

ESEMPI APPLICATIVI DELLA CLASSIFICAZIONE DEL RISCHIO SISMICO DELLE COSTRUZIONI

Ing. Cinzia Picchi
PhD



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

Commissione Redattrice delle
Linee Guida per la classificazione del rischio sismico delle costruzioni

La CLASSIFICAZIONE DEL RISCHIO SISMICO DELLE COSTRUZIONI

PAM e **IS-V**

Il **PAM** (**perdita attesa annua media**) è la quantificazione del danno atteso per la costruzione in esame, espresso in termini di %CR.

Nel metodo convenzionale: la riduzione del PAM di una costruzione viene perseguita mirando al comportamento dell'edificio di Norma (classe di rischio B) assumendo come costi di riferimento agli S.L. quelli ad esso associati. Ciò significa considerare tali costi costanti al variare della vulnerabilità della costruzione.

Nel metodo semplificato (solo per la muratura): la classe PAM è legata alla classe di vulnerabilità attribuita alla costruzione e alla zona sismica in cui essa è situata.

Entrambe i metodi ancorano i danni ai costi di riparazione desunti dalla ricostruzione del sisma di L'Aquila del 2009. [La calibrazione delle relative curve di vulnerabilità è stata eseguita nella mia tesi di dottorato].

IS-V (**indice di sicurezza della salvaguardia della vita**), definito come il rapporto $[PGA]_C/[PGA]_D$ allo SLV, è legato alla resistenza ultima della costruzione; ciò implica legare la perdita delle vite umane alla resistenza della costruzione e non ai danni.

In realtà:

il numero di morti e feriti è legato ai danni e quindi a tutti gli SL, non solo allo SLV.

Sarebbe preferibile, quindi, stabilire una soglia limite di danno (in termini di CR) al fine di contenere le perdite di vite umane.

IL METODO SEMPLIFICATO - per le costruzioni in muratura E' basato su un approccio di tipo macrosismico

1. Si attribuisce alla costruzione la classe media di vulnerabilità in base alla tipologia di struttura, secondo la scala EMS98

Tipologia di struttura		Classe di vulnerabilità					
		V ₆ (=A _{EMS})	V ₅ (=B _{EMS})	V ₄ (=C _{EMS})	V ₃ (=D _{EMS})	V ₂ (=E _{EMS})	V ₁ (=F _{EMS})
MURATURA	Muratura di pietra senza legante (a secco)	○					
	Muratura di mattoni di terra cruda (adobe)	○—					
	Muratura di pietra sbazzata	---○					
	Muratura di pietra massiccia per costruzioni monumentali		---○—				
	Muratura di mattoni e pietra lavorata	---○---					
	Muratura di mattoni e solai di rigidezza elevata		—○---				
	Muratura rinforzata e/o confinata			---○—			

2. Si valuta l'eventuale passaggio alla classe contigua più vulnerabile in forza di: fenomeni di degrado, scarsa qualità costruttiva, peculiarità in grado di innescare meccanismi di collasso locale

TIPOLOGIA STRUTTURALE		POSSIBILI MECCANISMI LOCALI	PECULIARITÀ NEGATIVE PER LA VULNERABILITÀ LOCALE/GLOBALE	PAS-SAGGIO DI CLASSE
NATURA	INERTI / MAGLIA MURARIA			
	pietra grezza			
	mattoni di terra cruda (adobe)			
	pietra sbazzata	Ribaltamento delle pareti	• Scarsa qualità costruttiva • Elevato degrado e/o danneggiamento • Spinte orizzontali non contrastate • Pannelli murari male ammorsati tra loro • Orizzontamenti male ammorsati alle pareti • Aperture di elevate dimensioni intervallate da maschi di ridotte dimensioni	da V_5 a V_6
	mattoni o pietra lavorata			
	pietra massiccia per costruzioni monumentali	Meccanismi parziali o di piano	• Presenza di numerose nicchie che riducono significativamente l'area resistente della muratura • Pareti di elevate dimensioni (larghezza e altezza) non controventate a sufficienza	da V_4 a V_5

