

Corso di aggiornamento

Evoluzione della normativa: quali effetti su progetto e verifica di edifici in cemento armato?

Rimini, 27 febbraio 2018

Imola, 28 febbraio 2018

Aurelio Ghersi

3 - Classe di rischio sismico

DM 28/2/2017

Classificazione del rischio sismico degli edifici

- È definita una classificazione del rischio sismico degli edifici
- Analogamente a quella relativa alle prestazioni energetiche, le classi vanno da A^+ a G
- 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
 - Al costo di riparazione, che dipende dalle varie intensità di sisma che possono colpire l'edificio
Perdita Annuale Media attesa (PAM)

DM 28/2/2017

Classificazione del 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
 - Al costo di riparazione, che dipende dalle varie intensità di sisma che possono colpire l'edificio
Perdita Annuale Media attesa (PAM)
- I due aspetti vengono valutati separatamente, determinando per ciascuno dei due una classe di rischio sismico
- La classe di rischio sismico dell'edificio è la peggiore tra le due

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
 - **Capacità:** L'accelerazione a_g (o PGA, Peak Ground Acceleration) che la struttura può sopportare
 - **Domanda:** L'accelerazione prevista dalla norma per la struttura nel sito in cui essa è ubicata, per SLV

Indice di sicurezza IS-V

o Indice di rischio

- La **capacità** dipende dalle caratteristiche (rigidezza, resistenza, duttilità, ecc.) dell'edificio
- La **domanda** dipende dal sito, ma anche dalla vita di riferimento V_R per l'azione sismica e quindi dalla classe dell'edificio
- Il rapporto domanda/capacità può essere determinata
 - con analisi lineare:
effettuando una verifiche allo SLU delle sezioni
 - con analisi non lineare:
effettuando un controllo delle deformazioni plastiche

Indice di sicurezza IS-V

Analisi lineari

Quando si utilizzano analisi lineari:

- È necessario innanzitutto definire il fattore di struttura q
 - Controllare se la struttura rispetta i criteri di duttilità locale (quantità minima di staffe, ecc.) e duttilità globale (gerarchia delle resistenze), per classe di duttilità A oppure B
 - Se li rispetta, la normativa fornisce il fattore di comportamento q corrispondente
Esempio: classe A, regolare in pianta e in altezza, struttura a telaio $\rightarrow q = 5.85$

Indice di sicurezza IS-V

Analisi lineari

Quando si utilizzano analisi lineari:

- È necessario innanzitutto definire il fattore di comportamento q
 - Una volta individuato il fattore di comportamento di normativa, si deve verificare la struttura con accelerazioni ridotte (rispetto allo spettro elastico) del fattore q (massimo) previsto dalla normativa

Nota: anche se si esamina una nuova struttura progettata con un fattore di comportamento q più basso del valore di normativa, la verifica deve essere fatta confrontando la capacità (resistenza) con la domanda (sollecitazione) ottenuta con il q di normativa

Indice di sicurezza IS-V

Analisi lineari

- Se la struttura rispetta duttilità locale e globale:
verifica di resistenza con fattore di comportamento q
 - Per flessione travi e sezione alla base di pilastri
(il resto è verificato da gerarchia resistenze)

Esempio: sito con $a_g(\text{SLV}) = 0.250 \text{ g}$

carico vert. $M_{\text{Ed},q} = 80 \text{ kNm}$

sisma $M_{\text{Ed},s} = 140 \text{ kNm}$ (con $q = 5.85$)

resistenza $M_{\text{Rd}} = 245 \text{ kNm}$

$$\frac{M_{\text{Rd}} - M_{\text{Ed},q}}{M_{\text{Ed},s}} = \frac{245 - 80}{140} = 1.18 \quad \text{IS-V} = 118\%$$

La sezione può resistere ad un sisma 1.18 volte quello previsto (quindi ad $a_g = 0.295 \text{ g}$)

Ovviamente si considera il minimo tra tutte le sezioni

Indice di sicurezza IS-V

Analisi lineari

- Se la struttura rispetta duttilità locale e globale:
verifica di resistenza con fattore di comportamento q
 - Per flessione travi e sezione alla base di pilastri
(il resto è verificato da gerarchia resistenze)

Esempio: sito con $a_g(\text{SLV}) = 0.250 \text{ g}$

carico vert. $M_{\text{Ed},q} = 80 \text{ kNm}$

sisma $M_{\text{Ed},s} = 140 \text{ kNm}$ (con $q = 5.85$)

resistenza $M_{\text{Rd}} = 195 \text{ kNm}$

$$\frac{M_{\text{Rd}} - M_{\text{Ed},q}}{M_{\text{Ed},s}} = \frac{195 - 80}{140} = 0.82 \quad \text{IS-V} = 82\%$$

La sezione può resistere ad un sisma 0.82 volte quello previsto (quindi ad $a_g = 0.205 \text{ g}$)

Ovviamente si considera il minimo tra tutte le sezioni

Indice di sicurezza IS-V

Analisi lineari

- Se la struttura non rispetta i criteri di duttilità locale e globale occorre scegliere un fattore di comportamento q più basso
- La normativa suggerisce di usare un q compreso tra 1.5 e 3, ma occorre motivare la scelta
 - Esempio: struttura a telaio regolare in pianta e in altezza, che non rispetta in pieno la gerarchia delle resistenze ma ha comunque pilastri in molti casi più resistenti delle travi $\rightarrow q = 3$

Indice di sicurezza IS-V

Analisi lineari

- Se la struttura non rispetta duttilità locale e globale: verifica di resistenza con q più basso
 - Per tutte le sezioni
(perché non è garantita la gerarchia resistenze)

Esempio: sito con $a_g(\text{SLV}) = 0.250 g$

carico vert. $M_{\text{Ed},q} = 80 \text{ kNm}$

sisma $M_{\text{Ed},s} = 273 \text{ kNm}$ (con $q = 3$)

resistenza $M_{\text{Rd}} = 195 \text{ kNm}$

$$\frac{M_{\text{Rd}} - M_{\text{Ed},q}}{M_{\text{Ed},s}} = \frac{195 - 80}{273} = 0.42 \quad \text{IS-V} = 42\%$$

La sezione può resistere ad un sisma 0.42 volte quello previsto (quindi ad $a_g = 0.105 g$)

Ovviamente si considera il minimo tra tutte le sezioni

Indice di sicurezza IS-V

Analisi non lineari

- Valutazione più complessa, che non può essere sintetizzata in poche slide
- Ricordarsi che, se la resistenza reale delle armature non è ben nota da indagini svolte occorre tener conto della possibile sovraresistenza (in maniera analoga a quanto si fa con gerarchia delle resistenze)

Classe di rischio IS-V

- È funzione dell'indice di sicurezza IS-V

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

Classe di rischio IS-V

esempi

- È funzione dell'indice di sicurezza IS-V

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

- Esempio 1 - $\text{IS_V} = 118\% \rightarrow \text{classe IS_V} = A^+$
- Esempio 2 - $\text{IS_V} = 82\% \rightarrow \text{classe IS_V} = A$
- Esempio 3 - $\text{IS_V} = 42\% \rightarrow \text{classe IS_V} = D$

Perdita Annuale Media attesa

PAM

- È un indicatore dei costi di riparazione della struttura dopo un terremoto (espresso in % del costo di ricostruzione)
- È definito come rapporto tra
 - Perdite economiche associate ai danni degli elementi strutturali e non strutturali (come valore medio per anno)
 - Costo di ricostruzione dell'edificio (escluso il suo contenuto)

Perdita Annuale Media attesa

PAM

- È calcolato assegnando in maniera convenzionale a ciascuno stato limite un costo di riparazione (come percentuale del costo di ricostruzione)

Ad esempio, si ritiene che:

- Il raggiungimento dello stato limite SLV comporti un costo di riparazione pari al 50% del costo di ricostruzione
- Il raggiungimento dello stato limite SLD comporti un costo di riparazione pari al 15% del costo di ricostruzione

Perdita Annuale Media attesa

raggiungimento degli stati limite

- Occorre determinare il valore dell'accelerazione a_g (PGA) che porta al raggiungimento degli stati limite SLV e SLD
ma anche (direttamente o indirettamente) al raggiungimento di SLC e SLO

Perdita Annuale Media attesa raggiungimento degli stati limite

Raggiungimento dello stato limite SLV

- Dello stato limite SLV si è già detto

Si sono mostrati tre esempi, per un sito con $a_g(\text{SLV}) = 0.250 \text{ g}$:

- Esempio 1 - $a_g(\text{SLV}) = 0.295 \text{ g}$
- Esempio 2 - $a_g(\text{SLV}) = 0.205 \text{ g}$
- Esempio 3 - $a_g(\text{SLV}) = 0.105 \text{ g}$

Perdita Annuale Media attesa raggiungimento degli stati limite

Raggiungimento dello stato limite SLD

- Si usa un'analisi lineare, facendo riferimento allo spettro di risposta elastico per SLD
- Si effettua un controllo di spostamenti e si può determinare con una proporzione il valore di a_g che porta al limite
 - Esempio: sito con $a_g(\text{SLD}) = 0.082 \text{ g}$
Spostamento limite = 16 mm
Spostamento di calcolo = 6.76 mm
Si raggiunge SLD per $a_g = 0.082 \times 16/6.76 = 0.194 \text{ g}$

