



Edoardo COSENZA,
Presidente Ordine ingegneri della Provincia di Napoli,
Università di Napoli Federico II

**SISMABONUS: Linee Guida, esempi
di applicazione e considerazioni sui
costi di intervento**



LINEE GUIDA PER L'ATTRIBUZIONE DELLA CLASSE DI RISCHIO SISMICO

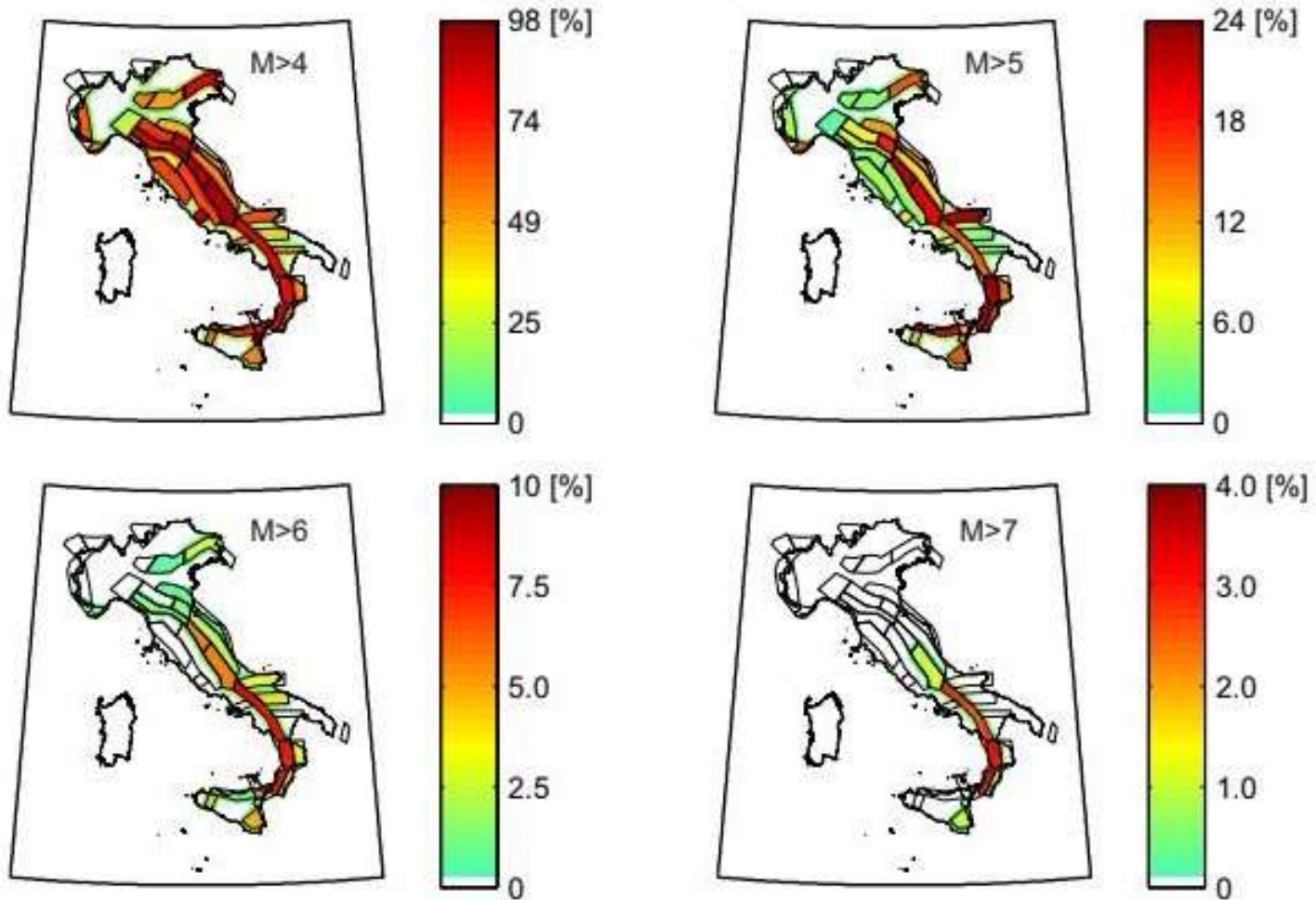
(Legge di Stabilità 2017, « SISMABONUS »)

*Approvate dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici il 20
febbraio 2017; Presidente Massimo SESSA
DM del Ministro Delrio il 28 febbraio 2017 (7 marzo 2017)*

Commissione Relatrice: D'Addato, Lucchese,
Avagnina, Ievolella, Salvatore, Prota, **Cosenza**, Moroni,
Modena, Magenes, Grasso, Lombardo, Cardinale, La
Mendola, Morelli, Montrasio, Deodato, Pecce

Gruppo di Lavoro: Braga, **Baratono**, Chirivì, Eramo,
Ianniello, Renzi, Dolce, Fabrizi, Rossi, Picchi

Probabilità di occorrenza in cinquant'anni di almeno un terremoto **entro 15 Km**



Definizione Stati Limite Sismici:

NTC 2017 = NTC 2008



Gli stati limite di esercizio sono:

- **Stato Limite di Operatività (SLO):** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;
- **Stato Limite di Danno (SLD):** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidezza nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

Gli stati limite ultimi sono:

- **Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV):** a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidezza nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidezza per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;
- **Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC):** a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

Stati Limite		P_{VR} : Probabilità di superamento nel periodo di riferimento V_R = 50 anni		
Stati limite di esercizio	SLO	$\lambda = 3,33\%$	81%	$Tr = 30$ anni
	SLD	$\lambda = 2\%$	63%	$Tr = 50$ anni
Stati limite ultimi	SLV	$\lambda = 0,21\%$	10%	$Tr = 475$ anni
	SLC	$\lambda = 0,1025\%$	5%	$Tr = 975$ anni

Stato Limite di Operatività (SLO)_Tr=30y: a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, non deve subire danni d'uso significativi;

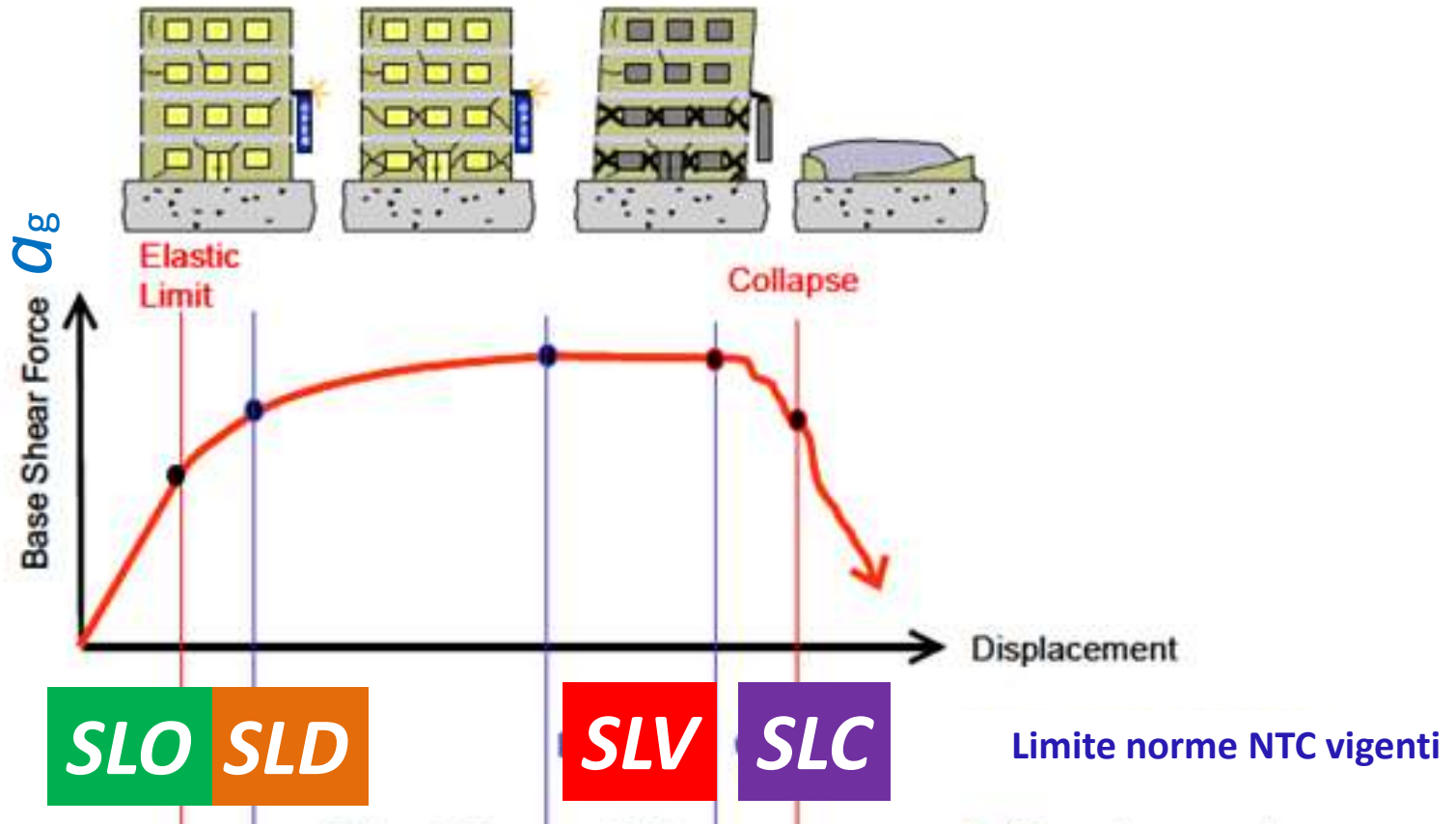
Stato Limite di Danno (SLD)_50y: a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidezza nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature;

Stato Limite di Salvaguardia delle Vita (SLV)_Tr=475y: a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidezza nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidezza per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;

Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC)_Tr=975y: a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.



ES. : ANALISI STATICA NON LINEARE (PUSHOVER)



ULTERIORI PUNTI CONVENZIONALI



SLID **PGA** $T_r = 10y$; Freq. annuale $\lambda = 1/10 = 10\%$

SLO **PGA** $T_r = 30y$; Freq. annuale $\lambda = 1/30 = 3,33\%$

SLD **PGA** $T_r = 50y$; Freq. annuale $\lambda = 1/50 = 2\%$

SLV **PGA** $T_r = 475y$; Freq. annuale $\lambda = 1/475 \approx 0,21\%$

SLC **PGA** $T_r = 975y$; Freq. annuale $\lambda = 1/975 \approx 0,10\%$

SLR **PGA** $T_r = \text{infinito}$; Freq. annuale $\lambda = 0\%$



CURVA DI RIFERIMENTO, EDIFICIO ESATTAMENTE A NORMA

SLID

Freq. annuale $\lambda=10\%$

CR=0%

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

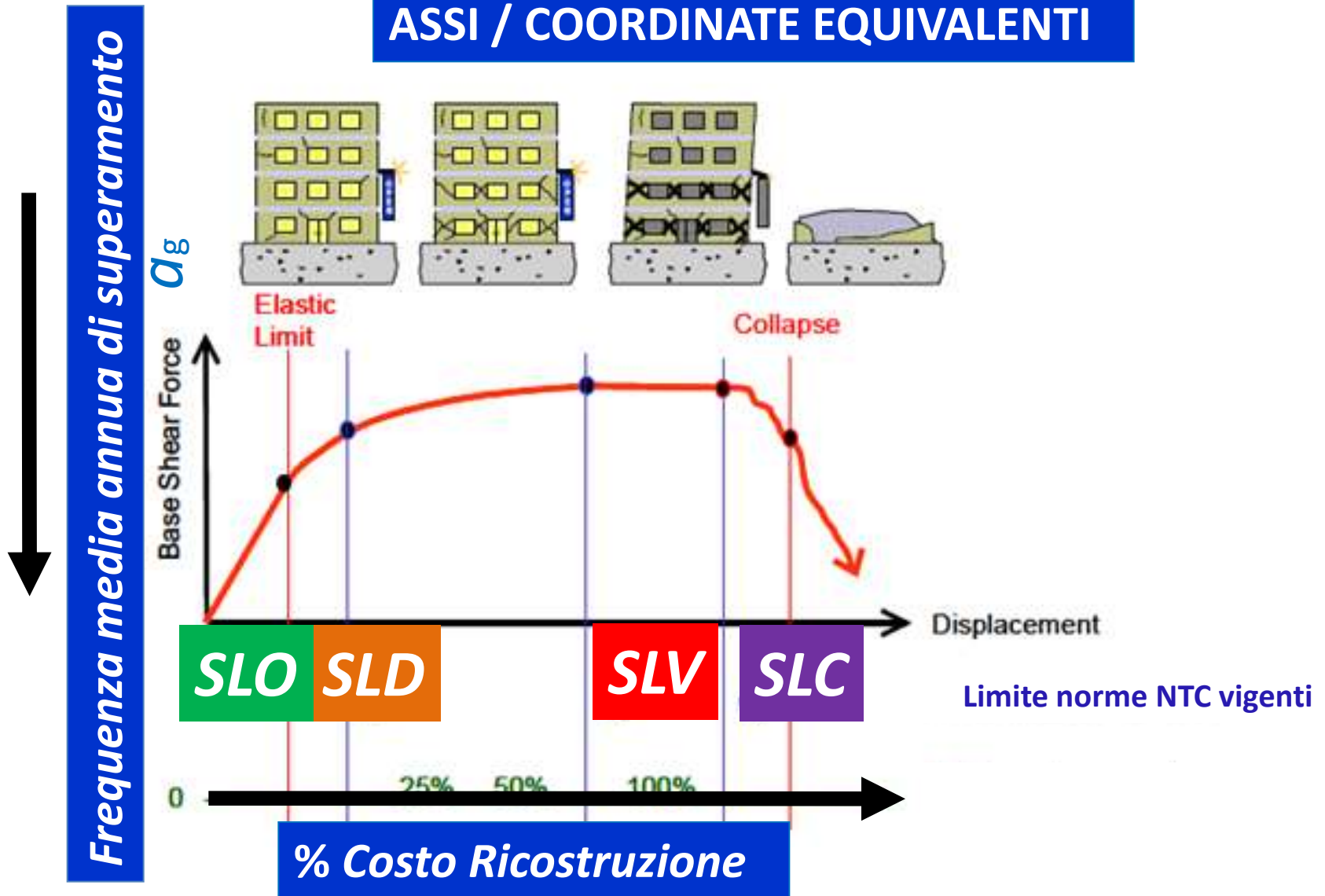
Freq. annuale $\lambda=0\%$

CR=100%

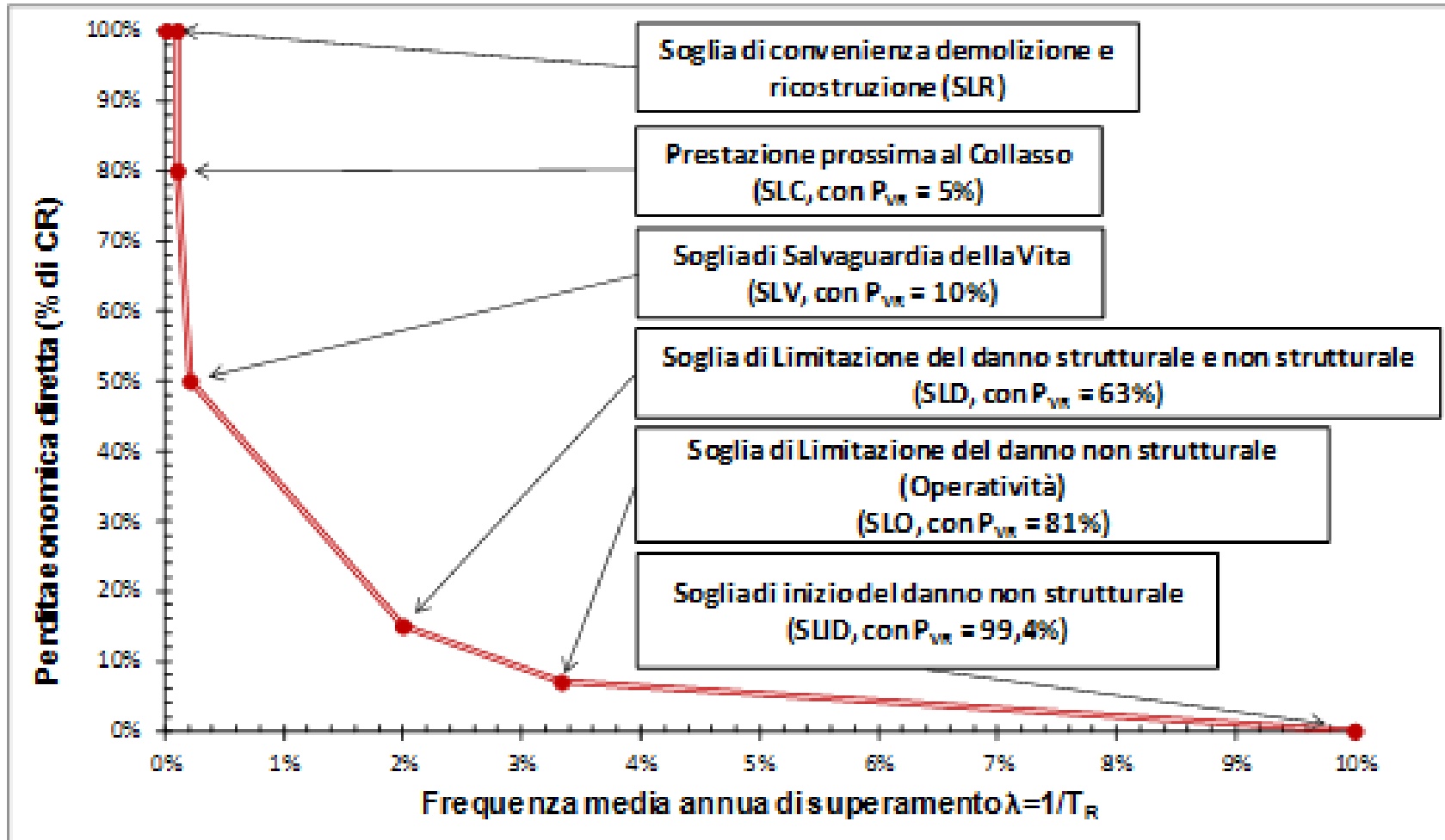
ESEMPIO: ANALISI STATICA NON LINEARE (PUSHOVER)



