

## Le nuove Linee Guida per la valutazione del rischio sismico del patrimonio culturale, allineate alle Norme Tecniche per le Costruzioni 2008

*Sergio Lagomarsino*

DICAT, Università degli Studi di Genova (sergio.lagomarsino@unige.it)

La necessità di un documento di Linee Guida per la valutazione del rischio sismico dei beni culturali e per il progetto di interventi di miglioramento sismico nasce dalla constatazione che il terremoto rappresenta forse la principale causa di danno al nostro patrimonio e che gli interventi di consolidamento realizzati nel secolo scorso in molti casi sono risultati inefficaci se non addirittura dannosi. Tali interventi sono il frutto della scarsa attenzione al comportamento dell'originale struttura in muratura e dell'assoluta fiducia nel cemento armato e nell'utilità di incrementare la rigidità e la resistenza della struttura. In nome di una sicurezza presunta e non verificata, scarsa attenzione è stata data alla conservazione dei manufatti, in particolare proprio al comportamento accertato, ovvero al ruolo strutturale degli elementi originari.

Dal punto di vista normativo, è a seguito del terremoto in Irpinia del 1980 che viene introdotto<sup>1</sup> l'**adeguamento sismico**: contestualmente alla riparazione del danno è obbligatorio adeguare la costruzione al livello di sicurezza richiesto per le nuove strutture. Ciò rende indispensabile calcolare la risposta della costruzione e per questo viene proposto un modello, il POR, per la cui utilizzazione è necessaria la presenza di cordoli in breccia e la sostituzione dei tetti e dei solai tradizionali con pesanti e rigide solette in c.a.; l'aspetto paradossale è che l'efficacia di questi interventi di consolidamento non è dimostrata dal metodo di calcolo.

Nei anni successivi ci si rende subito conto dell'eccessivo impatto dell'adeguamento sul costruito esistente e nel 1986, con la successiva normativa sismica<sup>2</sup>, viene affiancato all'adeguamento il **miglioramento sismico**: esecuzione di una o più opere riguardanti i singoli elementi strutturali dell'edificio con lo scopo di conseguire un maggior grado di sicurezza senza peraltro modificarne in maniera sostanziale il comportamento globale.

Il non aver fissato una soglia di sicurezza da raggiungere porta a ritenere non necessaria alcuna valutazione quantitativa della sicurezza sismica globale. Miglioramento e adeguamento non sono quindi visti come due diversi livelli di protezione sismica, ma come due approcci al progetto "filosoficamente" indipendenti, per non dire contrapposti.

Nella seconda metà degli anni '80 il Ministero per i Beni Culturali istituisce un **Comitato Nazionale per la Prevenzione del patrimonio culturale dal rischio sismico**, presieduto da Romeo Ballardini, che emana un documento di Istruzioni per la redazione dei progetti di restauro in area sismica; due mesi dopo il sisma in Umbria e nelle Marche (1997), constatata la mancanza di riferimenti normativi per gli interventi di restauro sul patrimonio tutelato danneggiato dal terremoto, il documento viene anche approvato dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici<sup>3</sup>. Queste istruzioni, così come la circolare esplicativa del Ministero dei Lavori Pubblici<sup>4</sup>, già emanata, affermano che per il patrimonio culturale è opportuno riferirsi al miglioramento sismico. Restano però aperti dubbi interpretativi ed un conflitto di competenze (tra Genio Civile e Soprintendenza, tra sicurezza e conservazione), ad esempio nel caso di edifici tutelati nei quali si svolgono funzioni pubbliche importanti o quando la costruzione è soggetta a interventi che richiederebbero l'adeguamento.

Nel 2003, a seguito del terremoto in Molise, viene emanata l'Ordinanza di Protezione Civile<sup>5</sup> (**OPCM 3274**) che allinea la normativa sismica italiana all'Eurocodice 8 e alle normative mondiali

<sup>1</sup> D.M.LL.PP. 2/7/1981, Normativa per le riparazioni ed il rafforzamento degli edifici danneggiati dal sisma nelle regioni Basilicata, Campania e Puglia

<sup>2</sup> D.M.LL.PP. 24/1/1986, Norme tecniche relative alle costruzioni antisismiche (G.U. 12/5/1986, n. 108)

<sup>3</sup> Circolare M.BB.CC. n°1841 del 12.3.1991, Istruzioni generali per la redazione dei progetti di restauro dei beni architettonici di valore storico artistico in zona sismica (approvazione Consiglio Superiore LL.PP. n° 564, 28.11.1997)

<sup>4</sup> Circolare M.LL.PP. n° 65/AA.GG., 10/4/1997, Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche"

<sup>5</sup> O.P.C.M. n° 3274, 20/3/2003, Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica (G.U. n. 105 del 8.05.2003)

più avanzate. Relativamente ai beni culturali afferma chiaramente che è possibile limitarsi ad interventi di miglioramento sismico, ma richiede esplicitamente che siano calcolati “i livelli di accelerazione del suolo corrispondenti al raggiungimento di ciascuno stato limite, nella situazione precedente e nella situazione successiva all'eventuale intervento”. Richiede inoltre che venga valutata la sicurezza sismica degli edifici strategici e rilevanti, e tra questi ultimi ci sono anche i beni tutelati.