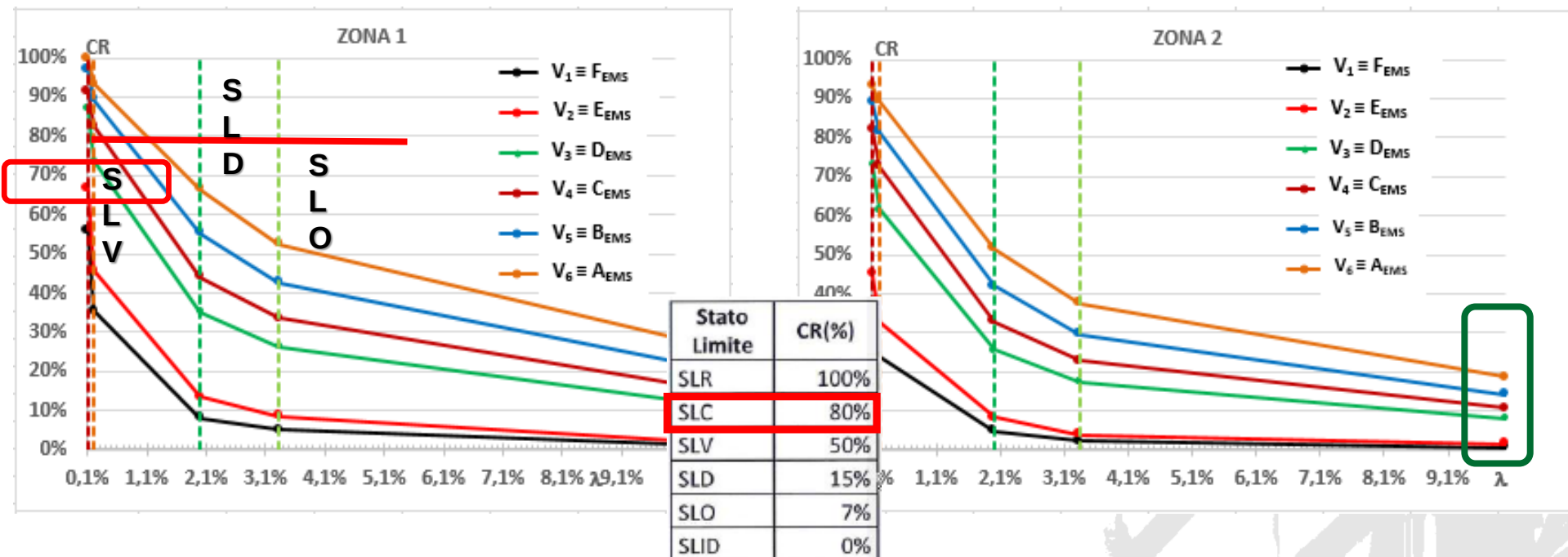
3. Si attribuisce alla costruzione la classe di vulnerabilità ottenuta.

4. Individuata la classe di vulnerabilità e nota la zona sismica in cui ricade la costruzione, entrando nella *tabella 5* delle LG17, si ricava la **classe di rischio** di appartenenza e il corrispondente intervallo **PAM**

Classe di Rischio	PAM	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4
A+*	$PAM \leq 0,50\%$				$V_1 \div V_2$
A*	$0,50\% < PAM \leq 1,0\%$			$V_1 \div V_2$	$V_3 \div V_4$
B*	$1,0\% < PAM \leq 1,5\%$	V_1	$V_1 \div V_2$	V_3	V_5
C*	$1,5\% < PAM \leq 2,5\%$	V_2	V_3	V_4	V_6
D*	$2,5\% < PAM \leq 3,5\%$	V_3	V_4	$V_5 \div V_6$	
E*	$3,5\% < PAM \leq 4,5\%$	V_4	V_5		
F*	$4,5\% < PAM \leq 7,5\%$	V_5	V_6		
G*	$7,5\% \leq PAM$	V_6			

Gli intervalli PAM di tabella sono stati ricavati integrando le **curve di rischio** delle 6 classi di vulnerabilità, per le 4 zone sismiche, costruite a partire dalle relative curve di vulnerabilità e legando l'intensità macrosismica alla frequenza di occorrenza del sisma λ per il tramite dei valori di PGA. Le curve di rischio sono state elaborate attraverso un approccio macrosismico basato sulla scala EMS98 e calibrate poi sui costi di riparazione della ricostruzione relativa al sisma di L'Aquila del 2009.

Le curve di rischio per le zone 1 e 2



La **perdita attesa media annua PAM** si ottiene calcolando l'area sottesa dalla spezzata relativa alla classe di vulnerabilità e alla zona sismica di interesse o, meglio, **integrando la curva di rischio** per la zona sismica di interesse.

