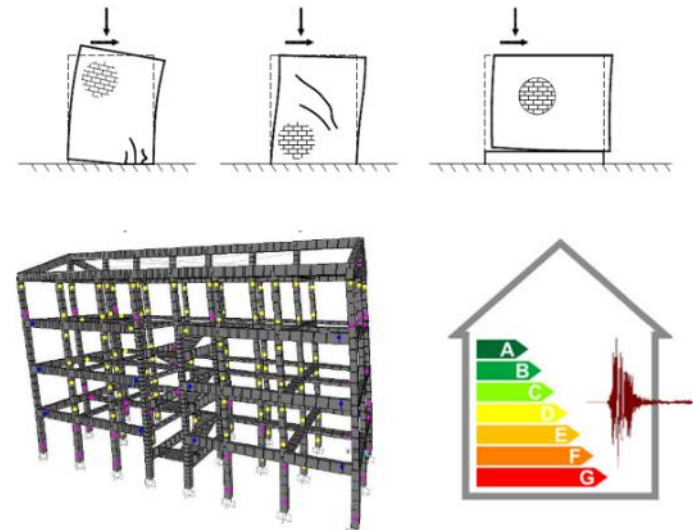




**SISMABONUS: ASPETTI TECNICI,
LEGALI E FISCALI**
Fano, 26 gennaio 2018

LA CLASSIFICAZIONE SISMICA DEGLI EDIFICI

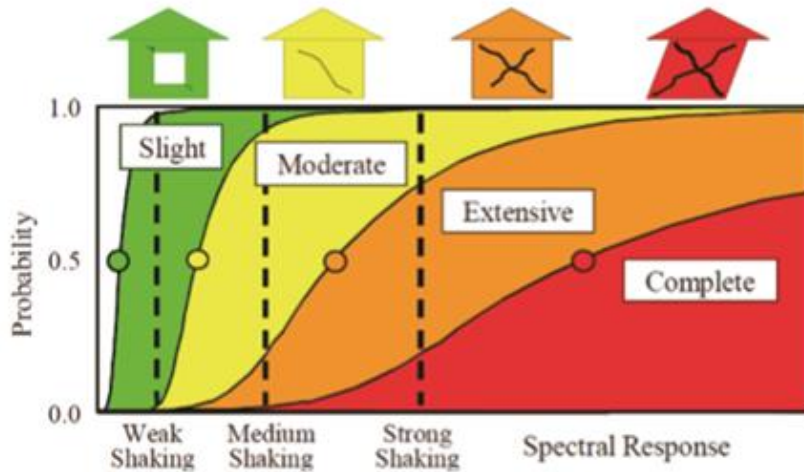
Prof. Ing. Stefano Lenci
Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile
ed Architettura (DICEA)
Università Politecnica delle Marche,
Ancona
lenci@univpm.com



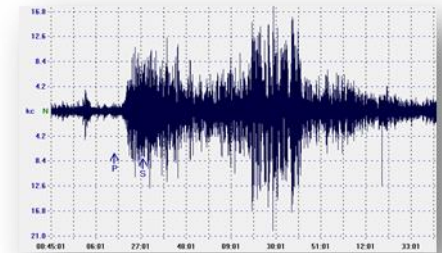
Credits: Pardo Antonio Mezzapelle

- 1. Vulnerabilità e rischio sismico degli edifici**
- 2. Linee guida per la classificazione sismica (D.M. 28/02/2017)**
- 3. Applicazioni pratiche**

- ✓ **La vulnerabilità è la propensione al danneggiamento di una costruzione in caso di terremoto di una certa intensità.**
- ✓ **A parità di intensità del sisma gli edifici subiscono diversi livelli di danneggiamento per la loro differente vulnerabilità.**



- ✓ **Il rischio sismico**, oltre a considerare la vulnerabilità del costruito, tiene conto di altri 2 aspetti:
 - **Pericolosità sismica** del sito, ovvero l'accelerazione massima attesa in un determinato periodo di riferimento.
 - **Esposizione**, ovvero l'importanza della funzione svolta dall'edificio e il valore del suo contenuto.



$$R = f(V, P, E)$$

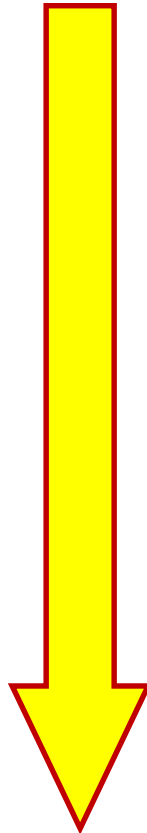
Probabilità che venga superato un certo livello di danno o di perdita in un prefissato intervallo di tempo e in una data area, a causa di un determinato evento sismico.

✓ I metodi per la valutazione della vulnerabilità/rischio possono essere:

Complessità

Onerosità







Affidabilità

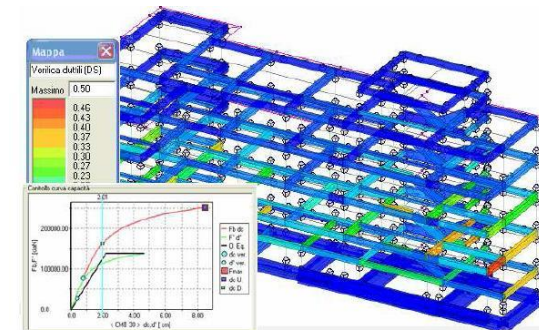


METODI MACROSISMICI
Empirici, valutazioni su larga scala

METODI IBRIDI
Classi tipologiche di edifici

METODI MECCANICI
Analitici, singolo edificio

EMS-98 Intensità	Risentito	Impatto	Magnitudo (Valori indicativi)	Danno agli edifici (Maturata)
I	Non risentito	Non risentito	2	
II-III	Debole	Il terremoto è avvertito all'interno da pochi. I dormienti registrano un ondeggiamento o un lieve tremito.	3	
IV	Leggero	Il terremoto è risentito all'interno da molti e all'aperto soltanto da pochissimi. Qualcuno viene svegliato. Le porcellane, i vetri, le finestre e le ante si scuotono rumorosamente.	4	
V	Moderato	Risentito all'interno da molti, all'aperto da pochi. Alcune persone si spaventano. Molti dormienti si svegliano. Gli osservatori sentono un forte scuotimento e oscillazione dell'intera costruzione. Gli oggetti appesi oscillano considerevolmente. Le porcellane e i vetri tintinnano rumorosamente. I piccoli oggetti possono essere spostati o cadere. Le ante e le finestre si aprono o si chiudono.	5	
VI	Forte	Molta gente si spaventa e fugge all'aperto. Alcuni oggetti possono cadere. Molti edifici soffrono leggeri danni non strutturali, come fessure capillari e caduta di piccole porzioni di intonaco.	6	
VII	Molto forte	La maggior parte delle persone si spaventa e cerca di fuggire all'aperto. I mobili si spostano e molti oggetti cadono dalle mensole. Molti edifici residenziali di buona qualità soffrono danni moderati: fessure nelle pareti, caduta di intonaco, collasso parziale dei camini; altri edifici possono riportare grandi fessure nelle pareti e collasso dei tamponamenti.	7	
VIII	Severo	Molte persone non riescono a stare in piedi. Molte costruzioni riportano grandi crepe nelle pareti. Alcuni edifici di buona qualità soffrono gravi collassi delle pareti. Edifici deboli e vecchi possono crollare.	8	
IX	Violento	Panico generale. Molte costruzioni deboli crollano. Anche gli edifici di buona qualità riportano danni molto pesanti: collasso di pareti e parziale collasso strutturale.	9	
X+	Estremo	Crolla la maggior parte delle costruzioni di buona qualità. Vengono distrutte anche alcune costruzioni con buona progettazione antisismica.	10	



- 1. Vulnerabilità e rischio sismico degli edifici**
- 2. Linee guida per la classificazione sismica (D.M. 28/02/2017)**
- 3. Applicazioni pratiche**

- ✓ **Conoscere il livello di sicurezza/rischio** della propria abitazione o luogo di lavoro in presenza di terremoto.
- ✓ **SismaBonus: Accedere agli incentivi fiscali** relativi alle spese sostenute per gli interventi di miglioramento/adeguamento sismico:
 - 50% dell'importo speso in caso di interventi antisismici che non comportano miglioramento di classe.
 - 70 % in caso di **miglioramento di una classe (es. da C a B)**. Per i condomini è il 75 %.
 - 80 % in caso di **miglioramento di 2 classi (es. da C ad A)**. Per i condomini è l'85 %.

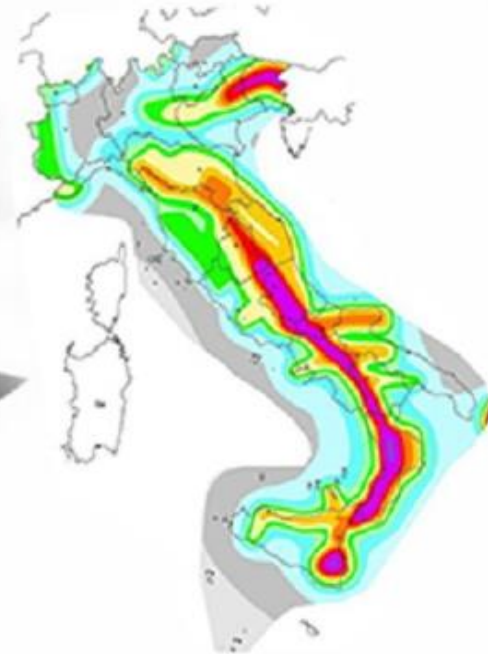
- In tutti i casi l'importo massimo su cui calcolare la detrazione è di **96.000 €**.
- ✓ **Determinare il premio** da pagare ai fini della **stipula di una polizza** che assicuri l'immobile e i beni in esso contenuti dai danni prodotti dal sisma.
 - Questa pratica non è ancora diffusa in Italia, in cui le ricostruzioni post-sisma sono in larga parte sostenute ancora dallo Stato (attraverso la tassazione).
- ✓ **Mappatura a livello nazionale** dello stato di sicurezza del patrimonio esistente, utile su più fronti (pianificazione urbanistica, gestione delle emergenze, allocazione delle risorse ecc.)

Classificazione della vulnerabilità sismica degli edifici

Vulnerabilità

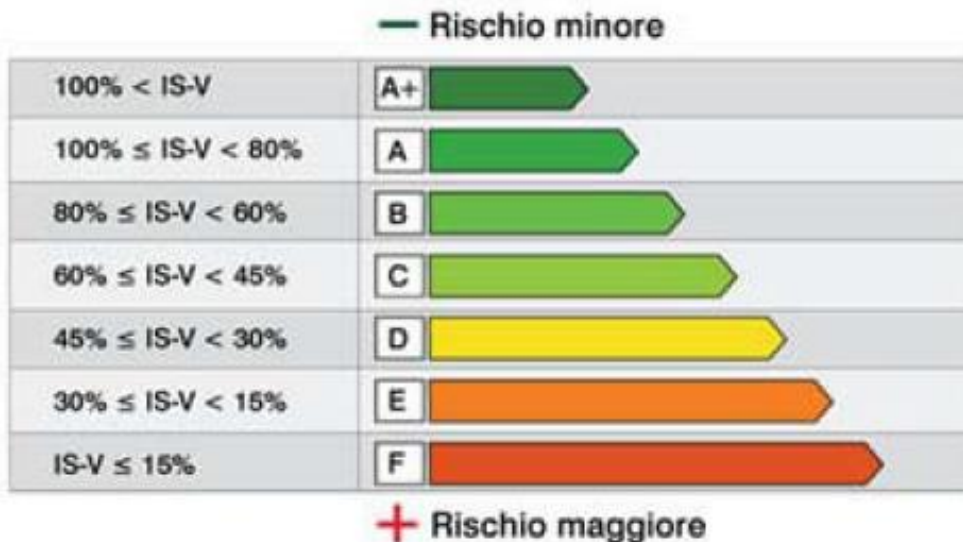


Classificazione della pericolosità sismica del territorio



**Classificazione del
Rischio Sismico**

- ✓ L'attribuzione della classe di rischio relative allo stato PRE e POST intervento avviene mediante la determinazione di 2 parametri:
 - **IS-V (indice di sicurezza/rischio):** parametro ingegneristico, dato dal rapporto tra capacità e domanda in termini di PGA calcolata rispetto allo **Stato Limite di Salvaguardia della Vita - SLV**.

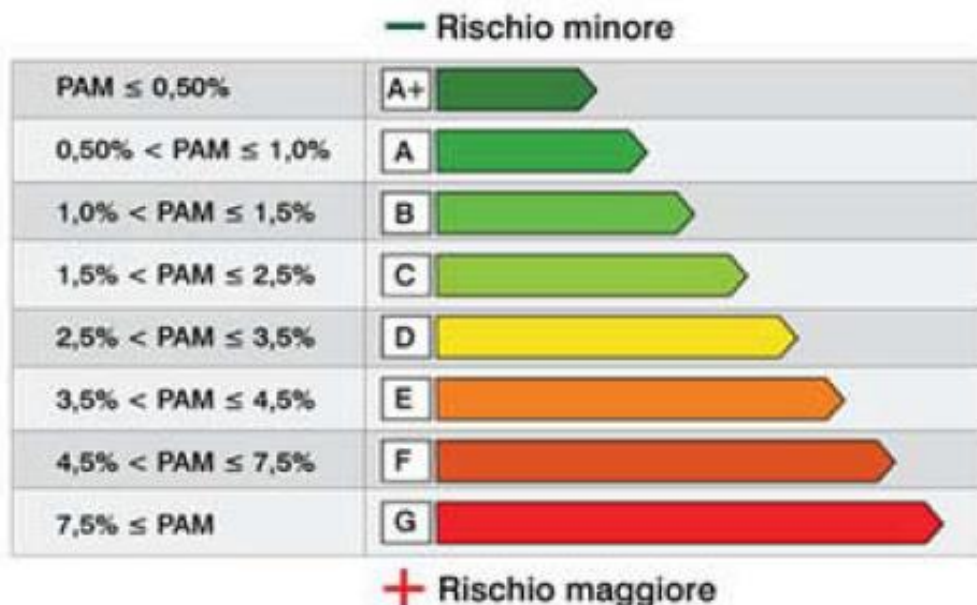


$$\text{IS-V} = \text{PGA}_c / \text{PGA}_d$$

7 classi di rischio

Minore è l' IS-V e maggiore sarà la classe di rischio.

- ✓ L'attribuzione della classe di rischio relative allo stato PRE e POST intervento avviene mediante la determinazione di 2 parametri:
- **PAM (perdita annuale media):** parametro economico che quantifica il danno stimato sugli elementi strutturali e non, in percentuale del costo di ricostruzione CR.



8 classi di rischio

Minore è la PAM e minore sarà la classe di rischio.

Perché considerare due parametri?

- ✓ **IS-V** consente di controllare l'efficacia dell'intervento da un punto di vista della **sicurezza strutturale**, quindi di evitare interventi sbilanciati solo verso la riduzione delle perdite economiche che non salvaguarderebbero la vita umana.
- ✓ **PAM** consente di bilanciare l'efficacia dell'intervento anche rispetto agli altri SL, che comunque hanno un ruolo importante sul danneggiamento e, quindi, sulle **perdite economiche** e i costi di ricostruzione da sostenere.