ASSI / COORDINATE EQUIVALENTI



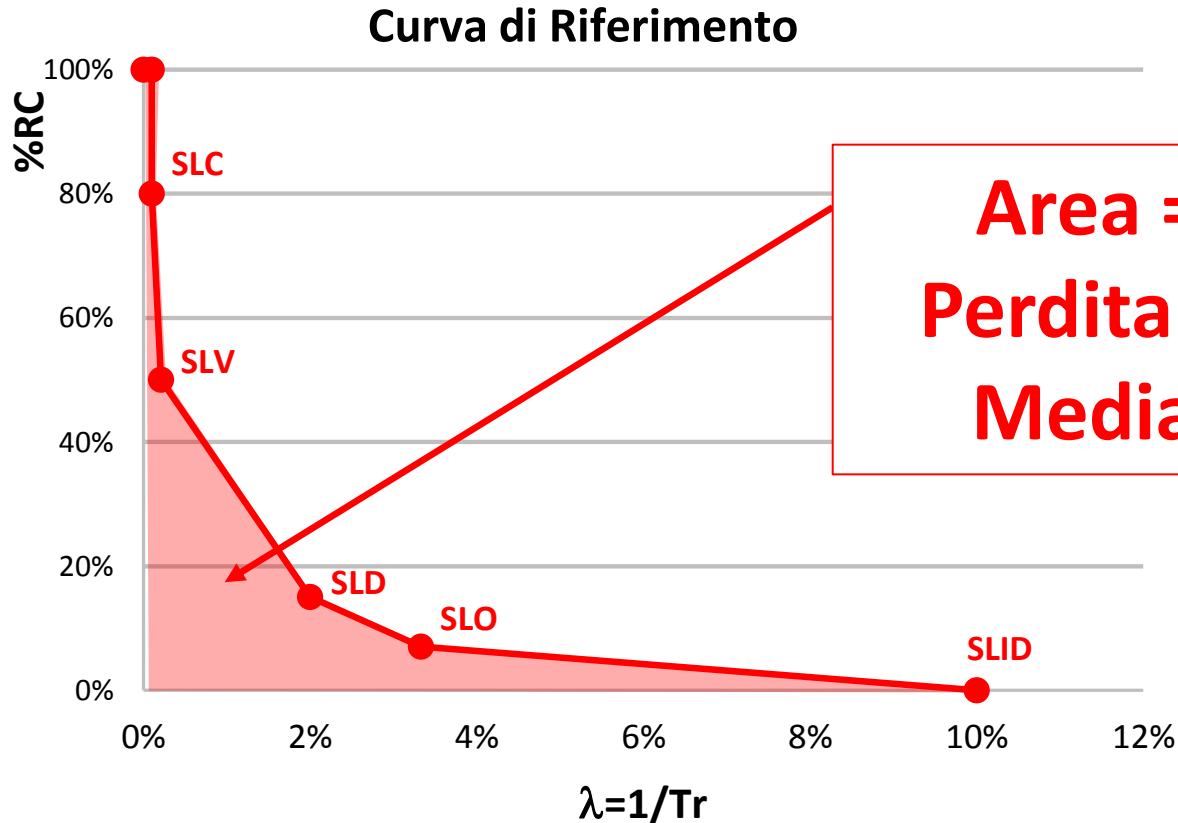
ORDINATA : % Costo di Ricostruzione (Perdita economica diretta)



COSTRUZIONE CURVE DI RIFERIMENTO



Curva di Riferimento basata sugli $SL-V_R=50$ anni



**Area = PAM =
Perdita Annuale
Media attesa**

SLC 80%CR
SLV 50%CR
SLD 15%CR
SLO 7%CR
SLID 0%CR

**EDIFICIO «ESATTAMENTE» A
NORMA»**

PAM (%RC)=1.135% <1.5%



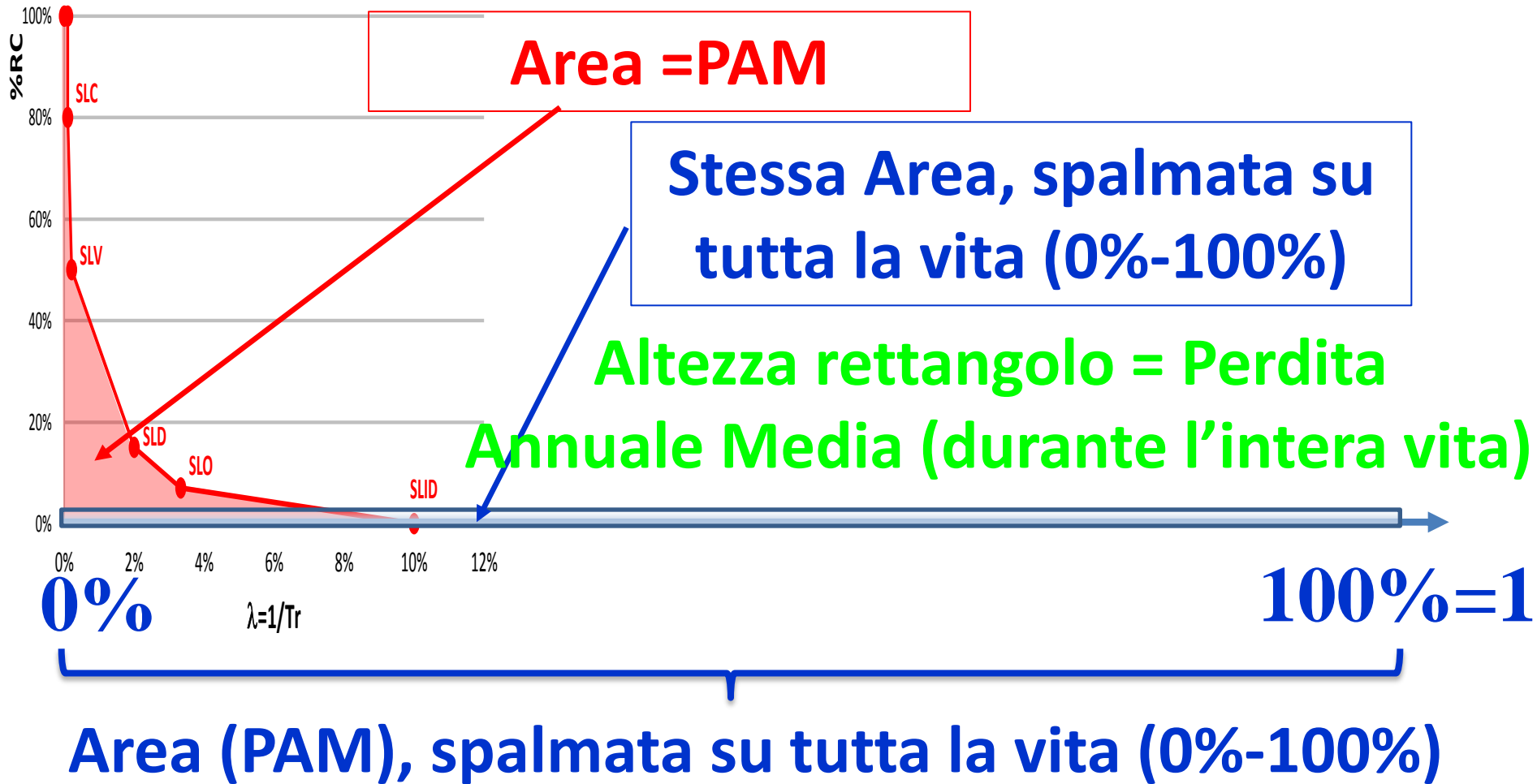
Classe PAM 'B'

Dopo SLC,
verticale fino 100%RC
ed orizzontale fino a $\lambda=0$

COSTRUZIONE CURVE DI RIFERIMENTO



Curva di Riferimento



CALCOLO PAM PER EDIFICIO ESISTENTE / EDIFICIO RINFORZATO



SLID

CONVENZIONALE, $\lambda=0,10\%$

CR=0%

SLO

SI STIMA (o si calcola)

CR=7%

SLD

SI CALCOLA λ_{SLD}

CR=15%

SLV

SI CALCOLA λ_{SLV}

CR=50%

SLC

SI STIMA (o si calcola)

CR=80%

SLR

CONVENZIONALE, $\lambda=0\%$

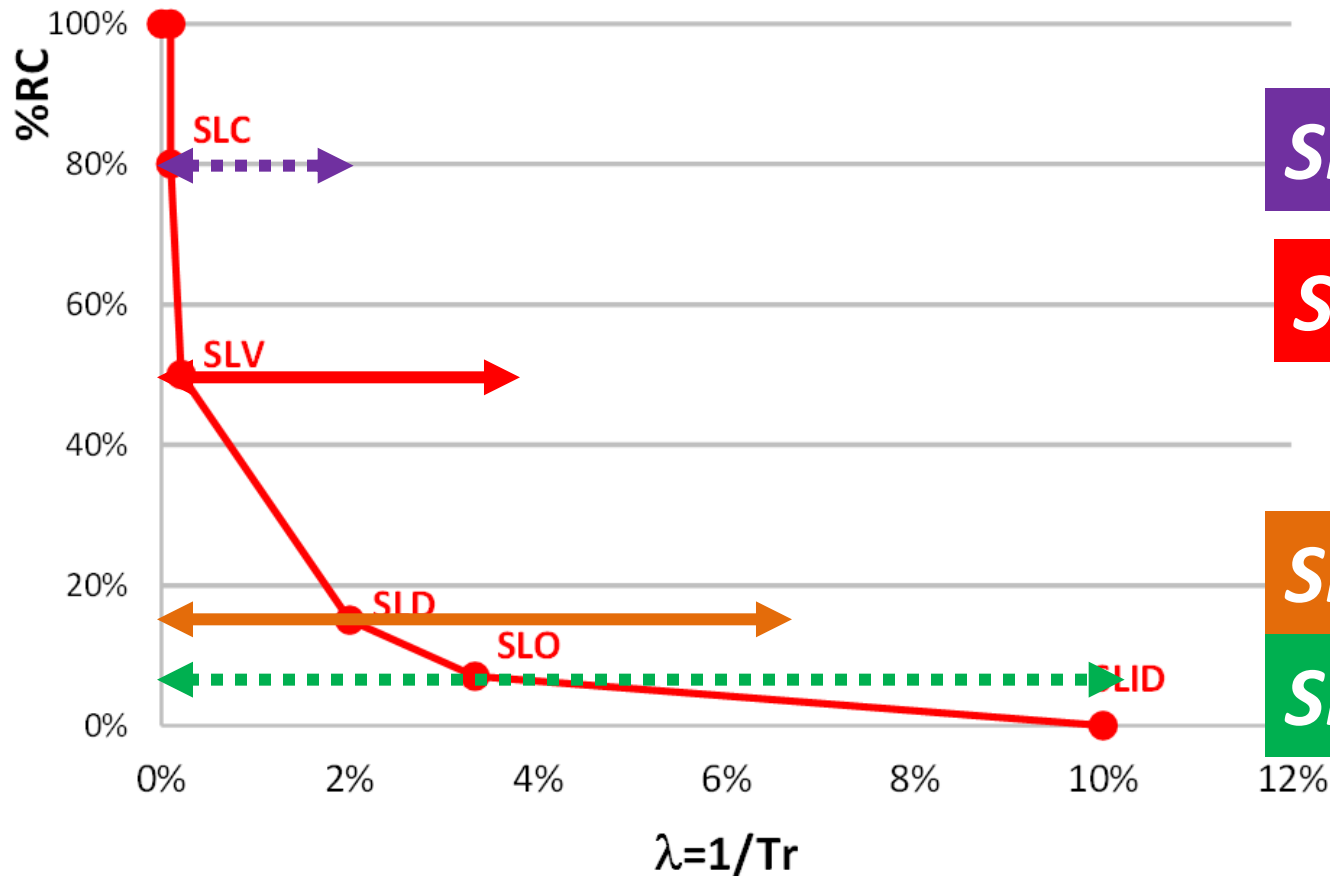
CR=100%



EDIFICIO ESISTENTE e EDIFICIO RINFORZATO

1. MUOVENDOSI NEL GRAFICO IN ORIZZONTALE:

Curva di Riferimento



SI STIMA λ_{SLC}

SI CALCOLA λ_{SLV}

SI CALCOLA λ_{SID}

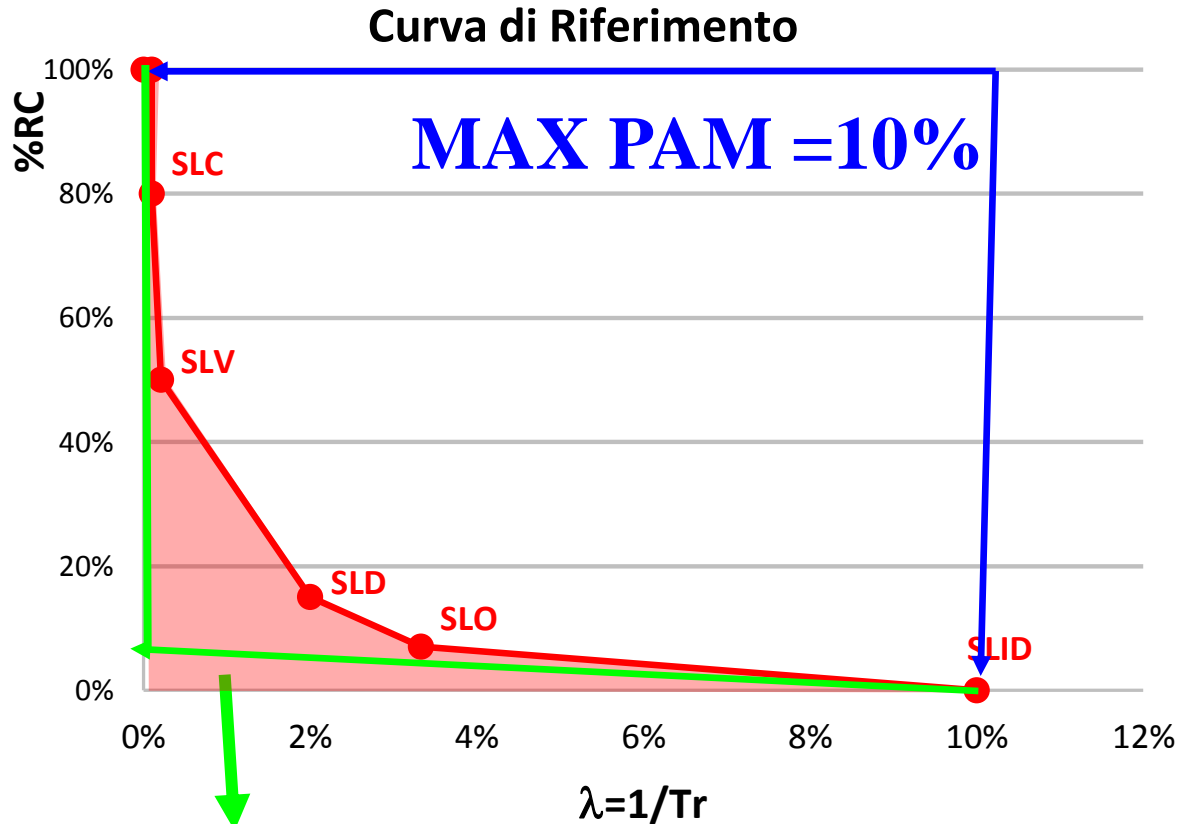
SI STIMA λ_{SLO}

2. SI CALCOLA AREA SOTTESA DALLA SPEZZATA = PAM

COSTRUZIONE CURVE DI RIFERIMENTO



Curva di Riferimento basata sugli $SL-V_R=50$ anni

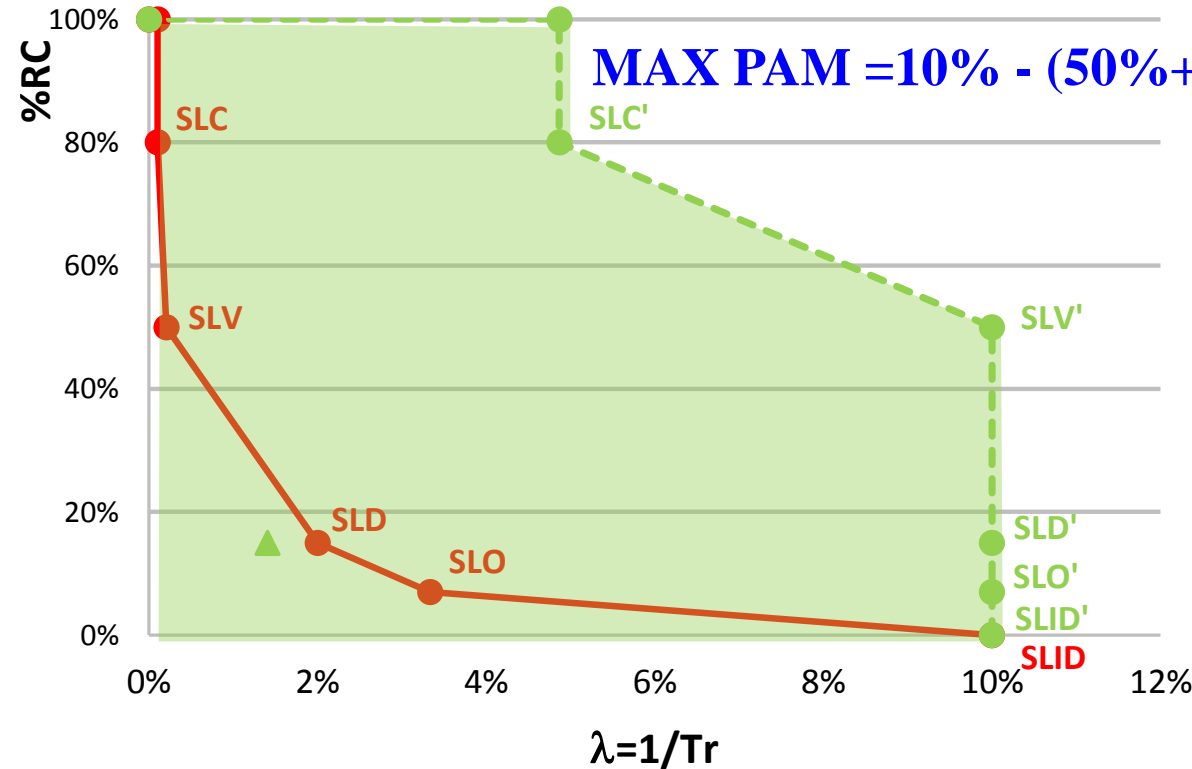


SLC 80%CR
SLV 50%CR
SLD 15%CR
SLO 7%CR
SLID 0%CR

Dopo SLC,
verticale fino 100%RC
ed orizzontale fino a $\lambda=0$

COSTRUZIONE CURVE DI RIFERIMENTO

Curva di Riferimento



$$\text{MAX PAM} = 10\% - (50\% + 20\%) / 2 * (1 - 0,49) * 10\% = 8,215\%$$

SLC 80%CR

SLV 50%CR

SLD 15%CR

SLO 7%CR

SLID 0%CR

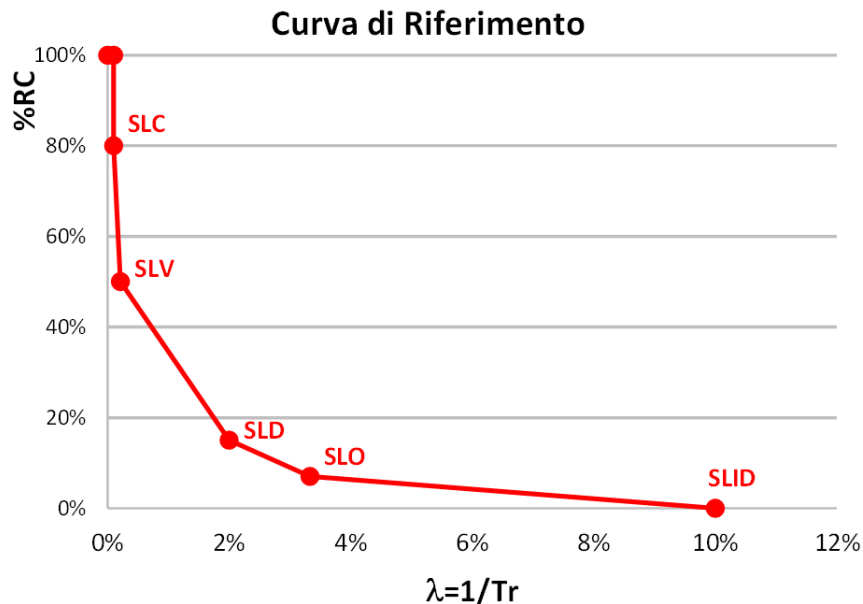
$$\lambda_{\text{SLC}} = 0,49 \lambda_{\text{SLV}}$$

NOTA: Concettualmente è impossibile che SLV preceda SLD. Dunque in ogni caso:

$$\lambda_{\text{SLD}} \geq \lambda_{\text{SLV}}$$



«Laddove si valuti il PAM ricorrendo alla determinazione dei punti corrispondenti a soli due stati limite, ai λ degli altri due stati limite potranno essere attribuiti i valori: $\lambda_{SLO} = 1,67\lambda_{SLD}$, $\lambda_{SLC} = 0,49\lambda_{SLV}$ »



Un rettangolo + tre trapezi + un triangolo

$$\text{PAM} = 0,4965\lambda_{SLV} + 0,34025\lambda_{SLD} + 0,0035$$

NOTA: NON VALE SE $\lambda_{SLO} = 1,67\lambda_{SLD} > 10\%$



CLASSI DI RISCHIO SISMICO IN BASE ALLA PAM «PERDITA ANNUA MEDIA ATTESA»

Perdita Annua Media attesa (PAM)	Classe PAM
$PAM \leq 0,5\%$	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



PER LA STRUTTURA ESISTENTE E PER LA STRUTTURA RINFORZATA, I PUNTI FONDAMENTALI, CHE TUTTI I PROGETTISTI DOVRANNO CALCOLARE SONO:

SLD

Freq. annuale λ_{SLD}

CR=15%

SLV

Freq. annuale λ_{SLV}

CR=50%

LE VALUTAZIONI DI «CR» RISULTANO, A PARERE DELLA COMMISSIONE, SUFFICIENTEMENTE ROBUSTE ED AFFIDABILI, PERCHE' ...



