

Classificazione del Rischio sismico: perché considerare due indici?

Mauro Dolce (*), Claudio Moroni (*)

(*) Presidenza del Consiglio dei Ministri - Dipartimento della Protezione Civile, Via Ulpiano 11, 00193, Roma

Premessa

Con la classificazione del Rischio Sismico, così come definita dalle Linee Guida allegate al D.M. 28 febbraio 2017, n. 58, del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti [1] e s.m.i. [2], l'importanza della conoscenza del rischio [3] e della sua riduzione nell'applicazione delle norme tecniche per le costruzioni (NTC) [4] è stata rafforzata e resa più comprensibile, senza peraltro aggiungere complessità all'iter seguito dal professionista nell'esecuzione delle verifiche di sicurezza alle azioni sismiche.

Il rischio, come noto, è definito probabilisticamente come l'entità delle perdite che un certo tipo di fenomeno naturale, il terremoto nella fattispecie, può determinare. Il rischio è ottenuto dalla combinazione di tre fattori: la pericolosità, la vulnerabilità e l'esposizione. In ambito sismico, la pericolosità è definita dalla probabilità di occorrenza di terremoti di diversa intensità in un determinato sito in un dato intervallo temporale (se ci si riferisce all'unità temporale "anno" si parla di frequenza annuale). L'esposizione è rappresentata sia dalle costruzioni, sia dai beni e dalle presenze umane che possono subire perdite per effetto di danni e crolli delle costruzioni stesse. La vulnerabilità è fondamentalmente riferita alle costruzioni stesse, anche se in una visione più ampia, che guarda al concetto più generale di "resilienza", deve essere riferita anche agli altri elementi esposti. I calcoli di rischio possono essere riferiti a singole costruzioni e ai relativi esposti, così come a più o meno ampie porzioni di territorio, dove gli elementi esposti, tra cui servizi e infrastrutture, sono molto numerosi e con caratteristiche molto differenziate.

Un aspetto molto importante, strettamente connesso con la definizione di rischio, è il tipo di perdita che si vuole valutare [5]. Infatti, le perdite prodotte da un evento sismico sono di diverso tipo, in relazione agli elementi esposti considerati. L'impatto socio-economico di un terremoto, specie se distruttivo, presenta delle notevoli complessità nella sua definizione, determinazione e metodo di misura, con un numero elevato di componenti, particolarmente se il rischio è riferito a estesi ambiti territoriali. Più semplice, invece, è la definizione delle diverse perdite quando ci si riferisce alla singola costruzione, o meglio al singolo edificio. Quest'ultimo è l'aspetto che interessa trattare nel presente articolo, che fa riferimento alla classificazione del rischio della singola costruzione, così come definita dalle citate Linee Guida [1].

Definizione degli indici di rischio

Per la definizione di uno o più indici di rischio di un edificio, gli elementi esposti che dovrebbero prendersi in considerazione sono l'edificio stesso, le persone che vivono o lavorano al suo interno, i beni contenuti e le attività che vi si svolgono. Molto spesso si parla di danni (o perdite) diretti, ossia i danni subiti dalla costruzione stessa, e danni (o perdite) indiretti, ossia quelli subiti dai beni contenuti e dalle attività, mentre separatamente vengono trattate le perdite in termini di vite umane.

Per avere un unico indice di rischio, le diverse perdite dovrebbero essere quantificate attraverso un unico parametro, ovvero un unico metodo di misura. Il parametro economico è quello che più semplicemente consentirebbe di computare tutto in modo omogeneo. L'operazione concettuale, quindi, sarebbe quella di

trasformare i fattori ingegneristici che descrivono il comportamento della costruzione per i diversi livelli di intensità sismica in perdite economiche “omnicomprensive” [6]. Si potrebbe così graduare la classificazione del rischio di una costruzione unicamente rispetto al costo medio annuo che ci si attende di dover sostenere a causa degli eventi che potranno interessare la costruzione nel corso della sua vita utile. Tale approccio presuppone che vengano quantificate in termini economici tutte le perdite, anche quelle umane.