Le linee guida prevedono **2 approcci** al fine di determinare la classe di rischio PRE e POST intervento:

1. Approccio semplificato

- ✓ Si rifà alle **scale macrosismiche** come la European MacroScale -
- EMS 98 (**semplificato–speditivo**).
- ✓ E' applicabile solo alle **costruzioni in muratura**.
- ✓ Consente il passaggio solo alla **classe immediatamente superiore** e ricorrendo solo a **interventi di tipo locale**.
- ✓ Bisogna determinare solo la **PAM** (in maniera semplificata).

Le linee guida prevedono **2 approcci** al fine di determinare la classe di rischio PRE e POST intervento:

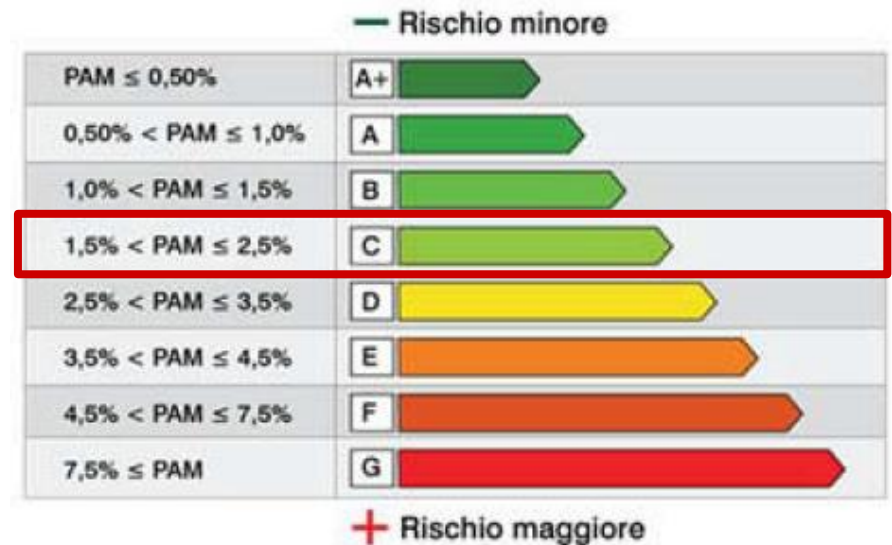
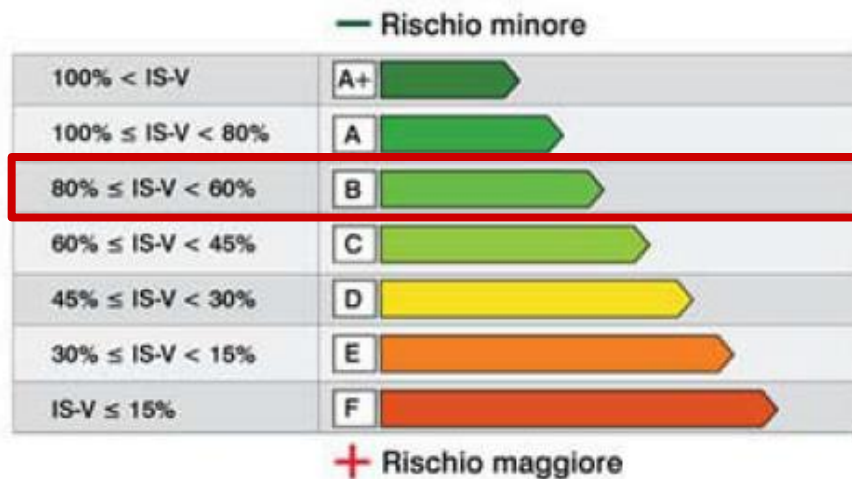
2. Approccio convenzionale

- ✓ Si rifà ai metodi analitici (più dettagliati e precisi nel risultato).
- ✓ E' applicabile a **tutte le tipologie strutturali previste dalle NTC 2008** (muratura, CA, CAP, acciaio, legno, strutture miste).
- ✓ Consente **qualsunque incremento di classe di rischio**.
- ✓ Necessita della determinazione sia dell'**IS-V** che della **PAM** e prendere la classe peggiore tra le due.

Esempio approccio convenzionale

IS - V = 67% ➔ classe B

PAM = 2,1% ➔ classe C



La classe di rischio è la C

- 1. Vulnerabilità e rischio sismico degli edifici**
- 2. Linee guida per la classificazione sismica (D.M. 28/02/2017)**
- 3. Applicazioni pratiche**

1. Approccio semplificato - Edificio in muratura portante

✓ La procedura è molto semplice e consiste soltanto nel **consultare delle tabelle presenti nelle Linee Guida** per determinare in sequenza:

1. **La classe di vulnerabilità media** corrispondente alla tipologia di muratura analizzata.
2. **La classe di vulnerabilità corretta** in funzione di eventuali fattori di vulnerabilità presenti nell'edificio.
3. **La classe di rischio secondo il parametro PAM.**
4. **Gli interventi** utili a ridurre la classe di vulnerabilità e di conseguenza la classe di rischio.

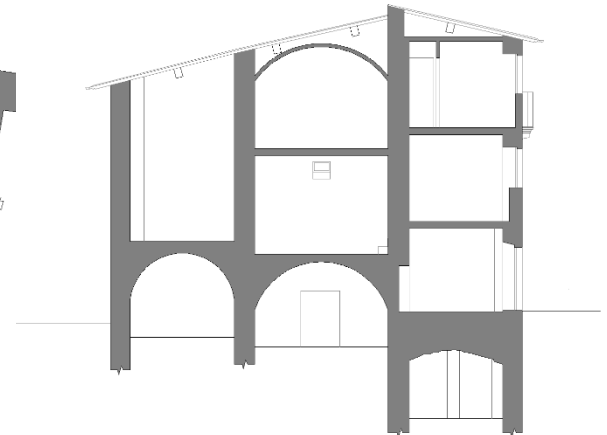
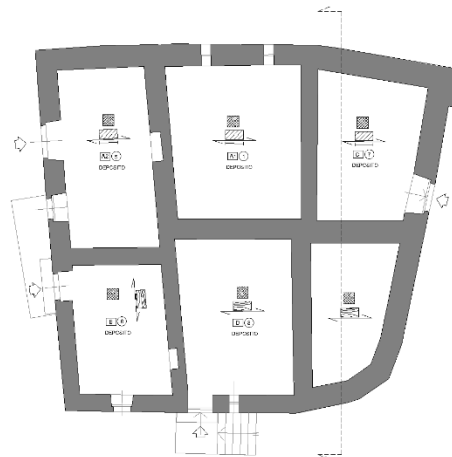
1. Approccio semplificato - Edificio in muratura portante



Località: Barisciano (AQ)

Zona sismica: II

Tipologia muratura: pietrame disordinato



1. Approccio semplificato - Edificio in muratura portante

1. Individuazione della **tipologia di muratura** tra quelle indicate in tabella e assegnazione della corrispondente **classe di vulnerabilità media** (crescente da V1 a V6).

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 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			---○—			

➔ **V5**

Figura 2 – Approccio semplificato per l'attribuzione della Classe di Vulnerabilità agli edifici in muratura

1. Approccio semplificato - Edificio in muratura portante

2. Incremento della classe di vulnerabilità media considerando l'eventuale presenza di fattori che possono peggiorare il comportamento sismico della muratura, come:

- Scarsa qualità costruttiva
- Elevato degrado o danneggiamento
- Ammorsamenti non efficaci
- Aperture di grandi dimensioni
- Assenza di muri di spina

 da **V5** a **V6**

1. Approccio semplificato - Edificio in muratura portante

3. **Determinazione della PAM** e, quindi, della classe di rischio **PRE intervento**, incrociando nella tabella la classe di vulnerabilità definitiva con la zona sismica in cui si trova l'edificio.

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*	$7,5\% < PAM$	V_6			

Classi di Rischio PAM per il metodo semplificato

1. Approccio semplificato - Edificio in muratura portante

4. Individuare, a seconda della tipologia muraria, gli **interventi locali** necessari al passaggio alla classe di vulnerabilità immediatamente inferiore (es. da V6 a V5), tra cui:

- Ripristino delle zone danneggiate e degradate
- Eliminazione delle spinte non contrastate
- Miglioramento delle connessioni tra pareti e tra pareti e solai
- Stabilizzazione delle pareti di grandi dimensioni (altezza o lunghezza)

1. Approccio semplificato - Edificio in muratura portante

5. Ripercorre il passaggio 3 per la determinazione della nuova PAM e, quindi, della classe di rischio allo stato **POST** intervento.

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*	$7,5\% < PAM$	V_6			

Classi di Rischio PAM per il metodo semplificato

2. Approccio convenzionale

La procedura è molto più laboriosa e si articola nei seguenti passaggi:

I. FASE CONOSCITIVA (INDAGINI)

II. ANALISI STRUTTURALI E VERIFICHE DI SICUREZZA

III. DETERMINAZIONE DEI VALORI DI *IS-V* E *PAM*

2. Approccio convenzionale

I. FASE CONOSCITIVA



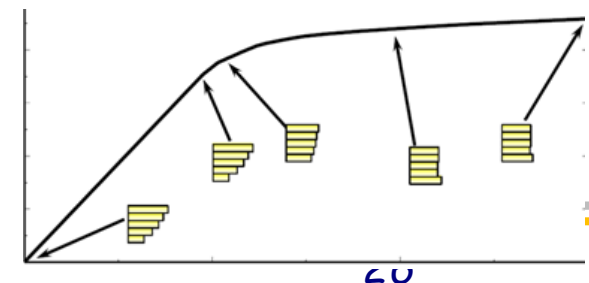
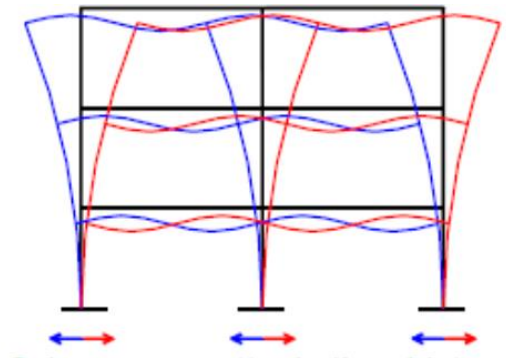
- **1. Analisi storico-critica:** datazione, normativa di riferimento per la progettazione, ecc.
- **2. Rilievo geometrico e dimensionale.**
- **3. Indagini in situ e in laboratorio:** caratteristiche meccaniche materiali, dettagli costruttivi (armature CA, tessitura muraria ecc.), qualità collegamenti.

➔ **Livello di Conoscenza LC** ➔ **Fattore di Confidenza FC**

2. Approccio convenzionale

II. ANALISI STRUTTURALI E VERIFICHE DI SICUREZZA

- ✓ Realizzazione di un **modello meccanico** sulla base dell'esito delle indagini conoscitive.
- ✓ Le analisi possono essere di diverso tipo:
 - **Lineari e non lineari**
 - **Statiche e dinamiche**
- ✓ Solitamente si fa riferimento alle **analisi non lineari** (statiche o dinamiche).



2. Approccio convenzionale

II. ANALISI STRUTTURALI E VERIFICHE DI SICUREZZA

- ✓ **Le verifiche** da effettuarsi, con riferimento allo SLV, dipendono dal tipo di struttura analizzata:
 - **Verifiche globali** per tutte le tipologie strutturali.
 - Verifiche sugli **elementi/meccanismi duttili (rotazione alla corda) e fragili (resistenza a taglio)** negli edifici a struttura portante in **C.A. e in acciaio**.
 - Verifica dei **meccanismi locali fuori dal piano** per gli edifici in **muratura portante** (es. ribaltamento delle pareti).

2. Approccio convenzionale

III. DETERMINAZIONE DEI VALORI DI *IS-V*

$$IS-V = PGAc / PGAD$$

- ✓ **PGAc** è l'accelerazione di picco al suolo per cui la struttura raggiunge lo **SLV** (dalle verifiche di sicurezza).
- ✓ **PGAD** è la domanda sismica al suolo ottenuta dallo spettro elastico in accelerazione allo **SLV** per il sito in oggetto.
- ✓ Un edificio **conforme alle NTC 2008** ha una **classe IS-V pari ad A+** ($IS-V > 100\%$, nuova costruzione o edificio esistente adeguato sismicamente).

2. Approccio convenzionale

III. DETERMINAZIONE DEI VALORI DI *PAM*

- ✓ Le Linee Guida individuano **6 stati limite SLi** (2 in più rispetto ai 4 presenti nelle NTC 2008).
- ✓ A ciascuno di essi corrisponde una **frequenza annua di superamento $\lambda=1/T_R$** (T_R periodo di ritorno) e una **percentuale del costo di ricostruzione CR**.

SLID	Freq. annuale $\lambda=10\%$	CR=0%	➔	nuovo
SLO	Freq. annuale $\lambda=3,33\%$	CR=7%		
SLD	Freq. annuale $\lambda=2\%$	CR=15%	➔	stessi delle NTC 2008
SLV	Freq. annuale $\lambda=0,21\%$	CR=50%		
SLC	Freq. annuale $\lambda=0,10\%$	CR=80%		
SLR	Freq. annuale $\lambda=0\%$	CR=100%	➔	nuovo

2. Approccio convenzionale

III. DETERMINAZIONE DEI VALORI DI *PAM*

- ✓ **Le percentuali del costo di ricostruzione CR per ciascuno stato limite (livello di danno) sono state calcolate su base teorica e calibrate sulla base dei dati della ricostruzione post sisma dell'Aquila (Aprile 2009):**
- ✓ **Costo di ricostruzione CR ipotizzato = 1200 €/mq.**
- ✓ **2497 edifici con esito di agibilità B o C (danno limitato) da scheda AeDeS, con costo medio di riparazione di 196 €/mq.**
- ✓ **760 edifici con esito di agibilità E (danno severo) da scheda AeDeS, con costo medio di riparazione di 495 €/mq.**

2. Approccio convenzionale

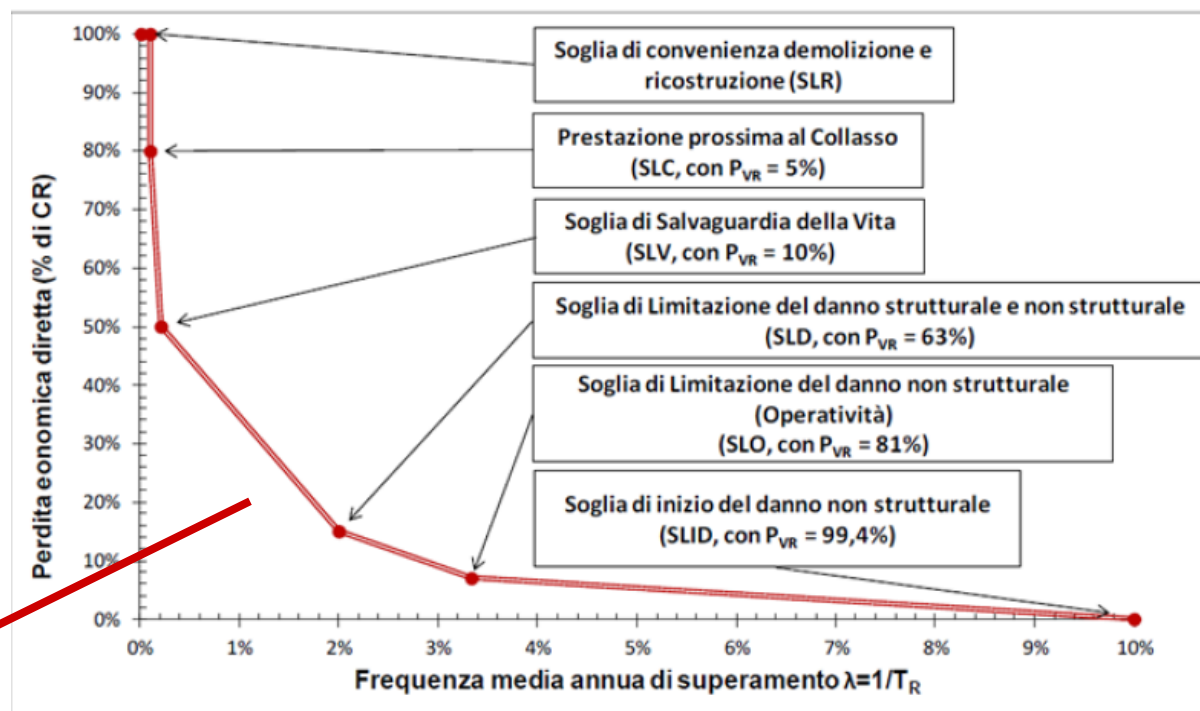
III. DETERMINAZIONE DEI VALORI DI *PAM*

Curva PAM per edificio che soddisfa le richieste delle NTC 2008



PAM = 1.13 %
(CLASSE B)

