



Edilizia 4.0

La casa come «macchina per abitare»

Salerno, Mercoledì 21 Marzo 2018

Miglioramento ed adeguamento antisismico,

le nuove NTC ed il Sismabonus

Edoardo Cosenza, Università di Napoli Federico II

Definizione Stati Limite Sismici:

NTC 2018 = NTC 2008



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 rigidezza 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 rigidezza nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidezza 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		P_{VR} : Probabilità di superamento nel periodo di riferimento V_R = 50 anni		
Stati limite di esercizio	SLO	$\lambda = 3,33\%$	81%	$Tr = 30$ anni
	SLD	$\lambda = 2\%$	63%	$Tr = 50$ anni
Stati limite ultimi	SLV	$\lambda = 0,21\%$	10%	$Tr = 475$ anni
	SLC	$\lambda = 0,1025\%$	5%	$Tr = 975$ anni

Stato Limite di Operatività (SLO)_Tr=30y: 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 d'uso significativi;

Stato Limite di Danno (SLD)_50y: 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 rigidezza nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature;

Stato Limite di Salvaguardia delle Vita (SLV)_Tr=475y: 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 rigidezza nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidezza per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;

Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC)_Tr=975y: 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.

Le verifiche degli elementi non strutturali (NS) e degli impianti (IM) si effettuano in termini di funzionamento (FUN) e stabilità (STA), come sintetizzato nella tabella 7.3.III, in dipendenza della Classe d'Uso (CU).

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.

Le verifiche allo stato limite di prevenzione del collasso (SLC), a meno di specifiche indicazioni, si svolgono soltanto in termini di duttilità e solo qualora le verifiche in duttilità siano espressamente richieste (v. §7.3.6.1)

7.3.6.2. ELEMENTI NON STRUTTURALI (NS) VERIFICHE DI STABILITA'

Per gli elementi non strutturali devono essere adottati magisteri atti ad evitare la possibile espulsione sotto l'azione della Fa corrispondente allo SL e alla CU considerati

7.3.6.3 IMPIANTI

VERIFICHE DI FUNZIONAMENTO (FUN)

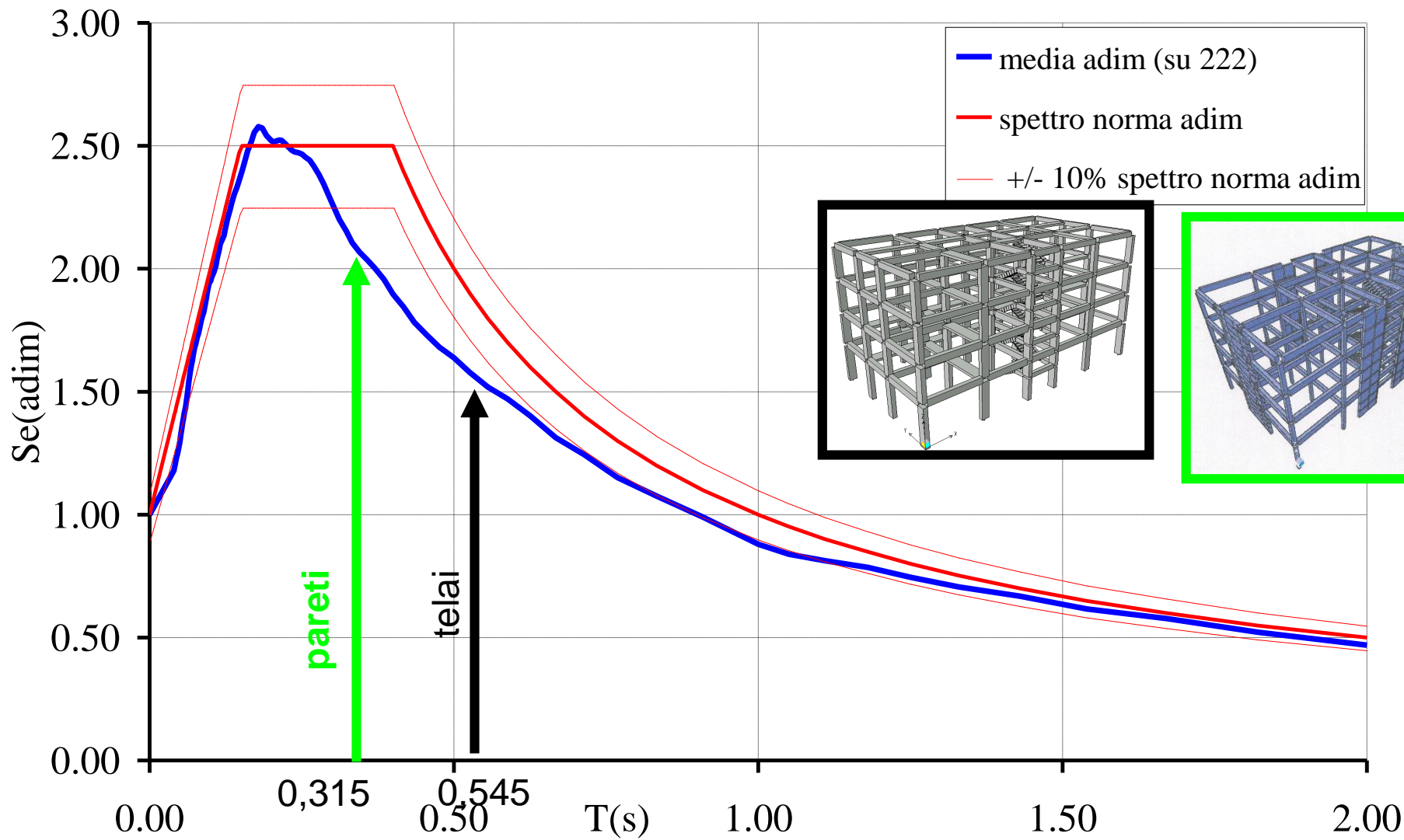
Per gli impianti, si deve verificare che gli spostamenti strutturali o le accelerazioni (a seconda che Gli impianti siano più sensibili all'effetto dei primi o delle seconde) prodotti dalle azioni relative allo SL e alla CU Considerati non siano tali da produrre interruzioni d'uso degli impianti stessi

