

Corso

# Progetto di strutture in zona sismica

Catania

ottobre 2017 - gennaio 2018

12 - Spettri di risposta e di progetto: novità introdotte dalla  
Bozza NTC e dalla definizione di classi di rischio sismico

8 novembre 2017

Aurelio Ghersi

Novità introdotte dalla Bozza NTC

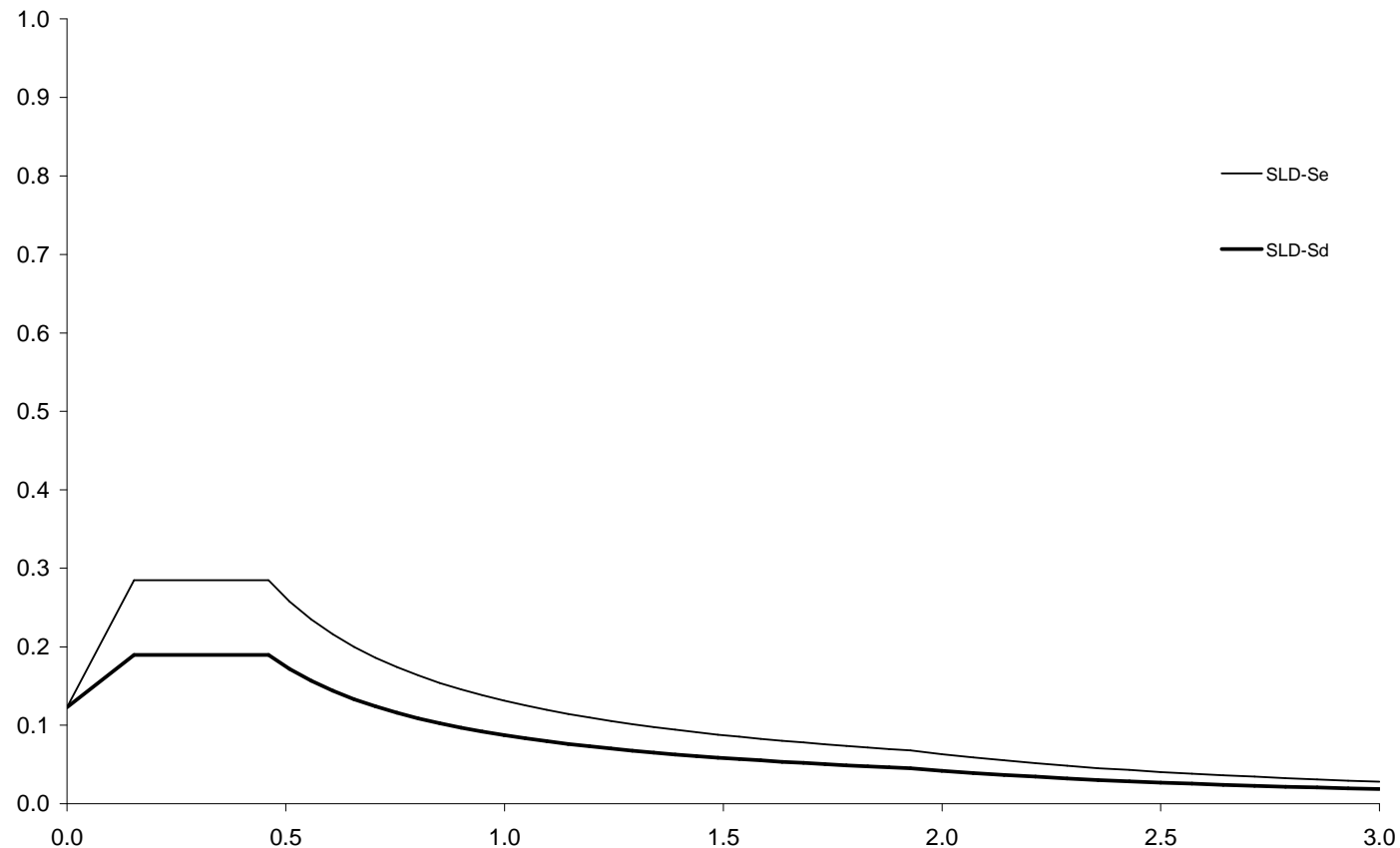
# Spettri di risposta e di progetto: novità introdotte dalla Bozza NTC

