

Edoardo Cosenza, Università di Napoli Federico II

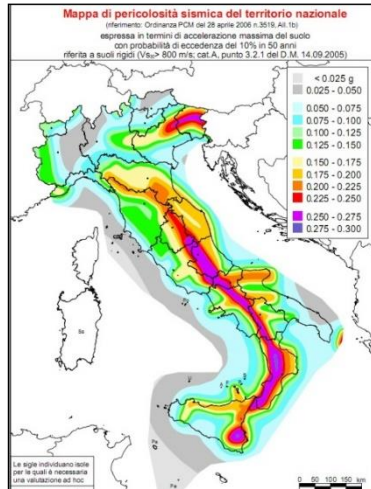
LINEE GUIDA PER L'ATTRIBUZIONE DELLA CLASSE DI RISCHIO SISMICO

(Legge di Stabilità 2017, « SISMABONUS »)

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

**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 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

Controsoffittature e componenti, L'Aquila





Ospedale San Salvatore L'Aquila



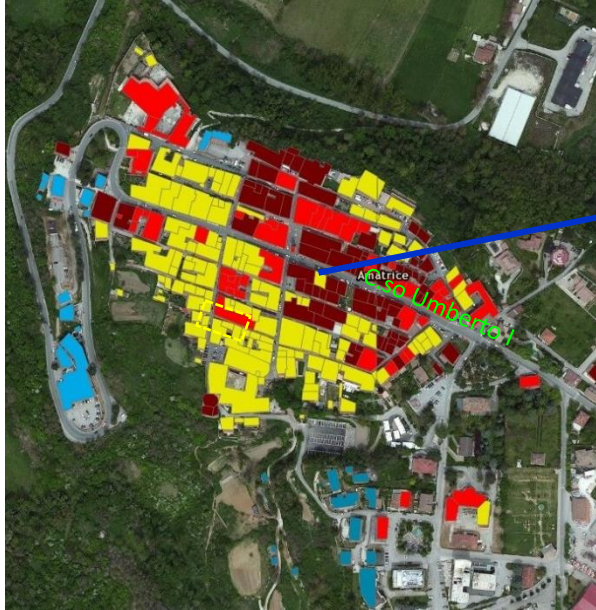


Tamponature, L'Aquila



AMATRICE «EDIFICIO ROSSO»

Corso Umberto I



AMATRICE «EDIFICIO ROSSO»

Corso Umberto I





Tab. 7.3.III – Stati limite di elementi strutturali primari, elementi non strutturali e impianti

STATI LIMITE		CU I	CU II			CU III e IV		
		ST	ST	NS	IM	ST	NS	IM(*)
SLE	SLO					RIG		FUN
	SLD	RIG	RIG					
SLU	SLV	RES	RES	STA	STA	RES	STA	STA
	SLC		DUT(**)			DUT(**)		

(*) Per le sole CU III e IV, nella categoria Impianti ricadono anche gli arredi fissi.

(**) Nei casi esplicitamente indicati dalle presenti norme.

Le verifiche allo stato limite di prevenzione del collasso (SLC), a meno di specifiche indicazioni, si svolgono soltanto in termini di duttilità e solo qualora le verifiche in duttilità siano espressamente richieste (v.§7.3.6.1)

7.3.6.1 ELEMENTI STRUTTURALI (ST)

Novità NTC 2017

VERIFICHE DI RIGIDEZZA (RIG)

La condizione in termini di rigidezza sulla struttura si ritiene soddisfatta qualora la conseguente deformazione degli elementi strutturali non produca sugli elementi non strutturali danni tali da rendere la costruzione temporaneamente inagibile².

Nel caso delle costruzioni civili e industriali, qualora la temporanea inagibilità sia dovuta a spostamenti di interpiano eccessivi, questa condizione si può ritenere soddisfatta quando gli spostamenti di interpiano ottenuti dall'analisi in presenza dell'azione sismica di progetto corrispondente allo SL e alla CU considerati siano inferiori ai limiti indicati nel seguito.

Per le CU I e II ci si riferisce allo SLD (v. Tab. 7.3.III) e deve essere:

a) per tamponature collegate rigidamente alla struttura, che interferiscono con la deformabilità della stessa:

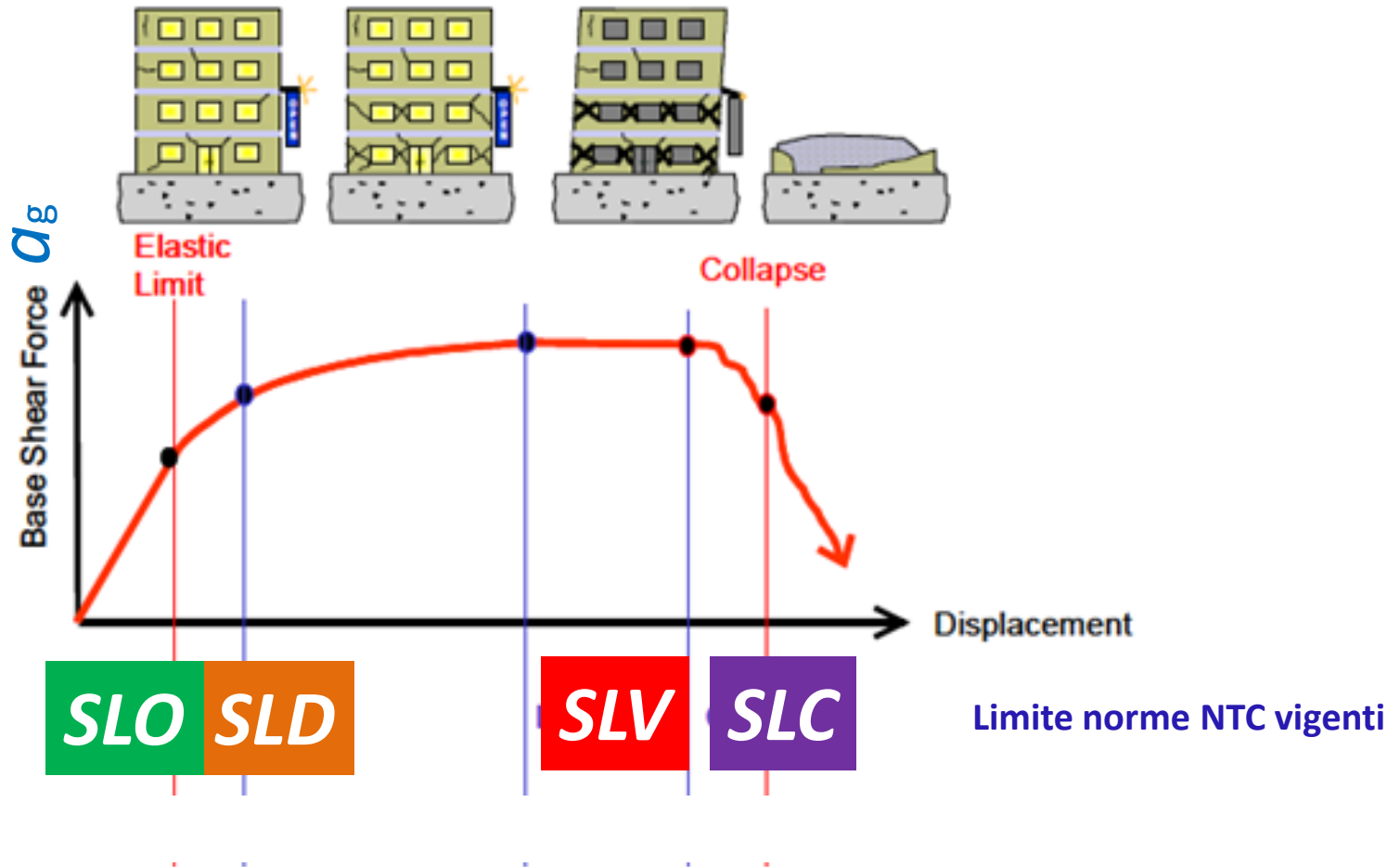
$$d_r \leq 0,0050 \cdot h \text{ per tamponature fragili} \quad [7.3.11a]$$

$$d_r \leq 0,0075 \cdot h \text{ per tamponature duttili} \quad [7.3.11b]$$

b) per tamponature progettate in modo da non subire danni a seguito di spostamenti d'interpiano d_{rp} , per effetto della loro deformabilità intrinseca ovvero dei collegamenti alla struttura:

$$d_r \leq d_{rp} \leq 0,0100 \cdot h \quad [7.3.12]$$

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

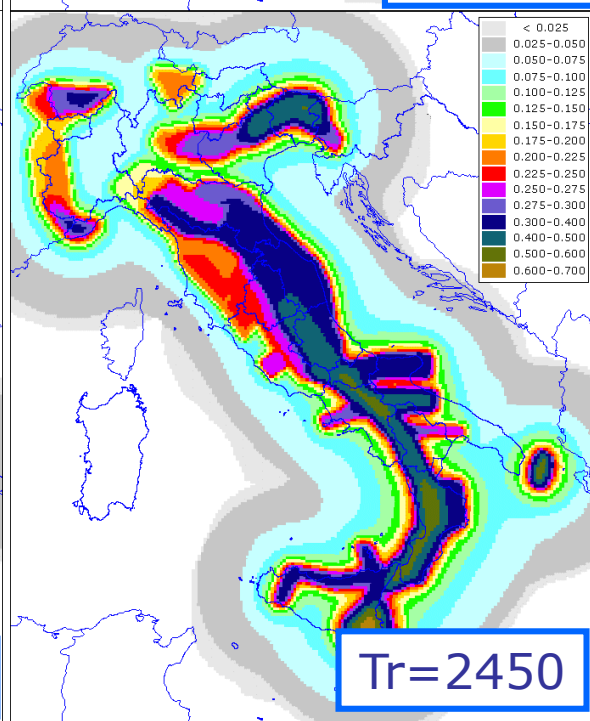
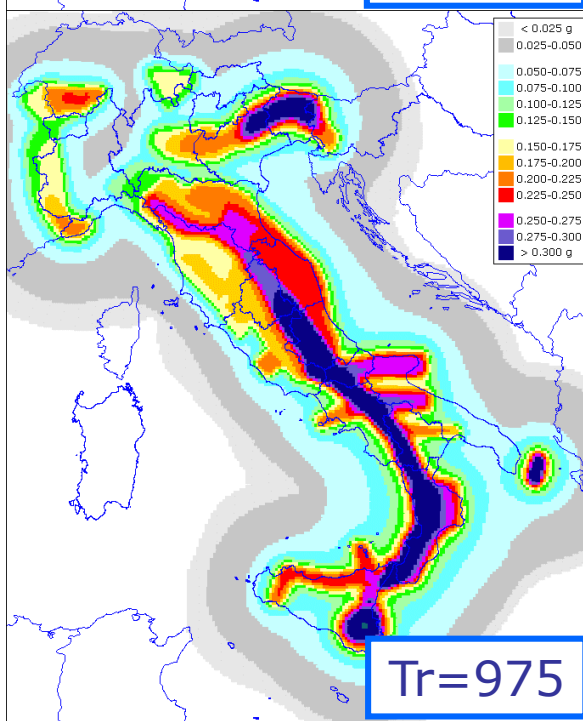
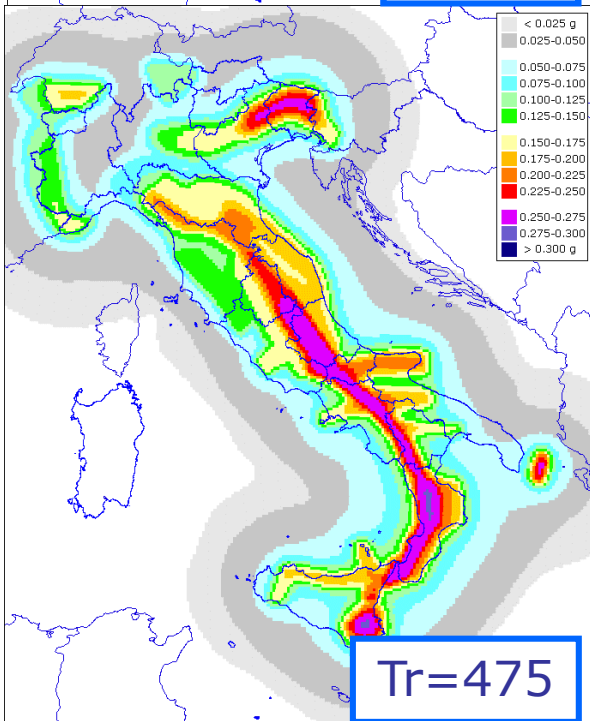
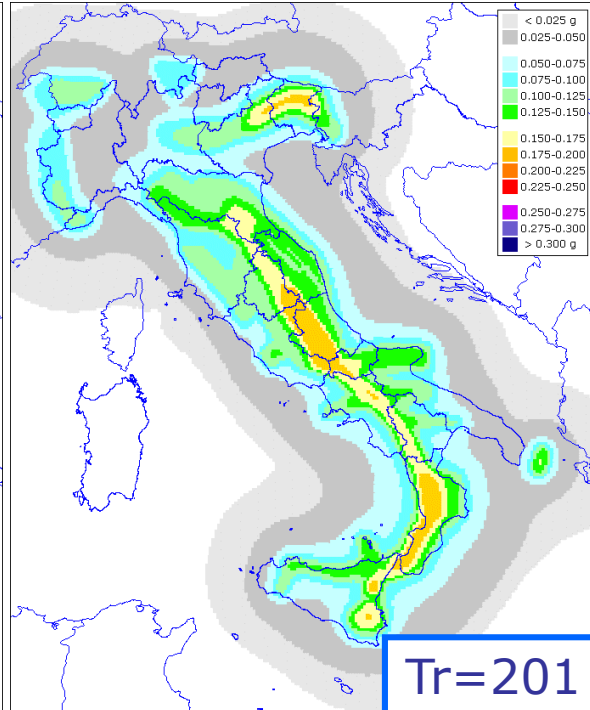
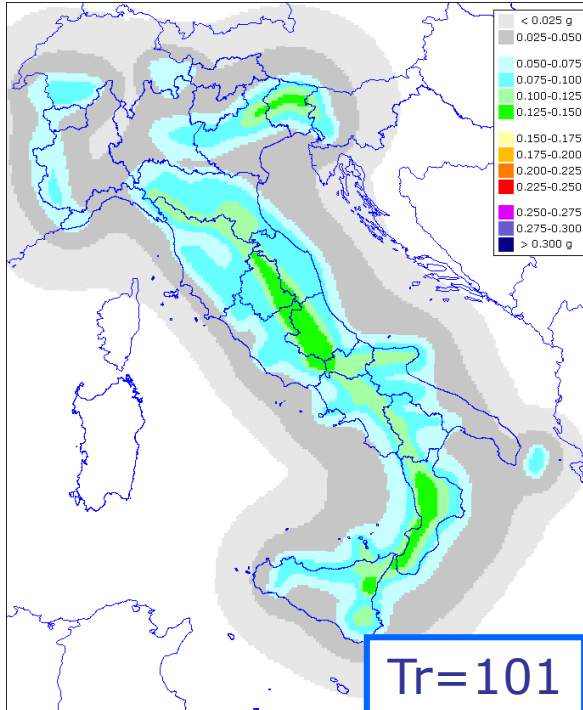
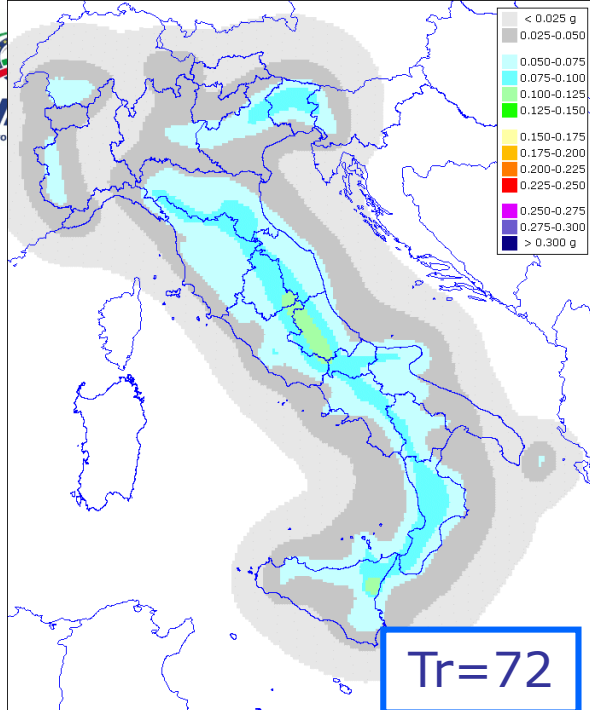
<i>SLO</i>	<i>F_s</i>	<i>a_g</i>	<i>PGA</i>
<i>SLD</i>	<i>F_s</i>	<i>a_g</i>	<i>PGA</i>
<i>SLV</i>	<i>F_s</i>	<i>a_g</i>	<i>PGA</i>
<i>SLC</i>	<i>F_s</i>	<i>a_g</i>	<i>PGA</i>