VERIFICHE DI STABILITA' (STA)

Per ciascuno degli impianti principali, i diversi elementi funzionali costituenti l'impianto, compresi gli elementi strutturali che li sostengono e collegano, tra loro e alla struttura principale, devono avere capacità sufficiente a sostenere la domanda corrispondente allo SL ed alla CU considerati.

CORRETTA PROGETTAZIONE PER I DIVERSI STATI LIMITE

- **SLV e SLC = RESistenza, con domanda ridotta tramite la duttilità: minimizzare accelerazioni e massimizzare la duttilità**
- **SLD = RIGidezza/Spostamenti relativi di piano: massimizzare la rigidezza**
- **SLO = In parte (in prevalenza, accelerazione sugli oggetti; in parte minore: spostamenti o velocità/energia cinetica): in prevalenza minimizzare accelerazioni**



Suolo A

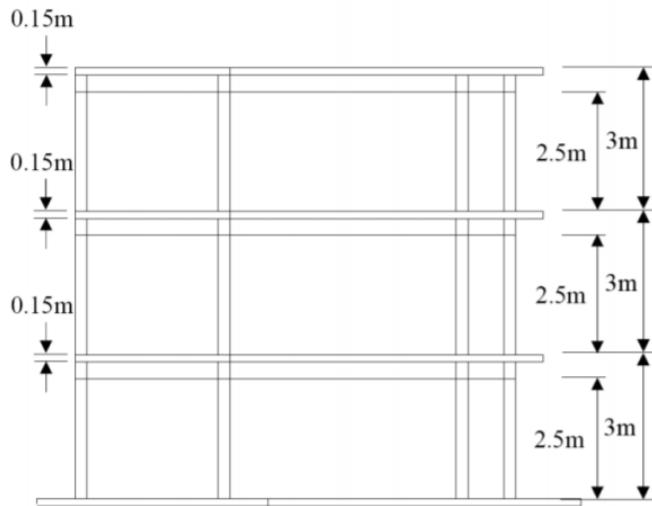


Figure 3. Front view of the case-study structure

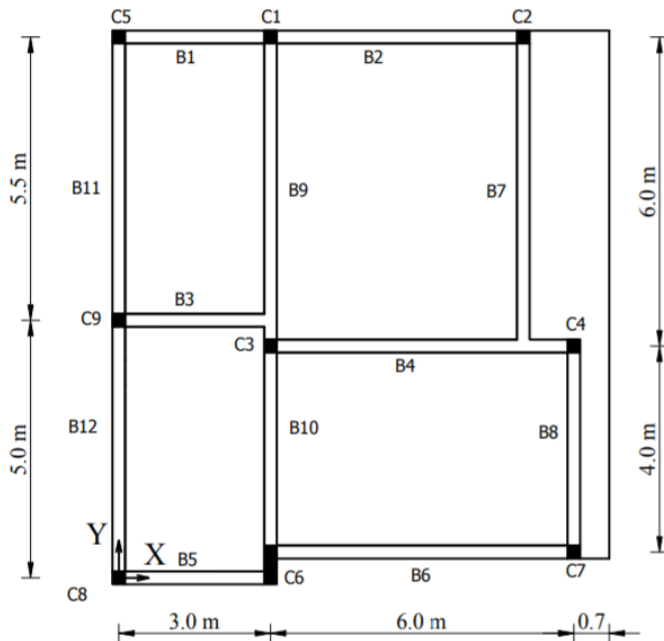


Figure 4. Plan of the case-study structure

A0. Soluzione originaria $T=0,52$ s

Table 3. Evaluation criteria

C_1	Installation cost
C_2	Installation cost NET of taxes reimbursement GROSS of expected losses
C_3	Number of risk classes of improvement
C_4	Cost for maintenance
C_5	Duration of works
C_6	Architectural impact/functional compatibility
C_7	Increase of force demand at foundation