PAM = AREA SOTTESA AL GRAFICO



Valutazione del PAM, riferito a una costruzione con Vn pari a 50 anni e classe d'uso II

$$PAM = \sum_{i=2}^5 (\lambda_{SLi-1} - \lambda_{SLi}) \cdot (CR_{SLi} + CR_{SLi-1}) / 2 + \lambda_{SLC} \cdot CR_{SLR}$$

2. Approccio convenzionale

III. DETERMINAZIONE DEI VALORI DI *PAM*

Per definire la **curva PAM** di un edificio esistente qualsiasi bisogna calcolare:

- ✓ I valori dei **periodi di ritorno di capacità** $T_{R,c}$ corrispondenti al raggiungimento dei 4 Stati Limite da NTC 2008 e le relative frequenze ($\lambda = 1/T_R$).

$$T_{rC} = T_{rD} (PGA_C/PGA_D)^\eta$$

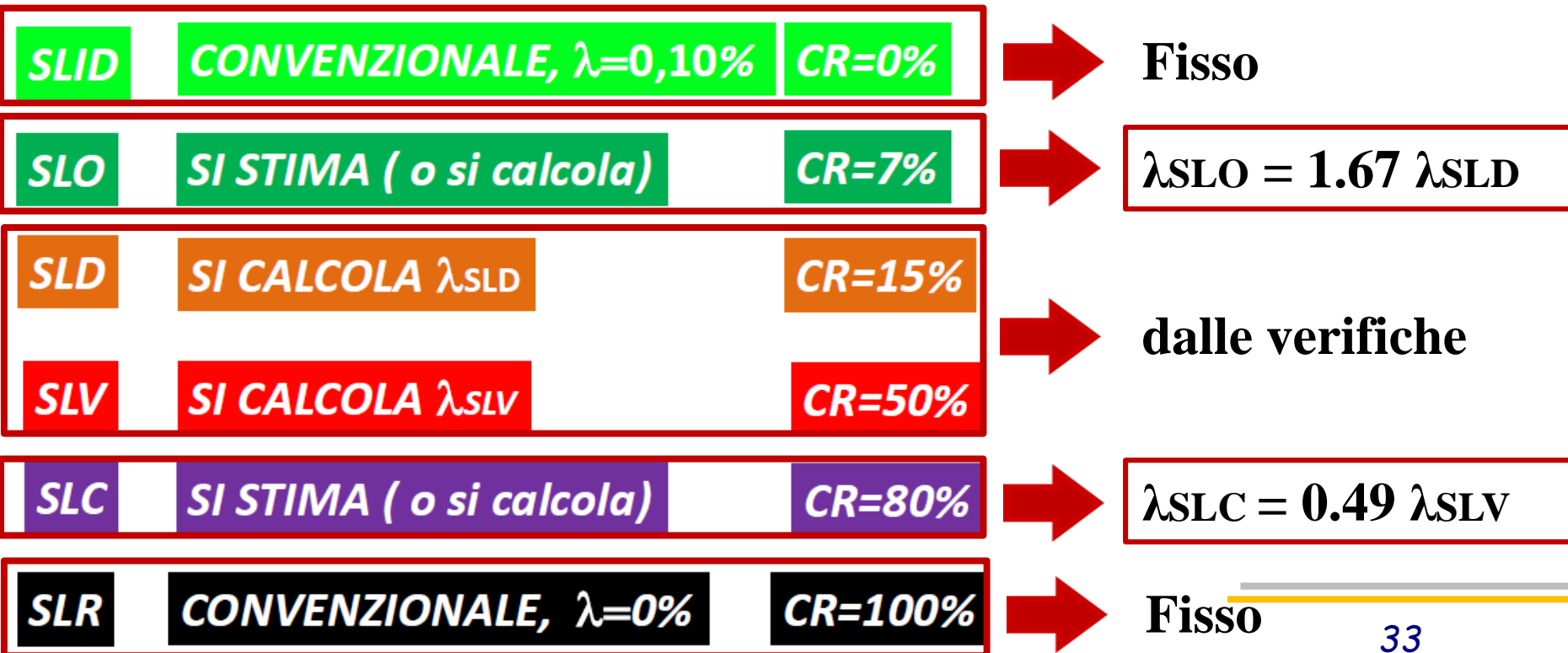
$$\begin{aligned}\eta &= 1/0,49 \text{ per } a_g > 0,25g \\ \eta &= 1/0,43 \text{ per } 0,25g \geq a_g \geq 0,15g \\ \eta &= 1/0,356 \text{ per } 0,15g \geq a_g \geq 0,05g \\ \eta &= 1/0,34 \text{ per } 0,05g > a_g\end{aligned}$$

- ✓ $T_{R,D}$ è il periodo di ritorno per lo Stato Limite considerato.
- ✓ PGA,c e PGA,D sono le stesse utilizzate per il calcolo del parametro IS-V.

2. Approccio convenzionale

III. DETERMINAZIONE DEI VALORI DI *PAM*

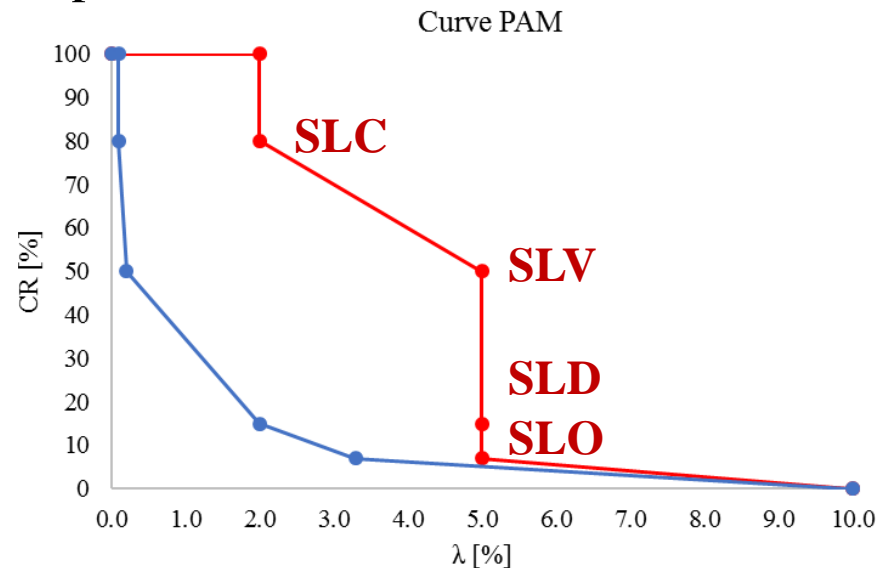
Per definire la **curva PAM** di un edificio esistente qualsiasi bisogna calcolare:



2. Approccio convenzionale

Alcune precisazioni:

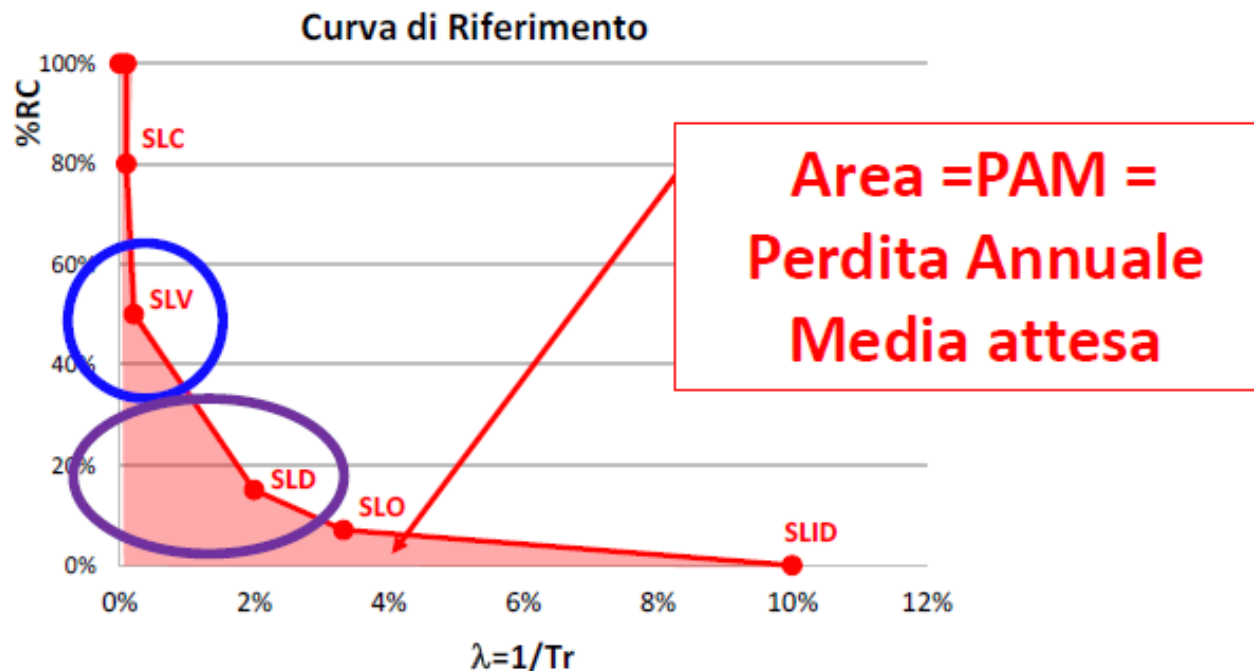
- ✓ Nel caso di $T_R < 10$ anni si assume sempre $T_R = 10$ anni.
- ✓ Nel caso il periodo di ritorno T_R per lo SLV sia inferiore a quello per gli SLD e SLO (quindi $\lambda_{SLV} > \lambda_{SLD}, \lambda_{SLO}$) si assume che la frequenza di accadimento sia la stessa per i tre SL, non potendo accadere che gli SLO e SLD si raggiungano dopo lo SLV.



2. Approccio convenzionale

Alcune precisazioni:

- ✓ Se si dimezza la frequenza **SLV** la PAM cambia poco.
- ✓ Mentre se si dimezza la frequenza **SLD** la PAM cambia molto.



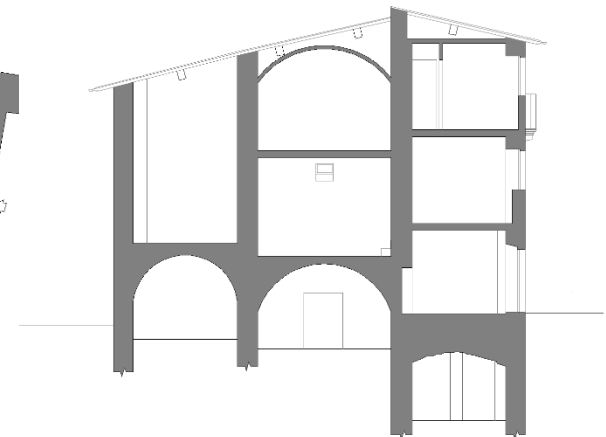
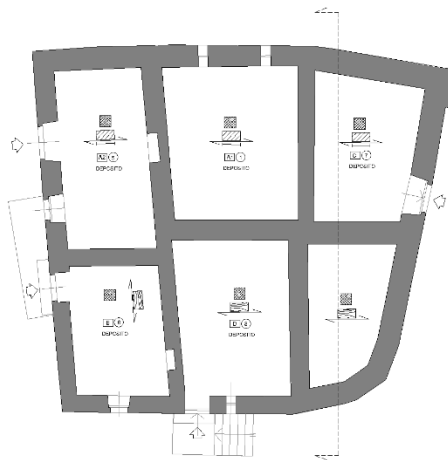
2. Approccio convenzionale - Edificio in muratura portante



Località: Barisciano (AQ)

Zona sismica: II

Tipologia muratura: pietrame disordinato



2. Approccio convenzionale - Edificio in muratura portante

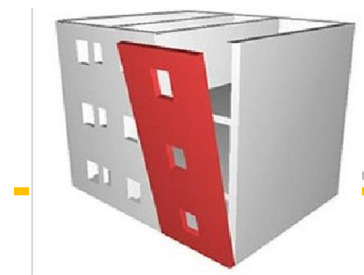
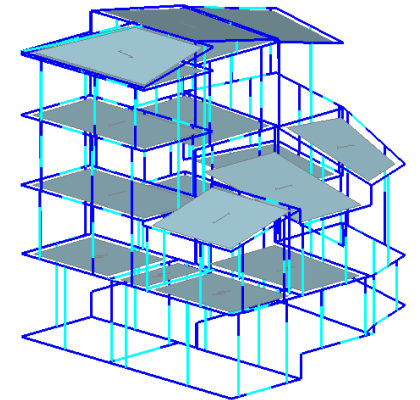
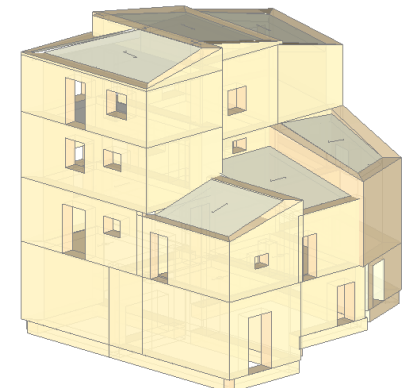
✓ Indagini limitate → Livello di conoscenza basso **LC1**



FC = 1.35

✓ Valutazione globale mediante **analisi pushover su modello a telaio equivalente**.

✓ Valutazione dei **meccanismi di ribaltamento locale** mediante analisi cinematica lineare.



