



Riqualificazione energetica e strutturale: Possibili interazioni, tra obblighi ed opportunità

Napoli 1 Aprile 2017

Edoardo COSENZA, Università di Napoli Federico II

Sismabonus e Classificazione del rischio Sismico degli edifici: una grande occasione per la sicurezza sismica del costruito



LINEE GUIDA PER L'ATTRIBUZIONE DELLA CLASSE DI RISCHIO SISMICO

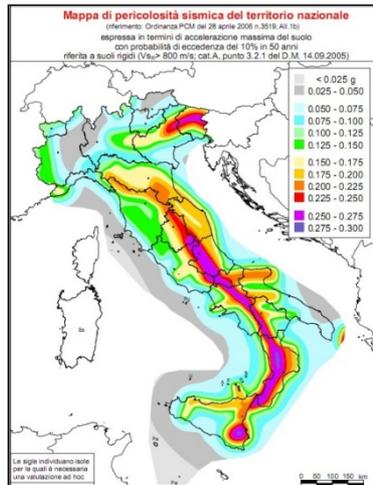
(Legge di Stabilità 2017, « SISMABONUS »)

*Approvate dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici
il 20 febbraio 2017;*

DM del Ministro Delrio il 28 febbraio 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**, Ianniello, Renzi,
Dolce, Fabrizi, Rossi, Picchi



PERICOLOSITA'

VULNERABILITA'

ESPOSIZIONE



II RISCHIO SISMICO dipende (è il prodotto di)
PERICOLOSITA', VULNERABILITA', ESPOSIZIONE.

Definizione Stati Limite Sismici:

NTC 2017 = NTC 2008

Gli stati limite di esercizio sono:

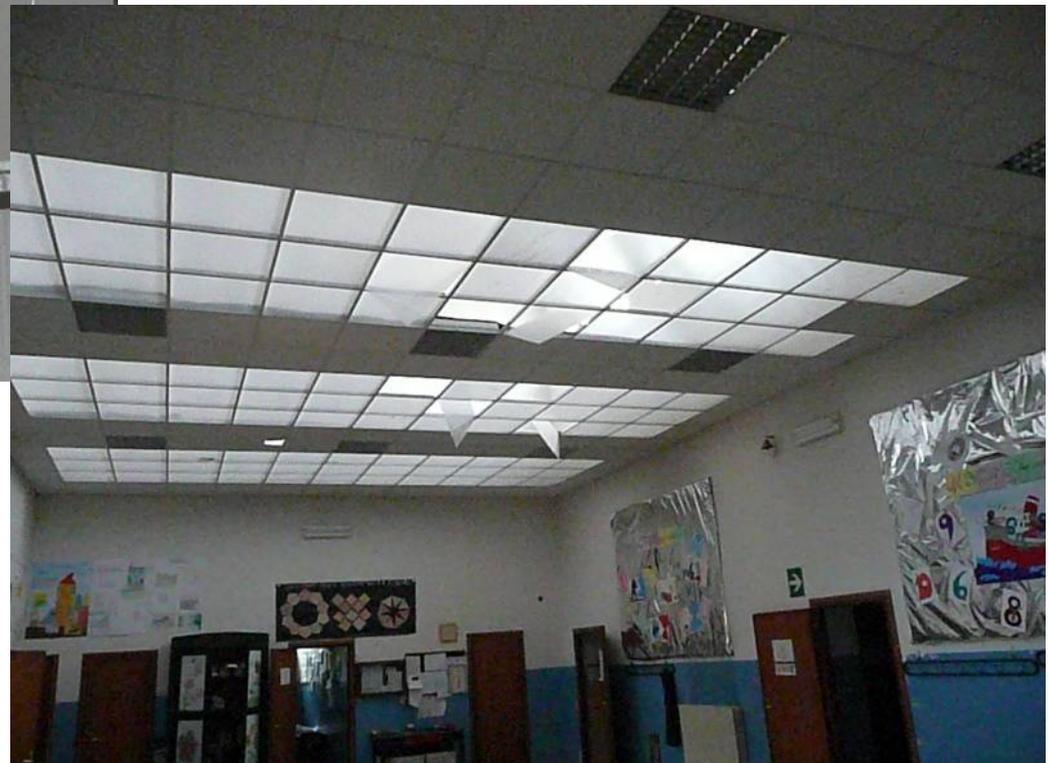
- **Stato Limite di Operatività (SLO):** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;
- **Stato Limite di Danno (SLD):** 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 rigidità 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 rigidità nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidità 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 T_r = 50 anni		
Stati limite di esercizio	SLO	$\lambda = 3,33\%$	81%	$T_r = 30$ anni
	SLD	$\lambda = 2\%$	63%	$T_r = 50$ anni
Stati limite ultimi	SLV	$\lambda = 0,21\%$	10%	$T_r = 475$ anni
	SLC	$\lambda = 0,1025\%$	5%	$T_r = 975$ anni

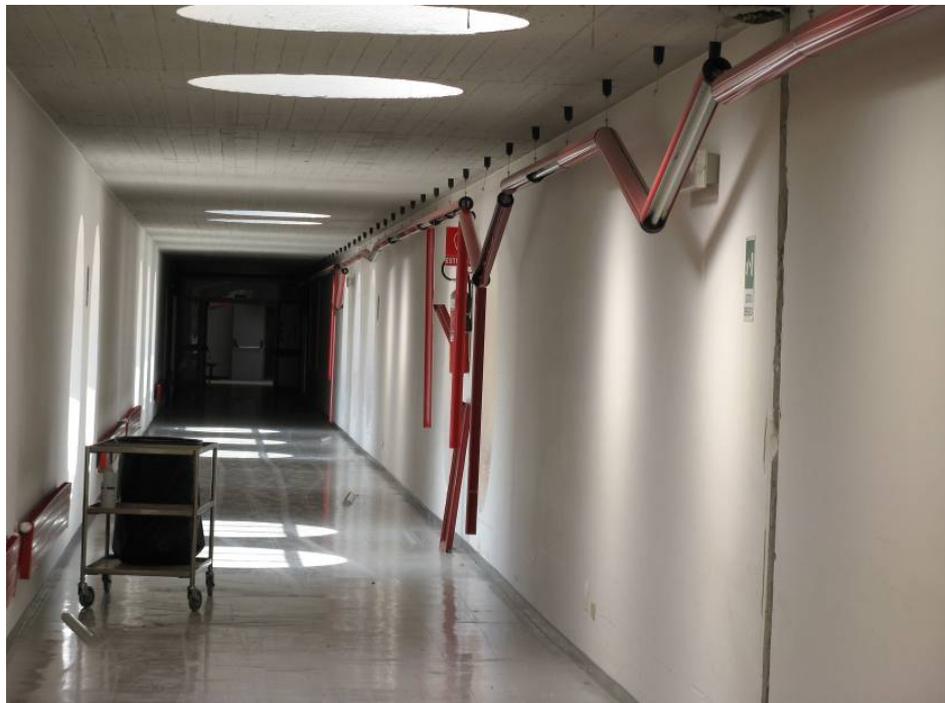
Controsoffittature e componenti, L'Aquila







Ospedale San Salvatore L'Aquila







Tamponature, L'Aquila



AMATRICE «EDIFICIO ROSSO»

Corso Umberto I



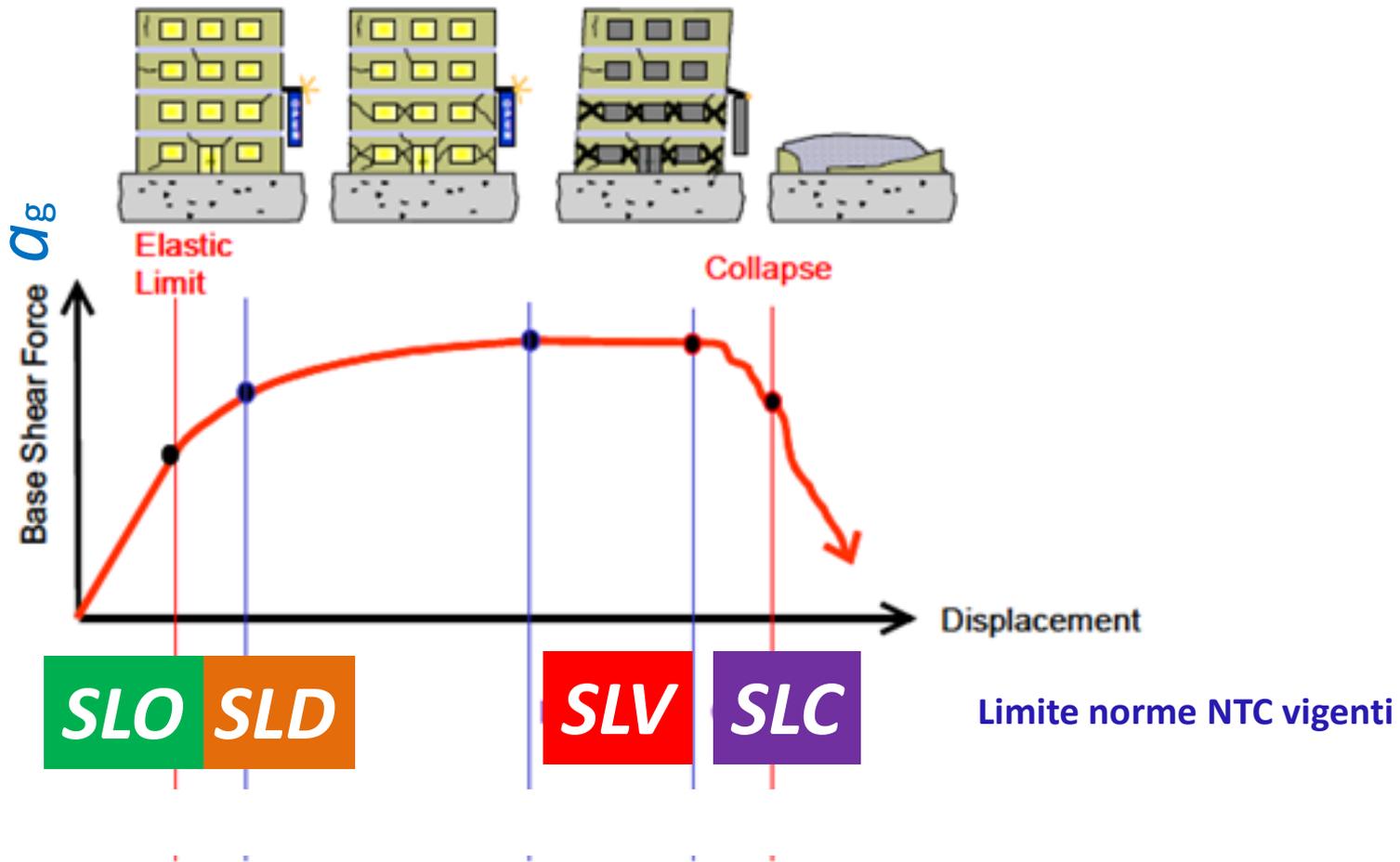
AMATRICE «EDIFICIO ROSSO»

Corso Umberto I





ES. : ANALISI STATICA NON LINEARE (PUSHOVER)



ANALISI STATICA NON LINEARE (PUSHOVER)