A1. FRP Stesso T

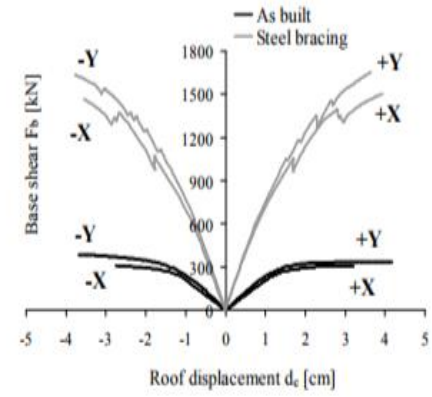
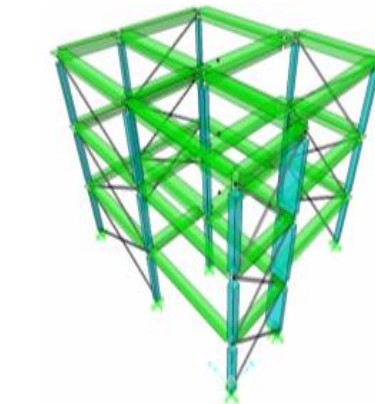
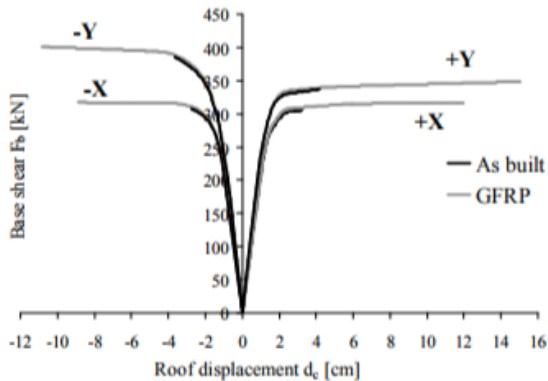


Figure 6. Alternative A₂: bracing configuration (left) and pushover curves at LS limit state for the as-built and the retrofitted structure.

A2. Controventi acciaio T=0,27 s

A3. Incamiciatura in c.a., T=0,42 s

STRUCTURES.

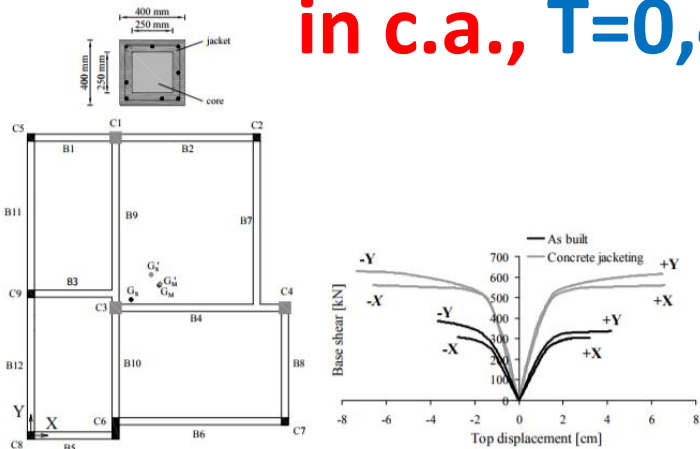


Figure 7. Alternative A₂: RC jacket for three columns (left), pushover curves at LS limit state for the as-built and the retrofitted structure.