- Viene inserito un fattore di struttura anche per lo stato limite di danno SLD  
 $q \leq 1.5$

Questa modifica si basa sulla considerazione che per terremoti corrispondenti ad un periodo di ritorno di 50 anni si riscontrano danni strutturali e non strutturali, anche se non troppo rilevanti. Si assume quindi che il danneggiamento strutturale possa corrispondere a  $q \leq 1.5$

# Spettri di risposta e di progetto: novità introdotte dalla Bozza NTC

- Viene inserito un fattore di struttura anche per lo stato limite di danno SLD  
 $q \leq 1.5$



# Azione sismica

## paragrafo 3.2 e 7.3

- Viene indicato di scegliere valori del fattore di comportamento  $q$  tali che sia  $S_{d(SLV)} \geq S_{d(SLD)}$

Spettro di risposta di progetto per gli stati limite di danno (SLD), di Salvaguardia della vita (SLV) e di prevenzione del collasso ... le ordinate ridotte ... con  $1/q$

Bozza NTC, punto 3.2.3.5

Qualora la domanda di resistenza allo SLV risulti inferiore a quella allo SLD, si può scegliere di progettare la capacità di resistenza sulla base della domanda allo SLD invece che allo SLV. In tal caso il fattore di comportamento allo SLV deve essere scelto in modo che le ordinate dello spettro di progetto per lo SLV siano non inferiori a quelle dello spettro di progetto per lo SLD

Bozza NTC, punto 7.3.1

# Azione sismica

## paragrafo 3.2 e 7.3

- Viene indicato di scegliere valori del fattore di comportamento  $q$  tali che sia  $S_{d(SLV)} \geq S_{d(SLD)}$

Spettro di risposta di progetto per gli stati limite di danno (SLD), di Salvaguardia (SLV) e di Estremo (SEV) ... le ordinate

Qualora ...

Ma allora si deve o si può ... ?

nto 3.2.3.5

Qualora la domanda di progetto sia inferiore a quella allo SLD, si può progettare la capacità di resistenza sulla base della domanda allo SLD invece che allo SLV. In tal caso il fattore di comportamento allo SLV deve essere scelto in modo che le ordinate dello spettro di progetto per lo SLV siano non inferiori a quelle dello spettro di progetto per lo SLD

Bozza NTC, punto 7.3.1

# Azione sismica

## paragrafo 3.2 e 7.3

- Viene indicato di scegliere valori del fattore di comportamento  $q$  tali che sia  $S_{d(SLV)} \geq S_{d(SLD)}$