Nota: Se per questa accelerazione la struttura è abbondantemente in campo plastico occorrerebbe una analisi non lineare

Perdita Annuale Media attesa

raggiungimento degli stati limite

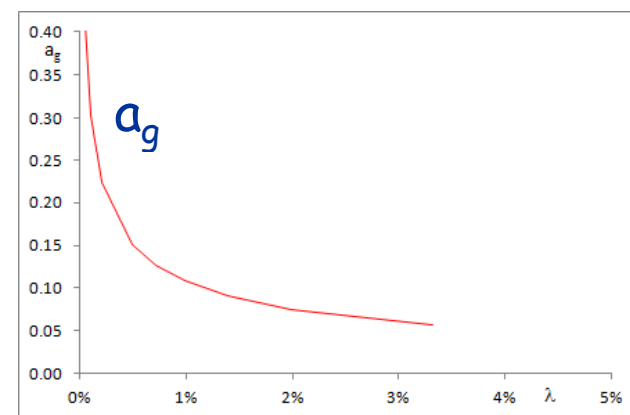
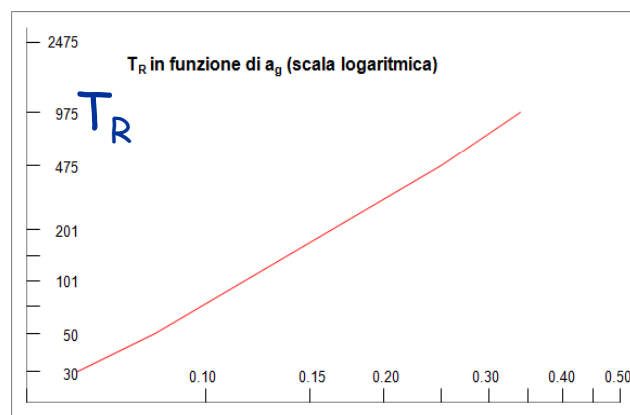
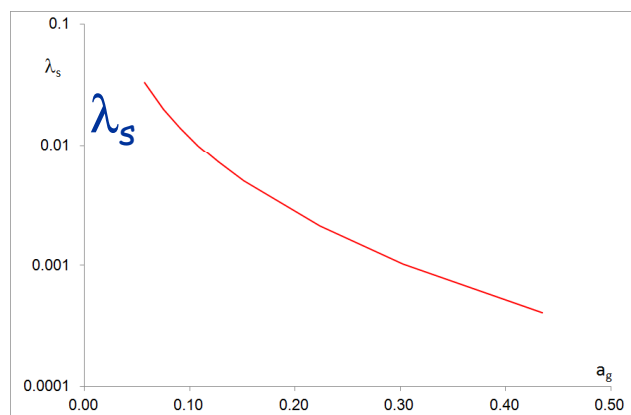
- Una volta determinato il valore dell'accelerazione a_g (PGA) che porta al raggiungimento degli stati limite SLV e SLD (ed anche SLC e SLO) si deve determinare il periodo di ritorno corrispondente a quelle accelerazioni (e quindi al raggiungimento degli stati limite)

Perdita Annuale Media attesa

periodo di ritorno

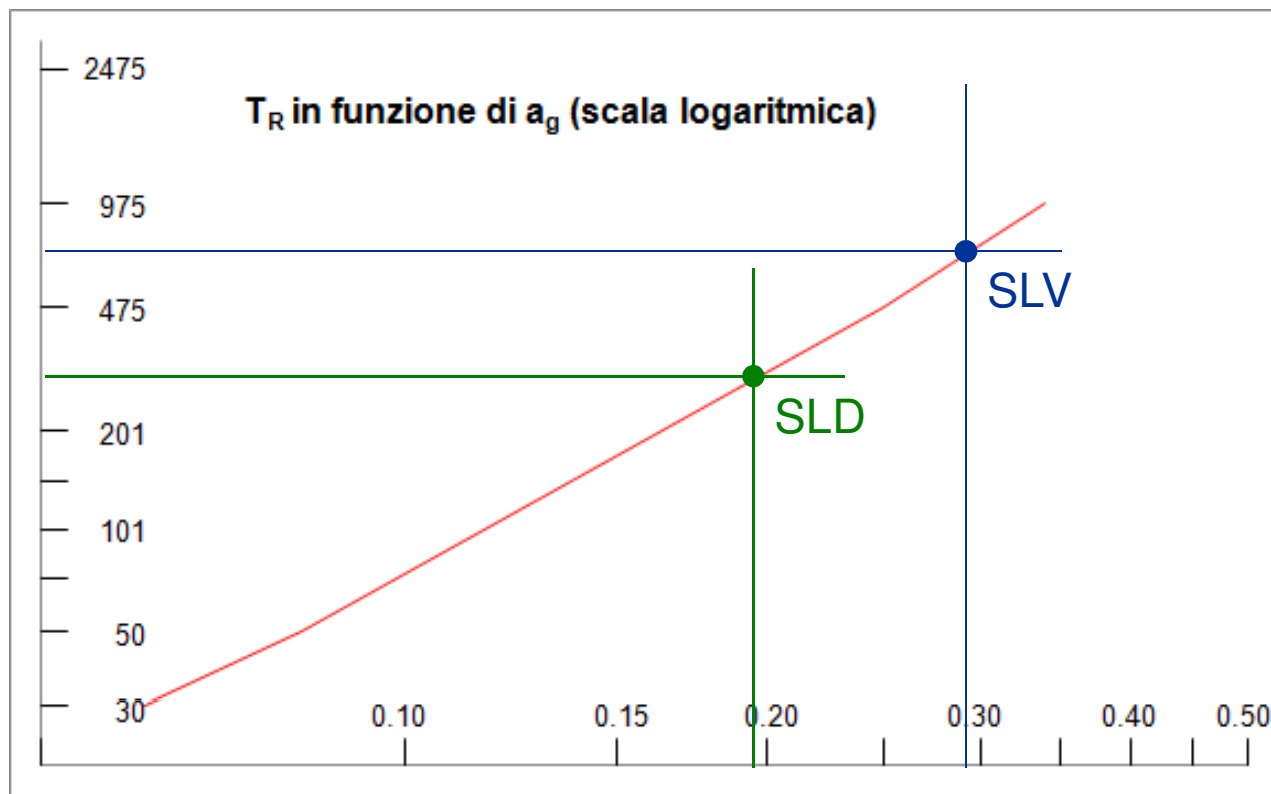
Corrispondenza tra accelerazione che porta al raggiungimento di uno stato limite ed il relativo periodo di ritorno T_R (e possibilità media di occorrenza λ_s)

- Si deve fare riferimento alla curva di pericolosità, o alla relazione tra accelerazione e periodo di ritorno (o accelerazione e possibilità media di occorrenza)



Per i calcoli conviene questa, che è quasi lineare

Perdita Annuale Media attesa periodo di ritorno



interpolazione

$$T_R = T_{R,2} \left(\frac{a_g}{a_{g,2}} \right)^\eta$$

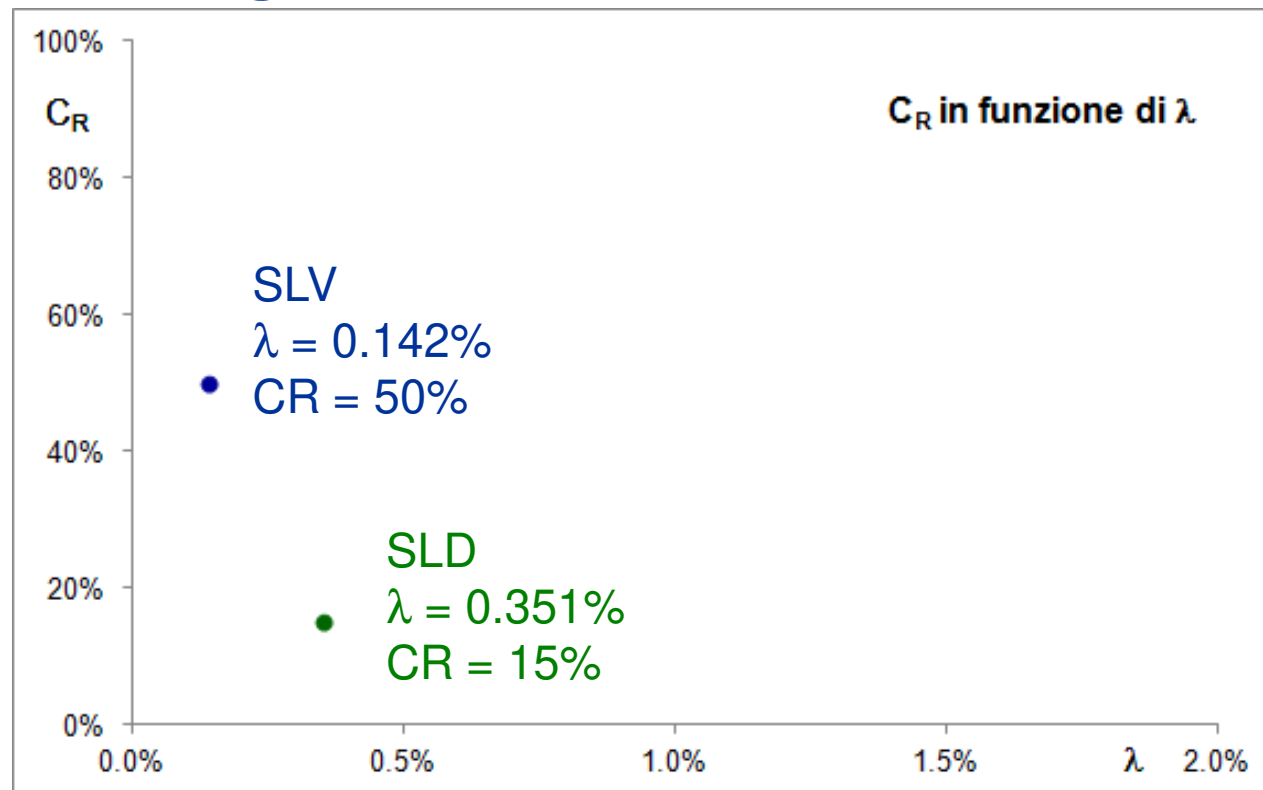
Struttura che raggiunge SLV per $a_g = 0.295$ g (esempio 1)
 $T_R = 702$ anni, $\lambda = 1/T_R = 0.142\%$