In Ordinata

SLO

F_s

a_g

SLD

F_s

a_g

SLV

F_s

a_g

SLC

F_s

a_g

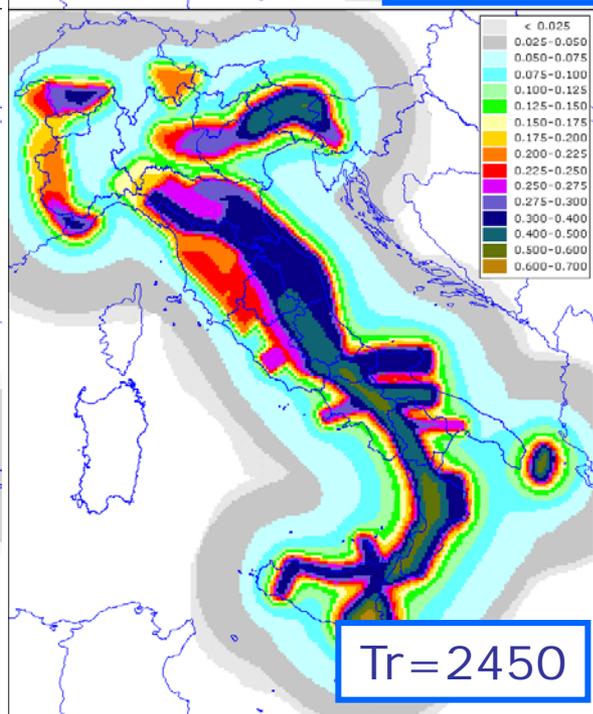
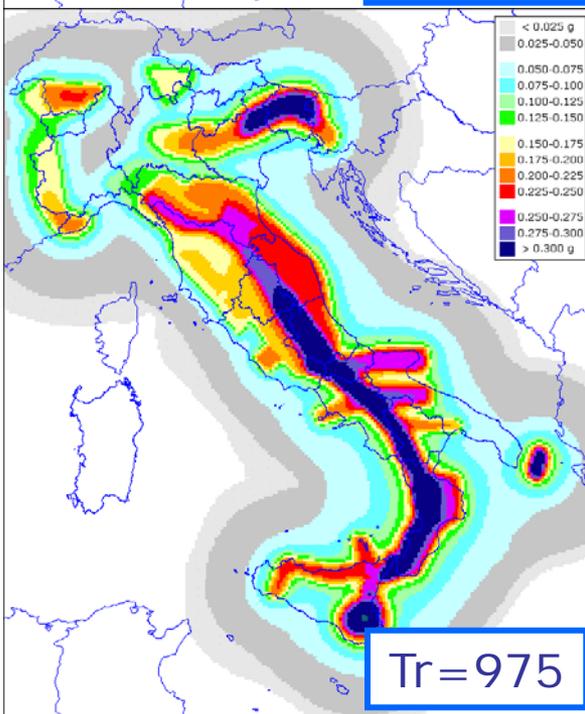
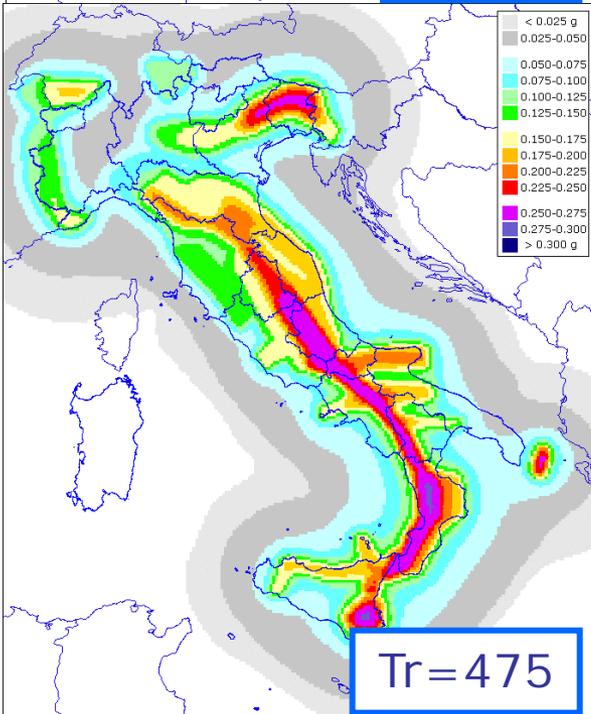
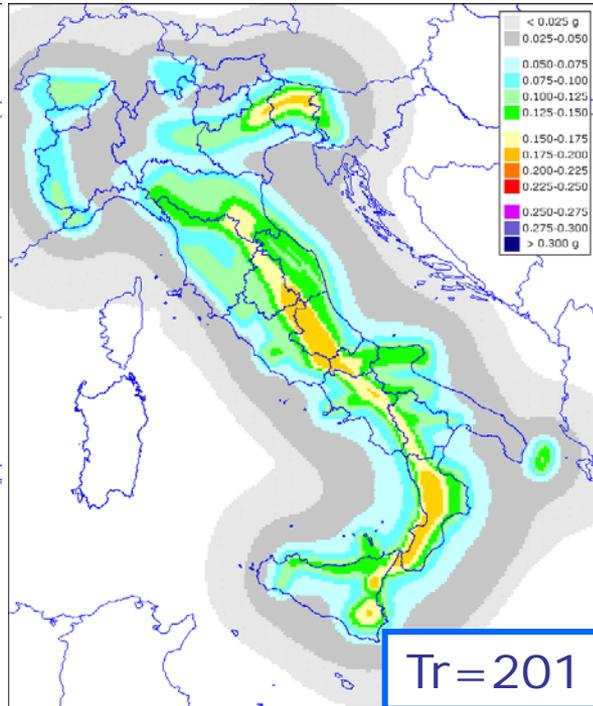
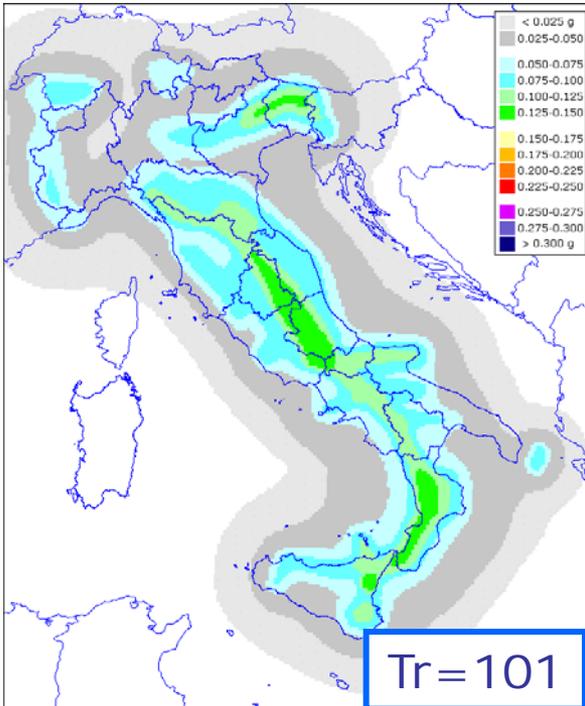
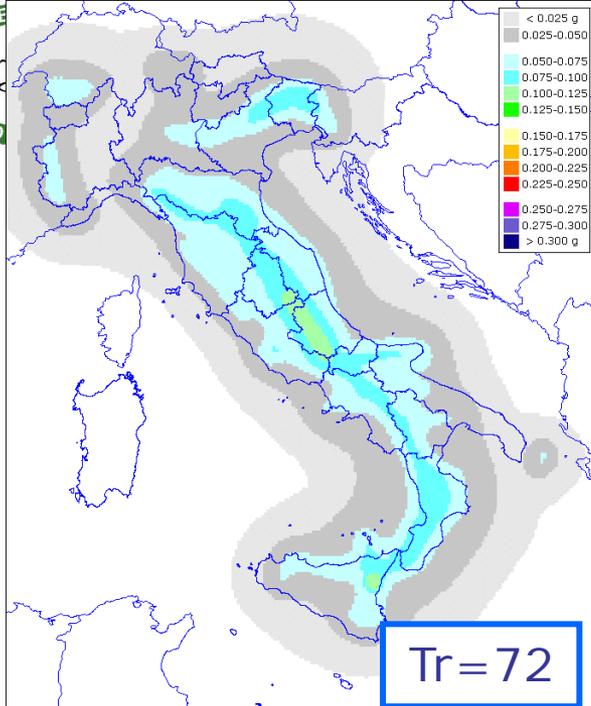
ANALISI STATICA NON LINEARE (PUSHOVER)

In Ordinata

<i>SLO</i>	<i>F_s</i>	<i>a_g</i>	<i>PGA</i>
<i>SLD</i>	<i>F_s</i>	<i>a_g</i>	<i>PGA</i>
<i>SLV</i>	<i>F_s</i>	<i>a_g</i>	<i>PGA</i>
<i>SLC</i>	<i>F_s</i>	<i>a_g</i>	<i>PGA</i>

Spettrale

Accelerazione
Ancoraggio
su suolo rigido



ANALISI STATICA NON LINEARE (PUSHOVER)

SLO	F_s	a_g	PGA
SLD	F_s	a_g	PGA
SLV	F_s	a_g	PGA
SLC	F_s	a_g	PGA

Mappe di pericolosità

INGV _ DPC _ NTC

30y, 50y, 72, 101y, 140y, 201y, 475y, 975y, 2475y

LG, formula approssimata:

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

LG: per riferirsi più puntualmente all'intensità sismica di appartenenza si possono utilizzare le seguenti formule per valutare l'esponente del rapporto fra le PGA, con riferimento all'accelerazione massima su roccia a_g : 1/0,49 per $a_g \geq 0,25g$; 1/0,43 per $0,25g \geq a_g \geq 0,15g$; 1/0,356 per $0,15g \geq a_g \geq 0,05g$; 1/0,34 per $0,05g \geq a_g$

ANALISI STATICA NON LINEARE (PUSHOVER)

In Ordinata

SLO

PGA

SLD

PGA

SLV

PGA

SLC

PGA

*Mappe di pericolosità
INGV _ DPC _ NTC*

OLTRE A:

- *EFFETTI LOCALI SITO*
- *EFFETTI TOPOGRAFICI*

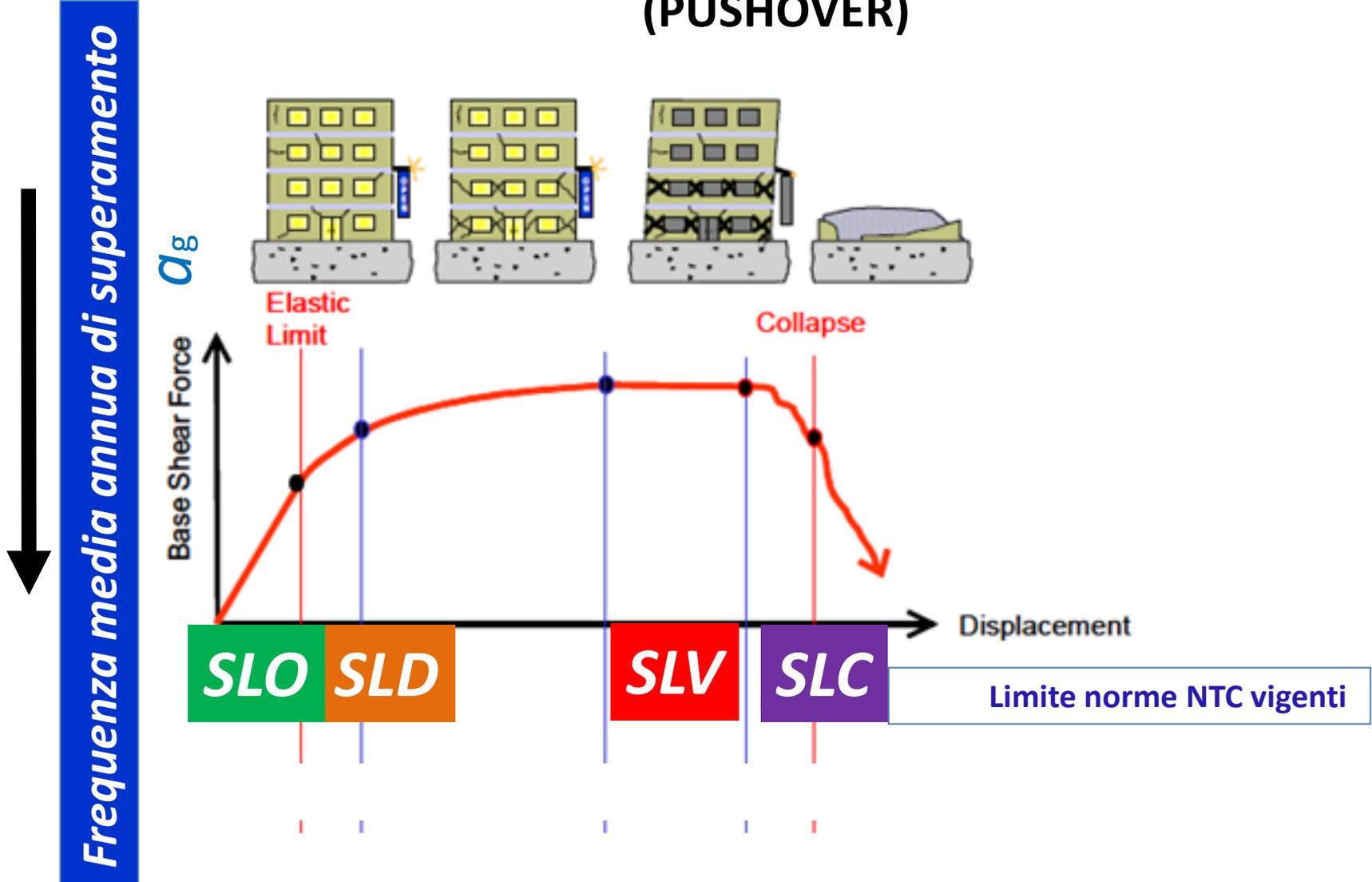
ANALISI STATICA NON LINEARE (PUSHOVER)

In Ordinata

<i>SLO</i>	<i>PGA</i>	<i>$T_r /$ Frequenza annuale λ SLO</i>
<i>SLD</i>	<i>PGA</i>	<i>$T_r /$ Frequenza annuale λ SLD</i>
<i>SLV</i>	<i>PGA</i>	<i>$T_r /$ Frequenza annuale λ SLV</i>
<i>SLC</i>	<i>PGA</i>	<i>$T_r /$ Frequenza annuale λ SLC</i>

La Frequenza annuale λ è l'inverso del Periodo di ritorno T_r

ESEMPIO: ANALISI STATICA NON LINEARE (PUSHOVER)



STRUTTURA ESATTAMENTE ADEGUATA NTC (ES. EDIFICI CIVILE ABITAZIONE, $V_r=50$ anni)

SLO	PGA	$T_r = 30y$; Freq. annuale $\lambda = 3,33\%$
SLD	PGA	$T_r = 50y$; Freq. annuale $\lambda = 2\%$
SLV	PGA	$T_r = 475y$; Freq. annuale $\lambda = 0,21\%$
SLC	PGA	$T_r = 975y$; Freq. annuale $\lambda = 0,10\%$

La Frequenza annuale λ è l'inverso del Periodo di ritorno T_r

ULTERIORI PUNTI CONVENZIONALI

SLID

PGA

$T_r = 10y$; Freq. annuale $\lambda = 10\%$

SLO

PGA

$T_r = 30y$; Freq. annuale $\lambda = 3,33\%$

SLD

PGA

$T_r = 50y$; Freq. annuale $\lambda = 2\%$

SLV

PGA

$T_r = 475y$; Freq. annuale $\lambda = 0,21\%$

SLC

PGA

$T_r = 975y$; Freq. annuale $\lambda = 0,10\%$

SLR

PGA

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

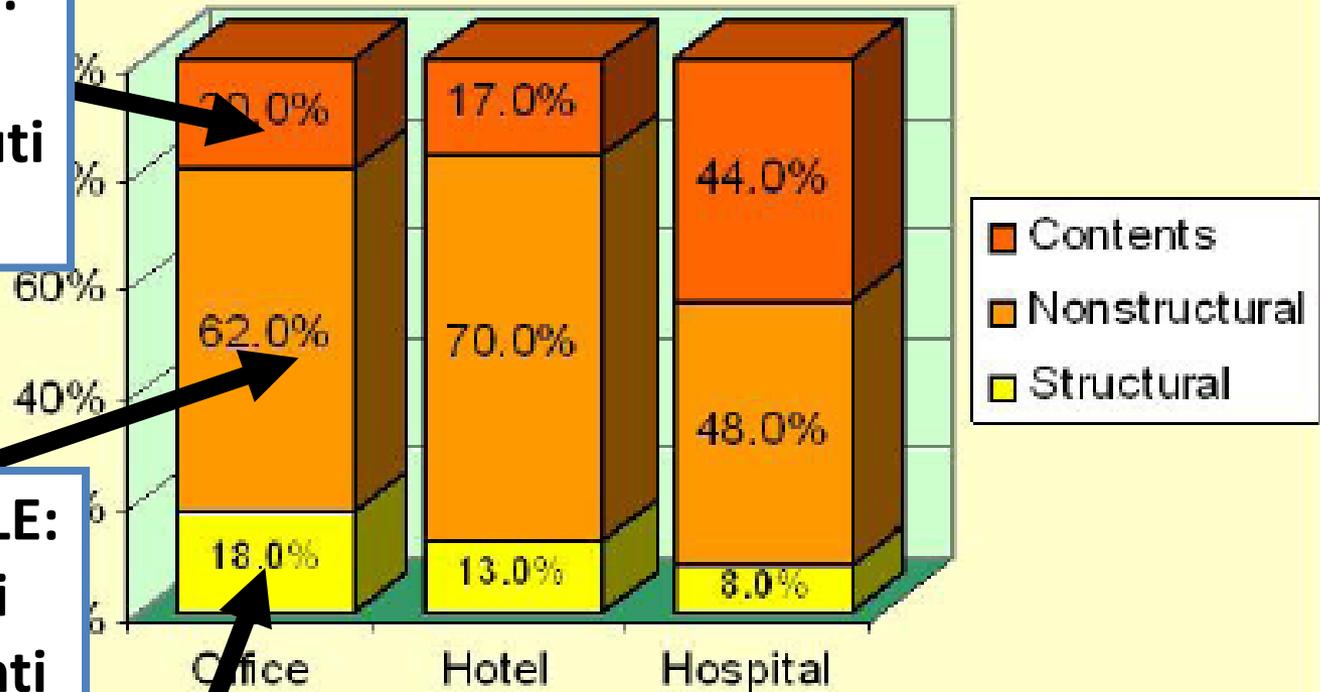
COSTI COMPLESSIVI

OGGETTI INTERNI:

bacheche,
computer, contenuti
in genere

NON STRUTTURALE:

Edilizia, Impianti
meccanici, Impianti
elettrici



STRUTTURE

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

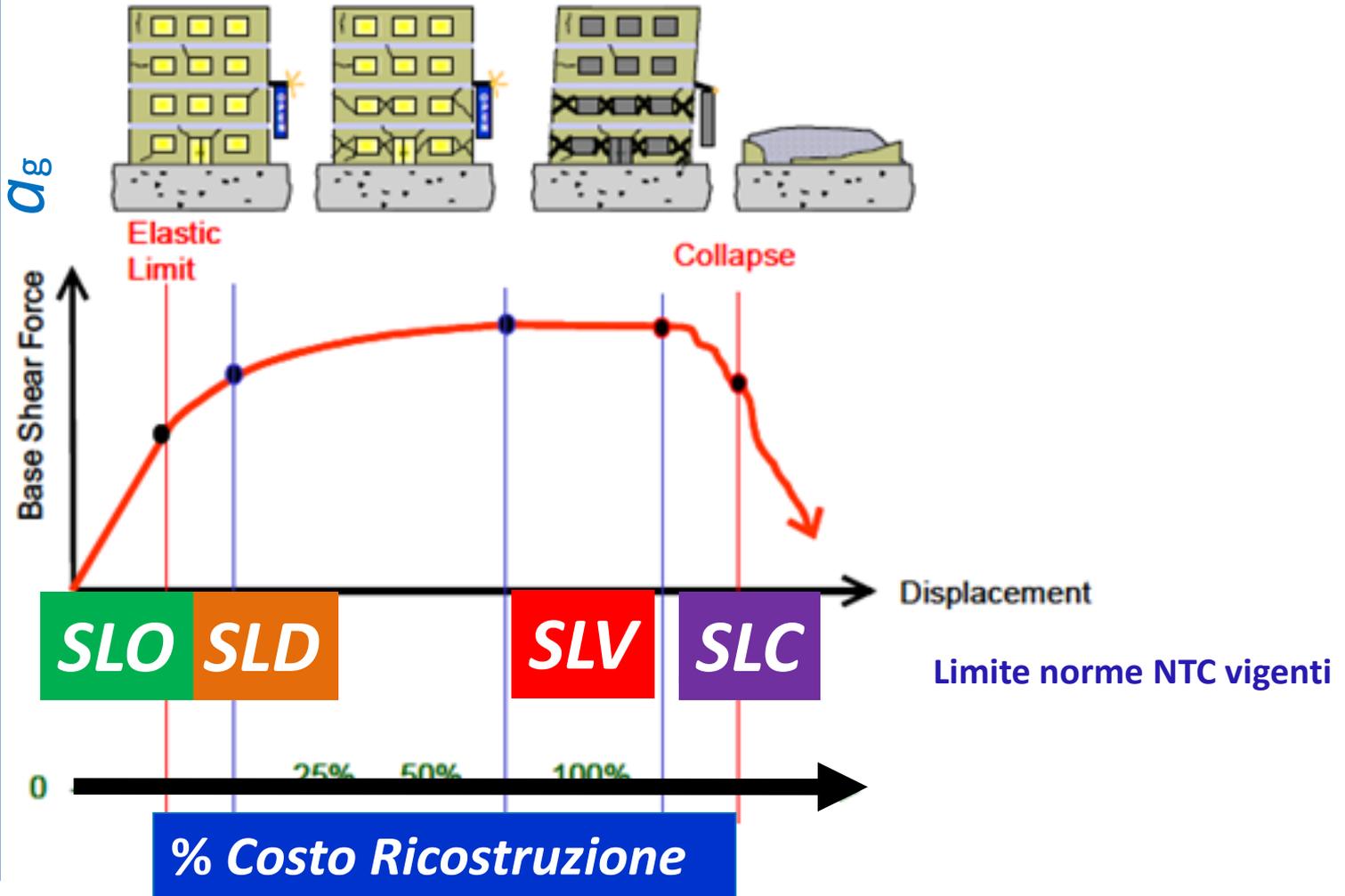
Freq. annuale $\lambda=0\%$

CR=100%

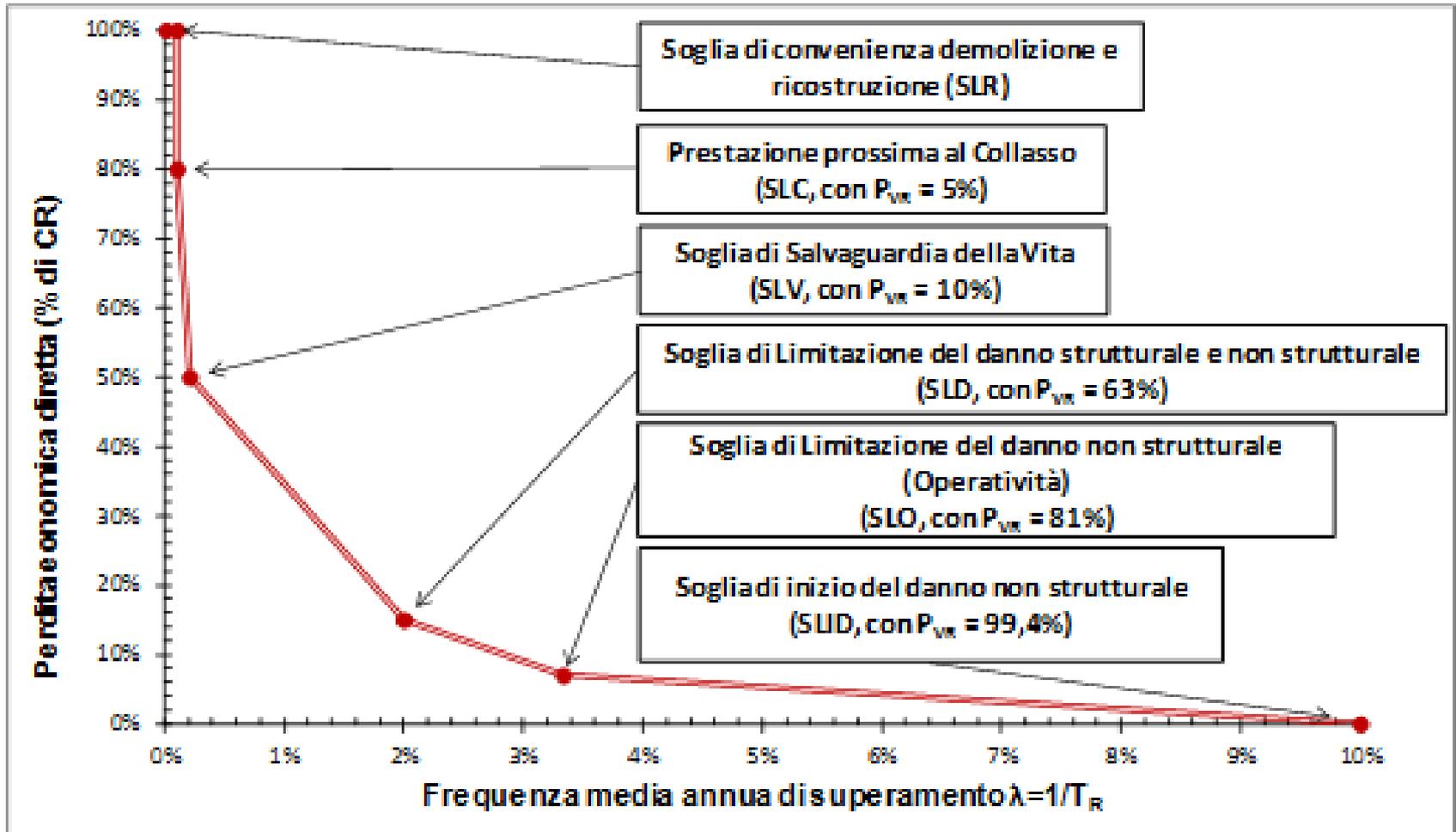
ESEMPIO: ANALISI STATICA NON LINEARE (PUSHOVER)

ASSI / COORDINATE EQUIVALENTI

Frequenza media annua di superamento

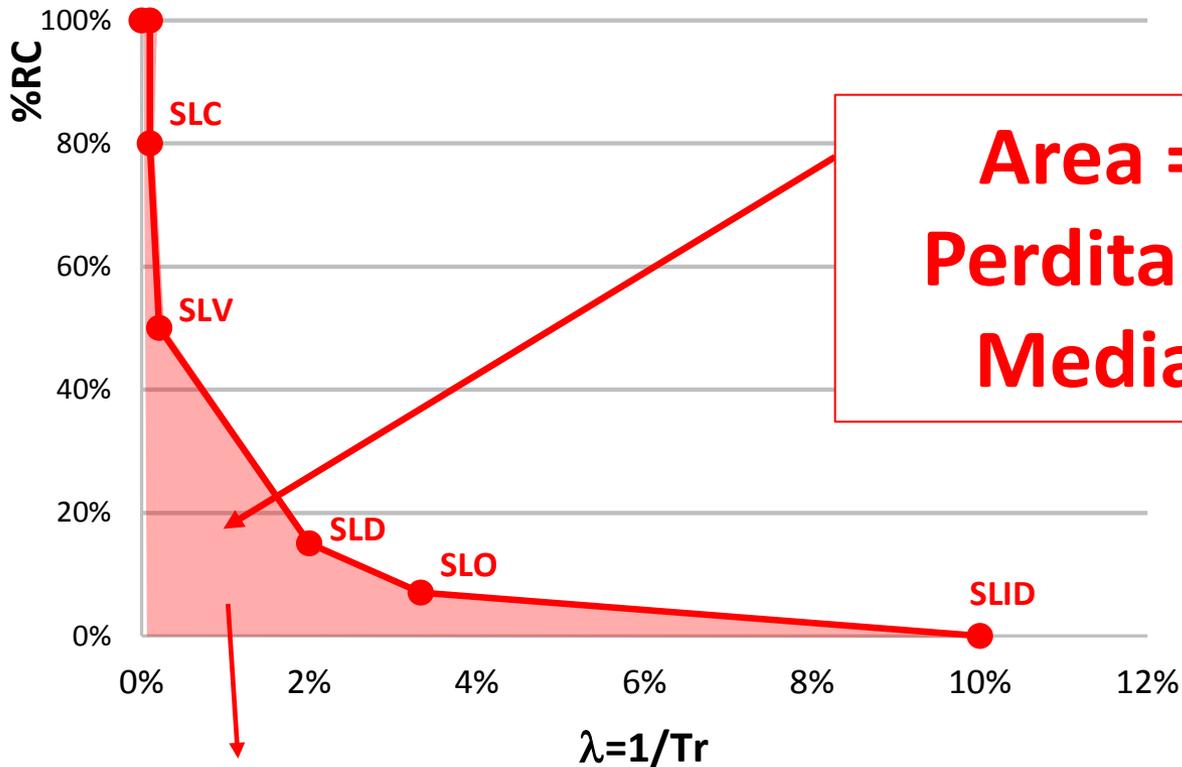


ORDINATA : % Costo di Ricostruzione (Perdita economica diretta)



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

Curva di Riferimento

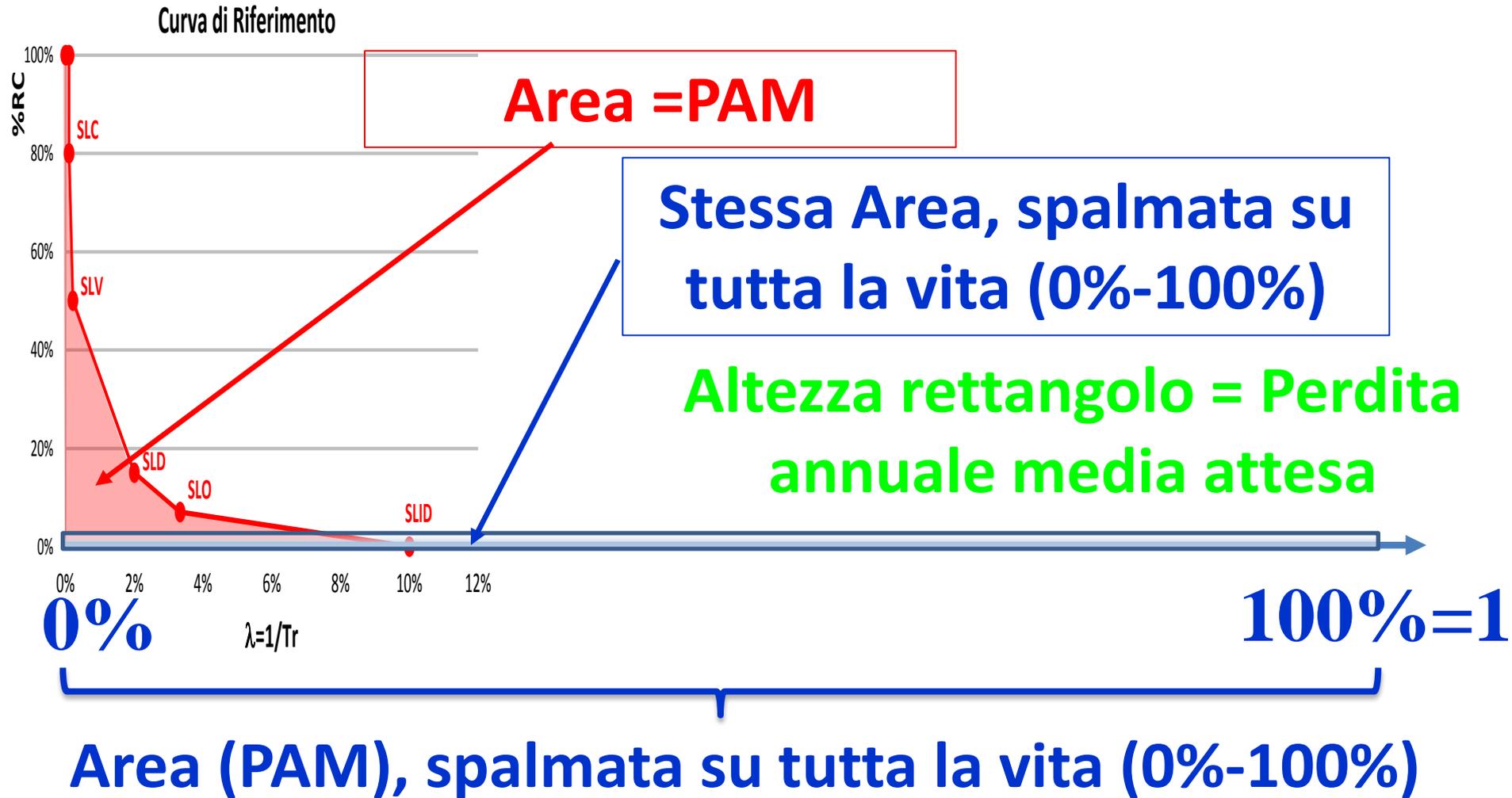


**Area = PAM =
Perdita Annuale
Media attesa**

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

PAM (%RC)=1.13% < 1.5% → Classe PAM 'B'

