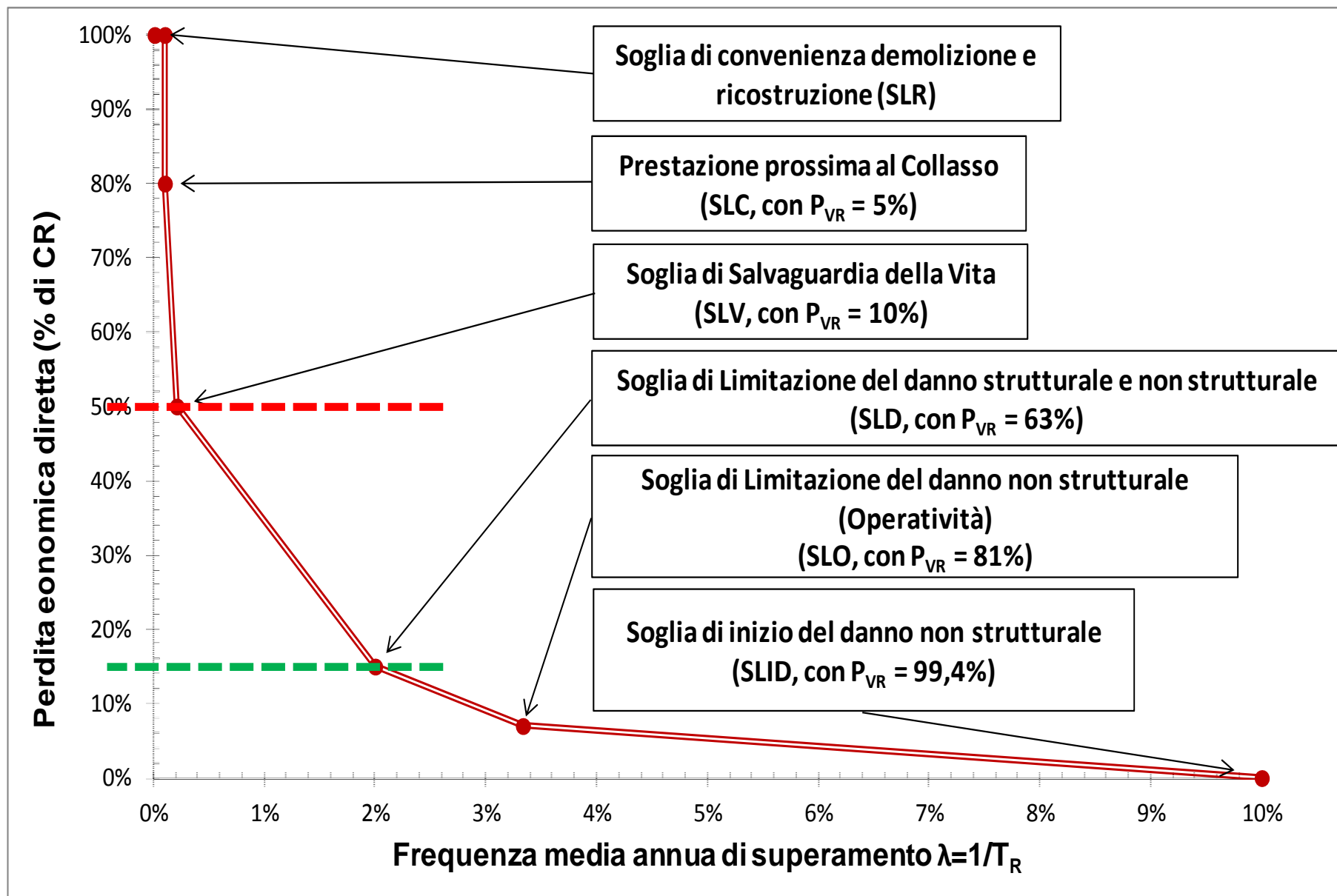
*Dipartimento di Strutture per l'Ingegneria e l'Architettura
(DiST)*

Email: aprota@unina.it



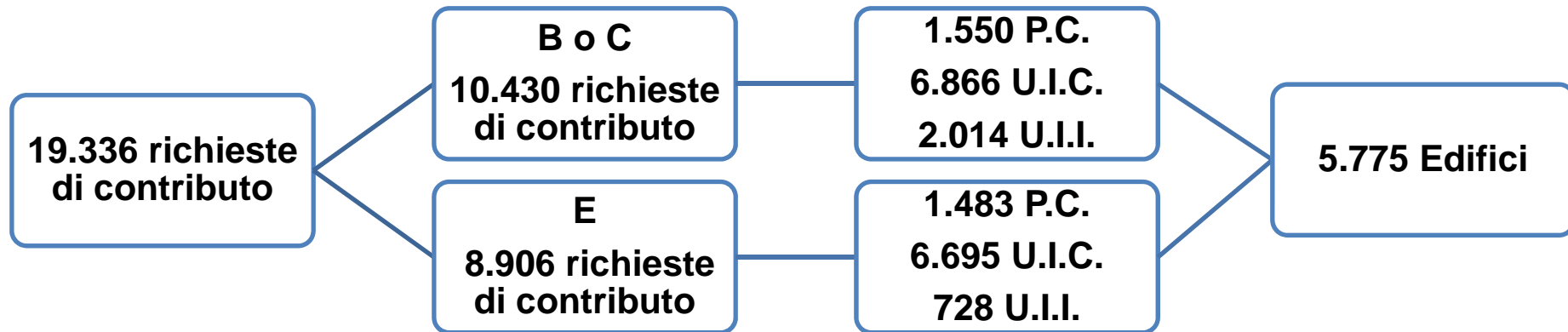
REte dei **L**aboratori **U**niversitari di **I**ngegneria **S**ismica

Perdita economica diretta come % di CR



Il campione di edifici danneggiati

- L'Attività della "Filiera Fintecna-ReLUIS-Cineas"



Sono stati rilasciati contributi per 13.832 alloggi (U.I.I. e U.I.C.)



FINTECNA



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

www.reluis.it



Bull Earthquake Eng (2017) 15:667–692
DOI 10.1007/s10518-016-9877-8



ORIGINAL RESEARCH PAPER

**Reconstruction process of damaged residential buildings
outside historical centres after the L'Aquila earthquake:
part I—“light damage” reconstruction**

Marco Di Ludovico¹ · Andrea Prota¹ · Claudio Moroni² ·
Gaetano Manfredi¹ · Mauro Dolce²

Bull Earthquake Eng (2017) 15:693–729
DOI 10.1007/s10518-016-9979-3



ORIGINAL RESEARCH PAPER

**Reconstruction process of damaged residential buildings
outside historical centres after the L'Aquila earthquake:
part II—“heavy damage” reconstruction**

Marco Di Ludovico¹  · Andrea Prota¹ · Claudio Moroni² ·
Gaetano Manfredi¹ · Mauro Dolce²

Esito di agibilità secondo scheda Aedes



SCHEDA DI 1° LIVELLO DI RILEVAMENTO DANNO, PRONTO INTERVENTO E AGIBILITÀ PER EDIFICI ORDINARI NELL'EMERGENZA POST-SISMICA (AeDES 07/2013)



ID SCHEDA: _____

SEZIONE1 - IDENTIFICAZIONE EDIFICIO

Provincia: _____ | IDENTIFICATIVO SOPRALLUOGO _____ | giorno | mese | anno |

_____ Squadra | _____ N° scheda | _____ Data | _____

SEZIONE 8 - Giudizio di agibilità

		8-B Esito di agibilità		
Non Strutturale (sez. 5)	Geotecnico (sez. 7)	A	Edificio AGIBILE (*)	<input type="radio"/>
		B	Edificio TEMPORANEAMENTE INAGIBILE (in tutto o in parte) ma AGIBILE con provvedimenti di P.I. (1)	<input type="radio"/>
		C	Edificio PARZIALMENTE INAGIBILE (2)	<input type="radio"/>
		D	Edificio TEMPORANEAMENTE INAGIBILE da rivedere con approfondimento (3)	<input type="radio"/>
		E	Edificio INAGIBILE (4)	<input type="radio"/>
		F	Edificio INAGIBILE per rischio esterno (5)	<input type="checkbox"/>

SLD

SLV

Livello-estensione Componente strutturale- Danno preesistente		Danno ⁽¹⁾									
		D4 - D5 Gravissimo			D2 - D3 Medio Grave			D1 Leggero			Nulla
		> 2/3	1/3 - 2/3	< 1/3	> 2/3	1/3 - 2/3	< 1/3	> 2/3	1/3 - 2/3	< 1/3	
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	
1	Strutture verticali	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	Solai	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	Scale	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	Copertura	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	Tamponature - Tramezzi	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6	Danno preesistente	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

D1 danno leggero è un danno che *non cambia in modo significativo la resistenza della struttura* e non pregiudica la sicurezza degli occupanti a causa di possibili cadute di elementi non strutturali:

D2-D3 danno medio-grave: è un danno che *potrebbe anche cambiare in modo significativo la resistenza della struttura, senza che però venga avvicinato palesemente il limite del crollo parziale di elementi strutturali principali*:

D4-D5 danno gravissimo: è un danno che *modifica in modo evidente la resistenza della struttura portandola vicino al limite del crollo parziale o totale di elementi strutturali principali. Stato descritto da danni superiori ai precedenti, incluso il collasso*.

Edifici con esito di agibilità B o C

Caso 1 – Edificio C

EDIFICIO IN C.A.

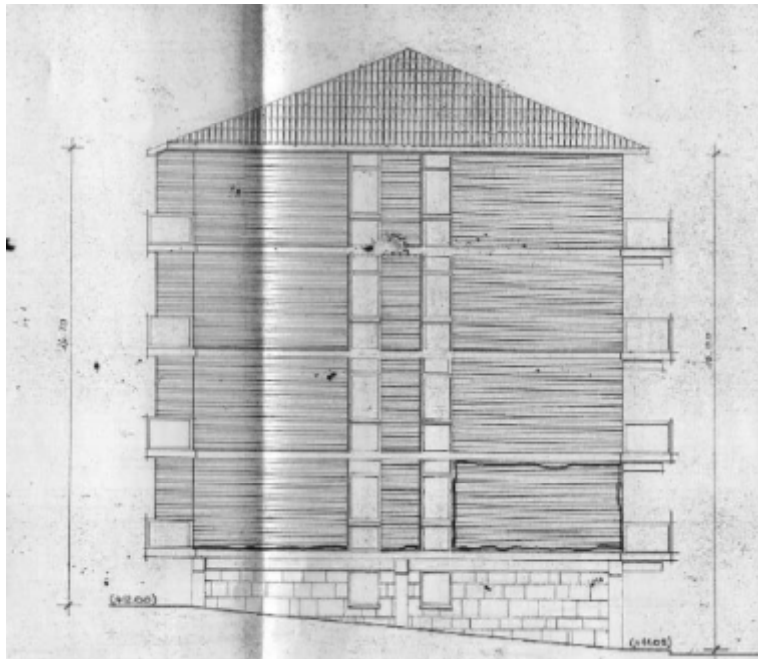
Danno nullo a strutture verticali.

Danno nullo agli orizzontamenti

**Danno D4-D5 alle
partizioni/tamponature**

Costo di riparazione: 160 €/mq

Sup. Coperta: 4066 mq



Caso 1 – Edificio C

EDIFICIO IN C.A.



Caso 2 – Edificio B

EDIFICIO IN C.A.

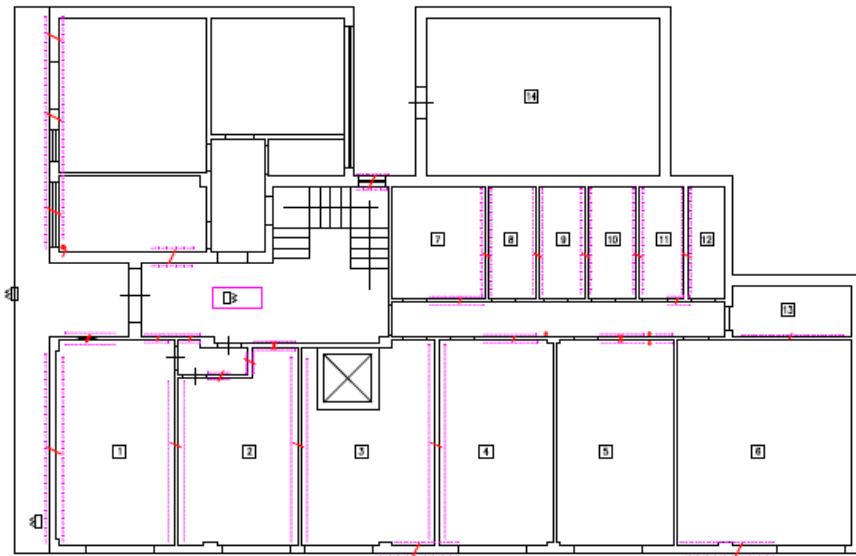
Danno nullo a strutture verticali.

Danno D1 agli orizzontamenti

**Danno D1 alle
partizioni/tamponature**

Costo di riparazione: 181 €/mq

Sup. Coperta: 1253 mq



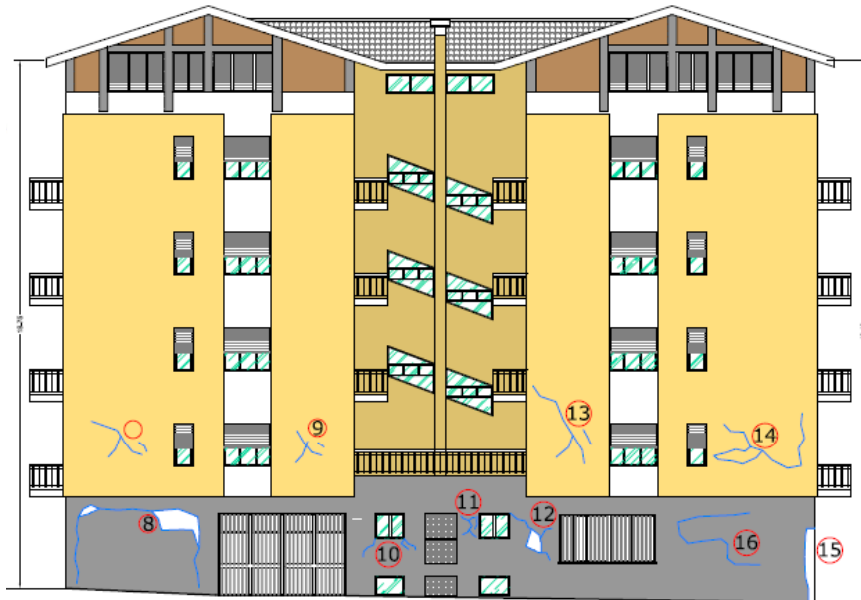
Caso 3 – Edificio C

EDIFICIO IN C.A.

Danno D1 e D2-D3 alle strutture verticali.

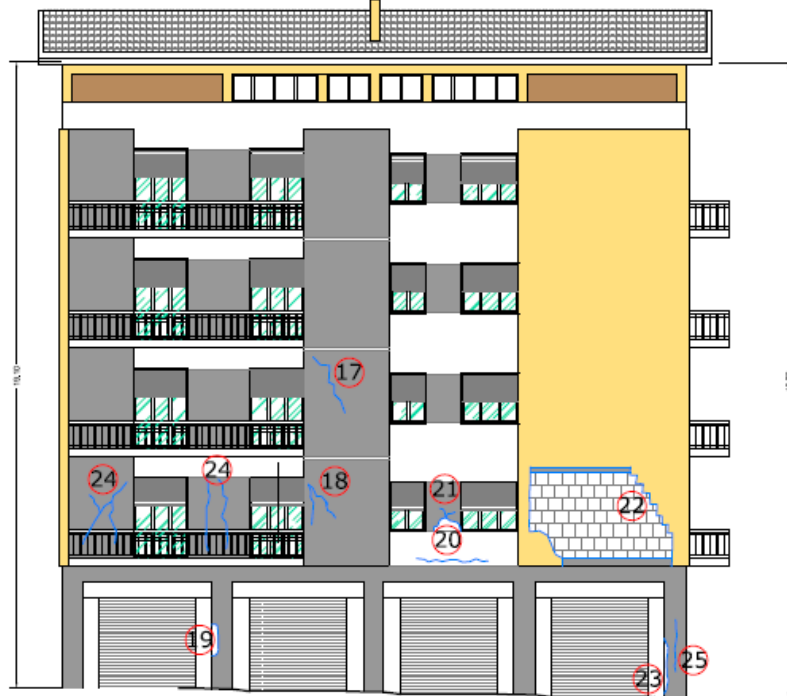
Danno nullo agli orizzontamenti
Danno D4-D5 alle partizioni/tamponature

Costo di riparazione: 320 €/mq
Sup. Coperta: 2610 mq



Caso 3 – Edificio C

EDIFICIO IN C.A.