A4. Isolamento sismico alla base T=1,39 s

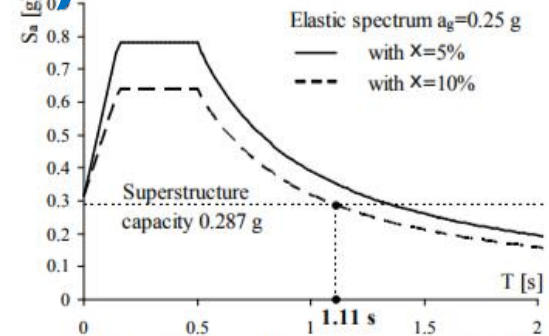
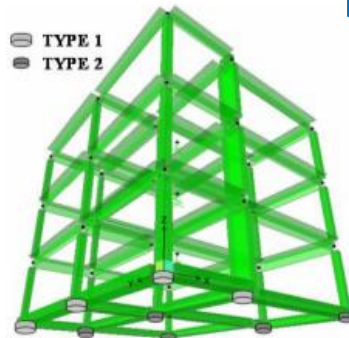
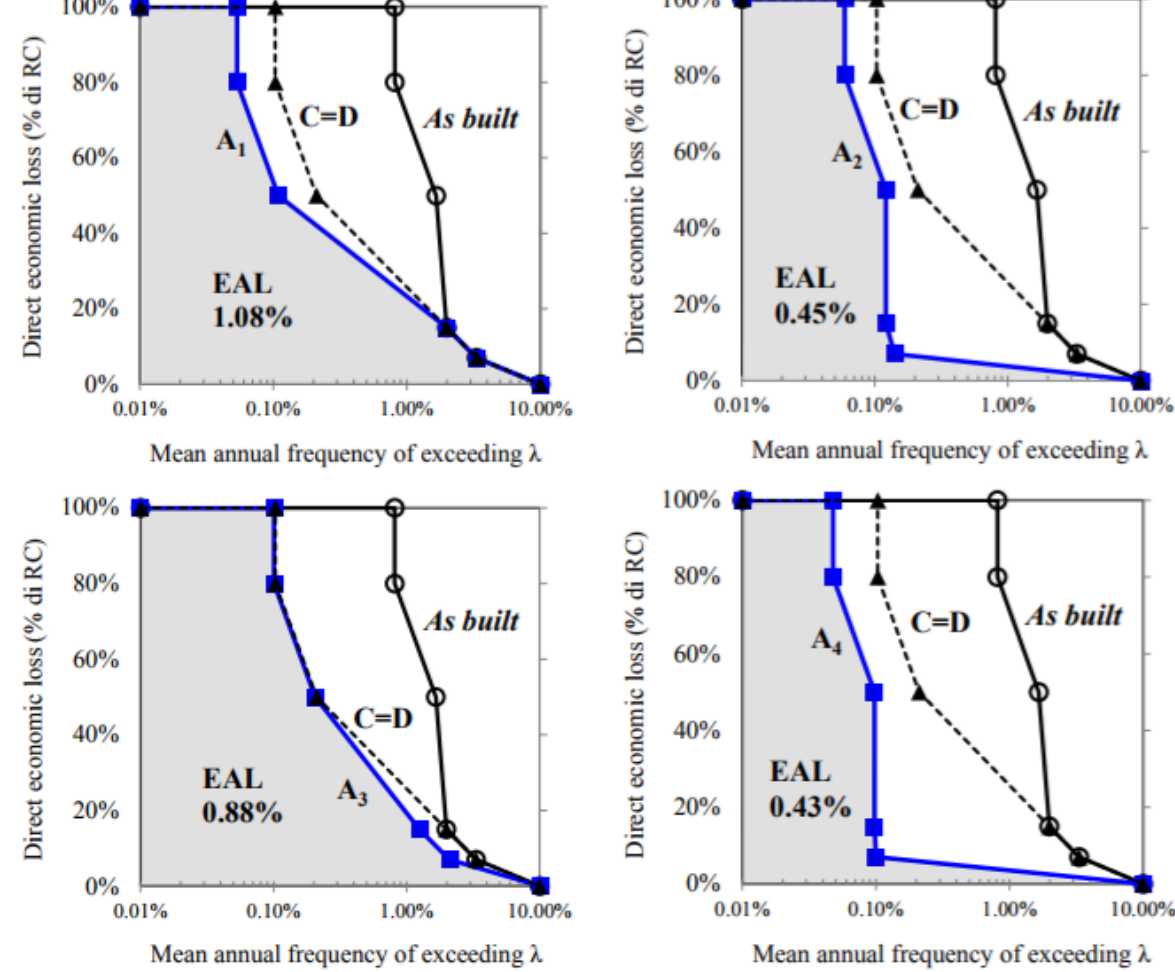


Figure 8. Alternative A₄, base isolation: placement of the two types of device (left), evaluation of the minimum period for isolation (right).