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



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



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%

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 SALVAGUARDIA VITA

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 quasi 3000 edifici di L'Aquila, edifici con esito B dalle schede Aedes, c.a. e muratura, il costo medio di riparazione è stato di circa 200 euro /mq; considerando che il costo di intera ricostruzione è dell'ordine di 1200 euro /mq, la stima è **CR del 16,7%**

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%**

CALCOLATO λ_{SLD}

CALCOLATO λ_{SLV}

SLO

SI STIMA (o si calcola)

SLC

SI STIMA (o si calcola)

«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: $\lambda_{SLO} = 1,67\lambda_{SLD}$, $\lambda_{SLC} = 0,49\lambda_{SLV}$ »

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⁾ »

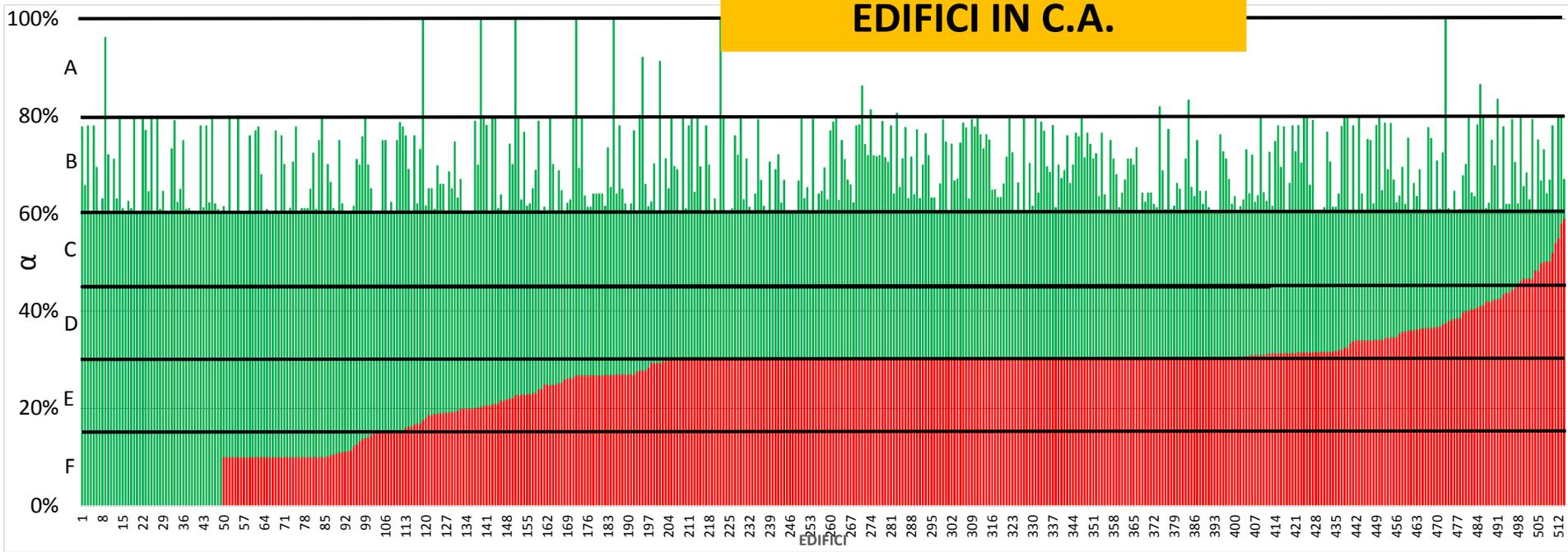
« (1) La verifica dello stato limite di salvaguardia della vita è volta a minimizzare il rischio di perdite umane ma è bene tener presente che tale rischio non può mai ridursi a zero, così come anche con il raggiungimento dello stato limite di danno si potrebbero verificare, seppur in maniera estremamente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

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

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

EDIFICI IN C.A.



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

■ α_{PRE}
■ α_{POST}

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

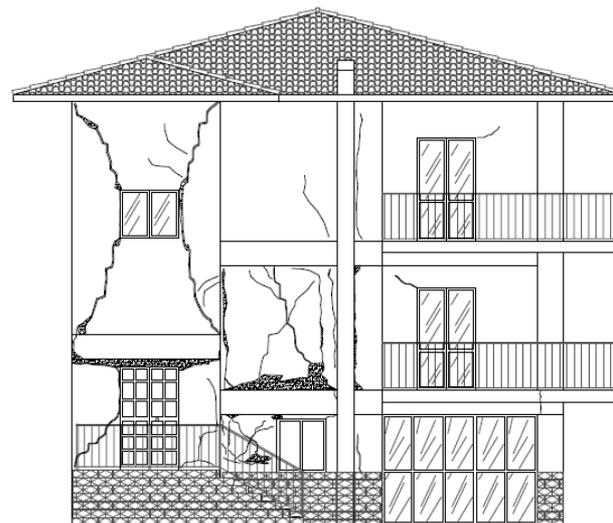
CLASSE EFFETTIVA: MINIMO FRA LE DUE CLASSI PAM e IS-V

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 (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

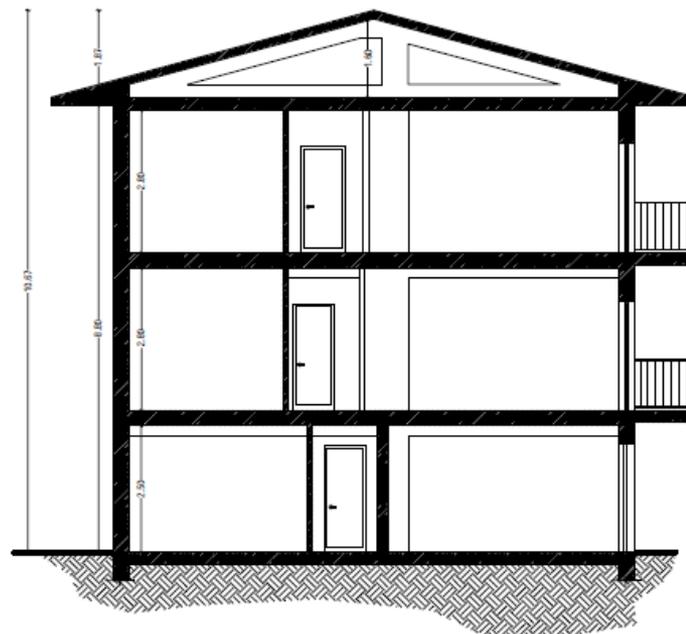
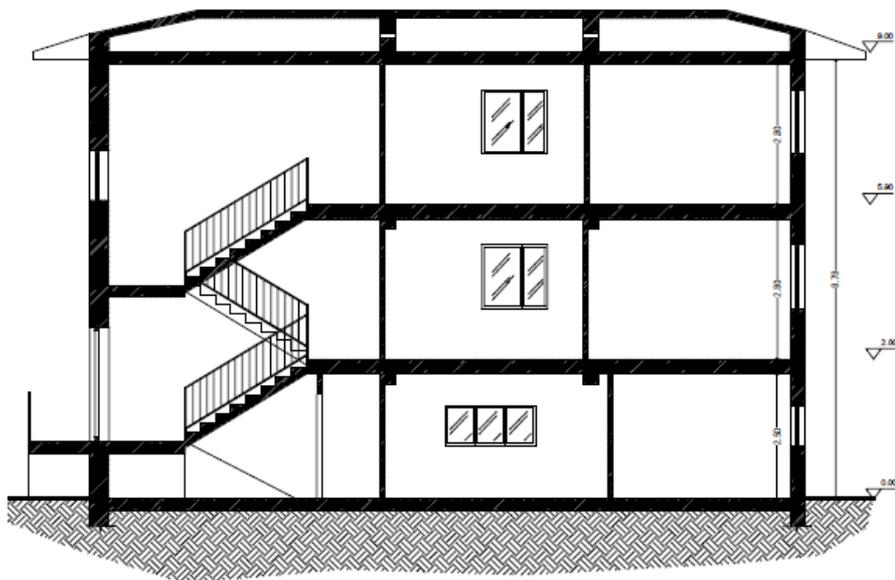
2) IS-V corregge progetti troppo sbilanciati verso lo SLD, che non garantirebbero la Salvaguardia della Vita



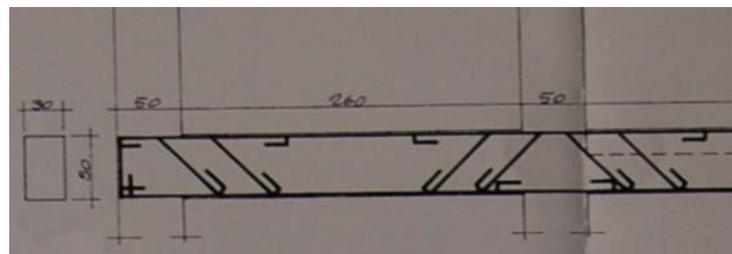
Fessurazione nodo d'angolo

Danni significativi alle tamponature

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



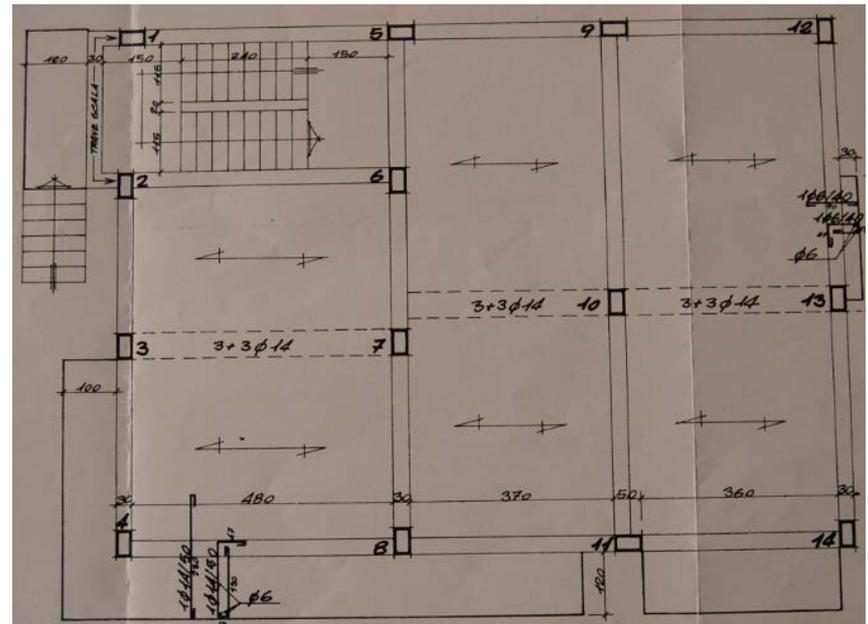
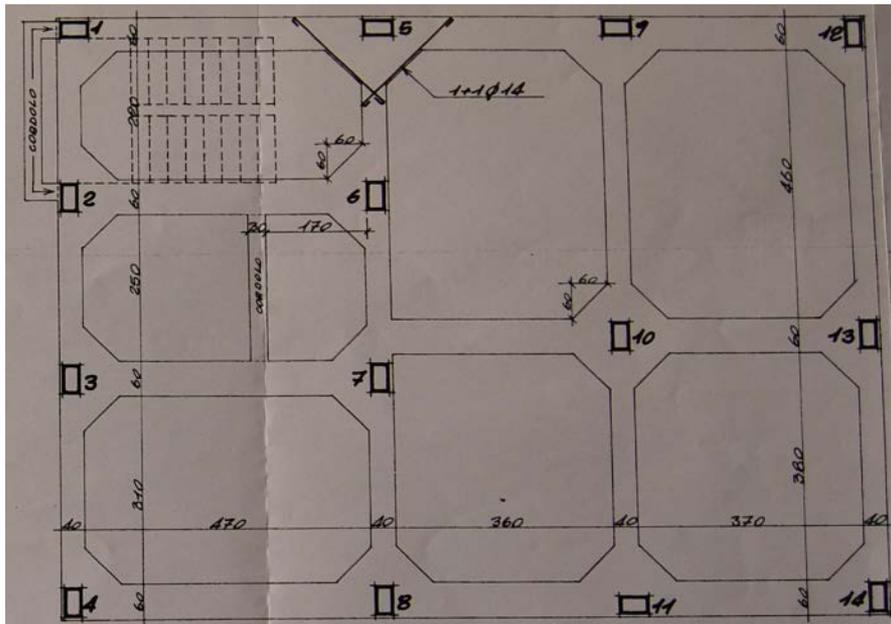
Carenza dettagli antisismici (barre lisce, mancanza di staffe nei nodi e staffatura non adeguata $\phi 6/200$)