2. Approccio convenzionale - Edificio in muratura portante

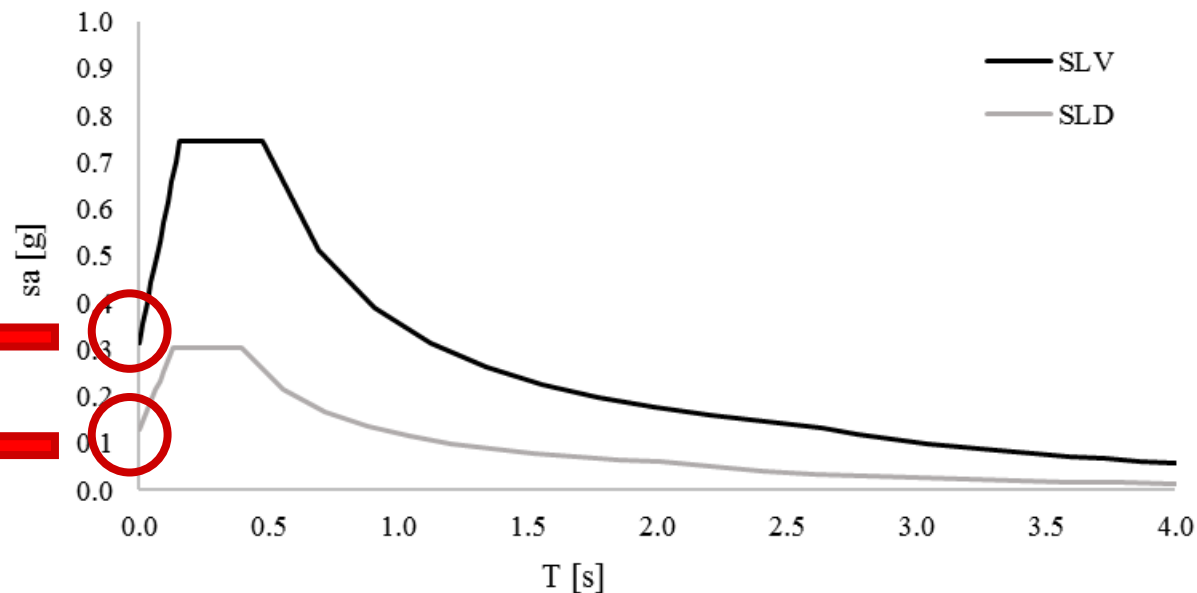
Come si calcola la **DOMANDA SISMICA** in ingresso?

- ✓ *Classe d'uso = II*
 - ✓ *Vita nominale = 50 anni*
- } → **Edificio ordinario** → **$T_{R,D} = 475$ anni**

- ✓ *Sottosuolo categoria B*
- ✓ *Classe topografica T2*

$PG_{AD,SLV} = 0.311$ g ←

$PG_{AD,SLD} = 0.129$ g ←



2. Approccio convenzionale - Edificio in muratura portante

Come si calcola la **CAPACITÀ SISMICA**?

Bisogna eseguire le verifiche rispetto ai **meccanismi locali e globali**:

Meccanismi LOCALI

La domanda non deve superare la capacità in termini di **RESISTENZA o SPOSTAMENTO**



Capacità di elementi/meccanismi primari:

PGAc

$$a_0^* = \frac{\alpha_0 g}{e^* FC}$$

$f_m = \infty$, FC=1.35

f_m = limitata, FC da LC

$$d_u^* \geq S_{De}(T_s)$$

FC=1.0

Meccanismi GLOBALI

La domanda non deve superare la capacità in termini di **RESISTENZA o SPOSTAMENTO**



Capacità di resistenza elementi primari:

$$\frac{f_m}{FC \cdot \gamma_c}$$

Analisi Lineari

$$\frac{f_m}{FC}$$

Analisi Non Lineari

2. Approccio convenzionale - Edificio in muratura portante

Come si calcola la **CAPACITÀ SISMICA**?

Per i meccanismi globali:

- ✓ Verifiche in termini di **resistenza rispetto allo SLV** (anche rispetto allo SLD se edificio è di classe III o IV)
 - Pressoflessione complanare e ortogonale
 - Taglio per fessurazione diagonale
 - Taglio per scorrimento
- ✓ Verifiche in termini di **spostamento di interpiano rispetto allo SLD** (per tutte le classi)



$$d_i \max \leq 0.3 \% H_i$$

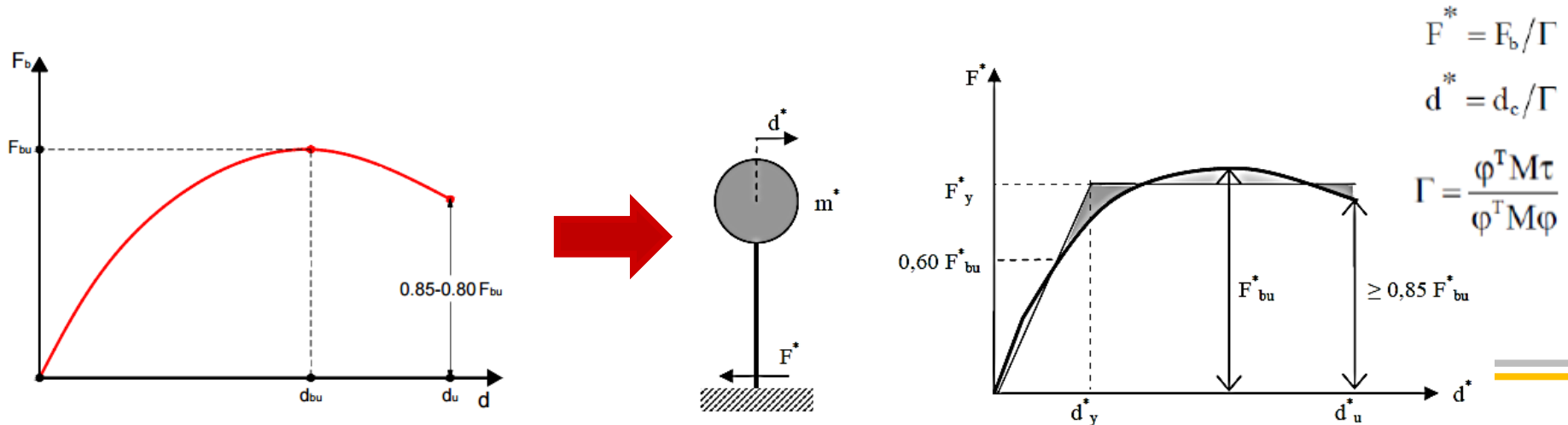
2. Approccio convenzionale - Edificio in muratura portante

Come si calcola la **CAPACITÀ SISMICA**?

- Si applica una **procedura iterativa** che consiste nell'incrementare man mano lo spettro di domanda elastico (es. per $T_{R,D} = 10, 30, 50, 100, 200\dots$) fino a trovare quello per cui le verifiche allo **SLV** e allo **SLD** non sono più soddisfatte (sia per analisi lineari che non lineari).
- Quindi la **PGAc** è l'**accelerazione** di ancoraggio degli spettri così determinati.
- Nel caso di **Analisi Pushover** bisogna anche verificare che lo spostamento globale richiesto d^*_{max} da ogni spettro non superi quello capace d^*_u .

2. Approccio convenzionale - Edificio in muratura portante

1. Si determinano le **curve di capacità globale** del sistema reale a **M-GDL**.
2. Si riducono a quelle relative al **sistema equivalente a 1-GDL** (dividendo le ascisse e le ordinate per il fattore di partecipazione modale Γ).
3. Trasformazione in **curve bilineari** secondo il **metodo N2** previsto dalle NTC 2008.

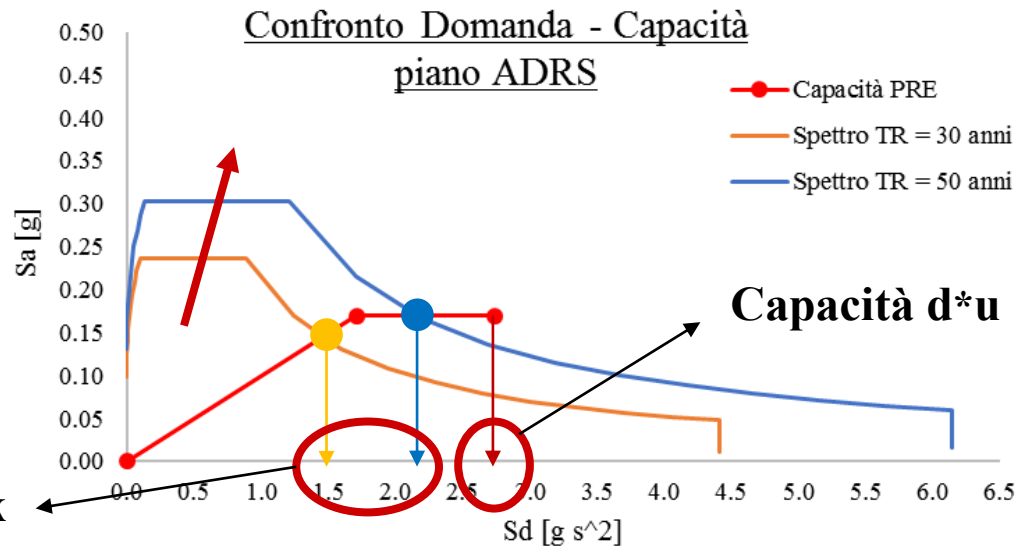


2. Approccio convenzionale - Edificio in muratura portante

4. Per ogni incremento spettrale si calcola la domanda in spostamento d^*_{max} e la si confronta con la capacità d^*_{u} , nel **piano ADRS** (spostamento – accelerazione).

$$d^*_{max} = d^*_{e,max} = S_{De}(T^*) \quad \text{per } T > T_c$$

$$d^*_{max} = \frac{d^*_{e,max}}{q^*} \left[1 + (q^* - 1) \frac{T_c}{T^*} \right] \geq d^*_{e,max} \quad \text{per } T \leq T_c$$



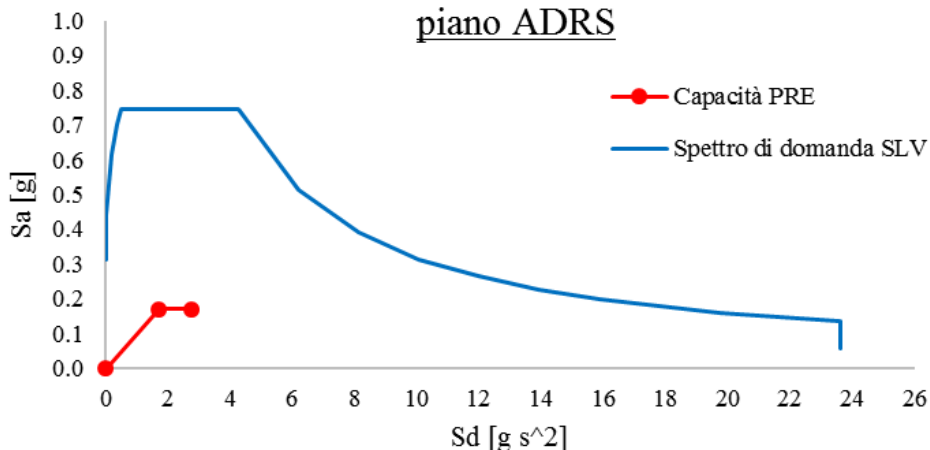
2. Approccio convenzionale - Edificio in muratura portante






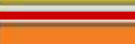

➤ **IS-V** Valutazione della classe di rischio allo stato **PRE intervento**

✓ $PG_{Ac,SLV} = 0.099 \text{ g}$ ➔ Minimo tra verifiche globali e locali rispetto allo **SLV**

✓ $IS-V = (PG_{Ac}/PG_{Ad}) = (0.099/0.311) = 0.318 = 31.8\%$

Confronto Domanda - Capacità
piano ADRS



— Rischio minore	
100% < IS-V	A+ 
100% ≤ IS-V < 80%	A 
80% ≤ IS-V < 60%	B 
60% ≤ IS-V < 45%	C 
45% ≤ IS-V < 30%	D 
30% ≤ IS-V < 15%	E 
IS-V ≤ 15%	F 
+ Rischio maggiore	

2. Approccio convenzionale - Edificio in muratura portante

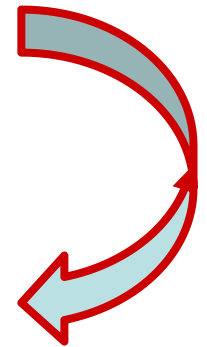
➤ PAM Valutazione della classe di rischio allo stato **PRE** intervento

$$T_{rC} = T_{rD} (PGAC/PGAD)^\eta$$

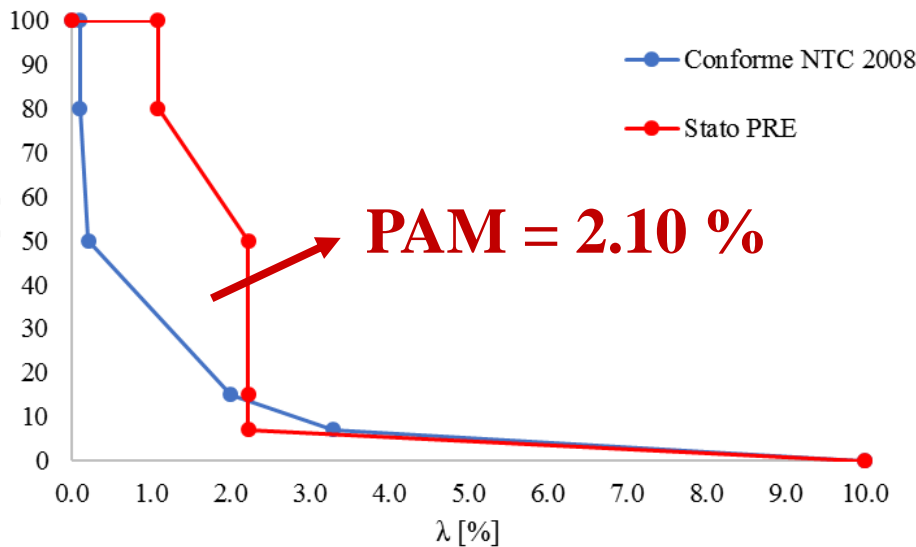


$$T_{Rc, SLV} = 45 \text{ anni}$$

$$T_{Rc, SLD} = 295 \text{ anni}$$



Curve PAM



PAM = 2.10 %

Stato Limite	$\lambda = 1/Tr$ (%)	CR (%)
SLR	1.09	100
SLC	1.09	80
SLV	2.22	50
SLD	2.22	15
SLO	2.22	7
SLID	10.00	0

Uguali perché
 $\lambda_{SLV} > \lambda_{SLD}, \lambda_{SLO}$

$$PAM = \sum_{i=2}^5 (\lambda_{SLi-1} - \lambda_{SLi}) \cdot (CR_{SLi} + CR_{SLi-1})/2 + \lambda_{SLC} \cdot CR_{SLR}$$

