

Il Decreto Sisma Bonus alla luce delle NTC 2018



Ing. Fabio Di Trapan Ph.D
fabio.ditrapani@polito.it

26 Aprile 2018, Trapani

Il Rischio Sismico: l'unità di misura per fare prevenzione

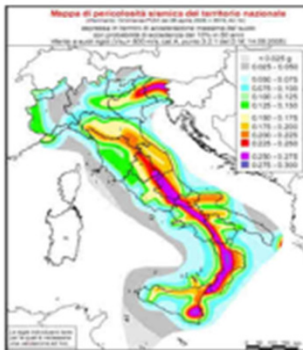
Il **Rischio Sismico**: è la misura matematica/ingegneristica per valutare il danno (perdita) atteso a seguito di un possibile evento sismico. Dipende da un'interazione di fattori.

Rischio = Pericolosità x Vulnerabilità x Esposizione

Pericolosità: probabilità che si verifichi un sisma (terremoto atteso): zone sismiche

Vulnerabilità: valutazione delle conseguenze del sisma: capacità degli edifici

Esposizione: valutazione socio/economica delle conseguenze: contesti delle comunità



Terremoti in Italia negli ultimi 10 anni



L'Aquila 2009. 309 Vittime
16 mld € - 1% PIL



Emilia 2012. 20 Vittime
20 mld € - 1.5% PIL



Amatrice 2016. 300 Vittime
- mld € - -PIL



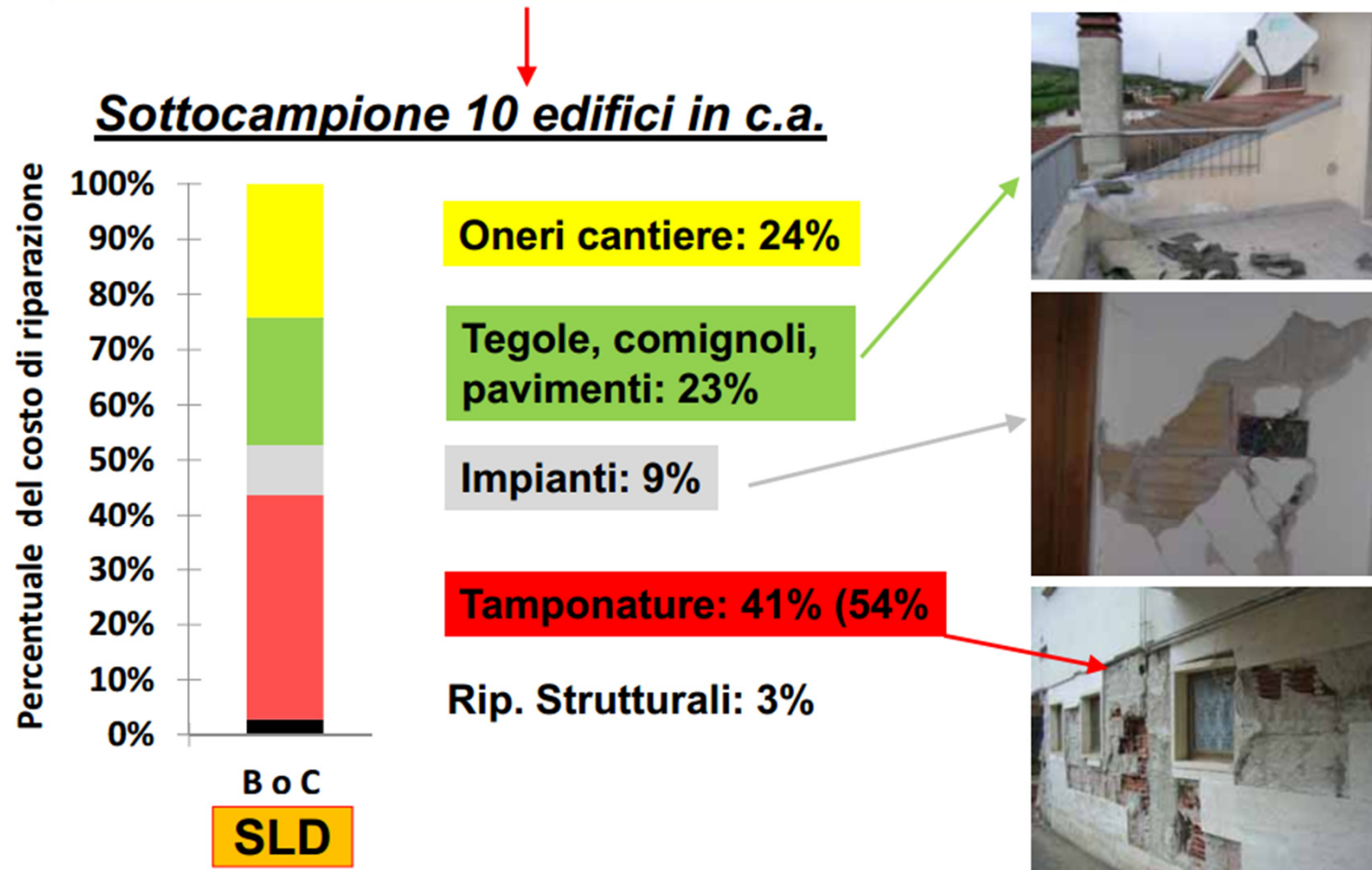
Ischia 2017. 2 Vittime
- mld € - -PIL

Analisi delle perdite Economiche dirette

Perdita economica diretta SLD - Analisi voci di costo

Totale campione c.a.

- Costo medio riparazione 184 €/mq (15.3% CR)



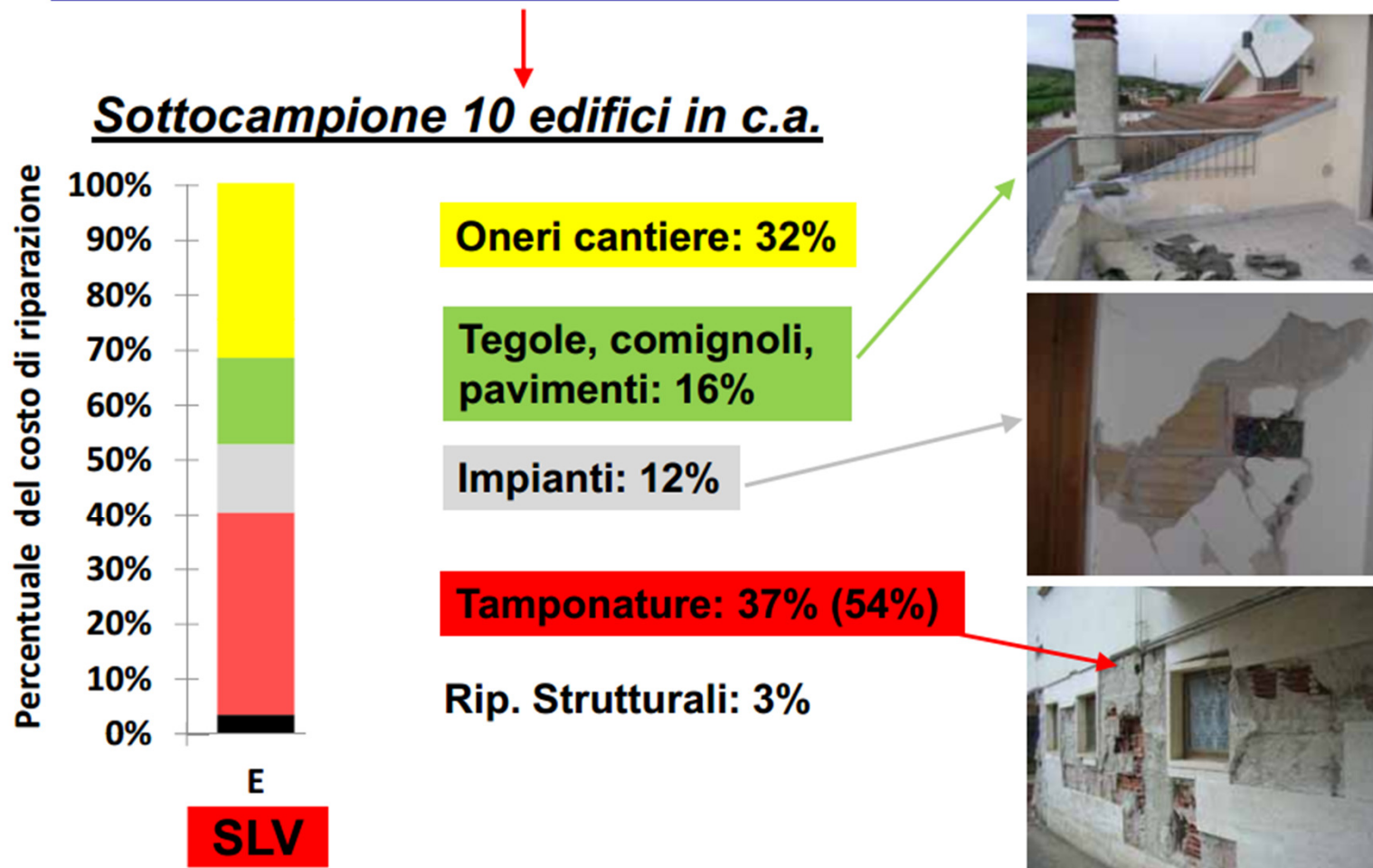
La valutazione economica degli interventi in base all'esperienza della ricostruzione a L'Aquila – Prof. Andrea Prota

Analisi delle perdite Economiche dirette

Perdita economica diretta SLV - Analisi voci di costo

Totale campione c.a.

- Costo medio riparazione 533 €/mq (44.4% CR)



Danni a Impianti e componenti non strutturali

Ospedale San Salvatore
L'Aquila



Costruzioni Nuove ed Esistenti in cemento armato
Prof. Edoardo Cosenza

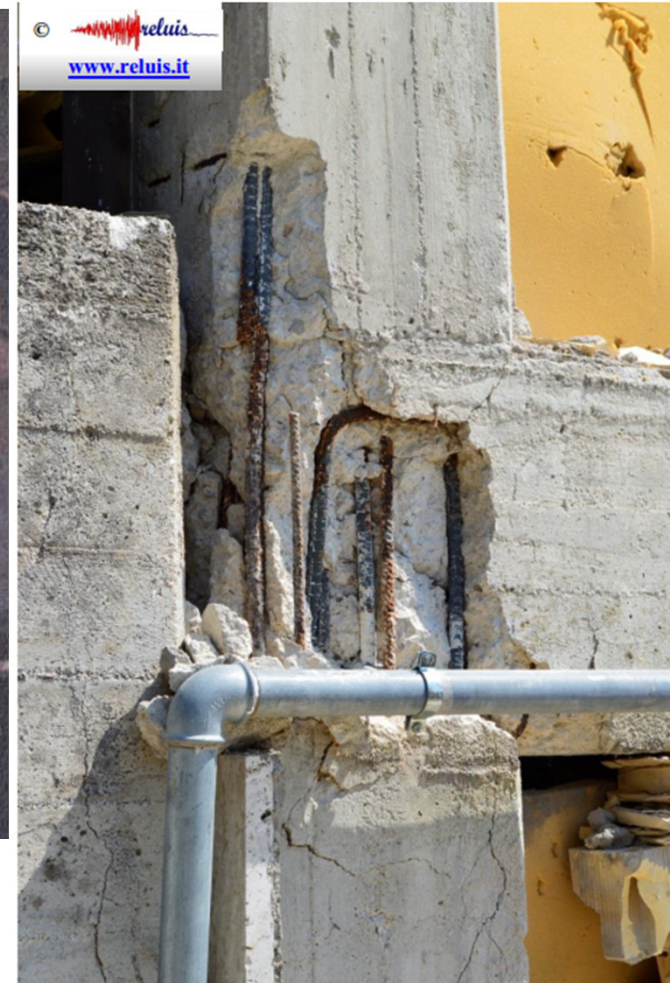
PRINCIPALI TIPOLOGIE DI DANNO PER GLI EDIFICI IN C.A.



Edificio in c.a. - Amatrice

Collasso nodi non confinati – Spinta da tamponamento

PRINCIPALI TIPOLOGIE DI DANNO PER GLI EDIFICI IN C.A.



Edificio in c.a. – Pescara del Tronto (frazione di Arquata del Tronto)

Collasso e danneggiamento nodi non confinati

PRINCIPALI TIPOLOGIE DI DANNO PER GLI EDIFICI IN C.A.



Crisi per taglio di pilastri e pilastri tozzi

PRINCIPALI TIPOLOGIE DI DANNO PER GLI EDIFICI IN C.A.



Edificio in c.a. - Amatrice

Collasso con sviluppo di piano soffice (Hotel Roma).

PRINCIPALI TIPOLOGIE DI DANNO PER GLI EDIFICI IN C.A.



Meccanismo di Piano soffice – L'Aquila

PRINCIPALI TIPOLOGIE DI DANNO PER GLI EDIFICI IN MURATURA



Edificio in muratura - Scai (frazione di Amatrice)
Meccanismo di danneggiamento a taglio nel piano con espulsione del cantonale.



b)

Edifici in muratura - Scai (frazione di Amatrice)

PRINCIPALI TIPOLOGIE DI DANNO PER GLI EDIFICI IN MURATURA



Edificio in muratura - Amatrice
della parete muraria e messa in luce della sezione trasversale della muratura (doppio paramento/testa scarsamente ammorsati trasversalmente).

PRINCIPALI TIPOLOGIE DI DANNO PER GLI EDIFICI IN MURATURA



Edificio in muratura - Scai (frazione di Amatrice)
Evidenza di meccanismo fuori piano di parete a doppio paramento.

RIFERIMENTI



RAPPORTO FOTOGRAFICO RELATIVO AI DANNI SUBITI DA ALCUNI EDIFICI A SEGUITO DEL SISMA DEL CENTRO ITALIA DEL 2016

**C. Menna*, R. Frascadore*, C. Moroni, G.P. Lignola*, G. De Martino*, A.
Salzano*, M. Di Ludovico*, A. Prota*, G. Manfredi*, E. Cosenza***

**Dipartimento di Strutture per l'Ingegneria e l'Architettura, Università di Napoli Federico II*

Terremoti in Italia negli ultimi 10 anni



Perdita di Vite Umane



Perdite economiche ingenti per lo stato e la collettività

Sismabonus

D.M. 28 Febbraio 2017 n. 58 e D.M.
7 Marzo 2017 n. 65



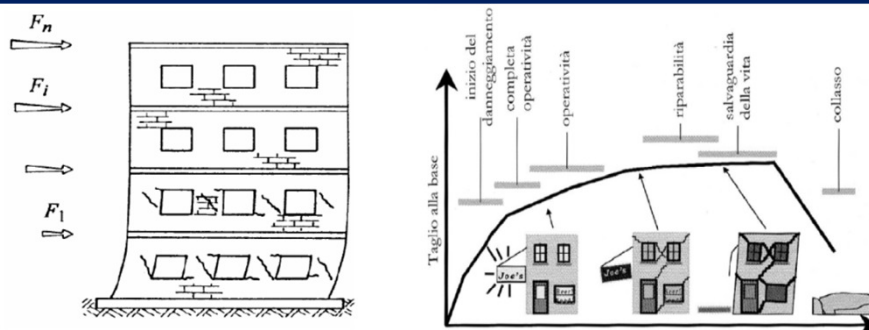
NTC 2018

D.M. 17 Gennaio 2018



**PREVENZIONE DEL
RISCHIO SISMICO**

STATI LIMITE SISMICI



Gli stati limite di esercizio sono:

- **Stato Limite di Operatività (SLO):** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;
- **Stato Limite di Danno (SLD):** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidità nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

Gli stati limite ultimi sono:

- **Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV):** a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidità nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidità per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;
- **Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC):** a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

STATI LIMITE SISMICI E NTC 2018

Tab. 7.3.III – Stati limite di elementi strutturali primari, elementi non strutturali e impianti

STATI LIMITE		CU I	CU II			CU III e IV		
		ST	ST	NS	IM	ST	NS	IM ^(*)
SLE	SLO					RIG		FUN
	SLD	RIG	RIG			RES		
SLU	SLV	RES	RES	STA	STA	RES	STA	STA
	SLC		DUT ^(**)			DUT ^(**)		

(*) Per le sole CU III e IV, nella categoria Impianti ricadono anche gli arredi fissi.

(**) Nei casi esplicitamente indicati dalle presenti norme.

Limitazione spostamenti
di interpiano

Verifica espulsione fuori
piano dei tamponamenti

Funzionamento degli impianti

Verifica componenti strutturali
che sorreggono impianti

CLASSIFICAZIONE DEL RISCHIO SISMICO DELLE COSTRUZIONI SECONDO LE LINEE GUIDA 2017

D.M. 28 Febbraio 2017 n. 58
e D.M. 7 Marzo 2017 n. 65



Linee Guida – **ALLEGATO A**

Otto classi di Rischio Sismico, dalla A+ alla G

Le Linee Guida consentono di attribuire ad un edificio una specifica **Classe di Rischio Sismico**, da **A+** a **G**, mediante un unico parametro che tenga conto sia della **sicurezza** sia degli **aspetti economici**:

classe A+ (meno rischio)

classe A

classe B

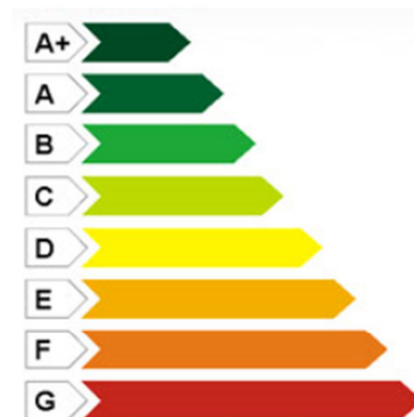
classe C

classe D

classe E

classe F

classe G (più rischio)



Le Linee Guida forniscono indirizzi di massima sulla progettazione e associano ai livelli di sicurezza un costo convenzionale in base ai dati del monitoraggio della ricostruzione a seguito del terremoto del 2009 in Abruzzo.