Accelerazione
massima su
roccia

Accelerazione
di picco al
suolo



Ministero



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*

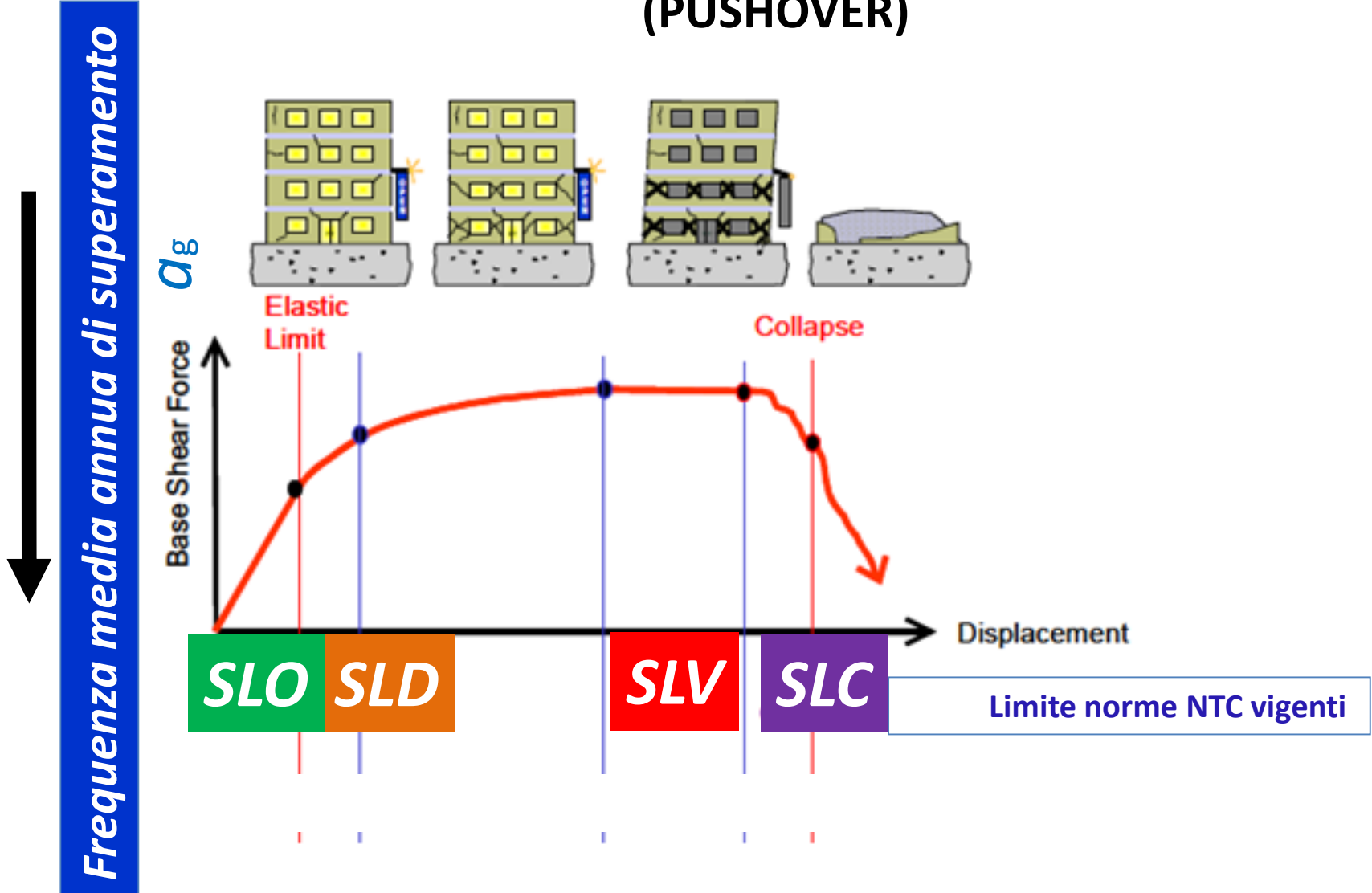
ANALISI STATICA NON LINEARE (PUSHOVER)