L'anno successivo il **Codice dei Beni culturali e del Paesaggio**<sup>6</sup> sancisce che “nel caso di beni immobili situati nelle zone dichiarate a rischio sismico, il restauro comprende l'intervento di miglioramento strutturale”.

In occasione dell'emanazione di un aggiornamento dell'OPCM 3274<sup>7</sup>, nel maggio 2005 viene formata una commissione con l'incarico di predisporre **Linee Guida** per l'applicazione al patrimonio culturale della nuova normativa; in particolare il documento dovrà: 1) definire quali stati limite devono essere considerati per un edificio tutelato; 2) indicare quali modelli di calcolo e criteri di verifica possono essere idonei per gli edifici storici; 3) chiarire quali livelli di sicurezza possono essere accettati, ora che questi vengono esplicitamente calcolati (la possibilità di limitarsi ad interventi di miglioramento non significa che un livello di sicurezza eccessivamente basso debba essere accettato); 4) suggerire metodi semplificati per le verifiche da eseguirsi sull'intero patrimonio tutelato, con finalità di programmazione delle azioni di mitigazione del rischio.

La commissione, coordinata da Roberto Cecchi e Michele Calvi, era composta da Agostino Goretti, Paolo Faccio e Sergio Lagomarsino (incaricati della redazione del documento), oltre che da Antonio Borri, Giovanni Carbonara, Giorgio Croci, Michele Jamiolkowski, Gaetano Manfredi, Luciano Marchetti, Claudio Modena, Paolo Rocchi, Carlo Viggiani, con l'ulteriore contributo di Carlo Blasi. Il documento viene elaborato e trasmesso al Dipartimento della Protezione Civile e al Ministero per i Beni e le Attività Culturali, che insieme decidono di sottoporlo al Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti per un esame da parte del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici. Questo istituisce, nel marzo 2006, una commissione istruttoria che esamina ed emenda il documento, renderlo coerente con le Norme Tecniche per le Costruzioni emanate nel 2005<sup>8</sup>; la commissione, presieduta da Valentino Chiumarulo, è composta da Silvio Albanesi, Pietro Baraton, Marisa Bonfatti Paini, Franco Braga, Alberto Castellani, Roberto Cecchi, Elisabetta D'Antonio, Giacomo Di Pasquale, Giovanni Guglielmi, Giancarlo Imbrighi, Giovanni Manieri, Claudio Modena, Maddalena La Montagna, Aldo Linguitti, Paolo Rocchi, Alberto Prestininzi e Giancarlo Santariga; inoltre si avvale del contributo di Paolo Faccio, Sergio Lagomarsino e Aurelio Vietro. Il nuovo documento viene approvato dal Consiglio Superiore nel luglio 2006 ed emanato come **Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri** il 12 ottobre 2007. La pubblicazione su Gazzetta Ufficiale<sup>9</sup> avviene però a fine gennaio 2008, due settimane dopo l'emanazione delle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni<sup>10</sup>; da subito quindi le Linee Guida risultano, di fatto, inapplicabili in quanto le N.T.C. 2008 introducono un nuovo approccio per la definizione dell'input sismico.

La Direttiva del 2007 istituiva una Cabina di regia, incaricata di monitorare l'applicazione delle Linee Guida ed aggiornarle quando necessario. La cabina di regia (Paolo Angeletti, Guglielmo Berlasso, Roberto Cecchi, Pietro Ciaravola, Mauro Dolce, D. Piccinini, Serena Virgadamo) ha quindi formato un gruppo tecnico di lavoro che ha elaborato una serie di modifiche, con l'obiettivo di realizzare un perfetto **allineamento alle N.T.C. 2008**. Il gruppo era composto da: Maria Agostiano, Franco Braga, Alberto Burghignoli, Pietro Ciaravola (presidente), Roberto Di Marco, Giacomo Di Pasquale, Mauro Dolce, Paolo Faccio, Donatella Fiorani, Sergio Lagomarsino, Bruno Santoro. La cabina di regia ha esaminato il nuovo testo e, dopo aver apportato alcune ulteriori

<sup>6</sup> Legge n° 42, 24/1/2004, Codice dei beni culturali e del paesaggio (G.U. 24 febbraio 2004, n. 45).

<sup>7</sup> O.P.C.M. 3/5/2005, n. 3431, Ulteriori modifiche ed integrazioni all'O.P.C.M. 20 marzo 2003 n. 3274, recante “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica” (G.U. 10 maggio 2005, n. 107)

<sup>8</sup> NTC 2005

<sup>9</sup> G.U. n. 24 del 29 gennaio 2008 (suppl. ord. n. 25). Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri del 12 ottobre 2007, Linee guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale.