Struttura che raggiunge SLD per $a_g = 0.194$ g
 $T_R = 285$ anni, $\lambda = 1/T_R = 0.351\%$

Perdita Annuale Media attesa

possibilità media di occorrenza e costo riparazione

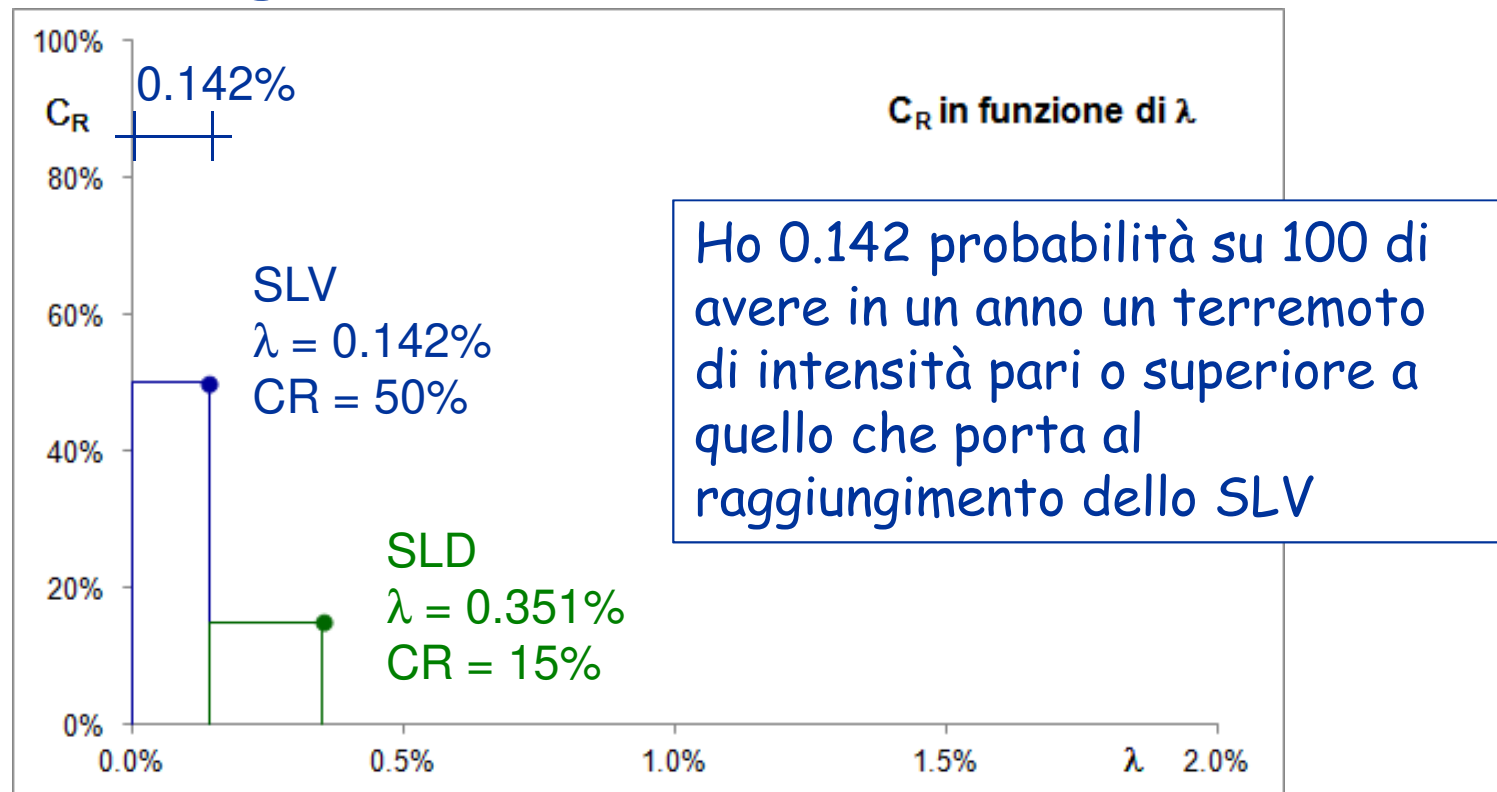
- Che implicazioni ha il conoscere la possibilità media di occorrenza di un terremoto che porta ad un determinato stato limite (e del costo di riparazione che ne consegue)?



Perdita Annuale Media attesa

possibilità media di occorrenza e costo riparazione

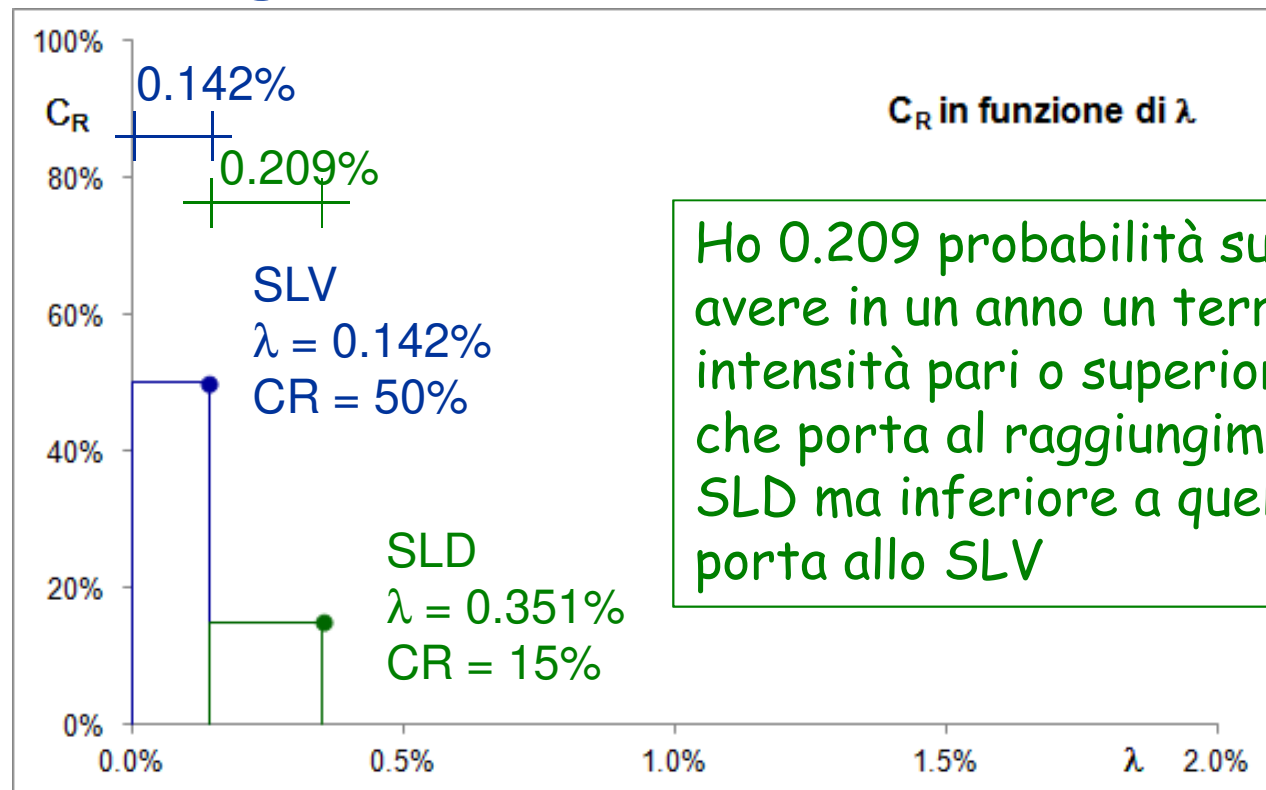
- Che implicazioni ha il conoscere la possibilità media di occorrenza di un terremoto che porta ad un determinato stato limite (e del costo di riparazione che ne consegue)?



Perdita Annuale Media attesa

possibilità media di occorrenza e costo riparazione

- Che implicazioni ha il conoscere la possibilità media di occorrenza di un terremoto che porta ad un determinato stato limite (e del costo di riparazione che ne consegue)?