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

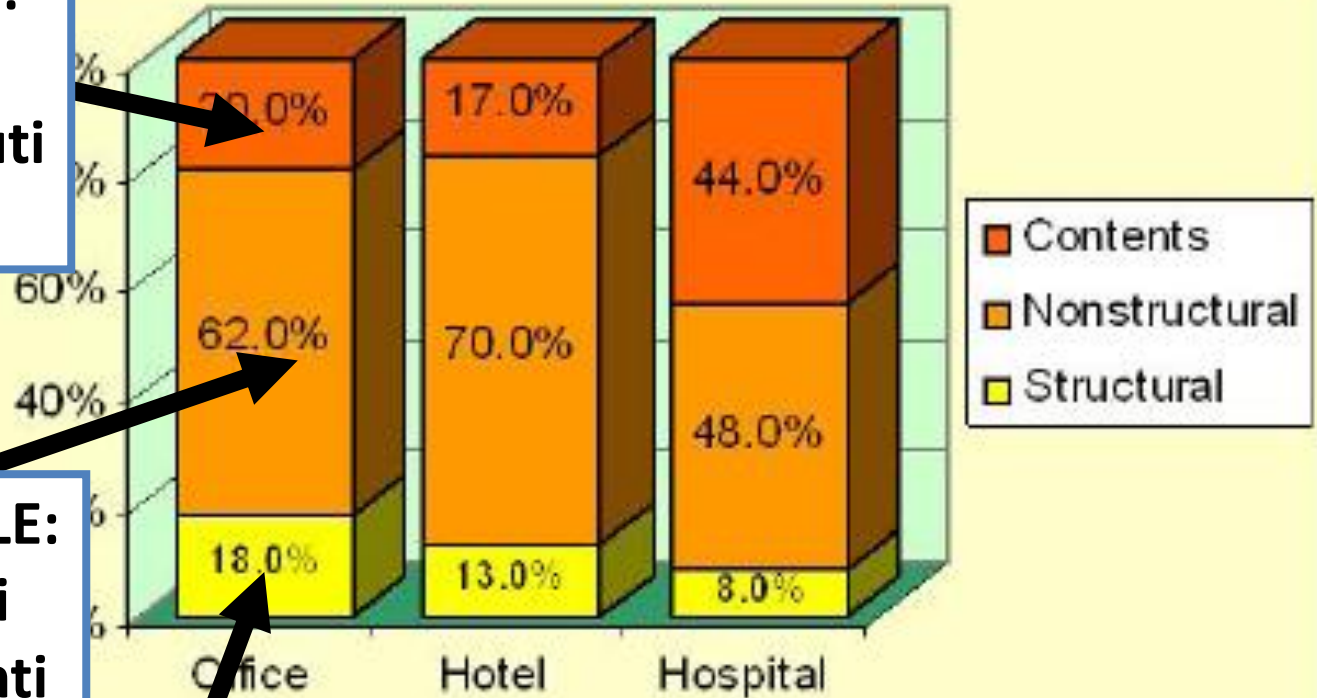
PGA

$T_r = \text{infinito}$; 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 $\lambda=0,10\%$