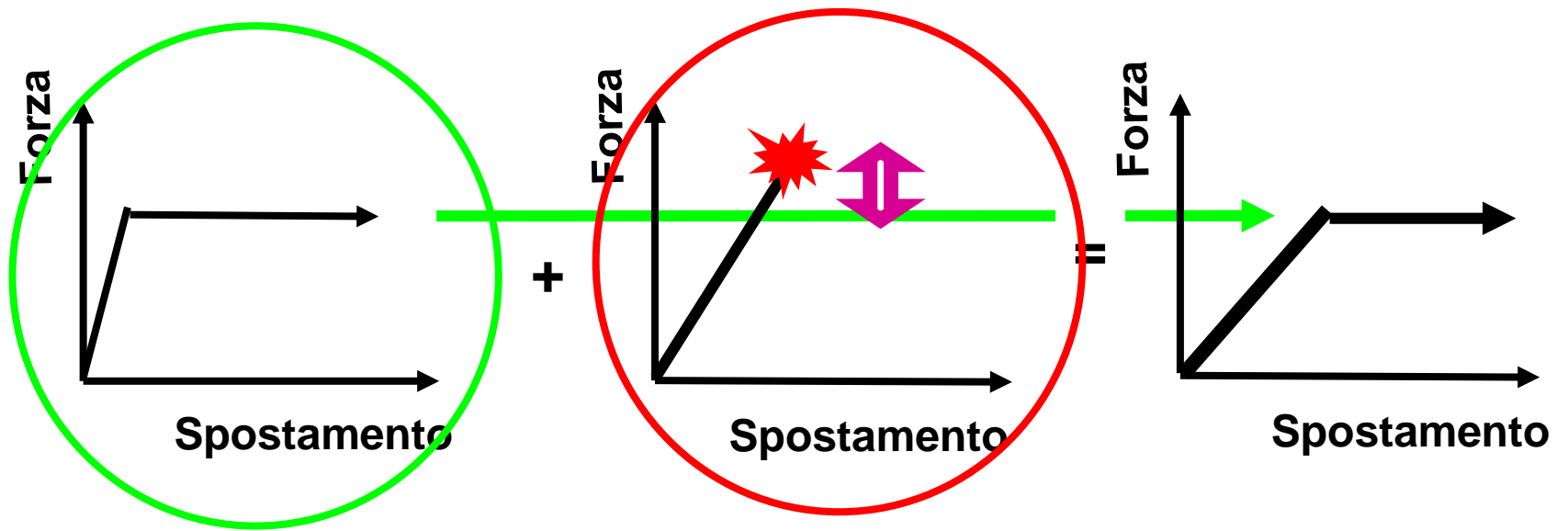


PAM Sismabonus

Figure 10. Loss curves for the as-built and retrofitted structure (four alternatives). The area under a curve is the EAL. Dashed line refers to the ideal condition Capacity=Demand. $EAL_{As\ built}=1.85\%$, $EAL_{C=D}=1.13\%$.

Table 13. Ranking of alternatives for DM₁ and DM₂.

	Decision maker 1				Decision maker 2			
	S _{i*}	S _{i-}	C _{i*}	Rank	S _{i-}	C _{i*}	C _{i-}	Rank
A ₁	0.03	0.29	0.90	I	0.11	0.21	0.65	I
A ₂	0.29	0.05	0.16	IV	0.21	0.11	0.35	IV
A ₃	0.14	0.21	0.60	II	0.13	0.13	0.49	III
A ₄	0.23	0.13	0.35	III	0.13	0.15	0.54	II



$$R_{\text{ELEMENTI FRAGILI}} \geq \gamma_{Rd} \cdot R_{\text{ELEMENTI DUTTILI}}$$

γ_{Rd} = coefficiente di sovraresistenza che tiene conto delle incertezze sui materiali e di modello



HOTEL ROMA, AMATRICE





Tab. 7.2.I - Fattori di sovreresistenza γ_{Rd} (fra parentesi quadre è indicato il numero dell'equazione corrispondente)

Tipologia strutturale	Elementi strutturali	Progettazione in capacità	γ_{Rd}	
			CD" A"	CD" B"
C.a. gettata in opera	Travi (§ 7.4.4.1.1)	Taglio	1,20	1,10
	Pilastrì (§ 7.4.4.2.1)	Pressoflessione [7.4.4]	1,30	1,30
		Taglio [7.4.5]	1,30	1,10
	Nodi trave-pilastro (§ 7.4.4.3.1)	Taglio [7.4.6-7, 7.4.11-12]	1,20	1,10
	Pareti (§ 7.4.4.5.1)	Taglio [7.4.13-14]	1,20	-
C.a. prefabbricata a struttura intelaiata	Collegamenti di tipo a) (§ 7.4.5.2.1)	Flessione e taglio	1,20	1,10
	Collegamenti di tipo b) (§ 7.4.5.2.1)	Flessione e taglio	1,35	1,20
C.a. prefabbricata con pilastrì incastrati alla base e orizzontamenti incernierati	Collegamenti di tipo fisso (§ 7.4.5.2.1)	Taglio	1,35	1,20
Acciaio	Si impiega il fattore di sovreresistenza γ_{ov} definito al § 7.5.1			
	Colonne (§ 7.5.4.2)	Pressoflessione [7.5.10]	1,30	1,30
Composta acciaio-calcestruzzo	Si impiega il fattore di sovreresistenza γ_{ov} definito al § 7.5.1			
	Colonne (§ 7.6.6.2)	Pressoflessione [7.6.7]	1,30	1,30
Legno	Collegamenti		1,60	1,30
Muratura armata con progettazione in capacità	Pannelli murari (§ 7.8.1.7)	Taglio	1,50	
Ponti	Si impiegano i fattori di sovreresistenza definiti al § 7.9.5			



SEISMIC DAMAGE OBSERVED IN AMATRICE

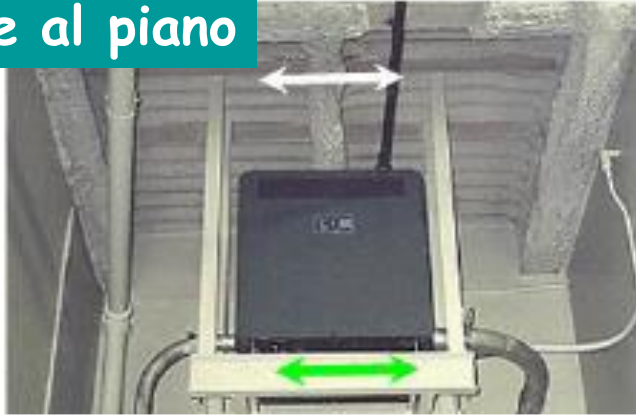
Tall RC buildings nearby the school Romolo Capranica