2. Approccio convenzionale - Edificio in muratura portante

➤ PAM Valutazione della classe di rischio allo stato PRE intervento

$$T_{rC} = T_{rD} (PGAC/PGAD)^\eta$$

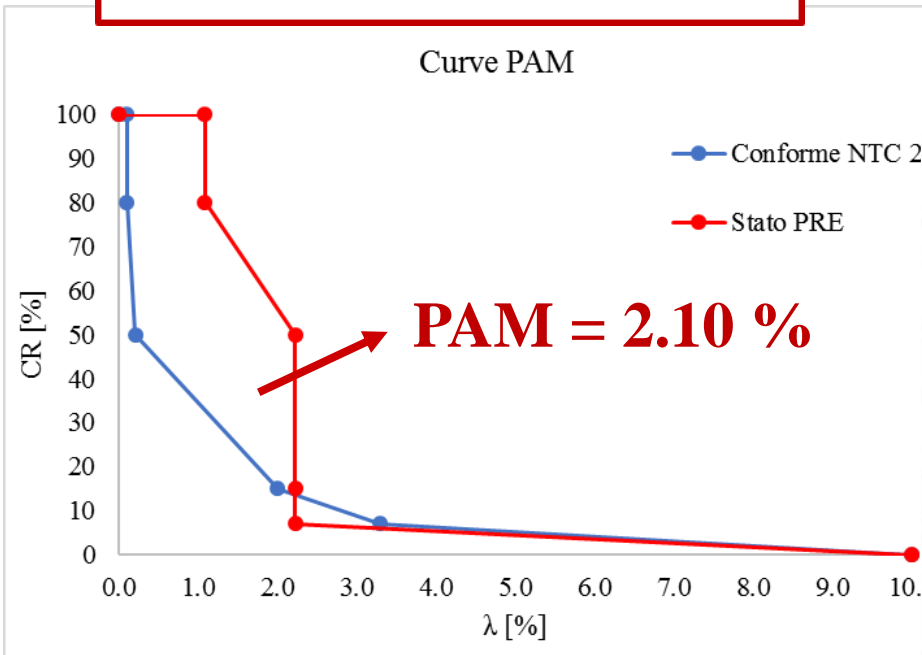


$T_{rc, SLV} = 45$ anni

$T_{rc, SLD} = 295$ anni



Curve PAM



PAM = 2.10 %

PAM Range	Risk Class	Color
$PAM \leq 0,50\%$	A+	Dark Green
$0,50\% < PAM \leq 1,0\%$	A	Green
$1,0\% < PAM \leq 1,5\%$	B	Light Green
$1,5\% < PAM \leq 2,5\%$	C	Yellow-Green
$2,5\% < PAM \leq 3,5\%$	D	Yellow
$3,5\% < PAM \leq 4,5\%$	E	Orange
$4,5\% < PAM \leq 7,5\%$	F	Dark Orange
$7,5\% \leq PAM$	G	Red

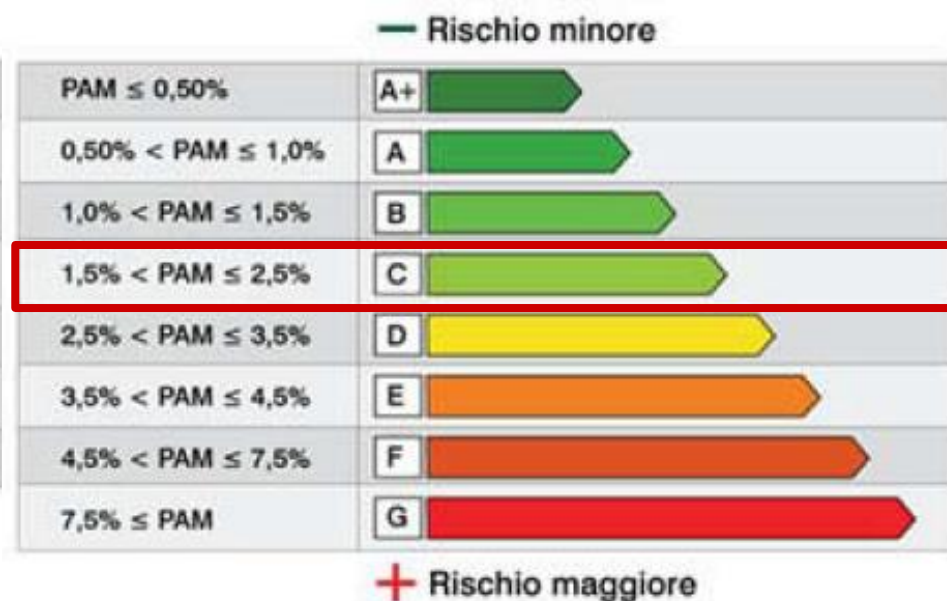
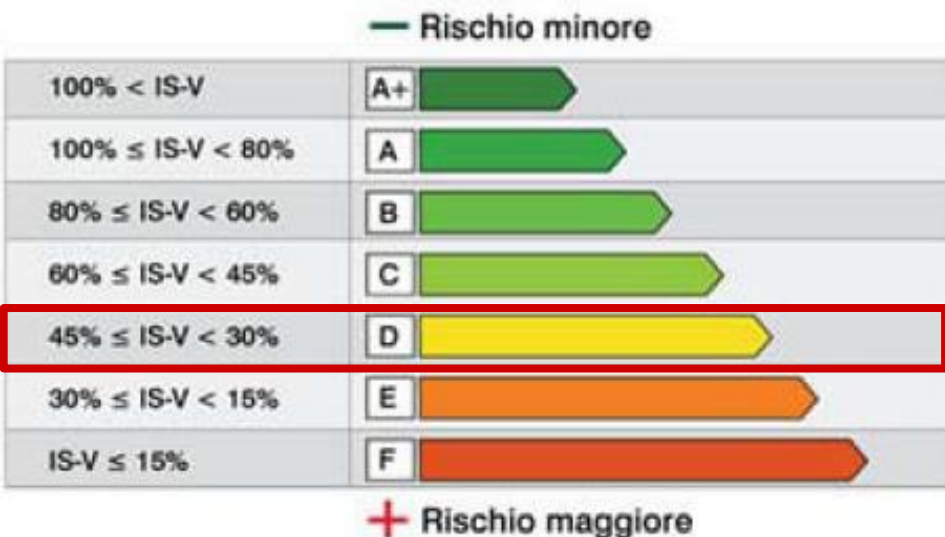
$$PAM = \sum_{i=2}^5 (\lambda_{SLi-1} - \lambda_{SLi}) \cdot (CR_{SLi} + CR_{SLi-1})/2 + \lambda_{SLC} \cdot CR_{SLR}$$

2. Approccio convenzionale - Edificio in muratura portante

Quindi la classe di rischio **PRE intervento** è la minima tra le 2:

IS-V = 31.8 %

PAM = 2.10 %

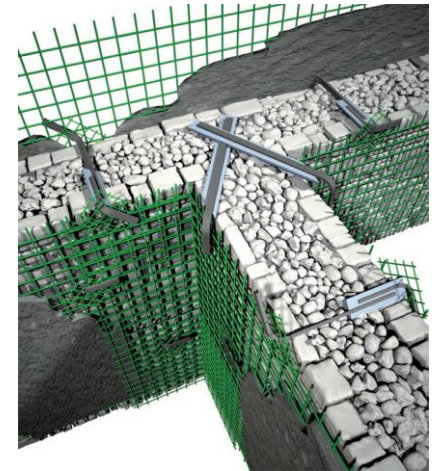


La classe di rischio PRE è la **D**

2. Approccio convenzionale - Edificio in muratura portante

Valutazione della classe di rischio allo stato **POST intervento**

- ✓ Intervento di **ADEGUAMENTO SISMICO**
 - Consolidamento murature con intonaco armato
 - Sostituzione delle coperture pesanti con altre più leggere in travi di legno e tavolato.
 - Irrigidimento dei solai di piano.
 - Miglioramento delle connessioni pareti-orizzontamenti con connettori e tiranti.



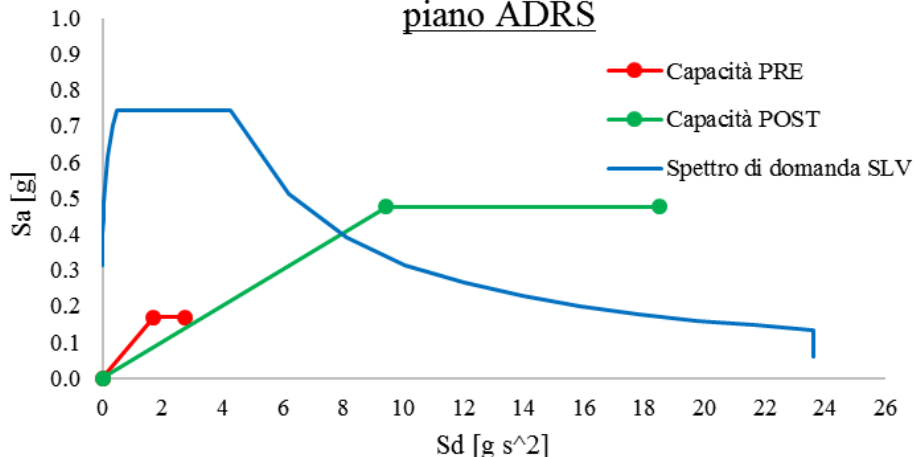
2. Approccio convenzionale - Edificio in muratura portante

➤ **IS-V** Valutazione classe di rischio **POST** intervento

✓ $PG_{Ac,SLV} = 0.316 \text{ g}$ ➔ minimo tra verifiche globali e locali rispetto allo **SLV**

✓ $IS-V = (PG_{Ac}/PG_{Ad}) = 1.017$

Confronto Domanda - Capacità
piano ADRS



— Rischio minore	
$100\% < IS-V$	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
+ Rischio maggiore	

2. Approccio convenzionale - Edificio in muratura portante

➤ PAM Valutazione classe di rischio **POST** intervento

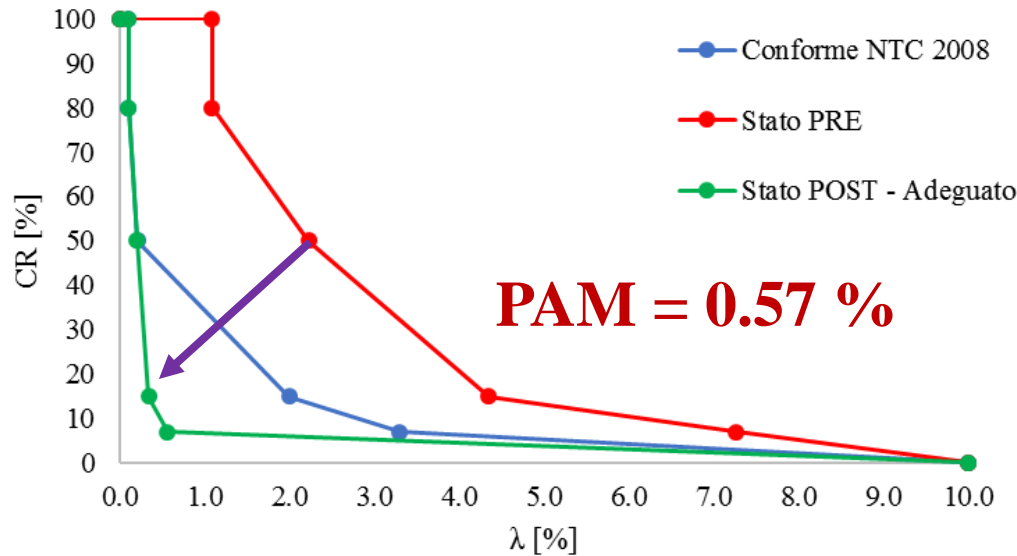
$$T_{RC} = T_{rD} (PGAC/PGAD)^\eta$$



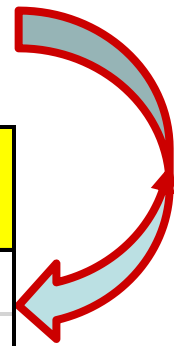
$T_{RC,SLV} = 490$ anni

$T_{RC,SLD} = 295$ anni

Curve PAM



Stato Limite	$\lambda = 1/Tr$ (%)	CR (%)
SLR	0.10	100
SLC	0.10	80
SLV	0.20	50
SLD	0.34	15
SLO	0.56	7
SLID	10.00	0



$$PAM = \sum_{i=2}^5 (\lambda_{SLi-1} - \lambda_{SLi}) \cdot (CR_{SLi} + CR_{SLi-1})/2 + \lambda_{SLC} \cdot CR_{SLR}$$

2. Approccio convenzionale - Edificio in muratura portante

➤ PAM Valutazione della classe di rischio allo stato **POST** intervento

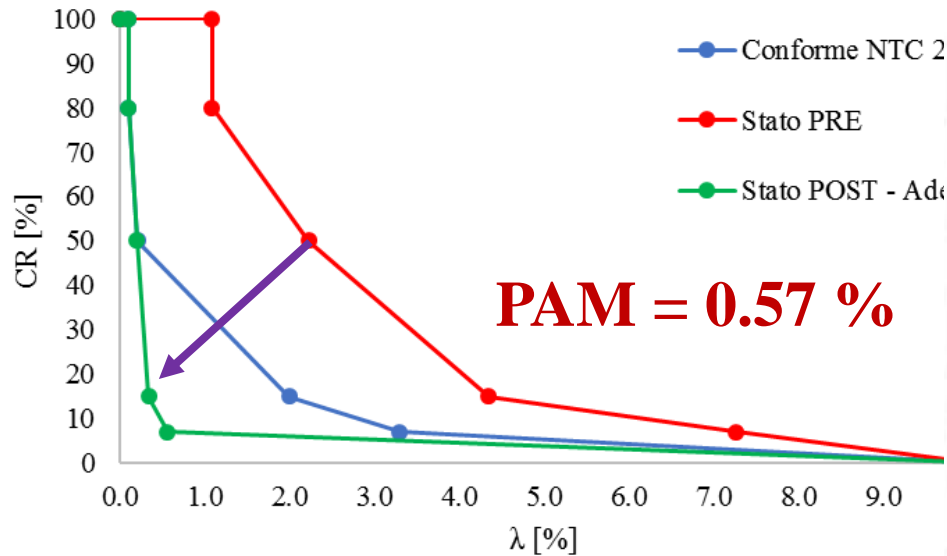
$$T_{rC} = T_{rD} (PGAC/PGAD)^\eta$$



$T_{rc, SLV} = 490$ anni

$T_{rc, SLD} = 295$ anni

Curve PAM



PAM = 0.57 %

PAM Range	Risk Class	Risk Level
$PAM \leq 0,50\%$	A+	Rischio minore
$0,50\% < PAM \leq 1,0\%$	A	Rischio minore
$1,0\% < PAM \leq 1,5\%$	B	Rischio minore
$1,5\% < PAM \leq 2,5\%$	C	Rischio minore
$2,5\% < PAM \leq 3,5\%$	D	Rischio minore
$3,5\% < PAM \leq 4,5\%$	E	Rischio minore
$4,5\% < PAM \leq 7,5\%$	F	Rischio maggiore
$7,5\% \leq PAM$	G	Rischio maggiore