A questa difficoltà se ne aggiunge un'altra, relativa alla possibilità di conoscere e certificare l'effettiva esposizione, in termini sia dei beni e delle attività contenuti sia delle persone presenti, estremamente variabile nel tempo. Stante anche la necessità di rendere stabili nel tempo e comparabili i risultati ottenuti per edifici diversi, da tecnici diversi, si è reso necessario adottare delle semplificazioni nei metodi di classificazione del rischio degli edifici. Per quanto riguarda i beni contenuti e le attività economiche, la difficoltà di valutazione e la loro variabilità ha condotto alla loro esclusione dalle valutazioni economiche, che sono perciò focalizzate unicamente sulle perdite dovute ai danni sulle parti, strutturali e non, della costruzione stessa. Per quanto riguarda le persone, si richiederebbe, oltre che la conoscenza delle presenze, anche l'assegnazione di un valore alla vita umana, operazione che implica difficoltà di carattere etico, sebbene venga ordinariamente compiuta in ambito sia assicurativo sia giudiziario. Data la complessità della materia, si è ritenuto opportuno operare trattando in maniera separata il tema delle perdite umane. Ciò ha reso necessario la presa in considerazione di due indici di rischio [7], uno di natura prettamente economica e riferito alle perdite dirette, l'indice PAM (Perdita Annuo Media attesa), l'altro legato alla salvaguardia della vita umana, l'indice IS-V (Indice della Sicurezza della Vita). Ai diversi intervalli di valori che possono assumere i due diversi indici si attribuisce una classe di rischio. Ai fini della definizione di una unica classe di rischio per una determinata costruzione, si assume, tra le classi corrispondenti ai due diversi indici, la peggiore tra le due.

Se può apparire chiara e razionale la scelta della perdita annua media attesa come indice di tipo prettamente economico, merita qualche considerazione in più l'assunzione dell'indice IS-V per definire le perdite umane, in quanto esso non esprime direttamente la perdita attesa di vite umane, ma solo la risposta della struttura ai terremoti, guardando alle condizioni che, con maggiore probabilità, possono determinare vittime.

In effetti, nella definizione di un indice di perdite umane si presentano due possibili strade: l'una, pur rinunciando alla quantificazione economica, ricalca il medesimo approccio del PAM, considerando questa volta non già l'onere economico dovuto al danno diretto, ma il numero medio annuo di vittime attese corrispondente a ciascun livello di danno (stato limite), l'altra si basa direttamente sulla capacità resistente dell'edificio rispetto a livelli di danno tali da poter determinare conseguenze per le persone presenti, ossia quelli corrispondenti agli stati limite ultimi. Entrambe le strade presentano aspetti positivi e negativi. La prima avrebbe il vantaggio di adottare una trattazione concettualmente analoga a quella del PAM, in grado di quantificare direttamente le conseguenze sulla vita umana per eventi di tutte le intensità che possono colpire la costruzione. In altre parole, si mettono in conto anche vittime, e eventualmente feriti, correlati ai diversi stati limite che si possono determinare per effetto di terremoti di diverse intensità. La seconda strada considera direttamente un parametro di comportamento della struttura e ha l'indubbio vantaggio di basare la valutazione esclusivamente sui risultati della verifica sismica di una costruzione esistente effettuata secondo le NTC, con specifico riferimento allo Stato Limite Ultimo di Salvaguardia della Vita, apparentemente con una minore attenzione alla possibilità che si possano avere vittime quando la costruzione non viene gravemente danneggiata e comunque non al punto da raggiungere il suddetto stato limite. Nelle linee guida si è preferito, a favore della semplicità, la seconda strada.

Nella valutazione della classe di rischio della costruzione, l'importanza di portare in conto le perdite umane separatamente e nei termini posti nelle Linee Guida, oltre che concettualmente comprensibile, come sopra si è cercato di chiarire, è anche facilmente riscontrabile quantitativamente tramite alcune semplici elaborazioni numeriche, che vengono esposte e commentate nel successivo paragrafo.