Edifici B o C– Costi di riparazione

- Edifici in c.a.: 1598
- Costo medio di riparazione: 184 €/mq

- Edifici in muratura: 899
- Costo medio di riparazione: 217 €/mq

- Edifici totali: 2497
- Costo medio di riparazione: 196 €/mq

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

Perdita Economica Diretta (% di CR) = 16.3% (SLD)

Perdita economica diretta come % di CR - SLD

Stato Limite	CR(%)
SLR	100%
SLC	80%
SLV	50%
SLD	15%
SLO	7%
SLID	0%

- Andamento di %RC in funzione dell'intensità macrosismica e della vulnerabilità EMS-98, in zona 1: CR = 13.6%; 15.9%

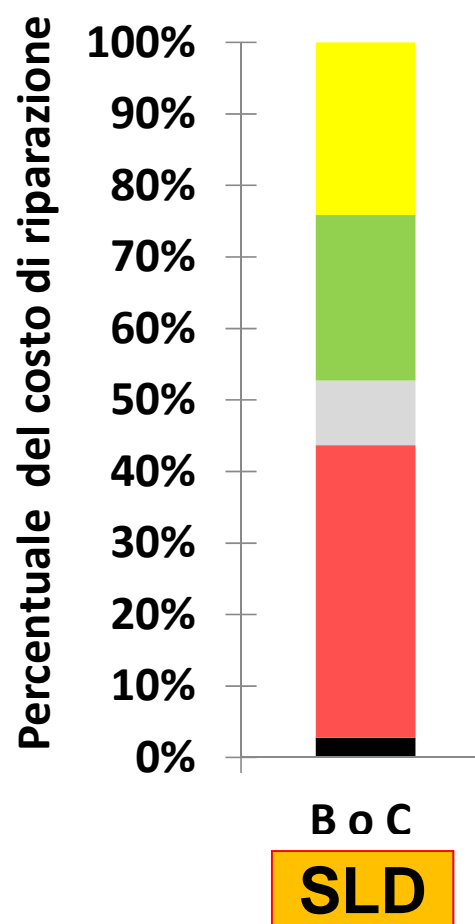
- Dati ricostruzione privata dopo il sisma di l'Aquila del 2009: : CR = 16.3%

Perdita economica diretta SLD - Analisi voci di costo

Totale campione c.a.

- Costo medio riparazione 184 €/mq (15.3% CR)

Sottocampione 10 edifici in c.a.



Oneri cantiere: 24%

Tegole, comignoli,
pavimenti: 23%

Impianti: 9%

Tamponature: 41% (54%)

Rip. Strutturali: 3%



Edifici con esito di agibilità E

Caso 1 – Edificio E

EDIFICIO IN C.A.

Danno D4-D5 alle strutture verticali.
Danno nullo alle strutture orizzontali
Danno D1 alle partizioni/tamponature
Costo di riparazione: 209 €/mq
Sup. Coperta: 703 mq



Caso 1 – Edificio E



**Distacco
tamponatura
struttura**

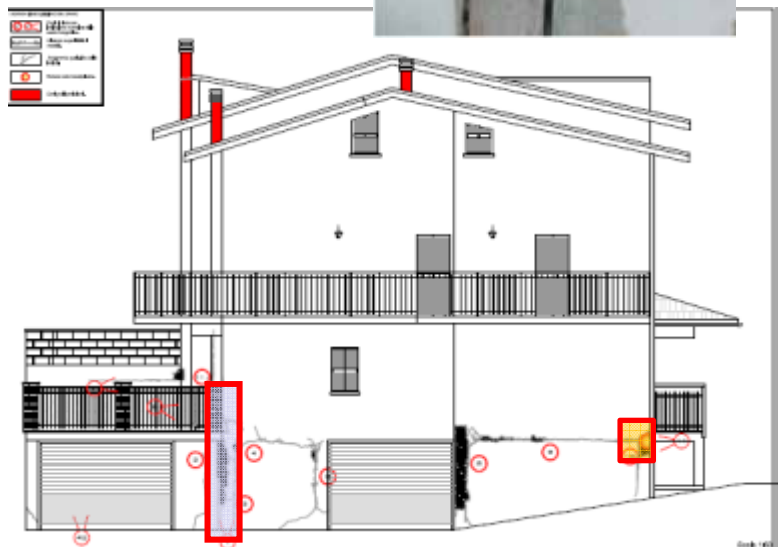


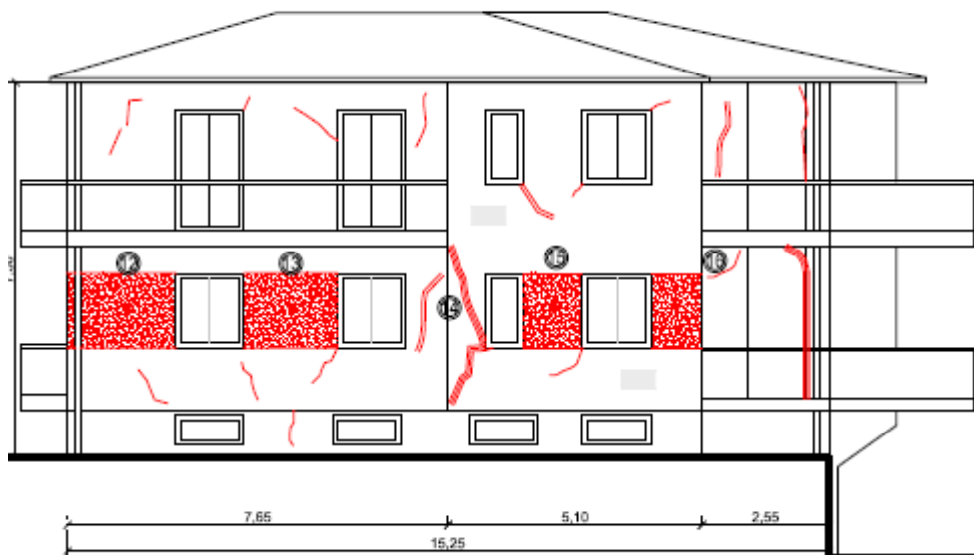
Foto 11

**Rottura nodo
trave-pilastro**

Caso 2 – Edificio E

EDIFICIO IN C.A.

Danno D1 alle strutture verticali.
Danno nullo alle strutture orizzontali
Danno D4-D5 alle
partizioni/tamponature
Costo di riparazione: 709 €/mq
Sup. Coperta: 903 mq



Caso 2 – Edificio E



5

6

7

8

9

10

Caso 3 – Edificio E



EDIFICIO IN MURATURA

Danno D4-D5 alle strutture verticali.

Danno nullo alle strutture orizzontali

Danno D2-D3 alle partizioni

Costo di riparazione: 608 €/mq

Sup. Coperta: 1057 mq



Caso 3 – Edificio E



Pt 26



Pt 45



Pt 13



Caso 3 – Edificio E



Pp 8



Pp11



Pp 5

Edifici E – Costi di riparazione

- Edifici in c.a.: 447
- Costo medio di riparazione: 533 €/mq

- Edifici in muratura: 313
- Costo medio di riparazione: 448 €/mq

- Edifici totali: 760
- Costo medio di riparazione: 498 €/mq

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

Perdita Economica Diretta (% di CR) = 41.5% (SLV)

Perdita economica diretta come % di CR - SLD

Stato Limite	CR(%)
SLR	100%
SLC	80%
SLV	50%
SLD	15%
SLO	7%
SLID	0%

- Andamento di %RC in funzione dell'intensità macrosismica e della vulnerabilità EMS-98, in zona 1: CR = 45.8%, 51.5%

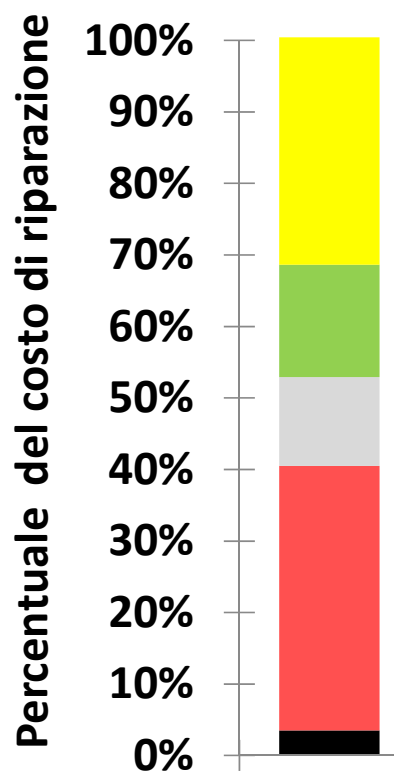
- Dati ricostruzione privata dopo il sisma di l'Aquila del 2009: : CR = 41.5%

Perdita economica diretta SLV - Analisi voci di costo

Totale campione c.a.

- Costo medio riparazione 533 €/mq (44.4% CR)

Sottocampione 10 edifici in c.a.



E

SLV

Oneri cantiere: 32%

Tegole, comignoli,
pavimenti: 16%

Impianti: 12%

Tamponature: 37% (54%)

Rip. Strutturali: 3%



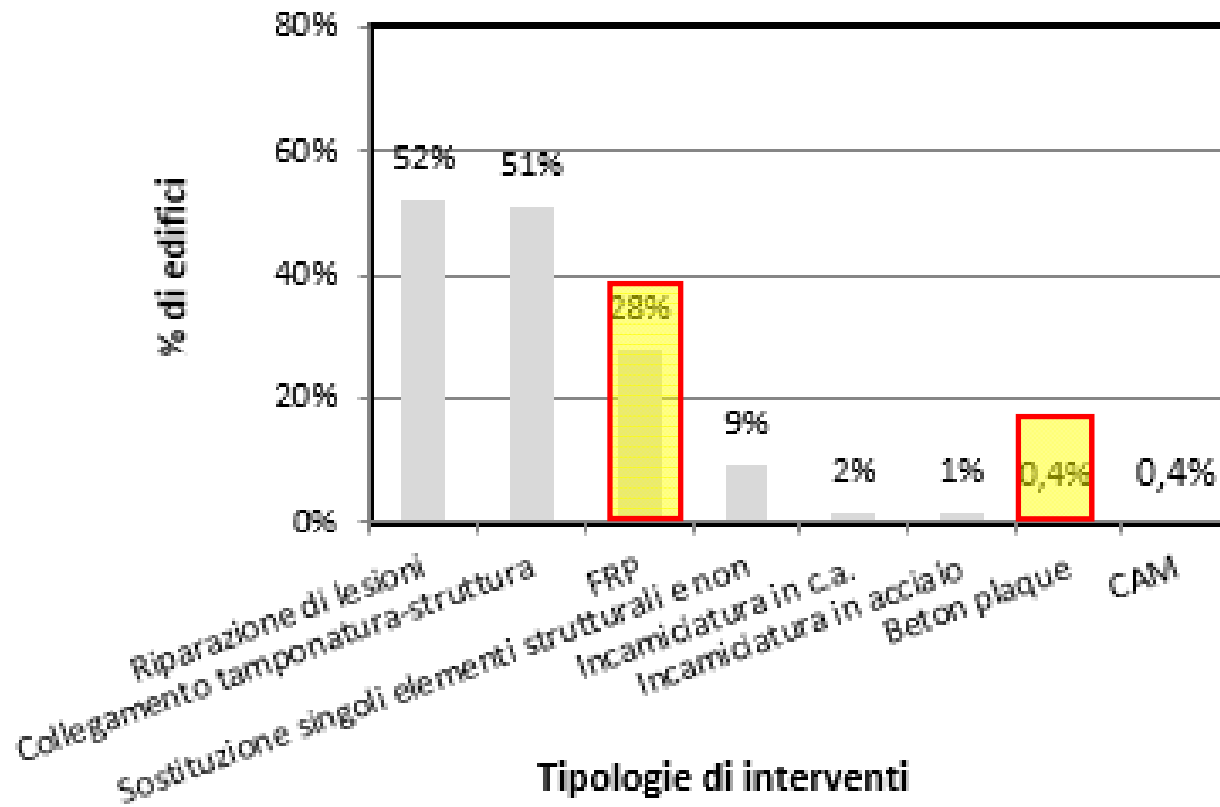
Qualche considerazione su costi e tipi di intervento

Ricostruzione leggera – Costi di riparazione e rafforzamento

- Edifici privati in c.a.

Esito B o C: 1598 Edifici – contributo medio: 218€/mq

- Costi medi di riparazione: 184 €/mq (84%)
- Costi medi di rafforzamento locale: 34 €/mq (16%)



FRP

CAM



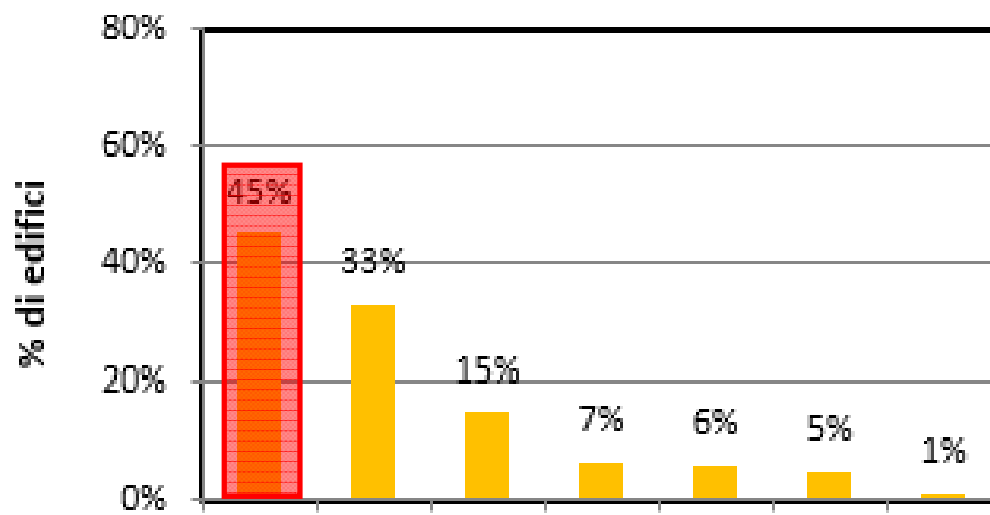
Ricostruzione leggera – Costi di riparazione e rafforzamento

- *Edifici privati in muratura*

Esito B o C: 899 Edifici – contributo medio: 285 €/mq

- Costi medi di riparazione: 217 €/mq
- Costi medi di rafforzamento locale: 68 €/mq

(76%)
(24%)



Incatenamento



✓ **Costi di rafforzamento locale:** il doppio rispetto agli edifici in c.a. (in ogni caso minore del massimo finanziabile **150 €/mq**)

Sostituzione singoli elementi strutturali e non
Collegamento tamponatura-struttura

Tipologie di interventi

Ricostruzione leggera – Costi di rafforzamento (8.4.3)

- Edifici privati in c.a.