VALUTAZIONE ALLO STATO LIMITE DI DANNO

SLD

CR=15%

- 1) Dal documento originale, raffinate analisi macrosismiche, con spezzata lineare, in zona 1 si deduce: **CR = 15,9%**
- 2) Dal documento originale, in zona 1, con interpolazione logaritmica delle curva di vulnerabilità (Braga), si trae **CR = 13,6%**
- 3) dall'analisi di circa 2500 edifici di L'Aquila, edifici con esito B o C dalle schede Aedes, c.a. e muratura, il costo medio di riparazione è stato di circa 196 euro /mq; considerando che il costo di intera ricostruzione è dell'ordine di 1200 euro /mq, la stima è **CR del 16,3 %**



VALUTAZIONE ALLO STATO LIMITE SALVAGUARDIA VITA

SLV

CR=50%

1) Dal documento originale, raffinate analisi macrosismiche, con spezzata lineare, in zona 1 si deduce: **CR = 51,5%**

2) Dal documento originale, in zona 1, con interpolazione logaritmica dalle curva di vulnerabilità (Braga), si trae **CR = 45, 8%**

3) dall'analisi di 760 edifici della ricostruzione di L'Aquila, edifici classificati dalle schede Aedes come E, c.a. e muratura, il costo di riparazione è stato di circa 500 euro /mq; considerando che in E ci sono anche edifici che presentavano danni non strutturali estesissimi senza essere arrivati però allo SLV, e che il costo di intera ricostruzione è dell'ordine di 1200 euro /mq, la stima è **CR del 50%**

L'AQUILA: LA RICOSTRUZIONE

➤ Costi di riparazione edifici in c.a.

Voci di costo:

Oneri



Strutture



Tamponature



Servizi/
Impianti



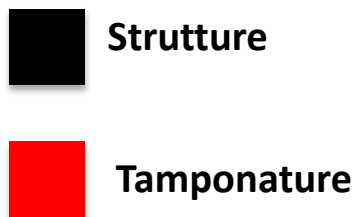
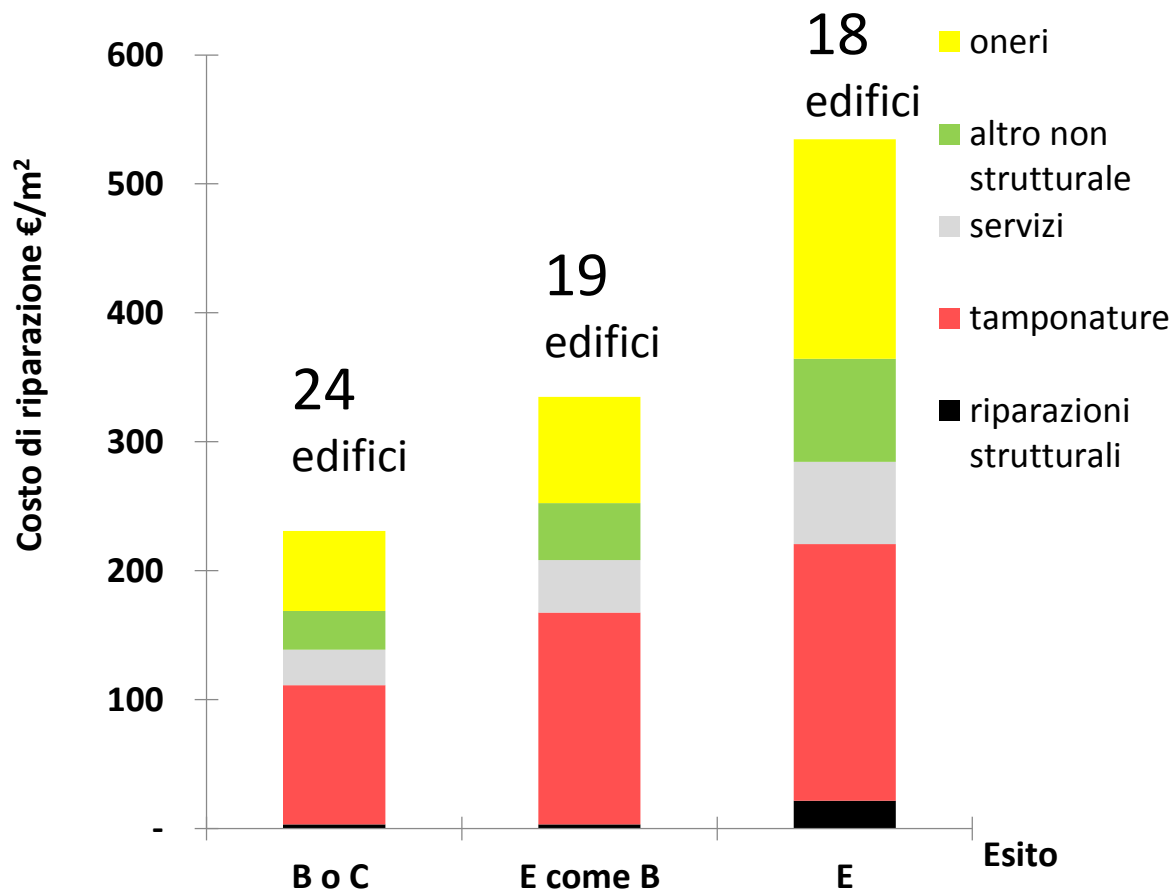
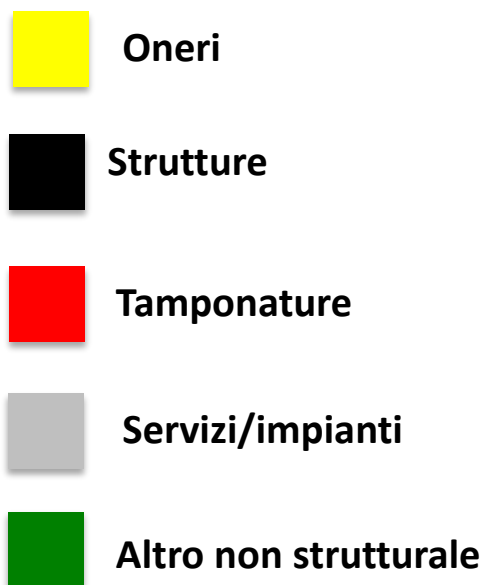
Altro non strutturale: pavim/massetto, canne fumarie, rivest.scale, tegole e comignoli



L'AQUILA: LA RICOSTRUZIONE

➤ Costi di riparazione edifici in c.a. Campione dati: 63 edifici

Voci di costo:

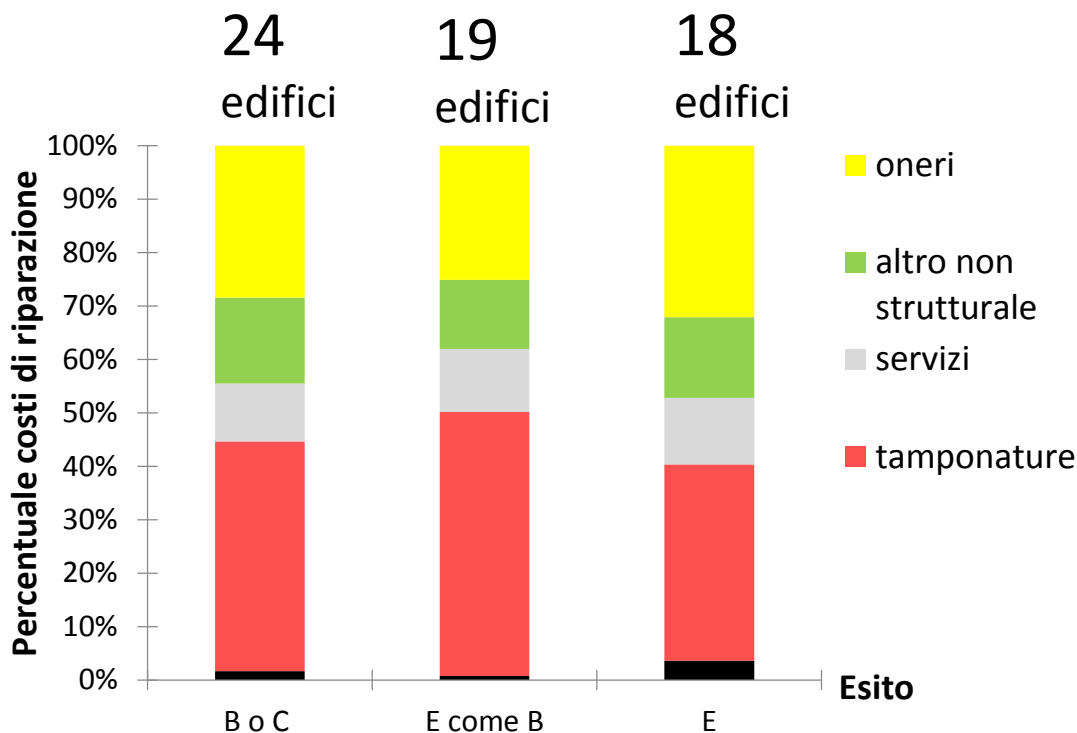
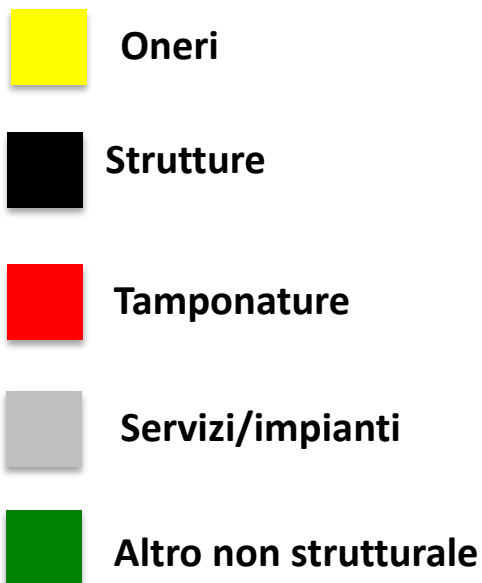


Esito	Costo medio (€/m²)
B o C	108,07
E come B	164,35
E	198,96

L'AQUILA: LA RICOSTRUZIONE

➤ Costi di riparazione edifici in c.a. Campione dati: 63 edifici

Voci di costo:



25% < Oneri < 32%

1% < Riparazioni strutturali < 4%

37% < Riparazioni tamponature < 43%

11% < Riparazioni servizi/impianti < 12%

13% < Altre riparazioni non strutturali < 16%

SLD, analisi costi riparazione L'Aquila

(Prota, Di Ludovico et al, 24 Edifici B o C)

TAMPONATURE: 43%

STRUTTURE: 2%

IMPIANTI IDRAULICI/ELETTTRICI 11%

Pavimenti, massetti, tegole, comignoli,

Canne fumarie, rivestimenti scale: 16%

ONERI GENERALI: 28%

RIPARTENDO UNIFORMEMENTE

ONERI GENERALI:

TAMPONATURE: 60%

STRUTTURE: 3%

IMPIANTI IDRAULICI/ELETTTRICI 15%

Pavimenti, massetti, tegole, comignoli,

Canne fumarie, rivestimenti scale: 22%



ULTERIORE PARAMETRO DI VALUTAZIONE: INDICE DI SICUREZZA

«**l'indice di sicurezza (IS-V)** della struttura definito come il rapporto tra l'accelerazione di picco al suolo (PGA, *Peak Ground Acceleration*) che determina il raggiungimento dello Stato Limite di salvaguardia della Vita ⁽¹⁾ (SLV), capacità in PGA – PGA_C , e la PGA che la norma indica, nello specifico sito in cui si trova la costruzione e per lo stesso stato limite, come riferimento per la progettazione di un nuovo edificio, domanda in PGA - PGA_D . L'indice di sicurezza (IS-V) della struttura è meglio noto ai tecnici con la denominazione di “**Indice di Rischio**” ⁽²⁾ »

« (1) La verifica dello stato limite di salvaguardia della vita è volta a minimizzare il rischio di perdite umane ma è bene tener presente che tale rischio non può mai ridursi a zero, così come anche con il raggiungimento dello stato limite di danno si potrebbero verificare, seppur in maniera estremamente episodica, delle perdite umane »

« (2) L'indice di rischio è stato introdotto dalla Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3362/2004 (GU n. 165 del 16-7-2004), e indicato come α_u , al fine di modulare i finanziamenti statali per gli interventi di riduzione della vulnerabilità sismica delle costruzioni»

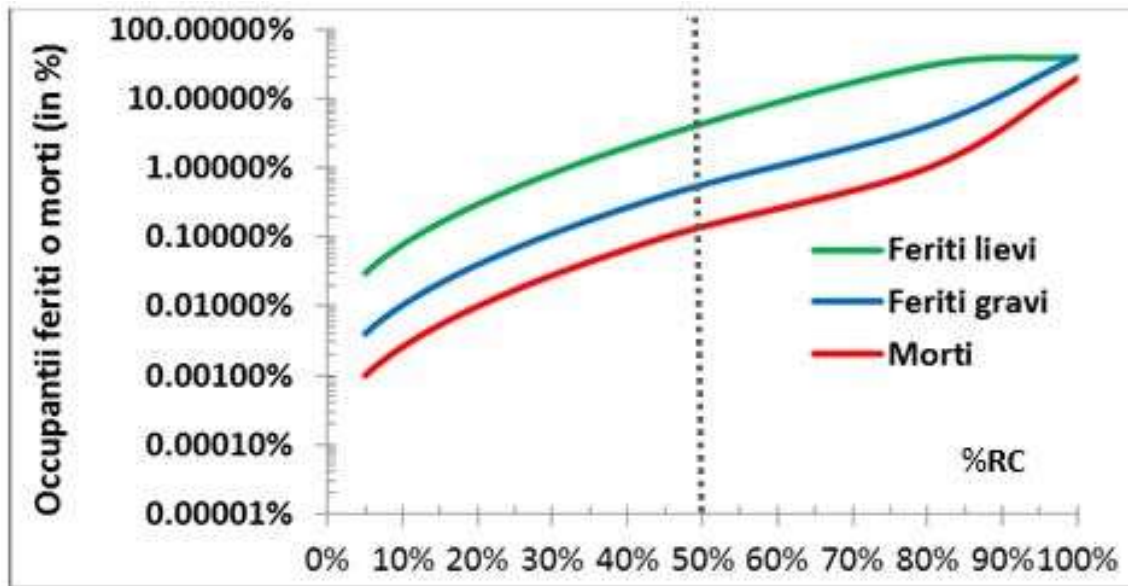


Figura 1.- Percentuale di feriti e morti sul totale degli occupanti, in funzione del danno espresso in %CR.

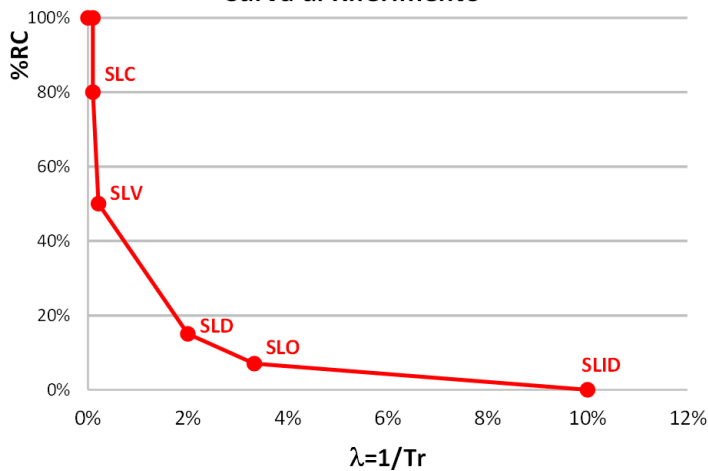
¹ Le stime sono relative a tutte le tipologie di costruzione, escluse quelle in acciaio e quelle intelaiate in legno. I valori relativi a queste ultime si ricavano dividendo per 10 i valori mostrati in figura. (Progetto ATC-13, 1985).

