

Corsi di aggiornamento

# Progettazione strutturale e Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni

## 3. Progetto di edifici antisismici in c.a. con struttura a telaio

06 - Novità introdotte dalla definizione  
di classi di rischio sismico

Spoletto

1-2 marzo 2018

Aurelio Ghersi

# 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%	0.061
SLD	50	2.000%	0.082
SLV	475	0.211%	0.250
SLC	975	0.103%	0.339

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

	ag (C)	Tr (C)	$\lambda$ (D)
SLO			
SLD	0.082	50.0	2.000%
SLV	0.250	475.0	0.211%
SLC			

- Si ha per SLV

$$T_{RC} = 475 \qquad \lambda = \frac{1}{T_R} = 0.211\%$$

e per SLD

$$T_{RC} = 50 \qquad \lambda = \frac{1}{T_R} = 2.000\%$$

# 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)	$\lambda$ (D)
SLO		30.0	3.333%
SLD	0.082	50.0	2.000%
SLV	0.250	475.0	0.211%
SLC		975.0	0.103%

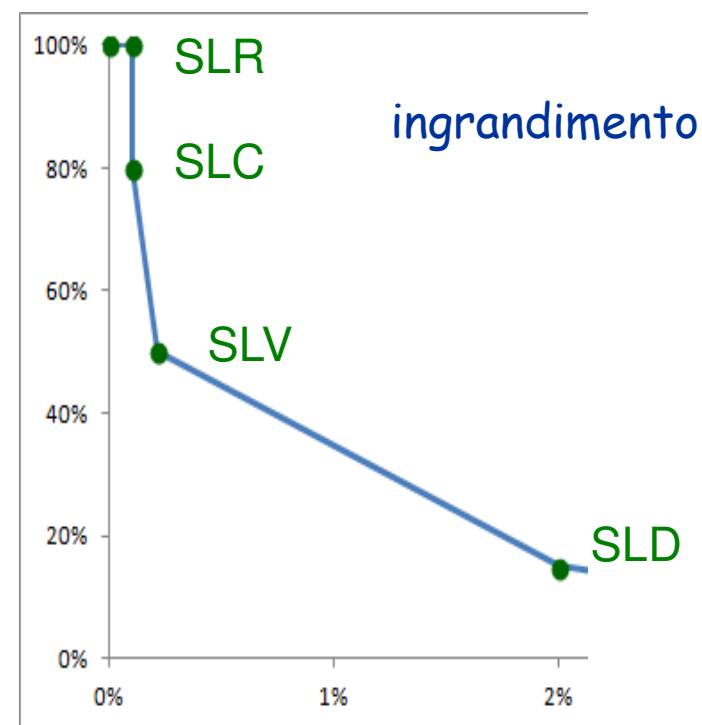
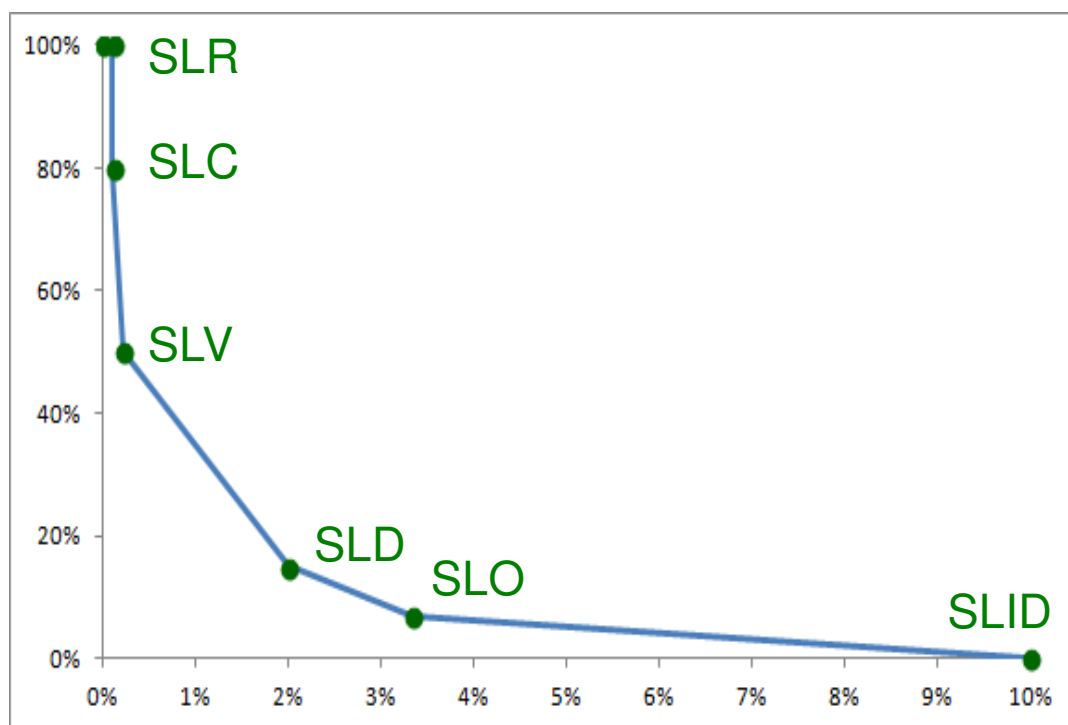
- I valori per SLID e SLR sono assegnati in maniera convenzionale