Esito B o C: 1598 Edifici

- Costi medi di rafforzamento locale:

Esempio: Appartamento di 130 mq

Costo intervento locale a mq: 150 euro/mq

Costo stimabile: 130 mq x 150 euro/mq = 19,500 euro

Interventi locali (8.4.3) – Metodo Semplificato

COSTRUZIONI IN MURATURA

TIPOLOGIA STRUTTURALE		INTERVENTI DI RAFFORZAMENTO LOCALE	FINALITÀ DELL'INTERVENTO	PASSAGGIO DI CLASSE DI VULNERABILITÀ
INERTI/MAGLIA MURARIA				
MURATURA	pietra grezza	Non applicabili (non sono rispettate le condizioni del 53.2)		V₆
	mattoni di terra cruda (adobe)			
	pietra sbazzata	<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 V₆ a V₅
		<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 	<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 V₅ a V₄
			<p>segue un comportamento d'insieme regolare e "scatolare".⁽¹⁰⁾</p> <p>almeno al minimo il rischio di danno agli elementi non strutturali</p>	da V₄ a V₃

2.2 Metodo semplificato

Alternativamente al metodo convenzionale, limitatamente alle tipologie in muratura, l'attribuzione della Classe di Rischio ad un edificio può essere condotta facendo riferimento alla procedura descritta in questo paragrafo. Nello specifico si determina, sulla base delle caratteristiche della costruzione, la Classe di Rischio di appartenenza a partire dalla classe di vulnerabilità definita dalla Scala Macrosismica Europea (EMS) di seguito riportata.

Tipologia di struttura	Classe di vulnerabilità					
	V ₆ (=A _{1,MS})	V ₅ (=B _{1,MS})	V ₄ (=C _{1,MS})	V ₃ (=D _{1,MS})	V ₂ (=E _{1,MS})	V ₁ (=F _{1,MS})
Muratura di pietra senza legante (a secco)	○					
Muratura di mattoni di terra cruda (adobe)	○	—				

Interventi locali (8.4.3) – Metodo Semplificato

CAPANNONI INDUSTRIALI

Nell'ambito delle costruzioni destinate ad attività produttive, per le **strutture assimilabili ai capannoni industriali** è possibile ritenere valido il passaggio alla Classe di Rischio immediatamente superiore eseguendo solamente interventi locali di rafforzamento, anche in assenza di una preventiva attribuzione della Classe di Rischio, se sono soddisfatte le prescrizioni nel seguito elencate, volte ad eliminare sulla costruzione tutte, ove presenti, le carenze seguenti:

- carenze nelle unioni tra elementi strutturali (ad es. trave-pilastro e copertura-travi), rispetto alle azioni sismiche da sopportare e, comunque, volti a realizzare sistemi di connessione anche meccanica per le unioni basate in origine soltanto sull'attrito;
- carenza della connessione tra il sistema di tamponatura esterna degli edifici prefabbricati (pannelli prefabbricati in calcestruzzo armato ed alleggeriti) e la struttura portante;
- carenza di stabilità dei sistemi presenti internamente al capannone industriale, quali macchinari, impianti e/o scaffalature, tipicamente contenuti negli edifici produttivi, che possono indurre danni alle strutture che li ospitano, in quanto privi di sistemi di controventamento o perché indotti al collasso dal loro contenuto.

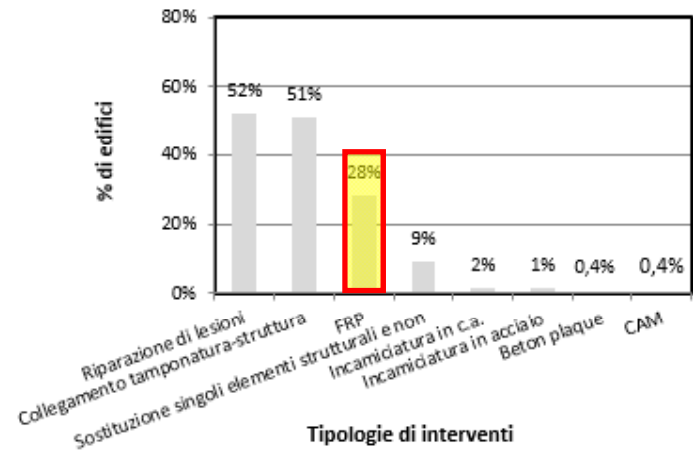
Interventi locali (8.4.3) – Metodo Semplificato

COSTRUZIONI IN CEMENTO ARMATO

Per gli edifici in calcestruzzo armato, analogamente a quanto sopra detto per le strutture assimilabili ai capannoni industriali, è prevista la possibilità di ritenere valido il passaggio alla Classe di Rischio immediatamente superiore, eseguendo solamente interventi locali di rafforzamento ed anche in assenza di una preventiva attribuzione della Classe di Rischio. Ciò è possibile soltanto se la struttura è stata originariamente concepita con la presenza di telai in entrambe le direzioni e se saranno eseguiti tutti gli interventi seguenti:

- confinamento di tutti i nodi perimetrali non confinati dell'edificio;
- opere volte a scongiurare il ribaltamento delle tamponature, compiute su tutte le tamponature perimetrali presenti sulle facciate;
- eventuali opere di ripristino delle zone danneggiate e/o degradate.

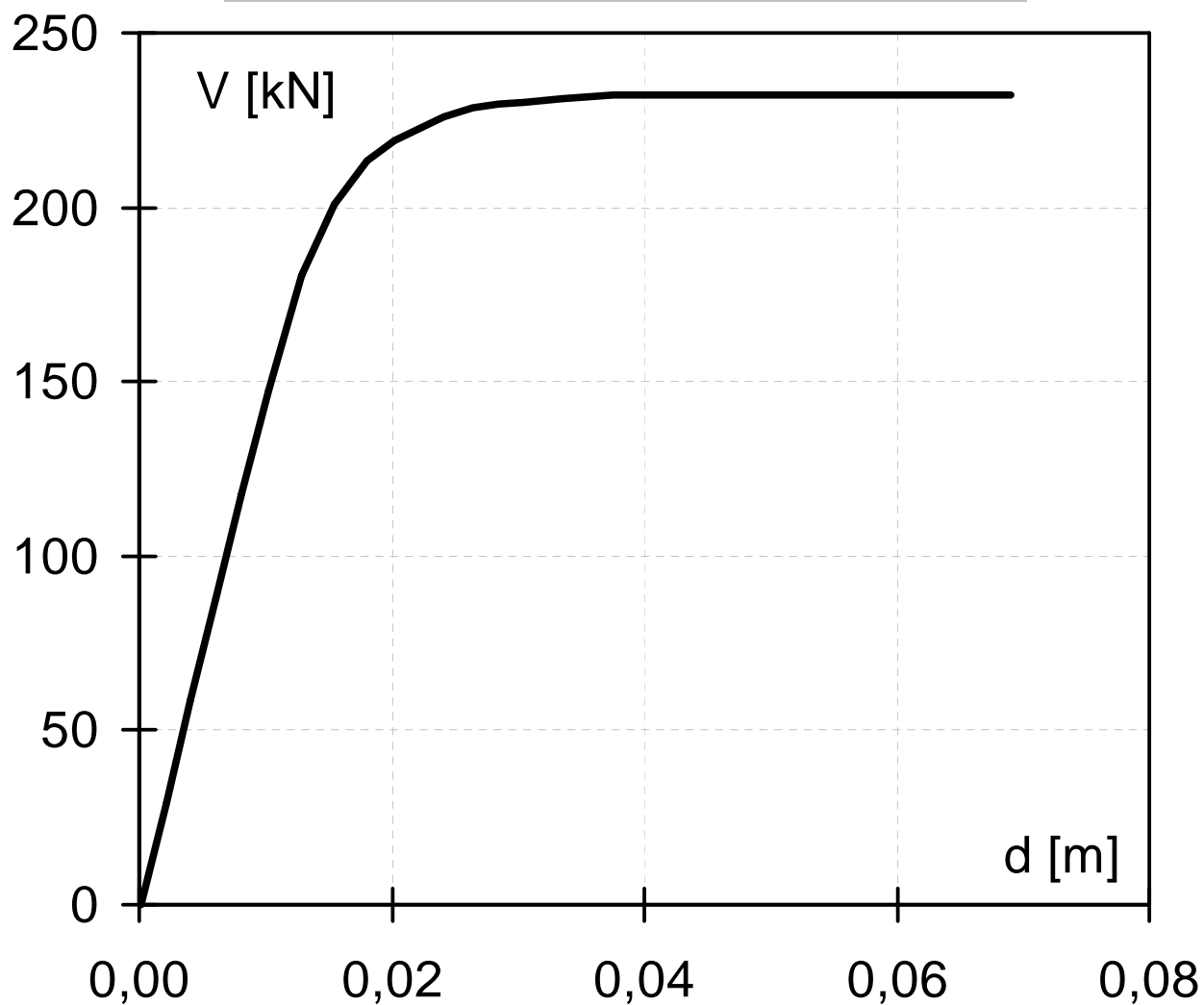
La ricostruzione leggera - Interventi

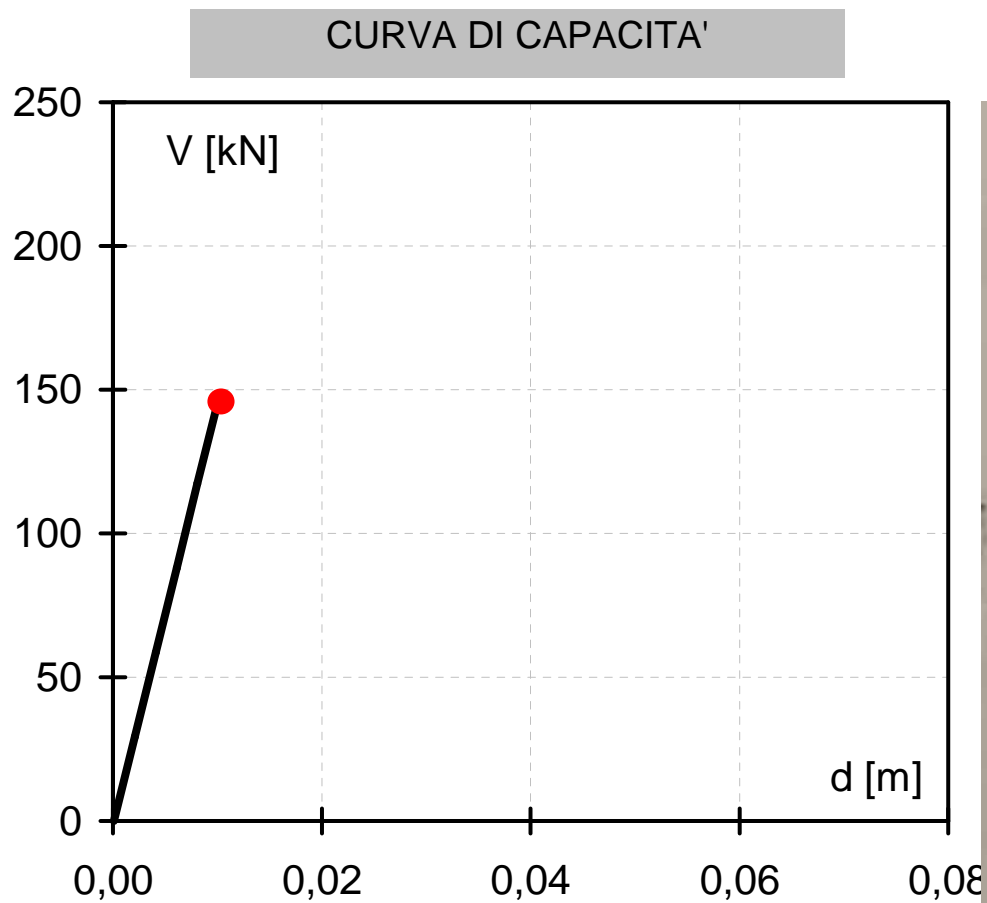




TIPICO RISULTATO PUSH-OVER

CURVA DI CAPACITA'

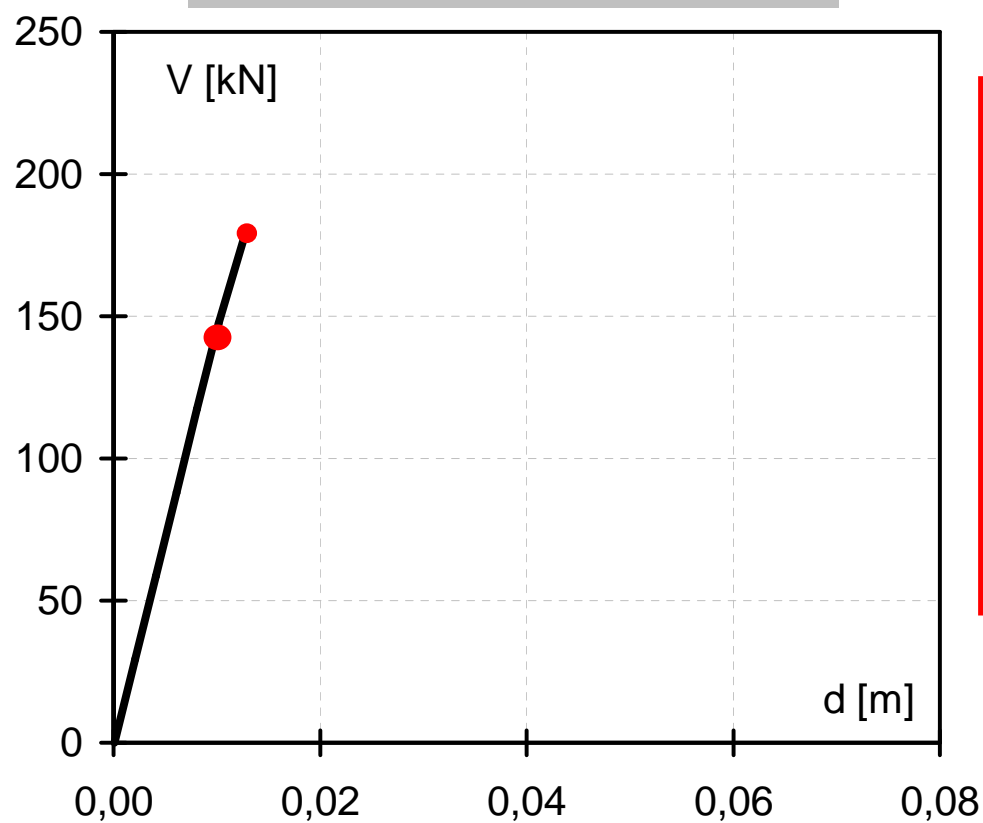




❄ Prima crisi elemento a taglio (nodo)



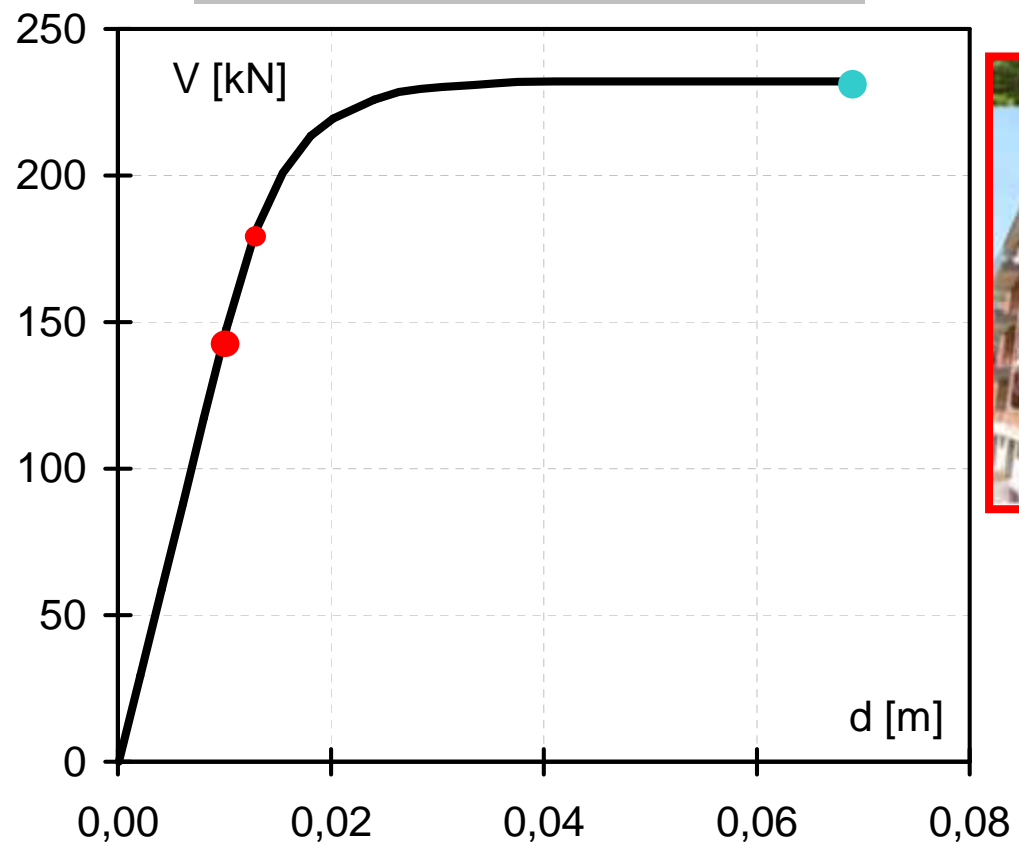
CURVA DI CAPACITA'