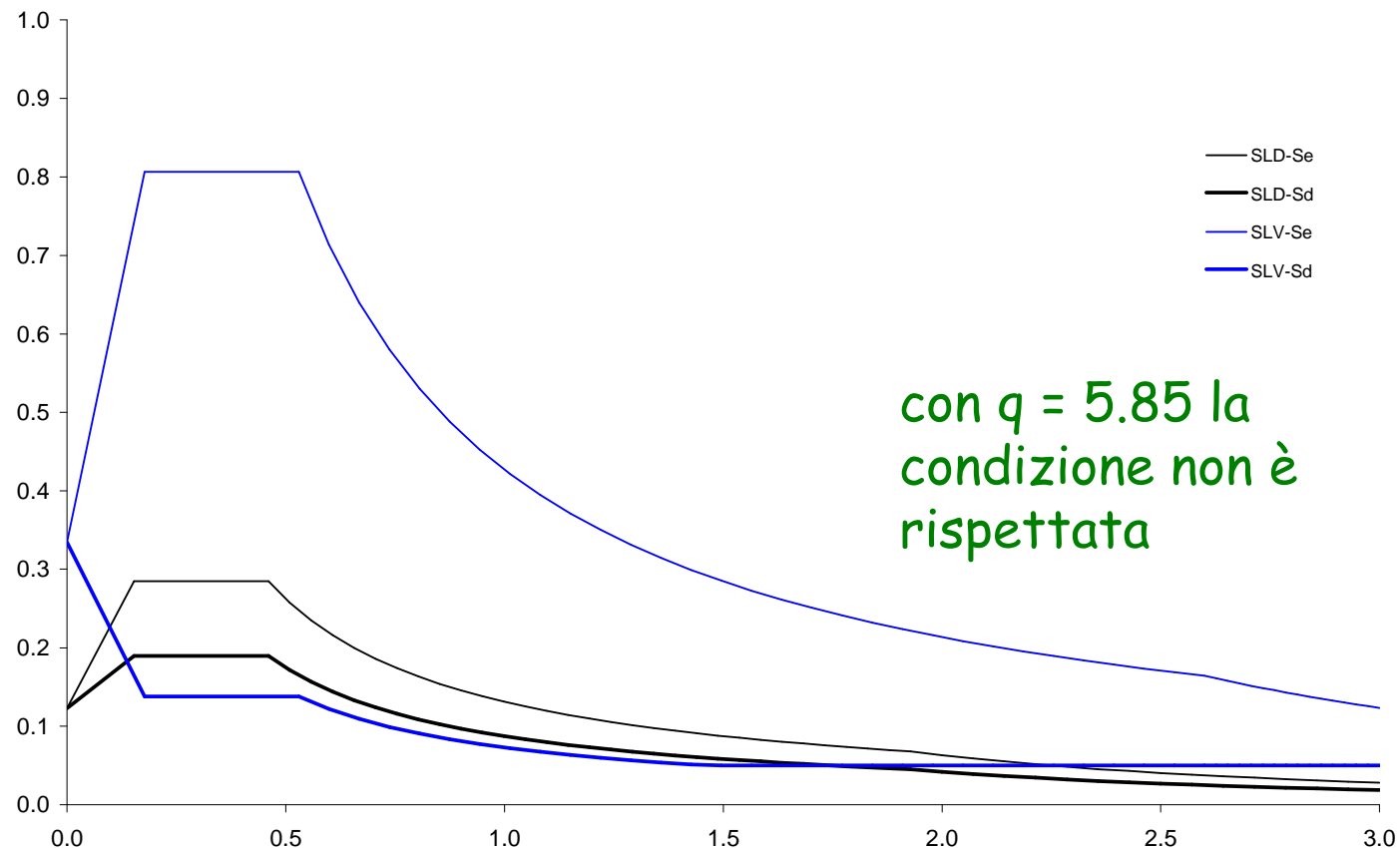
Questa modifica ha un senso, perché usare un fattore di comportamento tanto alto da avere ordinate dello spettro di progetto SLV maggiori di quelle di SLD vuol dire che per il terremoto relativo a SLD si ha un danneggiamento maggiore di quanto solitamente accettato

Ma questa prescrizione, se obbligatoria, impedisce quasi sempre di usare i fattori di comportamento tipici della classe di duttilità alta

# Azione sismica

## paragrafo 3.2 e 7.3

- Viene indicato di scegliere valori del fattore di comportamento  $q$  tali che sia  $S_{d(SLV)} \geq S_{d(SLD)}$

