

Stati limite e costo economico, ecco gli elementi da valutare per attribuire le classi di rischio

Autore: Fabio Freddi – Consulente scientifico ISI – Ricercatore, Università di Warwick
Andrea Dall'Asta – Membro del Comitato Scientifico ISI – Prof. Ordinario di Tecnica delle Costruzioni, Università di Camerino

Introduzione

Le linee guida forniscono gli strumenti operativi per la classificazione del **Rischio Sismico delle costruzioni** definendo **otto Classi di Rischio**, con rischio crescente dalla lettera A+ alla lettera G, **due metodi alternativi** e **due parametri** per l'attestazione della classe. Un metodo 'convenzionale' con ambito di applicazione valido su tutto lo spettro delle costruzioni e un metodo 'semplificato' finalizzato all'utilizzo su edifici in muratura, con un ambito applicativo limitato. I due parametri utilizzati considerano, da un lato gli aspetti legati alle possibili perdite economiche e sociali e dall'altro gli aspetti legati alla sicurezza degli occupanti nel rispetto del valore della salvaguardia della vita umana.

Il **metodo 'convenzionale'** si basa sui metodi di analisi previsti dalle attuali Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC 2008) correlando gli stati limite a scenari di danneggiamento e quindi ad un costo di riparazione (espresso in percentuale rispetto al costo di ricostruzione dell'immobile) e considerando il tempo di ritorno (o frequenza media annua) dell'intensità sismica che produce i suddetti stati limite. In tal modo è possibile stimare il parametro di **perdita annuale media attesa** (PAM) legata al danneggiamento a seguito di eventi sismici della struttura. Parallelamente la norma introduce un **indice di sicurezza della struttura** (IS-V) definito dal rapporto capacità (resistenza della struttura) su domanda (intensità del terremoto) in termini di accelerazione sismica relativa allo stato limite di vita. I due parametri forniscono informazioni di carattere diverso. Il primo (PAM) fornisce esclusivamente informazioni economiche e può costituire la base per individuare incentivi economici e prevedere i costi attesi in caso di sisma. Il secondo (IS-V) si occupa di un aspetto tutt'altro che secondario ma difficile da tradurre in termini economici: la sicurezza delle persone e fornisce un'informazione complementare con l'intenzione di fare della classificazione sismica delle costruzioni non solo uno strumento di incentivazione economica, ma anche di mappatura della sicurezza degli edifici sul territorio nazionale.

Il **metodo 'semplificato'** può essere utilizzato come valutazione preliminare della Classe di Rischio o in sostituzione del metodo 'convenzionale' limitatamente agli edifici in muratura e agli interventi di tipo locale. Tale metodo si basa su una **classificazione tipologica delle costruzioni** e si fonda sulle definizioni della **scala macrosismica europea EMS-98**. Il concetto dietro all'utilizzo del metodo semplificato è che se l'obiettivo di una scala macrosismica è la misurazione della severità di un terremoto attraverso l'osservazione dei danni subiti dagli edifici, la medesima scala può rappresentare, per scopi previsionali, un modello di vulnerabilità capace di fornire, per una data intensità sismica, una certa distribuzione probabilistica del danno in base alla quale definire la valutazione della Classe di Rischio della costruzione.

Perdita annuale media (PAM)

I criteri di progetto degli **edifici di nuova costruzione** si basano sul **livello minimo di sicurezza sismica richiesto** che è funzione di due parametri fondamentali:

1. la definizione dell'**intensità del terremoto di progetto, alla quale è associabile un periodo medio di ritorno**;
2. la **probabilità di collasso accettabile** per l'edificio.

I terremoti con intensità più elevata sono associati a periodi medi di ritorno più lunghi. Se assumiamo, ad esempio e semplificando, un periodo di ritorno medio per il terremoto di progetto pari a 500 anni ed osserviamo una probabilità di collasso dell'1% per intensità pari a quella di progetto, allora la probabilità di collasso annua sarà approssimativamente pari a $2/100000$, interpretabile anche come due collassi ogni centomila edifici.

È evidente che si tratta in entrambi i casi di valori convenzionali, ma è altrettanto evidente che utilizzare un terremoto di progetto più raro, o prescrivere una probabilità di collasso più bassa, comporta costi maggiori. Chiaramente tali valori convenzionali sono frutto di un compromesso e le soglie di probabilità di collasso sono omogenee a livello europeo e riportate nell'Eurodice 0.

Quando consideriamo il **problema degli edifici esistenti**, le cose, ovviamente, cambiano e si complicano. Infatti, ridurre la vulnerabilità e ricondurre la probabilità di collasso ai valori standard degli edifici nuovi, può comportare costi molto diversi da caso a caso. Il miglioramento delle prestazioni sismiche è sempre possibile ma in molti casi il superamento di certe soglie diventa tecnicamente impraticabile o economicamente non conveniente.