• Prima crisi elemento a taglio (pilastro)

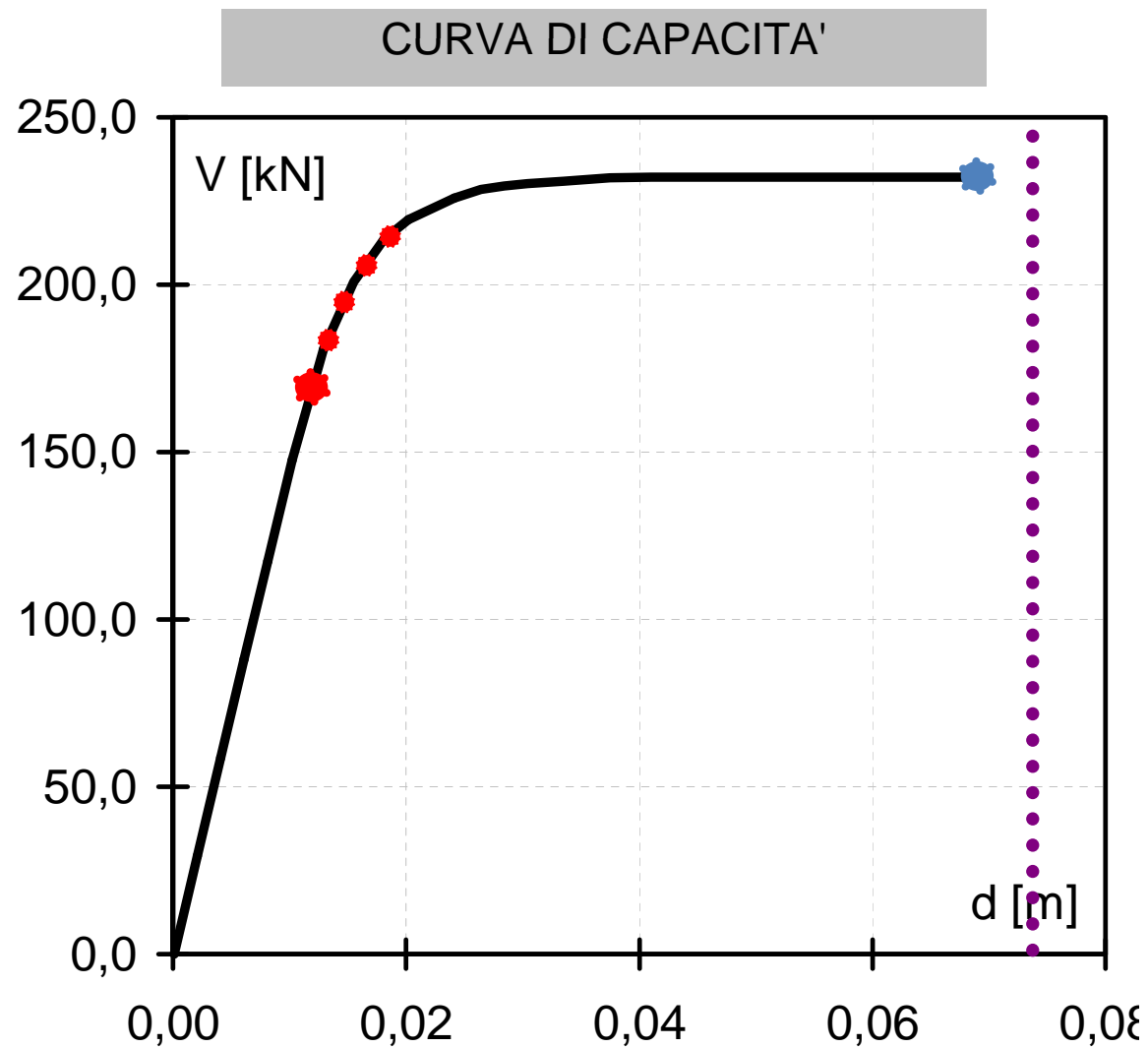


CURVA DI CAPACITA'





ANALISI DEI MECCANISMI



✿ Prima crisi elemento a taglio (nodo/pilastro/trave)

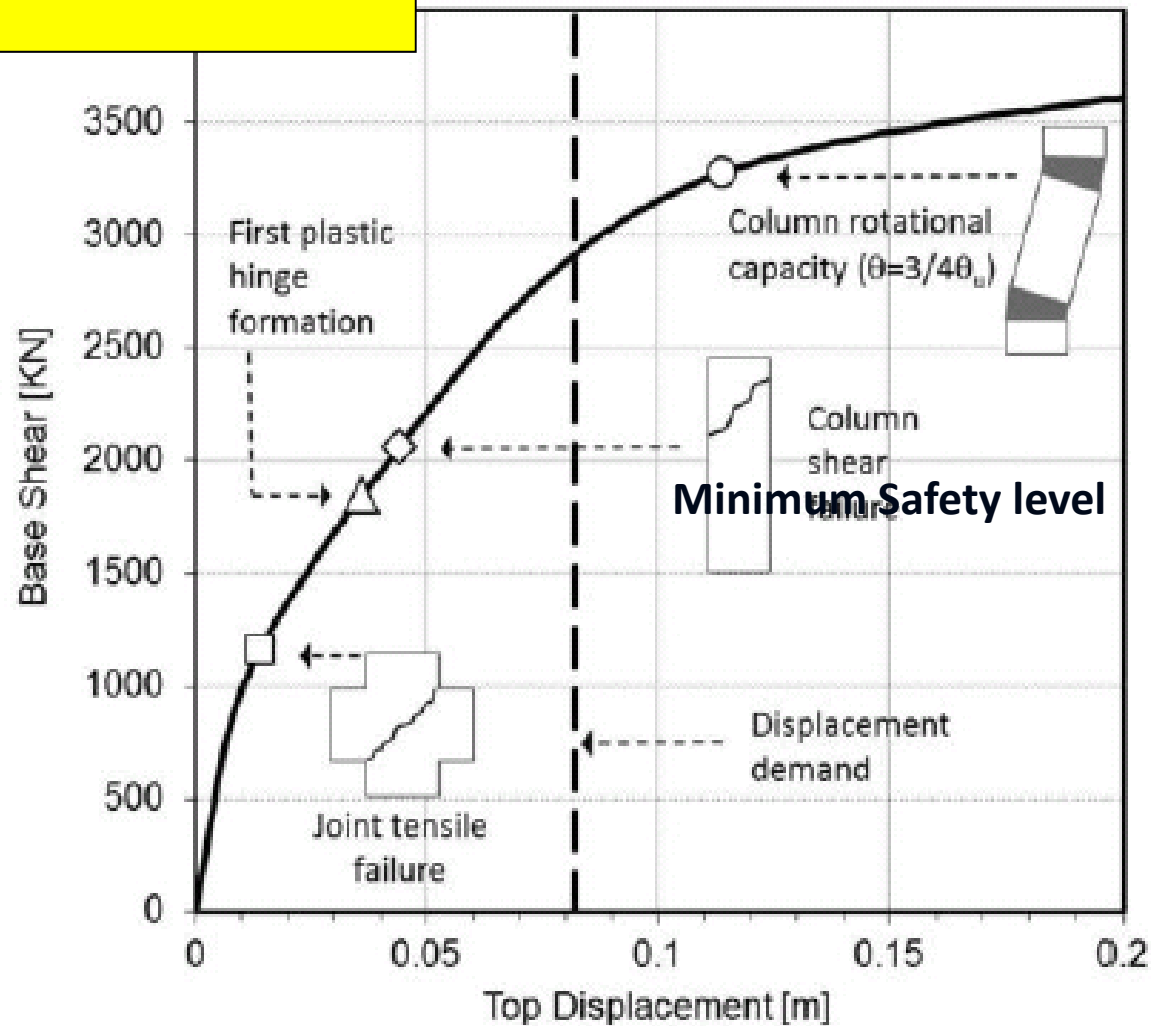
✿ Capacità in termini di spostamento SLV (formazione 1° cerniera plastica $3/4q_u$)

..... Richiesta in termini di spostamento SLV

Verifiche non soddisfatte in termini di resistenza o di duttilità. E' necessario intervenire per migliorare/adequare la struttura

Logica interventi locali

Pushover



TERREMOTO 30 AGOSTO 2016 - Mw6.5

SCUOLA ROMOLO CAPRANICA

• BEFORE



• AFTER

24/08/2016



• AFTER

25/10/2016

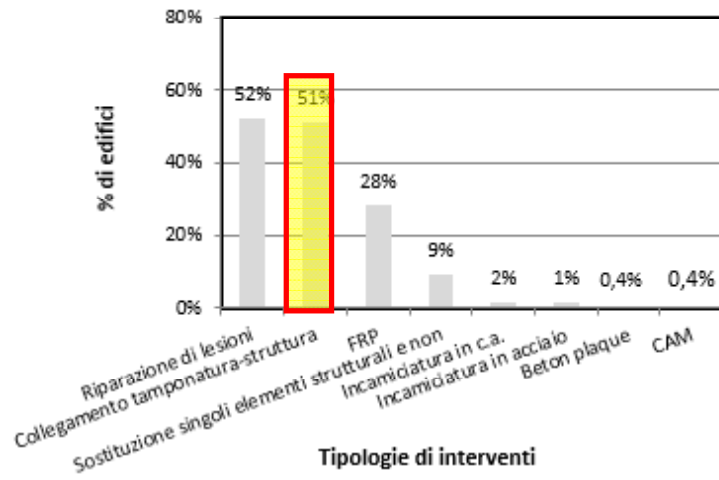


• AFTER

30/10/2016



La ricostruzione leggera - Interventi

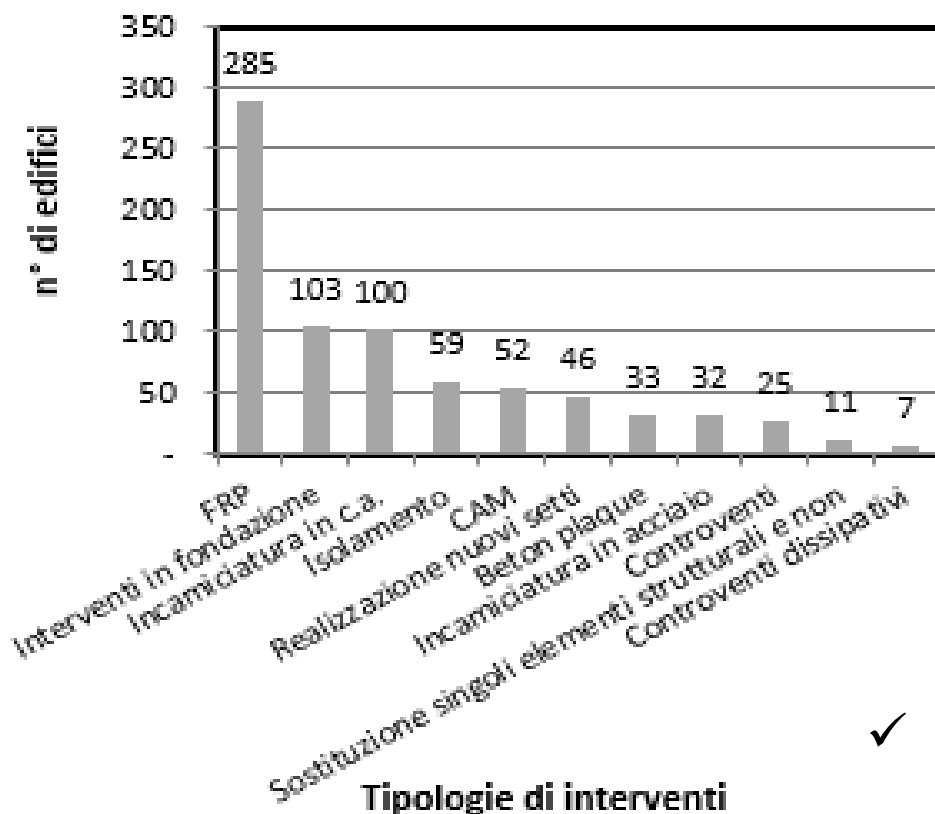


Ricostruzione pesante – Costi di riparazione e miglioramento

- Edifici privati in c.a.

Edifici E: 447 Edifici

- Costo medio di miglioramento sismico: 309 €/mq
- Costo medio per le prove e l'ad. energetico: 84 €/mq



✓ Forte impulso all'innovazione

In 59 edifici sono stati adottati gli isolatori



Controventi: 25 edifici
Controventi dissipativi: 7 edifici

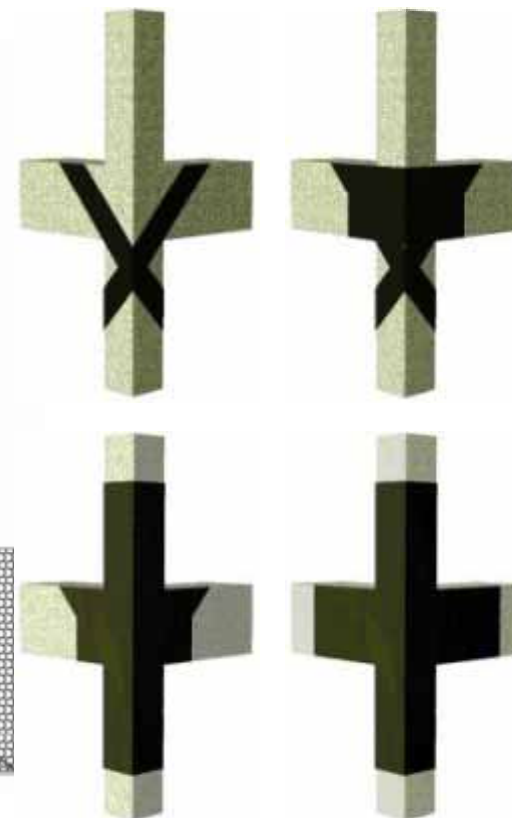
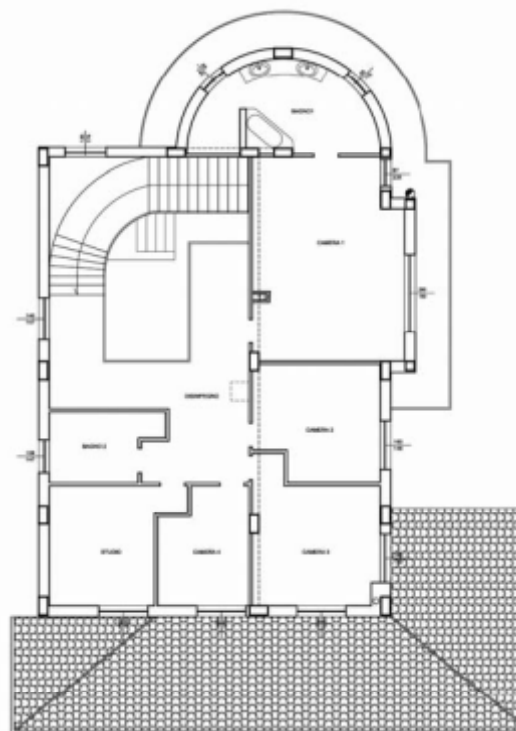
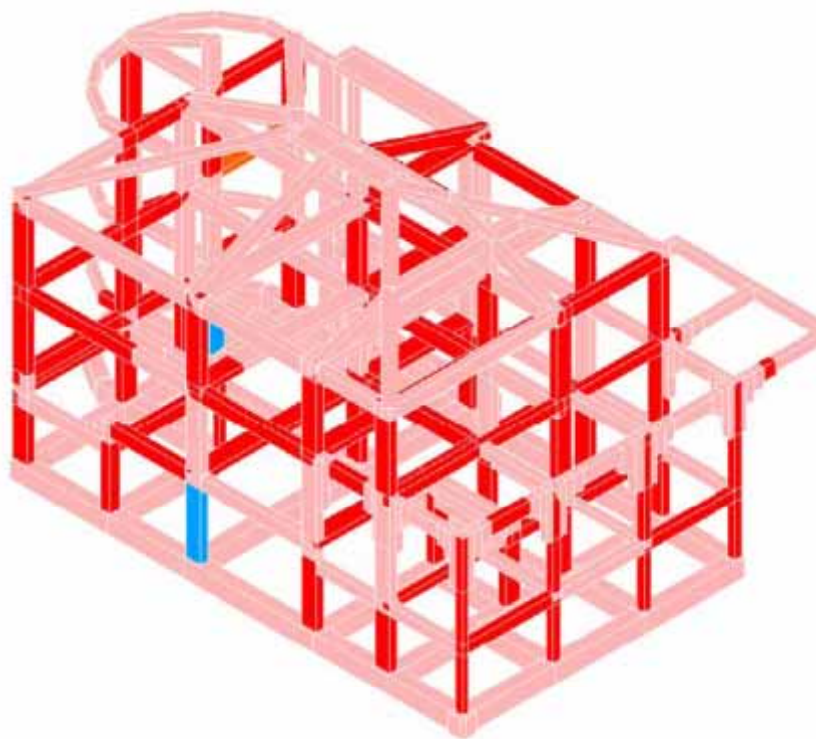


✓ Quasi sempre 2 o più tecniche sono state adottate in maniera combinate

Ricostruzione pesante – Costi di riparazione e miglioramento

- Edifici privati in c.a.