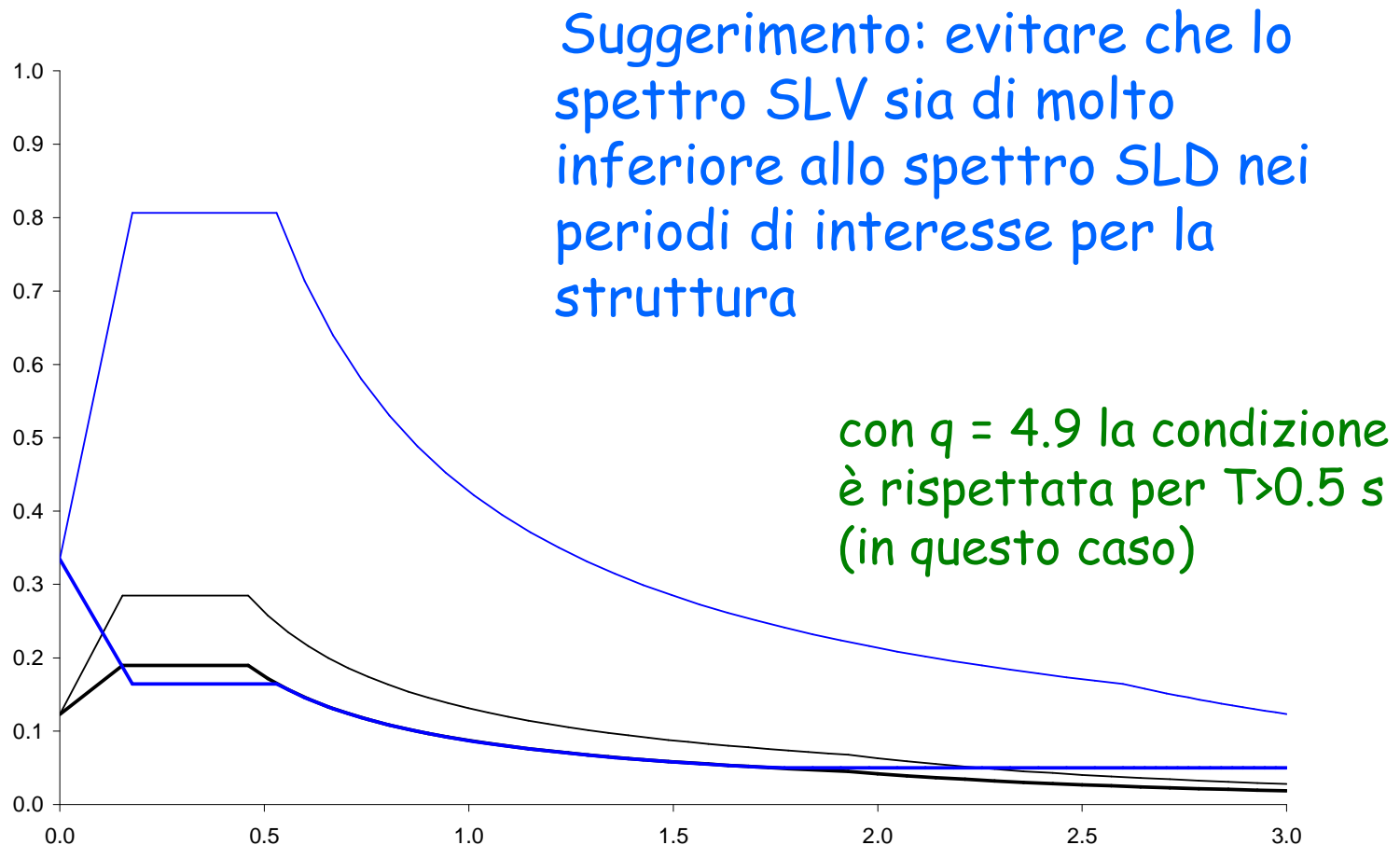




# Azione sismica

## paragrafo 3.2 e 7.3

- Viene indicato di scegliere valori del fattore di comportamento  $q$  tali che sia  $S_{d(SLV)} \geq S_{d(SLD)}$



Novità introdotte dal DM 28/2/2017

# Classe di rischio sismico degli edifici

- È definita una classificazione del rischio sismico degli edifici, analoga a quella relativa alle prestazioni energetiche
- La classificazione nasce ai fini degli interventi di miglioramento degli edifici esistenti, ma può riguardare anche le nuove costruzioni

# Classe di rischio sismico degli edifici

- La classe di rischio fa riferimento:
  - All'accelerazione per il quale l'edificio raggiunge lo Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV)  
Indice di sicurezza IS-V (o di rischio)
  - Al costo di riparazione, che dipende dalle varie intensità di sisma che possono colpire l'edificio  
Perdita Annuale Media attesa (PAM)
- Per ciascuno di questi due parametri si individua una classe di rischio sismico (da A<sup>+</sup> a G)
- La classe di rischio sismico dell'edificio è la peggiore tra le due classi