VITTIME IN ITALIA (MAGGIORI EVENTI)

- LAMEZIA TERME 1905 **557**
- REGGIO E MESSINA 1908 **120.000**
- AVEZZANO 1911 **33.000**
- IRPINIA 1930 **1404**
- BELICE 1968 **370**
- FRULI 1976 **989**
- IRPINIA 1980 **2914**
- L'AQUILA 2009 **308**
- ...
- **TOTALE DAL 1900 : OLTRE 160.000**



Curva di Riferimento



$$\text{PAM} = 0,4965 * \lambda_{\text{SLV}} + 0,34025 * \lambda_{\text{SLD}} + 0,0035$$

Esempio struttura esattamente a norma:

$$\text{PAM} = 0,4965 * 1/475 + 0,34025 * 1/50 + 0,0035 = 0,104\% + 0,6805\% + 0,35\% = 1,1345\%$$

PESI PERCENTUALI

$$\text{PAM} \leftrightarrow 9\% \text{ _ } 60\% \text{ _ } 31\%$$



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

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



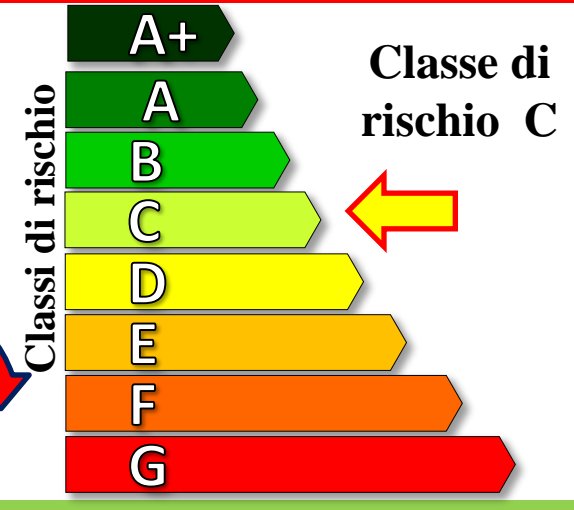
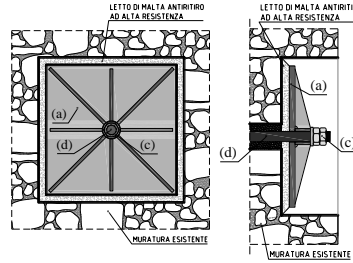
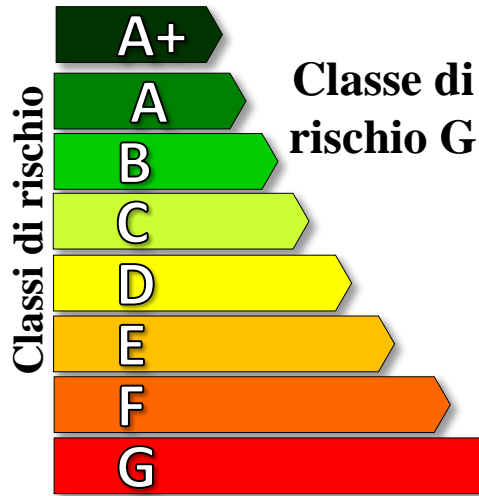
CLASSE EFFETTIVA: MINIMO FRA LE DUE CLASSI PAM e IS-V

Perdita Media Annua attesa (PAM)	Classe PAM	Indice di Sicurezza	Classe IS-V
$PAM \leq 0,50\%$	A+	$100\% < IS-V$	A+
$0,5\% < PAM \leq 1,0\%$	A	$80\% < IS-V \leq 100\%$	A
$1,0\% < PAM \leq 1,5\%$	B	$60\% < IS-V \leq 80\%$	B
$1,5\% < PAM \leq 2,5\%$	C	$45\% < IS-V \leq 60\%$	C
$2,5\% < PAM \leq 3,5\%$	D	$30\% < IS-V \leq 45\%$	D
$3,5\% < PAM \leq 4,5\%$	E	$15\% < IS-V \leq 30\%$	E
$4,5\% < PAM \leq 7,5\%$	F	$IS-V \leq 15\%$	F
$7,5\% < PAM$	G		

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 la Salvaguardia della Vita

ESEMPIO (Edificio muratura L'Aquila)

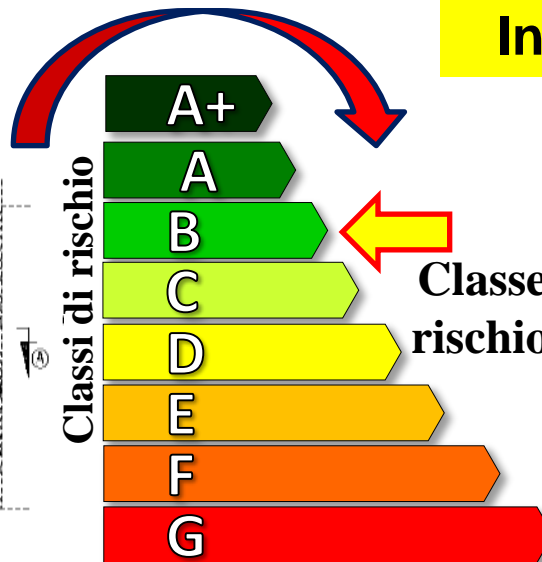


Inibizione meccanismi fuori piano

Edificio NON RINFORZATO

Incremento di 4 classi

➤ Con metodo semplificato interventi mirati a sanare i meccanismi fuori piano ed incremento di una classe



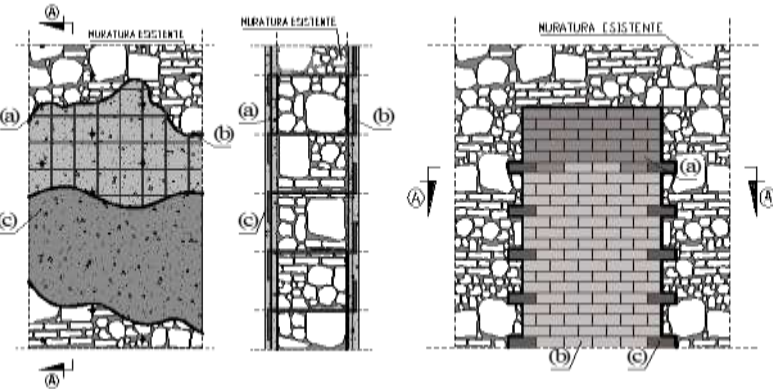
Classe di rischio F



Rinforzo nel piano

Incremento di 5 classi

Incremento di 1 classe



Qualora sia necessario effettuare la valutazione della sicurezza della costruzione, la verifica del sistema di fondazione è obbligatoria solo se sussistono condizioni che possano dare luogo a fenomeni di instabilità globale o se si verifica una delle seguenti condizioni:

- nella costruzione siano presenti importanti dissesti attribuibili a cedimenti delle fondazioni o dissesti della stessa natura si siano prodotti nel passato;
- siano possibili fenomeni di ribaltamento e/o scorrimento della costruzione per effetto: di condizioni morfologiche sfavorevoli, di modificazioni apportate al profilo del terreno in prossimità delle fondazioni, delle azioni sismiche di progetto;
- siano possibili fenomeni di liquefazione del terreno di fondazione dovuti alle azioni sismiche di progetto.

Allo scopo di verificare la sussistenza delle predette condizioni, si farà riferimento alla documentazione disponibile e si potrà omettere di svolgere indagini specifiche solo qualora, a giudizio esplicitamente motivato del professionista incaricato, sul volume di terreno significativo e sulle fondazioni sussistano elementi di conoscenza sufficienti per effettuare le valutazioni precedenti.

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; in quest'ultimo caso potranno essere adottati livelli prestazionali ridotti.

Per la combinazione sismica le verifiche agli SLU possono essere eseguite rispetto alla condizione di salvaguardia della vita umana (SLV) o, in alternativa, alla condizione di collasso (SLC), secondo quanto specificato al § 7.3.6

Nelle verifiche rispetto alle azioni sismiche il livello di sicurezza della costruzione è quantificato attraverso il rapporto ζ_E tra l'azione sismica massima sopportabile dalla struttura e l'azione sismica massima che si utilizzerebbe nel progetto di una nuova costruzione; l'entità delle altre azioni contemporaneamente presenti è la stessa assunta per le nuove costruzioni, salvo quanto emerso riguardo ai carichi verticali permanenti a seguito delle indagini condotte (di cui al § 8.5.5) e salvo l'eventuale adozione di appositi provvedimenti restrittivi dell'uso della costruzione e, conseguentemente, sui carichi verticali variabili.

La restrizione dell'uso può mutare da porzione a porzione della costruzione e, per l'*i*-esima porzione, è quantificata attraverso il rapporto $\zeta_{v,i}$ tra il valore massimo del sovraccarico variabile verticale sopportabile da quella parte della costruzione e il valore del sovraccarico verticale variabile che si utilizzerebbe nel progetto di una nuova costruzione.

È necessario adottare provvedimenti restrittivi dell'uso della costruzione e/o procedere ad interventi di miglioramento o adeguamento nel caso in cui non siano soddisfatte le verifiche relative alle azioni controllate dall'uomo, ossia prevalentemente ai carichi permanenti e alle altre azioni di servizio.

8.4.2. INTERVENTO DI MIGLIORAMENTO

La valutazione della sicurezza e il progetto di intervento dovranno essere estesi a tutte le parti della struttura potenzialmente interessate da modifiche di comportamento, nonché alla struttura nel suo insieme.

Per la combinazione sismica delle azioni, il valore di ζ_E può essere minore dell'unità. A meno di specifiche situazioni relative ai beni culturali, per le costruzioni di classe III ad uso scolastico e di classe IV il valore di ζ_E , a seguito degli interventi di miglioramento, deve essere comunque non minore di 0,6, mentre per le rimanenti costruzioni di classe III e per quelle di classe II il valore di ζ_E , sempre a seguito degli interventi di miglioramento, deve essere incrementato di un valore comunque non minore di 0,1.

Nel caso di interventi che prevedano l'impiego di sistemi di isolamento, per la verifica del sistema di isolamento, si deve avere almeno $\zeta_E = 1,0$.

8.4.3. INTERVENTO DI ADEGUAMENTO

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

- a) sopraelevare la costruzione;
- b) ampliare la costruzione mediante opere ad essa strutturalmente connesse e tali da alterarne significativamente la risposta;
- c) apportare variazioni di destinazione d'uso che comportino incrementi dei carichi globali verticali in fondazione superiori al 10%, valutati secondo la combinazione caratteristica di cui alla equazione 2.5.2 del § 2.5.3, includendo i soli carichi gravitazionali. 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;
- d) 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.
- e) apportare modifiche di classe d'uso che conducano a costruzioni di classe III ad uso scolastico o di classe IV.

In ogni caso, il progetto dovrà essere riferito all'intera costruzione e dovrà riportare le verifiche dell'intera struttura post-intervento, secondo le indicazioni del presente capitolo.

Nei casi a), b) e d), per la verifica della struttura, si deve avere $\zeta_E \geq 1,0$. Nei casi c) ed e) si può assumere $\zeta_E \geq 0,80$.

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.

Una variazione dell'altezza dell'edificio dovuta alla realizzazione di cordoli sommitali o a variazioni della copertura che non comportino incrementi di superficie abitabile, non è considerato ampliamento, ai sensi della condizione a). In tal caso non è necessario procedere all'adeguamento, salvo che non ricorrano una o più delle condizioni di cui agli altri precedenti punti.



Usando relazione «media» italiana suggerita dalle linee Guida sulla Classificazione del Rischio Sismico / Sismabonus

$$T_{rC} = T_{rD} (PGA_C/PGA_D)^{1/0,41}$$

$$T_{rC} = T_{rD} (\zeta_E)^{1/0,41} = T_{rD} (0,6)^{1/0,41} = 0,29 * T_{rD}$$

$$T_{rD} = 475 \text{ y} \rightarrow T_{rC} = 137 \text{ y} = 0,29 * 475 \approx 0,3 * 475$$

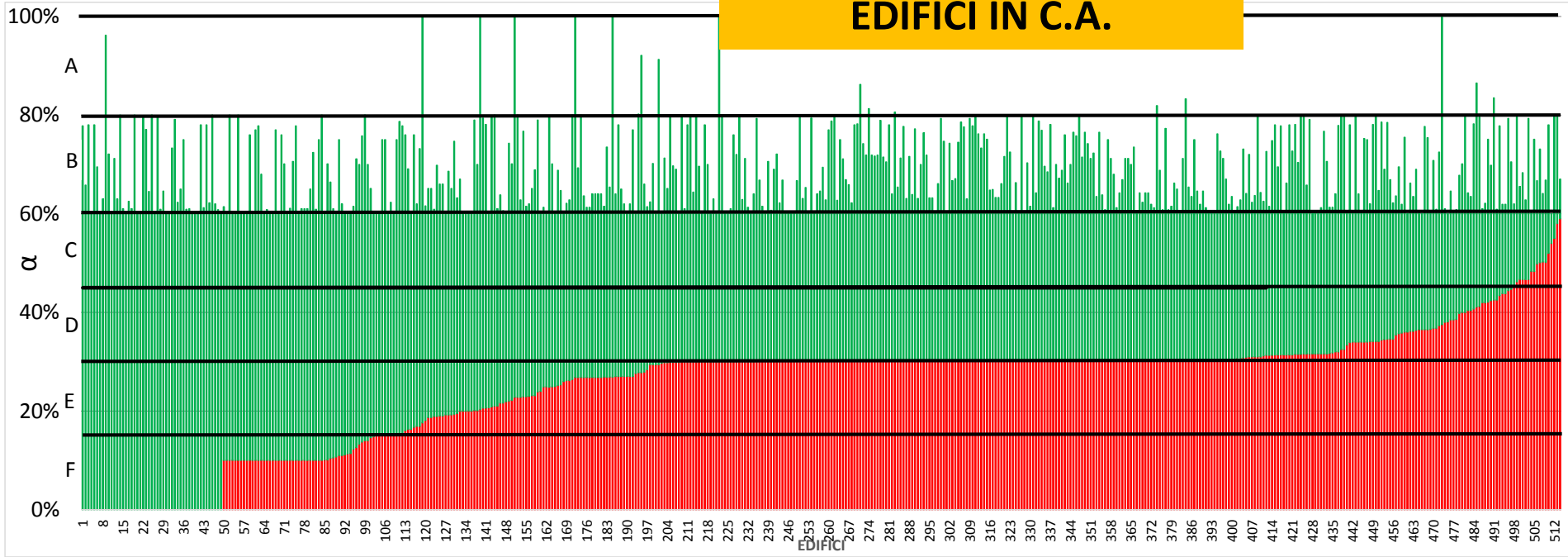
$$T_{rC} = T_{rD} (\zeta_E)^{1/0,41} = T_{rD} (0,8)^{1/0,41} = 0,58 * T_{rD}$$

$$T_{rD} = 475 \text{ y} \rightarrow T_{rC} = 274 \text{ y} = 0,58 * 475 \approx 0,6 * 475$$

515 Edifici c.a., L'Aquila con danni severi (Esito E)



EDIFICI IN C.A.



Indice di sicurezza	Classe IS-V
100% < IS-V	A ⁺ _{IS-V}
80% < IS-V ≤ 100%	A _{IS-V}
60% < IS-V ≤ 80%	B _{IS-V}
45% < IS-V ≤ 60%	C _{IS-V}
30 < IS-V ≤ 45%	D _{IS-V}
15 < IS-V ≤ 30%	E _{IS-V}
IS-V ≤ 15%	F _{IS-V}

TABELLA PROPOSTA			
515 EDIFICI IN C.A.			
Classe pre intervento	Classe post intervento		
	A	B	C
C		17	1
D	9	247	8
E/F	10	187	36

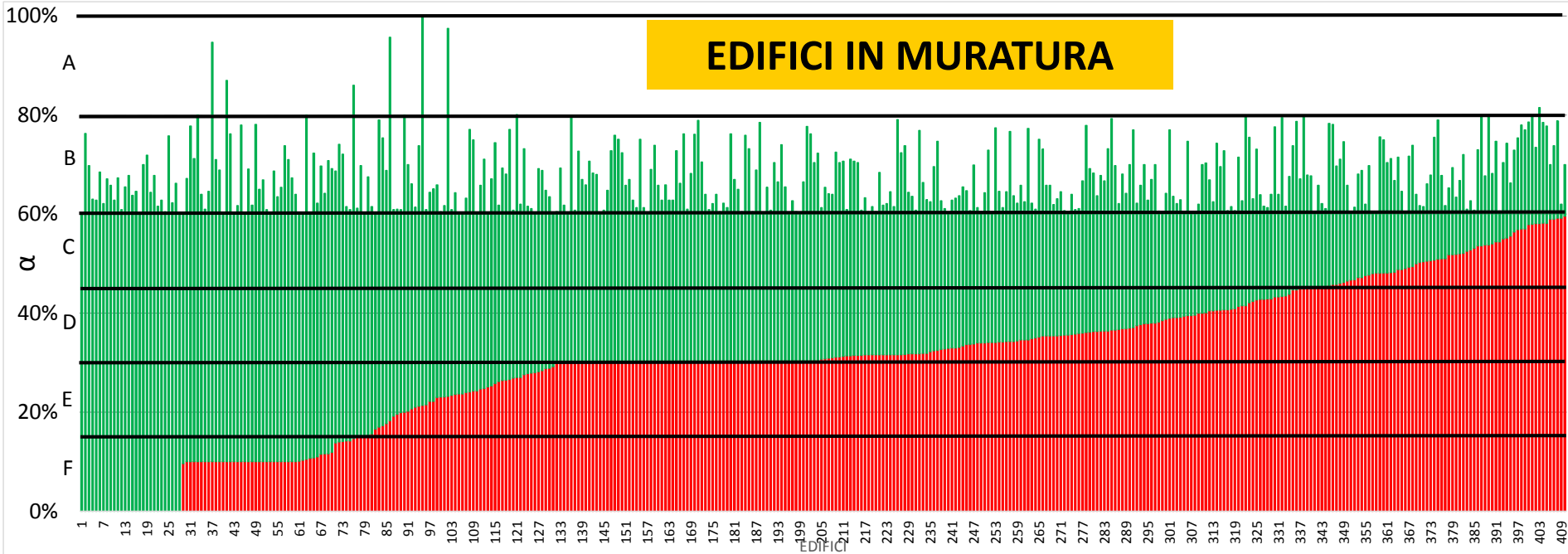
■ IS-V PRE
■ IS-V POST

CLASSE IS-V 'B' maggioranza edifici c.a.

410 Edifici Muratura, L'Aquila con danni severi (Esito E)



EDIFICI IN MURATURA



Indice di sicurezza	Classe IS-V
100% < IS-V	A ⁺ _{IS-V}
80% < IS-V ≤ 100%	A _{IS-V}
60% < IS-V ≤ 80%	B _{IS-V}
45% < IS-V ≤ 60%	C _{IS-V}
30 < IS-V ≤ 45%	D _{IS-V}
15 < IS-V ≤ 30%	E _{IS-V}
IS-V ≤ 15%	F _{IS-V}

TABELLA PROPOSTA			
410 EDIFICI IN MURATURA			
Classe pre intervento	Classe post intervento		
	A	B	C
C	1	69	
D		196	6
E/F	7	122	9

■ IS-V PRE
■ IS-V POST

CLASSE IS-V 'B' maggioranza edifici muratura



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

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

$\Delta 1$ medio = 0,20

$\Delta 1$ medio = 0,175

$\Delta 1$ medio = 0,15

$\Delta 1$ medio = 0,15

$\Delta 1$ medio = 0,15

Δ minimo NTC 2018 = 0,10



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

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

$\Delta 2$ medio = 0,40

$\Delta 2$ medio = 0,325

$\Delta 2$ medio = 0,325

$\Delta 2$ medio = 0,30

$\Delta 2$ medio = 0,30

Δ minimo NTC 2018 = 0,10



***Dal punto di vista strettamente finanziario,
considerando le detrazioni fiscali previste in finanziaria:***

***Miglioramento generico, si seguono le regole della NTC
2018,***

- ***Incremento minimo IS_V (indicato come ζ_E) del 10%***
- ***Finanziamento 50% detraibili in 10 anni (in certi casi si
scala di 1 classe e dunque 75%)***

SISMABONUS, miglioramento con variazione di 1 classe:

- ***Incremento medio di IS_V variabile fra il 15% e 20%***
- ***Finanziamento fino al 75% detraibile in 5 anni***

SISMABONUS, miglioramento con variazione di 2 classi:

- ***Incremento medio di IS_V variabile fra il 30% e 40%***
- ***Finanziamento fino al 85% detraibile in 5 anni***

***Per il SISMABONUS si deve migliorare anche il PAM
e cioè garantire minori costi per gli eventuali danni***



HOTEL ROMA, AMATRICE





SEISMIC DAMAGE OBSERVED IN AMATRICE

Tall RC buildings nearby the school Romolo Capranica



- The tallest building in Amatrice (RC structure) showed no significant damage.
- The dynamic behaviour of the structures largely influenced the structural behavior of buildings in Amatrice.
- Best was, in general, the behavior of tall RC framed structures, being more deformable and thus subjected to much smaller spectral accelerations.