È necessario inoltre considerare l'enorme sproporzione tra le risorse necessarie ad una riduzione del rischio diffusa su tutto il territorio nazionale e le risorse effettivamente disponibili. In considerazione di quest'ultima osservazione, sono stati sviluppati, negli scorsi anni e grazie al contributo di ricercatori da tutto il mondo, metodi per una razionale definizione delle **priorità di intervento e di uso delle risorse**.

Negli scorsi anni, sono state assegnate risorse pubbliche, nell'ottica della prevenzione, applicando una logica basata sul principio *"interventiamo prioritariamente dove il rischio è maggiore"*. Tuttavia, è evidente che se l'obiettivo è quello di ottimizzare le risorse, purtroppo limitate, il principio dovrebbe essere *"interventiamo prioritariamente dove a parità di impiego di risorse si produce una maggiore riduzione del rischio"*.

Il metodo 'convenzionale' introdotto nelle Linee Guida consente la valutazione della perdita annuale media (PAM), legata al danneggiamento a seguito di eventi sismici della struttura. Questo fornisce preliminarmente informazioni importanti sull'impatto economico di un possibile evento sismico sulla struttura.

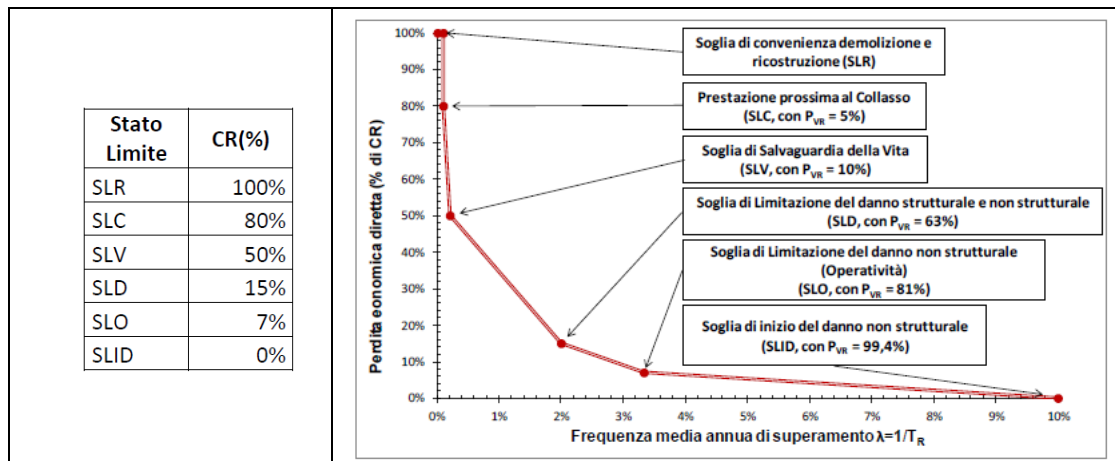
Il PAM viene valutato sulla base di una serie di analisi, alcune implicite nella norma, quali:

1. Analisi di pericolosità. Si valuta la frequenza con cui, in un sito, viene superato un certo valore di intensità sismica, ad esempio l'accelerazione di picco al suolo.
2. Analisi strutturale. Si valuta quali siano le conseguenze sull'edificio in termini di parametri di risposta (ad esempio la deformazione ad un piano) in funzione dell'intensità sismica.
3. Analisi del danno. Si definiscono gli scenari di danno conseguenti al raggiungimento di determinati livelli dei parametri di risposta.
4. Analisi dei costi. Si stimano i costi di riparazione legati al raggiungimento di determinati scenari di danneggiamento.

Tale procedura è seguita nelle Linee Guida dove, alcuni parametri sono definiti come convenzionali. In particolare, le intensità sismiche di riferimento, e i relativi tempi di ritorno, sono quelli relativi al raggiungimento dagli stati limite in accordo con le NTC 2008, i quali definiscono gli scenari di danno che sono a loro volta correlati con i costi, definiti come percentuale del costo di ricostruzione (CR) dell'edificio. Naturalmente per i due casi estremi relativi allo stato limite di ricostruzione (SLR) e allo stato limite di inizio danno (SLID) i costi corrispondenti sono rispettivamente 100% e 0%.

Identificare la perdita economica (espressa in % di CR) corrispondente alla frequenza media annua di accadimento dei terremoti che provocano gli scenari di danno relativi ad ogni stato limite consente di

definire in modo puntuale la spezzata rappresentata in figura. L'area sottesa dalla spezzata rappresenta la perdita annuale media (PAM).



Studi effettuati da diversi ricercatori indicano che le perdite annue attese per un edificio moderno costruito secondo norme sismiche “normali” sono generalmente comprese tra 0,5 e 1,0 % del costo di ricostruzione, mentre per edifici costruiti in assenza di norme sismiche è raro riscontrare valori inferiori al 2,5 % di RC. Coerentemente, le Linee Guida definiscono le Classi Sismiche relative alla PAM secondo la seguente tabella.