I due metodi per la determinazione della Classe di Rischio Sismico al fine di accedere ai bonus fiscali:

1. **Metodo convenzionale:** applicabile a qualsiasi tipologia di costruzione, basato sull'applicazione dei normali metodi di analisi previsti dalle attuali Norme Tecniche e consente la valutazione della Classe di Rischio della costruzione, sia nello stato di fatto sia nello stato conseguente all'eventuale intervento, consentendo il miglioramento di una o più classi di rischio.
2. **Metodo semplificato:** basato su classificazione macrosismica dell'edificio, è indicato per una valutazione economica e speditiva (senza specifiche indagini e/o calcoli) della Classe di Rischio e può essere utilizzato sia per una valutazione preliminare indicativa, sia per l'accesso al beneficio fiscale in relazione all'adozione di interventi di tipo locale, consentendo al massimo il miglioramento di una sola classe di rischio.

(7)

CLASSIFICAZIONE DEL RISCHIO SISMICO DELLE COSTRUZIONI SECONDO LE LINEE GUIDA

METODI AMMESSI

Metodo Convenzionale

- Tutte le tipologie di costruzioni
- Metodi di analisi come previsto dalle NTC
- Incremento di una o più classi

Metodo Semplificato

- Solo costruzioni in muratura
- Metodo basato su classificazione macrosismica dell'edificio
- SOLO interventi locali
- Incremento di 1 sola classe

PARAMETRI DA CALCOLARE PER FARE LA CLASSIFICAZIONE

- PAM e IS-V

- PAM

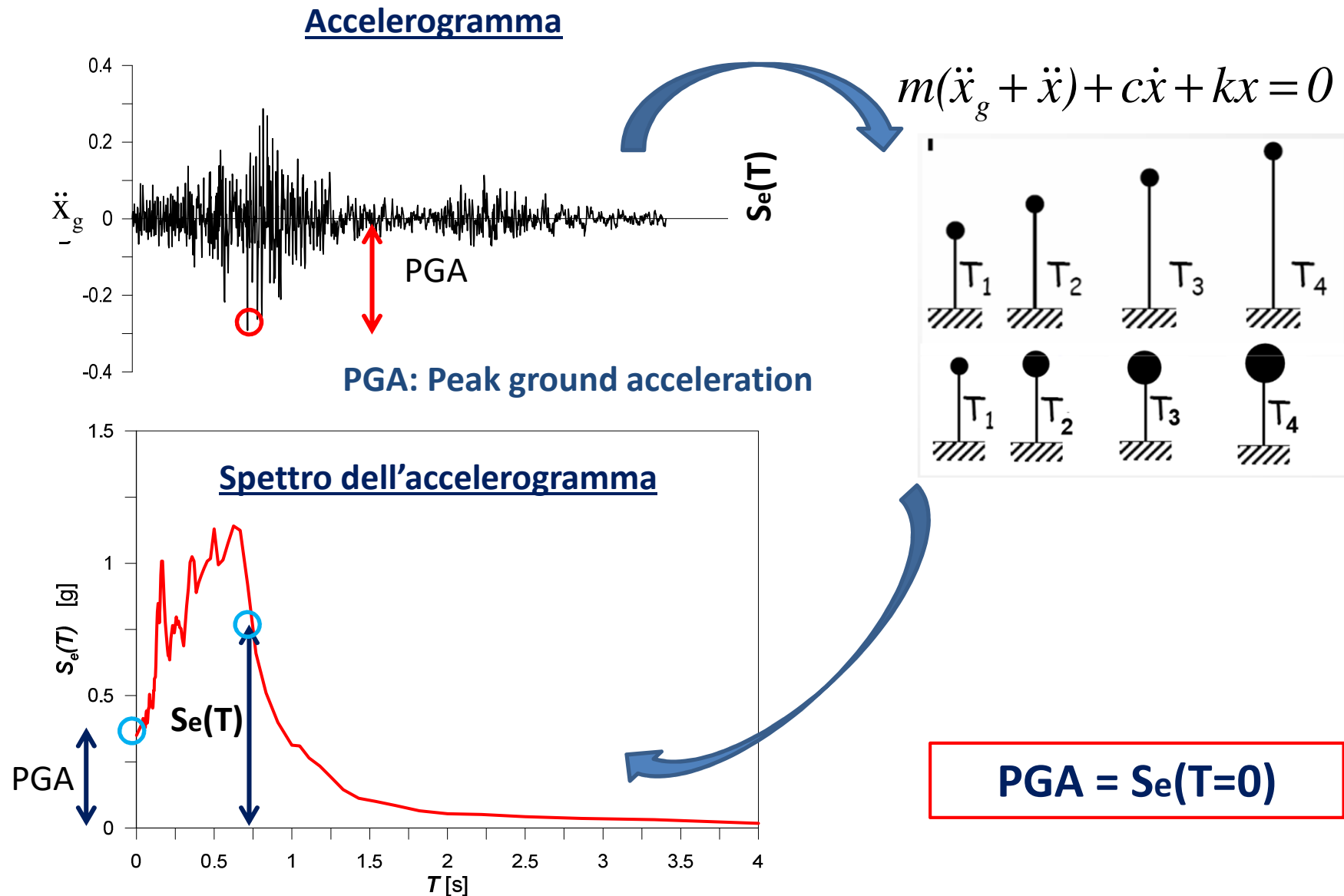
COME SI CALCOLANO

- Mediante analisi del fabbricato secondo NTC (e.g. Pushover)

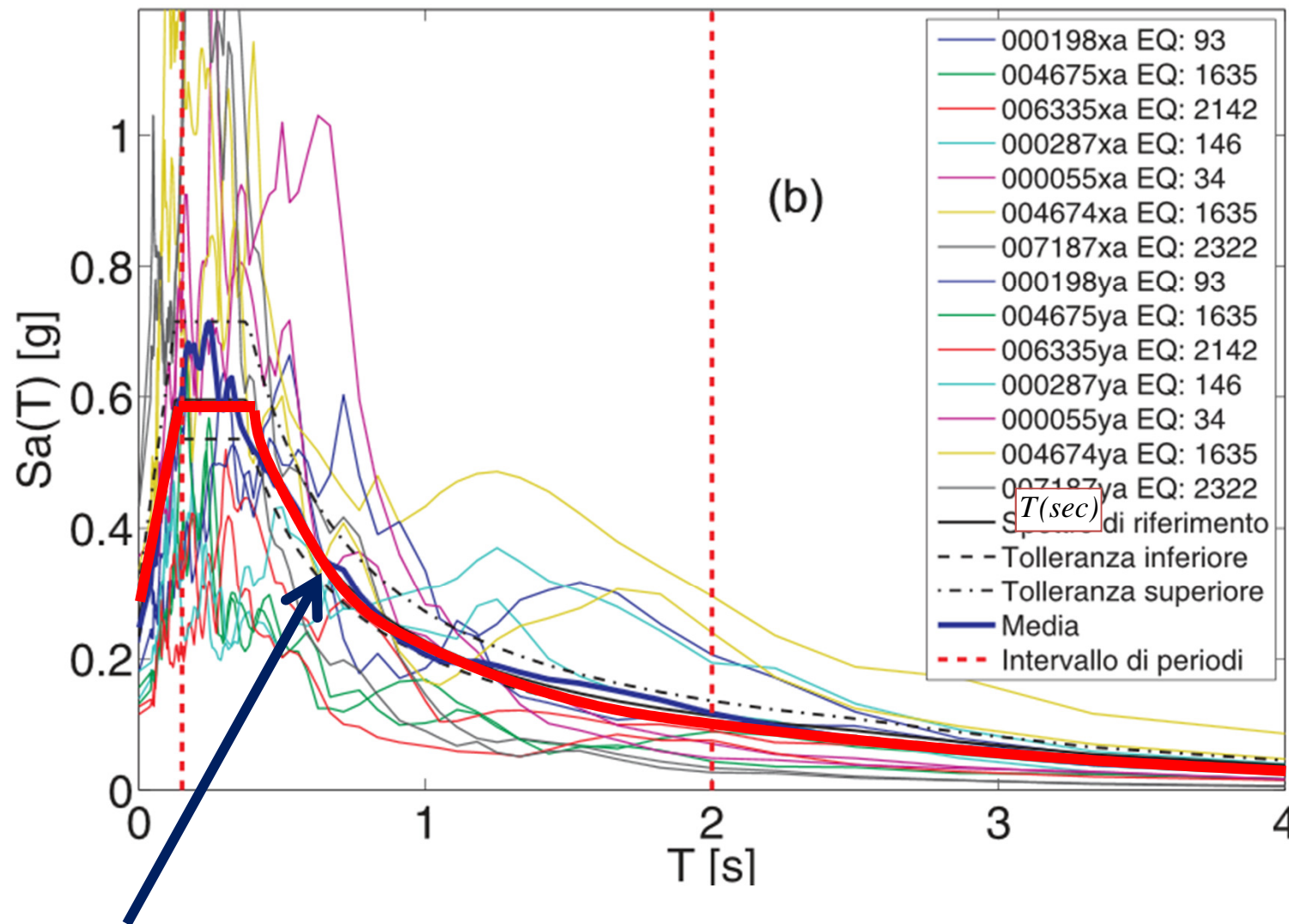
- Mediante valutazione macrosismica della classe di Vulnerabilità V
(no calcoli – no indagini)

METODO CONVENZIONALE

RICHIAMI TEORICI - PGA: UNA MISURA DELL'INTENSITA' SISMICA



SPETTRO ELASTICO NORMATIVO DELLE ACCELERAZIONI

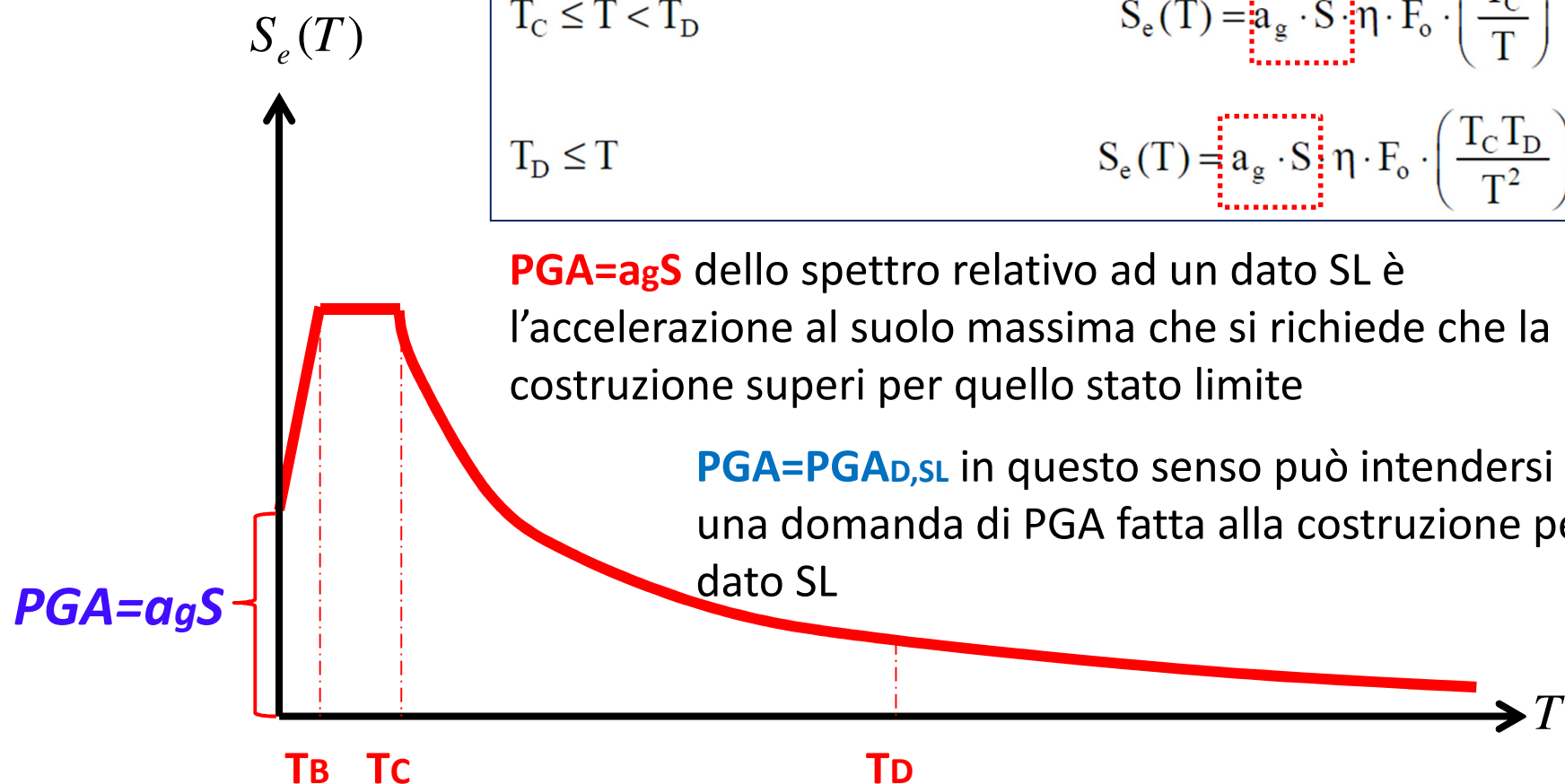


SPETTRO ELASTICO NORMATIVO- E' generato dalla media dalla successiva regolarizzazione degli spettri ottenuti per i vari accelerogrammi

SPETTRO ELASTICO NORMATIVO DELLE ACCELERAZIONI

E' diviso in 4 rami

$0 \leq T < T_B$	$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$
$T_B \leq T < T_C$	$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o$
$T_C \leq T < T_D$	$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$
$T_D \leq T$	$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right)$



PGA DOMANDATA AI DIVERSI STATI LIMITE SISMICI E PERIODO DI RITORNO

Dipende dal Periodo di ritorno T_r associato allo SL di riferimento

SLO → $P_{VR}=81\%$

SLD → $P_{VR}=63\%$

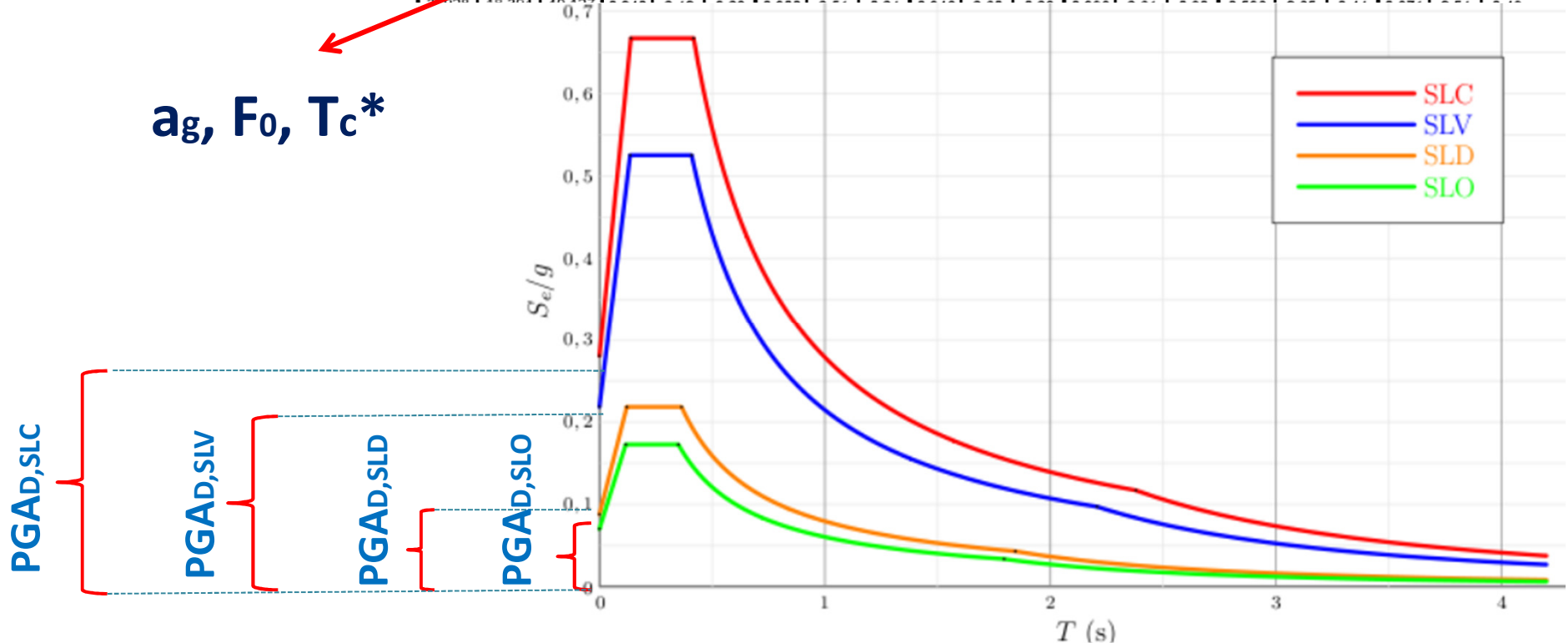
SLV → $P_{VR}=10\%$

SLC → $P_{VR}=5\%$

$$T_{r,SL} = \frac{-V_R}{\ln(1-P_{VR,SL})} = \frac{-(V_N \times C_u)}{\ln(1-P_{VR,SL})}$$