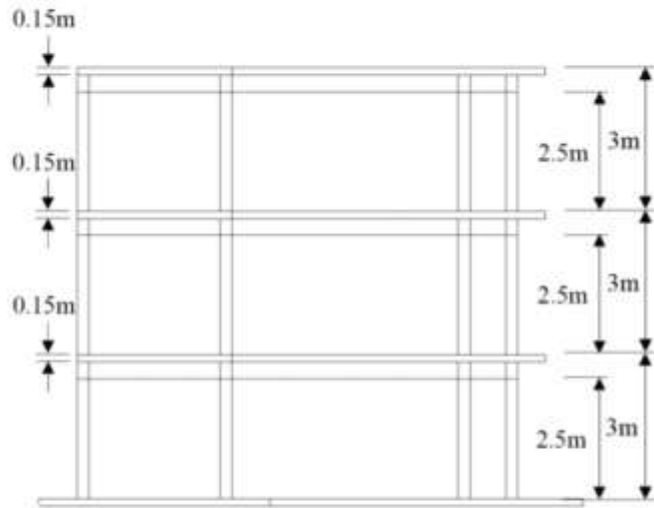


Figure 3. Front view of the case-study structure

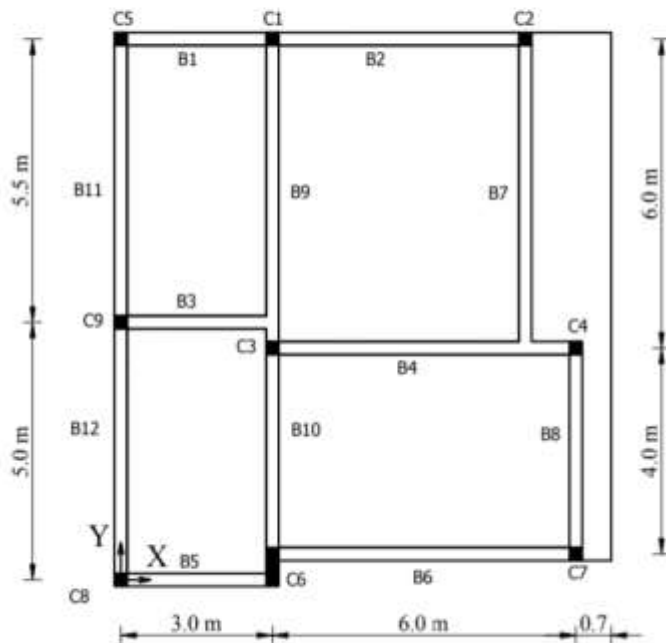


Figure 4. Plan of the case-study structure

A0. Soluzione originaria $T=0,52$ s

Table 3. Evaluation criteria

C_1	Installation cost
C_2	Installation cost NET of taxes reimbursement GROSS of expected losses
C_3	Number of risk classes of improvement
C_4	Cost for maintenance
C_5	Duration of works
C_6	Architectural impact/functional compatibility
C_7	Increase of force demand at foundation

A1. FRP Stesso T

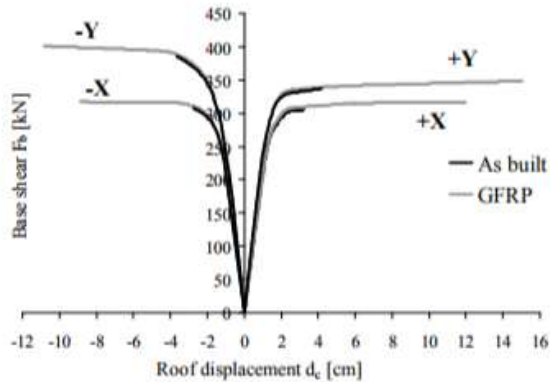


Figure 5. Pushover curves at LS limit state for the as-built structure and that retrofitted with GFRP (alternative A₁).

A3. Incamiciatura in c.a., T=0,42 s

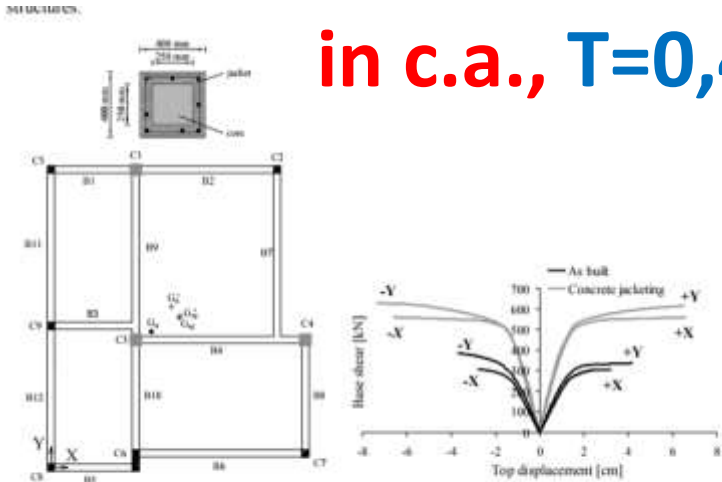


Figure 7. Alternative A₃: RC jacket for three columns (left), pushover curves at LS limit state for the as-built and the retrofitted structure.

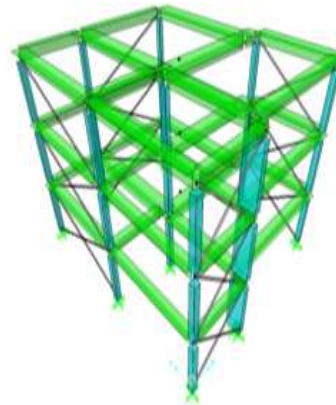
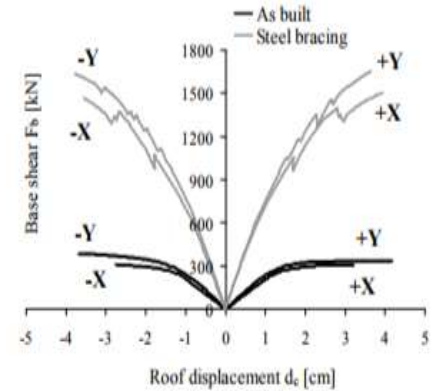


Figure 6. Alternative A₂: bracing configuration (left) and pushover curves at LS limit state for the as-built and the retrofitted structure.



A2. Controventi acciaio T=0,27 s

A4. Isolamento sismico alla base T=1,39 s

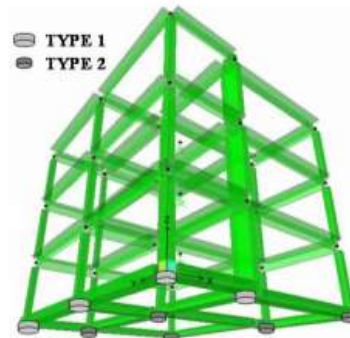
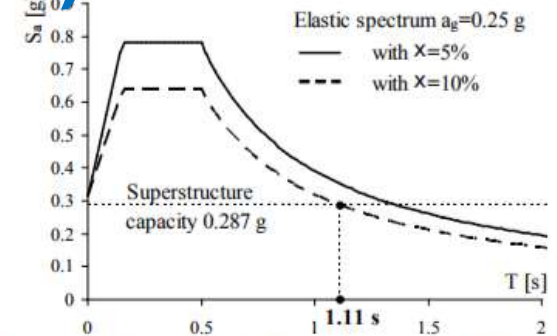
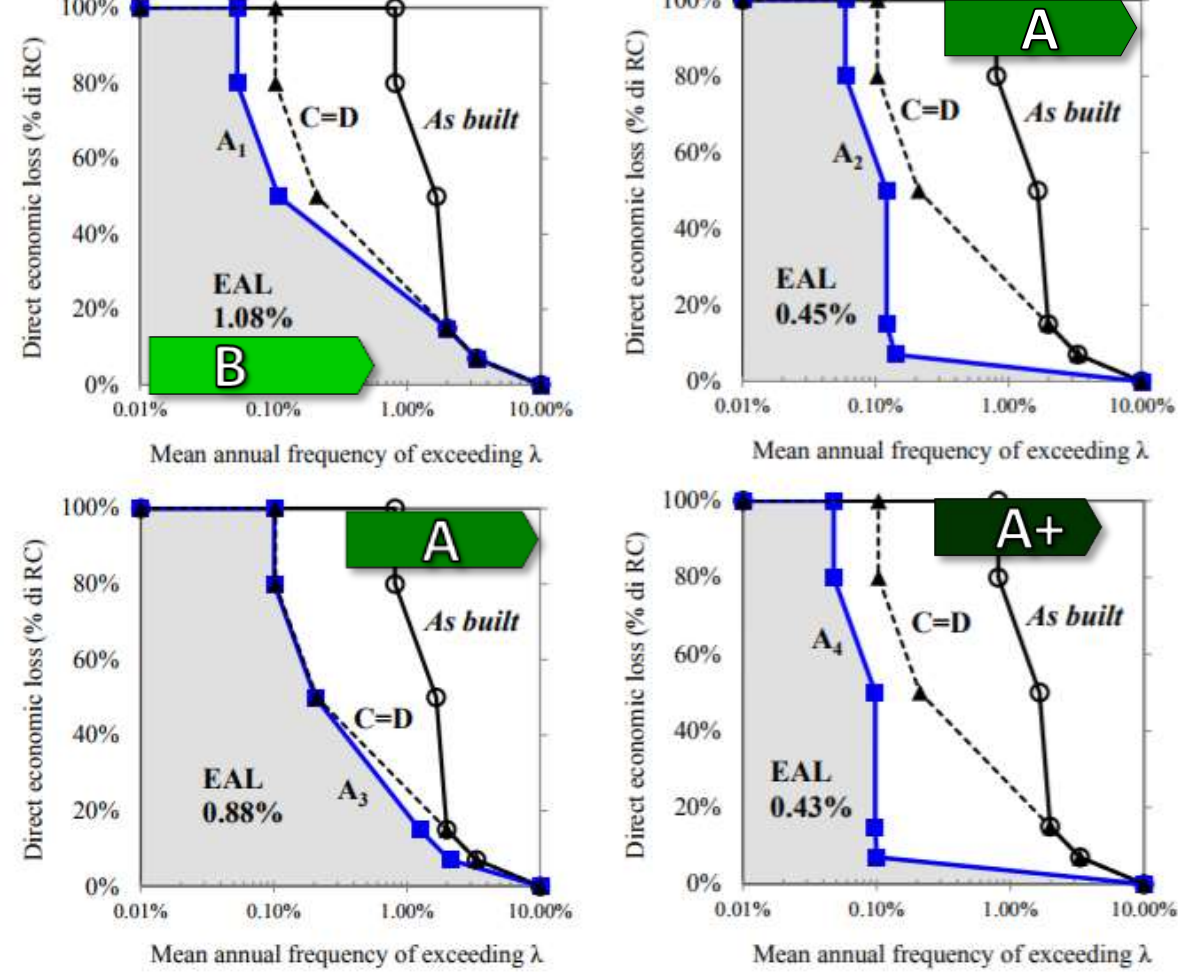


Figure 8. Alternative A₄, base isolation: placement of the two types of device (left), evaluation of the minimum period for isolation (right).





As Built
PAM=1,85%
 C

Figure 10. Loss curves for the as-built and retrofitted structure (four alternatives). The area under a curve is the EAL. Dashed line refers to the ideal condition Capacity=Demand. $EAL_{As\ built}=1.85\%$, $EAL_{C=D}=1.13\%$.

Table 13. Ranking of alternatives for DM₁ and DM₂.

	Decision maker 1				Decision maker 2			
	S _{i*}	S _{i-}	C _{i*}	Rank	S _{i-}	C _{i*}	C _{i-}	Rank
A ₁	0.03	0.29	0.90	I	0.11	0.21	0.65	I
A ₂	0.29	0.05	0.16	IV	0.21	0.11	0.35	IV
A ₃	0.14	0.21	0.60	II	0.13	0.13	0.49	III
A ₄	0.23	0.13	0.35	III	0.13	0.15	0.54	II

Caso Studio 1: Edificio esito E – miglioramento FRP

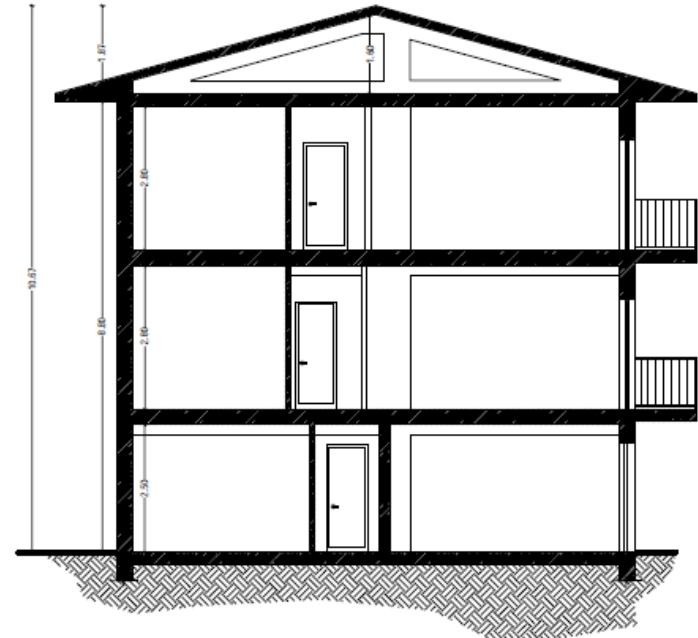
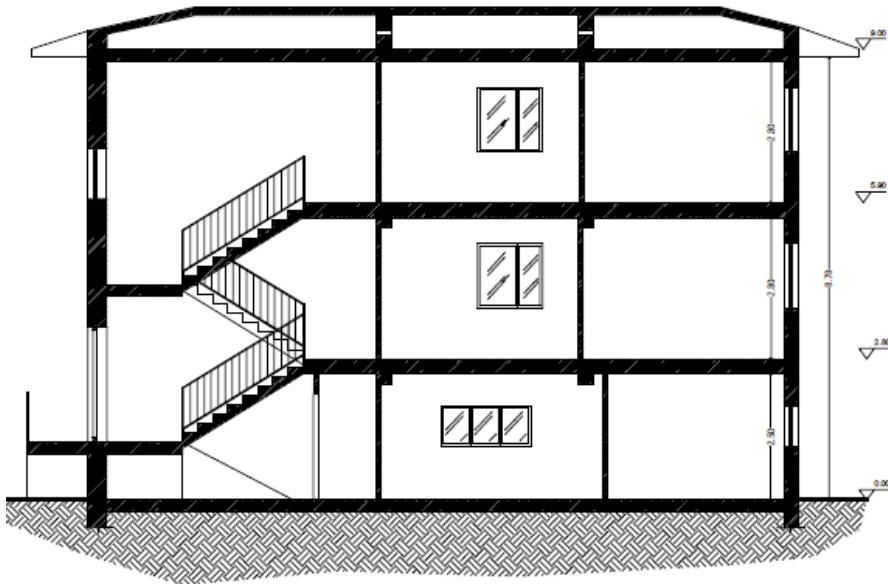


Fessurazione nodo d'angolo

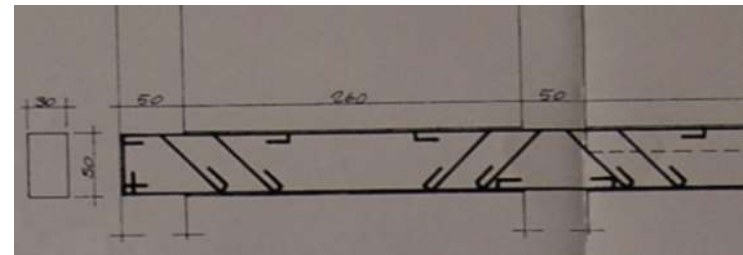
Danni significativi alle tamponature

Caso Studio 1: Edificio esito E – miglioramento FRP

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



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

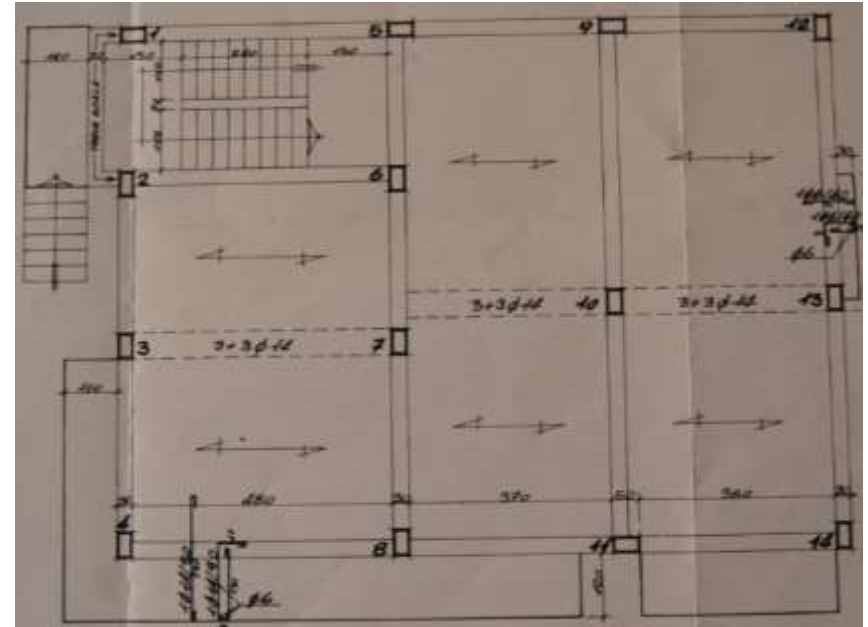
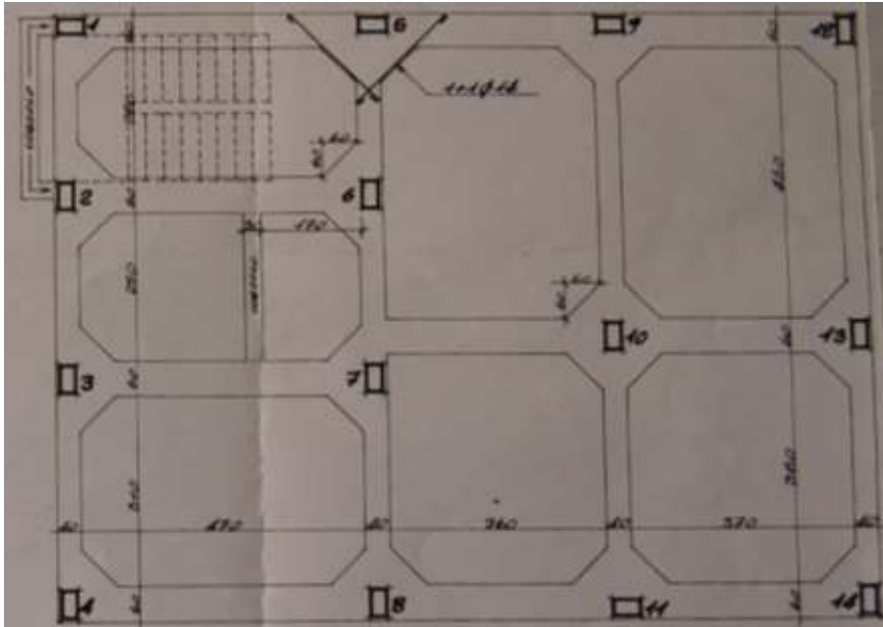