Si evidenzia che:

- le curve si arrestano allo SLC, ritenendosi in corrispondenza di esso mobilitata pressoché l'intera perdita;
- i danni, espressi in CR (%), associati allo SLC per l'edificio a Norma ($V_2 \equiv E_{EMS}$) sono inferiori rispetto al valore di 80% assunto nelle LG17.
- allo SLID i danni non sono trascurabili in termini di contributo al PAM.

La distribuzione delle diverse classi di vulnerabilità sulle 8 classi di rischio, per le 4 zone

Classe di rischio	PAM	LG 2017				Integrale curve di rischio			
		Classe di vulnerabilità				Classe di vulnerabilità			
		Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4
A+*	$\leq 0,50\%$				$V_1 \div V_2$		V_1	$V_1 \div V_3$	$V_1 \div V_6$
A*	$0,50\% < \leq 1,00\%$			$V_1 \div V_2$	$V_3 \div V_4$	V_1	V_2	$V_4 \div V_5$	
B*	$1,00\% < \leq 1,50\%$	V_1	$V_1 \div V_2$	V_3	V_5	V_2	V_3	V_6	
C*	$1,50\% < \leq 2,50\%$	V_2	V_3	V_4	V_6	V_3	V_4		
D*	$2,50\% < \leq 3,50\%$	V_3	V_4	$V_5 \div V_6$		V_4	V_5		
E*	$3,50\% < \leq 4,50\%$	V_4	V_5			V_5	V_6		
F*	$4,50\% < \leq 7,50\%$	V_5	V_6			V_6			
G*	$< 7,50\%$	V_6							

Il confronto evidenzia:

l'atteggiamento cautelativo assunto nelle LG17 che considerano le 6 classi più vulnerabili (attribuisce loro un rischio maggiore, anche se trascura il contributo al PAM legato ai terremoti più frequenti ovvero meno intensi, che soprattutto nelle zone a più alta sismicità sono significativi al variare della classe)

ESEMPIO APPLICATIVO

EDIFICIO IN MURATURA DI PIETRA SBOZZATA

Classe media di vulnerabilità secondo EMS98 : $V_5 \equiv B_{EMS}$

Presenza di peculiarità negative:

- spinte orizzontali non contrastate
- pannelli murari male ammortati tra loro



Passaggio di classe : da V_5 a V_6 (A_{EMS})

Pericolosità : zona 1



Classe di rischio di appartenenza: $G^* \quad PAM \geq 7,5\%$

Tipologia di struttura	Classe di vulnerabilità					
	V_6 ($\equiv A_{EMS}$)	V_5 ($\equiv B_{EMS}$)	V_4 ($\equiv C_{EMS}$)	V_3 ($\equiv D_{EMS}$)	V_2 ($\equiv E_{EMS}$)	V_1 ($\equiv F_{EMS}$)
Muratura di pietra senza legante (a secco)	○					
Muratura di mattoni e terra cruda (adobe)	○	—				
Muratura di pietra sbazzata	---	○				
Muratura di pietra massiccia per costruzioni monumentali	---	○	—			
Muratura di mattoni e pietra sbazzata	---	○	---			
Muratura di mattoni e solai di rigidezza elevata		○	---			
Muratura rinforzata e/o confinata		○	---	—		

Intervenendo in modo da eliminare le peculiarità negative, così da evitare l'eventuale ribaltamento delle pareti, si consegue :

la riduzione della vulnerabilità:

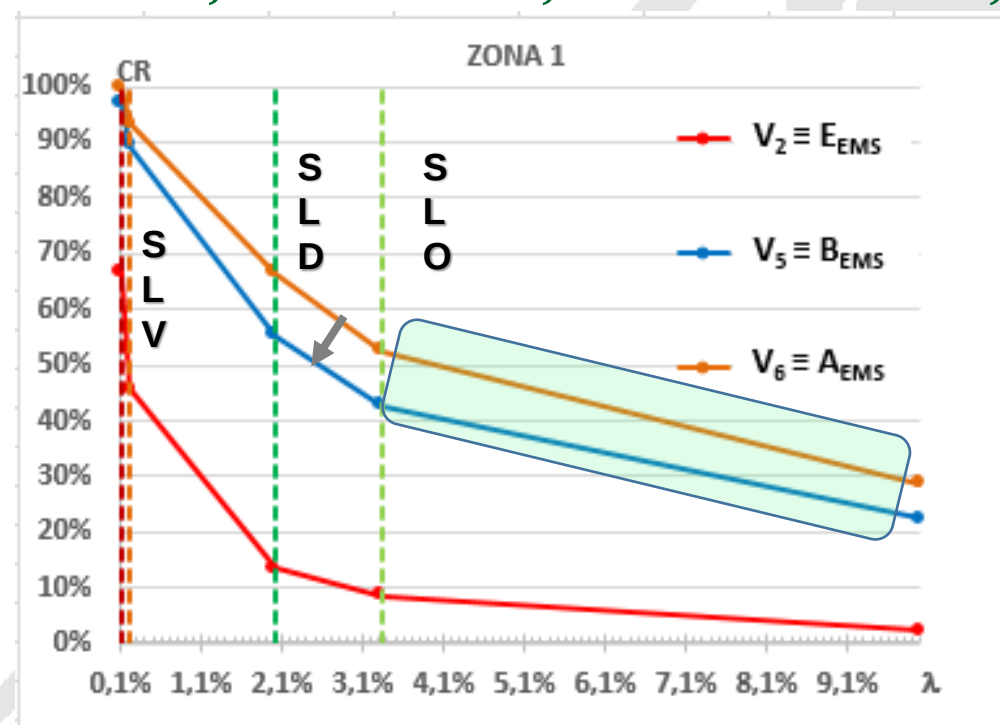
$$V_6 \longrightarrow V_5$$

al passaggio alla classe di rischio contigua più bassa F^* corrisponde un intervallo $4,5\% < PAM \leq 7,5\%$ ovvero una riduzione di perdita attesa media annua mediamente superiore al 1%

L'analisi delle **curve di rischio** consente di cogliere come varia il comportamento al diminuire della vulnerabilità della costruzione, evidenziando, nel caso in esame, una debole riduzione del PAM conseguente al passaggio di una sola classe di vulnerabilità.

La riduzione dei costi attesi è più sensibile per i terremoti meno intensi (più frequenti).

Quanto detto risulta valido per tutte le zone sismiche.



Nell'attribuzione della classe di vulnerabilità si potrebbero prendere in considerazione altri parametri di interesse quali ad esempio:

- l'età di costruzione (che costituisce il riferimento normativo per la conoscenza e la tecnica)
- l'area geografica in cui ricade la costruzione (cui, spesso, è riferibile una o più pratiche costruttive tipiche)
- numero di piani
- regolarità geometrica e costruttiva, in pianta e in elevazione
- distribuzione delle pareti
- numero e distribuzione delle aperture
- tipologia di orizzontamenti e relativi collegamenti alle pareti portanti

La tipologia e tutti gli elementi che concorrono a caratterizzare il comportamento locale e globale della costruzione dovrebbero essere considerati ai fini della **corretta caratterizzazione della vulnerabilità**. Questa, infatti, costituisce il punto chiave del Metodo Semplificato che è uno strumento utile per pervenire ad un corretto 'comportamento d'insieme della costruzione' attraverso l'eliminazione di tutte le criticità locali.

IL METODO CONVENZIONALE

La Classe di Rischio da attribuire alla costruzione si ricava scegliendo la peggiore o, meglio, la più cautelativa tra la classe PAM e la classe IS-V

8 classi PAM		7 classi IS-V	
Perdita Media Annuale attesa (PAM)	Classe PAM	Indice di Sicurezza	Classe IS-V
$PAM \leq 0,50\%$	A_{PAM}^+	$100\% < IS-V$	A_{IS-V}^+
$0,50\% < PAM \leq 1,0\%$	A_{PAM}	$100\% \leq IS-V < 80\%$	A_{IS-V}
$1,0\% < PAM \leq 1,5\%$	B_{PAM}	$80\% \leq IS-V < 60\%$	B_{IS-V}
$1,5\% < PAM \leq 2,5\%$	C_{PAM}	$60\% \leq IS-V < 45\%$	C_{IS-V}
$2,5\% < PAM \leq 3,5\%$	D_{PAM}	$45\% \leq IS-V < 30\%$	D_{IS-V}
$3,5\% < PAM \leq 4,5\%$	E_{PAM}	$30\% \leq IS-V < 15\%$	E_{IS-V}
$4,5\% < PAM \leq 7,5\%$	F_{PAM}	$IS-V \leq 15\%$	F_{IS-V}
$7,5\% \leq PAM$	G_{PAM}		