Correlazione tra indice PAM e IS-V

Le Linee Guida, come detto, definiscono due indici: IS-V e PAM. Per valutare l'importanza di considerare due indici diversi ai fini di una classificazione del rischio, occorre innanzitutto verificare che essi siano sufficientemente indipendenti tra di loro, ossia che la considerazione dell'uno non renda superflua la considerazione dell'altro. A tale scopo si opera considerando diversi valori del primo indice e verificando quale sia il range di variazione del secondo indice per situazioni compatibili con il valore del primo.

A tale scopo, si fissa l'indice di Salvaguardia della Vita (IS-V) e si determinano i valori massimi e minimi che possono essere assunti dall'indice PAM. Per ciascun valore dell'IS-V, pertanto, si determina l'area, nel diagramma che vede in ascissa la frequenza di accadimento dell'evento (λ) e in ordinata le perdite economiche dirette (%RC), che corrisponde alle due condizioni estreme che danno luogo all'area massima e minima. Il valore massimo discende dalla condizione per cui i λ degli stati limite di danno e operativo sono maggiori o uguali al 10% e, pertanto, sono posti pari al 10%, così come previsto dalla procedura. Il legame qui descritto è rappresentativo della condizione ordinariamente attesa nella pratica professionale, per la quale le verifiche di sicurezza sono effettuate solo per lo SLV e non per lo SLC, per cui si assume sempre $\lambda_{SLC} = 0.49 \lambda_{SLV}$ [8]. La condizione alternativa, invece, discende dalla condizione per cui i λ agli stati limite di danno e operativi siano minori o uguali a quelli dello Stato Limite di Salvaguardia della Vita, ragione per cui sono posti pari a quelli dello Stato Limite di Salvaguardia della Vita.

Le condizioni sopra esposte vengono nel seguito esemplificate per il caso in cui l'IS-V sia pari al 50%.

La relazione che lega l'accelerazione massima al suolo PGA di capacità e di domanda, ovvero l'IS-V, ai periodi di ritorno delle azioni corrispondenti è quella riportata nelle Linee Guida:

$$IS-V = PGA_C / PGA_D = (Tr_C / Tr_D)^{0.41}.$$

Facendo riferimento a un edificio ordinario, classe d'uso II e vita nominale di 50 anni ($Tr_D = 475$ anni), è possibile determinare il periodo di ritorno di capacità, allo SLV, Tr_C :

$$Tr_C = Tr_D * (PGA_C / PGA_D)^{1/0.41}$$

Inserendo i valori detti, si ottiene:

$$Tr_C = 475 * 0.5^{1/0.41} = 87,6 \text{ anni}$$

Ne consegue che $\lambda_{SLV} = 1 / Tr_C = 1,14\%$.

L'area massima, come sopra detto, discende dalla condizione per cui:

$$\lambda_{SLV} = 1,14\%; \quad \lambda_{SLC} = 0.49 * \lambda_{SLV} = 0,56\%$$

$$\lambda_{SLD} = \lambda_{SLO} = 10\%$$

La massima area sottesa dai punti individuati, ovvero il massimo valore che può assumere l'indice PAM fissato l'IS-V, è quindi pari a 3,82%.

Alla stessa maniera è determinabile il valore minimo che può assumere il PAM, fissato l'IS-V. Questo discenderà dai seguenti punti:

$$\lambda_{SLV} = 1,14\%; \quad \lambda_{SLC} = 0.49 * \lambda_{SLV} = 0,56\%$$

$$\lambda_{SLD} = \lambda_{SLO} = \lambda_{SLV} = 1,14\%$$

L'area sottesa dai punti sopra indicati rappresenta il minimo valore che può assumere l'indice PAM, fissato l'IS-V, e vale 1,25%.