Calcestruzzo scadente ($f_{cm}=14$ MPa)

Caso Studio 1: Edificio esito E – miglioramento FRP

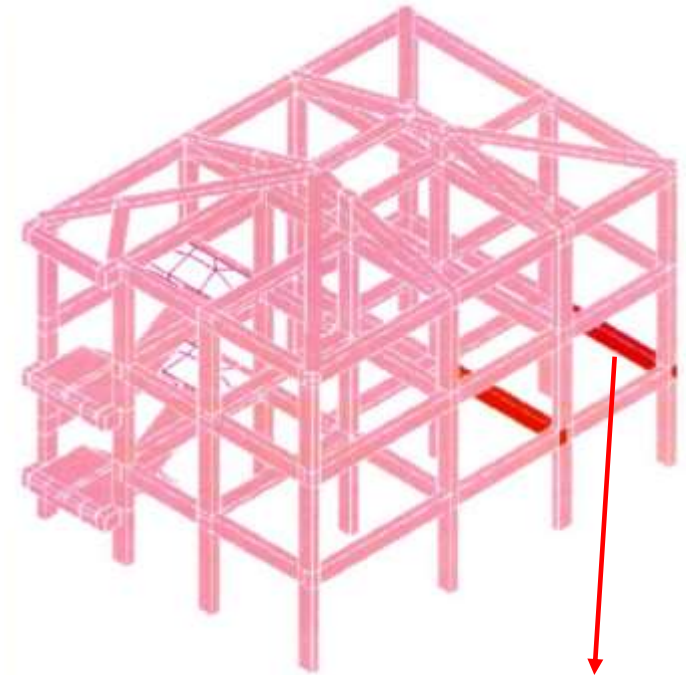
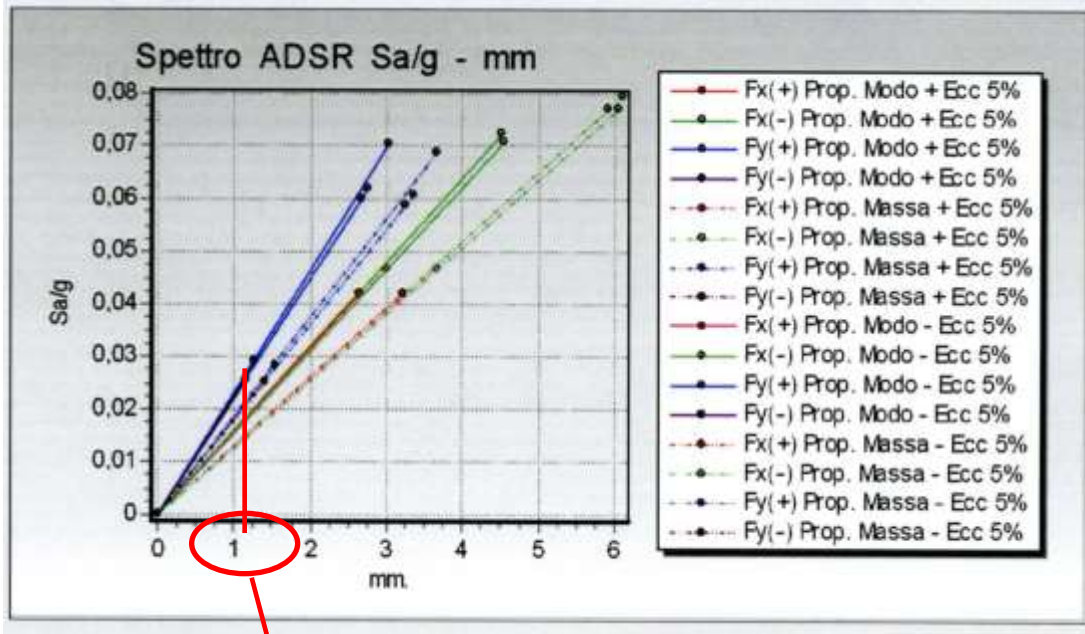
Edificio esistente con sistema resistente a **telai in CA (1973)**

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



Caso Studio 1: Verifiche SLV As-built

Capacità molto limitata ($\approx 1\text{mm}$ spostamento) per via delle crisi fragili



Crisi a taglio travi e nodi

Attingimento prima crisi fragile

$$PGA=0.04g$$

$$\alpha = PGA_c/PGA_d = 12.5\%$$

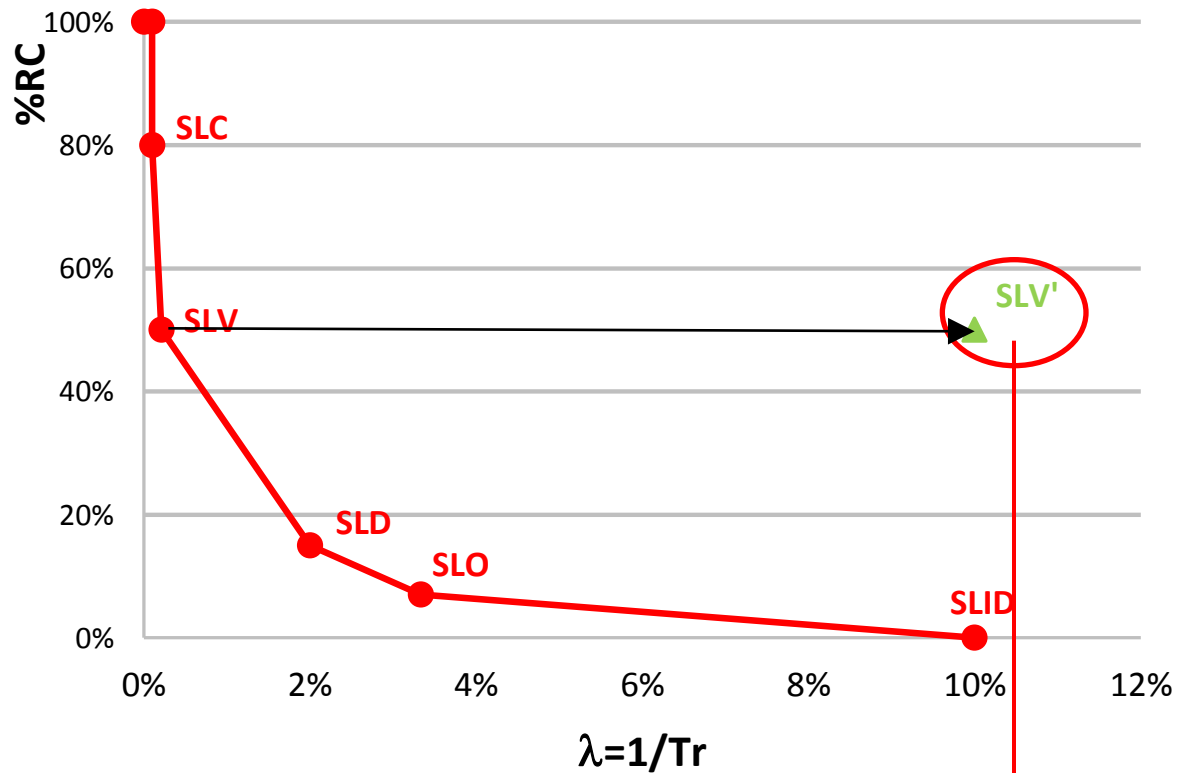
$$Tr=3\text{anni} < 10\text{anni} \longrightarrow Tr=10\text{anni}$$

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

Caso Studio 1: Verifiche SLV As-built

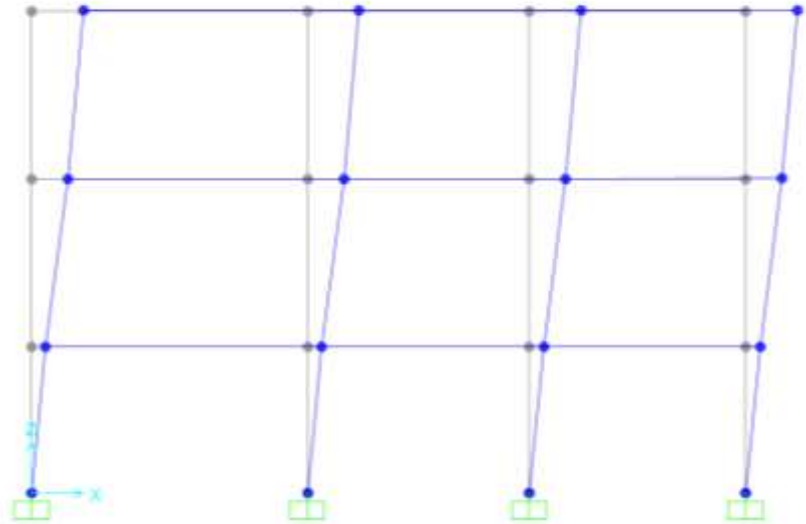
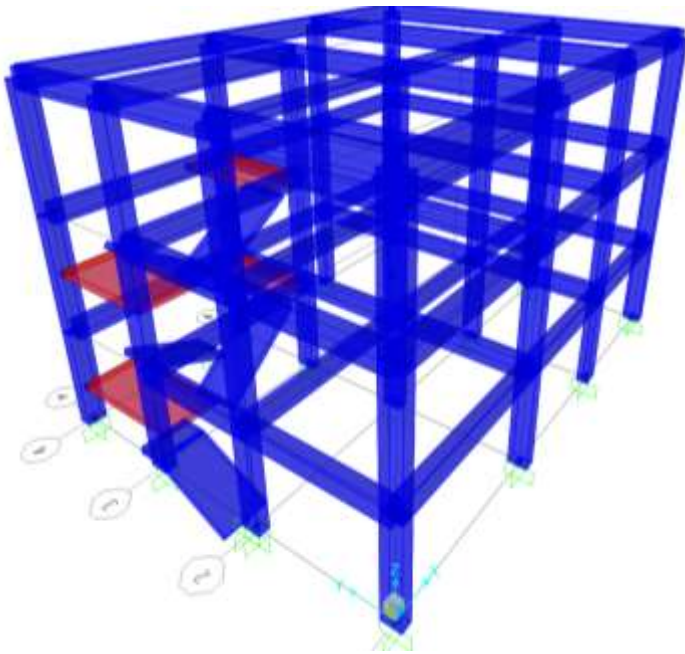
Costruzione curva edificio esistente – $V_R=50$ anni

Curva di Riferimento



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

Caso Studio 1: Verifiche SLD As-built



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

PGA_d=0,104 SLD

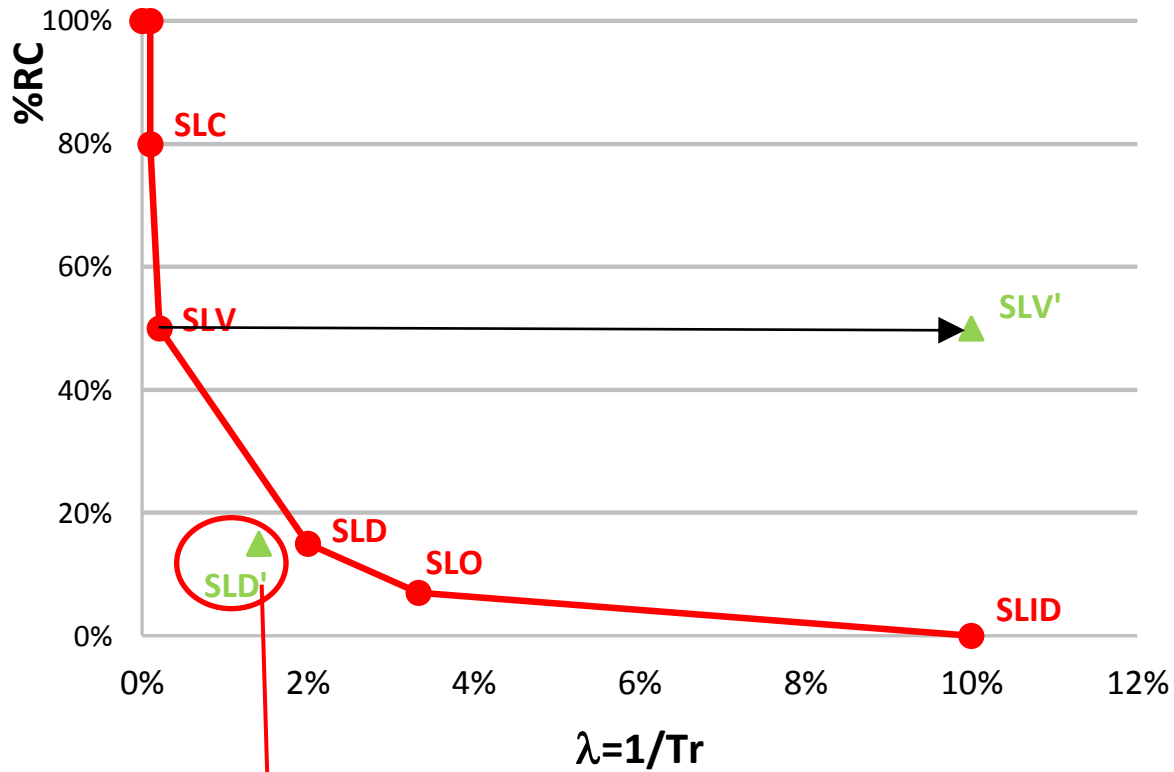
$\alpha = \text{PGA}_c / \text{PGA}_d = 120\%$ SLD verificato

$\lambda = 1/\text{Tr} = 1/71 = 1.4\%$

Caso Studio 1: Verifiche SLV As-built

Costruzione curva edificio esistente

Curva di Riferimento



SLV molto distante
 $\lambda = 10\% > 0,21\%$

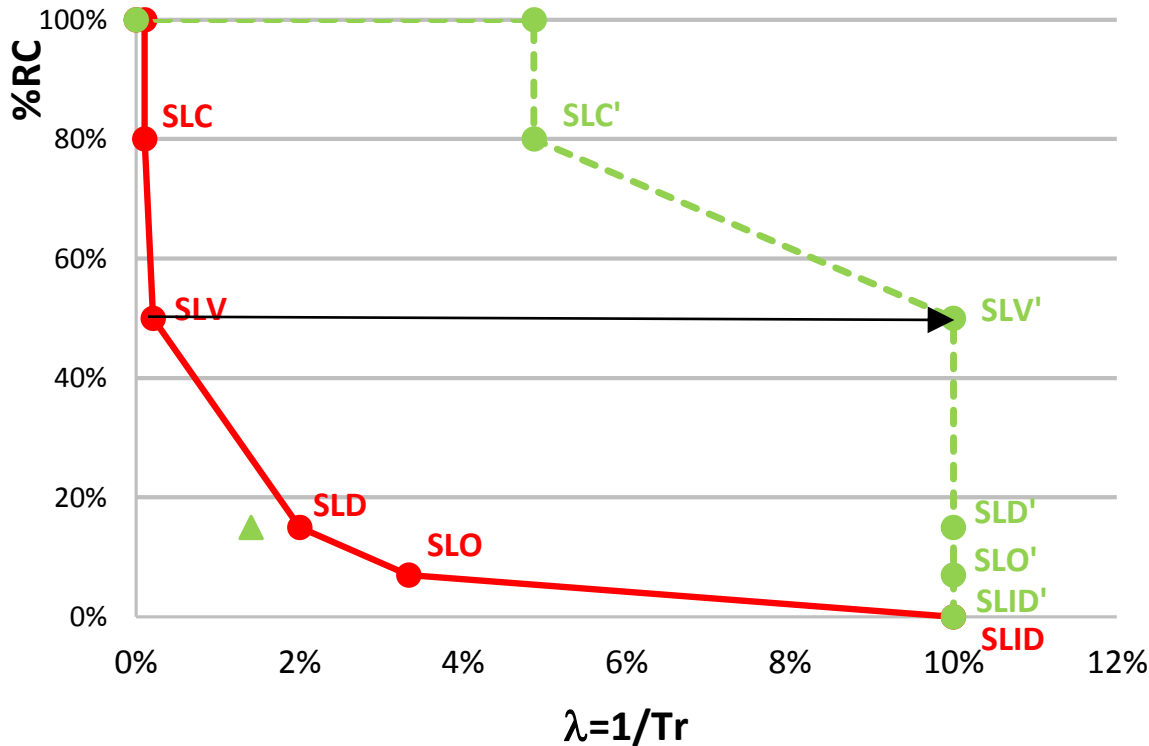
SLD Verificato
 $\lambda = 1,4\% < 2\%$

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

Caso Studio 1: Verifiche SLV As-built

Costruzione curva edificio esistente

Curva di Riferimento



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

SLV molto distante
 $\lambda=10\% > 0,21\%$

SLD Verificato
 $\lambda=1,4\% < 2\%$

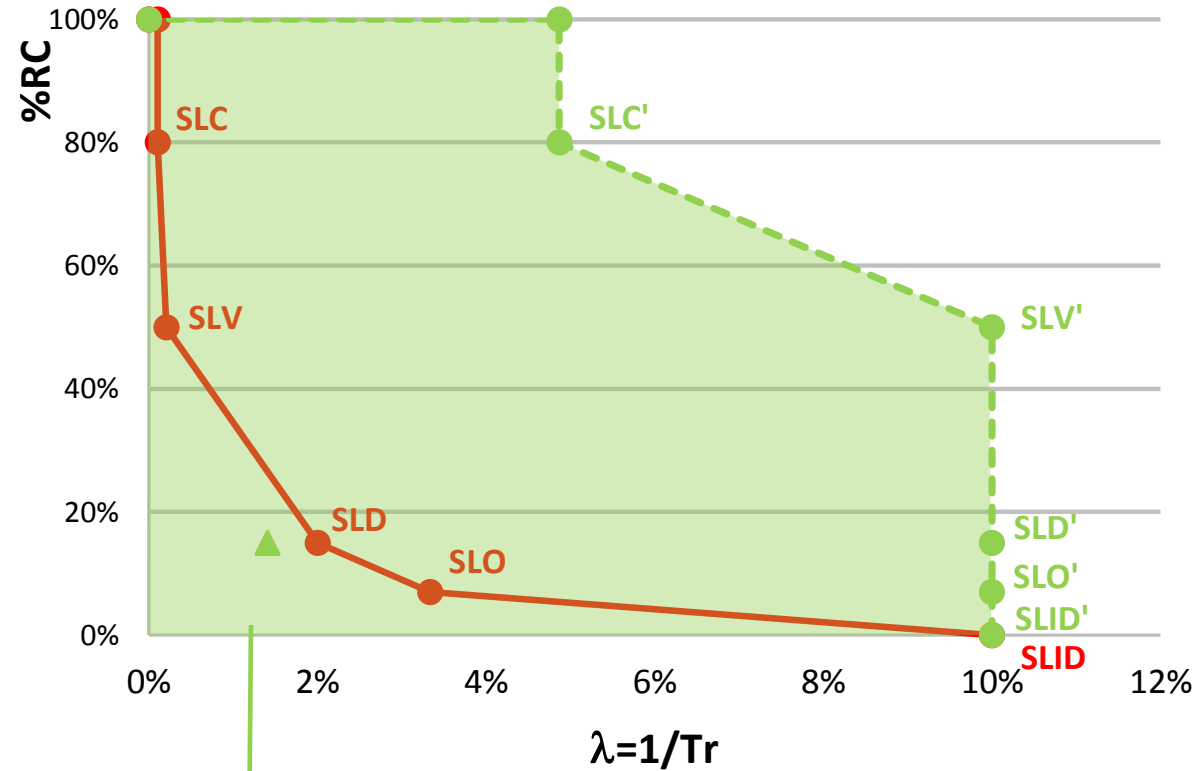
SLV anticipa SLD

Nel tracciare la curva si
traslano SLD, SLO e SLID in
corrispondenza SLV

Caso Studio 1: Verifiche SLV As-built

Costruzione curva edificio esistente

Curva di Riferimento



$PAM = 8.2\% > 7.5\%$

→ Classe di PAM 'G'