ID	LON	LAT	SLO			SLD			SLV			SLC		
			$T_r=72$	$T_r=101$	$T_r=140$	$T_r=201$	$T_r=475$	$T_r=975$	$T_r=72$	$T_r=101$	$T_r=140$	$T_r=201$	$T_r=475$	$T_r=975$
			a_g	F_0	T_c^*	a_g	F_0	T_c^*	a_g	F_0	T_c^*	a_g	F_0	T_c^*
37260	18.372	39.828	0.295	2.51	0.23	0.346	2.60	0.26	0.395	2.64	0.28	0.473	2.55	0.32
37038	18.375	39.878	0.292	2.52	0.22	0.342	2.60	0.25	0.391	2.65	0.28	0.467	2.56	0.32
36816	18.379	39.928	0.286	2.51	0.22	0.336	2.61	0.25	0.384	2.64	0.28	0.457	2.57	0.32
36594	18.383	39.978	0.279	2.49	0.22	0.329	2.60	0.25	0.377	2.64	0.27	0.445	2.58	0.32
36372	18.387	40.028	0.266	2.48	0.22	0.320	2.59	0.25	0.368	2.62	0.27	0.431	2.59	0.31
36150	18.39	40.077	0.250	2.47	0.23	0.311	2.58	0.24	0.357	2.61	0.27	0.415	2.60	0.31

a_g, F_0, T_c^*



PARAMETRI DI DOMANDA : $PGA_{D,SL}$ e $Tr_{D,SL}$

In conclusione: La domanda sismica per ogni stato limite è tradotta da uno spettro avente una $PGA=a_gS$ ed associato ad un terremoto avente periodo di ritorno Tr

Ai fini delle verifiche è richiesto che la **PGA** di cui è **capace** la costruzione ad un dato SL sia **maggiore** della **PGA associata al sisma domandato per quello SL**, conseguentemente il terremoto a cui la costruzione deve poter resistere ha un **periodo di ritorno maggiore**.

Posso allora intendere i parametri **PGA** e **Tr** associati al sisma domandato ad un dato SL come dei **PARAMETRI DI DOMANDA**

$PGA_{D,SL}$

l'accelerazione al suolo richiesta per quello SL

$Tr_{D,SL}$

Periodo di ritorno del sisma richiesto per quello SL



Il Metodo convenzionale per la classe di Rischio Sismico

Parametro Economico:

Classe PAM (Perdita Annua Media attesa)

costo di riparazione dei danni prodotti dagli eventi sismici che si manifesteranno nel corso della vita della costruzione, ripartito annualmente ed espresso come percentuale del costo di ricostruzione

Parametro Sicurezza:

Classe IS-V (Indice di sicurezza)

rapporto tra l'accelerazione di picco al suolo che determina il raggiungimento dello Stato Limite di salvaguardia della Vita e quella prevista, nel sito, per un nuovo edificio

PAM



Perdita Media Annua attesa (PAM)	Classe PAM
$PAM \leq 0,50\%$	A_{PAM}^+
$0,50\% < PAM \leq 1,0\%$	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}
$7,5\% \leq PAM$	G_{PAM}

La classe
di Rischio
si individua
mettendo
in relazione
due parametri
e privilegiando
nel confronto
la classe
più bassa
(più rischio)

IS-V = ξ_E (NTC 2018)



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

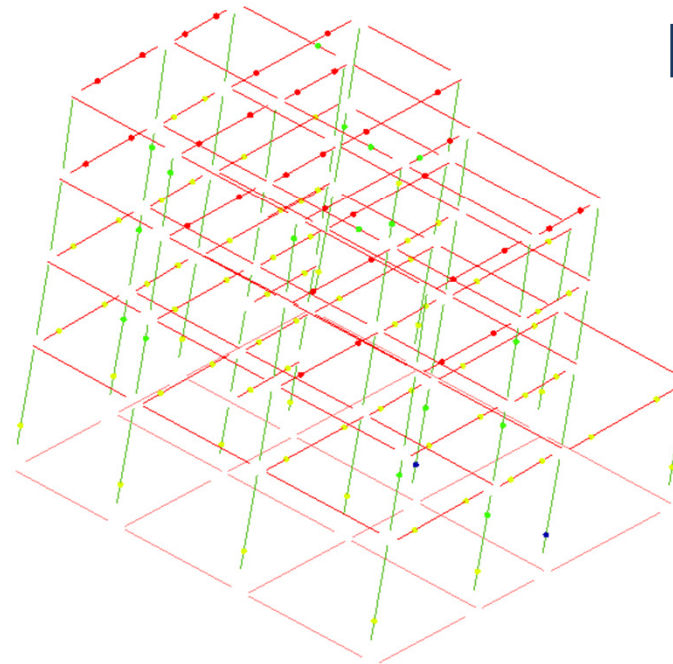
Cosa è IS-V e come si calcola ????

- **IS-V**: l'indice di sicurezza (**IS-V**) della struttura definito come il rapporto tra l'accelerazione di picco al suolo (**PGA**) che determina il raggiungimento dello Stato Limite di salvaguardia della Vita (**SLV**) (**capacità in PGA – PGAc**) , e la **PGA** che la norma indica, nello specifico sito in cui si trova la costruzione e per lo stesso stato limite, come riferimento per la progettazione di un nuovo edificio (**domanda in PGA – PGAd**) .

Si deve calcolare attraverso la valutazione della capacità sismica della costruzione.
(e.g. analisi Pushover)

$$IS - V = \frac{PGA_{C,SLV}}{PGA_{D,SLV}}$$

La conosco dalla
caratterizzazione sismica



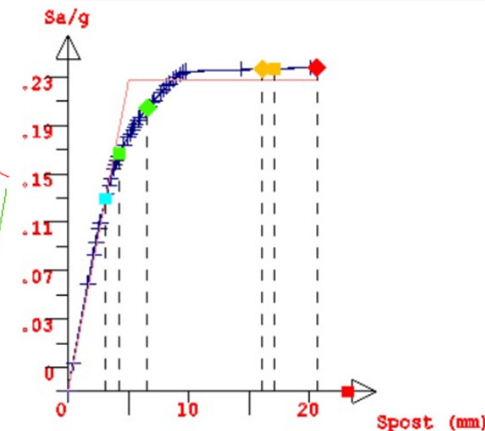
Push-Over Nro: 1

S.L.O.:
■ Domanda di spostamento : 3.11 mm
◆ Capacità di spostamento : 6.59 mm
PgaSLO : .087 Ag/g

S.L.D.:
■ Domanda di spostamento : 4.23 mm
◆ Capacità di spostamento : 6.59 mm
PgaSLD : .087 Ag/g

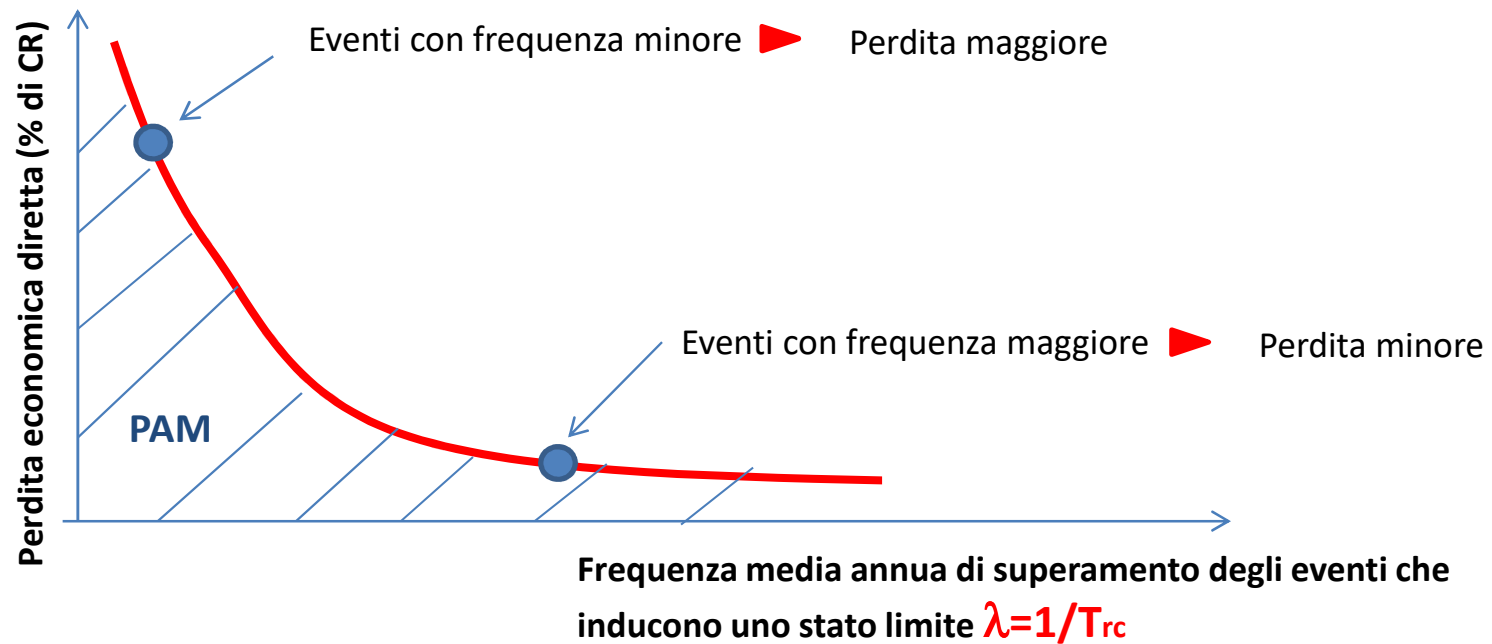
S.L.V.: NON VERIFICATO
■ Domanda di spostamento : 17.13 mm
◆ Capacità di spostamento : 16.11 mm
PgaSLV : .17 Ag/g

S.L.C.: NON VERIFICATO
■ Domanda di spostamento : 23.21 mm
◆ Capacità di spostamento : 20.63 mm
PgaLC : .211 Ag/g



Cosa è la PAM e come si calcola ???

- ▶ **PAM:** Perdita Annuale Media attesa, che tiene in considerazione le **perdite economiche** associate ai **danni agli elementi, strutturali e non**, e **riferite al costo di ricostruzione (CR)** dell'edificio privo del suo contenuto,
- ▶ Può essere assimilato al costo di riparazione dei danni prodotti dagli eventi sismici che si manifesteranno nel corso della vita della costruzione, **ripartito annualmente ed espresso come percentuale del costo di ricostruzione.**



OCCORRE QUINDI VALUTARE LA PERDITA PERCENTUALE E LA FREQUENZA DI SUPERAMENTO ASSOCIATA AGLI STATI LIMITE CONSIDERATI

Perdita convenzionale associata agli stati limite

Si definisce **Stato Limite di Ricostruzione (SLR)** quello a cui, stante la criticità generale che presenta la costruzione al punto da rendere pressoché impossibile l'esecuzione di un intervento diverso dalla demolizione e ricostruzione, è comunque associabile una **perdita economica pari al 100%**. Convenzionalmente si assume che tale stato limite si manifesti in corrispondenza di un evento sismico il cui **periodo di ritorno è pari a quello dello Stato Limite dei Collasso (SLC)**

Si definisce **Stato Limite di Inizio Danno (SLID)**, quello a cui è comunque associabile una perdita economica nulla in corrispondenza di un evento sismico e il cui **periodo di ritorno è assunto, convenzionalmente, pari a 10 anni, ossia $\lambda = 0,1$** .

Stato Limite	CR(%)
SLR	100%
SLC	80%
SLV	50%
SLD	15%
SLO	7%
SLID	0%

Stato limite di collasso

Stato limite di salvaguardia della vita

Stato limite di danno

Stato limite di operatività

Ma come si calcolano $T_{rc,SLD}$ e $T_{rc,SLV}$?????

Le linee guida forniscono un'espressione dipendente dal rapporto tra **PGAc** e **PGAd**

$$T_{rc,SL} = T_{rd,SL} (PGAc,SL / PGAd,SL)^\eta \quad \eta = 1/0,41$$

La relazione fornita è media sull'intero territorio nazionale; per riferirsi più puntualmente all'intensità sismica di appartenenza si possono utilizzare le formule appresso riportate, con riferimento all'accelerazione massima su roccia a_g . I valori sono: $\eta = 1/0,49$ per $a_g \geq 0,25g$; $\eta = 1/0,43$ per $0,25g \geq a_g \geq 0,15g$; $\eta = 1/0,356$ per $0,15g \geq a_g \geq 0,05g$; $\eta = 1/0,34$ per $0,05g \geq a_g$

PGAd (peak ground acceleration demand): è l'accelerazione al suolo richiesta per quello SL

➡ Equivale ad a_g S dello spettro elastico associato allo SL considerato

PGAc (peak ground acceleration capacity): è l'accelerazione al suolo che induce uno SL

➡ Si può valutare attraverso (ad esempio) mediante una analisi Pushover)

TrD (periodo di ritorno domanda): periodo di ritorno associato al sisma relativo allo SL

➡
$$T_{rD} = \frac{-V_r}{\ln(1 - P_{vr})}$$

$$P_{vr,SLV} = 10 \%$$

$$P_{vr,SLD} = 50 \%$$

Trc (periodo di ritorno capacità): è il periodo di ritorno associato al sisma che induce lo SL

Frequenze medie annue di superamento associate agli stati limite

Le linee guida consentono in via semplificata di effettuare le verifiche limitatamente allo **SLV** ed allo **SLD**

Quindi è necessario calcolare solo

Diagram illustrating the calculation of annual average exceedance frequencies for the SLD and SLV states. A blue bracket groups two rows. The first row shows $Tr_{C,SLD}$ followed by a red arrow pointing to a dashed orange circle containing the equation $\lambda_{SLD} = 1 / Tr_{C,SLD}$. The second row shows $Tr_{C,SLV}$ followed by a red arrow pointing to a dashed orange circle containing the equation $\lambda_{SLV} = 1 / Tr_{C,SLV}$.