Edifici E: 447 Edifici – contributo medio: 926 €/mq



Safety level = 69,5% (%NBS New Building Standard)

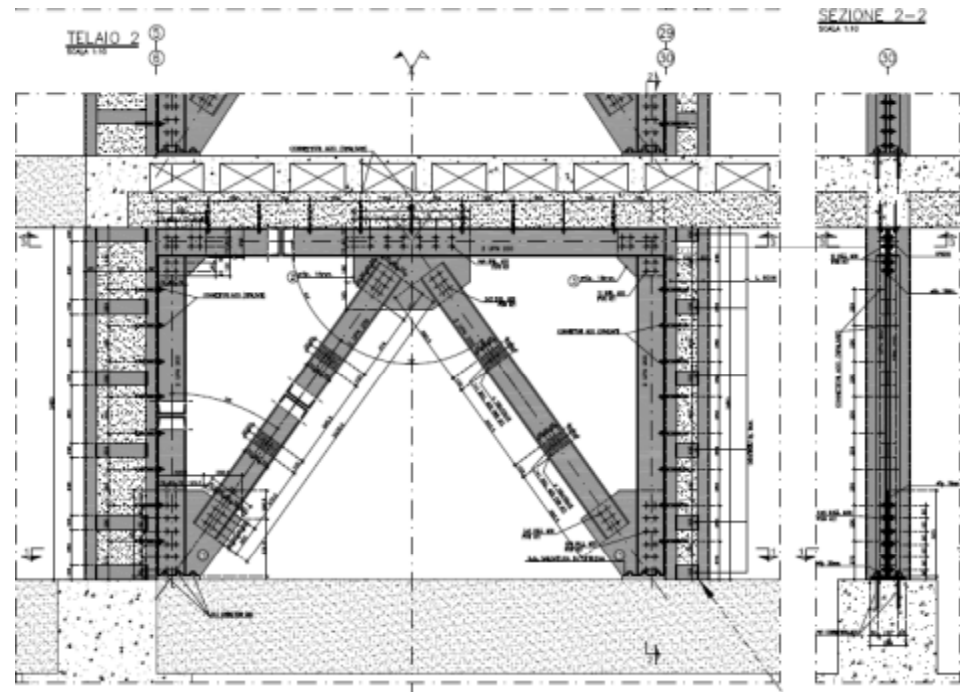
Cost	Unit cost
417.103,84 €	556,52 €/mq

Strengthening cost	Unit strengthening cost
143.672,29 €	229,78 €/mq

Ricostruzione pesante - Interventi

EDIFICI IN C.A.: INTERVENTI COMBINATI

INSERIMENTO DI CONTROVENTI IN ACCIAIO ED INTERVENTI LOCALIZZATI DI CALASTRELLATURA



Superficie lorda coperta = 628,60 m²

Percentuale di Adeguamento Raggiunta = 78 %

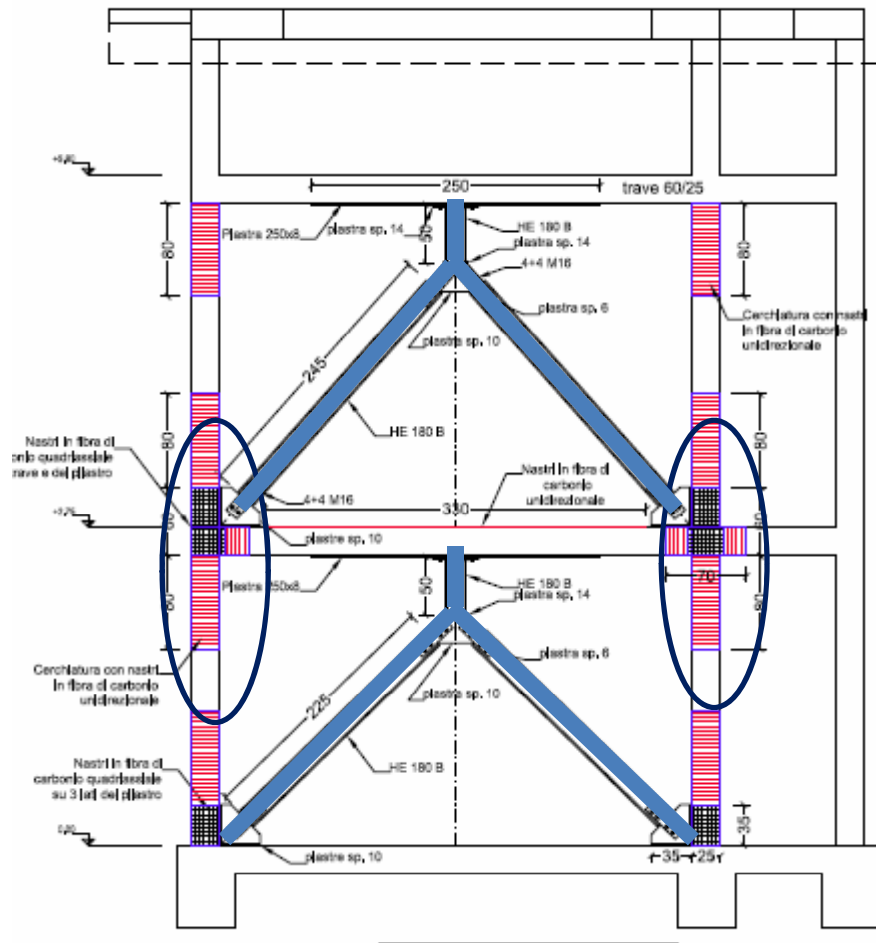
Costo totale	Costo per unità di superficie
717.773,19 €	1.141,86 €/mq

Costo di rinforzo locale	Costo per unità di superficie
173.748,36 €	335,40 €/mq

Ricostruzione pesante - Interventi

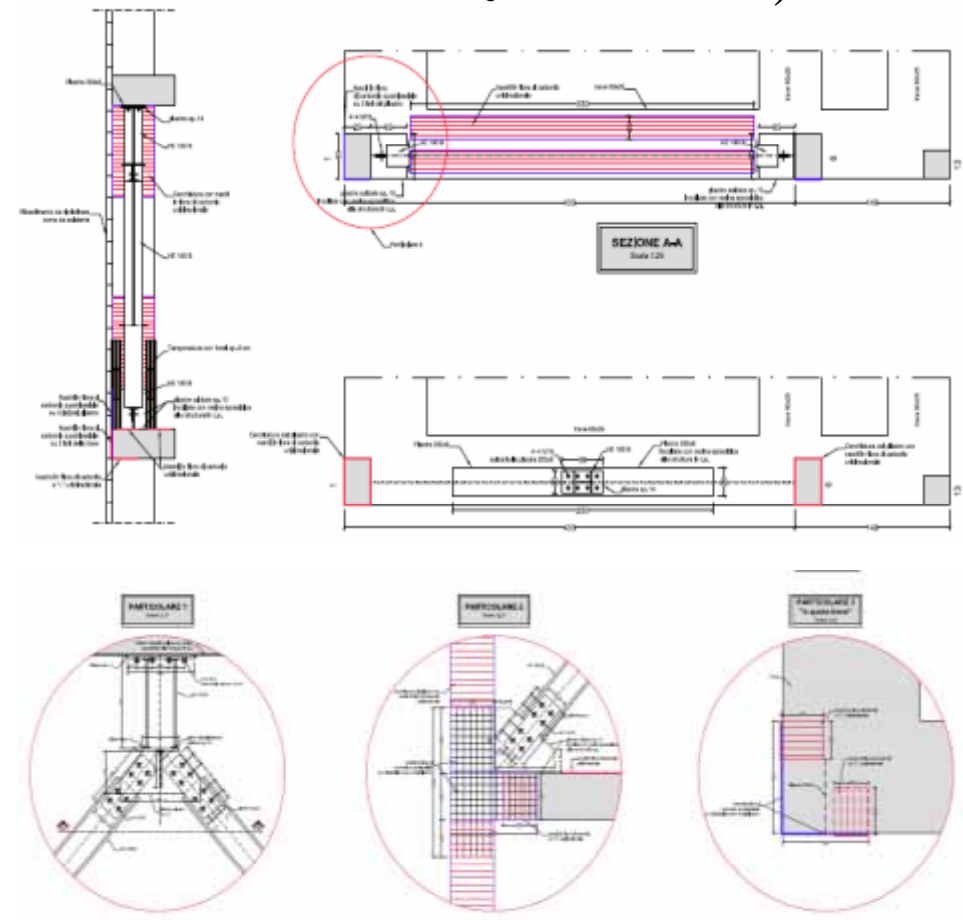
EDIFICI IN C.A.: INTERVENTI COMBINATI

CONTROVENTI IN ACCIAIO



CALASTRELLATURA

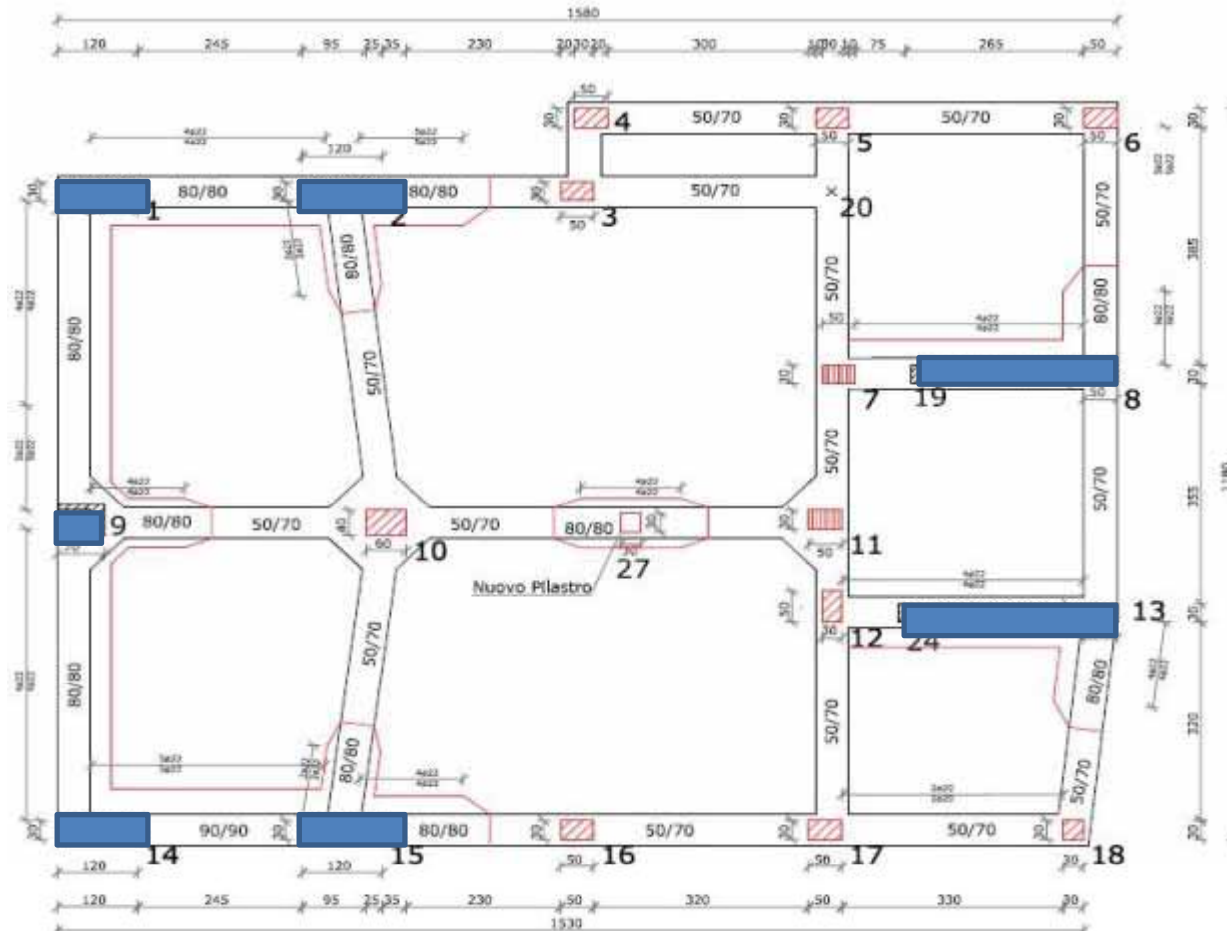
(in special modo nelle zone di concentrazione sollecitazioni controventi)