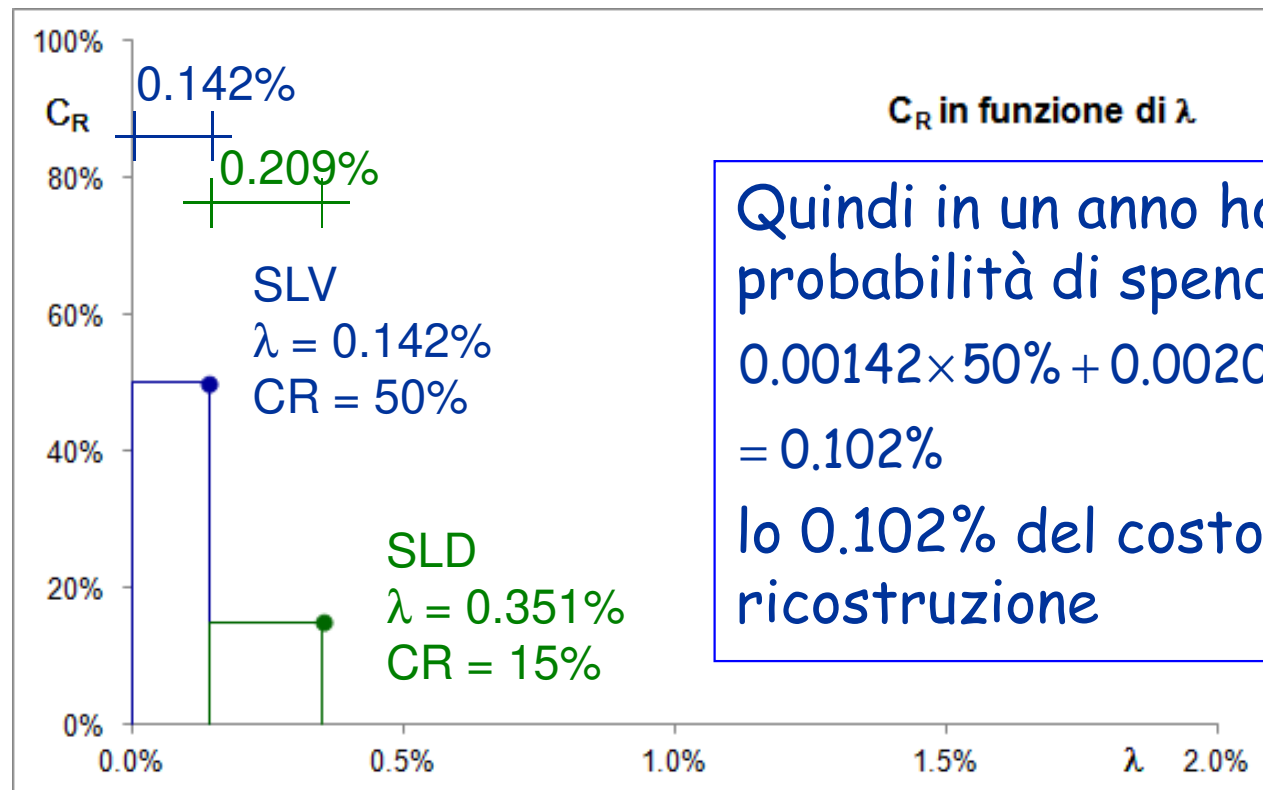
Ho 0.209 probabilità su 100 di avere in un anno un terremoto di intensità pari o superiore a quello che porta al raggiungimento dello SLD ma inferiore a quello che porta allo SLV

Perdita Annuale Media attesa

possibilità media di occorrenza e costo riparazione

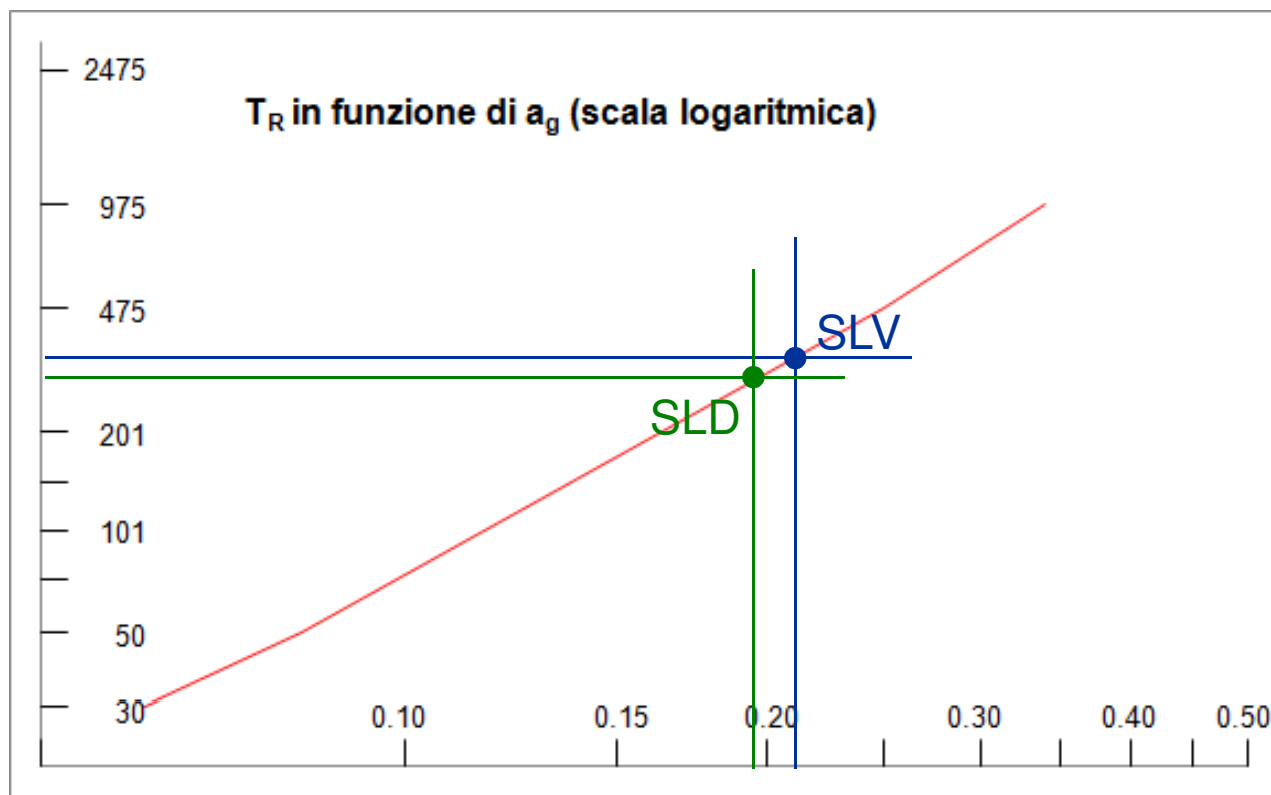
In un anno:

- Ho 0.142% di probabilità di avere un costo di riparazione pari al 50% del costo di ricostruzione
- Ho 0.209% di probabilità di avere un costo di riparazione pari al 15% del costo di ricostruzione
- Ho 99.649% di probabilità di non avere alcun costo di riparazione



Quindi in un anno ho la probabilità di spendere
 $0.00142 \times 50\% + 0.00209 \times 15\% =$
 $= 0.102\%$
Io 0.102% del costo di ricostruzione

Perdita Annuale Media attesa periodo di ritorno



interpolazione

$$T_R = T_{R,2} \left(\frac{a_g}{a_{g,2}} \right)^\eta$$

Struttura che raggiunge SLV per $a_g = 0.205$ g (esempio 2)