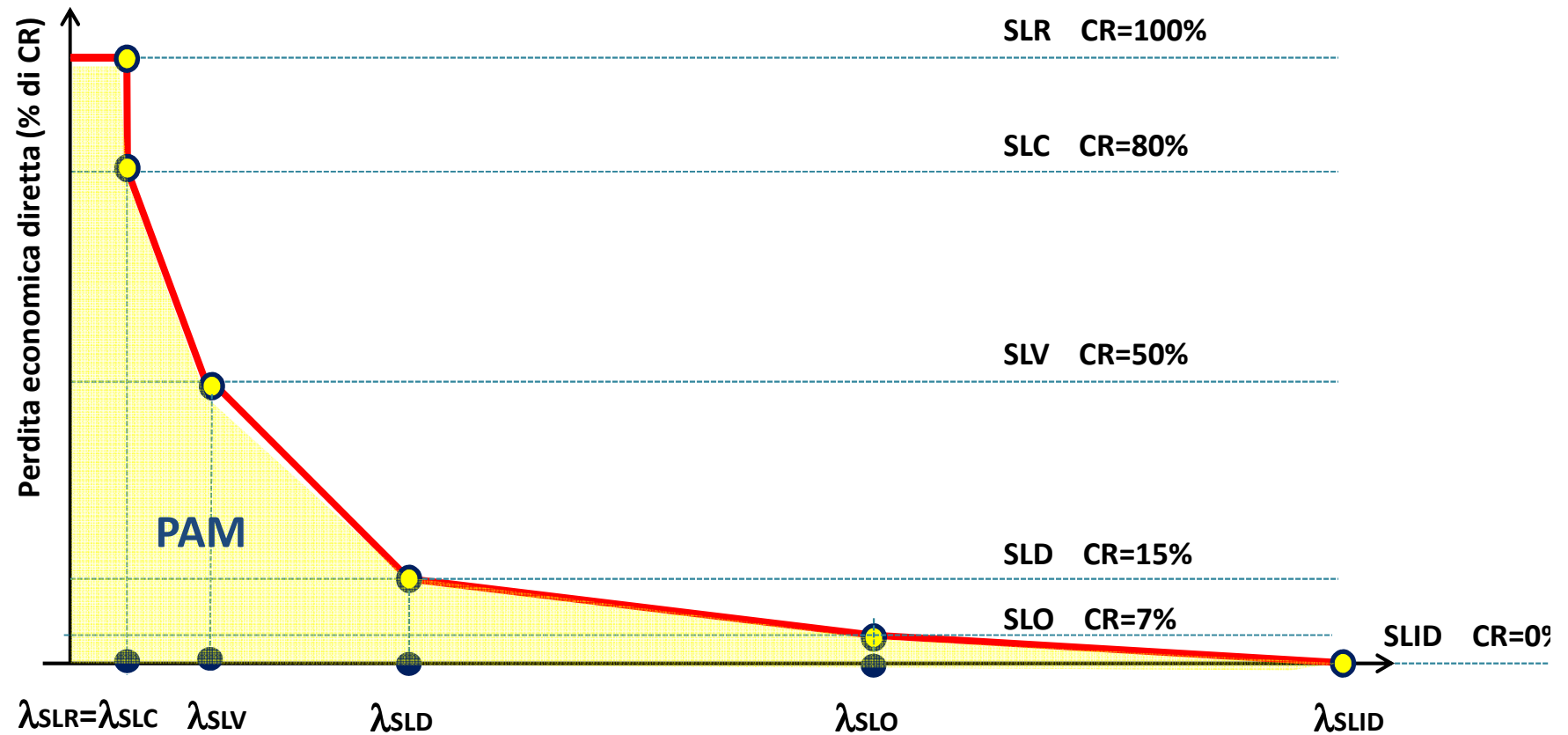
$$\left\{ \begin{array}{l} Tr_{C,SLD} \rightarrow \lambda_{SLD} = 1 / Tr_{C,SLD} \\ Tr_{C,SLV} \rightarrow \lambda_{SLV} = 1 / Tr_{C,SLV} \end{array} \right.$$

Per gli altri SL valgono le seguenti semplificazioni convenzionali date dalle linee guida

Diagram illustrating the conventional simplifications for other limit states. A blue bracket groups three equations, each enclosed in a dashed orange circle. The first equation is $\lambda_{SLO} = 1,67 \lambda_{SLD}$. The second equation is $\lambda_{SLC} = \lambda_{SLR} = 0,49 \lambda_{SLV}$. The third equation is $\lambda_{SLID} = 0,10$.

$$\left\{ \begin{array}{l} \lambda_{SLO} = 1,67 \lambda_{SLD} \\ \lambda_{SLC} = \lambda_{SLR} = 0,49 \lambda_{SLV} \\ \lambda_{SLID} = 0,10 \end{array} \right.$$

Cosa è la PAM e come si calcola ???



$$PAM = \sum_{i=2}^5 [\lambda(SL_i) - \lambda(SL_{i-1})] * [CR(SL_i) + CR(SL_{i-1})] / 2 + \lambda(SLC) * CR(SLR)$$

PAM più grande ➡ Perdite maggiori
 PAM più piccola ➡ Perdite minori

ATTRIBUZIONE DELLA CLASSE DI RISCHIO SISMICO

Perdita Media Annua attesa (PAM)	Classe PAM
$PAM \leq 0,50\%$	A_{PAM}^+
$0,50\% < PAM \leq 1,0\%$	A_{PAM}
$1,0\% < PAM \leq 1,5\%$	B_{PAM}
$1,5\% < \text{PAM} \leq 2,5\%$	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}
$7,5\% \leq PAM$	G_{PAM}

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

La classe di rischio sismico corrisponde con la **peggiore** fra le classi PAM e IS-V
(nel caso in esempio sarebbe Classe C)

Il valore della Classe di Rischio attribuita a ciascuna costruzione, può essere migliorato a seguito di interventi che riducono il rischio della costruzione e, quindi, che incidono sul valore **PAM** e/o sulla capacità che la struttura possiede rispetto allo stato limite della salvaguardia della vita (**IS-V**).

SPECIFICAZIONI SUL METODO CONVENZIONALE

3.1 Metodo convenzionale

Utilizzando il metodo convenzionale, l'effetto degli interventi per la riduzione del rischio, in termini di numero di cambi di Classe di Rischio conseguiti, è facilmente determinabile valutando la Classe di Rischio della costruzione in esame nella situazione pre-intervento e post-intervento.

L'utilizzo del metodo convenzionale comporta l'onere di valutare il comportamento globale della costruzione, indipendentemente da come l'intervento strutturale si inquadri nell'ambito delle Norme Tecniche per le Costruzioni (adeguamento, miglioramento o intervento locale). Pertanto, anche laddove si eseguano degli interventi locali di rafforzamento, che ai sensi delle suddette norme (punto 8.4.3) richiedono solo la verifica a livello locale, la verifica globale, esclusivamente per finalità di attribuzione della classe e senza in alcun modo incidere sulle procedure amministrative previste per tali interventi, deve essere comunque eseguita per attribuire la Classe di Rischio con il metodo convenzionale. In tal caso, comunque, si avrà la facoltà di eseguire un numero di indagini inferiore a quello previsto dalle Norme per il rispettivo livello di conoscenza adottato. A questo proposito, ai sensi delle Norme Tecniche per le Costruzioni, si ricorda che, affinché possa attivarsi il comportamento globale, è necessario che siano stati preliminarmente eliminati i meccanismi locali la cui attivazione potrebbe impedire una risposta di tipo globale.

METODO SEMPLIFICATO

METODO SEMPLIFICATO

Alternativamente al metodo convenzionale, **limitatamente alle tipologie in muratura**, l'attribuzione della Classe di Rischio ad un edificio può essere condotta a partire dalla classe di vulnerabilità definita dalla **Scala Macrosismica Europea (EMS-98)** di seguito riportata.

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 sbozzata	—○					
	Muratura di pietra massiccia per costruzioni monumentali	—○—					
	Muratura di mattoni e pietra lavorata	—○—					
	Muratura di mattoni e solai di rigidità elevata	—○—					
	Muratura rinforzata e/o confinata			—○—			

Scostamento meno probabile

Valore più credibile

Scostamento più probabile

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

METODO SEMPLIFICATO

La valutazione della classe di vulnerabilità, necessaria per la determinazione della Classe di Rischio della costruzione in esame mediante il metodo semplificato, deve essere condotta in **due passi successivi**:

- Determinazione della tipologia strutturale che meglio descrive la costruzione in esame e della classe di vulnerabilità media (valore più credibile) associata;
- valutazione dell'eventuale scostamento dalla classe media a causa di un elevato degrado, di una scarsa qualità costruttiva o della presenza di peculiarità che possono innescare meccanismi di collasso locale per valori particolarmente bassi dell'azione sismica e aumentare la vulnerabilità globale.

Si riferimento alla
TABELLA 4

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 sbozzata	— —○					
	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			— —○—			

N.B. Lo scostamento può avvenire solo nel verso di un aumento della vulnerabilità

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

TABELLA 4

Fornisce ulteriori dettagli per l'individuazione della classe di vulnerabilità

Fornisce indicazioni per l'eventuale declassamento

TIPOLOGIA STRUTTURALE		PECULIARITÀ CARATTERISTICHE DELLA TIPOLOGIA STRUTTURALE	CLASSE MEDIA DI VULNERABILITÀ GLOBALE	POSSIBILI MECCANISMI LOCALI	PECULIARITÀ NEGATIVE PER LA VULNERABILITÀ LOCALE/GLOBALE	PAS-SAGGIO DI CLASSE
INERTI / MAGLIA MURARIA						
MURATURA	pietra grezza	<ul style="list-style-type: none"> Legante di cattiva qualità e/o assente Orizzontamenti di legno o comunque caratterizzati da scarsa rigidità e/o resistenza nel proprio piano medio e scarsamente collegati con le pareti portanti 	V ₆			
	mattoni di terra cruda (adobe)	<ul style="list-style-type: none"> Orizzontamenti di legno o di mattoni ma comunque caratterizzati da scarsa rigidità e/o resistenza nel proprio piano medio e scarsamente collegati con le pareti portanti Eventuale presenza di telai di legno 	V ₆			
	pietra sbazzata	<ul style="list-style-type: none"> Accorgimenti per aumentare la resistenza (ad es. listature). Orizzontamenti di legno o comunque caratterizzati da scarsa rigidità e/o resistenza nel proprio piano medio e scarsamente collegati con le pareti portanti 	V ₅	Ribaltamento delle pareti	<ul style="list-style-type: none"> 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 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 ₅ a V ₆
	mattoni o pietra lavorata	<ul style="list-style-type: none"> Orizzontamenti di mattoni o di legno caratterizzati da scarsa rigidità nel proprio piano medio e scarsamente collegati con le pareti portanti 	V ₅			
	pietra massiccia per costruzioni monumentali	<ul style="list-style-type: none"> Orizzontamenti a volta o di legno caratterizzati da scarsa rigidità e/o resistenza nel proprio piano medio 	V ₄	Meccanismi parziali o di piano		da V ₄ a V ₅
	mattoni + solai d'elevata rigidità nel proprio piano medio	<ul style="list-style-type: none"> Funzionamento scatolare della costruzione Orizzontamenti di calcestruzzo armato o comunque caratterizzati da elevata rigidità nel proprio piano medio ben collegati alla muratura 	V ₄	Ribaltamento delle pareti Meccanismi parziali o di piano	<ul style="list-style-type: none"> Scarsa qualità costruttiva Elevato degrado e/o danneggiamento Pannelli murari male ammorsati tra loro Orizzontamenti male ammorsati alle pareti Pannelli murari a doppio strato con camera d'aria Assenza totale o parziale di cordoli Aperture di elevate dimensioni intervallate da maschi di ridotte dimensioni 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
	armata e/o confinata	<ul style="list-style-type: none"> Elevata qualità delle murature, rinforzata da reti o barre di acciaio, e/o realizzata tra travi e colonne che la racchiudono in corrispondenza di tutti e quattro i lati Orizzontamenti di calcestruzzo armato o comunque caratterizzati da elevata rigidità nel proprio piano medio 	V ₃	Meccanismi dovuti, ad esempio, ad un'errata disposizione degli elementi non strutturali che possono ridurre la duttilità globale	<ul style="list-style-type: none"> Scarsa qualità costruttiva Elevato degrado o danneggiamento Elevata irregolarità in pianta e/o in altezza Presenza numerosa di elementi non-strutturali che modificano negativamente il comportamento locale e/o globale Aperture di elevanti dimensioni intervallate da maschi di ridotte dimensioni Pareti di elevate dimensioni (larghezza e altezza) non controventate a sufficienza 	da V ₃ a V ₄

ATTRIBUZIONE DELLA CLASSE DI RISCHIO SISMICO

La classe di vulnerabilità, in relazione alla pericolosità del sito in cui è localizzato l'edificio, corrisponde a una Classe di Rischio. Per semplicità, la pericolosità del sito è individuata attraverso la zona sismica di appartenenza così come definita dall'O.P.C.M. 3274 del 20/03/2003 e successive modifiche e integrazioni.

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			

Tabella 5 – Classe PAM attribuita in funzione della classe di vulnerabilità assegnata all'edificio e della zona sismica in cui lo stesso è situato

La Tabella si usa una volta per la classificazione pre-intervento e una volta per la classificazione post-intervento

INTERVENTI E RELATIVO PASSAGGIO DI CLASSE

TIPOLOGIA STRUTTURALE		INTERVENTI DI RAFFORZAMENTO LOCALE	FINALITÀ DELL'INTERVENTO	PASSAGGIO DI CLASSE DI VULNERABILITA'
MURATURA	INERTI/MAGLIA MURARIA			
	pietra grezza	Non applicabili (non sono rispettate le condizioni del §3.2)		V ₆
	mattoni di terra cruda (adobe)			
	pietra sbazzata	ESECUZIONE DEI SEGUENTI INTERVENTI SULL'INTERA UNITA' STRUTTURALE <ul style="list-style-type: none">• Ripristino delle zone danneggiate e/o degradate• Eliminazione delle spinte orizzontali non contrastate• Stabilizzazione fuori piano delle pareti di elevate dimensioni (larghezza e altezza)• Collegamento dei pannelli murari agli orizzontamenti INTERVENTI AUSPICATI MA NON OBBLIGATORI <ul style="list-style-type: none">• Riduzione delle aperture di elevate dimensioni (soprattutto se intervallate da maschi di ridotte dimensioni)	<ul style="list-style-type: none">• Perseguire un comportamento d'insieme "regolare" e "scatolare".⁽¹⁰⁾• Posticipare l'attivazione dei meccanismi locali e/o fuori del piano, rispetto all'attivazione dei meccanismi globali	da V ₆ a V ₅
	pietra massiccia per costruzioni monumentali	ESECUZIONE DEI SEGUENTI INTERVENTI SULL'INTERA UNITA' STRUTTURALE <ul style="list-style-type: none">• Ripristino delle zone danneggiate e/o degradate• Eliminazione delle spinte orizzontali non contrastate• Stabilizzazione fuori piano delle pareti di elevate dimensioni (larghezza e altezza)• Collegamento dei pannelli murari agli orizzontamenti INTERVENTI AUSPICATI MA NON OBBLIGATORI <ul style="list-style-type: none">• Riduzione delle aperture di elevate dimensioni (soprattutto se intervallate da maschi di ridotte dimensioni)	<ul style="list-style-type: none">• Perseguire un comportamento d'insieme regolare e "scatolare".⁽¹⁰⁾• Posticipare l'attivazione dei meccanismi locali e/o fuori del piano, rispetto all'attivazione dei meccanismi globali	da V ₅ a V ₄
		ESECUZIONE DEI SEGUENTI INTERVENTI SULL'INTERA UNITA' STRUTTURALE <ul style="list-style-type: none">• Ripristino delle zone danneggiate e/o degradate• Messa in sicurezza di elementi non strutturali	<ul style="list-style-type: none">• Perseguire un comportamento d'insieme regolare e "scatolare".⁽¹⁰⁾• Ridurre al minimo il rischio di danno agli elementi non strutturali	da V ₄ a V ₃
mattoni o pietra lavorata	ESECUZIONE DEI SEGUENTI INTERVENTI SULL'INTERA UNITA' STRUTTURALE <ul style="list-style-type: none">• Ripristino dei danni o delle zone degradate• Eliminazione delle spinte orizzontali non contrastate• Stabilizzazione fuori piano delle pareti di elevate dimensioni (larghezza e altezza)• Collegamento dei pannelli murari agli orizzontamenti INTERVENTI AUSPICATI MA NON OBBLIGATORI <ul style="list-style-type: none">• Riduzione delle aperture di elevate dimensioni (soprattutto se intervallate da maschi di ridotte dimensioni)	<ul style="list-style-type: none">• Perseguire un comportamento d'insieme regolare e "scatolare".⁽¹⁰⁾• Posticipare l'attivazione dei meccanismi locali e/o fuori del piano, rispetto all'attivazione dei meccanismi globali	da V ₆ a V ₅	

INTERVENTI E RELATIVO PASSAGGIO DI CLASSE

TIPOLOGIA STRUTTURALE		INTERVENTI DI RAFFORZAMENTO LOCALE	FINALITÀ DELL'INTERVENTO	PASSAGGIO DI CLASSE DI VULNERABILITÀ
	INERTI/MAGLIA MURARIA			
MURATURA	mattoni o pietra lavorata	ESECUZIONE DEI SEGUENTI INTERVENTI SULL'INTERA UNITÀ STRUTTURALE <ul style="list-style-type: none"> • Ripristino delle zone danneggiate e/o degradate • Messa in sicurezza di elementi non strutturali 	<ul style="list-style-type: none"> • Perseguire un comportamento "regolare" e "scatolare".⁽⁹⁾ • Ridurre al minimo il rischio di danno agli elementi non strutturali 	da V ₄ a V ₃
	mattoni + solai di elevata rigidezza nel proprio piano	ESECUZIONE DEI SEGUENTI INTERVENTI SULL'INTERA UNITÀ STRUTTURALE <ul style="list-style-type: none"> • Ripristino delle zone danneggiate e/o degradate • Eliminazione delle spinte a vuoto • Stabilizzazione fuori piano delle pareti di elevate dimensioni (larghezza e altezza) • Stabilizzazione del paramento interno dei pannelli murari con camera d'aria • Interventi auspicati ma non obbligatori • Riduzione delle aperture di elevate dimensioni (soprattutto se intervallate da maschi di ridotte dimensioni) 	<ul style="list-style-type: none"> • Perseguire un comportamento "regolare" e "scatolare".⁽¹⁰⁾ • Garantire un'adeguata redistribuzione dell'azione orizzontale tra i pannelli murari • Posticipare i meccanismi locali e/o fuori del piano, rispetto all'attivazione dei meccanismi globali 	da V ₅ a V ₄
		ESECUZIONE DEI SEGUENTI INTERVENTI SULL'INTERA UNITÀ STRUTTURALE <ul style="list-style-type: none"> • Ripristino delle zone danneggiate e/o degradate • Messa in sicurezza di elementi non strutturali 	<ul style="list-style-type: none"> • Perseguire un comportamento regolare della struttura.⁽¹⁰⁾ • Minimizzare il danno agli elementi non strutturali 	da V ₄ a V ₃
	rinforzata e/o confinata	ESECUZIONE DEI SEGUENTI INTERVENTI SULL'INTERA UNITÀ STRUTTURALE <ul style="list-style-type: none"> • Ripristino delle zone danneggiate e/o degradate • Stabilizzazione fuori piano delle pareti di elevate dimensioni (larghezza e altezza) • Interventi auspicati ma non obbligatori • Riduzione delle aperture di elevate dimensioni (soprattutto se intervallate da maschi di ridotte dimensioni) 	<ul style="list-style-type: none"> • Perseguire un comportamento regolare della struttura.⁽¹⁰⁾ • Posticipare l'attivazione dei meccanismi locali e/o fuori piano, rispetto all'attivazione dei meccanismi globali 	da V ₄ a V ₃
		ESECUZIONE DEI SEGUENTI INTERVENTI SULL'INTERA UNITÀ STRUTTURALE <ul style="list-style-type: none"> • Ripristino delle zone danneggiate e/o degradate • Messa in sicurezza di elementi non strutturali 	<ul style="list-style-type: none"> • Perseguire un comportamento regolare della struttura.⁽¹⁰⁾ • Ridurre al minimo il rischio di danno agli elementi non strutturali 	da V ₃ a V ₂

Tabella 6 – Approccio semplificato per gli interventi sulle le costruzioni di muratura - Interventi locali necessari per ridurre la vulnerabilità di una sola classe.