	ag (C)	Tr (C)	$\lambda$ (D)
SLID		10.0	10.000%
SLO		30.0	3.333%
SLD	0.082	50.0	2.000%
SLV	0.250	475.0	0.211%
SLC		975.0	0.103%
SLR		975.0	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

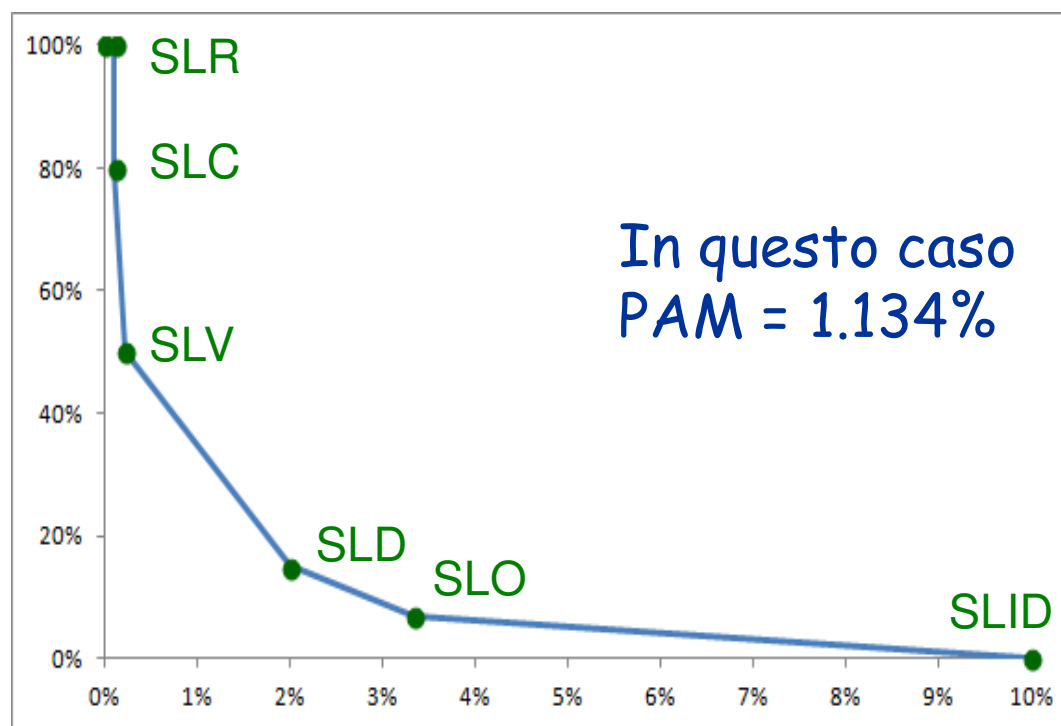


File Excel "Classe rischio"

# 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:

$PAM = 1.134\%$       classe  $PAM = B$

- Ma contemporaneamente

$PGA_C = 0.250 \text{ g}$        $PGA_D = 0.250 \text{ g}$

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

# 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	
Dall'alto verso il basso indicare Tr crescente					

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

PAM	IS-V	SLV (D)	Tr	ag	rapp
1.134%	100.0%		475.0	0.250	0.423
			ag	Tr	$\eta$
classe B	classe A	SLO (C)			
3	2	SLD (C)	0.082	50.0	2.020
		SLV (C)	0.250	475.0	2.361
		SLC (C)			