COME SI PROCEDE

Edificio situato in zona 1

Assumendo:

terreno tipo C

categoria topografica T_1

	T_R	a_g (g)	F_0	$[PGA]_D$
SLO	30	0,078	2,392	0,12
SLD	50	0,103	2,323	0,16
SLV	475	0,259	2,362	0,35
SLC	975	0,332	2,399	0,41

Dall'analisi per la verifica della costruzione (secondo le NTC08) si ottiene il seguente quadro di CAPACITA'

	$[PGA]_C$	$[T_R]_C$	$[\lambda]_C$
SLD	0,08	9,18	10,0%
SLV	0,18	97,02	1,0%

$$[T_{R,C}]_{SLO} = 1.67$$

$$[T_{R,C}]_{SLD}$$

$$[T_{R,C}]_{SLC} = 0.49$$

$$[T_{R,C}]_{SLV}$$

	$[\lambda]_C$	
SLO	10%	16,7%
SLC	0,5%	0,5%

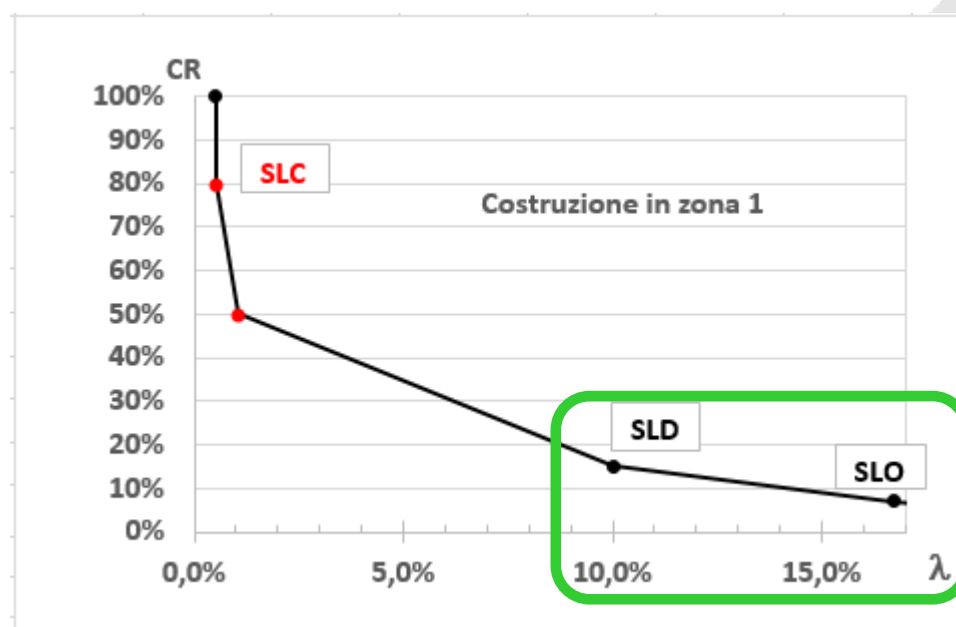
$$[T_{R,C}]_{SLD} = [T_{R,D} (PGA_C/PGA_D)^\eta]_{SLD} \quad \eta=1/0.41$$

$$[T_{R,C}]_{SLD} = [T_{R,D} (PGA_C/PGA_D)^\eta]_{SLD}$$

La curva di rischio corrispondente

	$[\lambda]_C$	CR (%)
SLID	10,0%	0%
SLO	10,0%	7%
SLD	10,0%	15%
SLV	1,0%	50%
SLC	0,5%	80%
SLR	0,5%	100%

PAM	3,76%
-----	-------



IS-V
$[PGA_C/PGA_D]_{SLV}$
52%

$$45\% \leq IS-V < 60\%$$

Da evidenziare:

si pone $SLD \equiv SLO \equiv SLID$ ($\lambda = \lambda_{MAX} = 10\%$) $\rightarrow$ $CR [SLID] \neq 0$

in zona 1, sito con suolo tipo C
e profilo pianeggiante

	T_R	a_g (g)	F_0	$[PGA]_D$
SLO	30	0,078	2,392	0,12
SLD	50	0,103	2,323	0,16
SLV	475	0,259	2,362	0,35
SLC	975	0,332	2,399	0,41