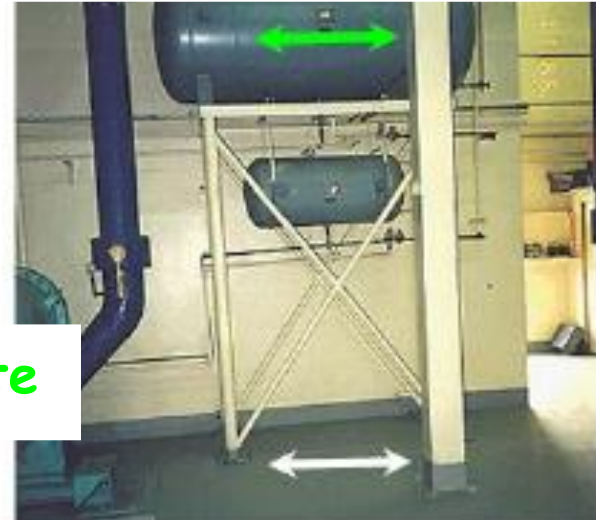
Da: Santarsiero et al. Report Reluis 2016

- The tallest building in Amatrice (RC structure) showed no significant damage.
- The dynamic behaviour of the structures largely influenced the structural behavior of buildings in Amatrice.
- Best was, in general, the behavior of tall RC framed structures, being more deformable and thus subjected to much smaller spectral accelerations.

Accelerazione al piano



Accelerazione nel componente



Accelerazione nel componente

Accelerazione al piano



Accelerazione al piano



Accelerazione nel componente



Accelerazione nel componente

Accelerazione al piano + dinamica componente



(Photo by N. Balci/PEER)



(Photo by N. Balci/PEER)



(Photo by James Urick/PEER)

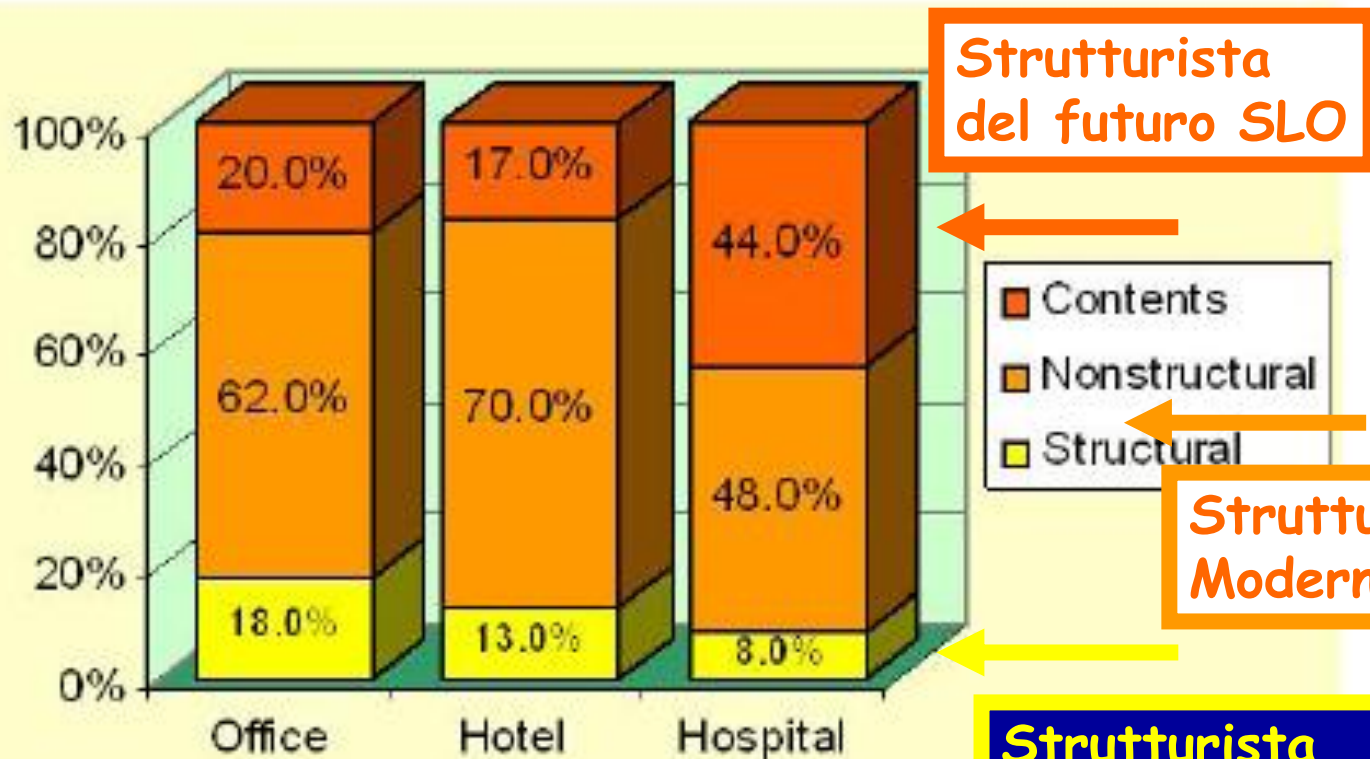


(Photo by Tom Rossi/PEER)



1999 Izmit Turkey, earthquake

(Photo by Sizer/PEER)



**Strutturista
del futuro SLO**

Contents
Nonstructural
Structural

**Strutturista
Moderno SLD**

**Strutturista
Classico oggi SLV,
purtroppo prima del 2003
TA**

Qualora sia necessario effettuare la valutazione della sicurezza della costruzione, la verifica del sistema di fondazione è obbligatoria solo se sussistono condizioni che possano dare luogo a fenomeni di instabilità globale o se si verifica una delle seguenti condizioni:

- nella costruzione siano presenti importanti dissesti attribuibili a cedimenti delle fondazioni o dissesti della stessa natura si siano prodotti nel passato;
- siano possibili fenomeni di ribaltamento e/o scorrimento della costruzione per effetto: di condizioni morfologiche sfavorevoli, di modificazioni apportate al profilo del terreno in prossimità delle fondazioni, delle azioni sismiche di progetto;
- siano possibili fenomeni di liquefazione del terreno di fondazione dovuti alle azioni sismiche di progetto.