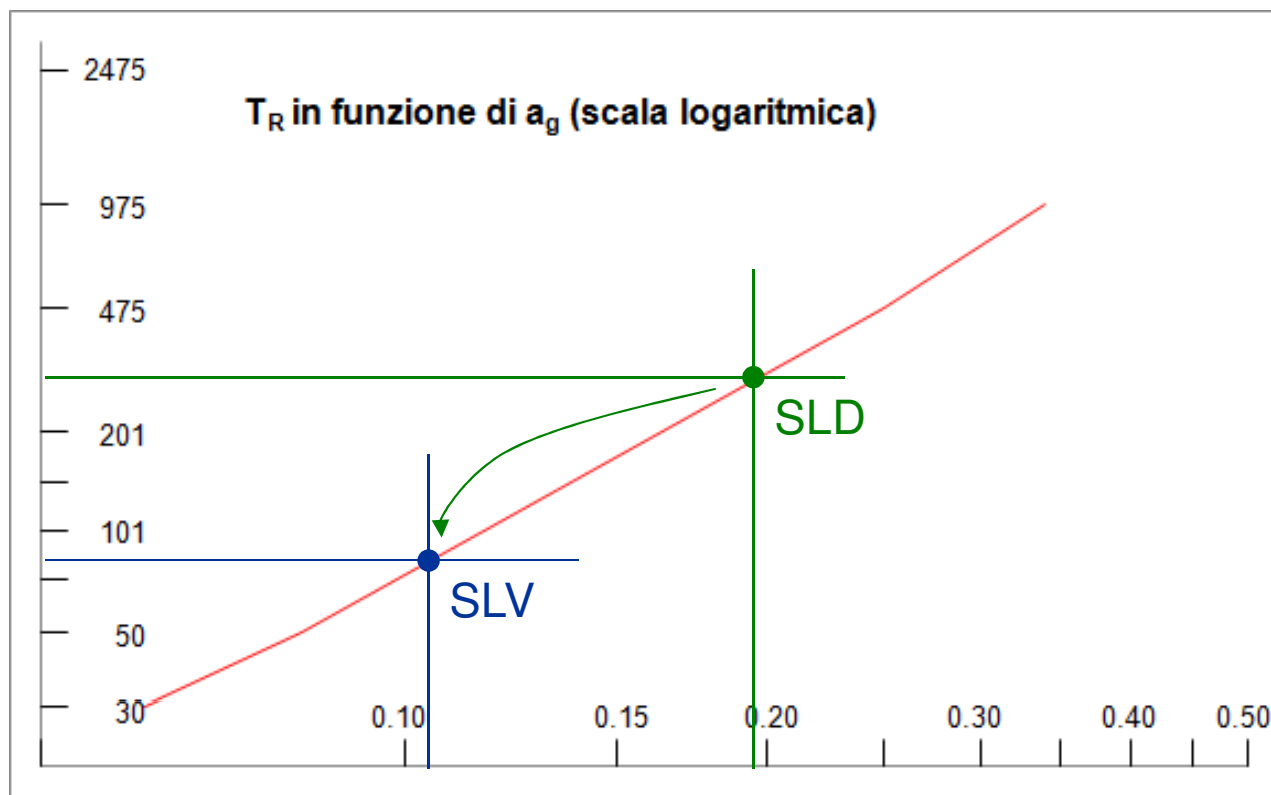
$T_R = 318$ anni, $\lambda = 1/T_R = 0.314\%$

Struttura che raggiunge SLD per $a_g = 0.194$ g

$T_R = 285$ anni, $\lambda = 1/T_R = 0.351\%$

Perdita Annuale Media attesa periodo di ritorno

In questo caso
SLV è più
condizionante



interpolazione

$$T_R = T_{R,2} \left(\frac{a_g}{a_{g,2}} \right)^\eta$$

Struttura che raggiunge SLV per $a_g = 0.105$ g (esempio 3)
 $T_R = 82$ anni, $\lambda = 1/T_R = 1.214\%$

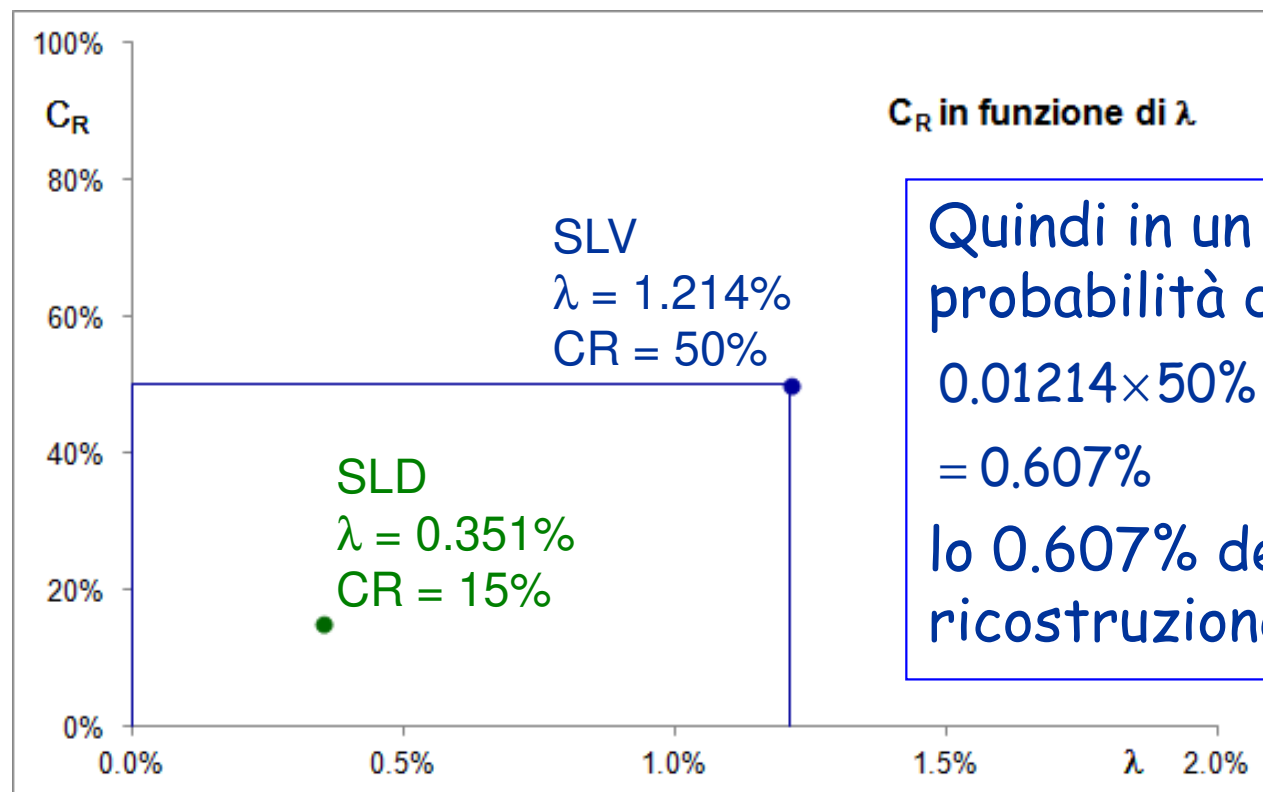
Struttura che raggiunge SLD per $a_g = 0.194$ g
 $T_R = 285$ anni, $\lambda = 1/T_R = 0.351\%$

Perdita Annuale Media attesa

possibilità media di occorrenza e costo riparazione

In questo caso, in un anno:

- Ho 1.214% di probabilità di avere un costo di riparazione pari al 50% del costo di ricostruzione
- SLD è già incluso in SLV
- Ho 98.786% di probabilità di non avere alcun costo di riparazione

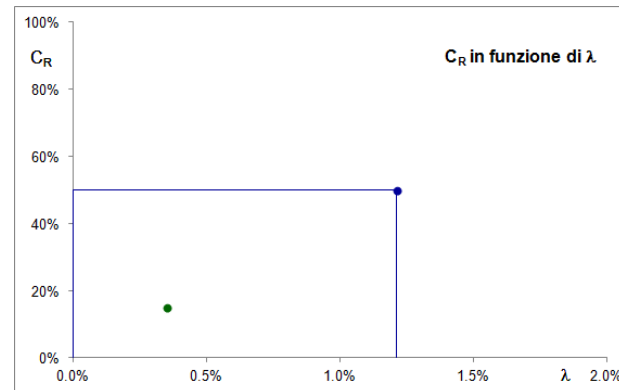
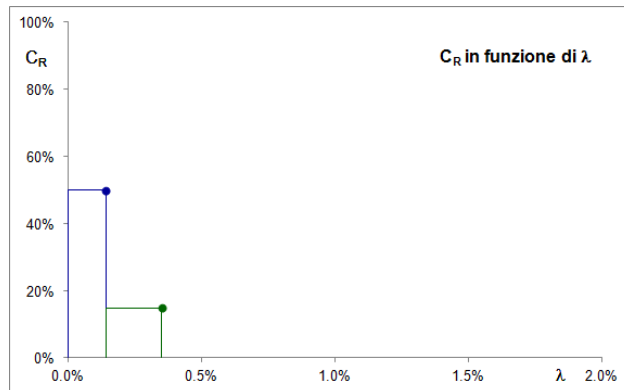


Quindi in un anno ho la probabilità di spendere
 $0.01214 \times 50\% =$
 $= 0.607\%$
Io 0.607% del costo di ricostruzione

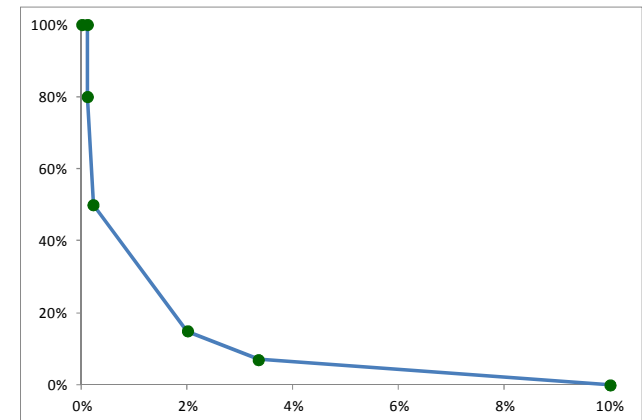
Perdita Annuale Media attesa

possibilità media di occorrenza e costo riparazione

- In realtà il calcolo del costo medio annuo di riparazione (PAM) è più complesso, perché il danneggiamento varia progressivamente man mano che cresce l'intensità del sisma



Più punti
Area sottesa dalla spezzata



Perdita Annuale Media attesa

PAM

Bisogna considerare anche:

- Il raggiungimento dello stato limite SLC
 - si assume che questo comporti un costo di riparazione pari all'80% del costo di ricostruzione
 - Se non si è fatta una verifica per lo stato limite SLC si assume che il periodo di ritorno dell'evento che porta al suo raggiungimento sia i 975/475 (2.05) di quello che porta a SLV
- Esempio:
 $T_R(SLV) = 702 \text{ anni} \rightarrow T_R(SLC) = 1441 \text{ anni}$
 $\lambda(SLC) = 0.069\%$

Perdita Annuale Media attesa PAM

Bisogna considerare anche:

- Il raggiungimento dello stato limite SLO
 - si assume che questo comporti un costo di riparazione pari al 7% del costo di ricostruzione
 - Se non si è fatta una verifica per lo stato limite SLO si assume che il periodo di ritorno dell'evento che porta al suo raggiungimento sia i 30/50 (0.60) di quello che porta a SLD
- Esempio:
 $T_R(\text{SLD}) = 285 \text{ anni} \rightarrow T_R(\text{SLO}) = 171 \text{ anni}$
 $\lambda(\text{SLO}) = 0.586\%$

Perdita Annuale Media attesa PAM

Si considerano due ulteriori stati limite:

- Stato limite di ricostruzione SLR
 - Corrisponde ad un danneggiamento tale che è necessario ricostruir l'edificio. Il costo di riparazione è quindi il 100% di CR
 - Il periodo di ritorno è assunto uguale a quello di SLC
- Stato limite di inizio danno SLID
 - Corrisponde al verificarsi del primo danno, con costo di riparazione ancora nullo
 - Il periodo di ritorno è assunto uguale a 10 anni

Nota: si ipotizza che nessuno degli altri stati limite abbia periodo inferiore a quello di SLID

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 ⁽¹⁾	80%
SLV	Stato Limite di salvaguardia Vita	da calcolare	50%
SLD	Stato Limite di Danno	da calcolare ⁽²⁾	15%
SLO	Stato Limite di Operatività	da calcolare ⁽³⁾	7%
SLID	Stato Limite di Inizio Danno	10 anni	0%

Note:

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

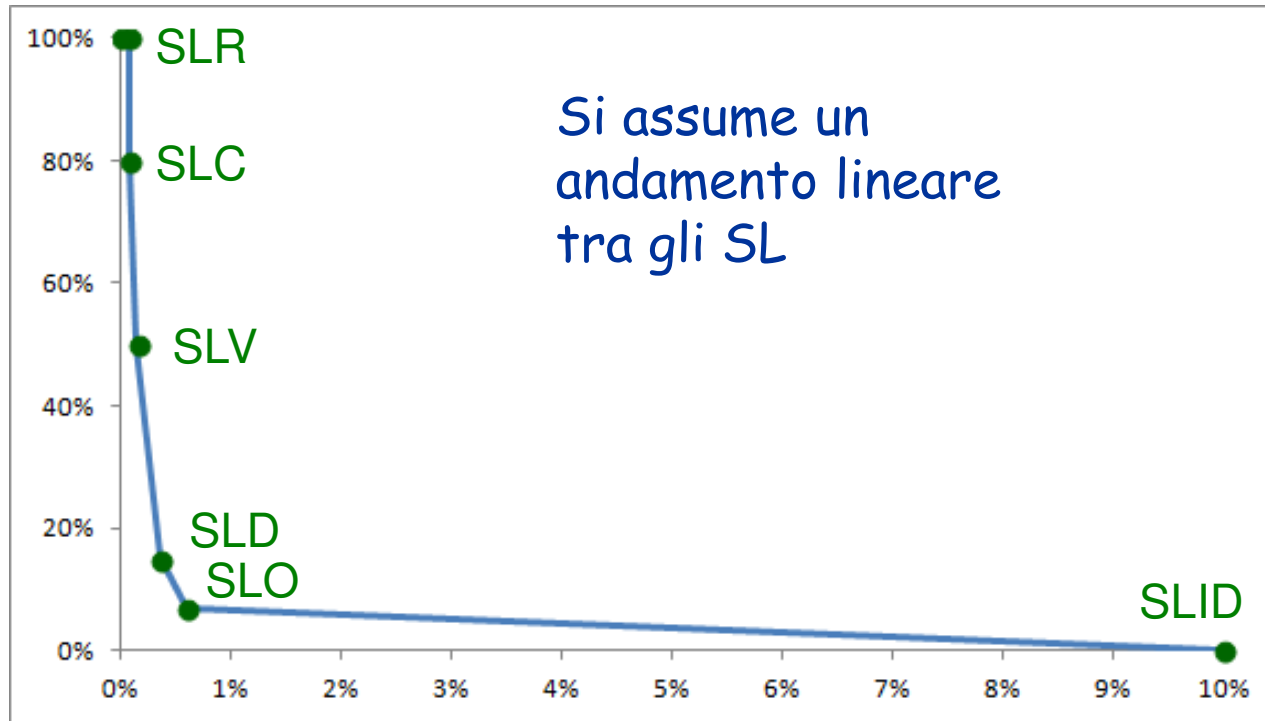
(2) Non superiore a quello per SLV

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

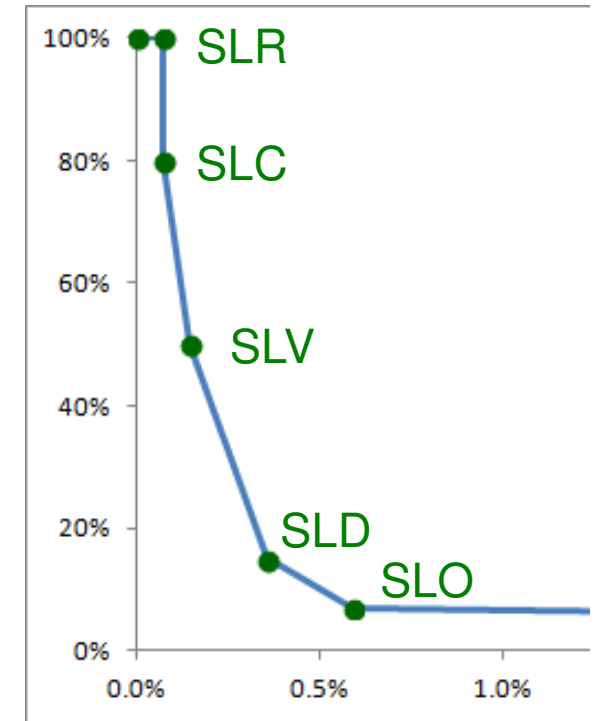
Perdita Annuale Media attesa

possibilità media di occorrenza e costo riparazione

- Diagramma del costo di riparazione in funzione della possibilità media di occorrenza