I grafici relativi alle due condizioni sopra indicate sono riportati in figura 1

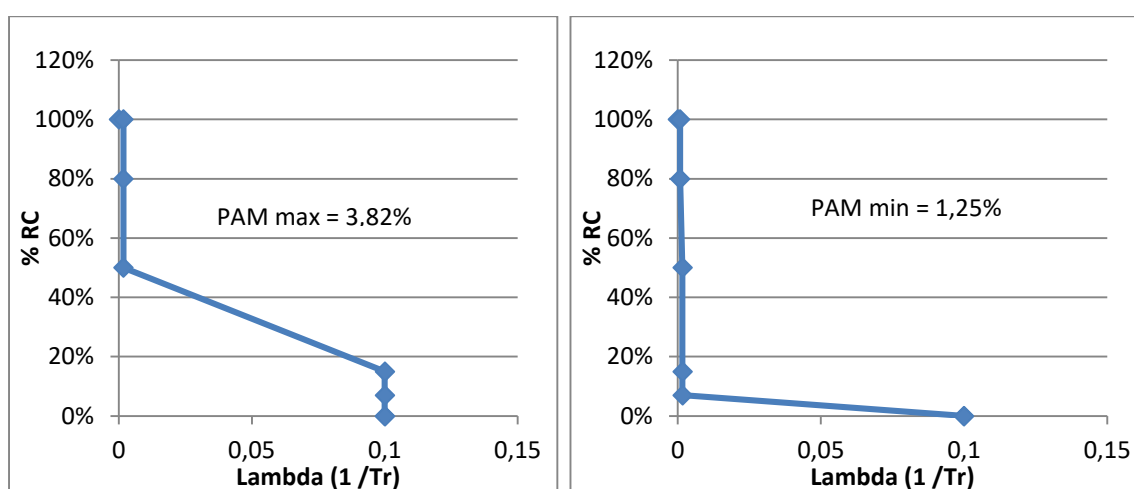


Figura 1: Configurazioni che generano il massimo (grafico di sinistra) ed il minimo (grafico di destra) valore del PAM, fissato l'IS-V al 50%.

Tale approccio, pertanto, consente di determinare i limiti del valore assunto dall'indice PAM per ciascun prefissato valore di IS-V.

La correlazione tra i valori di IS-V e PAM è stata quindi rappresentata mediante un grafico, riportato in figura 2, che, in funzione del singolo valore di IS-V, individua il valore massimo e minimo del PAM. Unendo i diversi valori si generano due curve limite entro cui può ricadere il valore del PAM. La curva è costruita variando il valore dell'IS-V con un passo di variazione del 10%, raffittendo tale passo per i valori di IS-V compresi tra il 20% ed il 30%.

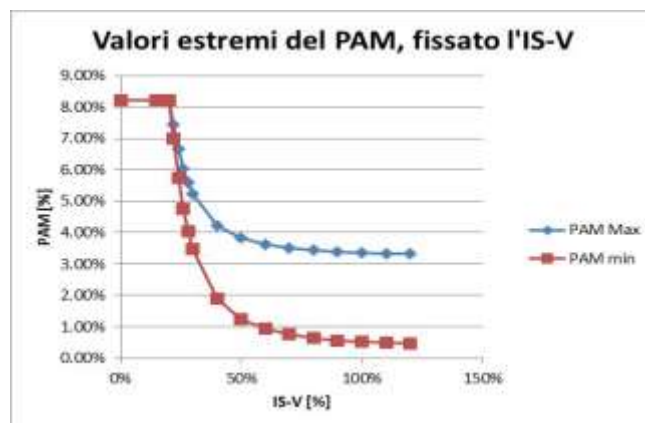


Figura 2: Valori massimi e minimi che può assumere l'indice PAM in funzione del valore di IS-V.

I valori numerici relativi al grafico di figura 2 sono riportati nella tabella 1.

Tabella 1 – Intervallo di variabilità dell'indice PAM per prefissati valori di IS-V

IS-V	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%	110%	120%
PAM max	8.22%	8.22%	5.22%	4.23%	3.82%	3.61%	3.50%	3.43%	3.39%	3.35%	3.33%	3.32%
PAM min	8,22	8,22	3,47	1,90	1,25	0,93	0,75	0,64	0,65	0,52	0,48	0,46

Sia il grafico di figura 2 che i valori della tabella 1 evidenziano la grande variabilità dell'indice PAM, rispetto ai valori dell'IS-V, sebbene ciò vada poi relazionato rispetto agli intervalli di valori che individuano le classi di rischio per l'uno e per l'altro parametro. Si è quindi proceduto a determinare la variabilità della classe corrispondente all'indice PAM per ciascuna classe IS-V, ottenendo la tabella 2 in cui, per ciascuna classe IS-V, sono rappresentate le classi PAM possibili, e viceversa.