# Indice di sicurezza IS-V

## o Indice di rischio

- È un indicatore della sicurezza della struttura nei confronti dello Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV)  
Nota: è espresso in %
- È definito come rapporto tra
  - L'accelerazione  $a_g$  (o PGA, Peak Ground Acceleration) che la struttura può sopportare, determinata con analisi lineare e verifiche SLU delle sezioni, oppure con analisi non lineare
  - L'accelerazione prevista dalla norma per la struttura nel sito in cui essa è ubicata, per SLV

Per una costruzione a norma si ha quindi  $IS-V \geq 100\%$

# Classe di rischio IS-V

- È funzione dell'indice di sicurezza IS-V

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

Un edificio progettato secondo la norma sismica può essere di classe IS-V A oppure A<sup>+</sup>

# Perdita Annuale Media attesa PAM

- È un indicatore dei costi di riparazione della struttura dopo un terremoto      Nota: è espresso in %
- È definito come rapporto tra
  - Perdite economiche associate ai danni degli elementi strutturali e non strutturali
  - Costo di ricostruzione dell'edificio (escluso il suo contenuto)
- È calcolato assegnando in maniera convenzionale un costo di ricostruzione a ciascuno stato limite

# Perdita Annuale Media attesa PAM

- Stati limite e costo di ricostruzione CR

Stato limite		$T_R$	CR
SLR	Stato Limite di Ricostruzione	come SLC	100%
SLC	Stato Limite di Collasso	da calcolare <sup>(1)</sup>	80%
SLV	Stato Limite di salvaguardia Vita	da calcolare	50%
SLD	Stato Limite di Danno	da calcolare <sup>(2)</sup>	15%
SLO	Stato Limite di Operatività	da calcolare <sup>(3)</sup>	7%
SLID	Stato Limite di Inizio Danno	10 anni	0%

Note:

(1) Può essere valutato a partire da quello per SLV

(2) Non superiore a quello per SLV

(3) Può essere valutato a partire da quello per SLD



# Perdita Annuale Media attesa

## PAM

- Per ciascuno stato limite SL è possibile calcolare il valore di  $a_g$  (PGA) per il quale lo si raggiunge
- Nota la PGA è possibile determinare a quale periodo di ritorno (e a quale frequenza media annua di superamento) corrisponde questa PGA nel sito in cui è posto l'edificio

Convenzionalmente, se  $PGA_D$  è il valore richiesto dalla norma per lo SL (con periodo di ritorno  $T_{RD}$ ) e  $PGA_C$  è il valore per il quale l'edificio raggiunge lo SL, ad esso corrisponde un  $T_{RC}$

$$T_{RC} = T_{RD} \left( \frac{PGA_C}{PGA_D} \right)^\eta \quad \text{con } \eta = 1/0.41$$

ma è più corretto valutare espressamente l'esponente  $\eta$

# Perdita Annuale Media attesa

## Esempio: edificio esattamente a norma

- Esempio:  
dati del sito (D = domanda)

	Tr (D)	$\lambda$ (D)	ag (D)
SLO	30	3.333%	0.072
SLD	50	2.000%	0.089
SLV	475	0.211%	0.206
SLC	975	0.103%	0.281

- L'analisi fornisce valori uguali  
(C = capacità)

	ag (C)	Tr (C)	$\lambda$ (C)
SLO			
SLD	0.089	50.0	2.000%
SLV	0.206	475.0	0.211%
SLC			

- Si ha per SLV

$$T_{RC} = 475$$

$$\lambda = \frac{1}{T_R} = 0.211\%$$

e per SLD

$$T_{RC} = 50$$

$$\lambda = \frac{1}{T_R} = 2.000\%$$

# Perdita Annuale Media attesa

Esempio: edificio esattamente a norma

- I valori della frequenza media annua di superamento per SLO e SLC possono essere ricavati da quelli calcolati per SLD e SLV

$$\lambda_{SLO} = 1.67 \lambda_{SLD}$$

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

Nota:

$$1.67 = 50/30, 0.49 = 475/975$$

	ag (C)	Tr (C)	$\lambda$ (C)
SLO		29.9	3.340%
SLD	0.089	50.0	2.000%
SLV	0.206	475.0	0.211%
SLC		969.4	0.103%