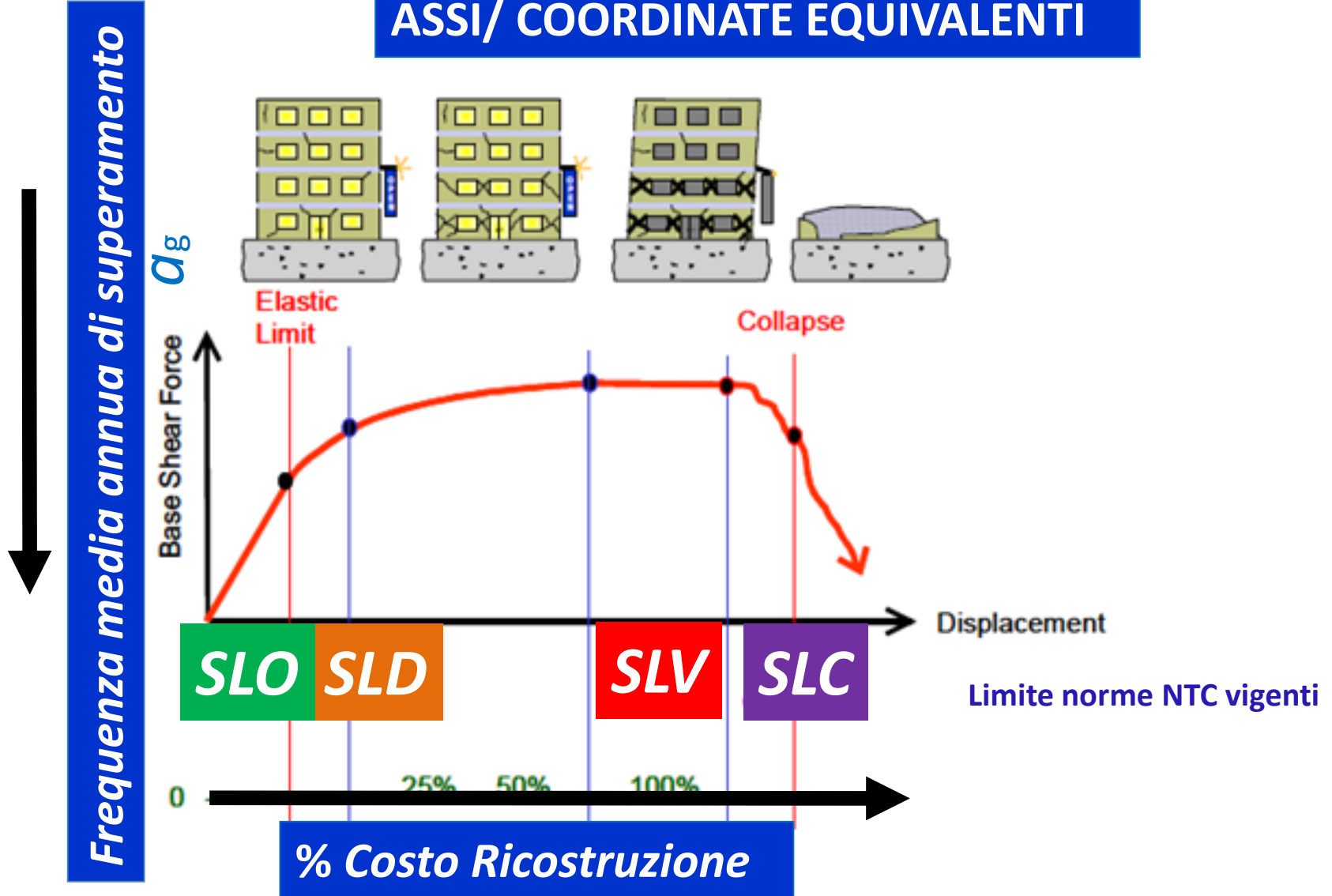
CR=80%

SLR

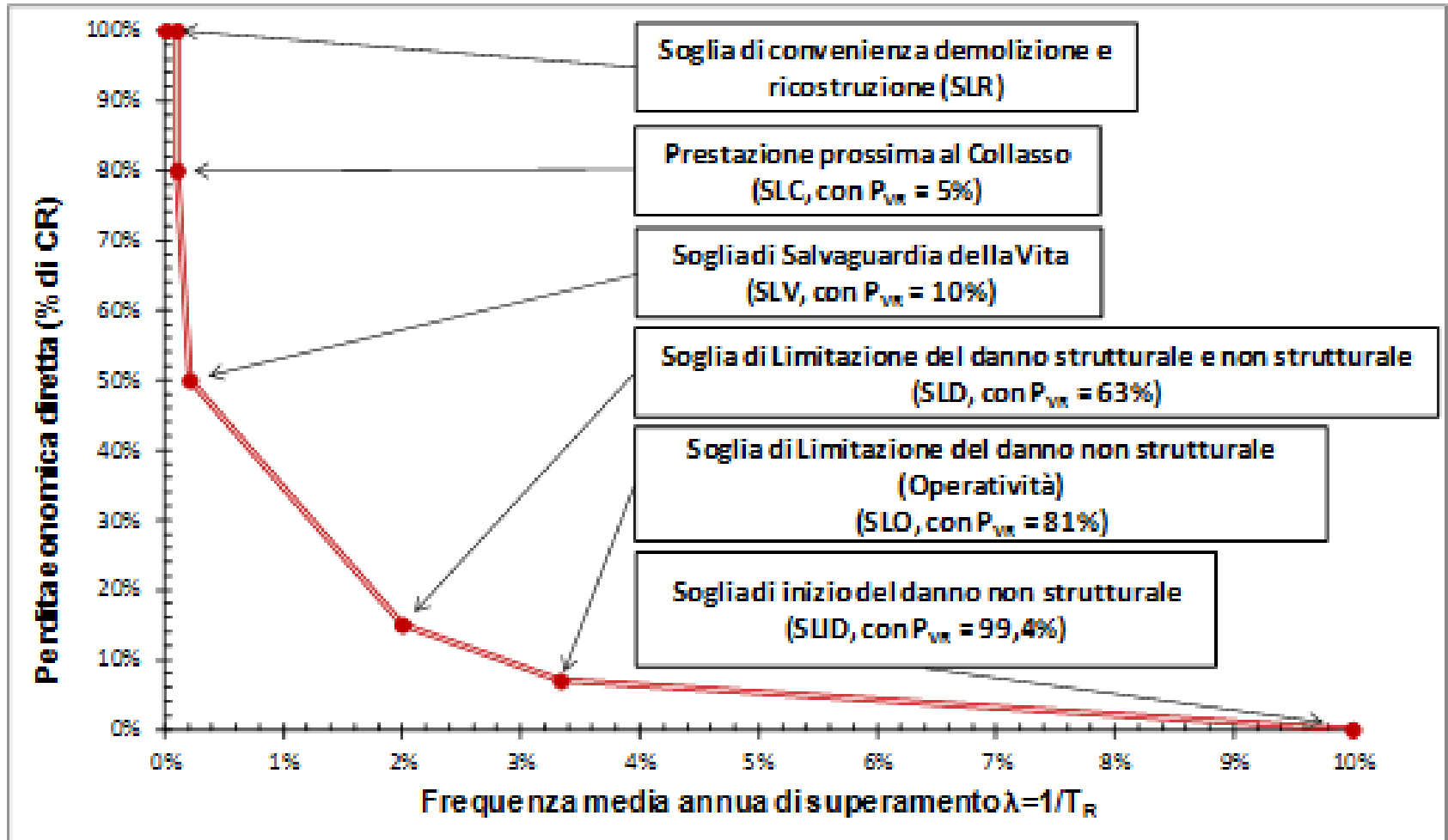
Freq. annuale $\lambda=0\%$

CR=100%

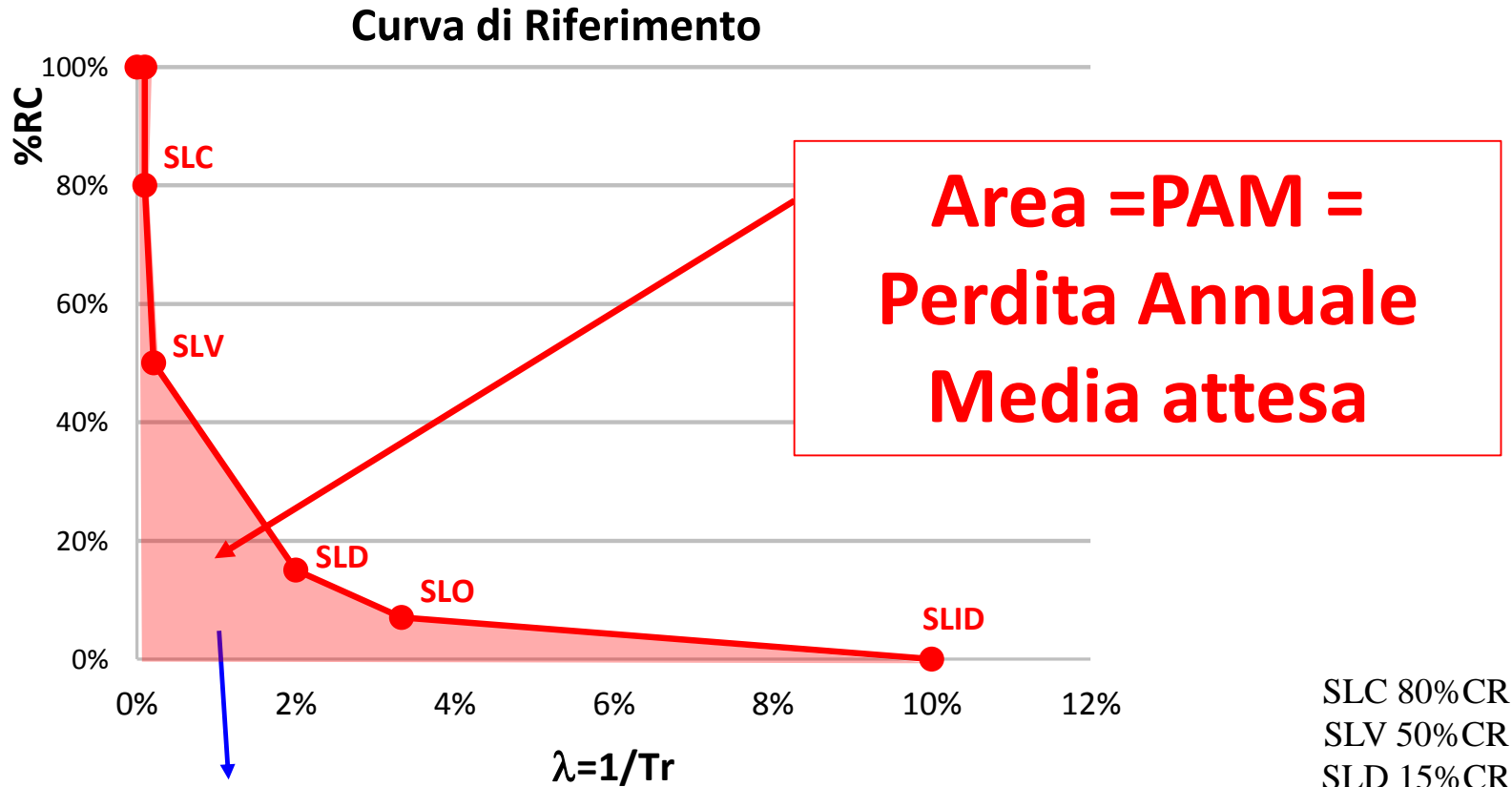
ASSI/ COORDINATE EQUIVALENTI