Tabella 2 – Compatibilità delle classi PAM e IS-V

Indice di Sicurezza	Classe IS-V	A ⁺ _{PAM}	A _{PAM}	B _{PAM}	C _{PAM}	D _{PAM}	E _{PAM}	F _{PAM}	G _{PAM}
100% < IS-V	A ⁺ _{IS-V}								
80% ≤ IS-V < 100%	A _{IS-V}								
60% ≤ IS-V < 80%	B _{IS-V}								
45% ≤ IS-V < 60%	C _{IS-V}								
30% ≤ IS-V < 45%	D _{IS-V}								
15% ≤ IS-V < 30%	E _{IS-V}								
IS-V ≤ 15%	F _{IS-V}								

Come si può notare, migliorando la classe IS-V, si accresce l'ampiezza delle classi di PAM potenzialmente compatibili con tale configurazione. Solo per la classe F di IS-V è possibile un solo valore di PAM, mentre per le classi migliori E o D di IS-V sono possibili 4 e anche 5 classi di PAM.

Appare dunque evidente come gli indici PAM e IS-V siano, seppur non del tutto indipendenti, abbastanza poco correlati da dover essere considerati entrambi per avere una descrizione completa del rischio, se sono di interesse primario sia le perdite dirette economiche dirette, sia le perdite umane.

A questo punto può porsi la questione se la scelta di considerare il solo IS-V come indice significativo delle perdite umane sia adeguata a descrivere il rischio relativo alle perdite umane. Per far questo è opportuno effettuare la valutazione della percentuale di vittime con modalità analoga a quella adottata per il calcolo dell'indice PAM, così da ottenere il valore atteso delle perdite umane in termini di percentuale dei presenti all'interno della costruzione.

Sulla scorta dalla legge empirica indicata sul documento normativo americano "ATC-13, 1985" [9], nella tabella 3 si riporta la percentuale di vittime rispetto ai presenti, in funzione del danno economico espresso come percentuale del costo di riparazione rispetto al costo di ricostruzione (%RC). Si sono presi in considerazione i valori della percentuale del danno corrispondenti ai vari stati limite, già considerati per l'indice PAM, in modo da operare in maniera perfettamente analoga, semplicemente sostituendo al costo del danno, espresso in percentuale del costo di ricostruzione, la percentuale di vittime rispetto al totale dei presenti nell'edificio. È da sottolineare come la considerazione della percentuale di vittime rispetto al totale dei presenti rende indipendente l'indice considerato dal numero effettivo dei presenti, così come lo è IS-V.

Tabella 3 – Percentuale delle potenziali vittime al variare del danno subito dalla costruzione, espresso in termini economici come frazione del costo di costruzione.

%RC	Stato Limite corrispondente	% Vittime
100%	SLR	20%
80%	SLC	1%
50%	SLV	0.1%
15%	SLD	0.005%
7%	SLO	0.001%
0%	SLID	0%

I risultati ottenuti sono illustrati in fig. 3, dove è riportato il legame tra la percentuale annua media attesa di vittime e l'IS-V.