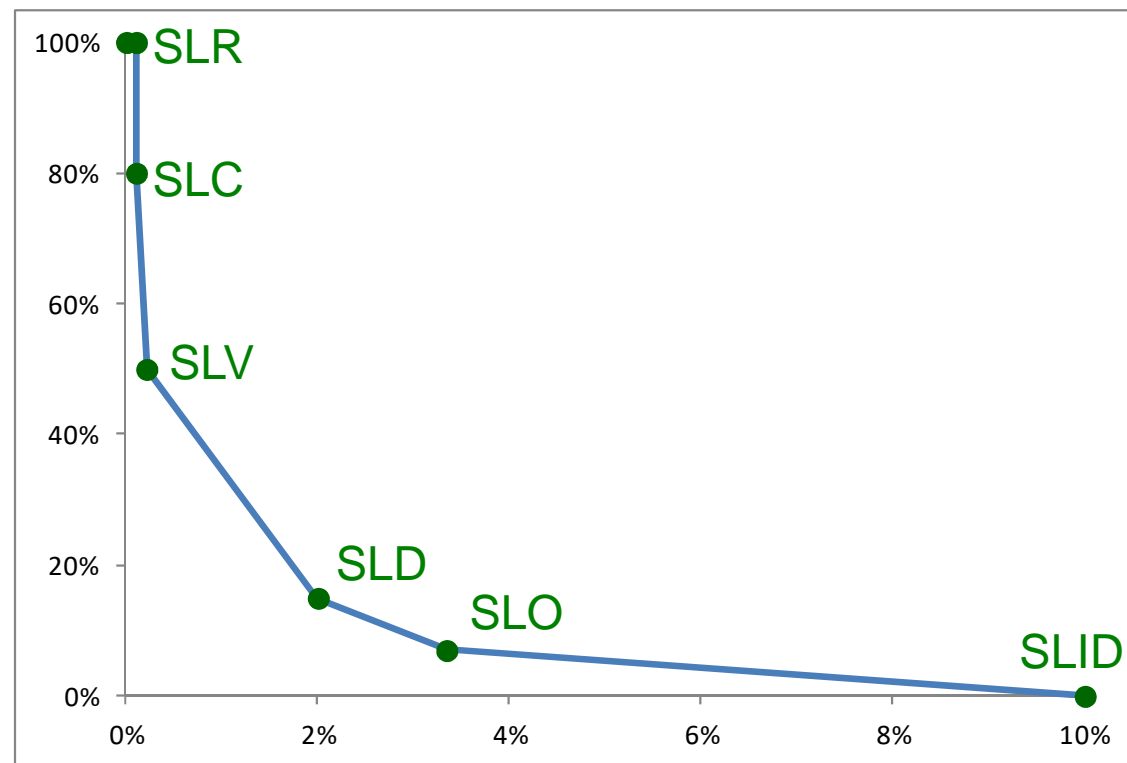
- I valori per SLID e SLR sono assegnati in maniera convenzionale

	ag (C)	Tr (C)	$\lambda$ (C)
SLID		10	10.000%
SLO		29.9	3.340%
SLD	0.089	50.0	2.000%
SLV	0.206	475.0	0.211%
SLC		969.4	0.103%
SLR		969.4	0.103%