Perdita Media Annuata 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}

L'indice di sicurezza (IS-V)

L'indice di sicurezza (o di rischio) della struttura è il secondo parametro che rientra nella definizione della classe sismica. Questo è definito come il **rapporto tra capacità della struttura e la domanda sismica del sito** relative allo **stato limite di salvaguardia della vita**.

L'analisi strutturale consente di determinare, per un dato edificio, l'intensità sismica che provoca il raggiungimento di un dato stato limite. Tale intensità definisce la **capacità della struttura** di sopportare sismi di intensità inferiore o uguale a quella osservata senza raggiungere lo stato limite considerato. Mentre, la domanda sismica è invece definita dalla pericolosità del sito come l'intensità attesa per lo stato limite in esame. In tale analisi, l'intensità sismica è misurata come massima accelerazione al suolo.

Analogamente a quanto fatto per la perdita annuale media (PAM) è possibile collegare l'indice di sicurezza (IS-V) alla Classe di Rischio della struttura.

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}

Il metodo convenzionale

La classe di rischio dell'edificio viene identificata come la minima tra la classe relativa al parametro PAM e quella relativa al parametro IS-V.

Le possibili **modalità di intervento** per il miglioramento della risposta sismica di un edificio (ovvero per la riduzione della sua vulnerabilità) ed il conseguente incremento di classe, sono svariate e numerose in base alla costruzione che stiamo analizzando. Il passaggio di classe viene valutato semplicemente attraverso il calcolo dei parametri PAM e IS-V prima e dopo gli interventi.

L'esecuzione di diverse combinazioni di interventi comporta ovviamente costi diversi ed induce riduzioni diverse delle perdite annue attese, potenzialmente influenzando in modo differente su livelli di prestazione corrispondenti ad eventi con diversa probabilità di accadimento e quindi sui diversi stati limite.

In termini di **passaggio di classe**, la certificazione offre alcune importanti opportunità mobilitando verso l'**ottimizzazione delle risorse**, la **resilienza sismica** e la **sicurezza sismica del patrimonio edilizio**. Ad esempio:

1. Fornisce un fondamento razionale per la scelta di un intervento di miglioramento sismico, in cui a determinati costi dovrebbero corrispondere adeguati cambiamenti di classe;
2. La possibilità di quantificare l'aumento del valore di un edificio a seguito di un intervento di rinforzo.

Conclusioni

Per la prima volta nel nostro paese viene introdotta una metodologia di valutazione, che, sebbene perfezionabile, è finalizzata alla **prevenzione** e che si muove nella direzione della **resilienza e della sostenibilità economica del paese** e parallelamente mantiene anche i principi indispensabili legati alla sicurezza.

L'introduzione delle Linee Guida per la classificazione sismica delle costruzioni è uno straordinario passo avanti per il nostro paese nella direzione della riduzione del rischio sismico, nell'ottica di aumentare la resilienza del costruito andando a ridurre il forte impatto economico che i terremoti hanno dimostrato negli ultimi anni.

Metodi avanzati disponibili in letteratura consentono di effettuare valutazioni accurate finalizzate alla riduzione del rischio e all'ottimizzazione delle risorse sulla base ad esempio di rapporti benefici/costi. Tuttavia, in alcuni casi, l'utilizzo di tali metodologie "avanzate" potrebbe non essere giustificato vista la loro complessità e metodologie alternative possono essere adottate purché vadano nella medesima direzione.

Questo è il caso del metodo convenzionale proposto nelle Linee Guida. Tale metodo è infatti sicuramente perfezionabile; la metodologia è applicabile e ben calibrata per edifici convenzionali e si integra bene con quelle che sono le competenze del mondo dei professionisti andando ad interagire con le NTC, tuttavia, nel caso di edifici di particolare rilievo, valutazioni più accurate sarebbero preferibili. Ad esempio, evidenziando un caso su tutti, nella valutazione delle perdite economiche non si tiene conto delle accelerazioni di piano,

questo è un parametro molto importante per la valutazione dei danneggiamenti a cose, strumentazioni e macchinari in generale e quindi ha un grande impatto quando trattiamo edifici alti, ospedali, grandi insediamenti industriali e, più in generale, in quelle situazioni. dove le strumentazioni rappresentano una percentuale importante del valore complessivo dell'immobile. Tale carenza può avere particolare importanza nelle valutazioni del passaggio di classe se, ad esempio, si decide di intervenire su di un edificio inserendo setti in cemento armato: questi garantirebbero una riduzione degli spostamenti e quindi un miglioramento della classe di rischio ma anche un incremento delle accelerazioni.