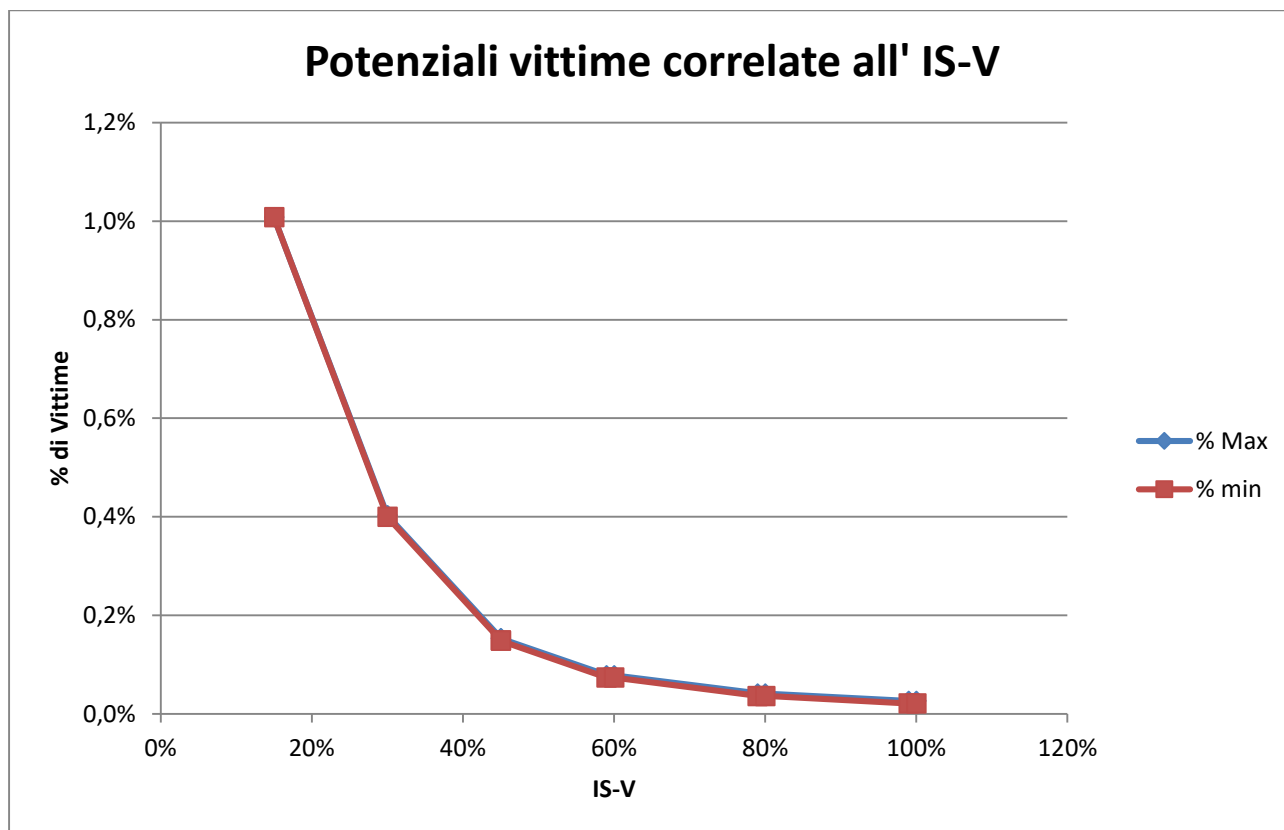


Figura 3: Percentuali massime e minime di vittime al variare dell'IS-V.

Il grafico riportato in figura 3 è stato costruito in modo analogo a quanto prima descritto per disegnare le curve che rappresentano i valori, massimi e minimi, del PAM in funzione del valore di IS-V (figura 2). Il grafico riporta le due curve che, per ciascun valore di IS-V in ascissa, forniscono in ordinata il valore massimo e minimo di vittime attese, in relazione alla variabilità della frequenza lambda dello SLD. Le due curve sono sostanzialmente coincidenti, a dimostrazione che IS-V costituisce un indice adeguato a rappresentare compiutamente le conseguenze sulla vita umana. Ciò è evidentemente ascrivibile alla netta preponderanza degli stati limite di salvaguardia e di collasso nel determinare le più elevate percentuali di perdite umane, come si evince dalla tabella 3.