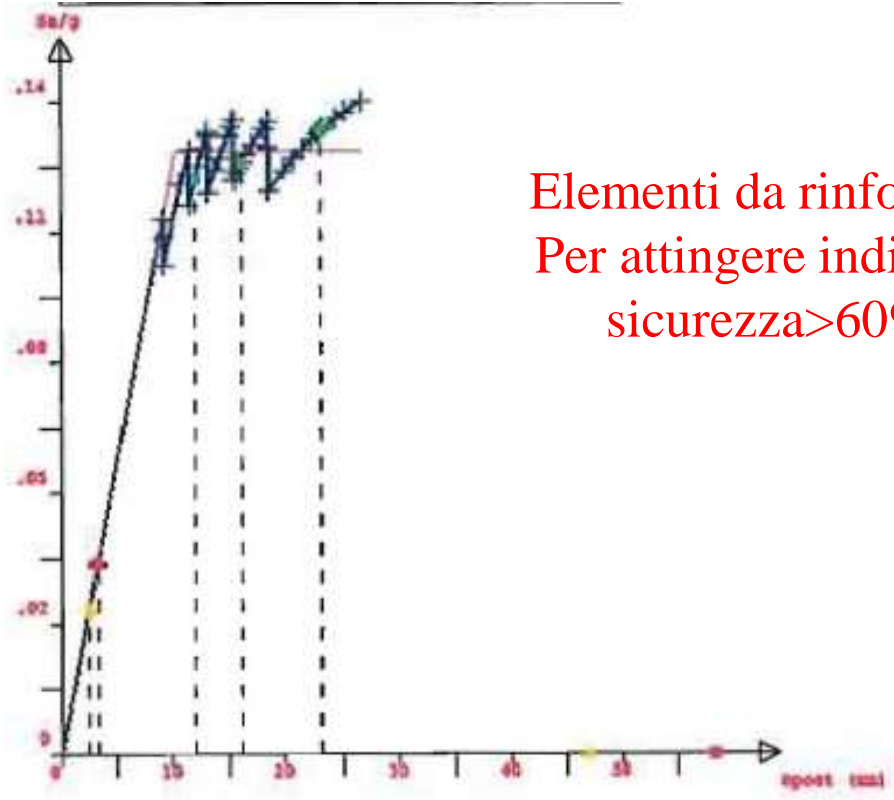
$\alpha (SLV) = PGA_c / PGA_d$
 $= 12.5\% < 15\%$

→ Classe di IS-V 'F'

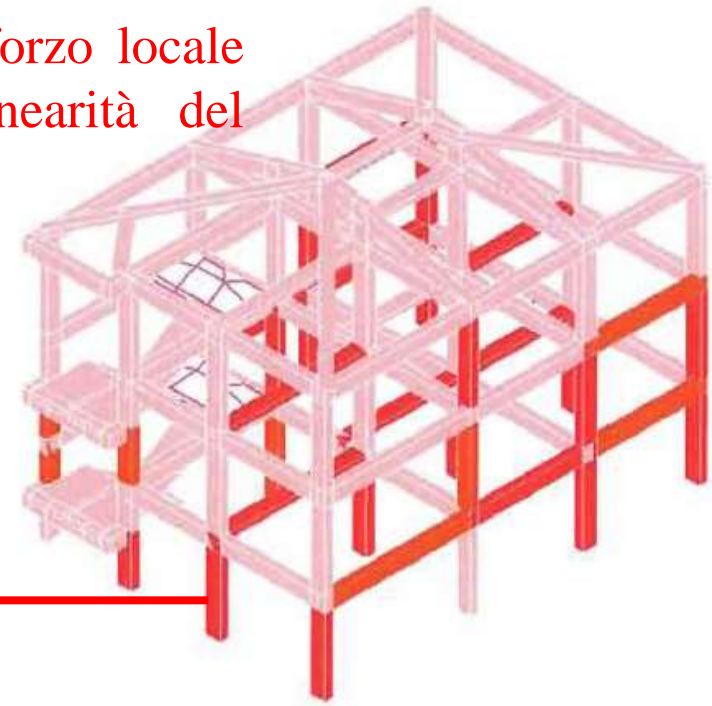
→ Classe di Rischio 'G'

Caso Studio 1: Edificio esito E – miglioramento FRP

Ipotizzando di risolvere le crisi fragili con un rinforzo locale sarà possibile sfruttare maggiormente le non-linearità del sistema strutturale

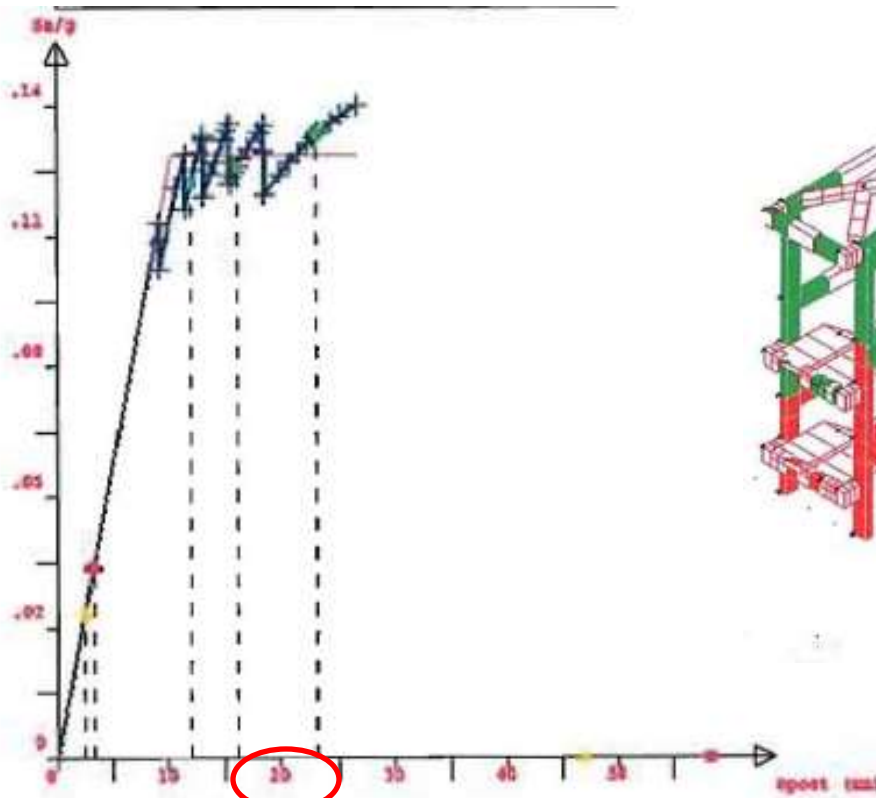


Elementi da rinforzare
Per attingere indice di
sicurezza > 60%

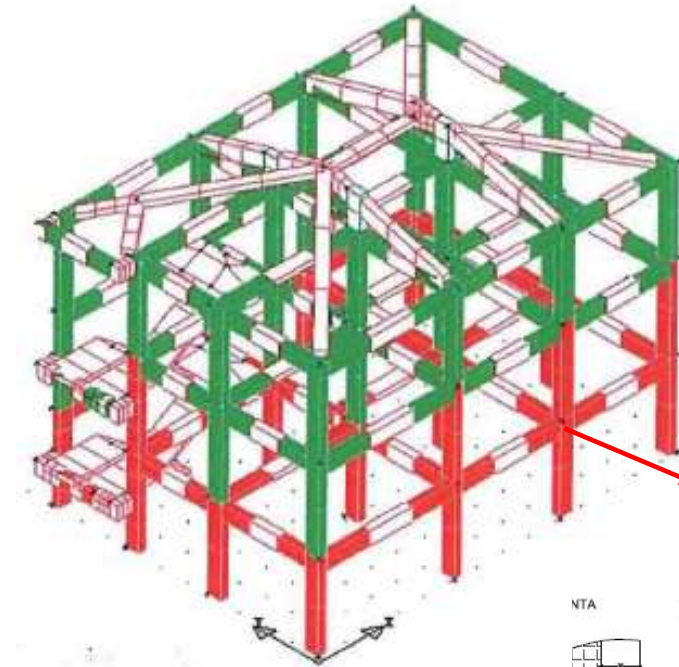


Caso Studio 1: Edificio esito E – rinforzo locale FRP

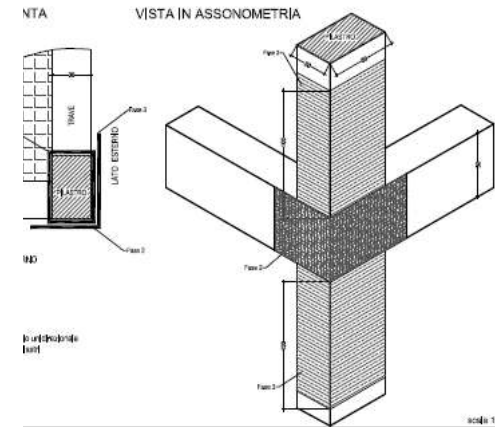
Ipotizzando di risolvere le crisi fragili con un rinforzo locale è possibile sfruttare maggiormente le non-linearità del sistema strutturale



Capacità in spostamento sensibilmente migliorata (dc=24mm)



Elementi rinforzati (taglio travi-pilastrati e nodi)



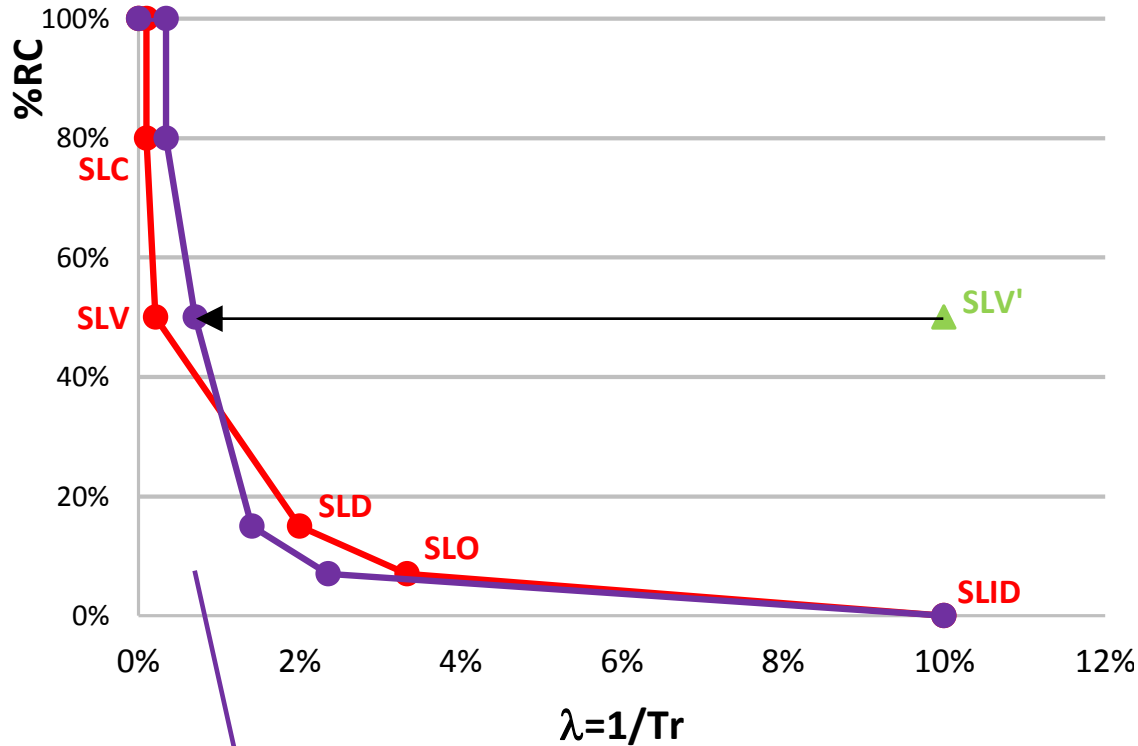
$$\alpha = PGA_c / PGA_d = 63.5\%$$

$$\lambda = 1/Tr = 1/142 = 0.7\%$$

Caso Studio 1: Verifiche SLV rinforzo locale FRP

Costruzione curva edificio rinforzato

Curva di Riferimento



Curva delle perdite tracciata utilizzando SLV-SLD

$$\lambda_{SLC} (0.49 * \lambda_{SLV})$$

$$\lambda_{SLO} (1.67 * \lambda_{SLD})$$

$\alpha = 120\%$ SLD come in as-built (FRP non modifica rigidezza)

$$PAM = 1.18\% < 1.5\%$$

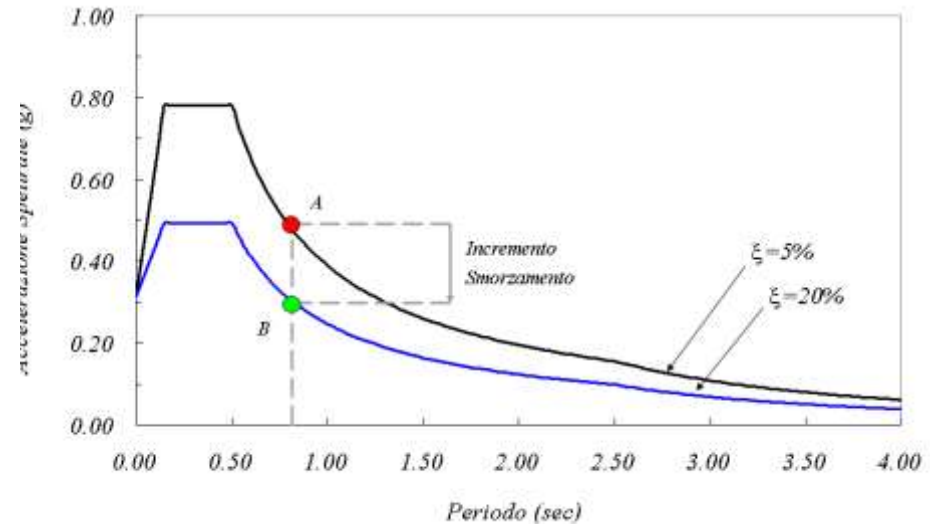
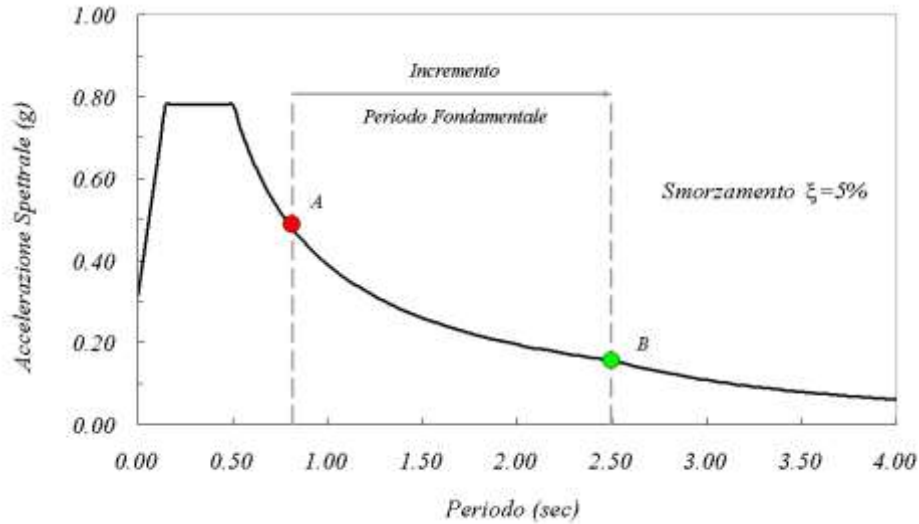
→ Classe di PAM 'B'

$$\alpha (SLV) = \frac{PGA_c}{PGA_d} = 63.5\% < 80\%$$

→ Classe di IS-V 'B'

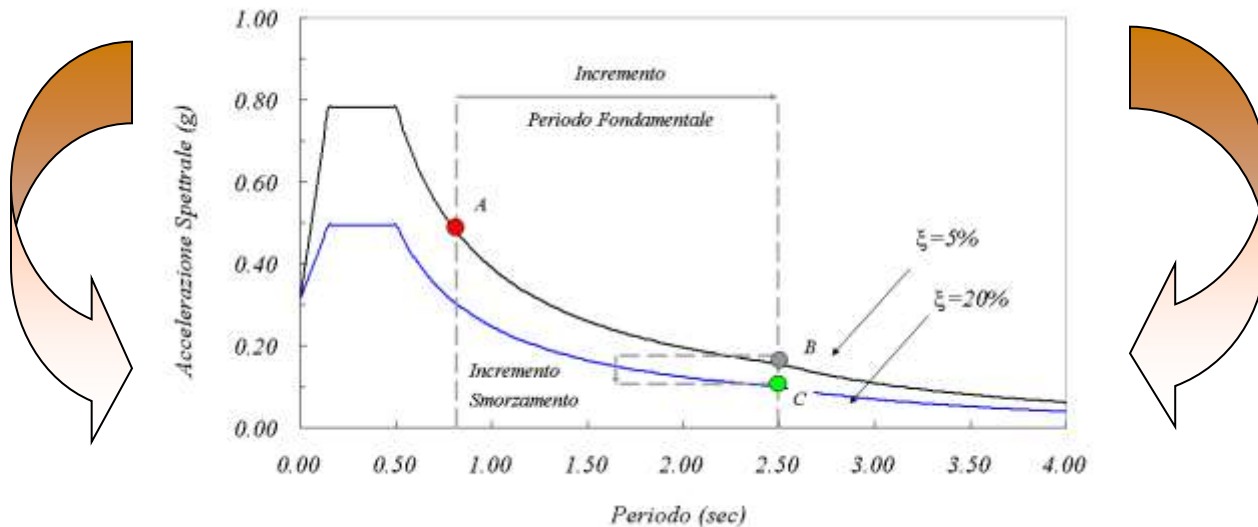
Classe di Rischio 'B'