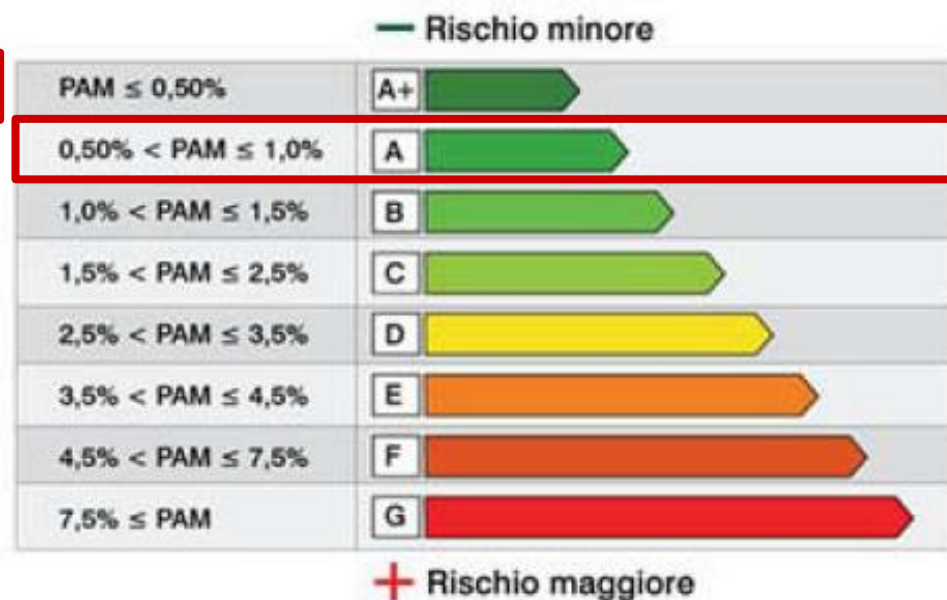
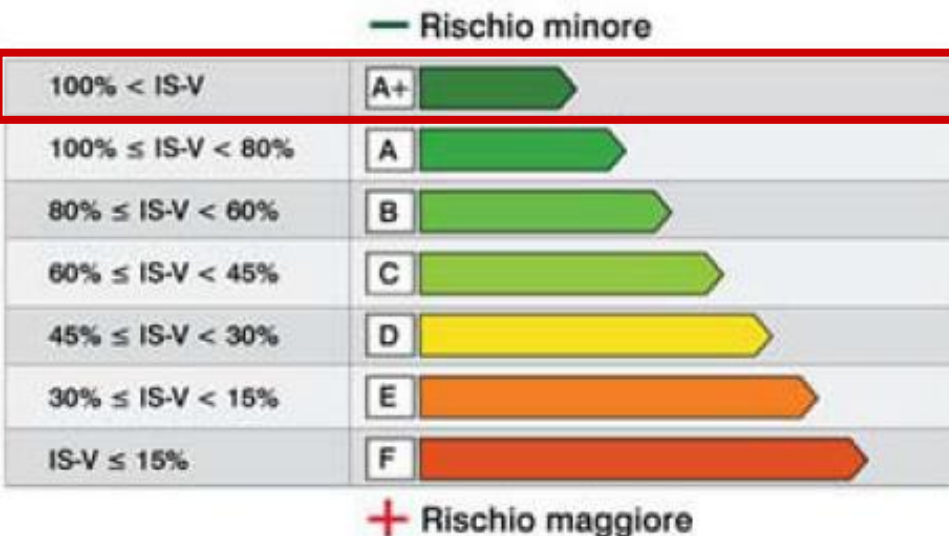
$$PAM = \sum_{i=2}^5 (\lambda_{SLi-1} - \lambda_{SLi}) \cdot (CR_{SLi} + CR_{SLi-1})/2 + \lambda_{SLC} \cdot CR_{SLR}$$

2. Approccio convenzionale - Edificio in muratura portante

Quindi la classe di rischio **POST intervento** è la minima tra le 2:

IS-V > 100%

PAM = 0.57 %



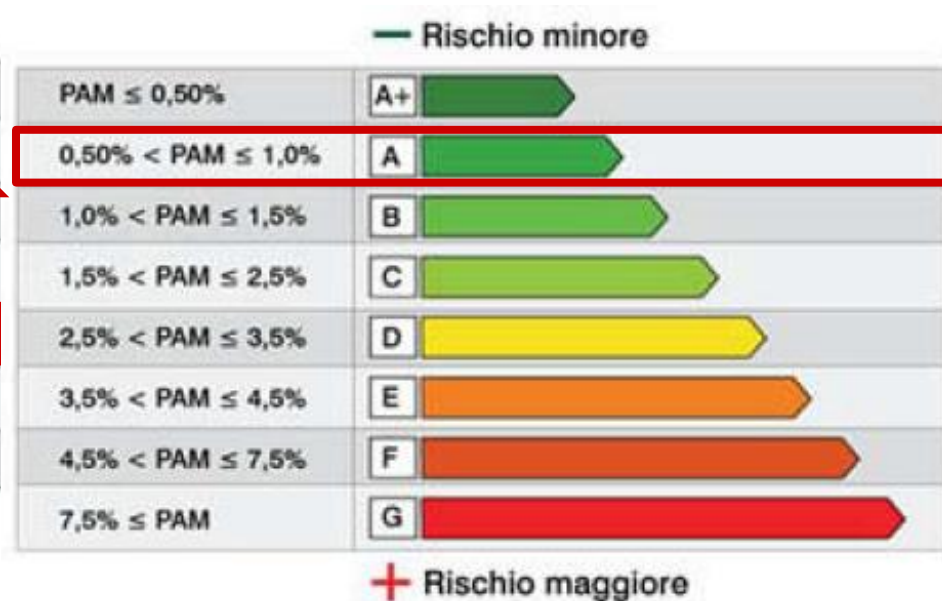
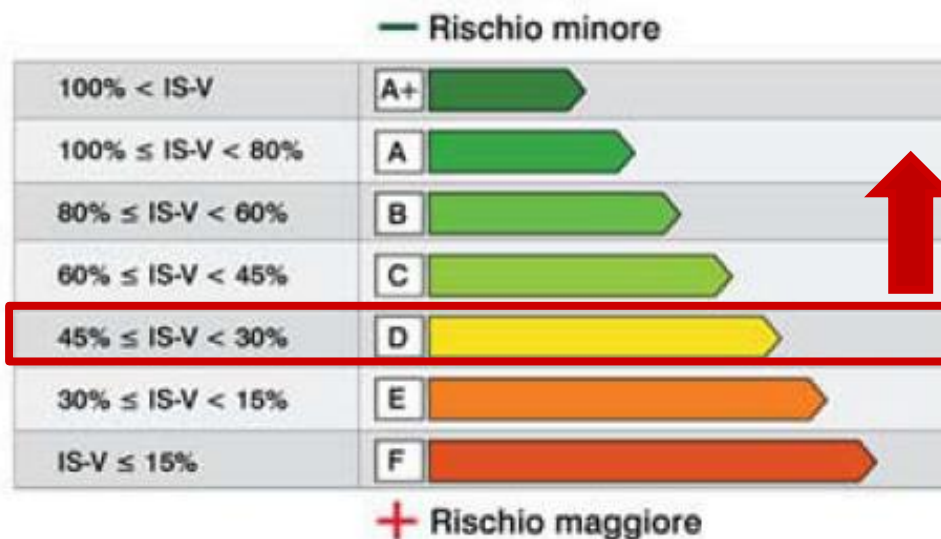
La classe di rischio POST è la **A**

2. Approccio convenzionale - Edificio in muratura portante

Differenza PRE e POST

PRE (IS-V = 31.9 %)

POST (PAM = 0.57 %)



Dalla classe **D** alla **A**



Miglioramento di **3 classi**

2. Approccio convenzionale - Edificio in muratura portante

- ✓ Da notare come, in questo caso studio di **edificio residenziale in muratura**, allo stato **PRE intervento** sia il parametro **IS-V** a imporre la classe di rischio, mentre a seguito dell'**adeguamento sismico** sia il parametro **PAM** a fornire la classe peggiore (seppur di poco, per cui il progetto di adeguamento rispetto allo SLV è ben bilanciato anche rispetto agli altri SL).

2. Approccio semplificato - Edificio in calcestruzzo Armato (CA)

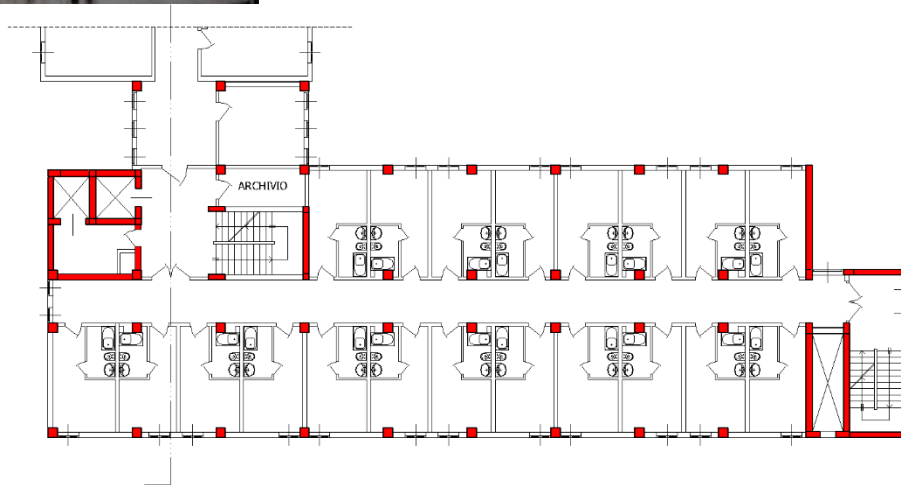
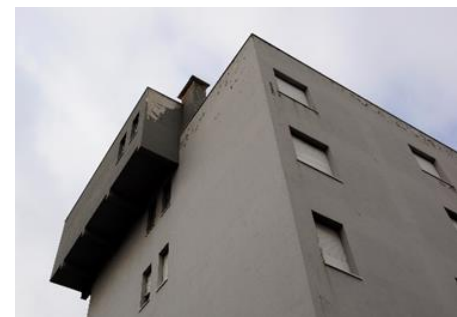
- ✓ Le Linee Guida forniscono indicazioni sugli **interventi locali** da eseguire per ottenere automaticamente il **miglioramento di una sola classe** (solo se edificio ha telai in entrambe le direzioni):
 - Confinamento di tutti i nodi non confinati.
 - Anti-ribaltamento su tutte le tamponature.
 - Ripristino zone degradato e danneggiate.



2. Approccio convenzionale - Edificio in calcestruzzo Armato (CA) – Caserma (strategico)

Località: Ancona

Zona sismica: II



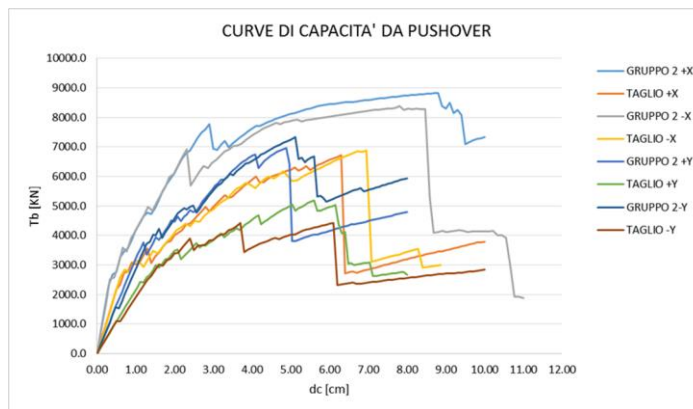
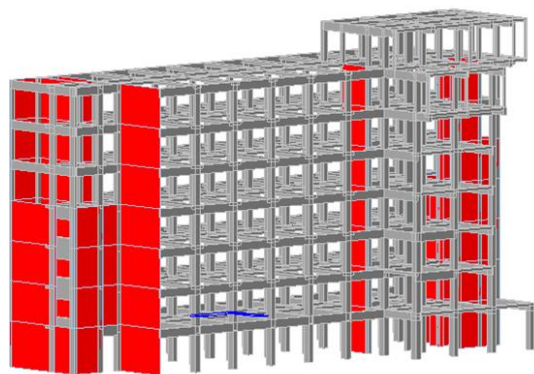
2. Approccio convenzionale - Edificio in calcestruzzo Armato (CA) – Caserma (strategico)

✓ Indagini estese → Livello di conoscenza LC2



$$FC = 1.20$$

✓ Valutazione globale mediante **analisi pushover**.



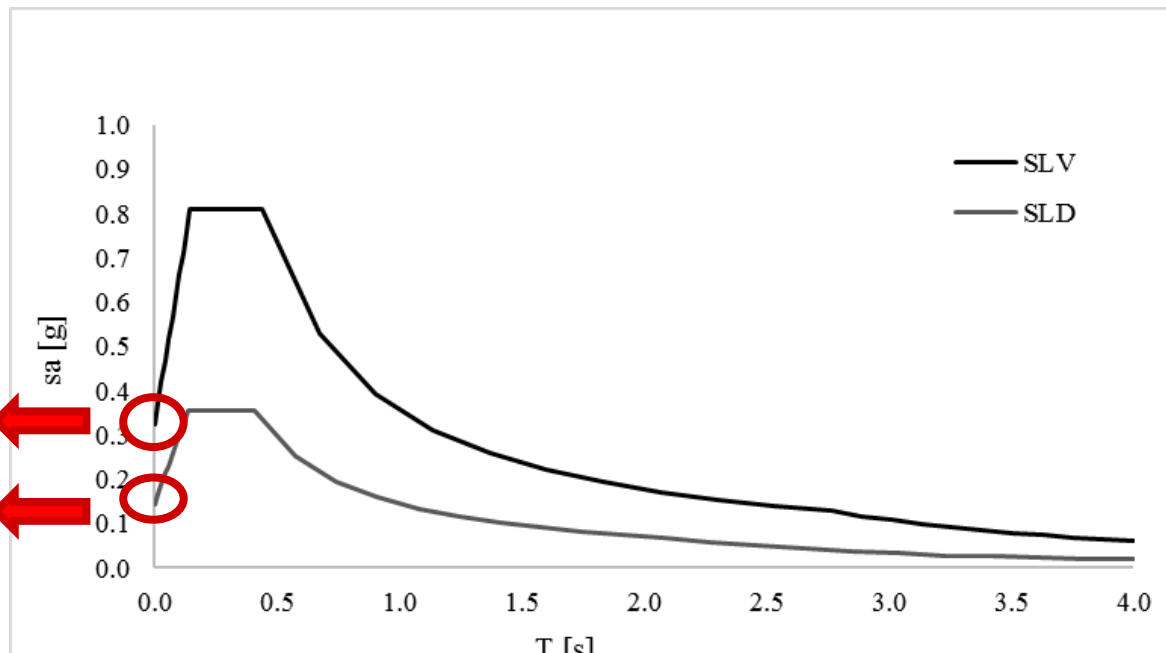
2. Approccio convenzionale - Edificio in calcestruzzo Armato (CA)

Come si calcola la **DOMANDA SISMICA** in ingresso?

- ✓ *Classe d'uso = IV*
 - ✓ *Vita nominale = 100 anni*
- } → **Edificio strategico** → **$T_{R,D} = 1898$ anni**
- ✓ *Sottosuolo categoria B*
 - ✓ *Classe topografica T1*

$PGAD,SLV = 0.323$ g ←

$PGAD,SLD = 0.145$ g ←



2. Approccio convenzionale - Edificio in calcestruzzo Armato (CA)

Come si calcola la **CAPACITÀ SISMICA**?

Bisogna eseguire le verifiche rispetto ai **meccanismi duttili e fragili**:

Meccanismi DUTTILI

La domanda non deve superare la capacità in termini di **DEFORMAZIONE**



Capacità di elementi/meccanismi **duttili**:



$$\frac{f_{cm}}{FC}$$



$$\frac{f_{ym}}{FC}$$

Meccanismi FRAGILI

La domanda non deve superare la capacità in termini di **RESISTENZA**



Capacità di resistenza elementi **fragili primari**:



$$\frac{f_{cm}}{FC \cdot \gamma_c}$$



$$\frac{f_{ym}}{FC \cdot \gamma_s}$$

2. Approccio convenzionale - Edificio in calcestruzzo Armato (CA)

Come si calcola la **CAPACITÀ SISMICA**?

Verifiche rispetto allo **SLV**:

Meccanismi fragili

- Verifiche di resistenza a taglio degli elementi strutturali.
- Verifiche di resistenza dei nodi non confinati.

Meccanismi duttili

- Verifiche di deformabilità rispetto alle rotazioni alla corda Θ_{SLV} .

2. Approccio convenzionale - Edificio in calcestruzzo Armato (CA)

Come si calcola la **CAPACITÀ SISMICA**?