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

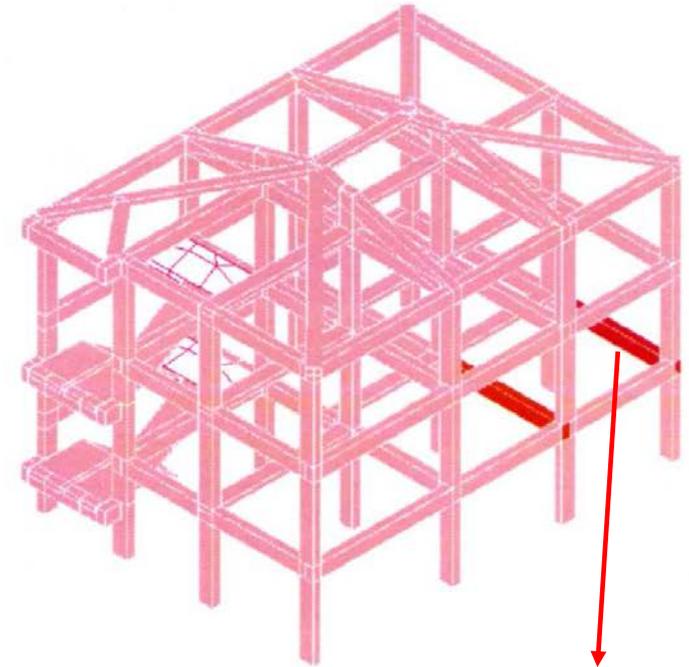
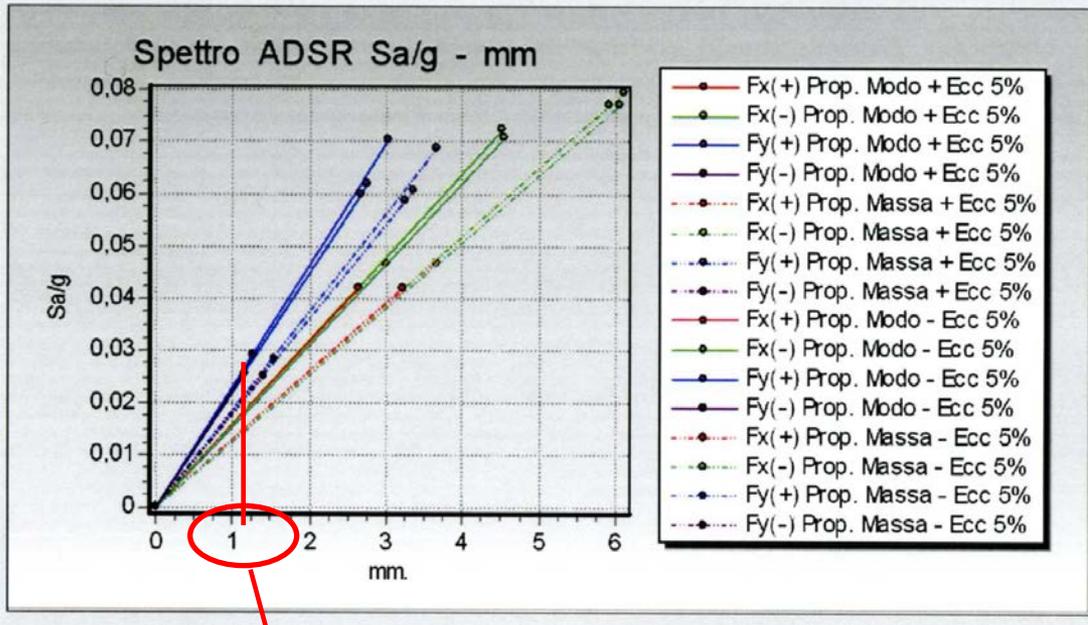
Edificio esistente con sistema resistente a **telai in CA (1973)**

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



Caso Studio: verifiche esistente

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



Crisi a taglio travi e nodi

Attingimento prima crisi fragile

$PGA=0.04g$

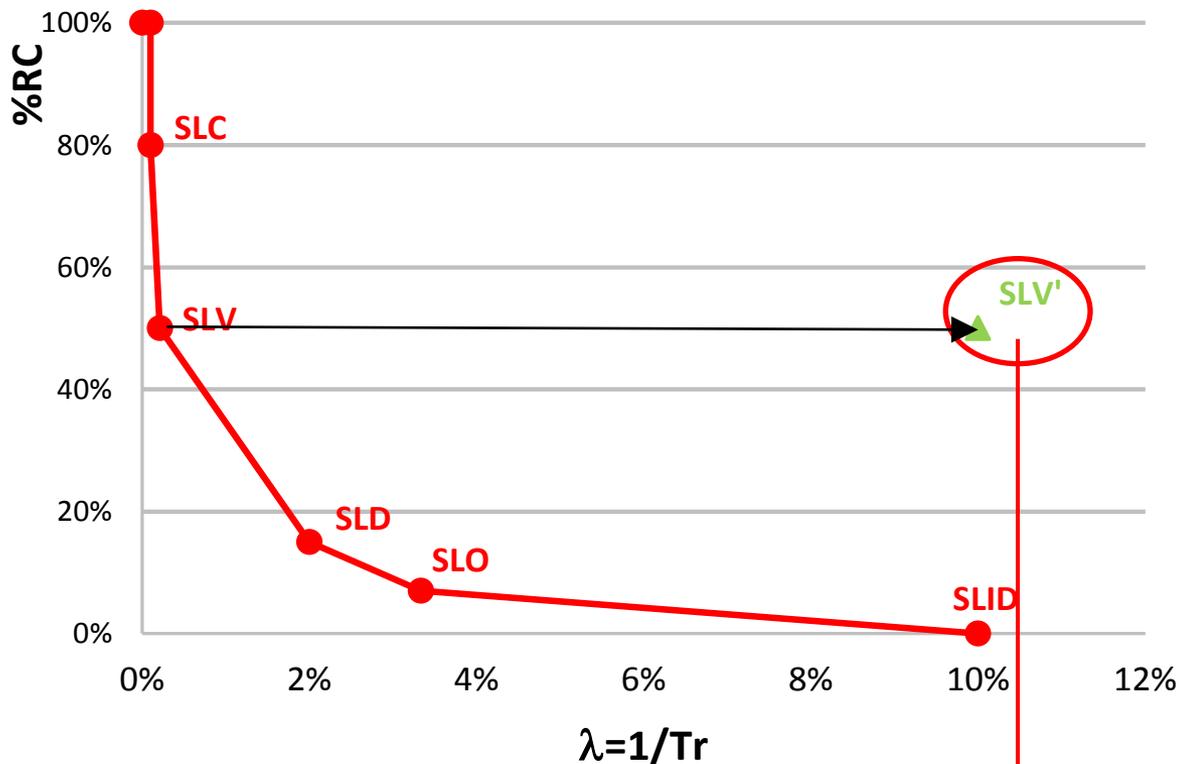
$IS_V=PGA_c/PGA_d=12.5\%$

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

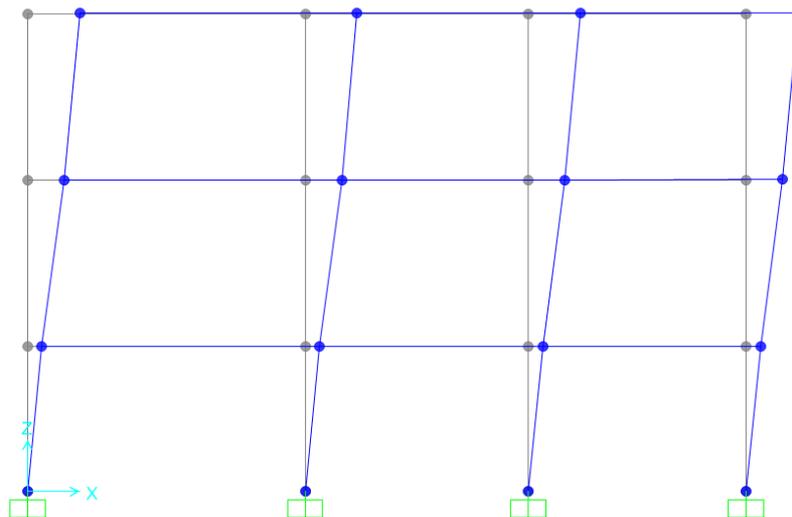
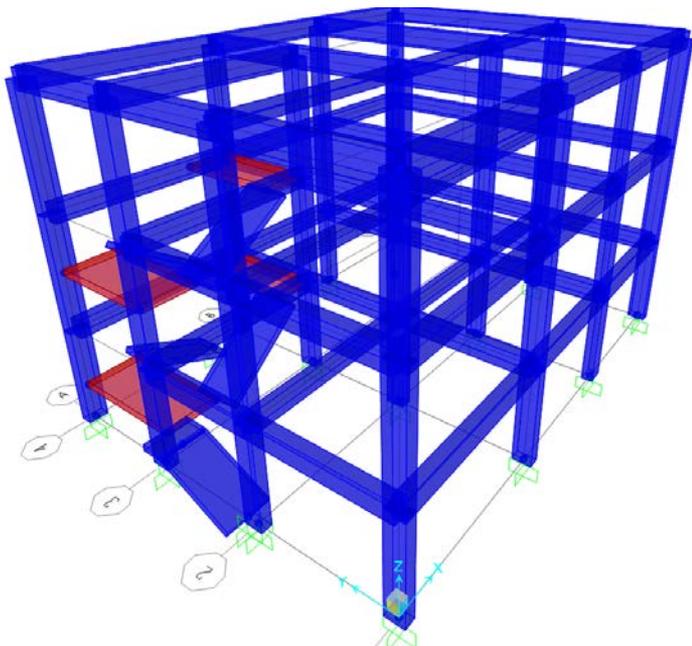
$\lambda=1/Tr=1/10=10\%$