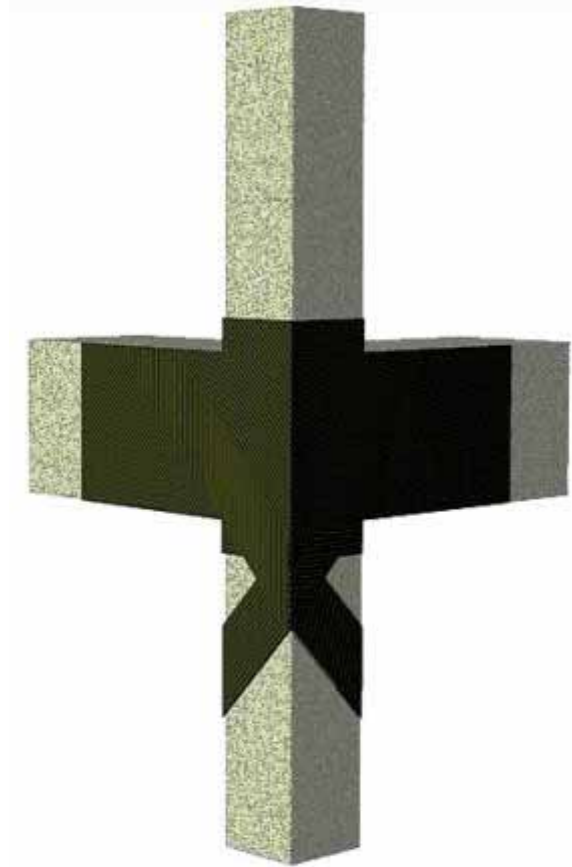
Ricostruzione pesante – Interventi

EDIFICI IN C.A.: INTERVENTI COMBINATI

**SETTI E ED INCAMICIATURA PILASTRI
ADIACENTI (per incremento sforzi di taglio)**



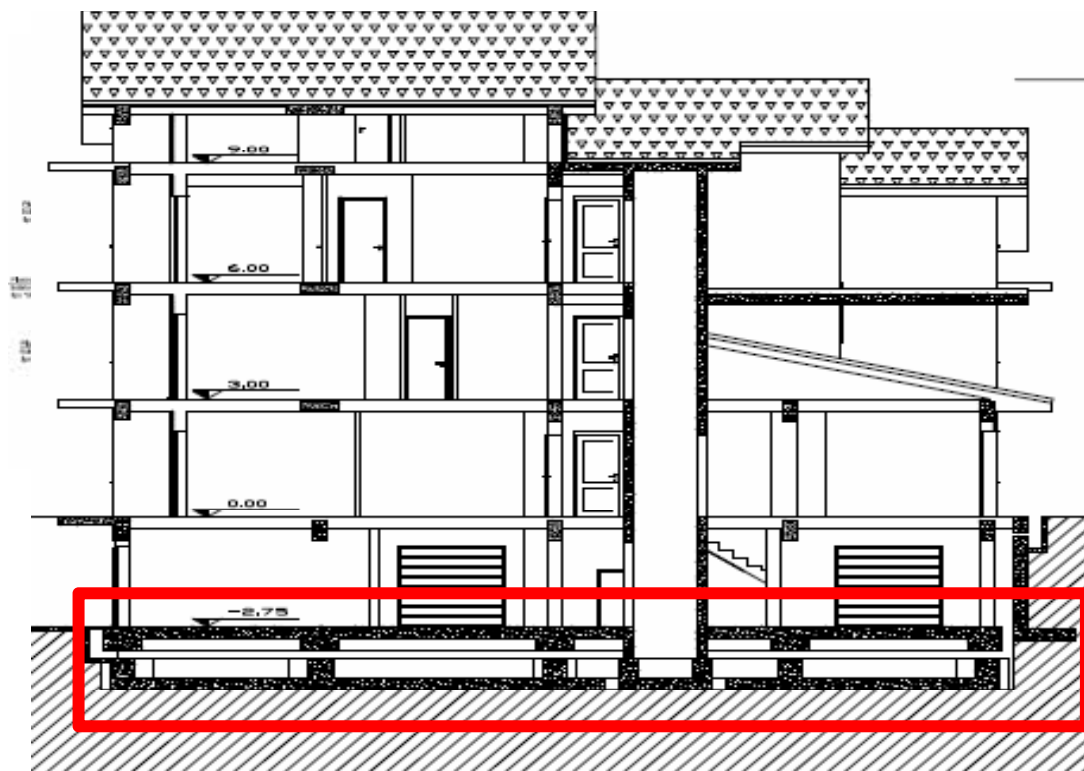
**RINFORZI IN FRP
(rotture fragili di nodi non confinati e
taglio travi)**



L'Aquila: la ricostruzione pesante

Ricostruzione pesante: 447 Edifici – contributo medio: 926 €/mq

❖ Isolamento sismico **progettato** per 72 edifici **realizzato** in 59 edifici (13 sono andati a demolizione e ricostruzione)



Superficie lorda coperta = 1169,92 m²

Costo totale	Costo per unità di superficie	Costo di rinforzo locale	Costo per unità di superficie
1.416.966,31 €	1.211,17 €/mq	388.764,87 €	399,86 €/mq

Ricostruzione pesante – Costi di riparazione e miglioramento

- Edifici privati in c.a.

Edifici E: 447 Edifici

- Costi medi di miglioramento:

Esempio: Appartamento di 130 mq

Costo intervento locale a mq: 400 euro/mq

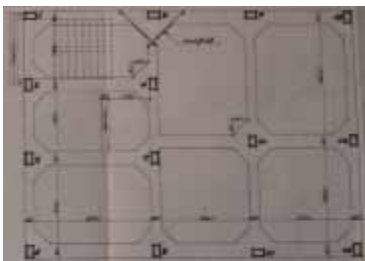
Costo stimabile: 130 mq x 400 euro/mq = 52,000 euro

Caso Studio 1: Edificio L'Aquila – miglioramento FRP



Carenza dettagli antisismici (barre lisce, mancanza di staffe nei nodi e staffatura non adeguata $\phi 6/200$)

Calcestruzzo scadente ($f_{cm}=14$ MPa)



Progettazione con moderate azioni sismiche (pilastri rettangolari, centrifugazione delle inerzie, telai in entrambe le direzioni, travi rovesce in fondazione)



Fessurazione nodo d'angolo



Danni significativi alle tamponature

Edificio esistente con sistema resistente a telai in CA (1973)

Riparazione/Miglioramento

❑ Superficie: 544 m²

❑ Costo Riparazione: 344'814€

❑ Costo Miglioramento: 189'997€

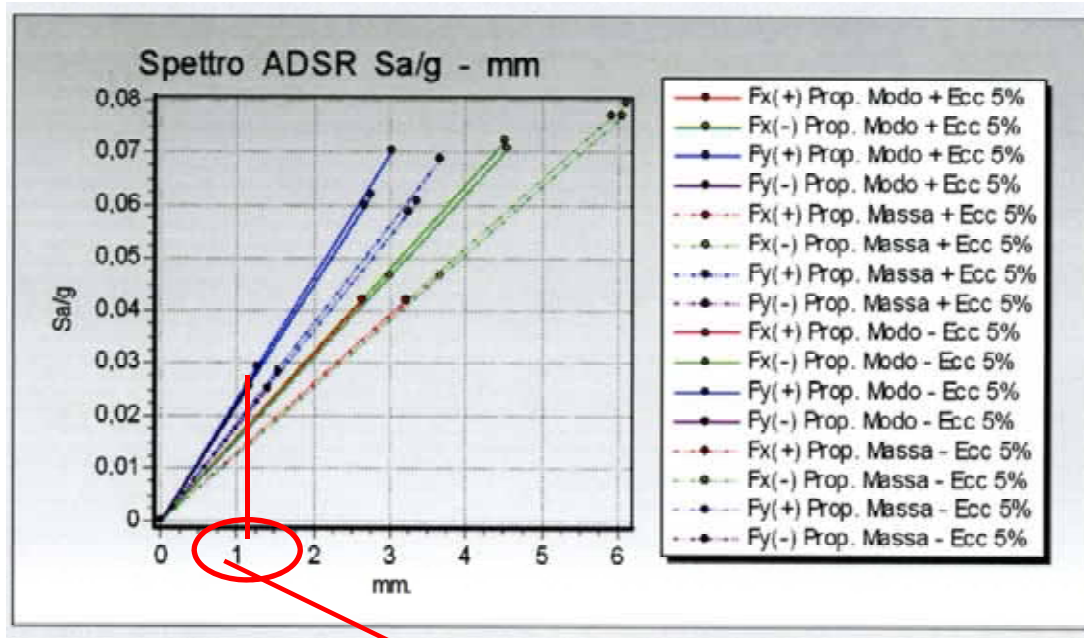
❑ N° unità immobiliari: 2

Caso Studio 1: Classe di rischio ante operam

➤ SLU (SLV)

VERIFICHE ALLO STATO LIMITE DI SALVAGUARDIA VITA (SLV)

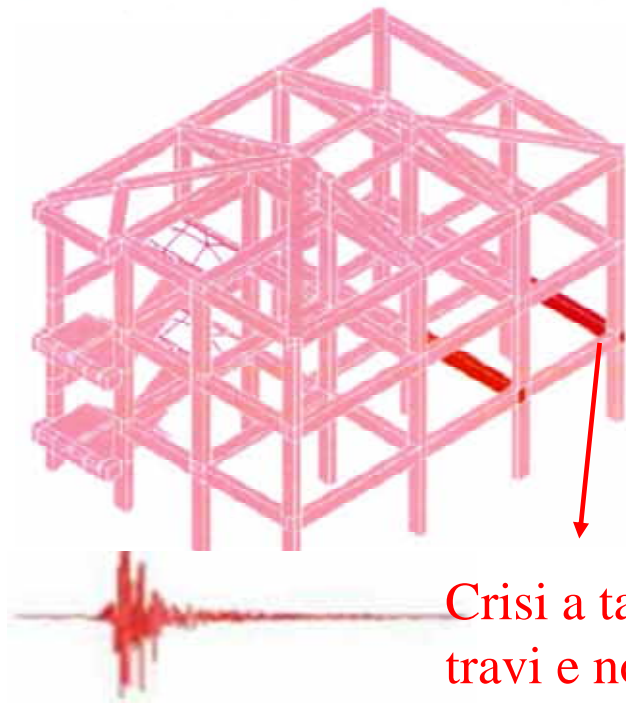
Capacità molto limitata (attingimento di crisi fragili)



Attingimento prima crisi fragile
PGA=0.04g

$$\alpha = \text{PGA}_c / \text{PGA}_d = 12.5\% \quad \text{Tr}=3\text{anni} < 10 \text{ anni} \longrightarrow \text{Tr}=10 \text{ anni}$$

$$\text{PGA}_d = 0,261 \text{ SLV - L'Aquila}$$



Crisi a taglio travi e nodi

$$\lambda_{\text{SLV}} = 1/\text{Tr} = 1/10 = 10\%$$

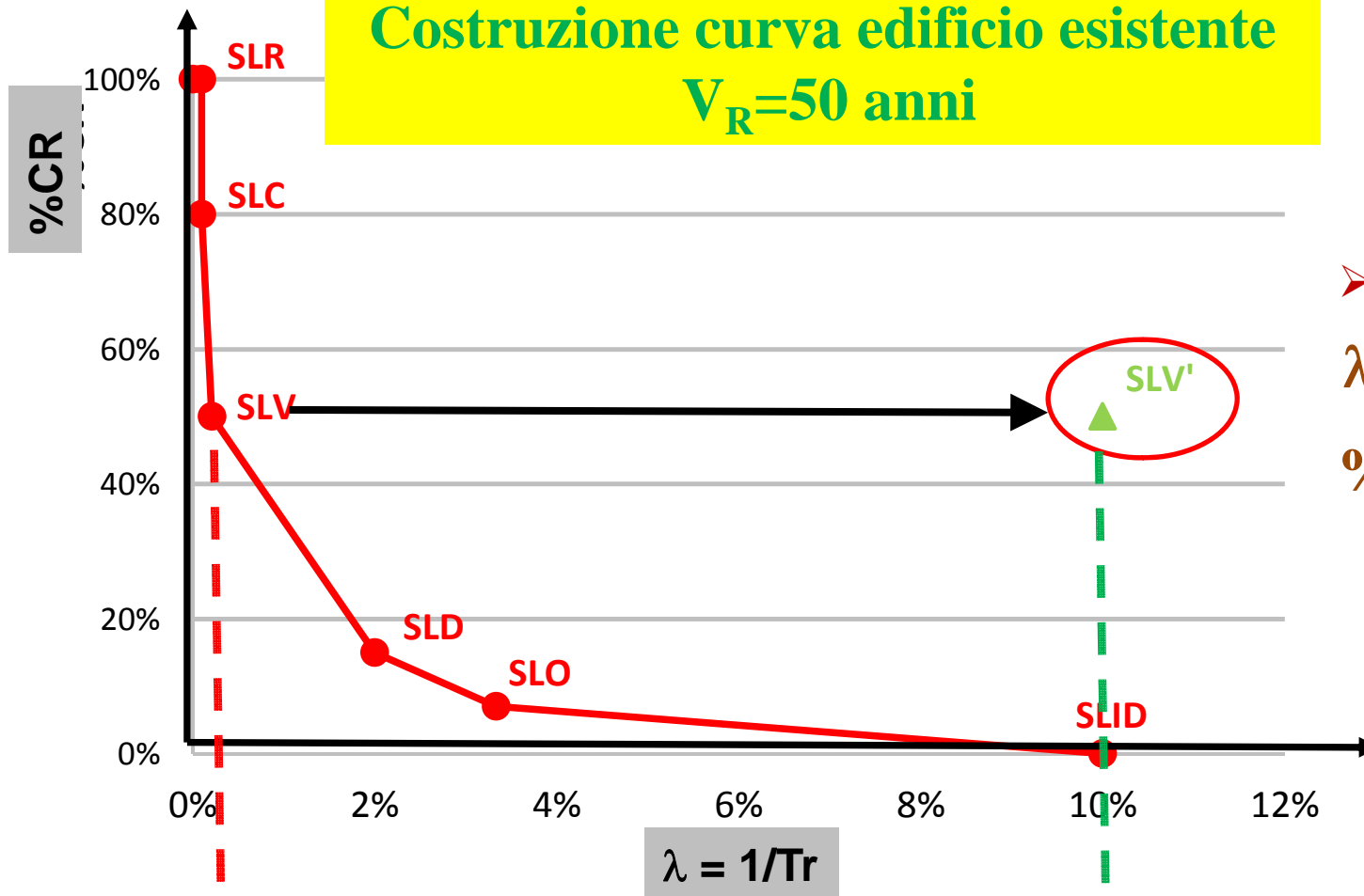
Capacità molto limitata rispetto alla prestazione richiesta $\text{Tr} = 475$ anni cui corrisponde $\lambda = 0.2\%$

Caso Studio 1: Classe di rischio ante operam

➤ SLU (SLV)

VERIFICHE ALLO STATO LIMITE DI SALVAGUARDIA VITA (SLV)

Costruzione curva edificio esistente
 $V_R=50$ anni



➤ (SLV)

$$\lambda_{SLV} = 10\%$$

$$\%CR = 50\%$$

$$\lambda = 1/Tr = 1/475 = 0.2\%$$

$$\lambda = 1/Tr = 1/10 = 10\%$$

Caso Studio 1: Classe di rischio ante operam

➤ SLU (SLC)

VERIFICHE ALLO STATO LIMITE DI
COLLASSO (SLC)

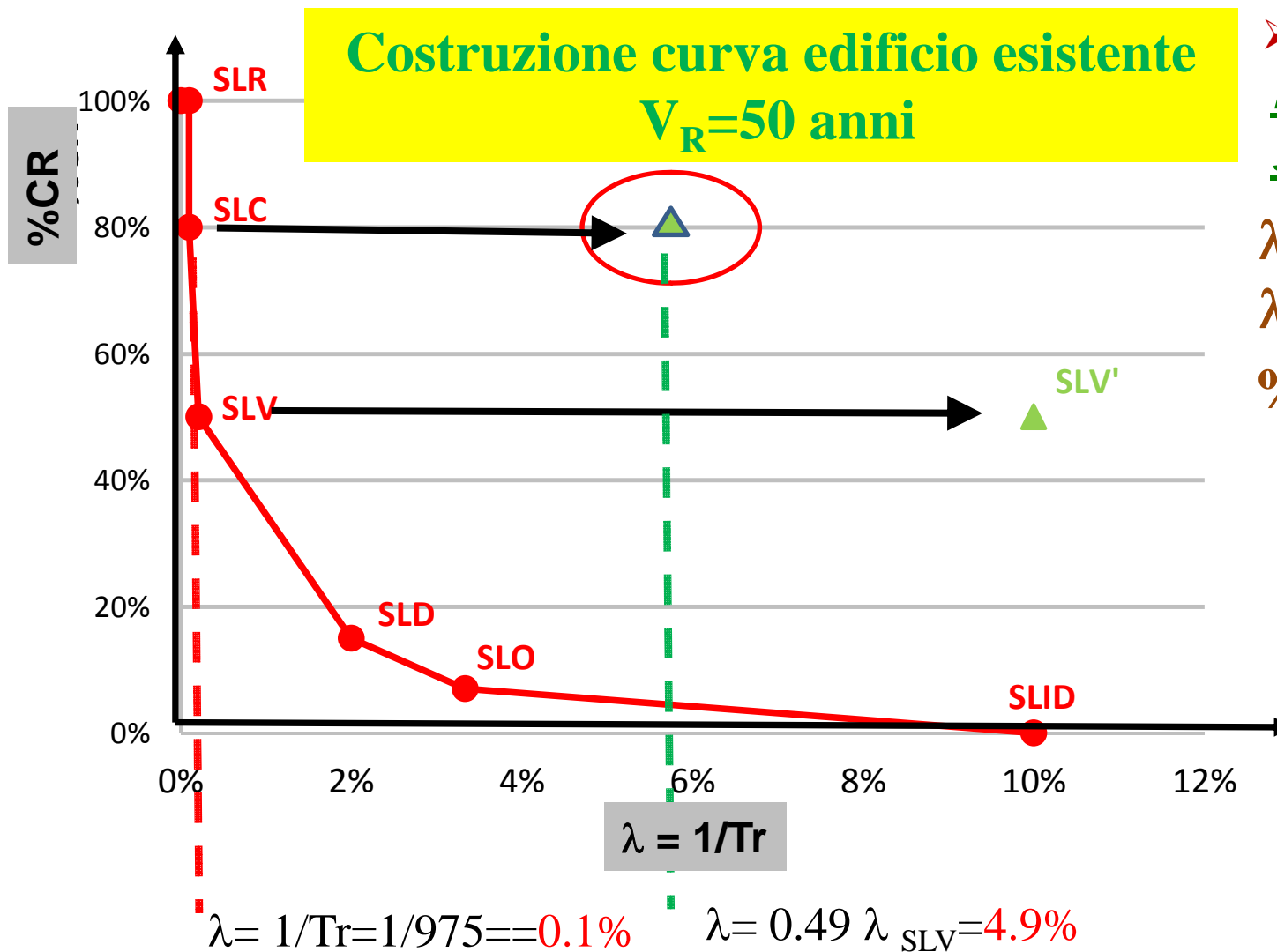
Costruzione curva edificio esistente
 $V_R=50$ anni

