



Sicurezza sismica dei monumenti storici

Documento fondamentale del 22 giugno 2018
Prima versione del 6 settembre 2001

1. Introduzione

Dalla pubblicazione del documento di base della CFMS «Sicurezza sismica dei monumenti storici» nel settembre 2001, l'ingegneria sismica ha compiuto grandi progressi sul piano della ricerca e a livello pratico, soprattutto per quanto riguarda la verifica della sicurezza sismica delle costruzioni esistenti e la messa in atto di misure di rinforzo.

Poiché la Svizzera non fa parte delle aree maggiormente a rischio sismico, i relativi pericoli sono spesso sottovalutati. La probabilità di un forte terremoto in Svizzera varia a seconda delle zone: le regioni del Vallese e di Basilea sono quelle più a rischio. Se per gli edifici nuovi oggi le norme SIA disciplinano la sicurezza sismica, il consolidamento di edifici esistenti e soprattutto dei monumenti storici comporta spesso delle difficoltà, dato che in questi casi l'analisi della sicurezza sismica dipende da fattori in parte difficilmente ponderabili (cap. 5) e le misure edilizie in linea di principio non dovrebbero intaccare la sostanza e l'integrità delle costruzioni. Proprio a quest'ultimo tema è dedicato il presente documento fondamentale, che si rivolge non solo ai servizi addetti alla conservazione dei monumenti e agli specialisti nel campo dell'architettura e dell'ingegneria, ma anche ai proprietari dei monumenti, che sono responsabili della loro sicurezza sismica.

Le norme servono a regolare il caso normale e quindi non tengono conto dei monumenti storici, per molti versi eccezionali, e delle loro specifiche esigenze. Ponderando norme tecniche e aspetti giuridici, occorre pertanto garantire che le misure di consolidamento antisismico siano rispettose dei monumenti e non ne compromettano il valore monumentale. In questo contesto assume grande rilevanza una pianificazione preliminare che, ancor prima delle considerazioni di natura tecnica, si occupi degli aspetti organizzativi e assicuri procedure affidabili e l'assegnazione di mandati definiti in modo scrupoloso. È altresì importante considerare aspetti legati alla proporzionalità e alla plausibilità dei possibili interventi,

oltre alla resistenza ai terremoti delle strutture portanti, anche gli influssi sull'azione sismica, ad esempio tramite misure edilizie come la modifica della massa e della rigidità. Anche un minore sfruttamento e un consolidamento parziale possono ridurre gli interventi sul monumento. Naturalmente va sempre garantita una sufficiente protezione delle persone.

2. Premessa

Oggi, grazie alla norma SIA 269/8 «Conservazione delle strutture portanti – Terremoti» (2017) e alla norma SIA 269 «Basi per la conservazione delle strutture portanti» (2011), il settore ingegneristico dispone di basi che consentono un esame a regola d'arte della sicurezza sismica degli edifici esistenti secondo gli standard attuali e disciplinano le relative procedure. La norma SIA 269/8 si occupa inoltre di questioni inerenti alla proporzionalità. Queste basi normative sono integrate da diverse pubblicazioni dell'Ufficio federale dell'ambiente (UFAM) e della Società svizzera di ingegneria sismica e dinamica strutturale (SGEB).

Per illustrare le esigenze specifiche correlate ai monumenti storici, un gruppo di lavoro interdisciplinare UFAM/UFK/UFPP sta elaborando una guida intitolata «Sicurezza sismica dei monumenti storici – processo ideale nel quadro di progetti edilizi. Guida pratica interdisciplinare» (bozza 23 febbraio 2018). Questa guida si occupa del processo interdisciplinare di verifica e miglioramento della sicurezza sismica di monumenti storici nel quadro di progetti edilizi e illustra, ricorrendo a esempi, le basi e le condizioni quadro per garantire tale sicurezza.

Siccome la procedura di assegnazione dei mandati è determinante per trovare una buona soluzione, il presente documento fondamentale intende illustrare un approccio differenziato alla verifica della sicurezza sismica dei monumenti storici, in modo da poter assicurare la massima qualità di tale verifica e individuare la strategia più idonea per il monumento.

L'esame da parte dell'ingegnere non può limitarsi a un'applicazione letterale delle norme mediante semplici calcoli. A tale scopo si presta, come in altre discipline, la procedura a tappe («stufenweises Vorgehen»), richiesta e disciplinata dalla norma SIA 269.

3. Assegnazione e svolgimento dei mandati

La qualità di una verifica della sicurezza sismica di un monumento storico dipende direttamente dalle competenze specialistiche a disposizione. L'obiettivo generale è di illustrare e attuare misure che non richiedono o limitano gli interventi sulla struttura architettonica. L'attestazione della proporzionalità degli interventi di

conservazione in generale e, in particolare, di quella relativa alla sicurezza secondo la norma SIA 269 (cap. 3.4 e 5.4) va sempre esplicitamente richiesta.

La CFMS consiglia di attenersi alle seguenti fasi nella formulazione e nello svolgimento di mandati a ingegneri per il controllo della sicurezza sismica di monumenti storici:

In linea di principio è auspicabile un concorso e un'assegnazione graduale nello spirito delle regole della norma SIA 269:

1. esame generale;
2. esame dettagliato;
3. se necessario, esame dettagliato con la consulenza di esperti;
4. se necessario, ulteriori esami dettagliati.

Ai fini di garantire la massima qualità si prestano anche le procedure che prevedono l'elaborazione di diverse varianti.