Esempio 1

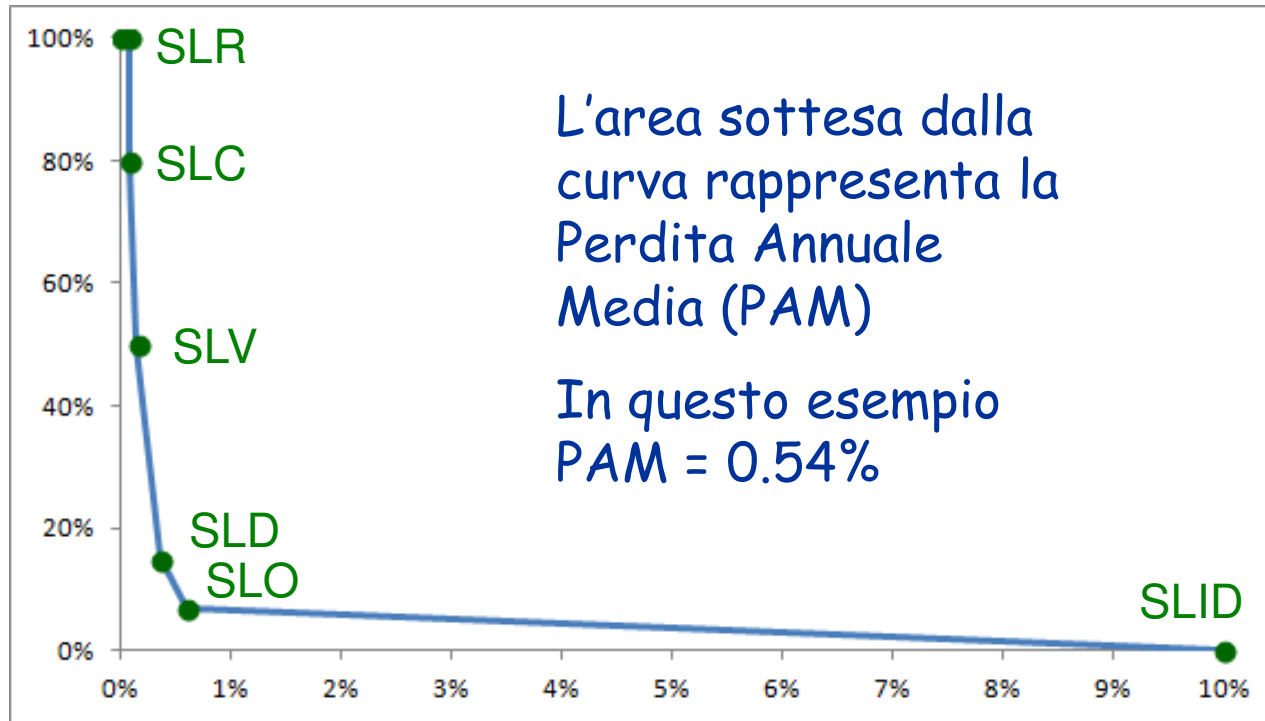


zoom parte iniziale

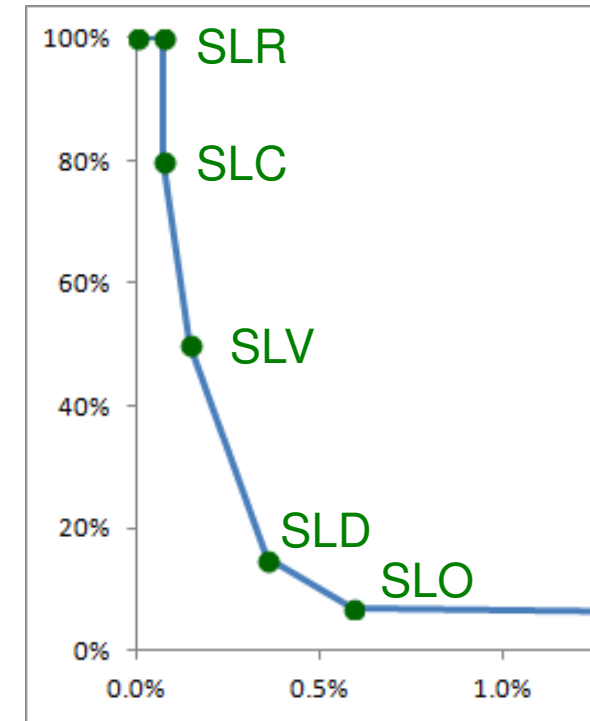
Perdita Annuale Media attesa

PAM

- Diagramma del costo di riparazione in funzione della possibilità media di occorrenza



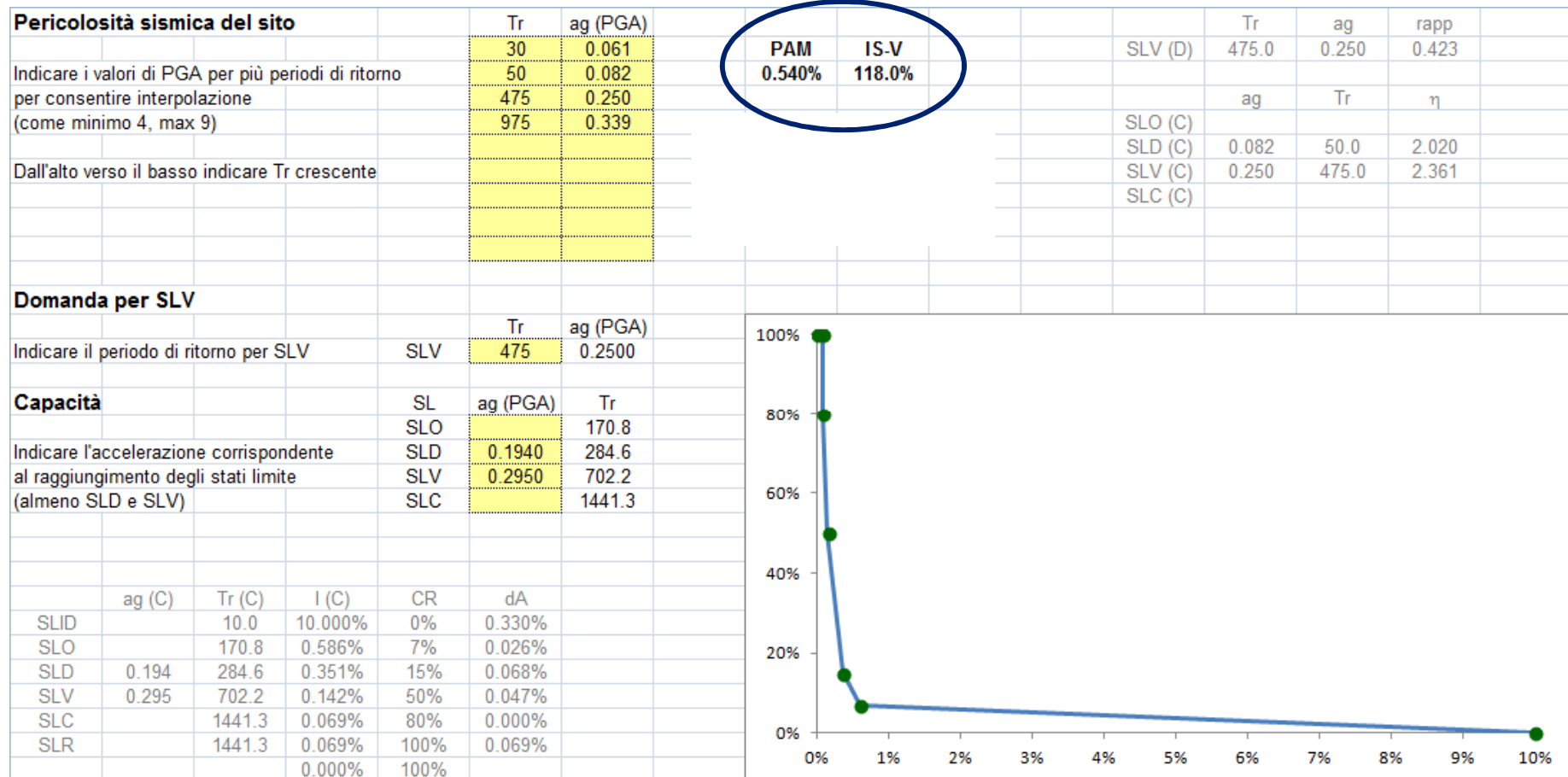
Esempio 1



zoom parte iniziale

Perdita Annuale Media attesa PAM

- Il foglio di calcolo Classe rischio determina automaticamente IS-V e PAM



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 sismico di un edificio

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



Classe IS-V

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

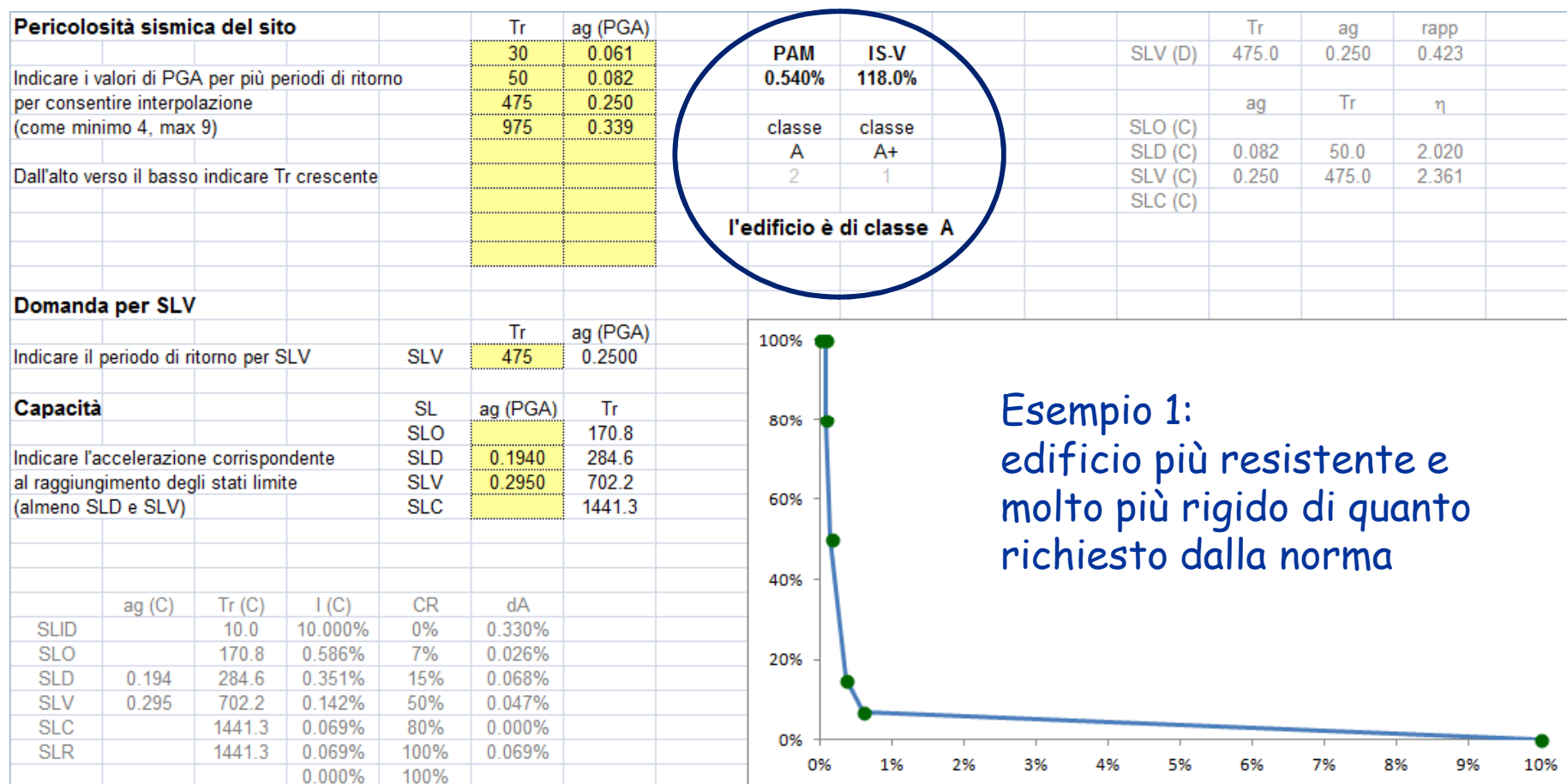


Classe PAM

- La peggiore tra le due è la classe di rischio sismico dell'edificio

Classe di rischio sismico di un edificio

- Il foglio di calcolo Classe rischio determina automaticamente IS-V e PAM



Classe di rischio sismico di un edificio

- Il foglio di calcolo Classe rischio determina automaticamente IS-V e PAM

Pericolosità sismica del sito		Tr	ag (PGA)
		30	0.061
		50	0.082
		475	0.250
		975	0.339