**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
Indicare l'accelerazione corrispondente al raggiungimento degli stati limite (almeno SLD e SLV)	SLD	0.0820	50.0
	SLV	0.2500	475.0
	SLC		975.0

	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%	0.582%
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%	

**Edificio esattamente a norma**

# Classe di rischio sismico di un edificio

- Un edificio esattamente a norma è di classe di rischio B
- Come migliorarne la classe?
- Il primo aspetto su cui intervenire è lo stato limite di danno SLD
- Aumentare la rigidezza consente di aumentare il periodo di ritorno corrispondente al raggiungimento dello SLD e quindi ridurre il PAM

# Classe di rischio sismico di un edificio

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

**Pericolosità sismica del sito**

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

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

Dall'alto verso il basso indicare Tr crescente

PAM 0.967% IS-V 100.0%

classe A classe A

2 2

**l'edificio è di classe A**

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

**Domanda per SLV**

Indicare il periodo di ritorno per SLV

SLV	Tr	ag (PGA)
	475	0.2500

**Capacità**

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

	SL	ag (PGA)	Tr
SLO			39.8
SLD		0.0943	66.3
SLV		0.2500	475.0
SLC			975.0

	ag (C)	Tr (C)	I (C)	CR	dA
SLID		10.0	10.000%	0%	0.262%
SLO		39.8	2.514%	7%	0.111%
SLD	0.094	66.3	1.508%	15%	0.422%
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%	

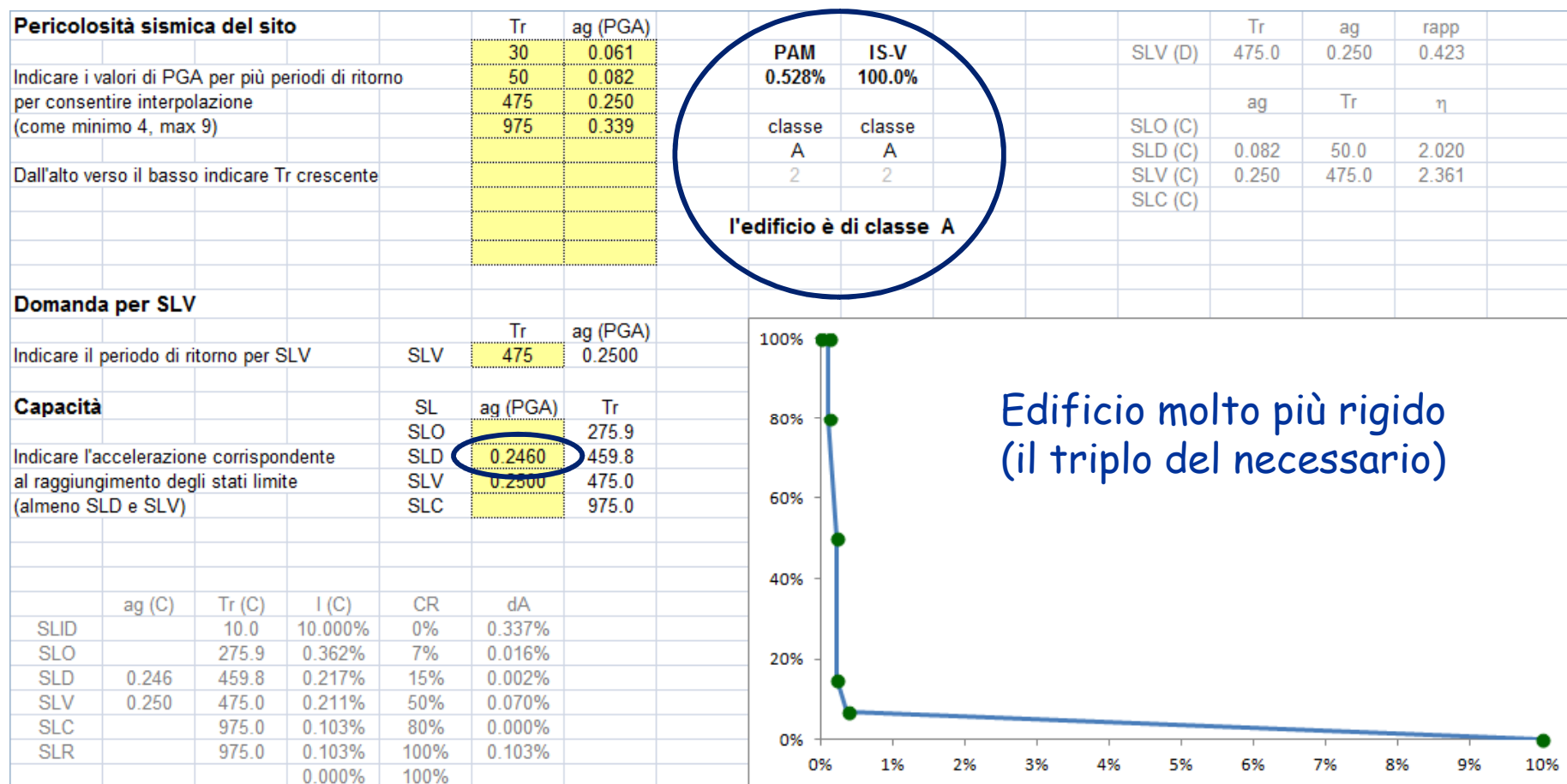
Edificio un po' più rigido (il 15% in più)