Costruzione curva edificio esistente – $V_R=50$ anni

Curva di Riferimento



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



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 $(dr/h)=0.5\%$

$PGA_c=0.124g$

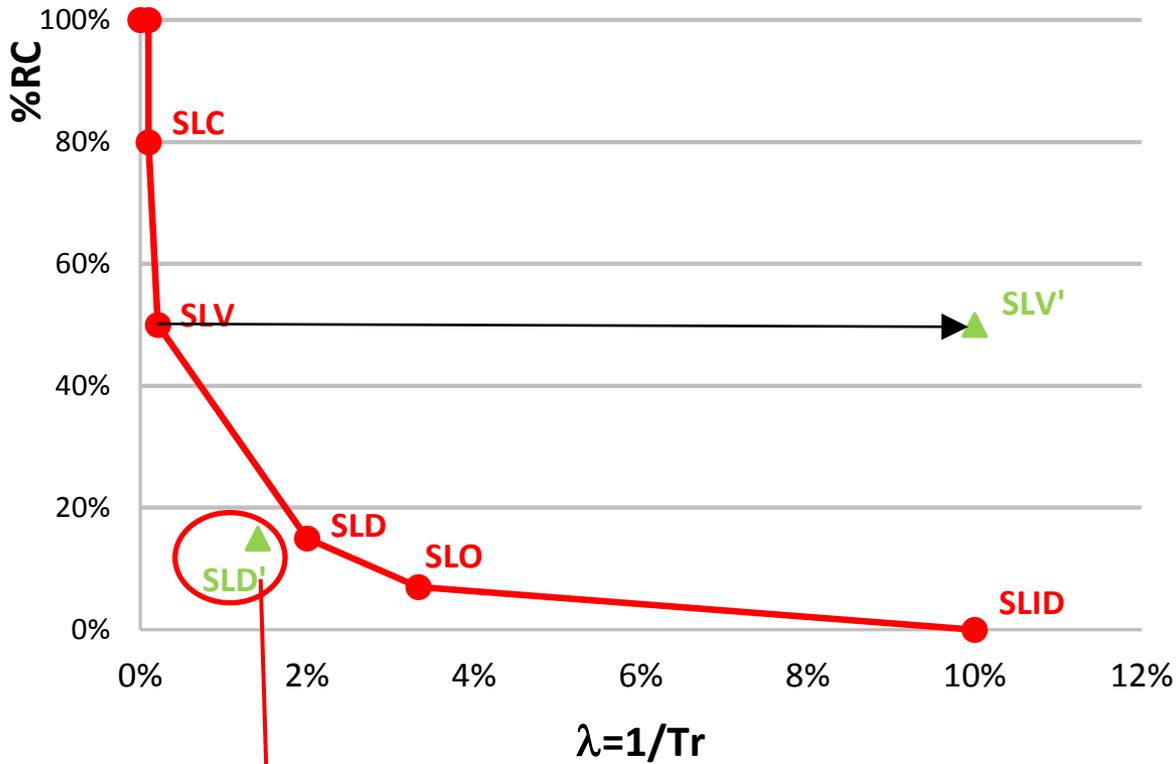
$PGA_d=0,104g$ (SLD)

$PGA_c/PGA_d=120\%$ SLD verificato

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

Costruzione curva edificio esistente

Curva di Riferimento



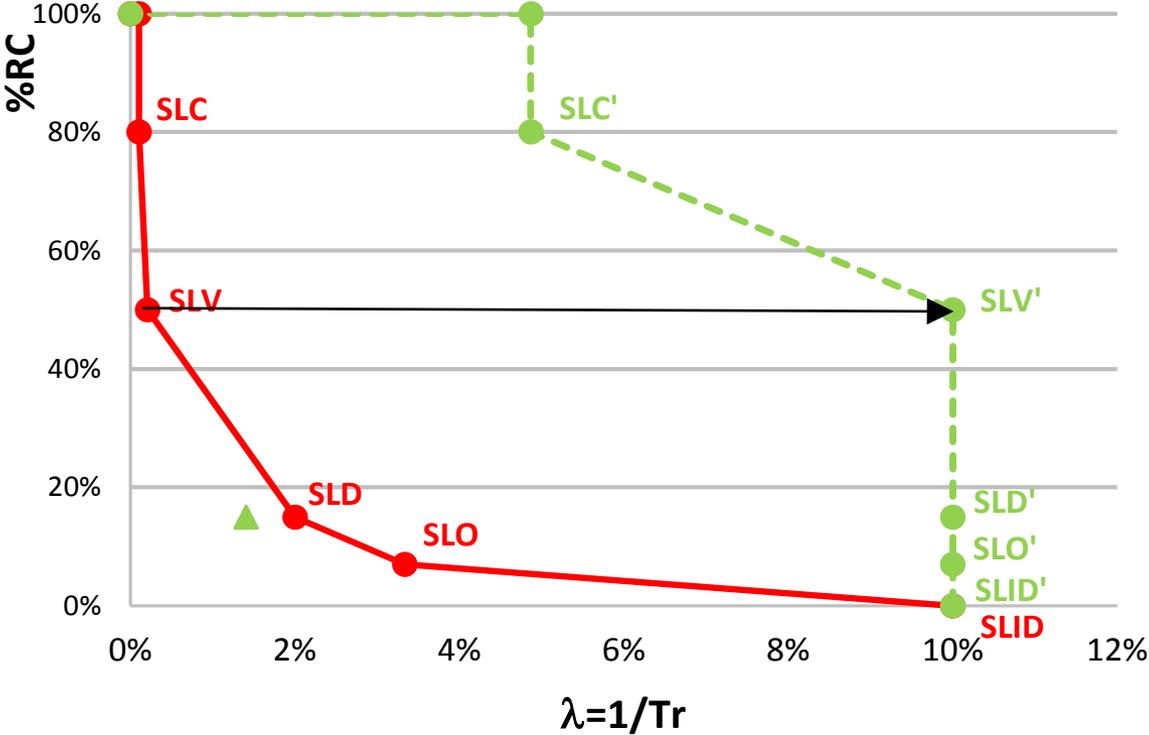
SLV molto distante
 $\lambda = 10\% > 0,21\%$

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

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

Costruzione curva edificio esistente

Curva di Riferimento



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

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

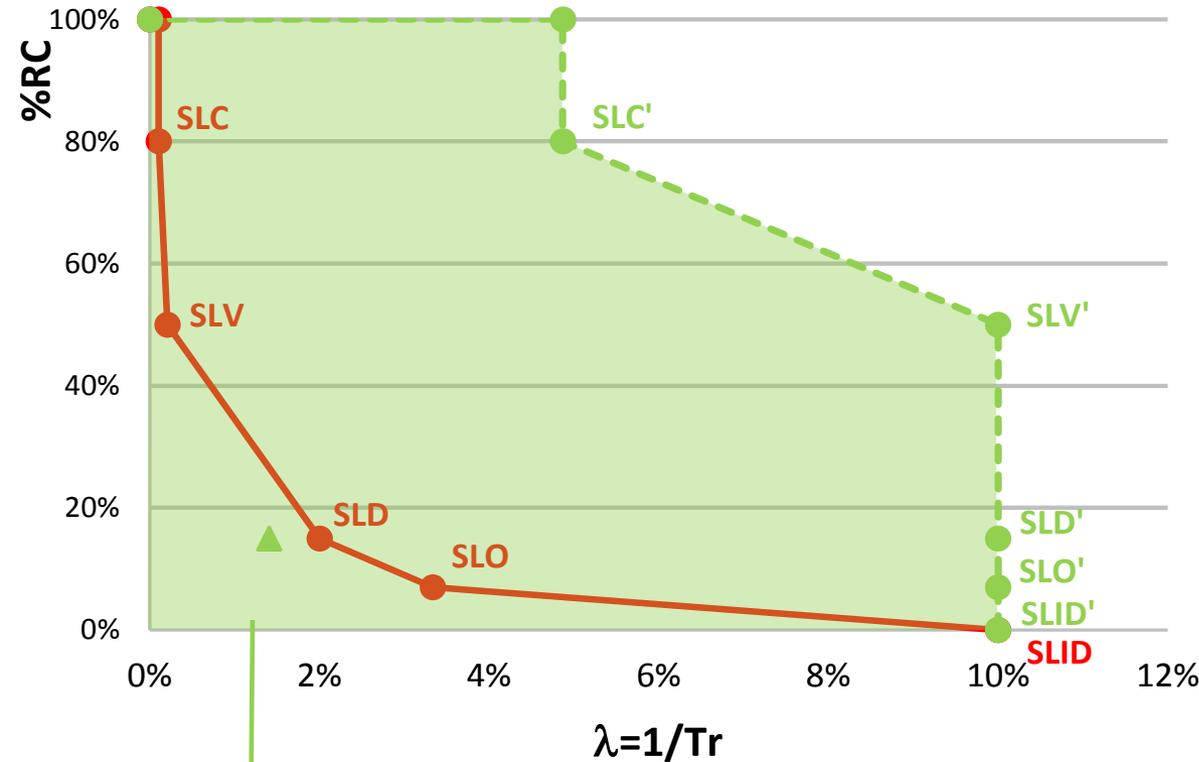
SLV anticipa SLD

$$\lambda_{SLC} = 0.487 * \lambda_{SLV}$$

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

Costruzione curva edificio esistente

Curva di Riferimento



$PAM = 8.2\% > 7.5\%$

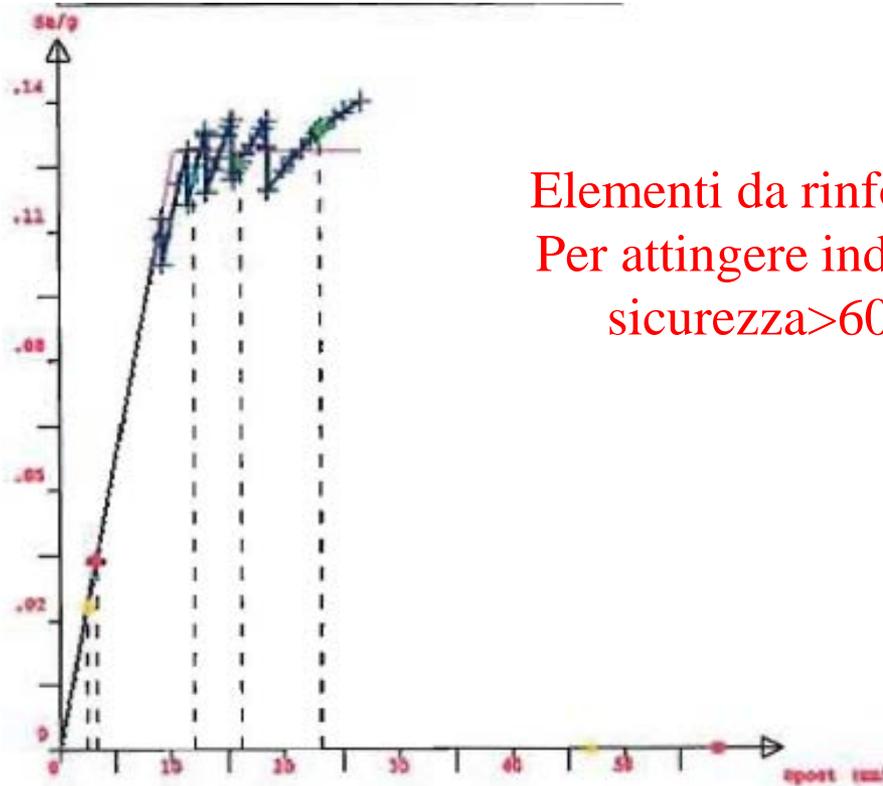
→ Classe di PAM 'G'