$3,5\% < PAM \leq 4,5\%$ Classe E_{PAM}

Dunque:

un edificio con caratteristiche di capacità

	$[PGA]_C$	$[T_R]_C$	$[\lambda]_C$
SLD	0,08	9,18	10,0%
SLV	0,18	97,02	1,0%

presenta

Classe C_{IS-V} $45\% \leq IS-V < 60\%$

CLASSE DI
RISCHIO E

Da evidenziare: classe di rischio $\equiv$ classe PAM

... la salvaguardia della vita umana andrebbe valutata sui danni attesi

Se lo stesso edificio fosse in un sito (stessi effetti locali) in zona 2 :

	T_R	a_g (g)	F_0	$[PGA]_D$
SLO	30	0,073	2,456	0,12
SLD	50	0,093	2,437	0,15
SLV	475	0,243	2,459	0,33
SLC	975	0,311	2,492	0,38

	$[PGA]_C$	$[T_R]_C$	$[\lambda]_C$
SLD	0,08	11,63	8,6%
SLV	0,18	111,59	0,9%

	$[\lambda]_C$	
SLO	10,0%	14,4%
SLC	0,4%	0,4%

	$[\lambda]_C$	CR (%)
SLID	10,0%	0%
SLO	10,0%	7%
SLD	8,6%	15%
SLV	0,9%	50%
SLC	0,4%	80%
SLR	0,4%	100%

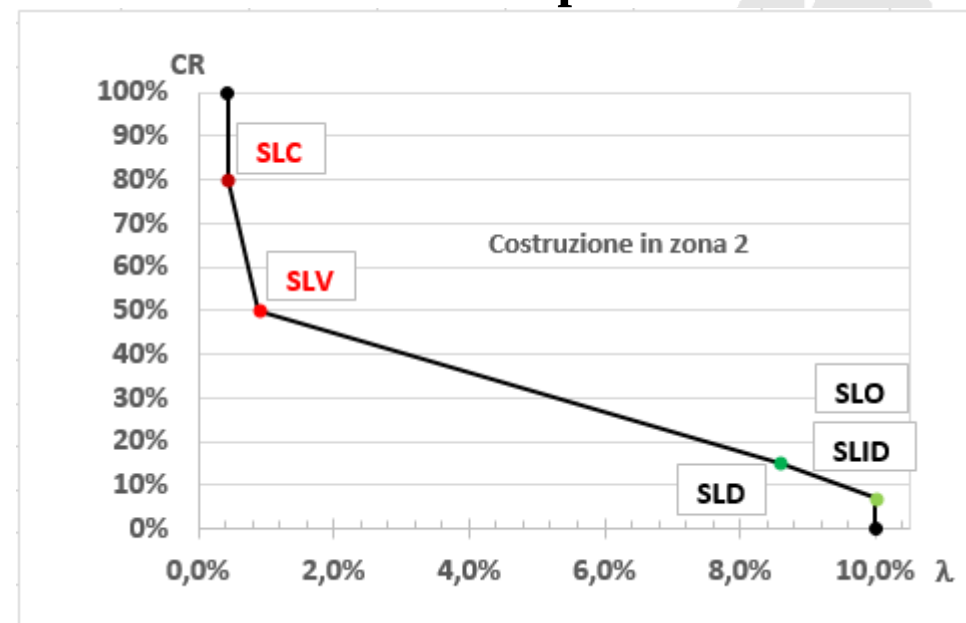
PAM 3,39%

2,5% < PAM ≤ 3,5% Classe D_{PAM}

IS-V
$[PGA_C/PGA_D]_{SLV}$
55%

Classe C_{IS-V} 45% ≤ IS-V < 60%

La curva di rischio corrispondente



CLASSE DI RISCHIO D

Ancora una volta la classe di rischio è legata ai danni

Se lo stesso edificio fosse in un sito (stessi effetti locali) in zona 3 :

	T_R	a_g (g)	F_0	$[PGA]_D$
SLO	30	0,037	2,577	0,06
SLD	50	0,047	2,517	0,08
SLV	475	0,140	2,588	0,21
SLC	975	0,189	2,540	0,27