Conclusioni

Al fine di assegnare la classe di rischio, le Linee Guida per la classificazione del rischio delle costruzioni hanno adottato una soluzione che unisce semplicità e rigore di valutazione, con l'intento di non aggravare l'onere computazionale delle valutazioni della sicurezza delle costruzioni già oggi condotte dai tecnici ai sensi delle norme tecniche per le costruzioni. L'opportunità, o meglio la necessità di tener conto in misura adeguata sia delle perdite economiche sia delle perdite delle vite umane ha reso necessario l'impiego di due indici disgiunti, relativi ai due aspetti, rispettivamente l'indice PAM, rappresentativo delle perdite economiche dirette annuali medie, e l'IS-V, rappresentativo della capacità della costruzione rispetto alle azioni che producono il raggiungimento dello stato limite della salvaguardia della vita.

Il presente articolo era volto a rispondere a due domande. La prima domanda può formularsi come segue: è veramente necessario considerare un ulteriore indice rappresentativo del rischio per la vita umana? O in altri termini, l'indice PAM, riferito alle perdite economiche, non è di per sé sufficientemente correlato alle perdite umane da non richiedere un'ulteriore indice?

La risposta quantitativa che si è data, basata sulle stesse ipotesi sulle quali è fondata la trattazione della classificazione del rischio delle costruzioni, ha evidenziato che a una stessa classe di rischio IS-V possono corrispondere fino a 5 differenti classi di rischio PAM e viceversa a una stessa classe di rischio PAM possono corrispondere fino a 6 differenti classi di rischio IS-V. Dunque i due indici sono scorrelati al punto che l'uno non può considerarsi rappresentativo anche dell'altro, e dunque debbono essere considerati entrambi.

La seconda domanda può porsi come segue: l'indice IS-V è sufficientemente rappresentativo dell'effettivo rischio di perdita delle vite umane?

Anche in questo caso, ricorrendo a relazioni empiriche tra il livello di danno, espresso in termini di costo, e la percentuale di vittime, si è potuto verificare che IS-V è fortemente correlato alle perdite umane e ben rappresentativo di tale aspetto del rischio.

In definitiva, sulla base delle risposte quantitative fornite, l'approccio adottato nelle linee guida per la classificazione del rischio sismico delle costruzioni appare pienamente giustificato e coerente con la finalità di basare la classificazione degli edifici su una valutazione per quanto possibile completa delle condizioni di rischio in termini sia di perdite economiche sia di perdite sociali.

Bibliografia

1. D.M. del 28/2/2017 n. 58 – “*Sismabonus – Linee Guida per la Classificazione del Rischio Sismico delle Costruzioni*” – M_Inf.GABINETTO.REG_DECRETI.R.0000058.28-02-2017;
2. D.M. 07 marzo 2017 n. 65 – “*Modifiche al D.M. n. 58 del 28/2/2017*” M_INF.GABINETTO.REG_DECRETI.R.0000065.07-03-2017;
3. Linee Guida Classificazione della Vulnerabilità degli Edifici ai fini della valutazione del rischio sismico della Commissione - Gruppo di Studio Istituito con DM 17.10.2013;
4. D.M. del 14/1/2008 – “*Norme Tecniche per le Costruzioni*” – G.U. del 4 febbraio 2008 n. 29
5. G. M. Calvi Calvi, T. J. Sullivan, D. P. Welch – “*A Seismic Performance Classification Framework to Provide Increased Seismic Resilience*”, A. Ansal (ed.), *Perspectives on European Earthquake Engineering and Seismology*, Springer, Geotechnical, Geological and Earthquake Engineering 34 Vol 34 - pp 361-400; F. Braga – “*Classificazione del rischio sismico: il commento del Prof. Franco Braga, Presidente Anidis*” – articolo web sito: ingenio-web.it del 22/03/2017;
6. E. Cosenza– “*Linee Guida Classificazione Sismica: il commento del Prof. Edoardo Cosenza*” – articolo web sito: ingenio-web.it del 21/02/2017;
7. C. Moroni– “*Classificazione del rischio sismico degli edifici: il calcolo, i rischi e le sfide*” – articolo web sito: ingenio-web.it del 23/03/2017;
8. Progetto ATC-13, Applied Technology Council – 1985.