<sup>10</sup> NTC 2008

modifiche, lo ha approvato nel gennaio 2010. Il testo è stato quindi sottoposto al Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici che lo ha esaminato tramite una commissione relatrice, che ha ulteriormente rivisto alcune parti. Il testo è stato quindi definitivamente approvato dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, nella seduta del 23 luglio 2010.

Le principali modifiche apportate alla Direttiva 2007 sono concentrate nel capitolo 2 (Requisiti di sicurezza e conservazione). In primo luogo si osserva che le N.T.C. 2008 introducono una terza tipologia di intervento, oltre all'adeguamento e al miglioramento sismico: la riparazione o intervento locale. La necessità di questa ulteriore categoria era già stata evidenziata e considerata nelle Linee Guida, che nell'ambito dei livelli di valutazione propri del progetto di intervento sul singolo manufatto distinguevano LV2 e LV3. Le nuove Linee Guida precisano che esiste una perfetta corrispondenza tra LV2 e l'intervento denominato nelle N.T.C. come riparazione o intervento locale e tra LV3 e miglioramento sismico. Gli interventi locali o di riparazione altro non sono che interventi di miglioramento che interessano però una porzione limitata della costruzione, e ciò non obbliga ad una valutazione accurata della sicurezza sismica dell'intero manufatto, che resta necessaria ma solo in forma approssimata (LV1).

Nelle nuove Linee Guida è espresso in modo ancora più chiaro l'approccio prestazionale al problema della sicurezza, basato sulla definizione di opportuni stati limite (in esercizio e in condizioni ultime) e delle corrispondenti azioni di riferimento da assumere per la verifica. L'obiettivo è garantire un livello di rischio accettabile ed omogeneo per l'intero patrimonio culturale presente sul territorio nazionale, tenendo conto dei diversi fattori: pericolosità (sismicità del territorio), vulnerabilità (propensione della fabbrica ad essere danneggiata dal terremoto) ed esposizione (che per un bene culturale è rappresentata non solo dalle persone che fruiscono della costruzione ma anche dai beni di valore artistico in essa contenuti).

L'**approccio prestazionale alla sicurezza**, ormai adottato da tutte le principali normative internazionali, richiede che una costruzione abbia certe prestazioni, garantite dal fatto che non vengano superati un certo numero di stati limite in corrispondenza di azioni sismiche attese nel sito con diversa probabilità di occorrenza (o tempo di ritorno). In generale è richiesto che la costruzione non subisca danni gravi in occasione di un terremoto violento (raro in quel territorio, che ha una bassa probabilità di verificarsi in un tempo prefissato, ovvero caratterizzato da un lungo periodo di ritorno), ma anche che non subisca danni lievi a seguito di un terremoto di minore intensità (più frequente, atteso con una probabilità più elevata). Tali stati limite sono valutati, attraverso un'analisi a collasso (pushover), in corrispondenza di diversi livelli di spostamento/deformazione della struttura. La necessità di eseguire verifiche a diversi livelli dell'azione sismica deriva dal fatto che, a parità di risposta nei riguardi di un terremoto modesto (SLE), una struttura duttile avrà maggiori capacità di sopportare terremoti violenti (SLU) rispetto ad una fragile.

La prima esigenza di allineamento alle N.T.C. 2008 è stata la ridefinizione degli **stati limite di esercizio (SLE) e ultimi (SLU)**; ne sono previsti quattro: due SLE (stato limite di operatività SLO, stato limite di danno SLD) e due SLU (stato limite di salvaguardia della vita SLV, stato limite di prevenzione dal collasso SLC). Per un edificio tutelato la principale verifica è quella allo SLV, caratteristico di una struttura conserva la capacità di portare i carichi verticali e ha ancora una residua capacità di sopportare le azioni orizzontali, in quanto con essa si garantisce la salvaguardia della vita umana, ma anche che il manufatto, pur se gravemente danneggiato, sia pienamente restaurabile (requisito imprescindibile per la sua conservazione). La verifica allo SLD è invece richiesta solo nel caso in cui sia particolarmente importante garantire l'agibilità del manufatto a seguito di un terremoto di minore intensità, ovvero che si potrebbe verificare più frequentemente; la motivazione è che un danno lieve in una costruzione storica in muratura deve essere considerato fisiologico (come dimostrano i danni che subisce il patrimonio culturale anche in occasione di terremoti modesti), quindi non avrebbe senso intervenire pesantemente su un manufatto tutelato, con un significativo impatto sulla conservazione, solo per prevenire fessurazioni che potranno essere facilmente restaurate nell'eventualità di un terremoto.