	$[PGA]_C$	$[T_R]_C$	$[\lambda]_C$
SLD	0,08	55,65	1,8%
SLV	0,18	335,55	0,3%

	$[\lambda]_C$
SLO	3%
SLC	0,1%

	$[\lambda]_C$	CR (%)
SLID	10,0%	0%
SLO	3,0%	7%
SLD	1,8%	15%
SLV	0,3%	50%
SLC	0,1%	80%
SLR	0,1%	100%

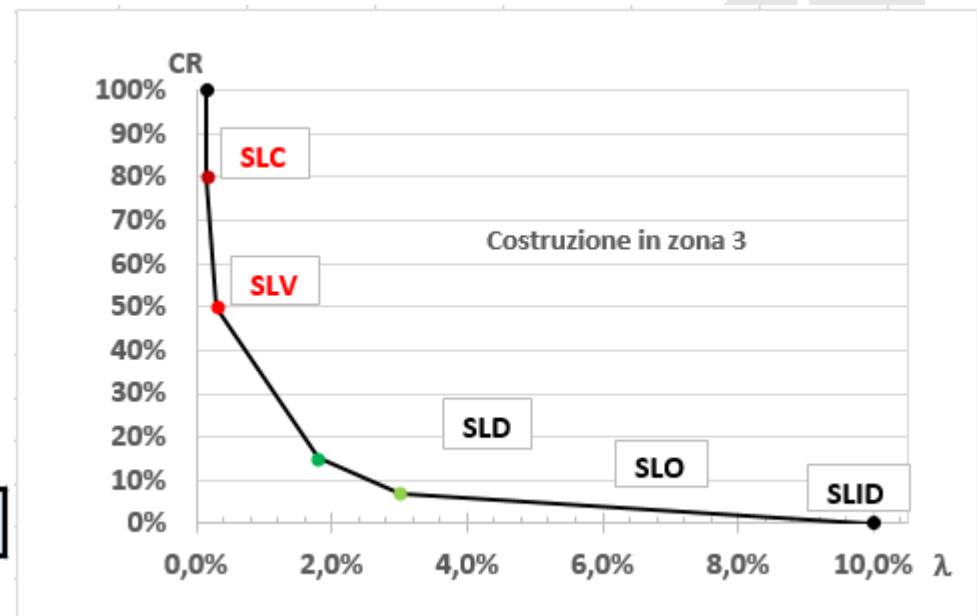
PAM 1,11%

1,0% < PAM ≤ 1,5% Classe B_{PAM}

IS-V
$[PGA_C/PGA_D]_{SLV}$
87%

Classe B_{IS-V} 80% ≤ IS-V < 100%

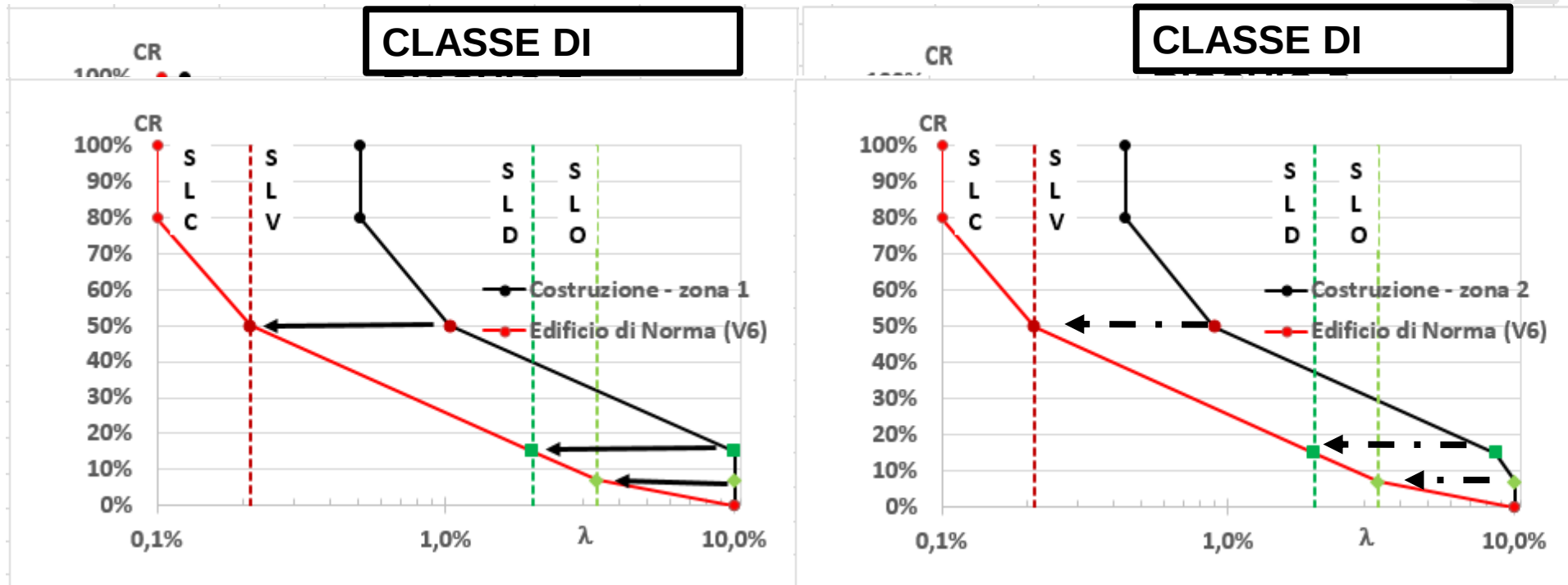
La curva di rischio corrispondente



CLASSE DI RISCHIO B

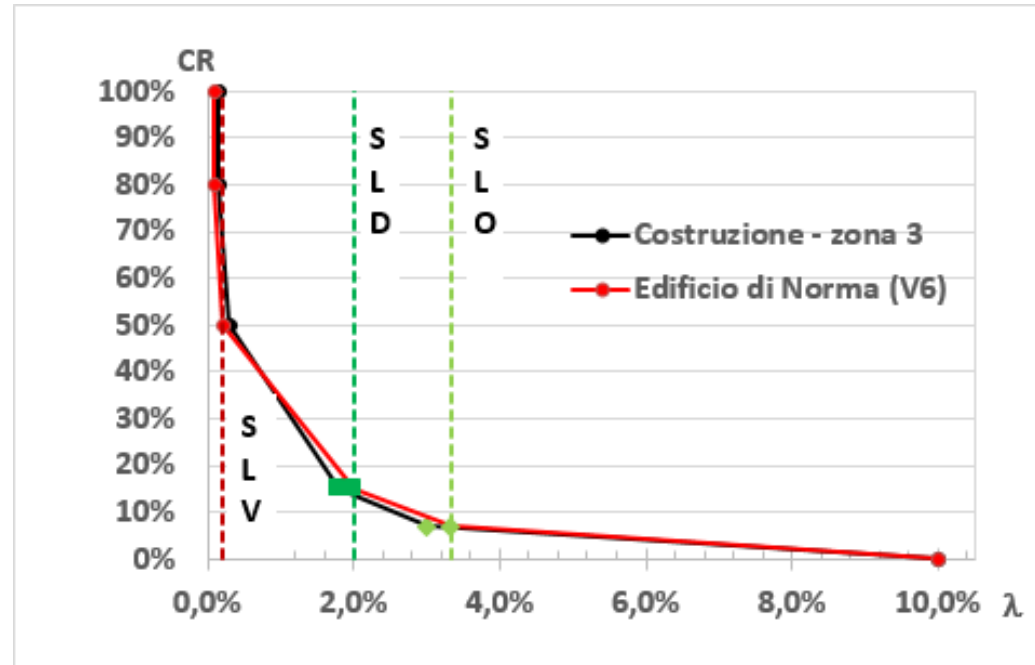
SUGGERIMENTI PER LE APPLICAZIONI

Nella filosofia di riduzione del rischio sismico delle LG17



Nel passaggio dalla zona 1 alla zona 2 lo stesso edificio, cui è riferita una certa classe di vulnerabilità, passa dalla classe PAM E alla classe PAM D, confermando così il passaggio di classe al variare della zona sismica proposto per le costruzioni in muratura nel 'Metodo Semplificato'

Passando alla zona 3



In zona 3 lo stesso edificio, con la stessa classe di vulnerabilità, appartiene alla classe PAM B, confermando così il salto di due classi

I siti considerati per le applicazioni sono caratterizzati da valori di a_g medio-alti per la corrispondente zona sismica e si vede chiaramente come, a parità di costruzione, alla variazione di a_g nell'intervallo di riferimento della zona sia legato il passaggio della classe di rischio, a conferma dell'efficacia del legame intensità – a_g – T_R utilizzato per la costruzione delle curve di rischio e ben fotografato dalle valutazioni macrosismiche.