# Perdita Annuale Media attesa

Esempio: edificio esattamente a norma

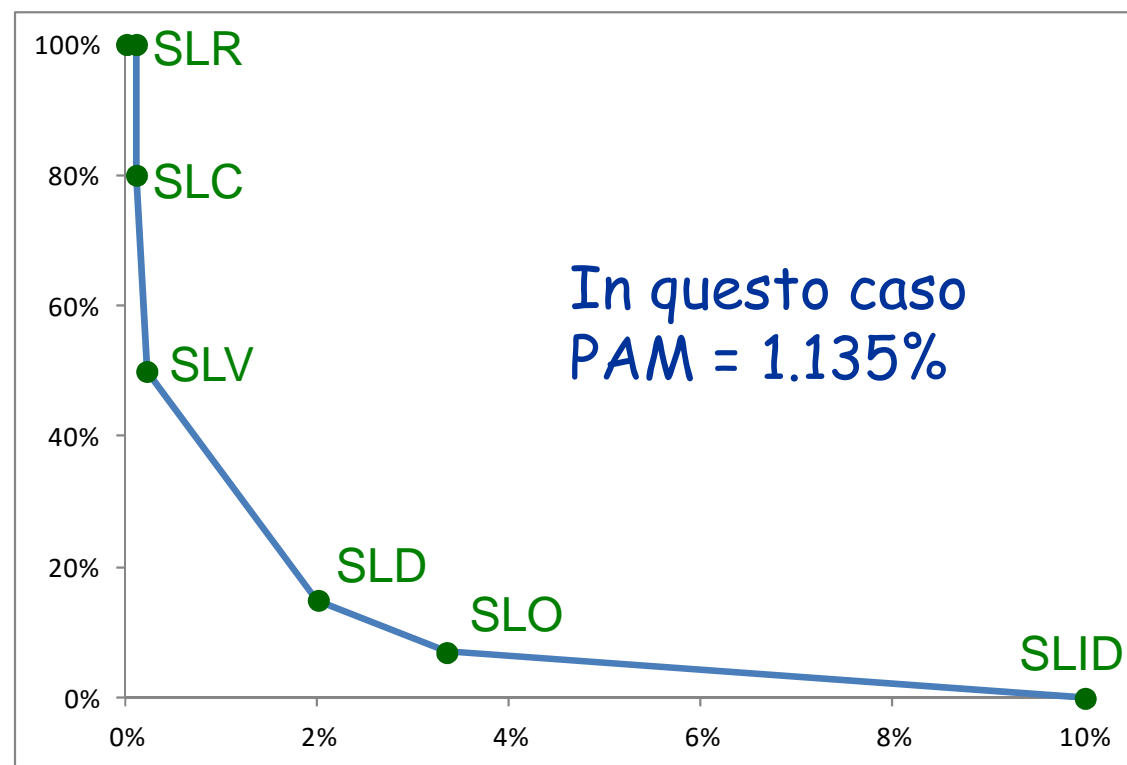
- È possibile diagrammare il costo di riparazione in funzione della frequenza media annua di superamento, assumendo un andamento lineare tra gli SL



# Perdita Annuale Media attesa

Esempio: edificio esattamente a norma

- La Perdita Annuale Media attesa è l'area sottesa dalla curva, ovvero l'integrale  $\int CR d\lambda$



# Classe di rischio PAM

- È funzione della PAM

PAM	Classe PAM
$PAM \leq 0.5\%$	$A^+_{PAM}$
$0.5\% < PAM \leq 1.0\%$	$A_{PAM}$
$1.0\% < PAM \leq 1.5\%$	$B_{PAM}$
$1.5\% < PAM \leq 2.5\%$	$C_{PAM}$
$2.5\% < PAM \leq 3.5\%$	$D_{PAM}$
$3.5\% < PAM \leq 4.5\%$	$E_{PAM}$
$4.5\% < PAM \leq 7.5\%$	$F_{PAM}$
$7.5 < PAM$	$G_{PAM}$

# Classe di rischio

Esempio: edificio esattamente a norma

- Nell'esempio:  
 $PAM = 1.135\%$       classe  $PAM = B$
- Ma contemporaneamente  
 $PGA_C = 0.206 \text{ g}$        $PGA_D = 0.206 \text{ g}$   
Indice di sicurezza  $IS-V = 100.0\%$   
classe di rischio  $IS-V = A$
- La classe di rischio della struttura è la peggiore tra le due. Nell'esempio, l'edificio ha classe di rischio B

# Perdita Annuale Media attesa

## Esempio: edificio un po' migliore

- Esempio:  
dati del sito (D = domanda)

	Tr (D)	$\lambda$ (D)	ag (D)
SLO	30	3.333%	0.072
SLD	50	2.000%	0.089
SLV	475	0.211%	0.206
SLC	975	0.103%	0.281