Verifiche rispetto allo **SLD**:

✓ Costruzioni di **classe d'uso I e II (ordinarie)**:

- Verifiche di **contenimento del danno** in termini di spostamento di interpiano (per tutte le classi da I a IV).

$$d_i \max \leq 0.5 \% H_i$$

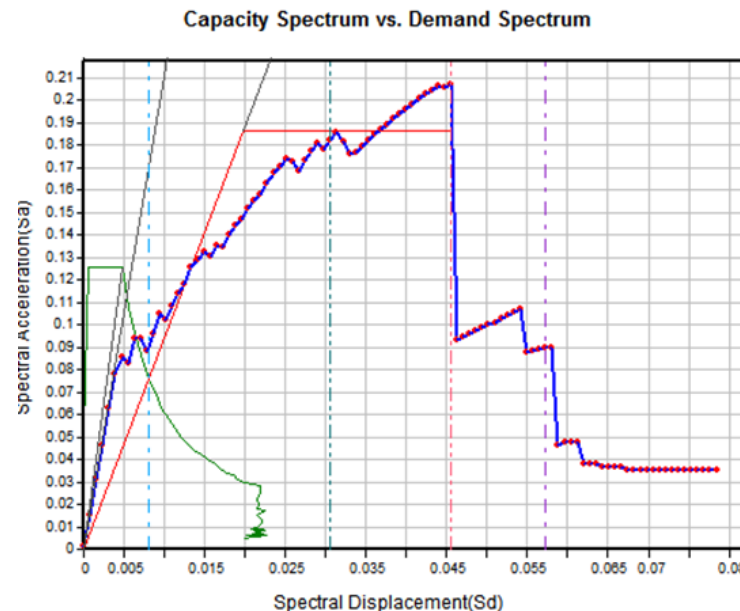
✓ Costruzioni di **classe d'uso III (rilevante) e IV (strategica)**:

- Oltre al controllo degli spostamenti si ripetono anche le stesse verifiche viste per lo SLV (in questo caso però si considera la rotazione alla corda di snervamento Θ_y per le verifiche dei meccanismi duttili)

2. Approccio convenzionale - Edificio in calcestruzzo Armato (CA)

Come si calcola la **CAPACITÀ SISMICA**?

- ✓ La procedura per determinare la PGAc rispetto allo **SLV** e allo **SLD** è la stessa di tipo iterativo-incrementale degli spettri già vista per gli edifici in muratura portante.

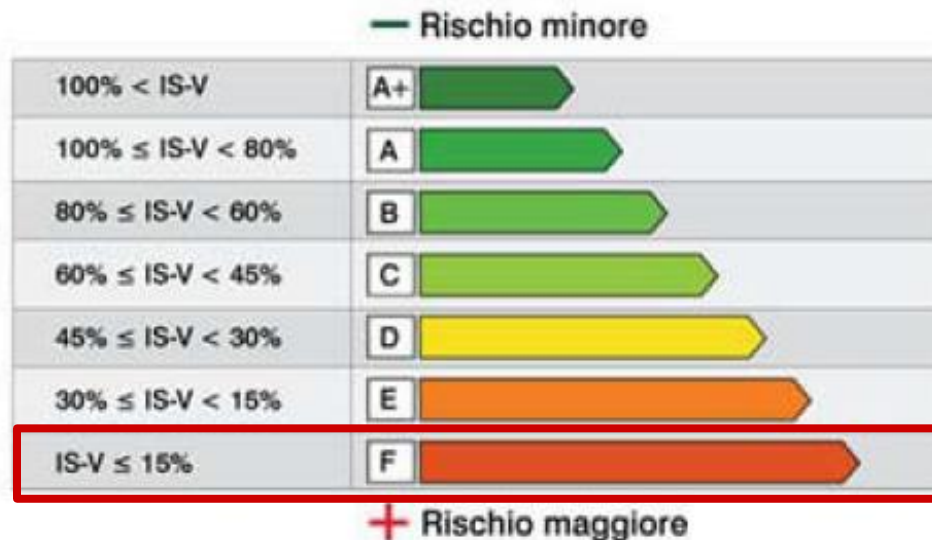


2. Approccio convenzionale - Edificio in calcestruzzo Armato (CA)

➤ **IS-V** Valutazione della classe di rischio allo stato **PRE intervento**

✓ $PG_{Ac,SLV} = 0.039 \text{ g}$  Minimo tra verifiche duttili e fragili rispetto allo **SLV**

✓ $IS-V = (PG_{Ac}/PG_{Ad}) = 0.121$



2. Approccio convenzionale - Edificio in calcestruzzo Armato (CA)

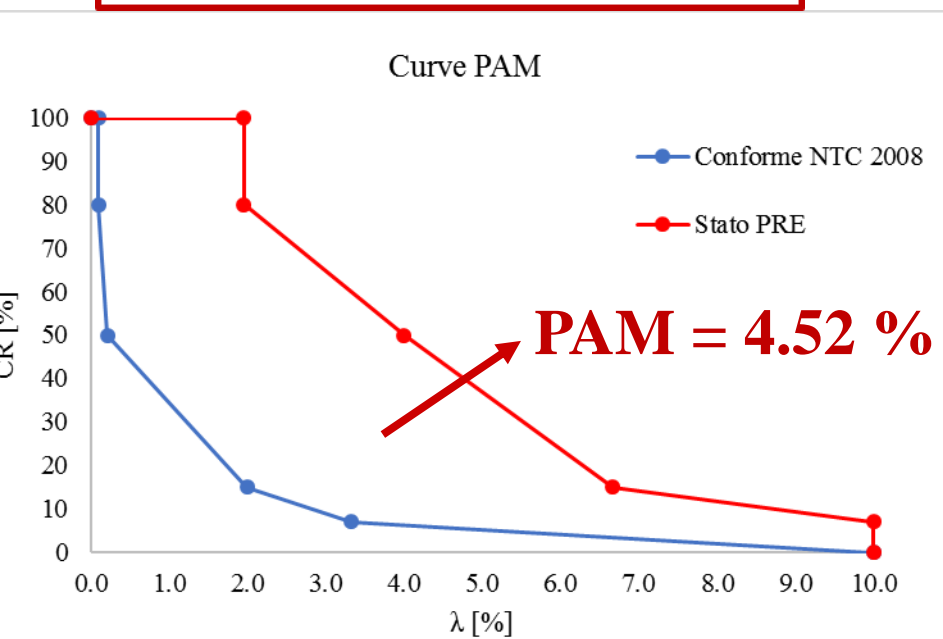
➤ **PAM** Valutazione della classe di rischio allo stato **PRE** intervento

$$T_{rC} = T_{rD} (PGAC/PGAD)^\eta$$

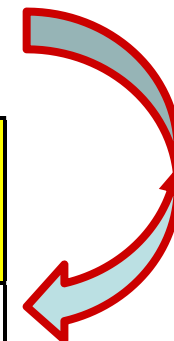


$$T_{Rc,SLV} = 25 \text{ anni}$$

$$T_{Rc,SLD} = 15 \text{ anni}$$



Stato Limite	$\lambda = 1/Tr$ (%)	CR (%)
SLR	1.96	100
SLC	1.96	80
SLV	4.00	50
SLD	6.67	15
SLO	10.00	7
SLID	10.00	0



$$PAM = \sum_{i=2}^5 (\lambda_{SLi-1} - \lambda_{SLi}) \cdot (CR_{SLi} + CR_{SLi-1})/2 + \lambda_{SLC} \cdot CR_{SLR}$$

2. Approccio convenzionale - Edificio in calcestruzzo Armato (CA)

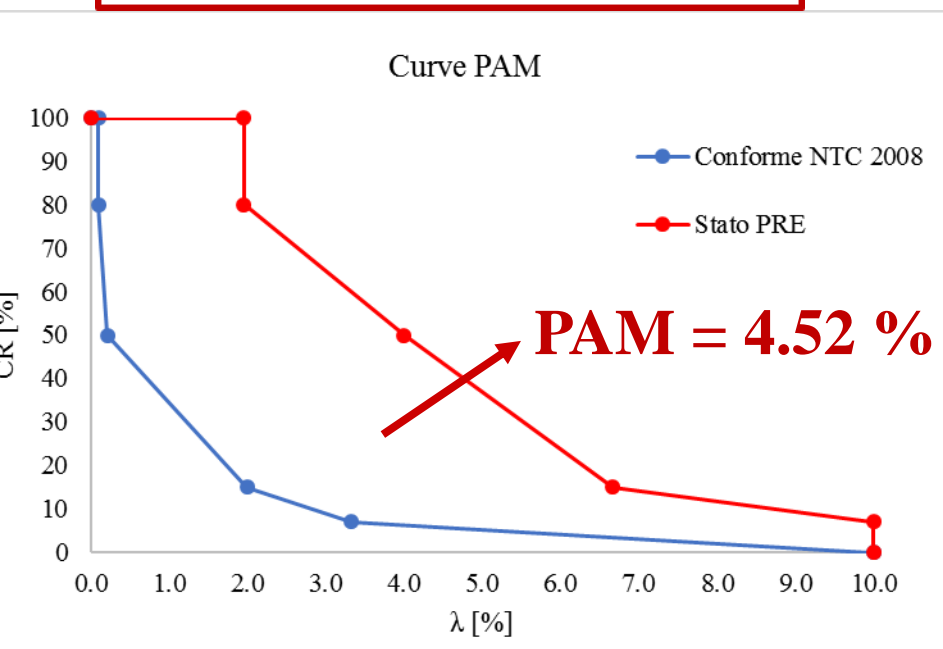
➤ PAM Valutazione della classe di rischio allo stato PRE intervento

$$T_{rC} = T_{rD} (PGAC/PGAD)^\eta$$



$T_{rc, SLV} = 25$ anni

$T_{rc, SLD} = 15$ anni



PAM Range	Risk Class	Risk Level
$PAM \leq 0,50\%$	A+	Rischio minore
$0,50\% < PAM \leq 1,0\%$	A	Rischio minore
$1,0\% < PAM \leq 1,5\%$	B	Rischio minore
$1,5\% < PAM \leq 2,5\%$	C	Rischio minore
$2,5\% < PAM \leq 3,5\%$	D	Rischio minore
$3,5\% < PAM \leq 4,5\%$	E	Rischio minore
$4,5\% < PAM \leq 7,5\%$	F	Rischio maggiore
$7,5\% \leq PAM$	G	Rischio maggiore

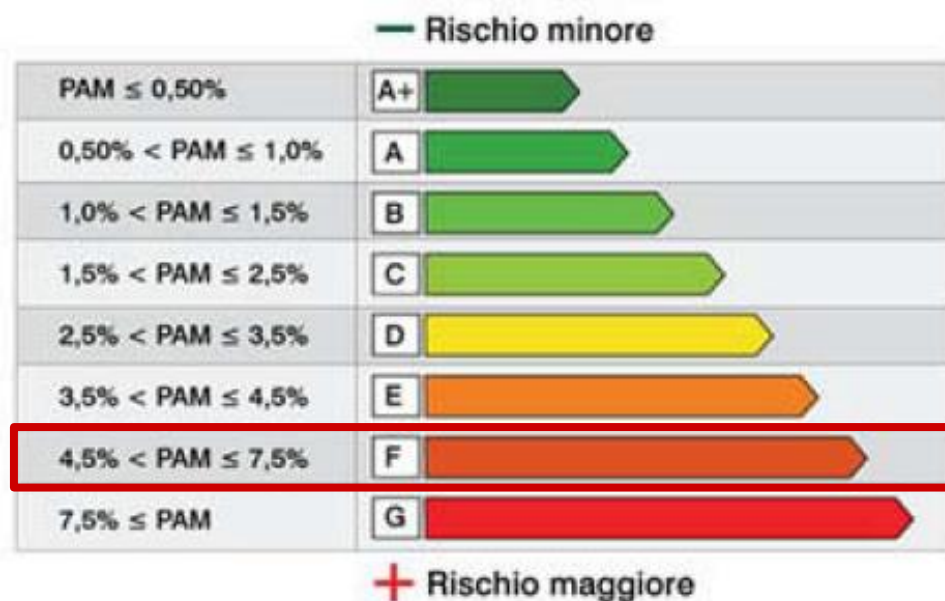
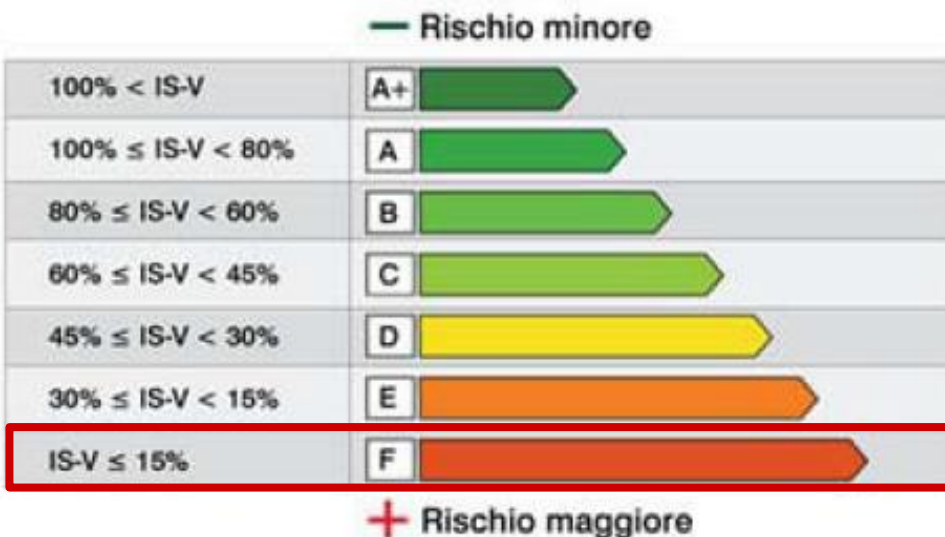
$$PAM = \sum_{i=2}^5 (\lambda_{SLi-1} - \lambda_{SLi}) \cdot (CR_{SLi} + CR_{SLi-1})/2 + \lambda_{SLC} \cdot CR_{SLR}$$

2. Approccio convenzionale - Edificio in calcestruzzo Armato (CA)

Quindi la classe di rischio **PRE intervento** è la minima tra le 2:

IS-V = 12.1 %

PAM = 4.52 %



La classe di rischio PRE è la **F**

2. Approccio convenzionale - Edificio in calcestruzzo Armato (CA)

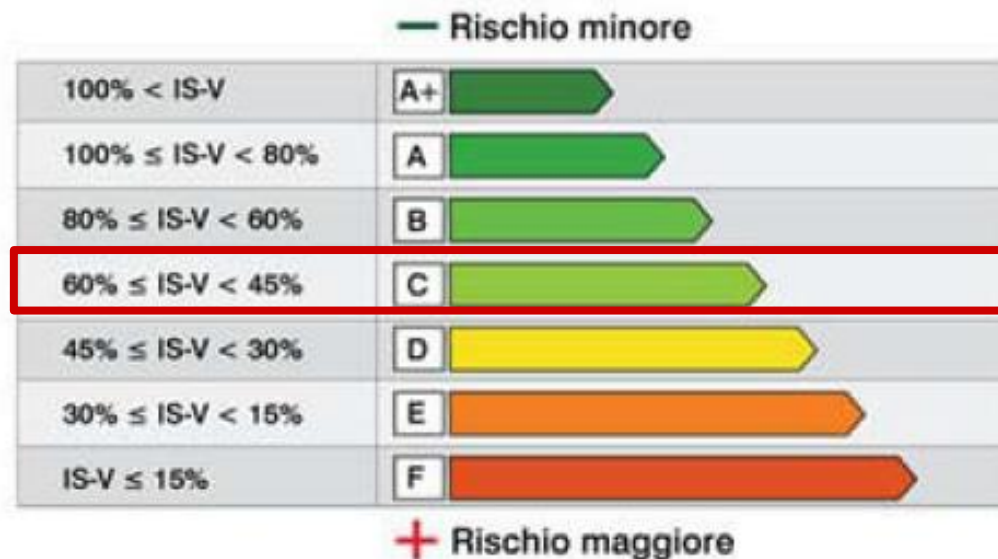
Valutazione classe di rischio **POST** intervento

- ✓ Intervento di **MIGLIORAMENTO SISMICO** (ipotesi)
 - Rinforzo a taglio con nastri in FRP di tutte le travi, i pilastri e i nodi.
 - Rinforzo a pressoflessione con nastri in FRP dei soli pilastri.