ORDINATA : % Costo di Ricostruzione (Perdita economica diretta)



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

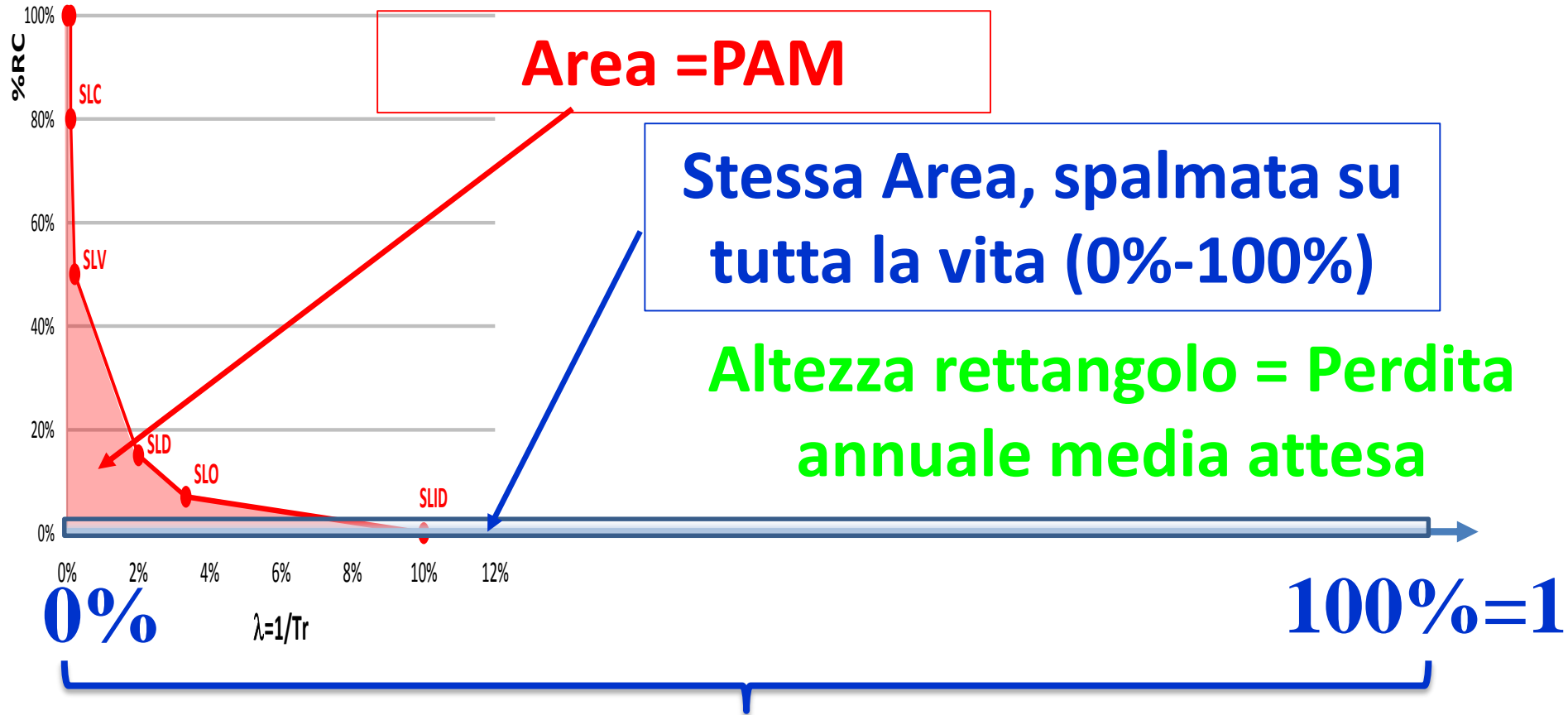


PAM (%RC)=1.13% < 1.5% → Classe PAM 'B'