Nelle Linee Guida allineate viene inoltre confermata l'esigenza di aggiungere la verifica di uno **stato limite di danno ai beni artistici (SLA)**: a seguito di un terremoto di livello opportuno (in

genere quello preso in considerazione per lo stato limite di danno), i beni artistici presenti nel manufatto (apparati decorativi, elementi architettonici di pregio, ecc.) subiscono danni di modesta entità, tali da poter essere restaurati senza una significativa perdita del valore culturale. La verifica del danno ad un bene artistico può essere condotta con diversi approcci, in relazione alle diverse tipologie. In molti casi il bene artistico è strettamente connesso alla costruzione e risente quindi delle deformazioni e fessurazioni che questa subisce: è il caso di apparati decorativi come affreschi, stucchi e mosaici, ma anche delle pavimentazioni o dei portali; in questi casi le verifiche possono essere ricondotte al controllo dello SLD dell'elemento della fabbrica sul quale tali apparati sono fissati. In altri casi l'elemento può essere considerato come un'appendice strutturale, ovvero esso risponde al sisma autonomamente: è il caso dei pinnacoli, delle balaustre o dei rosoni; in questi casi nella verifica è necessario valutare l'azione che eccita tale elemento, che risulta amplificata da parte della struttura (si pensi ad un pinnacolo in sommità ad una facciata, che risente della vibrazione dell'intera facciata). La verifica allo SLA è prevista solo per i beni artistici sui quali è esplicitamente richiesta una valutazione da parte degli organi di tutela.

La seconda e più importante modifica introdotta con l'allineamento alle N.T.C. 2008 riguarda la definizione dei **livelli di sicurezza sismica**. Nella Direttiva 2007 i livelli di sicurezza suggeriti erano calibrati in funzione dell'uso e della rilevanza. Quest'ultimo parametro poneva non pochi problemi. Da un lato, è concettualmente impossibile attribuire un valore ad un bene culturale, anche se era chiaro che il parametro della rilevanza costituiva solo uno strumento utile ai fini della programmazione degli interventi di mitigazione del rischio sismico, e non voleva rappresentare una misura assoluta ma doveva essere assunto in termini relativi in quel particolare territorio. Dall'altro, ed era questa la principale difficoltà, si è riscontrato che una classificazione della rilevanza secondo tre rigide categorie poneva difficoltà concettuali ed operative; queste categorie di rilevanza sono quindi state eliminate. Un altro aspetto critico della Direttiva 2007 era che il terremoto da assumere come riferimento per la verifica di un certo manufatto, definito a partire dalla combinazione di uso e rilevanza attraverso la probabilità di occorrenza in 50 anni, era solo suggerito; ciò è coerente con il principio del miglioramento sismico, che non deve richiedere in modo cogente il raggiungimento di una soglia di sicurezza fissata, ma lascia aperti molti aspetti critici, in particolare in termini di responsabilità professionali.

Le N.T.C. 2008 definiscono l'azione sismica di riferimento attraverso due parametri: la vita nominale  $V_N$  e la classe d'uso  $C_U$ . Il prodotto di questi due parametri porta a valutare il periodo di riferimento  $V_R$ , che è il periodo per il quale vengono assunte le probabilità di occorrenza del terremoto per le verifiche ai diversi stati limite. In particolare si richiede che la verifica nei riguardi dello SLV sia condotta con un'azione sismica che ha probabilità di occorrenza del 10% nel periodo di riferimento, mentre per lo SLD si deve assumere un'azione con probabilità di occorrenza del 63%, sempre in  $V_R$ . Nel caso delle verifiche sui beni artistici (SLA), il livello di protezione sismica è differenziato in funzione della loro importanza; la probabilità di occorrenza del terremoto è infatti assunta pari al 63% (la stessa utilizzata per lo SLD), ma questa deve essere garantita in un periodo di riferimento  $V_{RA}$  che è modificato rispetto a quello utilizzato per le verifiche di SLV e SLD, attraverso un coefficiente che tiene conto della frequenza con la quale vengono eseguiti cicli di controllo sul bene di valore artistico. In sostanza, l'importanza del bene artistico è misurata dalla cura con la quale questo è conservato da parte dei funzionari responsabili della tutela; tanto maggiore è questa attenzione, tanto maggiore sarà il periodo di riferimento sul quale valutare l'azione con fissata probabilità di occorrenza (ciò significa che gli apparati decorativi più significativi saranno verificati con azioni sismiche più gravose, ovvero saranno maggiormente protetti).

Il livello di protezione sismica richiesto dalle N.T.C. 2008 ruota quindi intorno alla **vita nominale**, che è definita "come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata"; essa non deve quindi essere intesa come la durata di una costruzione, ma solo come il tempo per il quale ha valore la verifica di sicurezza. Assumere quindi nel progetto di miglioramento un certo valore della vita nominale significa considerare la struttura sicura per un tempo più o meno lungo; in realtà scegliendo una vita

nominale più lunga, l'azione sismica di riferimento risulta più forte, in quanto a parità di probabilità di occorrenza ci si riferisce ad un periodo più lungo. Ciò significa che cambiando la vita nominale in realtà assumo diversi valori della probabilità di occorrenza annuale, ma ciò non è in contraddizione con l'impostazione generale che si vuole dare alla conservazione del patrimonio, in quanto questa deve guardare ad un orizzonte temporale più ampio. E' infatti chiaro come l'obiettivo del legislatore sia garantire che un certo livello di protezione sia protratto nel tempo, anche dopo lo scadere della vita nominale assunta oggi per la verifica. In altre parole ogni costruzione deve essere monitorata durante la sua vita nominale e, al termine di questa, la verifica di sicurezza deve essere reiterata, tanto più per un bene culturale per il quale vorremmo garantire l'eternità. Alla scadenza della vita nominale una nuova verifica dovrà essere eseguita, nelle condizioni in cui si troverà il manufatto in quella data: 1) tenendo conto delle trasformazioni subite e dell'eventuale degrado; 2) considerando la pericolosità sismica aggiornata. In questo modo si può pensare di garantire un livello di protezione costante nel tempo (tale argomento è approfondito a pag. ??).