Indicare i valori di PGA per più periodi di ritorno
per consentire interpolazione
(come minimo 4, max 9)

Dall'alto verso il basso indicare Tr crescente

PAM	IS-V
0.625%	82.0%
classe	classe
A	A
2	2

L'edificio è di classe A

	Tr	ag	rapp
SLV (D)	475.0	0.250	0.423
	ag	Tr	η
SLO (C)			
SLD (C)	0.082	50.0	2.020
SLV (C)	0.082	50.0	2.020
SLC (C)			

Domanda per SLV

	SLV	Tr	ag (PGA)
Indicare il periodo di ritorno per SLV		475	0.2500

Capacità

	SL	ag (PGA)	Tr
	SLO		170.8
Indicare l'accelerazione corrispondente al raggiungimento degli stati limite (almeno SLD e SLV)	SLD	0.1940	284.6
	SLV	0.2050	318.2
	SLC		653.0

Esempio 2:
edificio un po' meno
resistente ma molto più
rigido di quanto richiesto
dalla norma

Classe di rischio sismico di un edificio

- Il foglio di calcolo Classe rischio determina automaticamente IS-V e PAM

Pericolosità sismica del sito

	Tr	ag (PGA)
	30	0.061
	50	0.082
	475	0.250
	975	0.339

Indicare i valori di PGA per più periodi di ritorno per consentire interpolazione (come minimo 4, max 9)

Dall'alto verso il basso indicare Tr crescente

PAM 1.186% IS-V 82.0%

classe B classe A

3 2

l'edificio è di classe B

	Tr	ag	rapp
SLV (D)	475.0	0.250	0.423
	ag	Tr	η
SLO (C)			
SLD (C)	0.082	50.0	2.020
SLV (C)	0.082	50.0	2.020
SLC (C)			

Domanda per SLV

	SLV	Tr	ag (PGA)
Indicare il periodo di ritorno per SLV		475	0.2500

Capacità

	SL	ag (PGA)	Tr
	SLO		30.0
Indicare l'accelerazione corrispondente al raggiungimento degli stati limite (almeno SLD e SLV)	SLD	0.0820	50.0
	SLV	0.2050	318.2
	SLC		653.0

	ag (C)	Tr (C)	I (C)	CR	dA
SLID		10.0	10.000%	0%	0.233%
SLO		30.0	3.333%	7%	0.147%
SLD	0.082	50.0	2.000%	15%	0.548%
SLV	0.205	318.2	0.314%	50%	0.105%
SLC		653.0	0.153%	80%	0.000%
SLR		653.0	0.153%	100%	0.153%
			0.000%	100%	

Edificio con la stessa resistenza ma con rigidezza tale da rispettare senza margine le indicazioni di normativa

Classe di rischio sismico di un edificio

- Il foglio di calcolo Classe rischio determina automaticamente IS-V e PAM

Pericolosità sismica del sito					
			Tr	ag (PGA)	
			30	0.061	
			50	0.082	
Indicare i valori di PGA per più periodi di ritorno per consentire interpolazione (come minimo 4, max 9)			475	0.250	
			975	0.339	
Dall'alto verso il basso indicare Tr crescente					

	Tr	ag	rapp
SLV (D)	475.0	0.250	0.423
	ag	Tr	η
SLO (C)			
SLD (C)	0.061	30.0	2.020
SLV (C)	0.082	50.0	2.020
SLC (C)			

PAM	IS-V
2.855%	82.0%
classe	classe
D	A
5	2

L'edificio è di classe D

Domanda per SLV					
Indicare il periodo di ritorno per SLV	SLV	Tr	ag (PGA)		
		475	0.2500		
Capacità	SL	ag (PGA)	Tr		
	SLO		8.1		
Indicare l'accelerazione corrispondente al raggiungimento degli stati limite (almeno SLD e SLV)	SLD	0.0410	13.4		
	SLV	0.2050	318.2		
	SLC		653.0		

**Stessa resistenza
ma con rigidezza
dimezzata rispetto alle
indicazioni di normativa**

	ag (C)	Tr (C)	I (C)	CR	dA
SLID		10.0	10.000%	0%	0.000%
SLO		10.0	10.000%	7%	0.282%
SLD	0.041	13.4	7.436%	15%	2.315%
SLV	0.205	318.2	0.314%	50%	0.105%
SLC		653.0	0.153%	80%	0.000%
SLR		653.0	0.153%	100%	0.153%
			0.000%	100%	

Classe di rischio sismico di un edificio

Considerazioni:

1. A parità di resistenza allo SLV (e quindi di indice di sicurezza IS-V) il migliore o peggiore comportamento rispetto allo SLD può cambiare radicalmente il PAM e quindi la classe di rischio sismico dell'edificio

Classe di rischio sismico di un edificio

- Il foglio di calcolo Classe rischio determina automaticamente IS-V e PAM

Pericolosità sismica del sito		Tr	ag (PGA)
		30	0.061
		50	0.082
Indicare i valori di PGA per più periodi di ritorno per consentire interpolazione (come minimo 4, max 9)		475	0.250
		975	0.339
Dall'alto verso il basso indicare Tr crescente			

Domanda per SLV		Tr	ag (PGA)
Indicare il periodo di ritorno per SLV	SLV	475	0.2500

Capacità		SL	ag (PGA)	Tr
		SLO		170.8
Indicare l'accelerazione corrispondente al raggiungimento degli stati limite (almeno SLD e SLV)		SLD	0.1940	284.6
		SLV	0.1050	82.4
		SLC		169.1

	ag (C)	Tr (C)	I (C)	CR	dA
SLID		10.0	10.000%	0%	0.308%
SLO		82.4	1.214%	7%	0.000%
SLD	0.194	82.4	1.214%	15%	0.000%
SLV	0.105	82.4	1.214%	50%	0.405%
SLC		169.1	0.591%	80%	0.000%
SLR		169.1	0.591%	100%	0.591%
			0.000%	100%	

PAM 1.304% IS-V 42.0%

classe B classe D

3 5

l'edificio è di classe D

Esempio 3:
edificio molto meno resistente anche se molto più rigido di quanto richiesto dalla norma

Classe di rischio sismico di un edificio

Considerazioni:

2. Una resistenza molto bassa allo SLV, pur influenzando poco sul PAM, peggiora radicalmente l'indice di sicurezza IS-V e quindi la classe di rischio sismico dell'edificio

Classe di rischio sismico di un edificio

- Il foglio di calcolo Classe rischio determina automaticamente IS-V e PAM

Pericolosità sismica del sito		Tr	ag (PGA)
		30	0.061
		50	0.082
		475	0.250
		975	0.339

Indicare i valori di PGA per più periodi di ritorno per consentire interpolazione (come minimo 4, max 9)

Dall'alto verso il basso indicare Tr crescente

	Tr	ag	rapp
SLV (D)	475.0	0.250	0.423
	ag	Tr	η
SLO (C)			
SLD (C)	0.082	50.0	2.020
SLV (C)	0.250	475.0	2.361
SLC (C)			

	PAM	IS-V
	1.134%	100.0%
	classe B	classe A
	3	2

l'edificio è di classe B

Domanda per SLV

	SLV	Tr	ag (PGA)
Indicare il periodo di ritorno per SLV		475	0.2500

Capacità

	SL	ag (PGA)	Tr
	SLO		30.0
	SLD	0.0820	50.0
	SLV	0.2500	475.0
	SLC		975.0

Indicare l'accelerazione corrispondente al raggiungimento degli stati limite (almeno SLD e SLV)

	ag (C)	Tr (C)	I (C)	CR	dA
SLID		10.0	10.000%	0%	0.233%
SLO		30.0	3.333%	7%	0.147%
SLD	0.082	50.0	2.000%	15%	0.582%
SLV	0.250	475.0	0.211%	50%	0.070%
SLC		975.0	0.103%	80%	0.000%
SLR		975.0	0.103%	100%	0.103%
			0.000%	100%	

Esempio 4: edificio esattamente a norma

Classe di rischio sismico di un edificio

Considerazioni:

3. Un edificio esattamente a norma è di classe di rischio sismico B

- Per migliorare la classe, portandola ad A, occorre rispettare con molto margine i limiti dello SLD ...
... ma questo non è sufficiente a renderlo di classe A⁺
- Per ottenere un edificio di classe A⁺ occorre anche garantire una certa sovraresistenza rispetto allo SLV