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 $\lambda=0$

Curva di Riferimento



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⁾ »

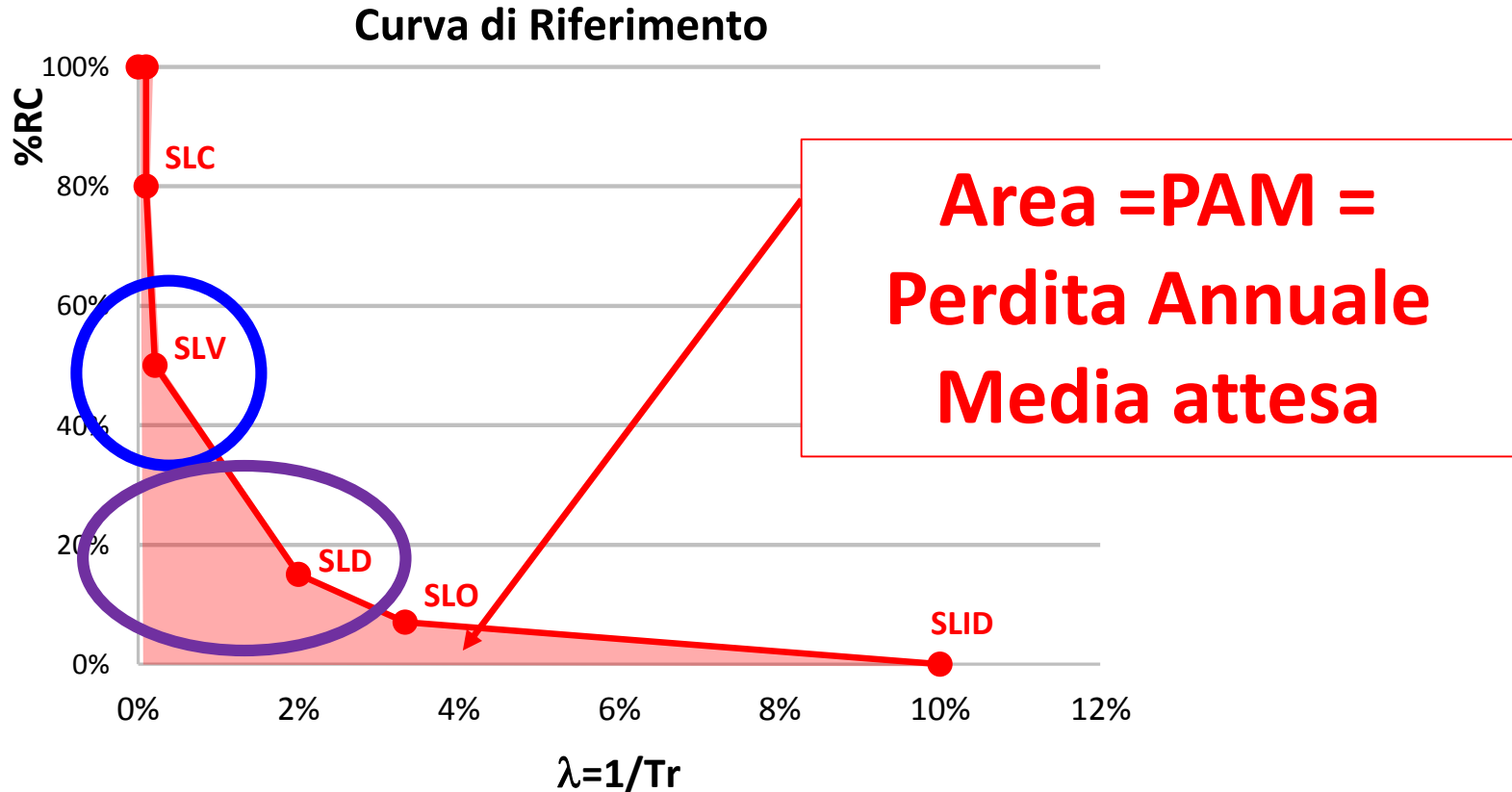
« (1) La verifica dello stato limite di salvaguardia della vita è volta a minimizzare il rischio di perdite umane ma è bene tener presente che tale rischio non può mai ridursi a zero, così come anche con il raggiungimento dello stato limite di danno si potrebbero verificare, seppur in maniera estremamente 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
$100\% \leq IS-V$	A ⁺
$100\% \leq IS-V < 80\%$	A
$80\% \leq IS-V < 60\%$	B
$60\% \leq IS-V < 45\%$	C
$45\% \leq IS-V < 30\%$	D
$30\% \leq IS-V < 15\%$	E
$IS-V < 15\%$	F

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



Se si dimezza la frequenza SLV il PAM cambia poco

Se si dimezza la frequenza SLD il PAM cambia molto

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 adeguatamente la Salvaguardia della Vita

CONCLUSIONI

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

**MODELLO PER VALUTAZIONI ECONOMICHE DI
ESTREMA SEMPLICITA' BASATO SU POCCHI 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**