# Classe di rischio sismico di un edificio

- Un edificio esattamente a norma è di classe di rischio B
- Come migliorarne la classe?
- Continuare ad aumentare la rigidezza consente di ridurre ulteriormente il PAM, ma non è sufficiente per passare alla classe A<sup>+</sup>

# 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

- Un edificio esattamente a norma è di classe di rischio B
- Come migliorarne la classe?
- Per passare alla classe A<sup>+</sup> occorre aumentare nettamente la rigidezza ma anche aumentare la resistenza (cioè progettare con un fattore di comportamento  $q$  più basso)

# 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**  
0.499%

**IS-V**  
115.0%

classe  
**A+**

1

**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)	0.250	475.0	2.361
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		275.9
	SLD	0.2460	459.8
	SLV	0.2875	660.7
	SLC		1356.2

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%	0.337%
SLO		275.9	0.362%	7%	0.016%
SLD	0.246	459.8	0.217%	15%	0.021%
SLV	0.288	660.7	0.151%	50%	0.050%
SLC		1356.2	0.074%	80%	0.000%
SLR		1356.2	0.074%	100%	0.074%
			0.000%	100%	

Edificio molto più rigido (il triplo del necessario) e un po' più resistente (15% in più)

# Classe di rischio sismico di un edificio

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

**Pericolosità sismica del sito**

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 (PGA)
	30	0.061
	50	0.082
	475	0.250
	975	0.339

**Domanda per SLV**

Indicare il periodo di ritorno per SLV

SLV	Tr	ag (PGA)
	475	0.2500

**Capacità**

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

SL	ag (PGA)	Tr
SLO		190.9
SLD	0.2050	318.2
SLV	0.3750	1237.4
SLC		2539.9

	ag (C)	Tr (C)	I (C)	CR	dA
SLID		10.0	10.000%	0%	0.332%
SLO		190.9	0.524%	7%	0.023%
SLD	0.205	318.2	0.314%	15%	0.076%
SLV	0.375	1237.4	0.081%	50%	0.027%
SLC		2539.9	0.039%	80%	0.000%
SLR		2539.9	0.039%	100%	0.039%
			0.000%	100%	

	Tr	ag	rapp
SLV (D)	475.0	0.250	0.423
	ag	Tr	$\eta$
SLO (C)			
SLD (C)	0.082	50.0	2.020
SLV (C)	0.339	975.0	2.361
SLC (C)			

**PAM**  
0.497%

**IS-V**  
150.0%

classe  
A+

classe  
A+

1

1

**l'edificio è di classe A+**

**Edificio molto più rigido  
(2.5 volte il necessario)  
e molto più resistente  
(50% in più)**

# Classe di rischio sismico di un edificio

- Un edificio esattamente a norma è di classe di rischio B
- Come migliorarne la classe?

## Conclusioni:

- Passare alla classe A è facile, perché basta aumentare un po' la rigidezza
- Passare alla classe A<sup>+</sup> è difficile, perché occorre aumentare di molto la rigidezza ed anche la resistenza
- È comunque opportuno prendere in considerazione il PAM e ridurlo, con un accorto bilanciamento tra spesa e risultato