⁽⁹⁾ Per comportamento "scatolare" si intende quello conseguito mediante il collegamento tra gli elementi murari, e tra questi e gli elementi orizzontali, che elimina o per quanto possibile limita i meccanismi locali fuori dal piano (per lo più ribaltamenti) degli elementi murari. Per comportamento "regolare" si intende quello che mobilita per quanto possibile contemporaneamente le

**ESEMPIO DI APPLICAZIONE DEL METODO
CONVENZIONALE AD UN EDIFICIO IN C.A.**

METODO CONVENZIONALE- ESEMPIO APPLICATIVO

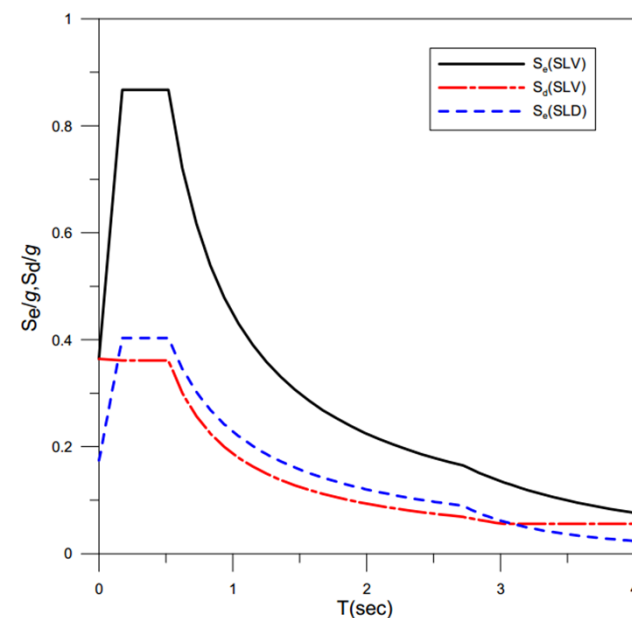


Tabella 19: parametri caratteristici degli spettri di risposta allo SLD e SLV

Stato limite	a_g/g	F_o	$S = S_s$	T_B (sec)	T_C (sec)	T_D (sec)	η
SLD	0.116	2.314	1.50	0.153	0.459	2.065	1
SLV	0.284	2.381	1.30	0.172	0.517	2.721	1

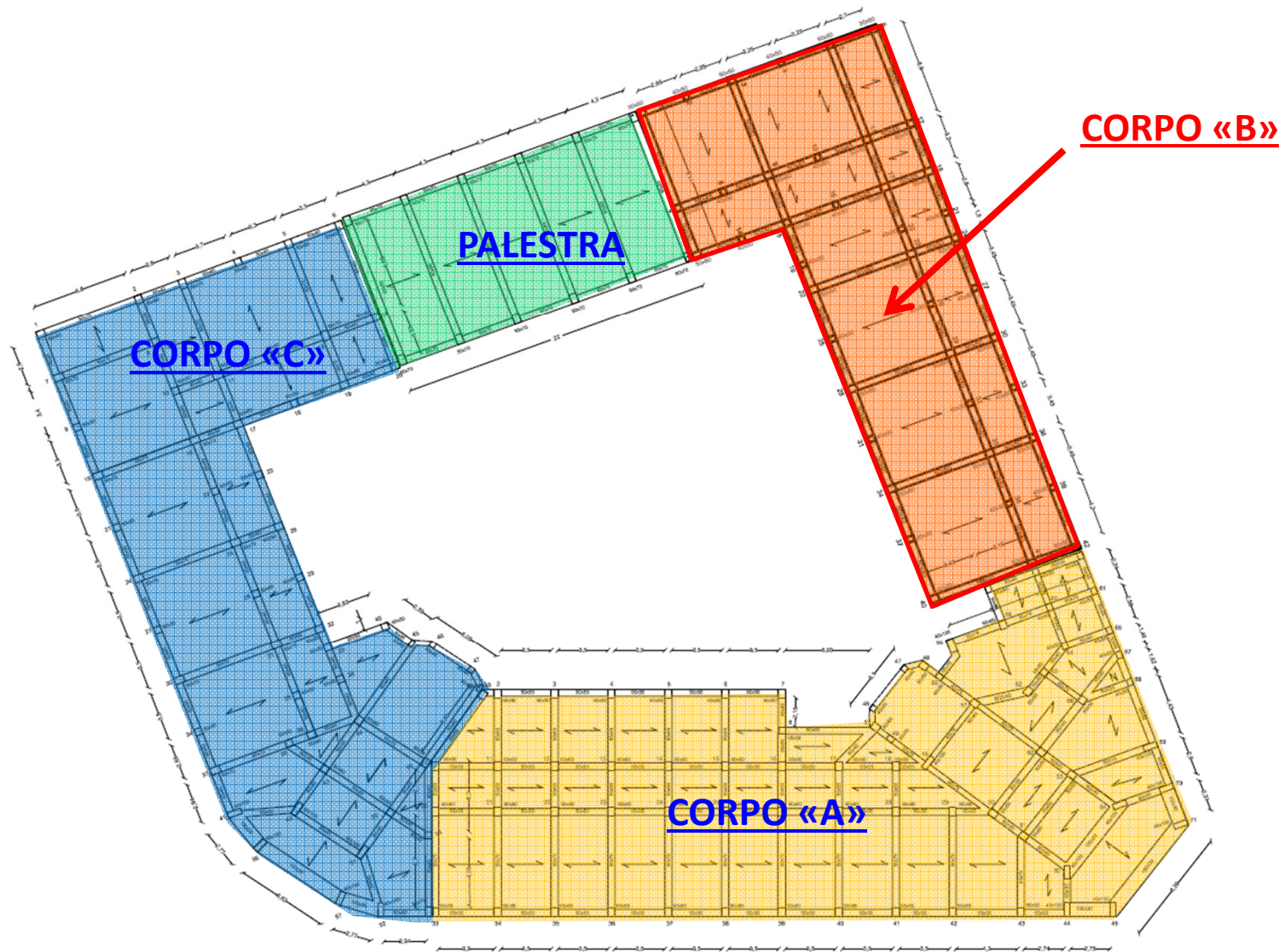
Istituto Scolastico «Liceo Classico A. Torlonia »

Località: Avezzano, (L'Aquila)

Tipologia strutturale: Struttura intelaiata in c.a. con tamponamenti in muratura di laterizio.

Periodo di costruzione: anni '50

LICEO CLASSICO A. TORLONIA

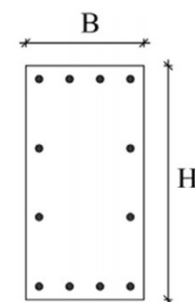


INDAGINI E LIVELLO DI CONOSCENZA

Geometria e della distribuzione delle armature:

Da elaborati progettuali, verifiche in situ e progetto simulato per la parte di elaborati mancanti.

Dimensions B X H (cm)	A' _s (Top)	A _s (Bottom)	Beam connections	Dimensions B X H (cm)	Type ^a	A _{s,B}	A _{s,H}
<i>First storey</i>				<i>First storey</i>			
50×40	6 Φ 14	6 Φ 14	9-15 15-19 19-22 22-25 25-28 28-31 31-34 34-37 37-40 11-17 17-20 20-23 23-26 26-29 29-32 32-35 35-38 38-41	50×70	A	6 Φ 20	6 Φ 20
50×40	5 Φ 14	5 Φ 14	1-2 2-3 3-4 4-5 5-6 18-21 21-24 24-27 27-30 30-33 33-36 36-39 39-42	50×70	B	6 Φ 20	4 Φ 20
50×45	5 Φ 14	5 Φ 14	7-8 8-9 9-10 10-11 11-12	50×60	A	6 Φ 20	4 Φ 20
50×50	7 Φ 16	4 Φ 16	5-11 6-12	50×60	B	5Φ 20	4 Φ 20
50×50	5 Φ 14	5Φ 14	13-14 14-15 15-16 16-17 17-18 23-24 29-30	50×50	B	4 Φ 18	4 Φ 18
50×60	5 Φ 16	3 Φ 16	22-23 28-29 40-41 1-7	<i>Second storey</i>			
50×75	6 Φ 14	4 Φ 14	3-9.	50×70	A	6 Φ 20	6 Φ 20
<i>Second storey</i>				50×70	B	6 Φ 20	4 Φ 20
50×40	6 Φ 14	6 Φ 14	9-15 15-19 19-22 22-25 25-28 28-31 31-34 3	50×60	A	6 Φ 20	4 Φ 20
50×40	5 Φ 14	5 Φ 14	1-2 2-3 3-4 4-5 5-6 18-21 21-24 24-27 27-30	50×60	B	5Φ 20	4 Φ 20
50×45	5 Φ 14	5 Φ 14	7-8 8-9 9-10 10-11 11-12 15-16 16-17 17-18	50×50	B	4 Φ 18	4 Φ 18
50×50	5 Φ 14	5Φ 14	13-14 14-15 23-24 29-30 35-36 41-42 7-13 5	<i>Third storey</i>			
50×60	5 Φ 16	3 Φ 16	22-23 28-29 34-35 40-41 1-7 3-9	40×40	4 Φ 14	4 Φ 14	4 Φ 14
<i>Third storey</i>				40×40	4 Φ 14	4 Φ 14	4 Φ 14
40×40	4 Φ 14	4 Φ 14	17-18 23-24 29-30 35-36 41-42				



INDAGINI E LIVELLO DI CONOSCENZA



Estrazione di carote



$f_{cm}=14,97 \text{ MPa}$

Estrazione di barre



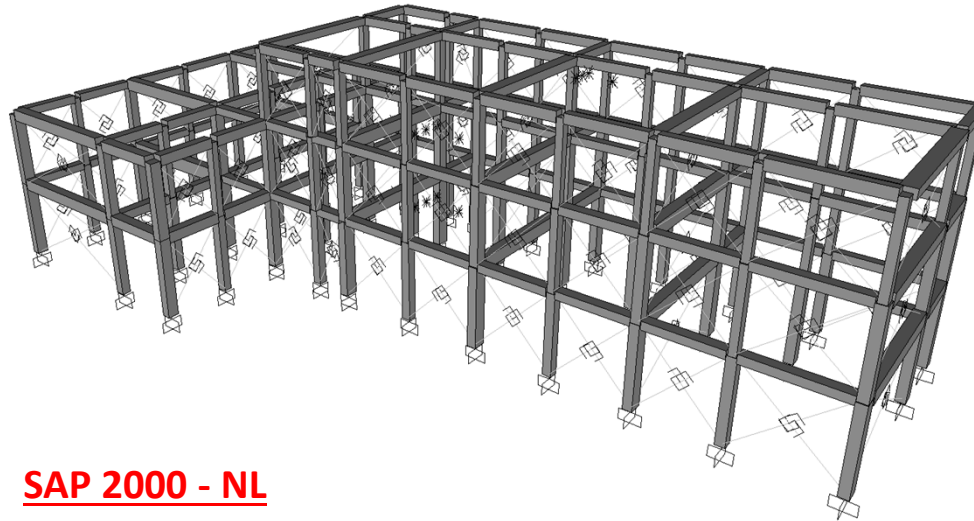
$f_{ym}=300 \text{ MPa}$

Livello di conoscenza



LC2

CORPO B – MODELLAZIONE STRUTTURALE

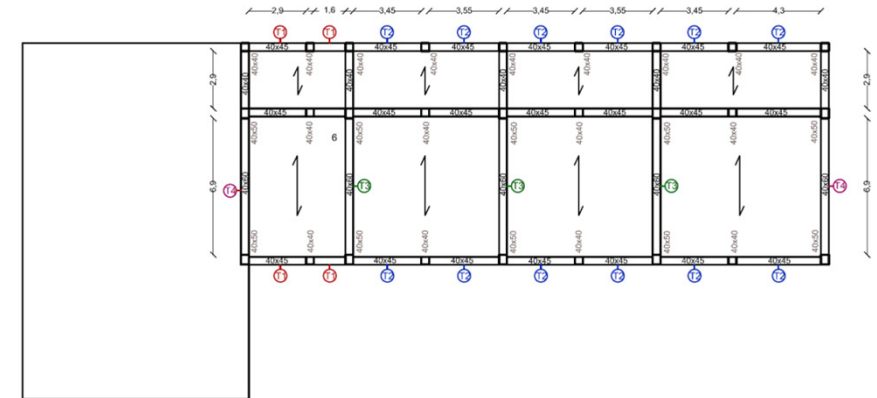


SAP 2000 - NL

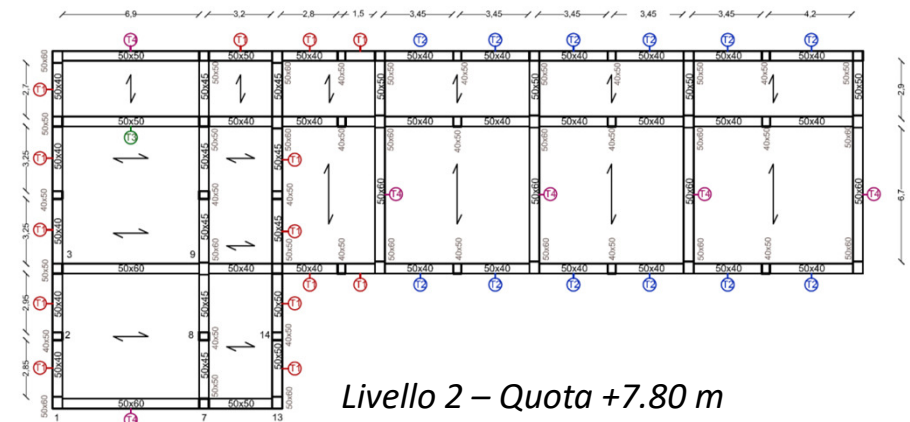
Elementi trave: Beam con plasticità concentrata alle estremità (M_y)



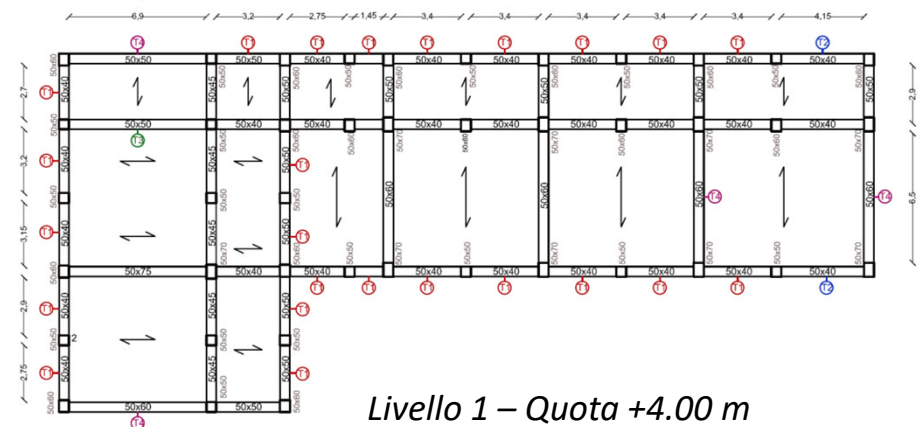
Elementi Pilastro: Beam con plasticità concentrata alle estremità (P - M_x - M_y)



Livello 3 – Quota +11.60 m



Livello 2 – Quota +7.80 m



Livello 1 – Quota +4.00 m

PARAMETRI DI DOMANDA SISMICA

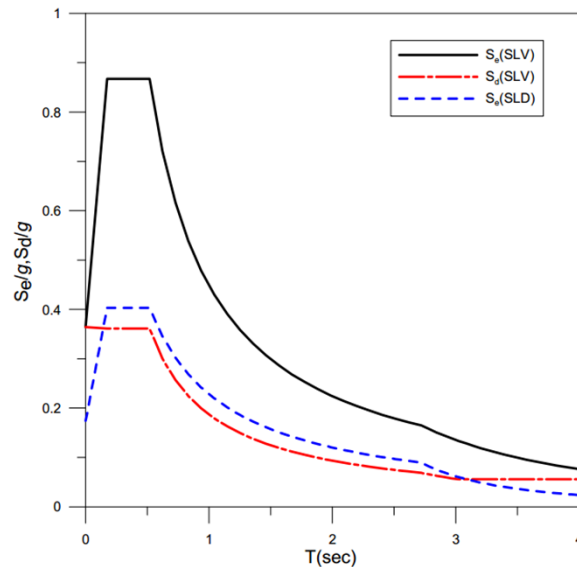


Tabella 19: parametri caratteristici degli spettri di risposta allo SLD e SLV

Stato limite	a_g/g	F_o	$S = S_s$	T_B (sec)	T_C (sec)	T_D (sec)	η
SLD	0.116	2.314	1.50	0.153	0.459	2.065	1
SLV	0.284	2.381	1.30	0.172	0.517	2.721	1