➤ (SLC)
In via
semplificata

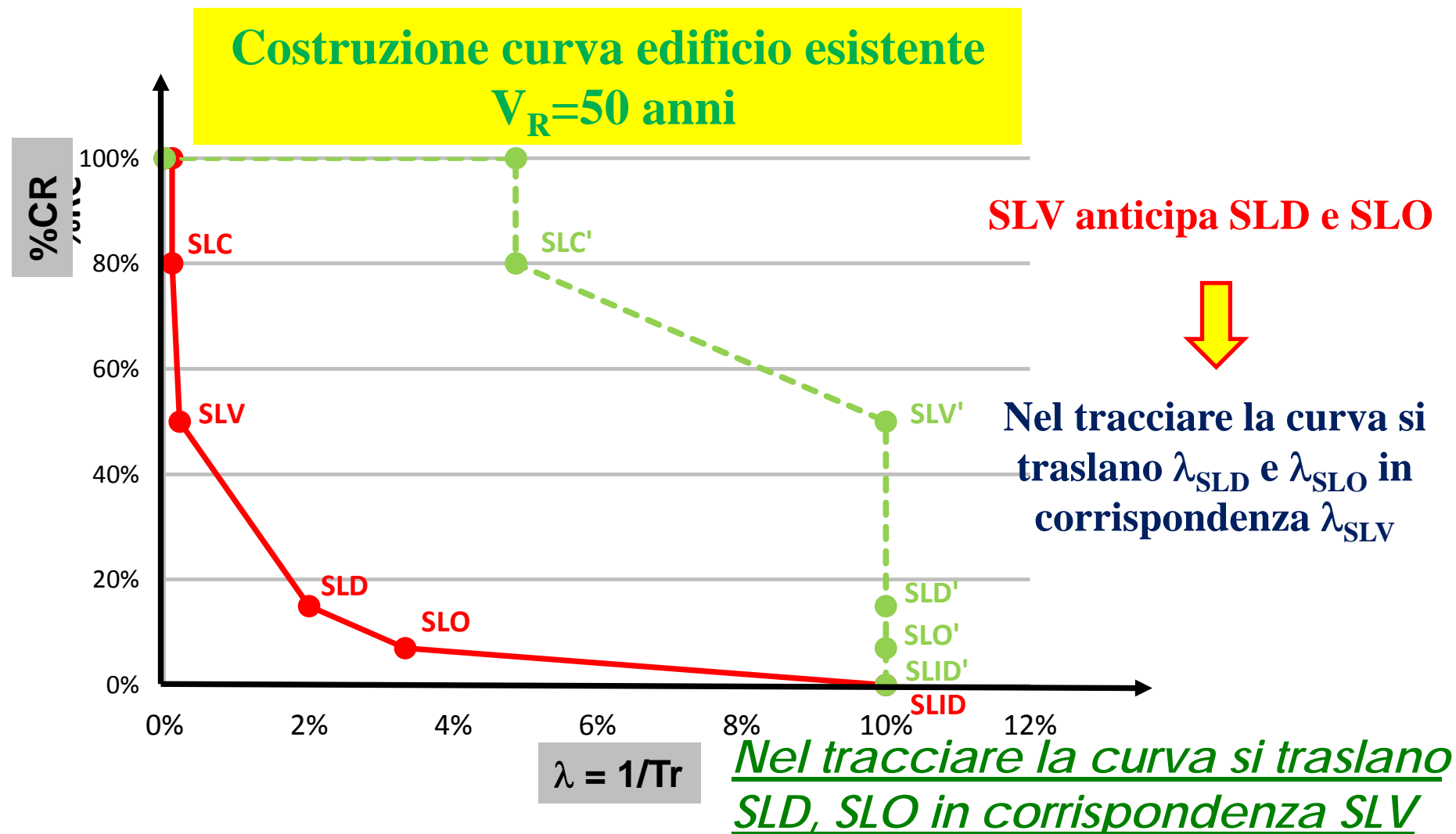
$$\lambda_{SLC} = 0.49 * \lambda_{SLV}$$

$$\lambda_{SLC} = 4.9\%$$

$$\%CR = 80\%$$



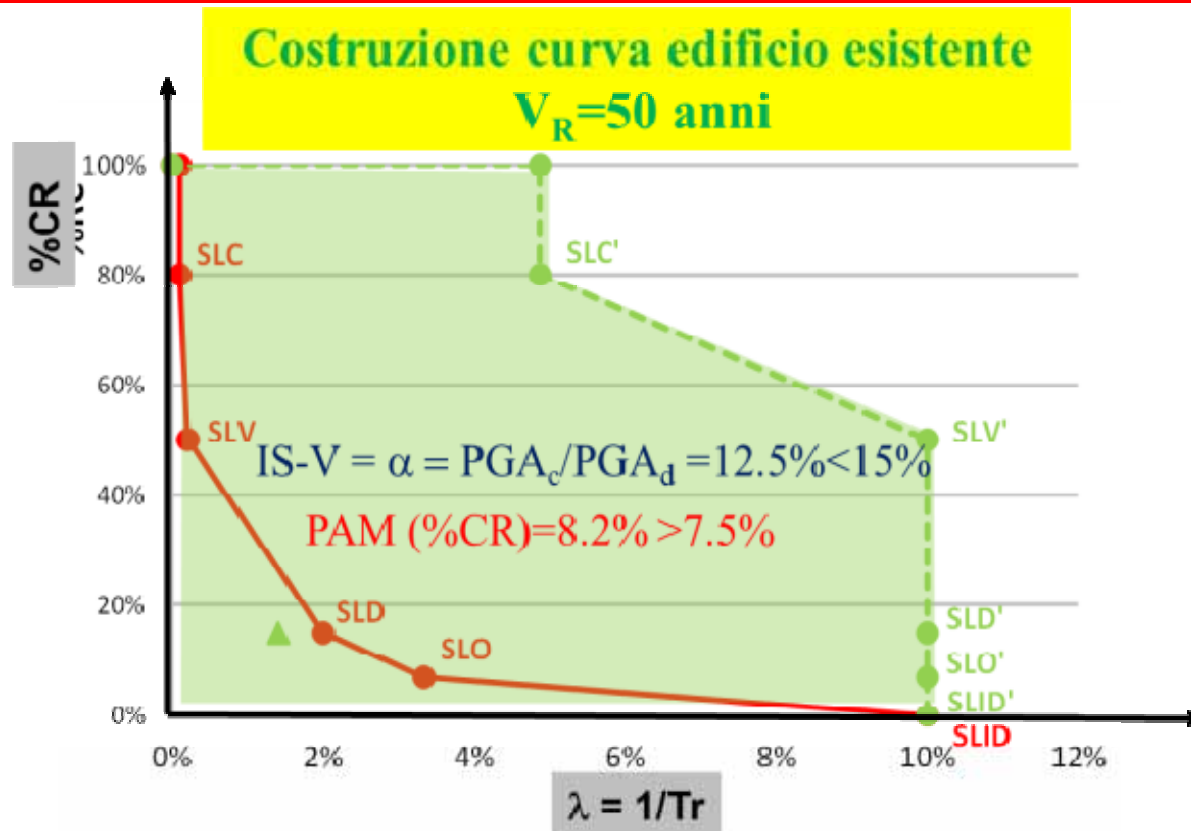
Caso Studio 1: Classe di rischio ante operam



⁽⁶⁾ Si sottolinea che la formula è valida anche nei casi in cui il tempo di ritorno relativo a SLD e SLO sia superiore al tempo di ritorno di SLV, una volta che sia stato posto comunque come limite superiore di tali valori il tempo di ritorno di SLV. In altri termini si assume

$$\lambda(SLD) = \max [\lambda(SLD), \lambda(SLV)], \lambda(SLO) = \max [\lambda(SLO), \lambda(SLV)].$$

Caso Studio 1: Classe di rischio ante operam



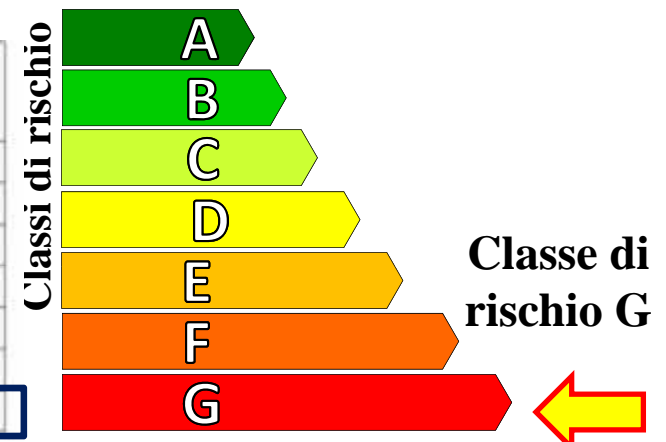
Perdita Media Annua attesa (PAM)	Classe PAM
$PAM \leq 0,50\%$	A^+_{PAM}
$0,50\% < PAM \leq 1,0\%$	A_{PAM}
$1,0\% < PAM \leq 1,5\%$	B_{PAM}
$1,5\% < PAM \leq 2,5\%$	C_{PAM}
$2,5\% < PAM \leq 3,5\%$	D_{PAM}
$3,5\% < PAM \leq 4,5\%$	E_{PAM}
$4,5\% < PAM \leq 7,5\%$	F_{PAM}
$7,5\% \leq PAM$	G_{PAM}

Classe di rischio G

PAM: G

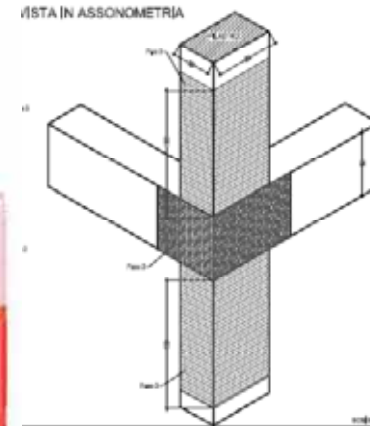
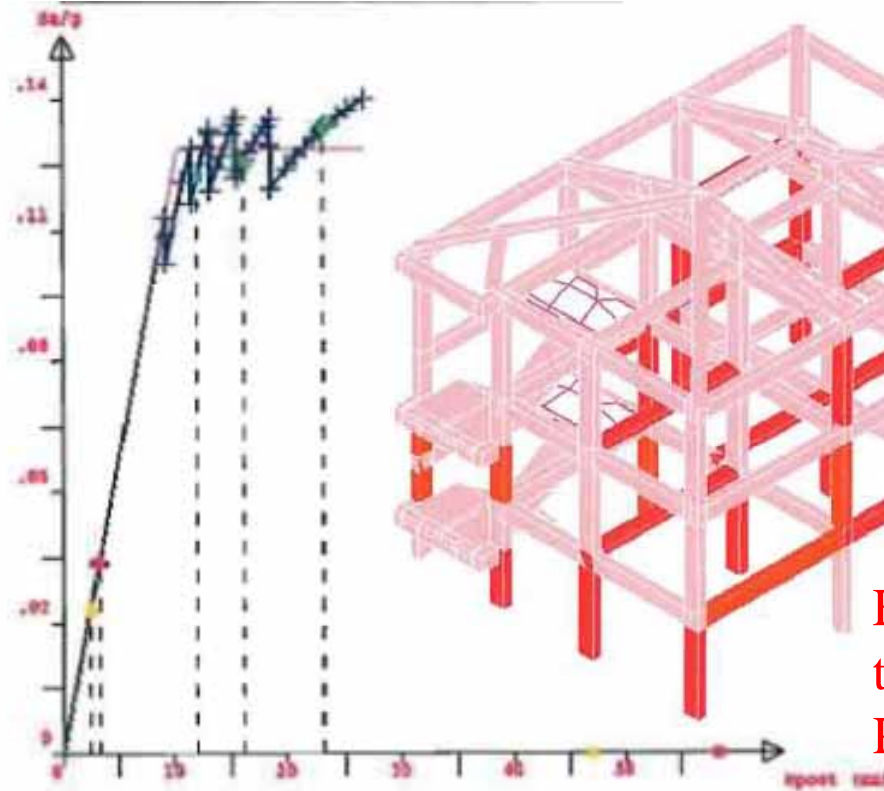
IS-V: F

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}



Caso Studio 1: Intervento di miglioramento FRP

➤ SLU (SLV)



Elementi da rinforzare (taglio travi pilastri e nodi)
Per indice di sicurezza $>60\%$

$$\alpha = PGA_c / PGA_d = 63.5\%$$

$$PGA_d = 0,261 \text{ SLV - L'Aquila}$$

$$\longrightarrow Tr = 142 \text{ anni}$$

$$\lambda_{SLV} = 1/Tr = 1/142 = 0,7\%$$

Miglioramento: incremento di capacità, ma capacità inferiore rispetto ad adeguamento, prestazione richiesta $Tr = 475$ anni cui corrisponde $\lambda = 0.2\%$

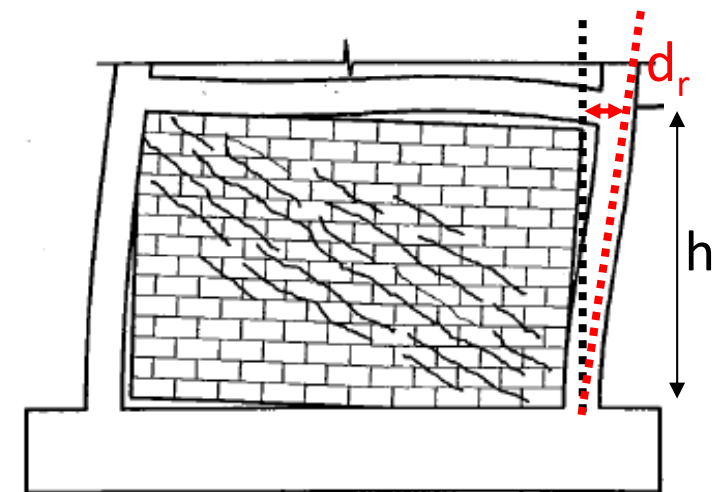
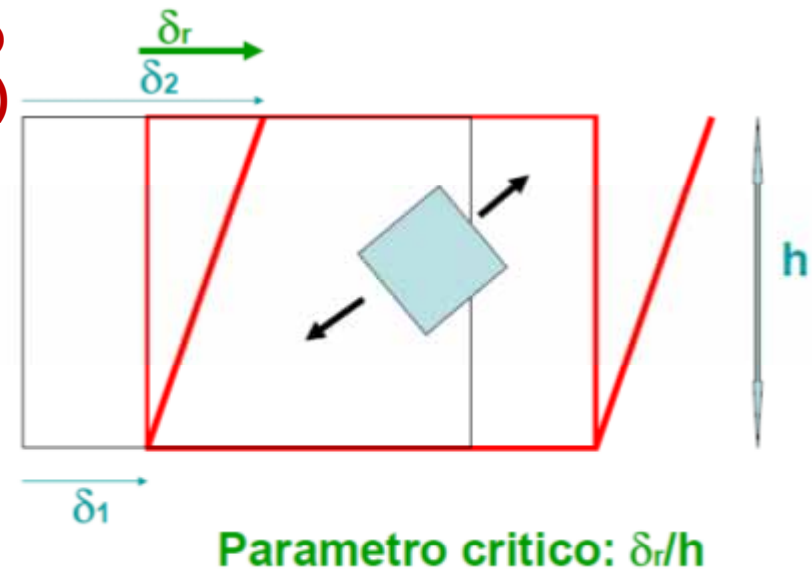
Caso Studio 1: Classe di rischio ante operam