2. Approccio convenzionale - Edificio in calcestruzzo Armato (CA)

- **IS-V** Valutazione classe di rischio **POST** intervento
- ✓ $PG_{Ac,SLV} = 0.193 g$ ➔ Minimo tra verifiche duttili e fragili rispetto allo **SLV**
- ✓ $IS-V = (PG_{Ac}/PG_{Ad}) = 0.60$



2. Approccio convenzionale - Edificio in calcestruzzo Armato (CA)

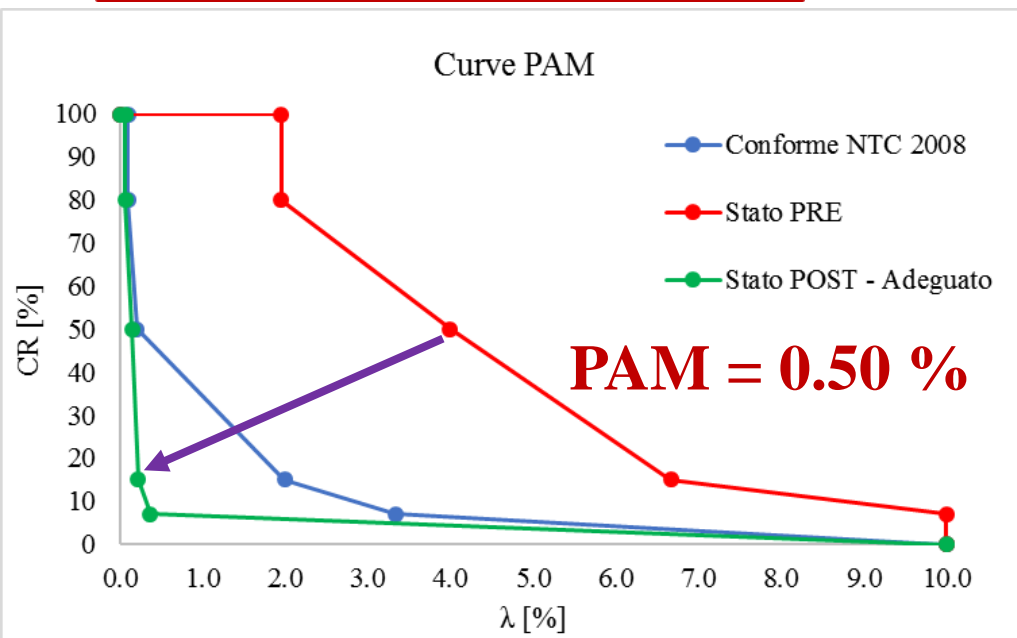
➤ PAM Valutazione classe di rischio **POST** intervento

$$T_{RC} = T_{rD} (PGAC/PGAD)^\eta$$



$$T_{RC,SLV} = 670 \text{ anni}$$

$$T_{RC,SLD} = 450 \text{ anni}$$



Stato Limite	$\lambda = 1/Tr$ (%)	CR (%)
SLR	0.07	100
SLC	0.07	80
SLV	0.15	50
SLD	0.22	15
SLO	0.37	7
SLID	10.00	0

$$PAM = \sum_{i=2}^5 (\lambda_{SLi-1} - \lambda_{SLi}) \cdot (CR_{SLi} + CR_{SLi-1})/2 + \lambda_{SLC} \cdot CR_{SLR}$$

2. Approccio convenzionale - Edificio in calcestruzzo Armato (CA)

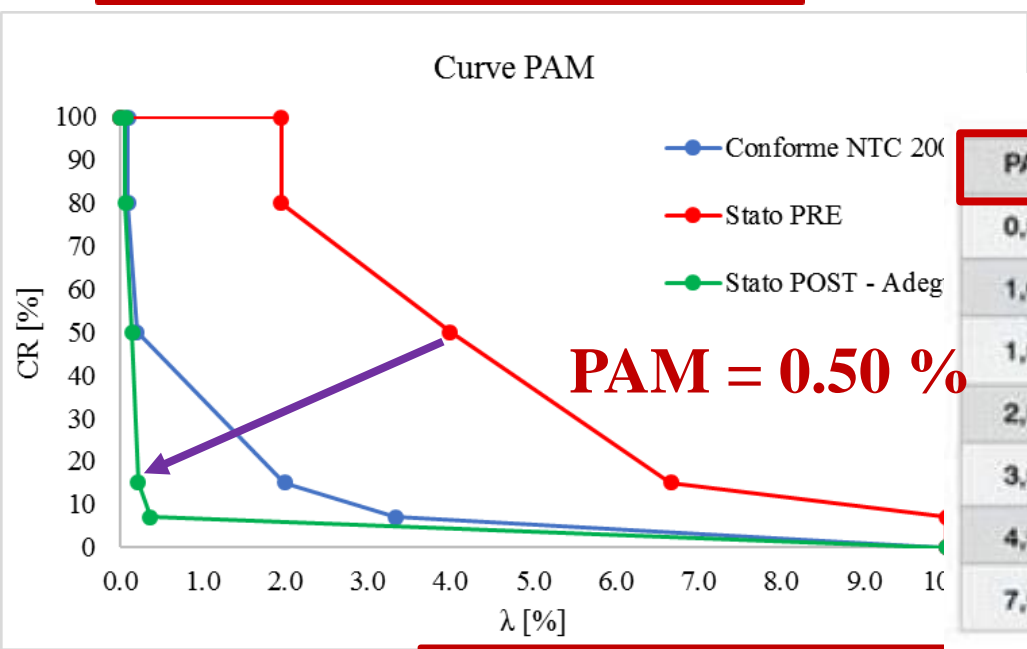
➤ PAM Valutazione classe di rischio **POST** intervento

$$T_{RC} = T_{rD} (PGAC/PGAD)^\eta$$



$$T_{RC,SLV} = 670 \text{ anni}$$

$$T_{RC,SLD} = 450 \text{ anni}$$



PAM Range	Risk Class	Visual Indicator
PAM ≤ 0,50%	A+	Green arrow pointing right
0,50% < PAM ≤ 1,0%	A	Green arrow pointing right
1,0% < PAM ≤ 1,5%	B	Green arrow pointing right
1,5% < PAM ≤ 2,5%	C	Light green arrow pointing right
2,5% < PAM ≤ 3,5%	D	Yellow arrow pointing right
3,5% < PAM ≤ 4,5%	E	Orange arrow pointing right
4,5% < PAM ≤ 7,5%	F	Dark orange arrow pointing right
7,5% ≤ PAM	G	Red arrow pointing right

$$PAM = \sum_{i=2}^5 (\lambda_{SLi-1} - \lambda_{SLi}) \cdot (CR_{SLi} + CR_{SLi-1})/2 + \lambda_{SLC} \cdot CR_{SLR}$$

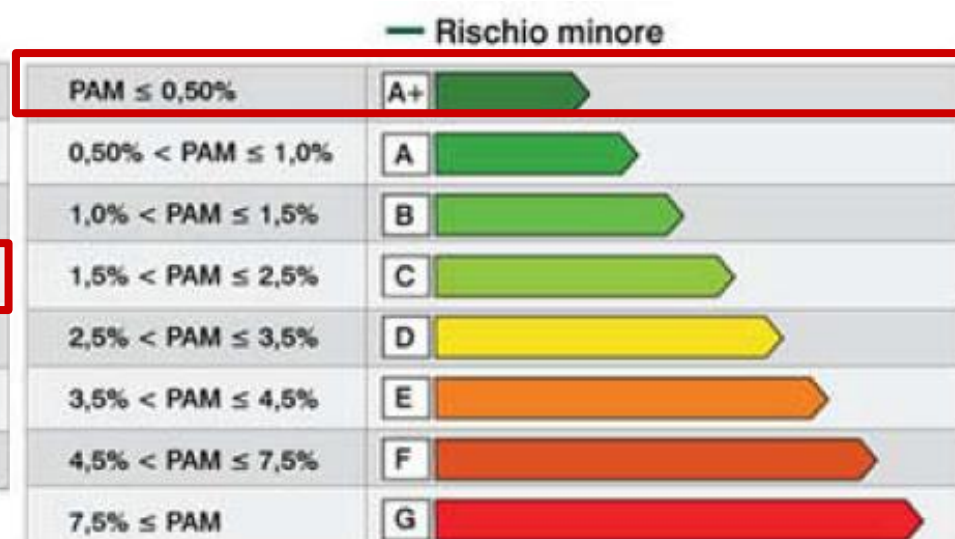
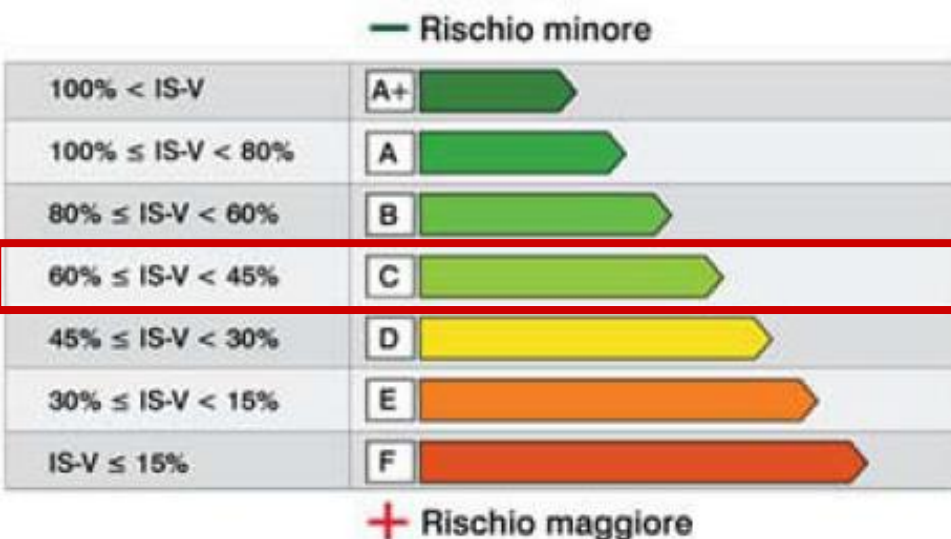
+ Rischio maggiore

2. Approccio convenzionale - Edificio in calcestruzzo Armato (CA)

Quindi la classe di rischio **POST intervento** è la minima tra le 2:

IS-V = 60 %

PAM = 0.50 %



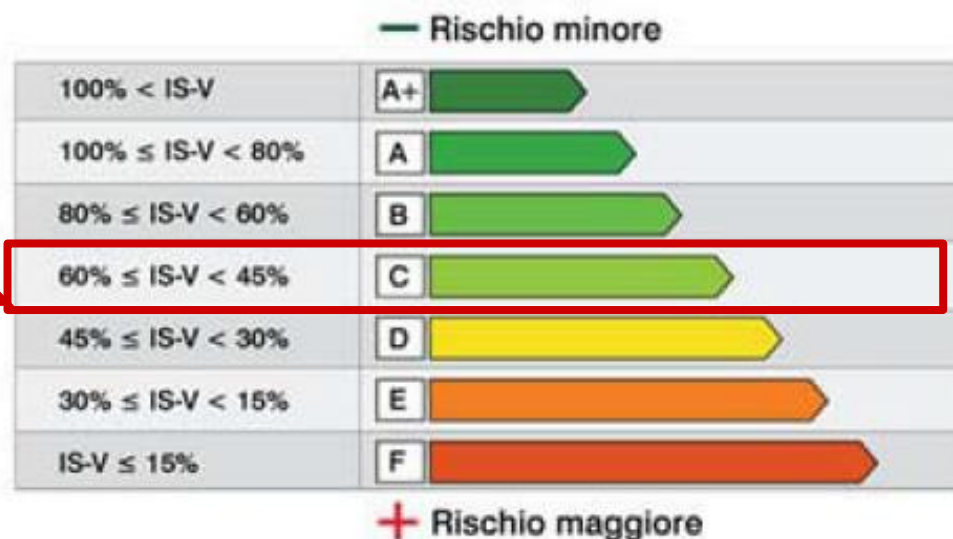
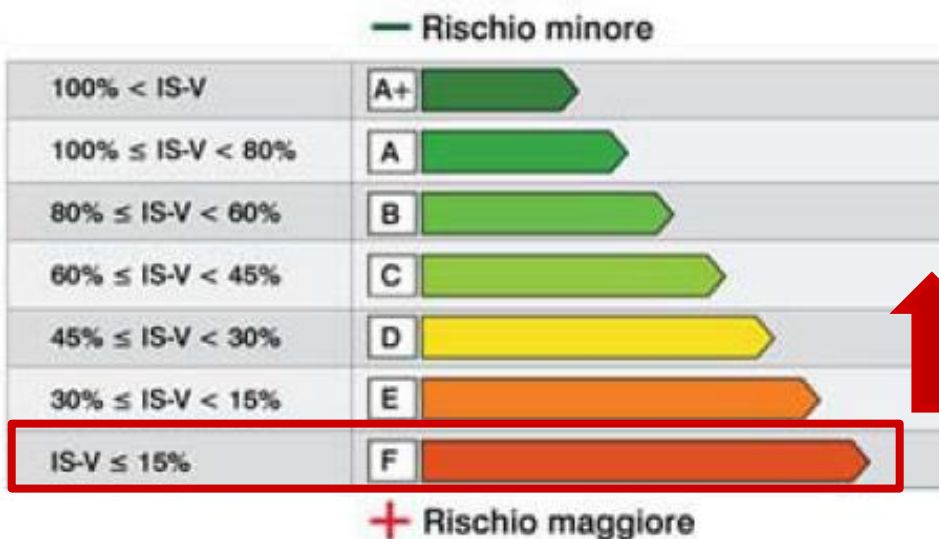
La classe di rischio POST è la **C**

2. Approccio convenzionale - Edificio in calcestruzzo Armato (CA)

Differenza PRE e POST

PRE (IS-V = 12.1 %)

POST (IS-V = 60 %)



Dalla classe **F** alla **C** ➔ Miglioramento di **3 classi**

2. Approccio convenzionale - Edificio in calcestruzzo Armato (CA)

- ✓ Da notare come, in questo caso studio di edificio strategico in C.A., allo stato **PRE intervento** la classe di rischio è la stessa per i due parametri (F), mentre a seguito dell'intervento di **miglioramento** sismico sia il parametro **IS-V** a fornire la classe peggiore (C), con uno scarto abbastanza elevato rispetto alla classe PAM (A+).
- ✓ A giustifica di ciò è il fatto che l'edificio sia classificato come strategico ($T_{R,SLV}=1898$ anni), pertanto le verifiche di sicurezza penalizzano fortemente lo **SLV** e, quindi, il parametro **IS-V**.
- ✓ Ad ogni modo, si migliora dalla classe F alla C.



VENDESI	
BILOCALE, SOGGIORNO LETTO E BAGNO	
€ 200.000	Classe di rischio sismico A
CLASSE E - E	