Vita nominale (V_N)= 50 anni

Classe d'uso III

$C_U=1.5$

$V_R=V_N \times C_U = 75$ anni

Periodi di ritorno

$$T_{RD,SLD} = \frac{-V_R}{\ln(1-P_{V1})} = -\frac{75}{\ln(1-0.63)} = 75 \text{ anni} \quad \text{per lo SLD}$$

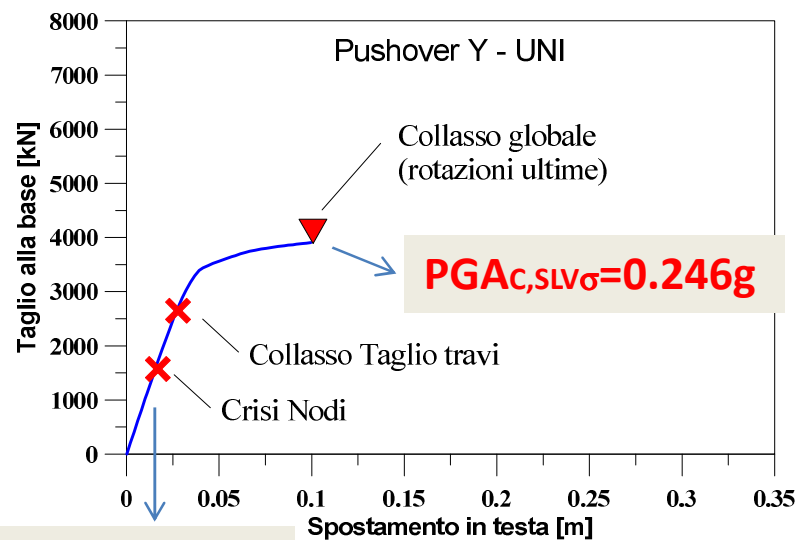
$$T_{RD,SLV} = \frac{-V_R}{\ln(1-P_{V2})} = -\frac{75}{\ln(1-0.10)} = 712 \text{ anni} \quad \text{per lo SLV}$$

PGA

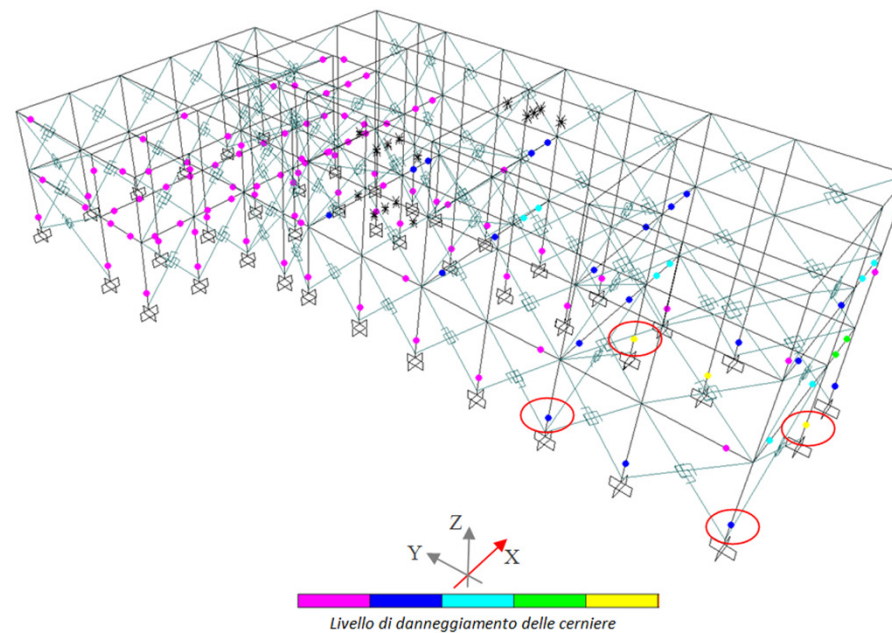
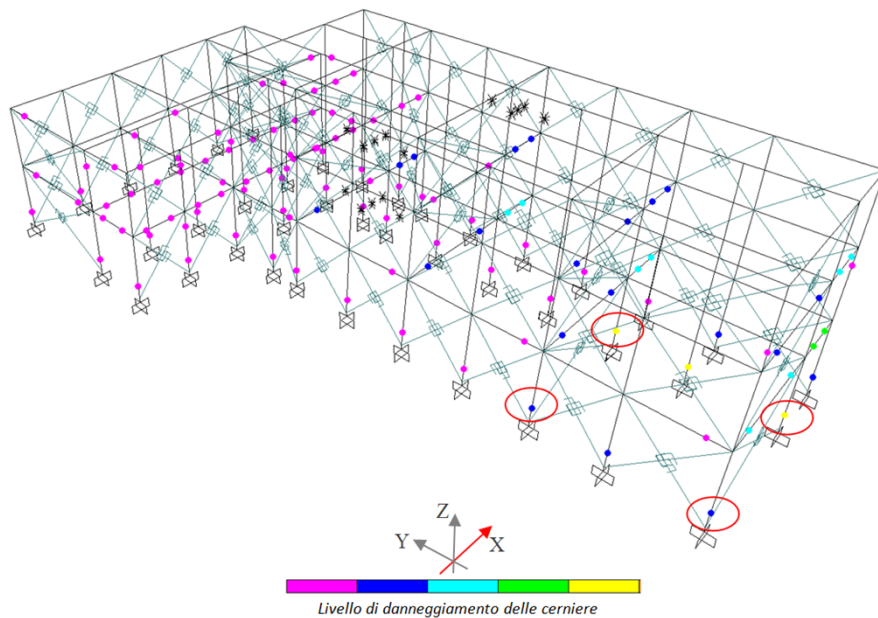
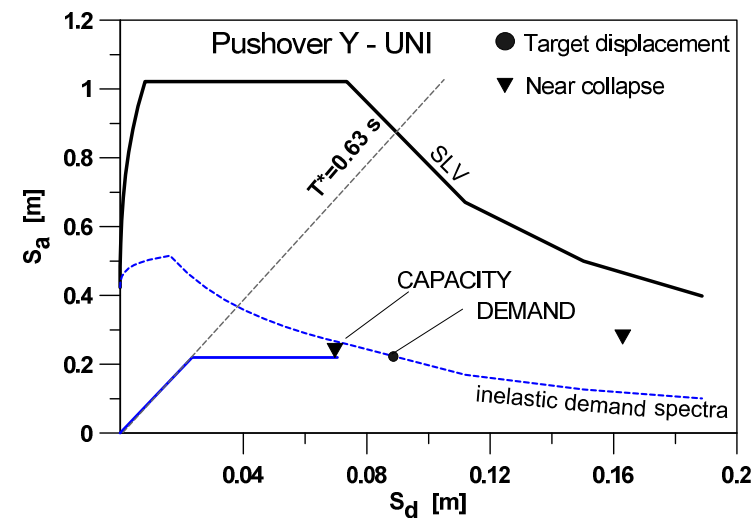
$$PGA_{D,SLD} = a_{gSLD} \times S = 0.116 \times 1.5 = 0.174g$$

$$PGA_{D,SLV} = a_{gSLV} \times S = 0.284 \times 1.3 = 0.37g$$

VALUTAZIONE DELLA CAPACITA'



$PGA_{C,SLV\tau}=0.052g$



VALUTAZIONE DELLA CAPACITA' e di **IS-V**

$$PGA_{D,SLD} = 0.174 g$$

$$PGA_{D,SLV} = 0.37 g$$

$$PGA_{C,SLV\tau} = 0.246 g$$



$$IS-V = PGA_{C,SLV\tau} / PGA_{D,SLV} = 0.665$$

(escludendo
il collasso dei nodi)



$$PGA_{C,SLV\sigma} = 0.052 g$$



$$IS-V = PGA_{C,SLV\sigma} / PGA_{D,SLV} = 0.14$$



$$PGA_{C,SLD} = 0.069 g$$



$$PGA_{C,SLD} / PGA_{D,SLD} = 0.397$$

CLASSIFICAZIONE **IS-V**

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

(escludendo
il collasso dei nodi)

IS-V



CLASSE IS-V «F»

VALUTAZIONE PAM

Parametri di domanda

$$PGA_{D,SLD} = 0.174 \text{ g}$$

$$T_{rD,SLD} = 75 \text{ anni}$$

$$PGA_{D,SLV} = 0.37 \text{ g}$$

$$T_{rD,SLV} = 712 \text{ anni}$$

Parametri di capacità

$$PGA_{C,SLV} = 0.052 \text{ g}$$

$$PGA_{C,SLV} / PGA_{D,SLV} = 0.14$$

$$PGA_{C,SLD} = 0.069 \text{ g}$$

$$PGA_{C,SLD} / PGA_{D,SLD} = 0.397$$

Periodi di ritorno capacità

$$T_{rC,SLD} = T_{rD,SLD} (PGA_{C,SLD} / PGA_{D,SLD})^\eta = 75(0.069 / 0.174)^{(1/0.49)} = 11.37 \text{ anni}$$

$$T_{rC,SLV} = T_{rD,SLV} (PGA_{C,SLV} / PGA_{D,SLV})^\eta = 712(0.052 / 0.37)^{(1/0.49)} = 12.9 \text{ anni}$$

Frequenze medie annue di superamento

$$\lambda_{SLID} = 0.10$$

$$\lambda_{SLD} = 1 / T_{rC,SLD} = 1 / 11.37 \text{ anni} = 0.88$$

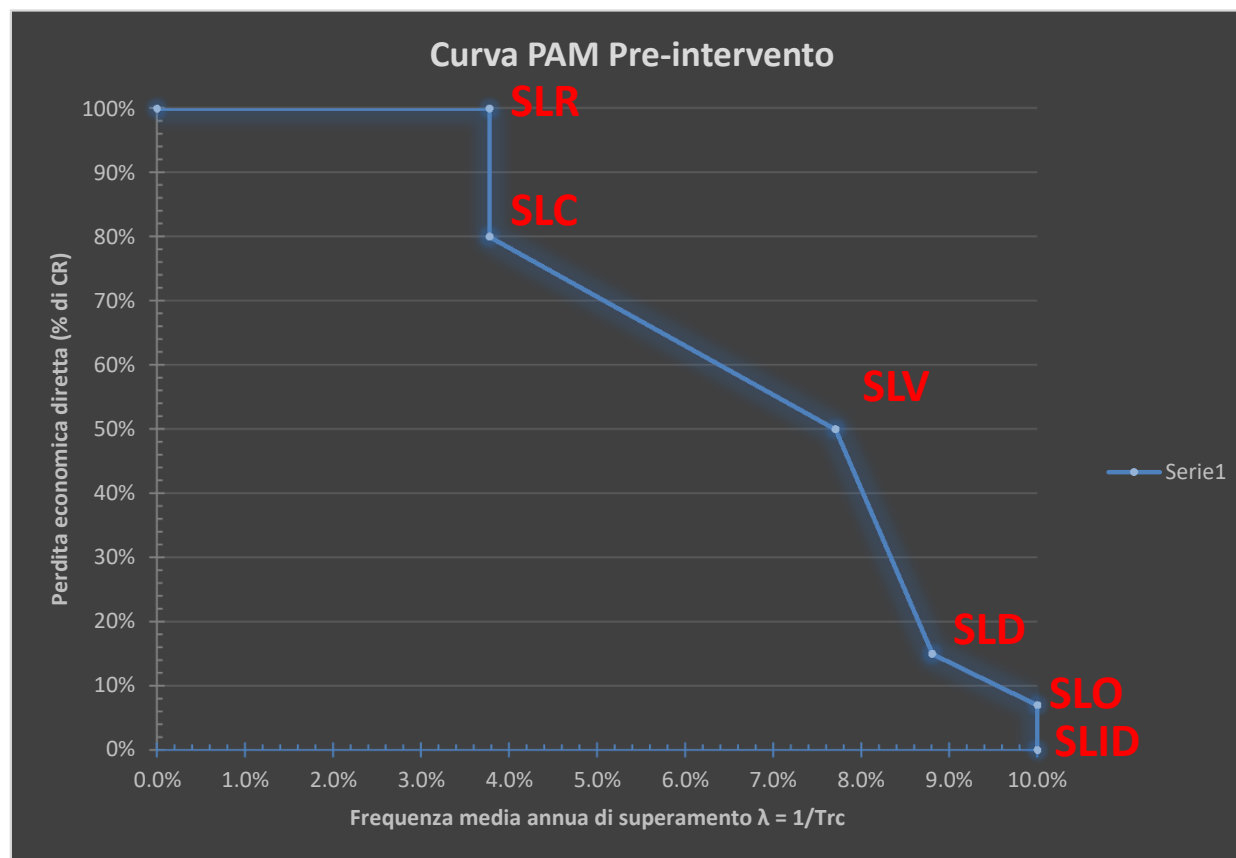
$$\lambda_{SLV} = 1 / T_{rC,SLV} = 1 / 12.9 \text{ anni} = 0.77$$

$$\lambda_{SLC} = 0.49 \lambda_{SLV} = 0.377$$

$$\lambda_{SLR} = \lambda_{SLC} = 0.377$$

$$\lambda_{SLO} = 1.67 \lambda_{SLD} = 1.47 > \lambda_{SLD} \Rightarrow \lambda_{SLO} = \lambda_{SLID} = 0.1$$

VALUTAZIONE PAM



$$PAM = \sum_{i=2}^5 [\lambda(SL_i) - \lambda(SL_{i-1})] * [CR(SL_i) + CR(SL_{i-1})] / 2 + \lambda(SLC) * CR(SLR) = 6.82\%$$

VALUTAZIONE PAM

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

0.14

Perdita Media Annua attesa (PAM)	Classe PAM
$PAM \leq 0,50\%$	A_{PAM}^+
$0,50\% < PAM \leq 1,0\%$	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}
$7,5\% \leq PAM$	G_{PAM}

6.82%

CLASSE IS-V «F»

CLASSE PAM «F»

CLASSE DI RISCHIO
SISMICO «F»

INTERVENTI DI RINFORZO

Colajanni P, Cucchiara C, Papia M. Manfredi G, Nuti C, editors. **Sostenibilità di interventi di miglioramento sismico di strutture in c.a. non danneggiate**. Rome: Aracne; 2012. p. 2012.

RINFORZO A TAGLIO TRAVI

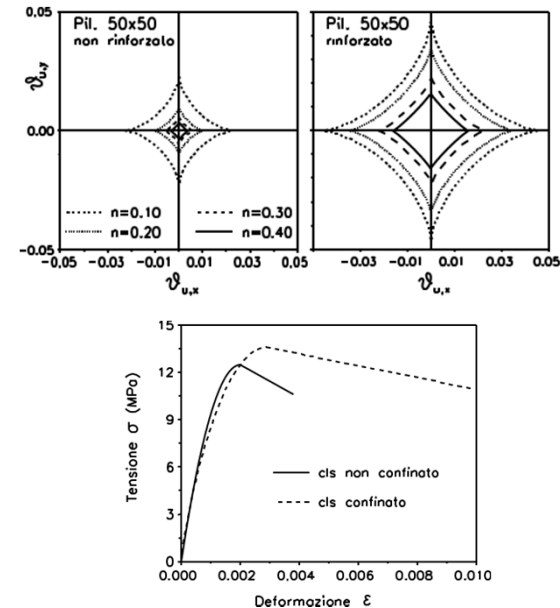
Placcaggio con piatti metallici tassellati meccanicamente con iniezioni di resina

RINFORZO NODI

Placcaggio con piatti metallici tassellati meccanicamente con iniezioni di resina

CONFINAMENTO PILASTRI

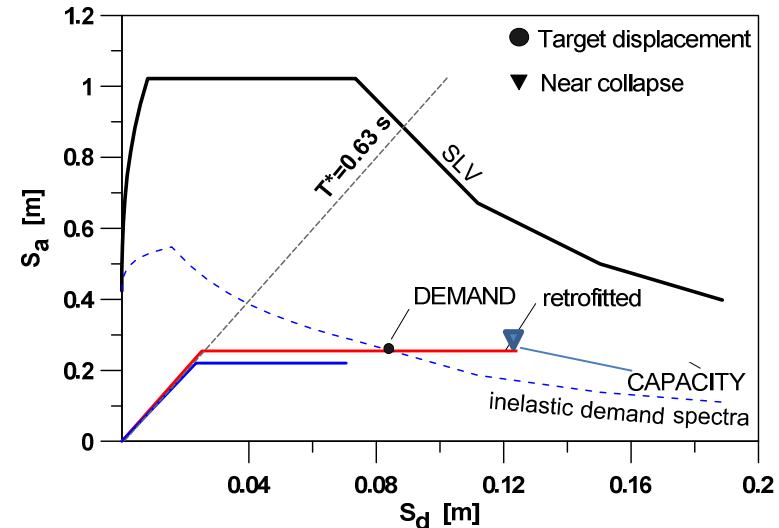
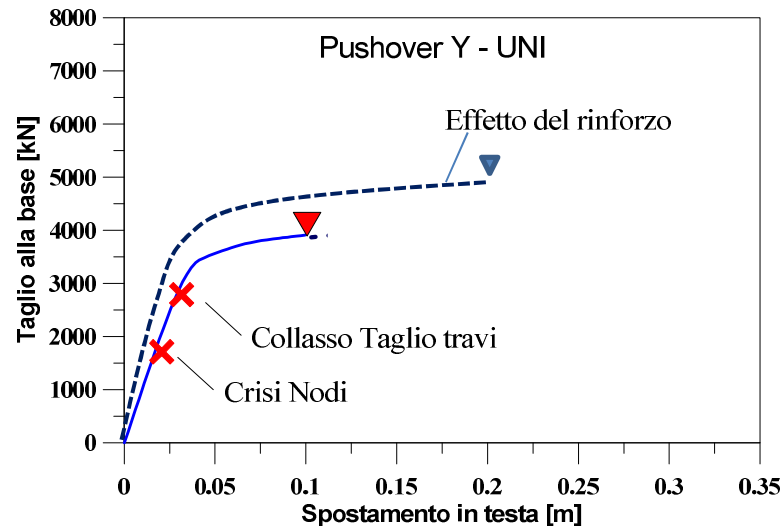
Angolari e calastrelli



L'incamiciatura metallica di un pilastro di sezione 40x60 cm ha un costo stimato pari a 720 €/ml; il rinforzo a taglio di una trave di sezione 50x50 cm ha un costo stimato pari a 1300 €/ml.