Nella Direttiva 2007 era definito un **indice di sicurezza sismica**, rapporto tra l'accelerazione al suolo corrispondente al raggiungimento dello stato limite ultimo e l'accelerazione di riferimento per il sito in oggetto. Valori dell'indice minori di uno evidenziavano situazioni nelle quali il livello di sicurezza era in qualche misura deficitario. L'indice di sicurezza era utile per le verifiche a scala territoriale LV1, in quanto consentiva di stilare una graduatoria del rischio al quale erano soggetti i manufatti tutelati di una certa regione, tenendo conto attraverso un unico indice delle tre componenti del rischio: pericolosità, vulnerabilità ed esposizione (uso e rilevanza). Nella nuova versione allineata alle N.T.C. 2008, l'indice di sicurezza è stato ridefinito come rapporto tra i periodi di ritorno corrispondenti al terremoto che porta la costruzione allo SLV e a quello di riferimento; la ragione di questa modifica risiede nel fatto che con le N.T.C. 2008 l'azione sismica non è più definita a partire dal solo parametro di accelerazione di picco al suolo, ma anche la forma degli spettri di risposta è diversificata sul territorio nazionale e per i diversi periodi di ritorno. Questo nuovo indice può essere utilizzato con le stesse finalità ed il suo valore, minore o maggiore di uno, da una misura della carenza o riserva di sicurezza, non tanto in termini di resistenza meccanica ma di periodi di ritorno (un indice di sicurezza pari a 0.5 significa che la costruzione è sicura nei riguardi di un terremoto che ha un periodo di ritorno pari alla metà di quello che si auspicherebbe come riferimento). Nelle nuove Linee Guida è comunque stato mantenuto anche un indice espresso in termini di accelerazioni di picco.

La nuova impostazione adottata nelle Linee Guida allineate alle N.T.C. 2008 rende tuttavia meno significativo il ricorso all'indice di sicurezza sismica, in quanto la vita nominale può essere utilizzata come parametro di riferimento, sia per le verifiche a scala territoriale (LV1) sia per il progetto di interventi di miglioramento sismico (LV2 e LV3).

Nelle verifiche LV1, eseguite su un numero significativo di manufatti presenti in una data area, l'obiettivo è redigere una graduatoria di rischio, al fine di programmare eventuali strategie di mitigazione del rischio sismico, in particolare attraverso interventi di miglioramento sismico, che possono ridurre la vulnerabilità. Piuttosto che assumere per tutti i manufatti una vita nominale e calcolare l'indice di sicurezza sismica, risulta certamente più espressivo calcolare la vita nominale che è garantita per ciascun manufatto nel suo stato attuale (ovvero calcolare per quale valore di  $V_N$  l'indice di sicurezza è pari ad uno). In questo modo la graduatoria potrà essere fatta sulla base dei valori di vita nominale, i quali indicano per quanto tempo ciascun manufatto potrà essere considerato sicuro. In altre parole, tale parametro consente di programmare gli interventi nel tempo, suggerendo di iniziare da quelli che presentano una vita nominale più breve, ma non necessariamente, perché proprio la vita nominale ci dà il tempo che abbiamo a disposizione prima di intervenire.

Ancora più interessante è il significato di vita nominale quando si progetta un intervento di miglioramento sismico (LV2, LV3). In questo caso il progetto dovrà seguire questi passi: 1) valutazione della vita nominale garantita dal manufatto nel suo stato attuale; 2) eliminazione delle vulnerabilità più significative attraverso interventi compatibili con la conservazione; 3) calcolo della vita nominale nello stato di progetto. A meno che il valore di vita nominale raggiunto con

interventi conservativi non sia obiettivamente troppo basso (ad esempio minore di 20 anni), l'intervento di miglioramento sismico potrà essere considerato soddisfacente, a patto di ricordare che una nuova verifica (e presumibilmente nuovi interventi) saranno necessari allo scadere della vita nominale ottenuta. Ci si può chiedere a questo punto che senso abbia effettuare interventi leggeri se poi il problema si riproporrà entro breve tempo. In realtà dobbiamo considerare che le conoscenze scientifiche e tecniche sono in continua evoluzione, ed allo scadere della vita nominale saranno probabilmente disponibili: 1) una più accurata mappa di pericolosità (che potrebbe aver ridotto le azioni attese, a seguito di studi più accurati); 2) più efficienti ed accurati modelli meccanici per l'analisi delle antiche costruzioni in muratura (che ci consentiranno di tenere meglio in conto i risultati della conoscenza storica e costruttiva, rendendoci più consapevoli del reale comportamento delle costruzioni storiche); 3) nuove tecniche di intervento, efficaci e compatibili con la conservazione. Perché intervenire oggi in modo pesante, se possiamo invece garantire la costruzione per un certo tempo e riservarci di adottare ulteriori consolidamenti in un tempo successivo?