$IS_V = PGA_c / PGA_d = 12.5\% < 15\%$

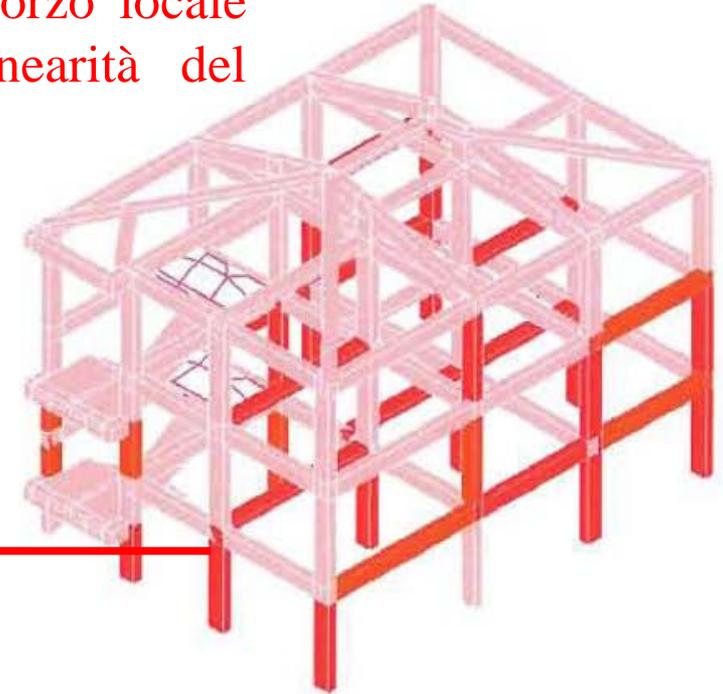
→ Classe di IS-V 'F'

→ Classe di Rischio 'G'

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

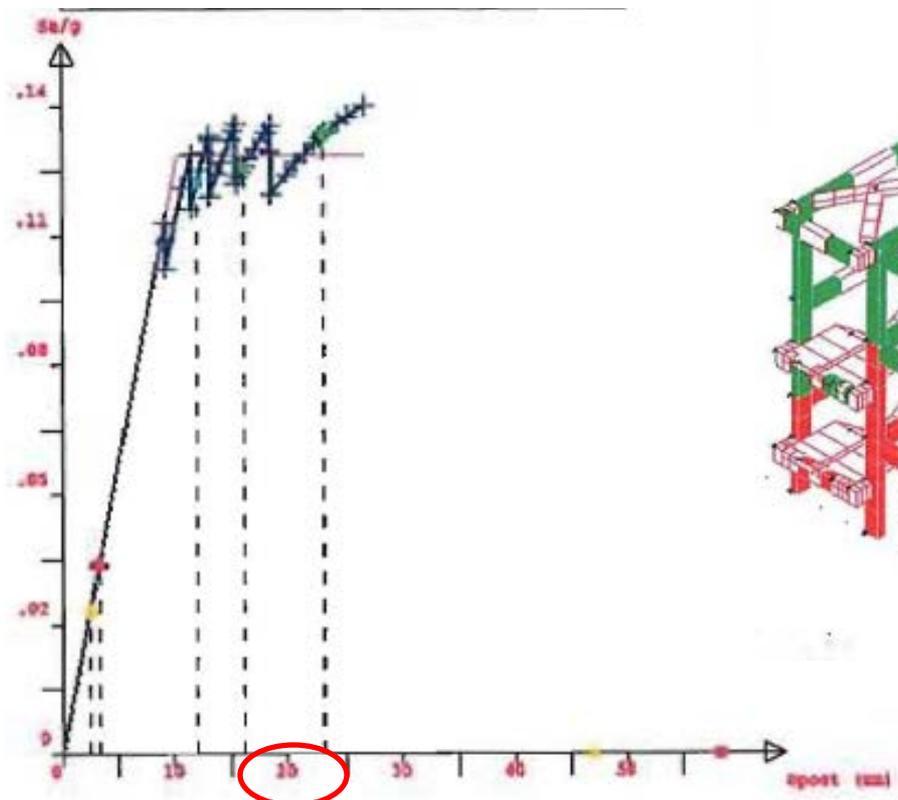


Elementi da rinforzare
Per attingere indice di
sicurezza > 60%

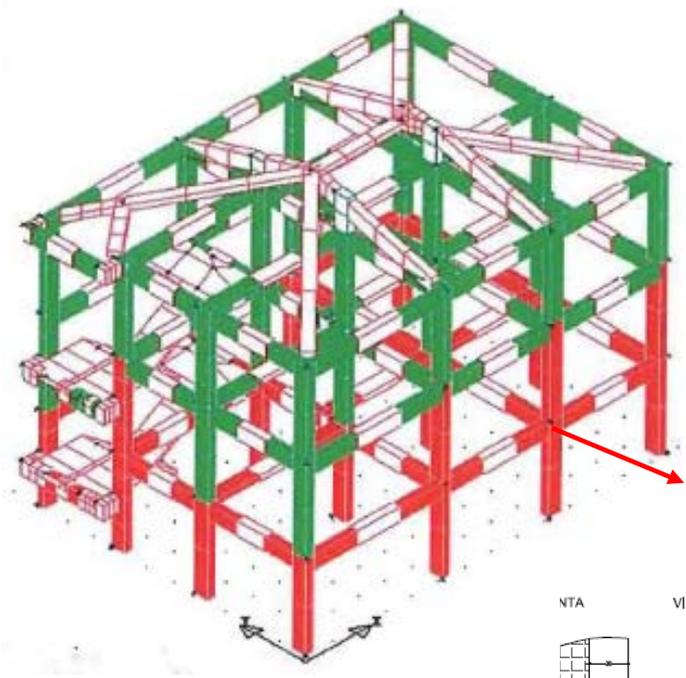


Caso Studio: rinforzo locale FRP

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



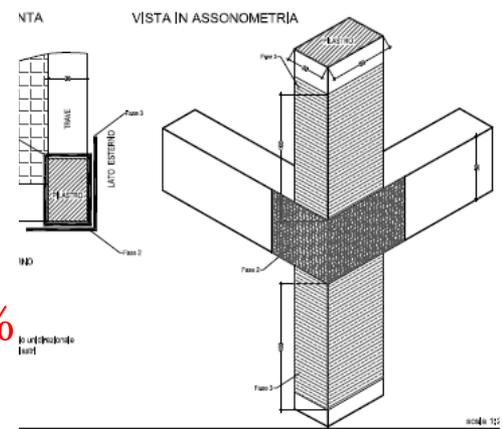
Capacità in spostamento sensibilmente migliorata (dc=24mm)



Elementi rinforzati (taglio travi-pilastri e nodi)

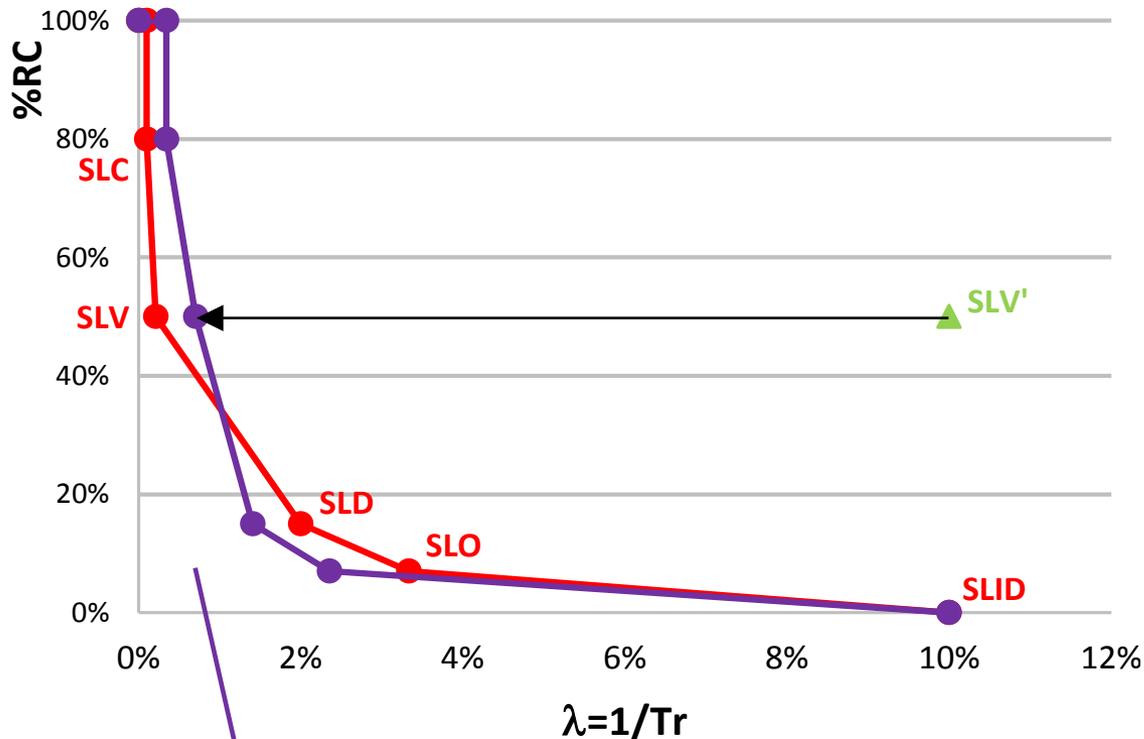
$$IS_V = PGA_c / PGA_d = 63.5\%$$

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



Costruzione curva edificio rinforzato

Curva di Riferimento



Curva delle perdite tracciata utilizzando SLV-SLD

$$\lambda_{SLC} (0.487 * \lambda_{SLV})$$

$$\lambda_{SLO} (1.670 * \lambda_{SLD})$$

stesso SLD come in as-built (FRP non modifica rigidezza)

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

→ Classe di PAM 'B'

$$IS_V = PGA_c / PGA_d = 63.5\% < 80\%$$

→ Classe di IS-V 'B'

Classe di Rischio 'B'



CONCLUSIONI



**NESSUN CONCETTO TECNICO IN PIU' RISPETTO ALLE
NTC (e relative mappe di pericolosità)**

**MODELLO PER VALUTAZIONI ECONOMICHE DI
ESTREMA SEMPLICITA' BASATO SU POCHI PARAMETRI**

**PARAMETRI TARATI SU VALUTAZIONE TEORICHE MA
ASSESTATI SU VALUTAZIONI DEI COSTI
RICOSTRUZIONE DI L'AQUILA**

**NECESSITA' DI MONITORARE APPLICAZIONE DEL DM;
NECESSITA' DI PROSEGUIRE STUDI PER CONSOLIDARE
E/O SVILUPPARE METODI PIU' RAFFINATI**

***NECESSITA' DI COORDINAMENTO
FRA SISMABONUS E ECOBONUS,
SIA PER MOTIVI TECNICI CHE ECONOMICI !!***