➤ SLE (SLD)

VERIFICHE ALLO STATO LIMITE DI DANNO (SLD)

La norma prevede che per le costruzioni in classe d'uso I e II si debba verificare che **l'azione sismica di progetto non produca agli elementi costruttivi senza funzione strutturale danni tali da rendere la costruzione temporaneamente inagibile** (7.3.7.2 – NTC 08)

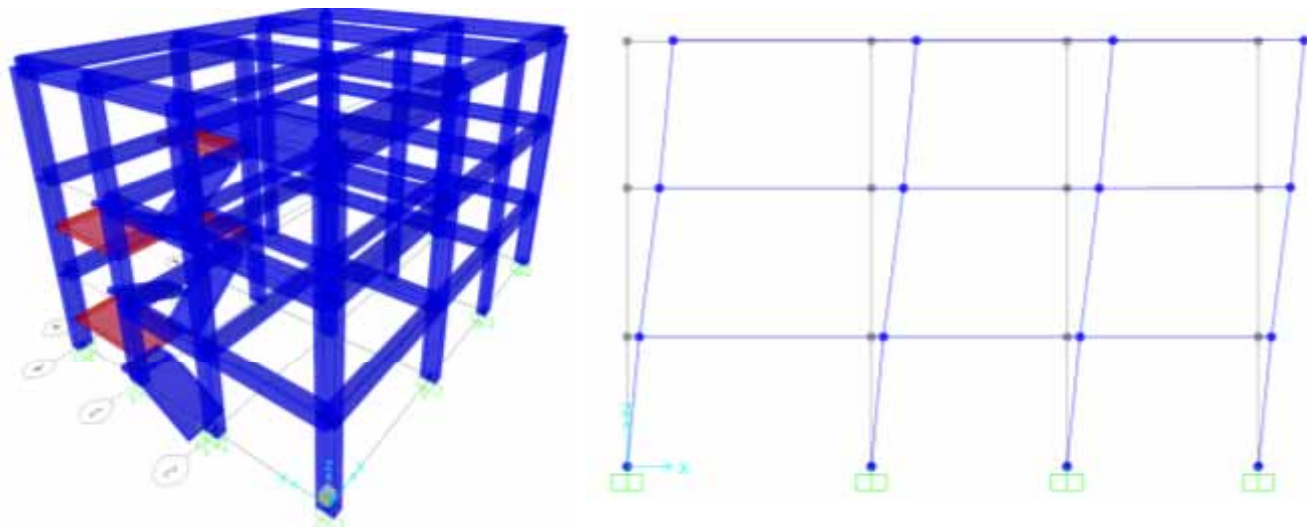
- ✓ per **tamponamenti collegati rigidamente alla struttura** che interferiscono con la deformabilità della stessa:
 $d_r < 0,005 h$
- ✓ per **tamponamenti progettati in modo da non subire danni a seguito di spostamenti di interpiano d_{rp}** , per effetto della loro deformabilità intrinseca ovvero dei collegamenti alla struttura:
 $d_r \leq d_{rp} \leq 0,01 h$



Caso Studio 1: Classe di rischio ante operam

➤ SLE (SLD)

VERIFICHE ALLO STATO
LIMITE DI DANNO (SLD)

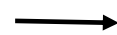


Livello	Sisma in dir X					Sisma in dir X				
	E1 [m]	E2 [m]	E1+30%E2 [m]	h [m]	(dr/h) _x [%]	E3 [m]	E4 [m]	E1+30%E3 [m]	h [m]	(dr/h) _x [%]
I	0.006474	0.007754	0.008800	2.7	0.36	0.00209	0.001948	0.002674	2.7	0.10
II	0.016702	0.021123	0.023039	3.1	0.51	0.005215	0.00486	0.006673	3.1	0.13
III	0.023929	0.026531	0.031888	3.1	0.31	0.008131	0.007578	0.010404	3.1	0.12

➔ Raggiungimento (dr/h)=0.5% $PGA_c=0.124g$

$$\alpha = PGA_c / PGA_d = 120\%$$

Tr=71 anni



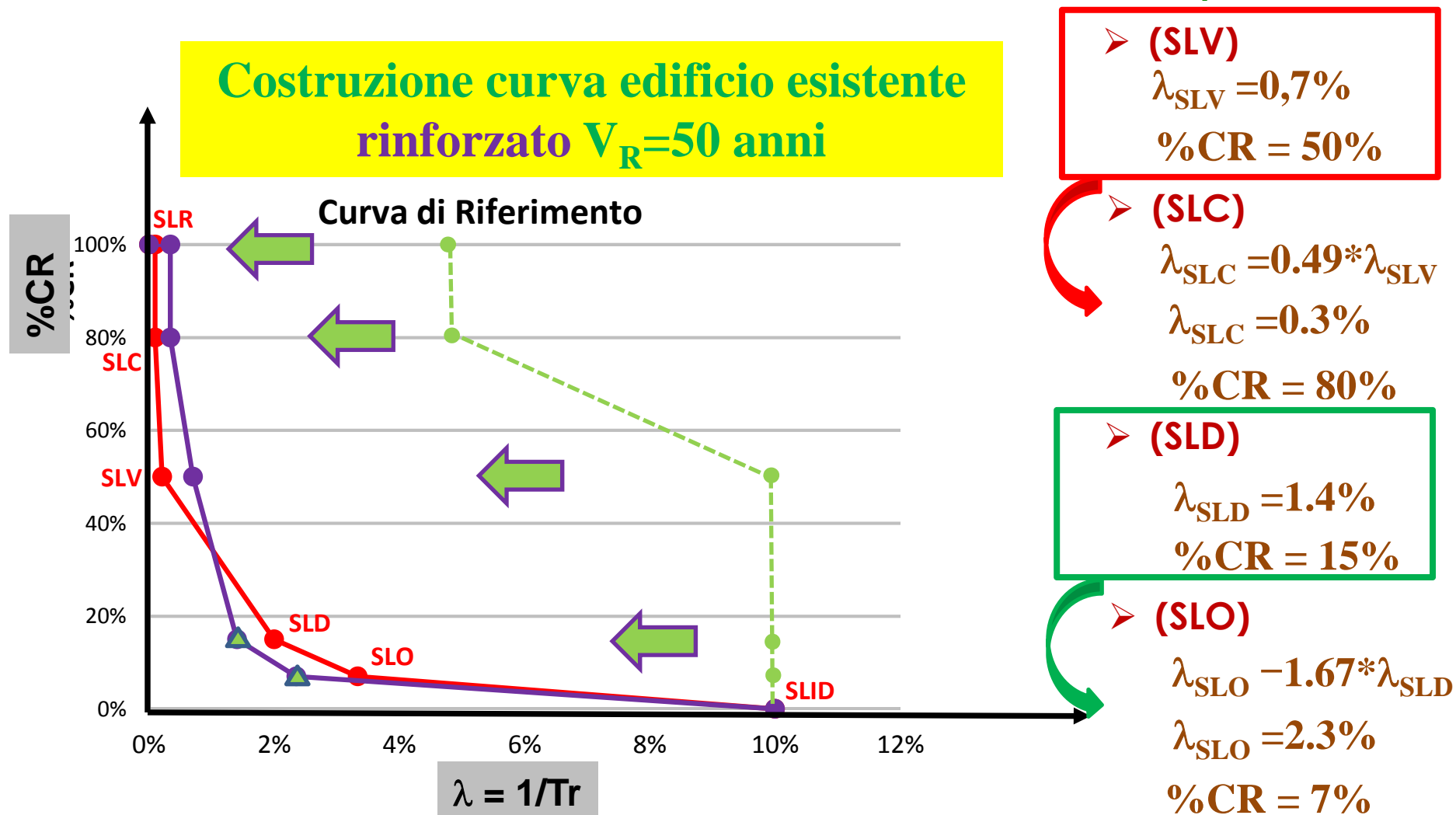
$$\lambda = 1/Tr = 1/71 = 1.4\%$$

$PGA_d = 0,104$ SLD - L'Aquila

**Capacità maggiore rispetto alla prestazione
richiesta Tr = 50 anni cui corrisponde $\lambda = 2\%$**

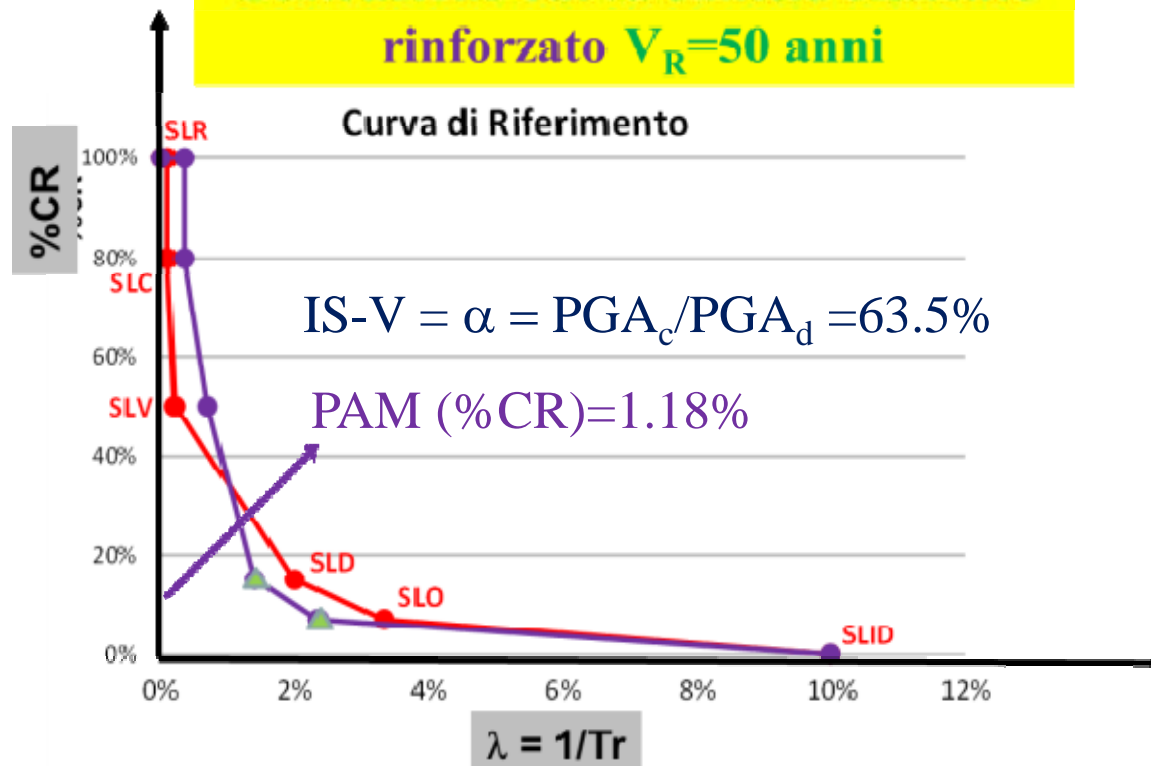
Caso Studio 1: Classe di rischio post operam (FRP)

- Il punto relativo a SLC si ottiene da SLV con formulazione semplificata
- Il punto relativo a SLD è lo stesso del caso non rinforzato (FRP non modifica SLD); SLO si ottiene da SLD con formulazione semplificata



Caso Studio 1: Classe di rischio post operam (FRP)

Costruzione curva edificio esistente rinforzato $V_R=50$ anni



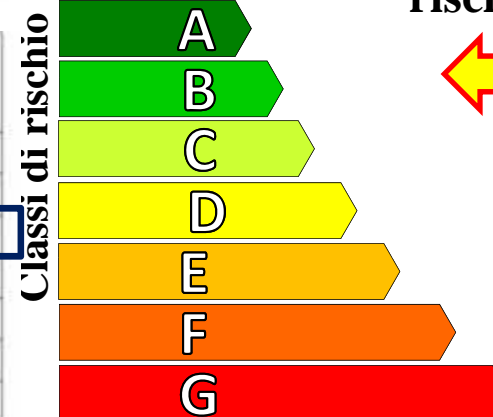
Perdita Media Annuata attesa (PAM)	Classe PAM
$PAM \leq 0,50\%$	A^+_{PAM}
$0,50\% < PAM \leq 1,0\%$	A_{PAM}
$1,0\% < PAM \leq 1,5\%$	B_{PAM}
$1,5\% < PAM \leq 2,5\%$	C_{PAM}
$2,5\% < PAM \leq 3,5\%$	D_{PAM}
$3,5\% < PAM \leq 4,5\%$	E_{PAM}
$4,5\% < PAM \leq 7,5\%$	F_{PAM}
$7,5\% \leq PAM$	G_{PAM}

Classe di rischio B

PAM: B

IS-V: B

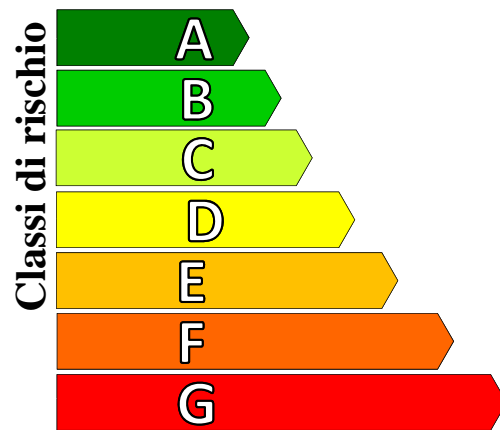
Indice di Sicurezza	Classe IS-V
$100\% < IS-V$	A^+_{IS-V}
$100\% \leq IS-V < 80\%$	A_{IS-V}
$80\% \leq IS-V < 60\%$	B_{IS-V}
$60\% \leq IS-V < 45\%$	C_{IS-V}
$45\% \leq IS-V < 30\%$	D_{IS-V}
$30\% \leq IS-V < 15\%$	E_{IS-V}
$IS-V \leq 15\%$	F_{IS-V}



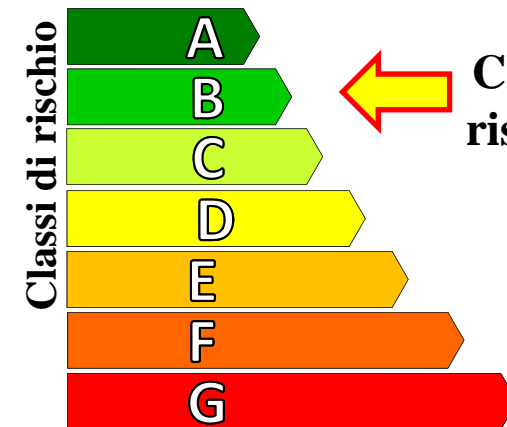
Caso Studio 1: Classe di rischio post operam (FRP)



- ✓ Interventi mirati a sanare le crisi fragili (taglio nodi e travi/pilastrì)
- ✓ Edificio originario verificato allo SLE
- ✓ Interventi mirati a ridurre il PAM ed incrementare l'indice di sicurezza alla SLV



Classe di rischio G



Classe di rischio B

Incremento di 5 classi