- Valori un po' migliori  
(C = capacità)

	ag (C)	Tr (C)	$\lambda$ (C)
SLO			
SLD	0.110	83.8	1.193%
SLV	0.210	497.8	0.201%
SLC			

- Si ha per SLV

$$T_{RC} = 497.8 \quad \lambda = \frac{1}{T_R} = 0.201\%$$

e per SLD

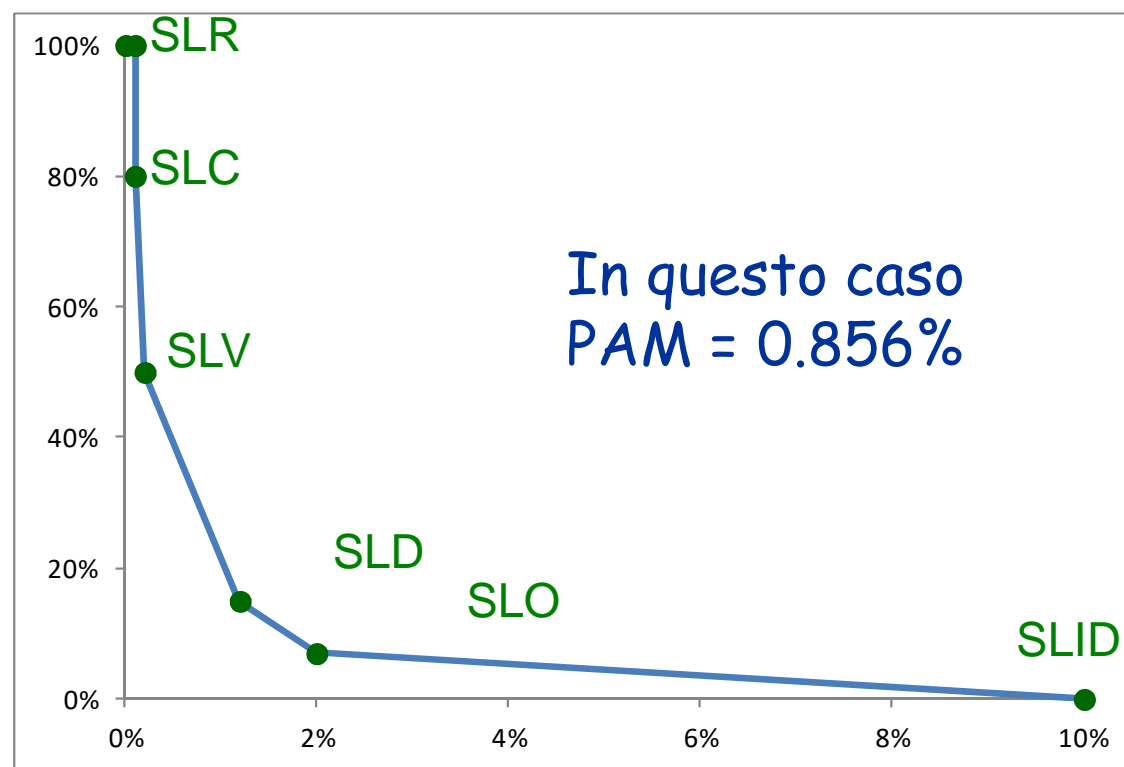
$$T_{RC} = 83.8 \quad \lambda = \frac{1}{T_R} = 1.193\%$$



# Perdita Annuale Media attesa

Esempio: edificio un po' migliore

- La Perdita Annuale Media attesa è l'area sottesa dalla curva, ovvero l'integrale  $\int CR d\lambda$



# Classe di rischio

Esempio: edificio un po' migliore

- Nell'esempio:

$PAM = 0.856\%$     classe  $PAM = A$

- Ma contemporaneamente

$PGA_C = 0.210 \text{ g}$        $PGA_D = 0.206 \text{ g}$

Indice di sicurezza  $IS-V = 101.9\%$

classe di rischio  $IS-V = A^+$

- La classe di rischio della struttura è la peggiore tra le due. Nell'esempio, l'edificio ha classe di rischio  $A$
- Ottenere un edificio di classe  $A^+$  è possibile, ma non banale