Allo scopo di verificare la sussistenza delle predette condizioni, si farà riferimento alla documentazione disponibile e si potrà omettere di svolgere indagini specifiche solo qualora, a giudizio esplicitamente motivato del professionista incaricato, sul volume di terreno significativo e sulle fondazioni sussistano elementi di conoscenza sufficienti per effettuare le valutazioni precedenti.

La valutazione della sicurezza e la progettazione degli interventi sulle costruzioni esistenti potranno essere eseguite con riferimento ai soli SLU, salvo che per le costruzioni in classe d'uso IV, per le quali sono richieste anche le verifiche agli SLE specificate al § 7.3.6; in quest'ultimo caso potranno essere adottati livelli prestazionali ridotti.

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 ζ_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.

La restrizione dell'uso può mutare da porzione a porzione della costruzione e, per l'*i*-esima porzione, è quantificata attraverso il rapporto $\zeta_{v,i}$ tra il valore massimo del sovraccarico variabile verticale sopportabile da quella parte della costruzione e il valore del sovraccarico verticale variabile che si utilizzerebbe nel progetto di una nuova costruzione.

È necessario adottare provvedimenti restrittivi dell'uso della costruzione e/o procedere ad interventi di miglioramento o adeguamento nel caso in cui non siano soddisfatte le verifiche relative alle azioni controllate dall'uomo, ossia prevalentemente ai carichi permanenti e alle altre azioni di servizio.



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.

Solo gli interventi di miglioramento ed adeguamento sono sottoposti a collaudo statico.

Per gli interventi di miglioramento e di adeguamento l'esclusione di provvedimenti in fondazione dovrà essere in tutti i casi motivata esplicitamente dal progettista, attraverso una verifica di idoneità del sistema di fondazione in base ai criteri indicati nel §8.3.

Qualora l'intervento preveda l'inserimento di nuovi elementi che richiedano apposite fondazioni, queste ultime dovranno essere verificate con i criteri generali di cui ai precedenti Capitoli 6 e 7, così come richiesto per le nuove costruzioni.

Per i beni di interesse culturale ricadenti in zone dichiarate a rischio sismico, ai sensi del comma 4 dell'art. 29 del DLgs 22 gennaio 2004, n. 42 "Codice dei beni culturali e del paesaggio", è in ogni caso possibile limitarsi ad interventi di miglioramento effettuando la relativa valutazione della sicurezza.

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 $\zeta_E = 1,0$.

8.4.3. INTERVENTO DI ADEGUAMENTO

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

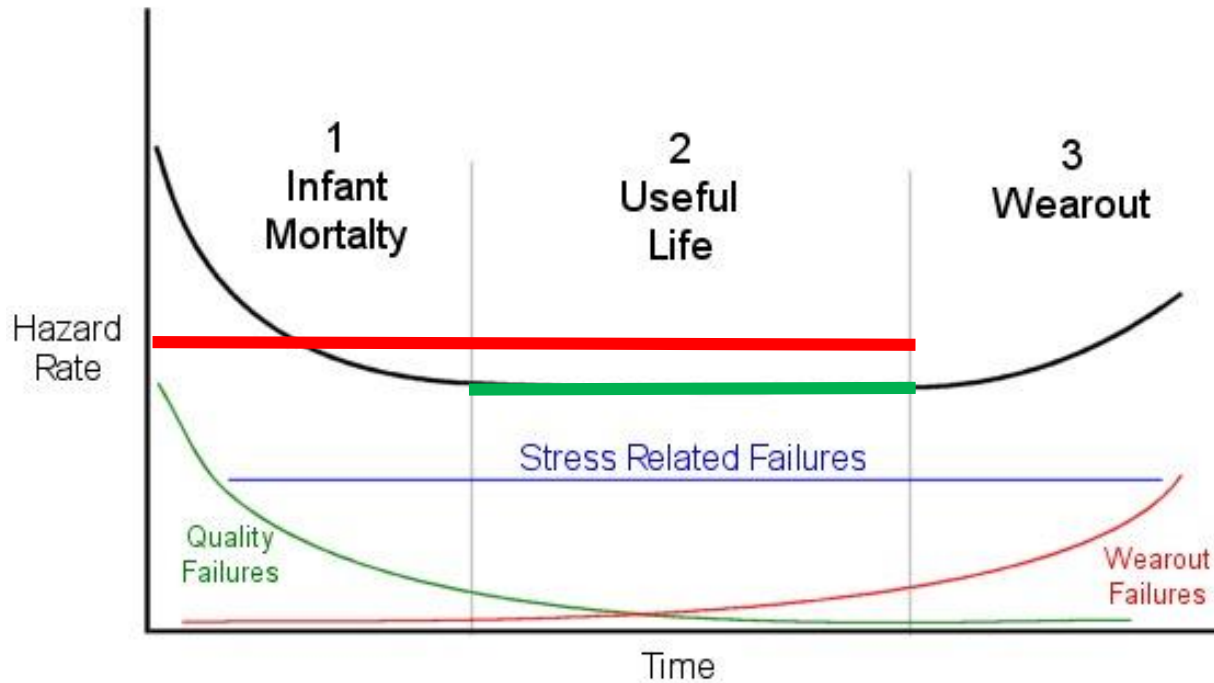
- a) sopraelevare la costruzione;
- b) ampliare la costruzione mediante opere ad essa strutturalmente connesse e tali da alterarne significativamente la risposta;
- c) apportare variazioni di destinazione d'uso che comportino incrementi dei carichi globali verticali in fondazione superiori al 10%, valutati 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.