L'aspetto interessante di questa nuova impostazione è quindi che la vita nominale consente di dare un significato operativo e quantitativo al miglioramento sismico, chiarendo anche le responsabilità professionali. Le N.T.C. 2008 indicano che "per i beni di interesse culturale in zone dichiarate a rischio sismico ... è in ogni caso possibile limitarsi ad interventi di miglioramento effettuando la relativa valutazione della sicurezza". Con la Direttiva 2007 il professionista era però cautelato solo in parte da questa affermazione, in quanto pur essendo chiaro che nel caso del miglioramento non è fissata una soglia, era comunque lui a dover giudicare accettabile l'intervento progettato; in sostanza, in documento guidava il professionista attraverso un percorso misto quantitativo-qualitativo, che portasse a dare un supporto con dati oggettivi a questo giudizio soggettivo. Nella nuova versione, l'intervento viene progettato garantendo la costruzione per una certa vita nominale; nell'ambito di questo periodo si può affermare che i requisiti di sicurezza posti dalla norma siano rispettati.

Passiamo ora rapidamente in rassegna gli altri capitoli delle Linee Guida.

Il capitolo 3 (Azione sismica) non è stato modificato in quanto su questo punto proprio la Direttiva 2007 ha anticipato le N.T.C. 2008, eliminando il ricorso alle zone sismiche e agganciando l'azione sismica direttamente alla mappa di pericolosità dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia.

Nel capitolo 4 (Conoscenza del manufatto) sono state meglio chiarite le finalità e gli strumenti da utilizzare nelle diverse fasi della conoscenza; in particolare sono stati ridefiniti i fattori parziali di confidenza associati alla "Identificazione delle specificità storiche e costruttive della fabbrica".

Nel capitolo 5 (Modelli per la valutazione della sicurezza sismica) alcune modifiche sono state apportate alle formule dei modelli LV1 relativi a palazzi, chiese e torri; queste si sono rese necessarie dalla nuova definizione degli spettri di risposta secondo N.T.C. 2008 e dalla ridefinizione dell'indice di sicurezza in termini di periodi di ritorno.

Infine, nel capitolo 6 (Criteri per il miglioramento sismico e tecniche di intervento) è stato aggiornato il paragrafo relativo alle "Operazioni progettuali", nel quale sono indicati gli elaborati da allegare ai progetti di restauro nelle diverse fasi (preliminare, definitiva ed esecutiva), al fine di documentare il processo di valutazione della sicurezza sismica previsto dalle Linee Guida.

In conclusione, coerentemente con quanto affermato in occasione della loro emanazione (Direttiva P.C.M. 12/10/2007), le Linee Guida sono uno strumento dinamico, che necessita di un continuo monitoraggio e aggiornamento. I primi due anni di sperimentazione hanno dimostrato come l'impianto generale del documento funzioni, avendo riscosso impressioni favorevoli anche da diversi esperti che non avevano preso parte alla loro stesura. Questo primo aggiornamento delle Linee Guida è stato necessario per garantire la sua applicabilità nell'ambito di una normativa tecnica che si era evoluta. Nel prossimo futuro gli aggiornamenti potranno riguardare i modelli di analisi e di verifica delle costruzioni storiche in muratura, argomento sul quale la ricerca non è mai ferma, o le tecniche di intervento, in quanto è necessario che le Linee Guida si esprimano sulle diverse possibilità, anche quelle che utilizzano materiali o strategie innovative, a priori non contrarie ai principi della conservazione solo perché non tradizionali.

## *La vita nominale di un bene culturale: uno strumento per la prevenzione e il miglioramento sismico*

Nell'ingegneria sismica moderna la valutazione della sicurezza strutturale è basata su un approccio che viene in gergo definito "prestazionale". Esso si basa sul principio che la costruzione, quando soggetta a determinate azioni, debba garantire certe prestazioni; per esempio, si richiede che per un dato terremoto essa non si danneggi, restando quindi agibile, ma anche che per uno di maggiore intensità non giunga al collasso, ovvero sia salvaguardata l'incolumità degli occupanti. Scelte quindi le prestazioni, definite "stati limite", come si determina l'entità delle azioni sismiche da prendere in considerazione per verificare il loro soddisfacimento?