L'intervento complessivo, che prevede l'incamiciatura alla testa e al piede di tutti i pilastri al piano terra e di quelli perimetrali agli altri piani, il rinforzo a taglio di circa il 60% delle travi e il rinforzo di tutti i nodi non confinati (1330 €/m²), implica un costo totale di circa **260 mila €**, pari a **190 € per ogni mq** di superficie utile dell'edificio.

INTERVENTI DI RINFORZO



$$PGA_{C,SLV} = 0.12g$$

$$PGA_{C,SLD}/PGA_{D,SLD} = 0.69$$

$$PGA_{C,SLV} = 0.49g$$

$$IS-V = PGA_{C,SLV}/PGA_{D,SLV} = 1.33$$

CLASSIFICAZIONE IS-V

$$PGA_{D,SLD} = 0.174g$$

$$PGA_{D,SLV} = 0.37g$$

IS-V

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

(escludendo
il collasso dei nodi)

CLASSE IS-V «F»

VALUTAZIONE PAM

Parametri di domanda

$$PGA_{D,SLD} = 0.174 \text{ g}$$

$$T_{rD,SLD} = 75 \text{ anni}$$

$$PGA_{D,SLV} = 0.37 \text{ g}$$

$$T_{rD,SLV} = 712 \text{ anni}$$

Parametri di capacità

$$PGA_{C,SLV} = 0.49 \text{ g}$$

$$PGA_{C,SLV} / PGA_{D,SLV} = 1.33$$

$$PGA_{C,SLD} = 0.12 \text{ g}$$

$$PGA_{C,SLD} / PGA_{D,SLD} = 0.69$$

Periodi di ritorno capacità

$$T_{rC,SLD} = T_{rD,SLD} (PGA_{C,SLD} / PGA_{D,SLD})^\eta = 75(0.12 / 0.174)^{(1/0.49)} = 35 \text{ anni}$$

$$T_{rC,SLV} = T_{rD,SLV} (PGA_{C,SLV} / PGA_{D,SLV})^\eta = 712(0.49 / 0.37)^{(1/0.49)} = 1263 \text{ anni}$$

Frequenze medie annue di superamento

$$\lambda_{SLID} = 0.10$$

$$\lambda_{SLD} = 1 / T_{rC,SLD} = 1 / 35 \text{ anni} = 0.0285$$

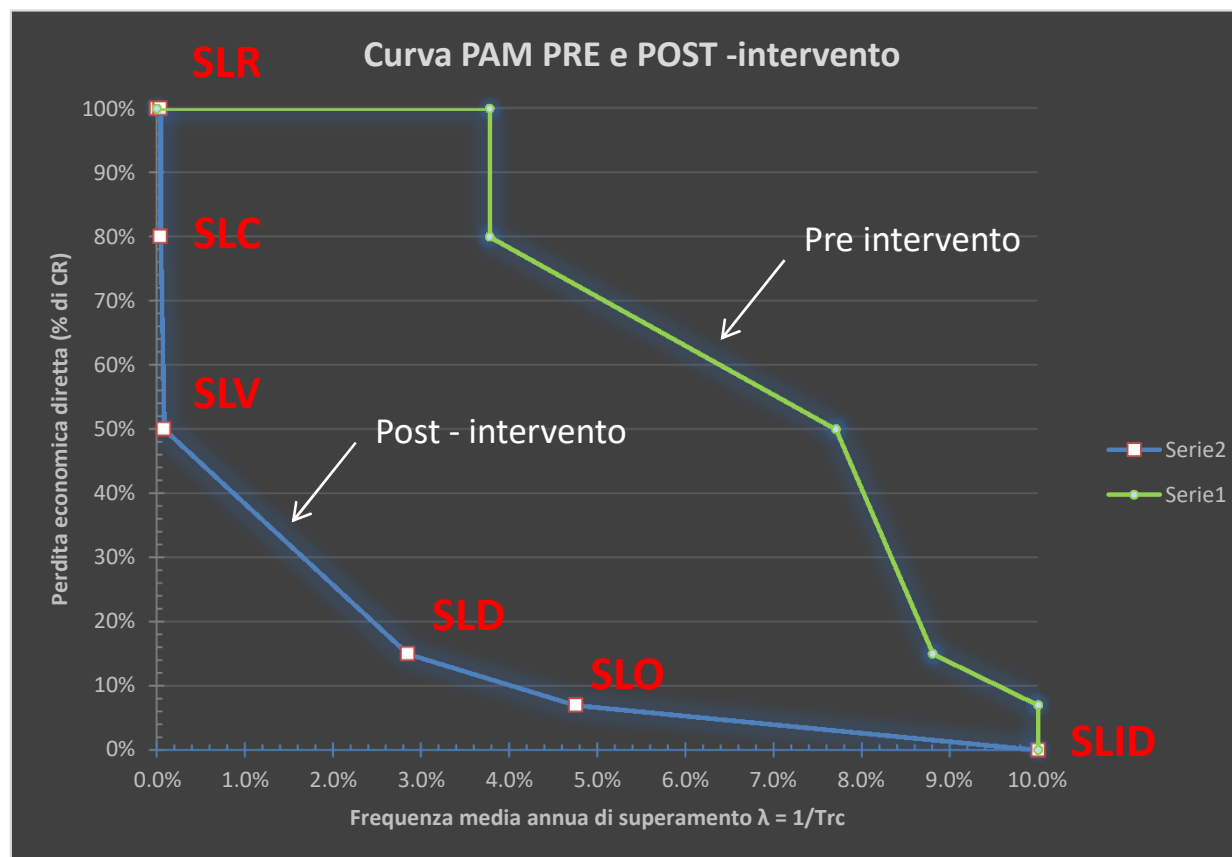
$$\lambda_{SLV} = 1 / T_{rC,SLV} = 1 / 1263 \text{ anni} = 0.0008$$

$$\lambda_{SLC} = 0.49 \lambda_{SLV} = 0.0004$$

$$\lambda_{SLR} = \lambda_{SLC} = 0.0004$$

$$\lambda_{SLO} = 1.67 \lambda_{SLD} = 0.047$$

VALUTAZIONE PAM



$$PAM = \sum_{i=2}^5 [\lambda(SL_i) - \lambda(SL_{i-1})] * [CR(SL_i) + CR(SL_{i-1})] / 2 + \lambda(SLC) * CR(SLR) = 1.36\%$$

VALUTAZIONE PAM

Indice di Sicurezza	Classe IS-V
1.33 $100\% < \text{IS-V}$	$A^+_{\text{IS-V}}$
$100\% \leq \text{IS-V} < 80\%$	$A_{\text{IS-V}}$
$80\% \leq \text{IS-V} < 60\%$	$B_{\text{IS-V}}$
$60\% \leq \text{IS-V} < 45\%$	$C_{\text{IS-V}}$
$45\% \leq \text{IS-V} < 30\%$	$D_{\text{IS-V}}$
$30\% \leq \text{IS-V} < 15\%$	$E_{\text{IS-V}}$
$\text{IS-V} \leq 15\%$	$F_{\text{IS-V}}$

Perdita Media Annua attesa (PAM)	Classe PAM
$\text{PAM} \leq 0,50\%$	A^+_{PAM}
$0,50\% < \text{PAM} \leq 1,0\%$	A_{PAM}
$1,0\% < \text{PAM} \leq 1,5\%$	B_{PAM}
$1,5\% < \text{PAM} \leq 2,5\%$	C_{PAM}
1.36% $2,5\% < \text{PAM} \leq 3,5\%$	D_{PAM}
$3,5\% < \text{PAM} \leq 4,5\%$	E_{PAM}
$4,5\% < \text{PAM} \leq 7,5\%$	F_{PAM}
$7,5\% \leq \text{PAM}$	G_{PAM}

CLASSE IS-V «A+»

CLASSE PAM «B»

CLASSE DI RISCHIO
SISMICO «B»

ESEMPIO DI APPLICAZIONE DEL METODO SEMPLIFICATO AD UN EDIFICIO IN MURATURA

METODO CONVENZIONALE- ESEMPIO APPLICATIVO



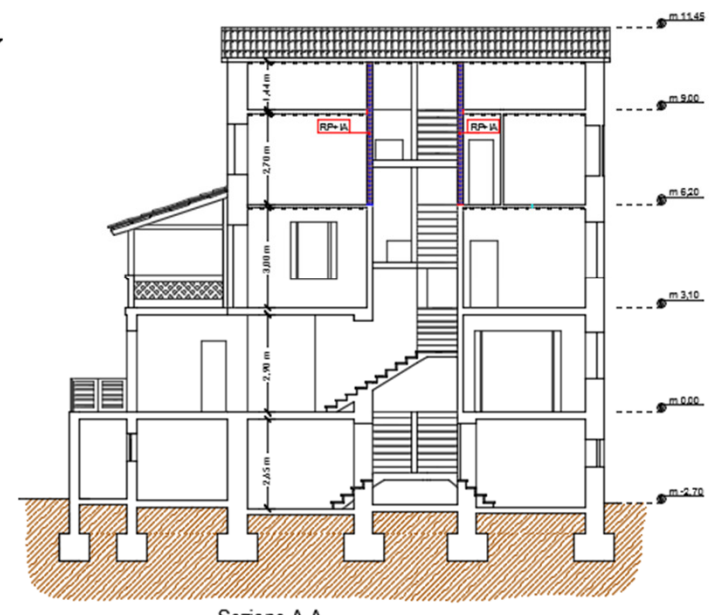
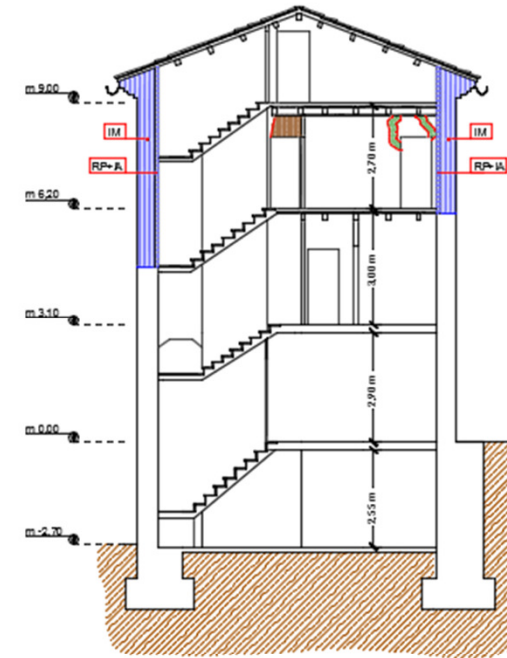
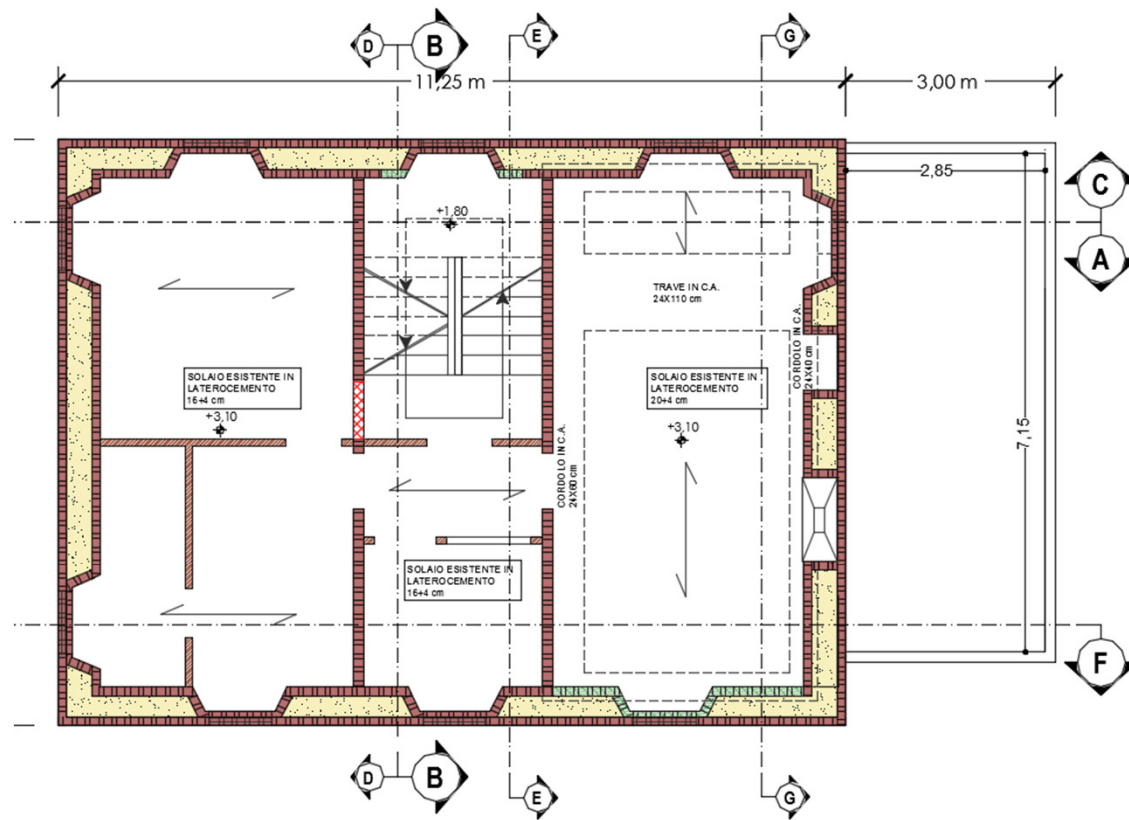
Courtesy of Ing. Emiliano Palmeri

Edificio Civile abitazione + locali commerciali

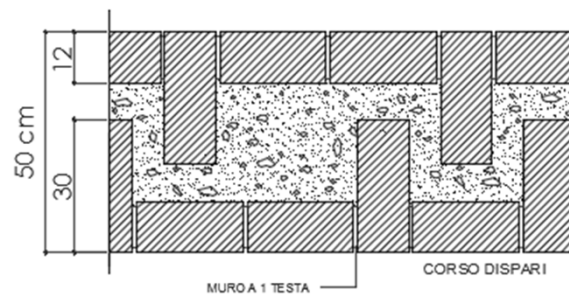
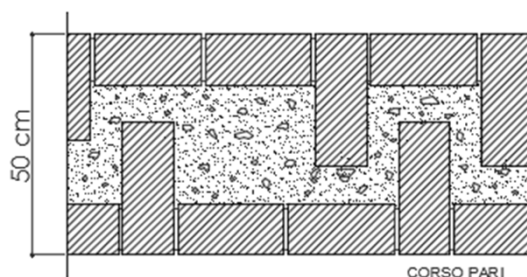
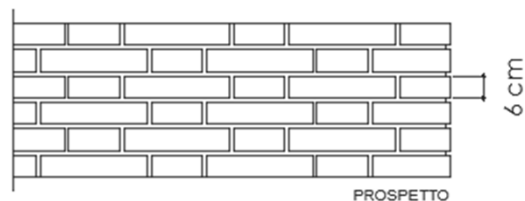
Località: Prov. Fermo

Tipologia strutturale: Muratura di mattoni in doppio paramento .