Una variazione dell'altezza dell'edificio dovuta alla realizzazione di cordoli sommitali o a variazioni della copertura che non comportino incrementi di superficie abitabile, non è considerato ampliamento, ai sensi della condizione a). In tal caso non è necessario procedere all'adeguamento, salvo che non ricorrano una o più delle condizioni di cui agli altri precedenti punti.



La probabilità di collasso di un elemento che abbia già superato il periodo della «mortalità infantile» è più piccola di quella dell'elemento appena realizzato



CLASSE EFFETTIVA: MINIMO FRA LE DUE CLASSI PAM e IS-V

Perdita Media Annua attesa (PAM)	Classe PAM	Indice di Sicurezza	Classe IS-V
$PAM \leq 0,50\%$	A+	$100\% < IS-V$	A+
$0,5\% < PAM \leq 1,0\%$	A	$80\% < IS-V \leq 100\%$	A
$1,0\% < PAM \leq 1,5\%$	B	$60\% < IS-V \leq 80\%$	B
$1,5\% < PAM \leq 2,5\%$	C	$45\% < IS-V \leq 60\%$	C
$2,5\% < PAM \leq 3,5\%$	D	$30\% < IS-V \leq 45\%$	D
$3,5\% < PAM \leq 4,5\%$	E	$15\% < IS-V \leq 30\%$	E
$4,5\% < PAM \leq 7,5\%$	F	$IS-V \leq 15\%$	F
$7,5\% < PAM$	G		

1) Il PAM controlla il costo delle riparazioni in % del costo di costruzione

2) IS-V controlla vittime e feriti



CLASSI DI RISCHIO SISMICO IN BASE AL IS-V «INDICE DI SICUREZZA RISPETTO ALLO SLV» del «SISMABONUS»

Indice di Sicurezza	Classe IS-V
$100\% < IS-V$	A ⁺
$80\% < IS-V \leq 100\%$	A
$60\% < IS-V \leq 80\%$	B
$45\% < IS-V \leq 60\%$	C
$30\% < IS-V \leq 45\%$	D
$15\% < IS-V \leq 30\%$	E
$IS-V \leq 15\%$	F

$\Delta 1$ medio = 0,20

$\Delta 1$ medio = 0,175

$\Delta 1$ medio = 0,15

$\Delta 1$ medio = 0,15

$\Delta 1$ medio = 0,15

Δ minimo NTC 2018 = 0,10



CLASSI DI RISCHIO SISMICO IN BASE AL IS-V «INDICE DI SICUREZZA RISPETTO ALLO SLV» del «SISMABONUS»

Indice di Sicurezza	Classe IS-V
$100\% < IS-V$	A ⁺
$80\% < IS-V \leq 100\%$	A
$60\% < IS-V \leq 80\%$	B
$45\% < IS-V \leq 60\%$	C
$30\% < IS-V \leq 45\%$	D
$15\% < IS-V \leq 30\%$	E
$IS-V \leq 15\%$	F

$\Delta 2$ medio = 0,40

$\Delta 2$ medio = 0,325

$\Delta 2$ medio = 0,325

$\Delta 2$ medio = 0,30

$\Delta 2$ medio = 0,30

Δ minimo NTC 2018 = 0,10



Dal punto di vista strettamente finanziario, considerando le detrazioni fiscali previste in finanziaria:

Miglioramento generico, si seguono le regole della NTC 2018,

- ***Incremento minimo IS_V (indicato come ζE) del 10%***
- ***Finanziamento 50% (in certi casi si scala di 1 classe e dunque 75%)***

SISMABONUS, miglioramento con variazione di 1 classe:

- ***Incremento medio di IS_V variabile fra il 15% e 20%***
- ***Finanziamento fino al 75%***

SISMABONUS, miglioramento con variazione di 2 classi:

- ***Incremento medio di IS_V variabile fra il 30% e 40%***
- ***Finanziamento fino al 85%***

Per il SISMABONUS si deve migliorare anche il PAM e cioè garantire minori costi per gli eventuali danni