Il concetto di sicurezza strutturale è probabilistico, in quanto le grandezze che intervengono nelle verifiche (dimensioni degli elementi, resistenze dei materiali, azioni, ...) sono incerte e gli stessi modelli che adottiamo per l'analisi strutturale sono imperfetti. Affermare che una struttura è sicura significa accettare che vi sia una pur piccola probabilità di crisi. Nel caso delle azioni statiche ordinarie, le normative fanno riferimento ad un approccio semi-probabilistico che, utilizzando coefficienti parziali di sicurezza, semplifica la trattazione ma induce alla sensazione di una sicurezza assoluta.

Per le azioni ambientali rare, in particolare quella sismica, è però indispensabile ricorrere esplicitamente alla teoria delle probabilità. La complessità dei meccanismi che originano i terremoti rende impossibile prevedere dove, quando e con quale intensità questo si verificherà. Combinando lo studio della sismicità storica (cataloghi sismici che documentano la storia dei terremoti in Italia negli ultimi 1000 anni e oltre) con la conoscenza delle faglie attive o quiescenti è però possibile valutare la "pericolosità" sismica del territorio, ovvero determinare l'intensità del terremoto che in un dato sito si potrebbe verificare con una fissata probabilità in un certo periodo di tempo. Ovviamente la pericolosità sismica non è omogenea nel territorio, ma anche nelle aree a minor rischio un terremoto violento è possibile, pur se con bassa probabilità. L'INGV (*Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia*) ha pubblicato una mappa di pericolosità dell'azione sismica attesa sull'intero territorio nazionale, con diversi periodi di ritorno (<http://esse1.mi.ingv.it/d2.html>). In generale, se si fissa un periodo di tempo, terremoti con maggiore probabilità di occorrenza sono di minore intensità e viceversa.

La maggior parte delle normative sismiche internazionali indicano che le prestazioni richieste alla costruzione devono essere garantite per terremoti con diversa probabilità di occorrenza in un prefissato periodo di tempo (assunto convenzionalmente pari a 50 anni). Le Norme Tecniche per le Costruzioni del 2008 introducono un approccio inverso: si fissa la probabilità di occorrenza del terremoto, ma si richiede che le prestazioni vengano garantite rispetto a periodi di tempo opportunamente differenziati. Si introduce quindi il concetto di "vita nominale" della costruzione, intesa "*come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata*".

La vita nominale non deve essere intesa come la durata di una costruzione, ma solo come il tempo per il quale ha valore la verifica di sicurezza.

Nelle norme tecniche, la vita nominale è legata all'importanza dell'opera (opere provvisorie o provvisorie  $\leq 10$  anni; opere normali  $\geq 50$  anni; opere grandi o di importanza strategica  $\geq 100$  anni). Moltiplicando la vita nominale per un coefficiente d'uso, introdotto per tenere in conto dell'utilizzo della costruzione (occasionale, normale, con affollamento, con funzione strategica), si definisce il periodo di tempo rispetto al quale calcolare l'azione sismica. E' evidente che l'obiettivo del normatore non è che alcune costruzioni durino più a lungo di altre, ma che abbiano un livello di sicurezza più elevato.

Allo scadere della vita nominale, l'uso della costruzione potrà ovviamente continuare in sicurezza a patto di aggiornare la verifica, accertando se il degrado o altri fattori ambientali ed antropici ne abbiano o meno aumentato la vulnerabilità e considerando la pericolosità sismica aggiornata a quella data. Anche se l'attuale mappa di pericolosità italiana è stata elaborata con modelli probabilistici non dipendenti dal tempo (che non tengono cioè conto degli anni trascorsi dall'ultimo terremoto significativo), è plausibile che nel prossimo futuro essa sia aggiornata sulla base di modelli che considerano anche questa variabile<sup>11</sup>. Se nel corso della vita nominale non si saranno verificati importanti eventi sismici, la probabilità di occorrenza del terremoto utilizzato per la prima verifica aumenterà; la nuova verifica, che dovrà garantire la sicurezza della costruzione per un periodo di tempo successivo, dovrà quindi essere eseguita considerando un terremoto più forte. Certo, se al termine della vita nominale si dovesse riutilizzare la stessa mappa usata la volta

---

<sup>11</sup> Il terremoto è il risultato di un repentino rilascio dell'energia accumulata nella faglia, soluzione di continuità nella crosta terrestre dove si concentrano le deformazioni per il movimento relativo tra le placche. In presenza di una faglia attiva, più tempo è trascorso dall'ultimo evento sismico e più grande è la probabilità che si verifichi un terremoto violento. Ovviamente i meccanismi sismogenetici sono complessi e molte variabili concorrono nella previsione.

precedente, senza tener conto del tempo trascorso, si arriverebbe al paradosso di poter reiterare la stessa verifica all'infinito senza mai attuare alcuna ulteriore azione preventiva.

La revisione della Direttiva PCM 12-10-2007 ha portato ad introdurre questo approccio alla sicurezza sismica anche nel complesso mondo dei beni culturali. Nelle nuove Linee Guida si è scelto di calcolare il periodo di riferimento delle azioni sismiche sulla base delle caratteristiche del manufatto e del suo uso; è evidente che in linea di principio per la conservazione dei beni culturali si vorrebbe una vita nominale infinita, ovvero la verifica dovrebbe essere eseguita con riferimento al massimo terremoto atteso nel sito (spesso assimilabile al massimo storico nella zona). Tuttavia occorre essere consapevoli che questo può portare ad interventi pesanti, con evidenti conseguenze sul fronte della conservazione.