Proprietà Fondamentali Strutture Isolate alla Base



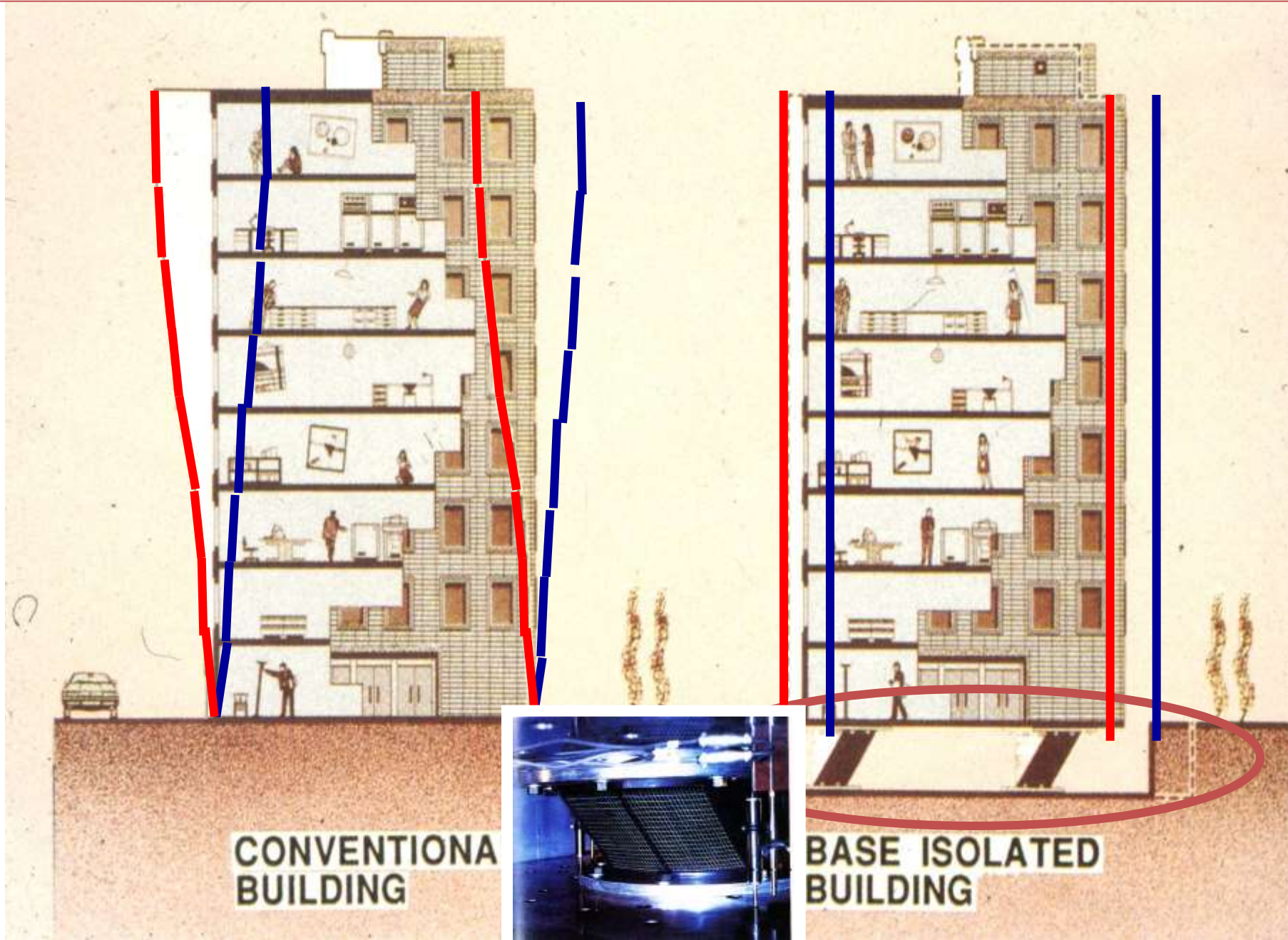
- Allungamento Periodo

- Incremento Smorzamento



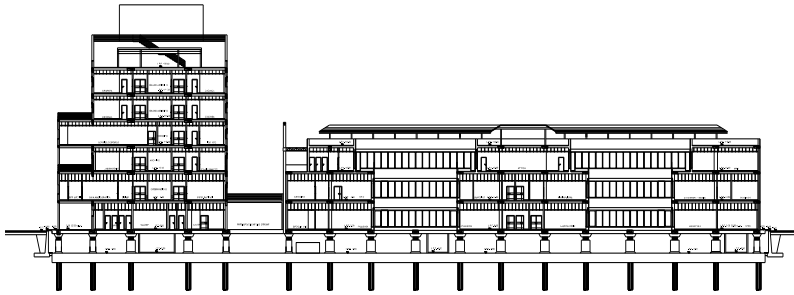
- Allungamento Periodo & Incremento Smorzamento

ISOLAMENTO ALLA BASE



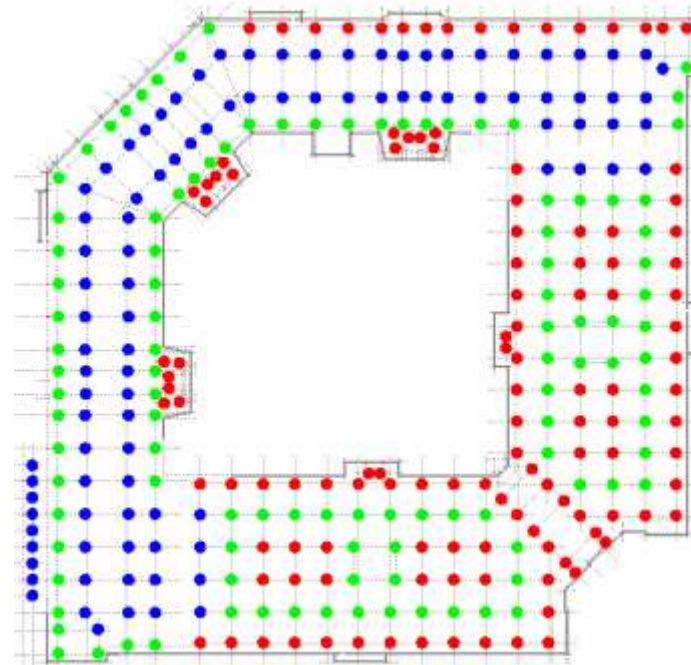
Ospedale del mare

Sistema di isolamento sismico

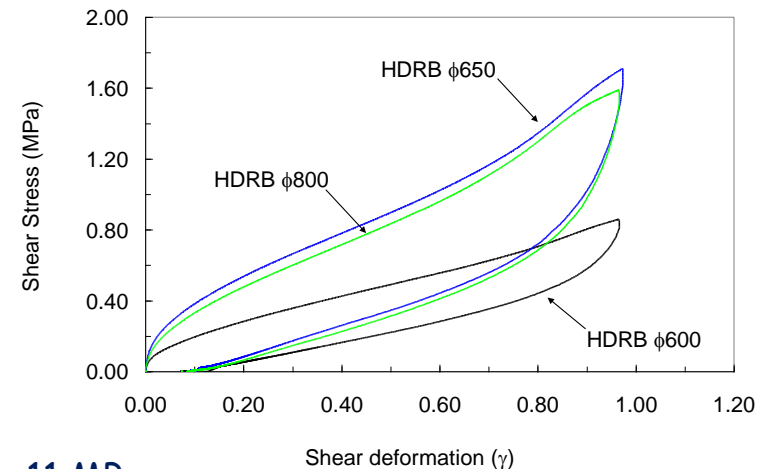


Proprietà meccaniche	Mescola normale	Mescola dura
Resistenza a compressione (N/mm^2)	15.5	15.5
Deformazione ultima (%)	350	300
Modulo di taglio (N/mm^2)	0.80 ± 0.12	1.40 ± 0.21
Smorzamento viscoso equivalente (%)	15	15

Diametro isolatore (mm)	Numero di isolatori	Rigidezza orizzontale K_h (kN/mm)	Rigidezza verticale K_v (kN/mm)	Rapporto di rigidezza K_v/K_h
600	122	1.51	1802	1195
650	108	2.98	2472	830
800	97	4.89	3949	808

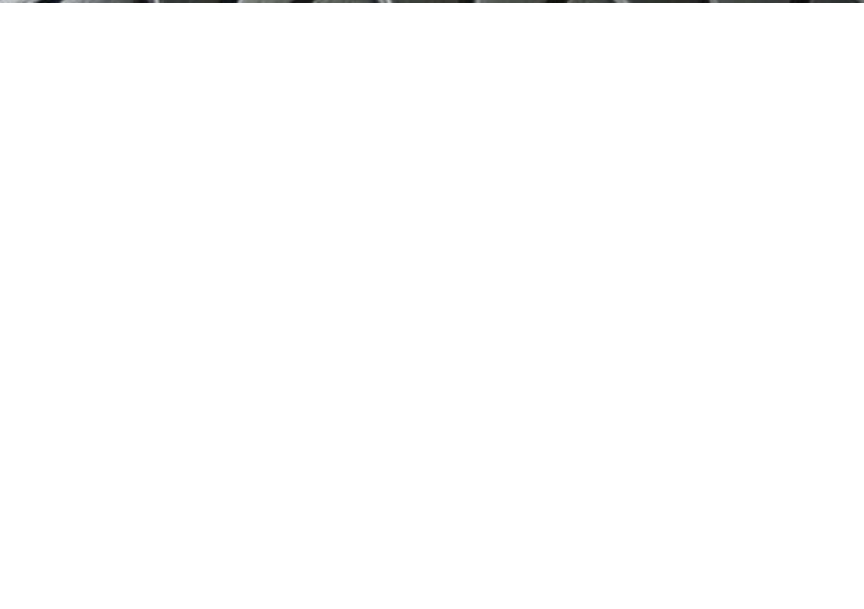


600 mm
650 mm
800 mm



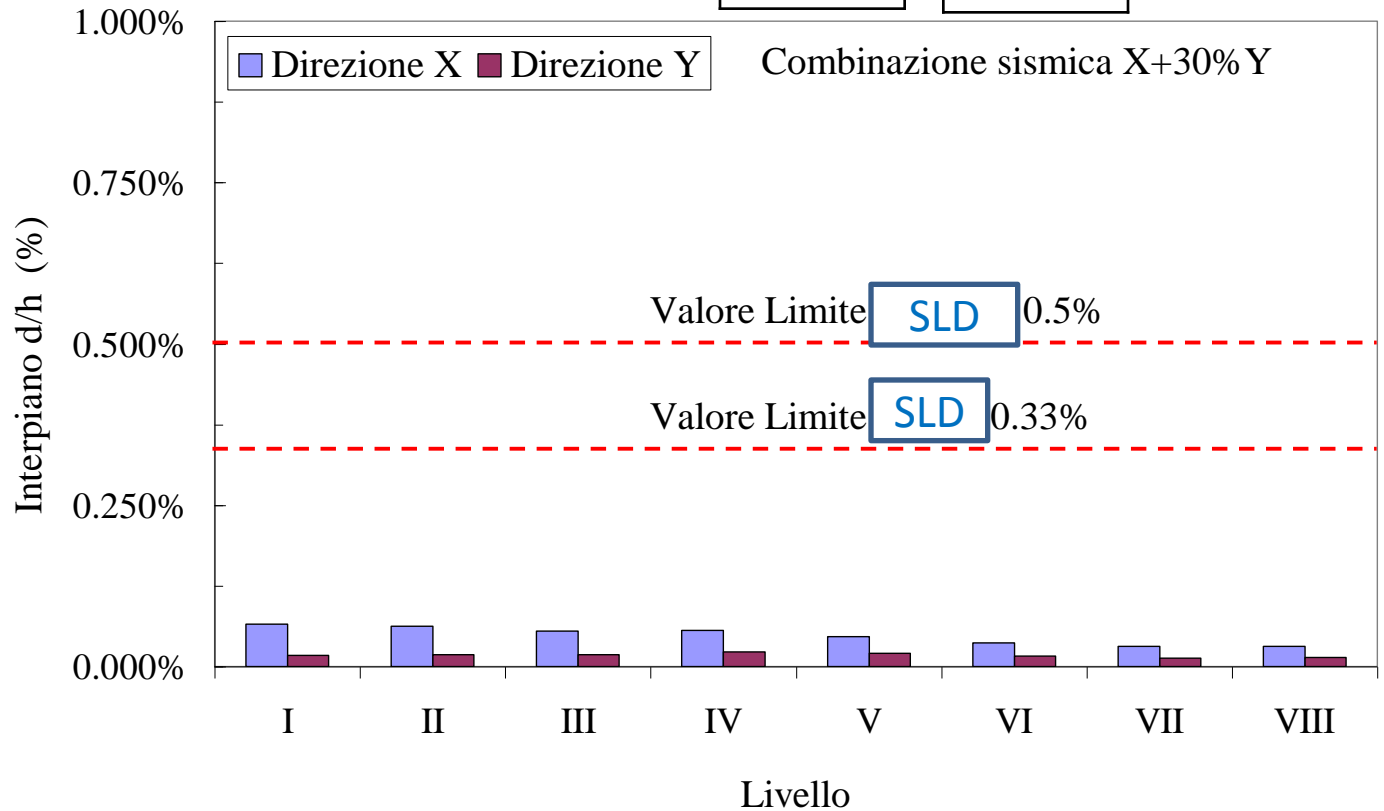
Tensione media sugli isolatori: $130.000 \div 1.190.000 \text{ cm}^2 = \text{circa } 11 \text{ MPa}$





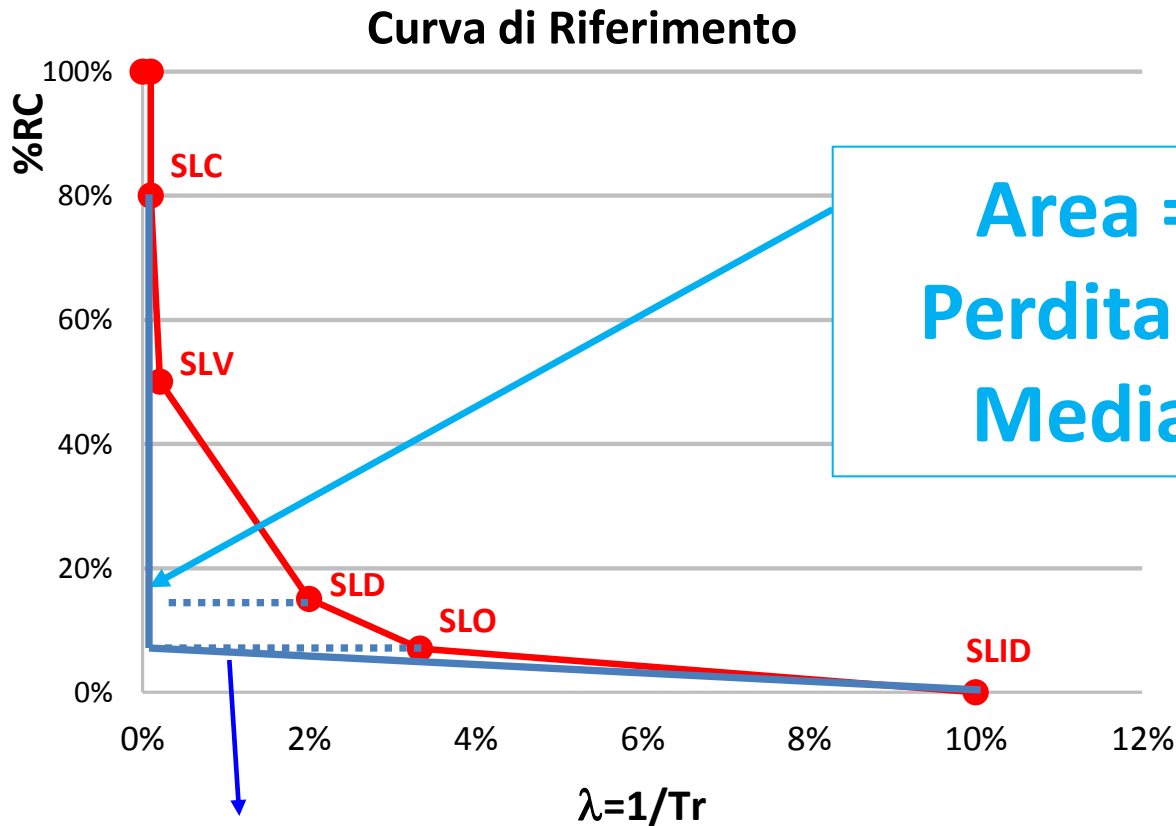
Stati limite (tipo)		a_g (g)	Inerstorey Drift SLD	Incremento Accelerazione Rispetto NTC
Esercizio	SLO	0.095		6.7 volte
	SLD	0.120	0.5/1000	10 volte
Ultimi	SLV	0.260		
	SLC	0.281		

Tr progetto	Tr effettivo	<i>Frequenza annua</i>
120	2475	<i>0.4/1900</i>
200	2475	<i>0.4/1900</i>
1900	(1900)	<i>0.4/1900</i>
2475 (3900)	2475 (3900)	<i>0.4/1900</i>



Classe di uso III e IV: riduzione a 2/3 del valore limite SLD

VALUTAZIONE PAM



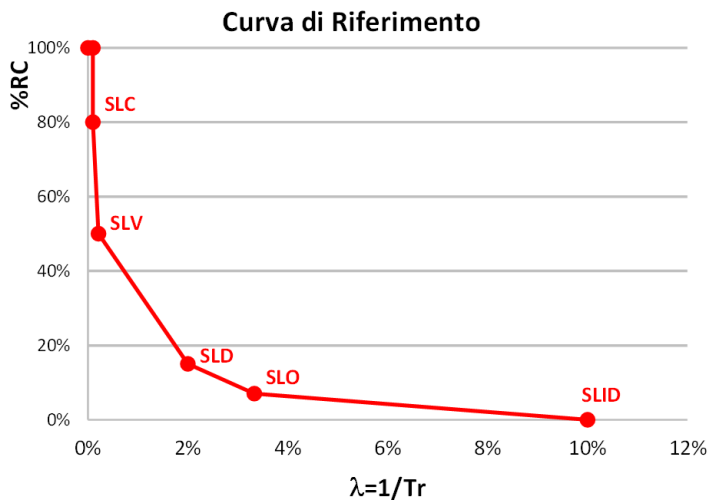
**Area = PAM =
Perdita Annuale
Media attesa**

SLC 80%CR
SLV 50%CR
SLD 15%CR
SLO 7%CR
SLID 0%CR

**PAM (%RC) = VIRTUALLY
NULLA (convenzionalmente:
= 7% x 10% x 0,5 = 0,35%) ...**

**Classe PAM
'A+'**

Dopo SLC,
verticale fino 100%RC
ed orizzontale fino a $\lambda=0$



$$\text{PAM} = 0,4965 * \lambda_{\text{SLV}} + 0,34025 * \lambda_{\text{SLD}} + 0,0035$$

Ospedale del Mare:

$$\text{PAM} = 0,4965 * 1/1900 + 0,34025 * 1/1900 + 0,0035 = 0,394\% < 0,5\%$$

Minimo PAM possibile:

$$\text{PAM} = 0,4965 * 0 + 0,34025 * 0 + 0,0035 = 0,35\%$$

Edifici in c.a. «E» riparati con isolamento sismico

TOTALE 54

COSTO MEDIO INTERVENTO: 340 euro/mq

- ELASTOMERI E SLITTE 25;
- PENDOLI CON DOPPIA SUPERFICE CURVA 34

DA REGOLA: IS-V POST INTERVENTO > 60%

IN 14 CASI, A SPESE PROPRIETARI, IS-V \geq 1

Costo medio aggiuntivo 4,4 euro/mq