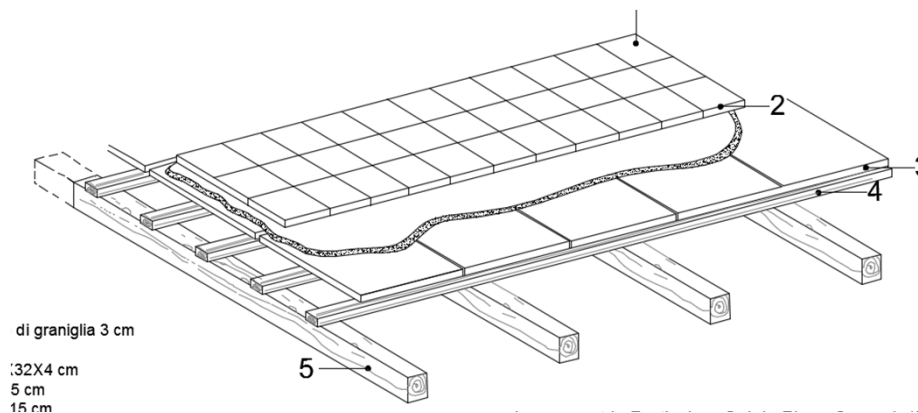
METODO CONVENZIONALE- ESEMPIO APPLICATIVO



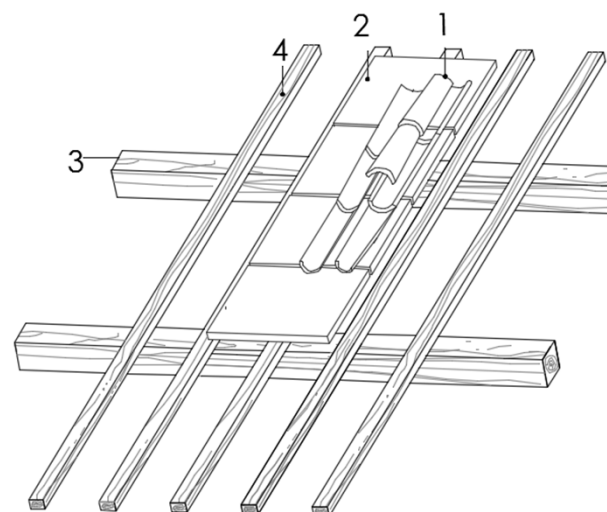
METODO CONVENZIONALE- ESEMPIO APPLICATIVO



Muratura



Solai di interpiano



Copertura

ATTRIBUZIONE CLASSE DI VULNERABILITA'

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 rigidità elevata						
	Muratura rinforzata e/o confinata						

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

ATTRIBUZIONE CLASSE DI VULNERABILITA'

pietra sbazzata	<ul style="list-style-type: none"> • Accorgimenti per aumentare la resistenza (ad es. listature). • Orizzontamenti di legno o comunque caratterizzati da scarsa rigidezza e/o resistenza nel proprio piano medio e scarsamente collegati con le pareti portanti 	V ₅
mattoni o pietra lavorata	<ul style="list-style-type: none"> • Orizzontamenti di mattoni o di legno caratterizzati da scarsa rigidezza nel proprio piano medio e scarsamente collegati con le pareti portanti 	V ₅
pietra massiccia per costruzioni monumentali	<ul style="list-style-type: none"> • Orizzontamenti a volta o di legno caratterizzati da scarsa rigidezza e/o resistenza nel proprio piano medio 	V ₄

JRA

CLASSE DI
VULNERABILITA' «V6»

POSSIBILI MECCANISMI LOCALI	PECULIARITÀ NEGATIVE PER LA VULNERABILITÀ LOCALE/GLOBALE	PAS- SAGGIO DI CLASSE
Ribaltamento delle pareti	<ul style="list-style-type: none"> • 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
Meccanismi parziali o di piano	<ul style="list-style-type: none"> • 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

ATTRIBUZIONE DELLA CLASSE DI RISCHIO SISMICO PRE INTERVENTO

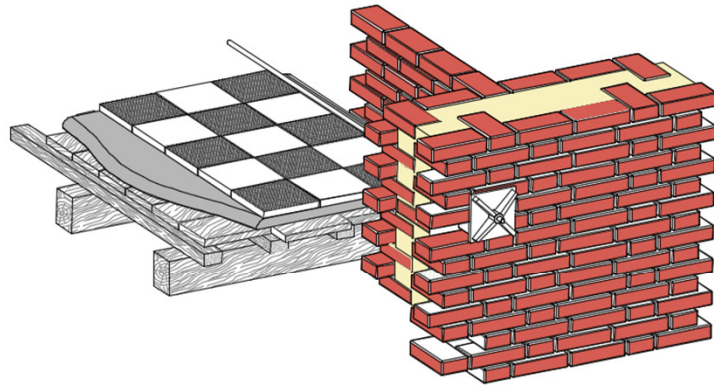
Classe di Rischio	PAM	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4
A+*	$PAM \leq 0,50\%$				$V_1 \div V_2$
A*	$0,50\% < PAM \leq 1,0\%$			$V_1 \div V_2$	$V_3 \div V_4$
B*	$1,0\% < PAM \leq 1,5\%$	V_1	$V_1 \div V_2$	V_3	V_5
C*	$1,5\% < PAM \leq 2,5\%$	V_2	V_3	V_4	V_6
D*	$2,5\% < PAM \leq 3,5\%$	V_3	V_4	$V_5 \div V_6$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

Tabella 5 – Classe PAM attribuita in funzione della classe di vulnerabilità assegnata all'edificio e della zona sismica in cui lo stesso è situato

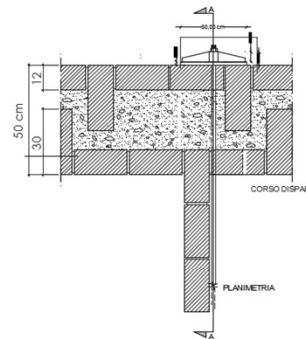
CLASSE DI RISCHIO SISMICO «F»

INTERVENTI PER L'INCREMENTO DELLA CLASSE

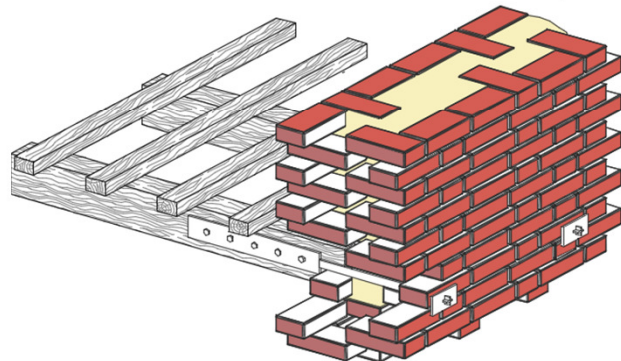
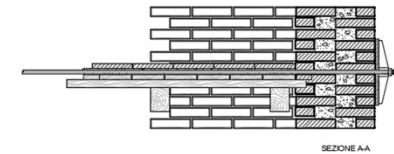
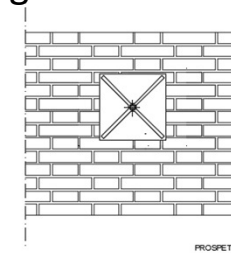
mattoni o pietra lavorata	<p>ESECUZIONE DEI SEGUENTI INTERVENTI SULL'INTERA UNITA' STRUTTURALE</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ripristino dei danni o delle zone degradate • Eliminazione delle spinte orizzontali non contrastate • Stabilizzazione fuori piano delle pareti di elevate dimensioni (larghezza e altezza) • Collegamento dei pannelli murari agli orizzontamenti <p>INTERVENTI AUSPICATI MA NON OBBLIGATORI</p> <ul style="list-style-type: none"> • Riduzione delle aperture di elevate dimensioni (soprattutto se intervallate da maschi di ridotte dimensioni) 	<ul style="list-style-type: none"> • Perseguire un comportamento d'insieme regolare e "scatolare".⁽¹⁰⁾ • Posticipare l'attivazione dei meccanismi locali e/o fuori del piano, rispetto all'attivazione dei meccanismi globali 	da V ₆ a V ₅
---------------------------	---	--	------------------------------------



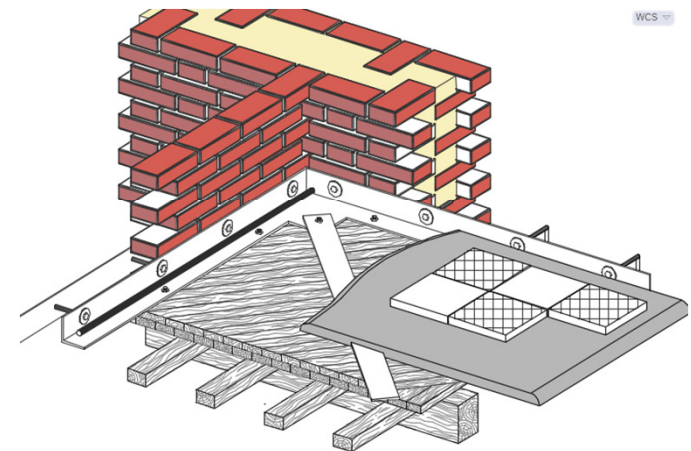
Stabilizzazione fuori piano (tirante)



Dettaglio tirante



Stabilizzazione fuori piano e connessione muri / orizzontamenti



Connessione muri / orizzontamenti

ATTRIBUZIONE DELLA CLASSE DI RISCHIO SISMICO 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*	$7,5\% \leq PAM$	V_6			

Tabella 5 – Classe PAM attribuita in funzione della classe di vulnerabilità assegnata all'edificio e della zona sismica in cui lo stesso è situato

CLASSE DI RISCHIO SISMICO «E»

INTERVENTI DI RINFORZO EDIFICI IN C.A. E MURATURA

Il presente documento è disponibile in libero accesso.

Il volume, che ripropone gli argomenti trattati in questa sede, è stato stampato per conto di ReLUIS da Doppiavoce Edizioni ed è disponibile a questo indirizzo http://www.doppiavoce.it/index.php?option=com_virtuemart&Itemid=68&vmcchk=1&Itemid=68



ELEMENTI DI SOVRAPPOSIZIONE CON LE NUOVE NTC 2018

Estratto dal Cap. 8

Per la combinazione sismica le verifiche agli SLU possono essere eseguite rispetto alla condizione di salvaguardia della vita umana (SLV) o, in alternativa, alla condizione di collasso (SLC), secondo quanto specificato al § 7.3.6

Nelle verifiche rispetto alle azioni sismiche il livello di sicurezza della costruzione è quantificato attraverso il rapporto ξ_E tra l'azione sismica massima sopportabile dalla struttura e l'azione sismica massima che si utilizzerebbe nel progetto di una nuova costruzione; l'entità delle altre azioni contemporaneamente presenti è la stessa assunta per le nuove costruzioni, salvo quanto emerso riguardo ai carichi verticali permanenti a seguito delle indagini condotte (di cui al § 8.5.5) e salvo l'eventuale adozione di appositi provvedimenti restrittivi dell'uso della costruzione e, conseguentemente, sui carichi verticali variabili.

$$\xi_E = I_S - V$$

8.4. CLASSIFICAZIONE DEGLI INTERVENTI

Si individuano le seguenti categorie di intervento:

- interventi di riparazione o locali: interventi che interessino singoli elementi strutturali e che, comunque, non riducano le condizioni di sicurezza preesistenti;
- interventi di miglioramento: interventi atti ad aumentare la sicurezza strutturale preesistente, senza necessariamente raggiungere i livelli di sicurezza fissati al § 8.4.3;
- interventi di adeguamento: interventi atti ad aumentare la sicurezza strutturale preesistente, conseguendo i livelli di sicurezza fissati al § 8.4.3.

8.4.1. RIPARAZIONE O INTERVENTO LOCALE

Gli interventi di questo tipo riguarderanno singole parti e/o elementi della struttura. Essi non debbono cambiare significativamente il comportamento globale della costruzione e sono volti a conseguire una o più delle seguenti finalità:

- ripristinare, rispetto alla configurazione precedente al danno, le caratteristiche iniziali di elementi o parti danneggiate;
- migliorare le caratteristiche di resistenza e/o di duttilità di elementi o parti, anche non danneggiati;
- impedire meccanismi di collasso locale;
- modificare un elemento o una porzione limitata della struttura.

Il progetto e la valutazione della sicurezza potranno essere riferiti alle sole parti e/o elementi interessati, documentando le carenze strutturali riscontrate e dimostrando che, rispetto alla configurazione precedente al danno, al degrado o alla variante, non vengano prodotte sostanziali modifiche al comportamento delle altre parti e della struttura nel suo insieme e che gli interventi non comportino una riduzione dei livelli di sicurezza preesistenti.

8.4.2. INTERVENTO DI MIGLIORAMENTO

La valutazione della sicurezza e il progetto di intervento dovranno essere estesi a tutte le parti della struttura potenzialmente interessate da modifiche di comportamento, nonché alla struttura nel suo insieme.

Per la combinazione sismica delle azioni, il valore di ζ_E può essere minore dell'unità. A meno di specifiche situazioni relative ai beni culturali, per le costruzioni di classe III ad uso scolastico e di classe IV il valore di ζ_E , a seguito degli interventi di miglioramento, deve essere comunque non minore di 0,6, mentre per le rimanenti costruzioni di classe III e per quelle di classe II il valore di ζ_E , sempre a seguito degli interventi di miglioramento, deve essere incrementato di un valore comunque non minore di 0,1.

Nel caso di interventi che prevedano l'impiego di sistemi di isolamento, per la verifica del sistema di isolamento, si deve avere almeno $\zeta_E = 1,0$.

ζ_E almeno 0.6 per beni culturali, Classe III ad uso scolastico e Classe IV

$\Delta \zeta_E = 0.1$ per tutte le altre costruzioni

8.4.1. RIPARAZIONE O INTERVENTO LOCALE

Gli interventi di questo tipo riguarderanno singole parti e/o elementi della struttura. Essi non debbono cambiare significativamente il comportamento globale della costruzione e sono volti a conseguire una o più delle seguenti finalità:

- ripristinare, rispetto alla configurazione precedente al danno, le caratteristiche iniziali di elementi o parti danneggiate;
- migliorare le caratteristiche di resistenza e/o di duttilità di elementi o parti, anche non danneggiati;
- impedire meccanismi di collasso locale;
- modificare un elemento o una porzione limitata della struttura.

Il progetto e la valutazione della sicurezza potranno essere riferiti alle sole parti e/o elementi interessati, documentando le carenze strutturali riscontrate e dimostrando che, rispetto alla configurazione precedente al danno, al degrado o alla variante, non vengono prodotte sostanziali modifiche al comportamento delle altre parti e della struttura nel suo insieme e che gli interventi non comportino una riduzione dei livelli di sicurezza preesistenti.

8.4.2. INTERVENTO DI MIGLIORAMENTO

La valutazione della sicurezza e il progetto di intervento dovranno essere estesi a tutte le parti della struttura potenzialmente interessate da modifiche di comportamento, nonché alla struttura nel suo insieme.

Per la combinazione sismica delle azioni, il valore di ζ_E può essere minore dell'unità. A meno di specifiche situazioni relative ai beni culturali, per le costruzioni di classe III ad uso scolastico e di classe IV il valore di ζ_E , a seguito degli interventi di miglioramento, deve essere comunque non minore di 0,6, mentre per le rimanenti costruzioni di classe III e per quelle di classe II il valore di ζ_E , sempre a seguito degli interventi di miglioramento, deve essere incrementato di un valore comunque non minore di 0,1.

Nel caso di interventi che prevedano l'impiego di sistemi di isolamento, per la verifica del sistema di isolamento, si deve avere almeno $\zeta_E = 1,0$.

ζ_E almeno 0.6 per beni culturali, Classe III ad uso scolastico e Classe IV

$\Delta \zeta_E = 0.1$ per tutte le altre costruzioni

8.4.3. INTERVENTO DI ADEGUAMENTO

L'intervento di adeguamento della costruzione è obbligatorio quando si intenda:

- a) sopraelevare la costruzione;
- b) ampliare la costruzione mediante opere ad essa strutturalmente connesse e tali da alterarne significativamente la risposta;
- c) apportare variazioni di destinazione d'uso che comportino incrementi dei carichi globali verticali in fondazione superiori al 10%, valutati secondo la combinazione caratteristica di cui alla equazione 2.5.2 del § 2.5.3, includendo i soli carichi gravitazionali. Resta comunque fermo l'obbligo di procedere alla verifica locale delle singole parti e/o elementi della struttura, anche se interessano porzioni limitate della costruzione;
- d) effettuare interventi strutturali volti a trasformare la costruzione mediante un insieme sistematico di opere che portino ad un sistema strutturale diverso dal precedente; nel caso degli edifici, effettuare interventi strutturali che trasformano il sistema strutturale mediante l'impiego di nuovi elementi verticali portanti su cui grava almeno il 50% dei carichi gravitazionali complessivi riferiti ai singoli piani.
- e) apportare modifiche di classe d'uso che conducano a costruzioni di classe III ad uso scolastico o di classe IV.

In ogni caso, il progetto dovrà essere riferito all'intera costruzione e dovrà riportare le verifiche dell'intera struttura post-intervento, secondo le indicazioni del presente capitolo.

Nei casi a), b) e d), per la verifica della struttura, si deve avere $\zeta_E \geq 1,0$. Nei casi c) ed e) si può assumere $\zeta_E \geq 0,80$.

Resta comunque fermo l'obbligo di procedere alla verifica locale delle singole parti e/o elementi della struttura, anche se interessano porzioni limitate della costruzione.

ζ_E può essere minore di compreso tra 0.8 e 1 nei casi c) ed e)

ζ_E maggiore o uguale ad 1 nei casi a) b) e d)

CONSIDERAZIONI SUL PAM

Adegumento $\xi_E > 1$
Adegumento $\xi_E < 1$
Miglioramento $\xi_E > 0.6$



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

GRAZIE PER L'ATTENZIONE

fabio.ditrapani@polito.it