La vita nominale può quindi essere graduata, considerando che per i manufatti più significativi o caratterizzati da un uso più intenso sarebbe auspicabile assumere periodi più lunghi, e quindi livelli di protezione più elevati. Assumere una vita nominale più breve significa considerare la costruzione protetta per un tempo più limitato ed eseguire le verifiche con azioni ridotte; ciò consente di limitarsi ad interventi "leggeri" o, in molti casi, porta ad evitarli del tutto, e ciò consente di rimandare l'intervento nel tempo. Una nuova verifica dovrà però essere effettuata entro quel termine di tempo, valutando l'azione sismica per il nuovo successivo periodo<sup>12</sup>. L'azione sismica da adottare in questa seconda verifica sarà inevitabilmente più gravosa, ma saranno anche disponibili nuovi metodi di indagine, modelli di valutazione più accurati e tecniche di intervento più efficaci e meno invasive.

La vita nominale non è quindi solo uno modo per graduare la sicurezza dei manufatti. Essa costituisce la base per una programmazione degli interventi preventivi e consente di attuare una conservazione consapevole, evitando interventi pesanti in nome della sicurezza; in altre parole rappresenta lo strumento per tradurre concretamente, non solo su base qualitativa, i principi del miglioramento sismico.

L'approccio proposto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni 2008, recepito in questo allineamento delle Linee Guida per i beni culturali, porta a proteggere in eguale misura tutto il patrimonio tutelato; solo in relazione alle condizioni d'uso la sicurezza può essere in minima misura differenziata (un ulteriore coefficiente potrebbe consentire una graduazione anche in funzione della rilevanza, ma questo è un concetto per il momento ancora difficile da introdurre).

A scala territoriale (LV1), l'attribuzione della vita nominale a ciascun manufatto tutelato e la corrispondente valutazione dell'indice di sicurezza sismica consentono di redigere una graduatoria di rischio, utile ad indirizzare le priorità d'intervento sui manufatti più vulnerabili e significativi. Ancora più utile è valutare la vita nominale rispetto alla quale il manufatto è sicuro (indice di sicurezza uguale a uno); in questo caso la graduatoria definisce il tempo limite entro il quale gli interventi preventivi dovrebbero essere attuati.

Alla scala del singolo manufatto, nel caso in cui si valuti che la sua vulnerabilità attuale sia eccessiva in relazione alla pericolosità sismica del sito, il progetto di miglioramento sismico dovrà essere indirizzato al minimo intervento, attraverso l'uso di tecniche poco invasive e per quanto possibile reversibili; la valutazione della vita nominale garantita dall'intervento ci dirà quindi il tempo nel quale la costruzione potrà essere considerata sicura, al termine del quale una nuova verifica dovrà essere eseguita.

Anche alla scala degli apparati decorativi e degli elementi architettonici di pregio, ai quali sono richieste specifiche prestazioni, le azioni sismiche di riferimento sono valutate a partire dalla vita nominale e tenendo anche in conto della frequenza con la quale sono effettuati i cicli di controllo del loro stato di conservazione; in tal modo è possibile graduare la sicurezza richiesta in relazione alla loro rilevanza artistica. E' importante precisare che l'età della costruzione non ha nulla a che vedere con la vita nominale; la valutazione viene effettuata oggi, con la mappa di pericolosità sismica aggiornata e considerando lo stato attuale del manufatto. Il prossimo terremoto che si verificherà in un dato sito colpirà ugualmente tanto le nuove quanto le antiche costruzioni; il tempo trascorso dal momento della costruzione ad oggi non ha quindi influenza sulla verifica.

Nelle nuove Linee Guida il *tempo* è la parola chiave per la conservazione del patrimonio. Il controllo periodico, visivo o con sofisticate tecniche di monitoraggio, e la manutenzione da sempre rappresentano lo strumento per conservare le costruzioni storiche dal degrado e dalle trasformazioni antropiche e dell'ambiente. Il periodo di riferimento (direttamente legato alla vita nominale) è invece lo strumento per valutare le azioni sismiche da usare nelle verifiche e per programmare nel tempo le azioni di prevenzione.

Per tutte queste ragioni, l'attribuzione di una vita nominale ad una costruzione tutelata non deve spaventare. Non significa assumere che la cupola del Brunelleschi abbia ancora davanti a sé solo una cinquantina d'anni di vita.

---

<sup>12</sup> L'ideale sarebbe disporre, per quella data, di una mappa di pericolosità sismica che tenga conto del tempo passato; ma se dovesse essere utilizzata la stessa mappa di oggi, sarà in quel momento necessario riferirsi ad una vita nominale che cumula il tempo trascorso dalla prima valutazione e quello futuro per il quale si vuole continuare a proteggerla.