Ogni fase va definita in modo chiaro e ultimata con una conclusione e delle raccomandazioni per i prossimi passi da compiere, sempre coinvolgendo i proprietari della costruzione e il servizio addetto alla conservazione dei monumenti. L'ampiezza di tale procedura deve essere commisurata all'importanza del monumento. Per quanto riguarda la formulazione dei mandati d'esame, si consiglia di suddividere la descrizione delle attività in diverse fasi, così come lo svolgimento dei mandati. Di regola è necessaria almeno la fase 2 «esame dettagliato».

Per i mandati che richiedono conoscenze particolari o hanno profonde ripercussioni, si raccomanda la costituzione di un collegio di esperti. Vanno considerati come causa di «profonde ripercussioni» gli interventi invasivi nella sostanza edilizia e i cambiamenti dell'aspetto del monumento. Costituisce uno strumento utile anche l'attribuzione di mandati di studio paralleli a studi d'ingegneria selezionati che consentono una valutazione comparata degli ulteriori passi da intraprendere. In caso di esigenze particolari, le conoscenze specialistiche possono essere acquisite anche mediante l'organizzazione di un convegno inter- o transdisciplinare.

4. Principi fondamentali e strategie operative

I monumenti storici non rappresentano mai la normalità e pertanto vanno trattati tenendo in debita considerazione le loro specificità. La verifica della sicurezza sismica di un monumento storico non è solo una questione di norme, che per forza di cose tendono alla semplificazione, ma richiede anche una conoscenza approfondita delle basi su cui si fondano le norme stesse.

Il presupposto per la valutazione di un edificio è un rilievo dello stato sufficientemente preciso e almeno in parte dettagliato, che spesso consente deduzioni sulle caratteristiche degli elementi costruttivi non visibili. Nella maggior parte dei casi, diverse parti delle strutture portanti di un monumento storico sono nascoste e le loro peculiarità non possono essere esaminate senza arrecare danni. Qui sussiste un margine di discrezionalità che va illustrato e circoscritto tramite delle analisi di sensitività.

Nell'ambito della verifica della sicurezza sismica esistente e di eventuali misure antisismiche, è opportuno distinguere tra azioni sismiche e resistenze delle strutture. Il rapporto tra azione e resistenza definisce il fattore di conformità.

La valutazione della sicurezza sismica si basa di regola su un'analisi quantitativa e un'analisi empirica. Soprattutto quando non è possibile fornire una prova quantitativa della sicurezza strutturale, occorre procedere a un'analisi empirica secondo la norma SIA 269 (cap. 6.3.3). A tale scopo può risultare utile un raffronto con i meccanismi di danneggiamento di costruzioni comparabili situate in zone sismicamente più attive.

Un modo efficace per ponderare la sicurezza sismica consiste nel confronto tra gli spostamenti indotti dal terremoto sulla costruzione (le azioni) e la capacità di deformazione della costruzione (la «resistenza» o la possibile elasticità).

Al contrario della messa in pericolo delle persone, determinati danni a monumenti storici e a beni culturali possono essere tollerati se permettono di evitare misure invasive di rinforzo antisismico. Consolidamenti parziali e un minore sfruttamento possono contribuire a ridurre gli interventi.

5. Possibili analisi e interventi

Importanti fattori che influiscono sull'azione del terremoto sono: la zona sismica;

- il terreno di fondazione (in Svizzera già parzialmente catalogato grazie alla microzonazione in classi di terreno di fondazione);
- lo spettro di risposta dipendente dalle oscillazioni (in determinati casi può essere opportuno elaborare uno spettro di risposta specifico per la zona interessata; al confine tra due zone sono ipotizzabili anche valori intermedi tra i valori di zona);
- le oscillazioni proprie (eventualmente calcolo sperimentale della durata delle oscillazioni);
- la categoria dell'edificio e, contestualmente, il pericolo per le persone.

Tra le misure che influiscono positivamente sull'azione sismica figurano:

- la modifica della massa dell'edificio (p. es. grazie alla rimozione di elementi pesanti aggiunti in un secondo tempo, come ad esempio i sottofondi);
- la chiusura o l'apertura di giunti di dilatazione, che consentono l'oscillazione dell'edificio completo (o l'oscillazione indipendente delle parti di esso);
- l'isolamento dell'edificio dalle oscillazioni (mediante appoggi sismici o, in caso di edifici alti, ammortizzatori di oscillazione);
- l'influenzamento dell'ammortizzazione dell'oscillazione.

Importanti fattori che influiscono sulla resistenza delle strutture portanti sono:

- il comportamento elastico dei materiali e della costruzione nel suo insieme;
- la resistenza dei materiali e degli elementi costruttivi;
- la capacità di deformazione (duttilità) dei materiali e degli elementi costruttivi;
- il tracciato di possibili crepe e il comportamento dei corpi che ne risultano.

Tra le misure che influiscono positivamente sulla resistenza delle strutture portanti figurano:

- la modifica delle proprietà dei materiali e di singoli elementi costruttivi;
- la precompressione di singoli elementi costruttivi o dell'intera struttura portante;
- l'aggiunta di nuovi elementi costruttivi stabilizzanti;
- la sostituzione di elementi costruttivi esistenti.

6. Suggerimenti relativi a tipologie costruttive specifiche

Di seguito verranno illustrate alcune peculiarità delle costruzioni in muratura di pietra naturale, in calcestruzzo e in legno a cui occorre prestare particolare attenzione.

Numerosi monumenti storici di cui va verificata la sicurezza sismica sono realizzati in gran parte in muratura di pietra naturale. Quando si procede alla modellizzazione di un edificio in muratura di pietra naturale, si pone l'interrogativo se la struttura dell'edificio debba essere considerata come un'unica struttura portante continua o piuttosto come un accorpamento di parti singole più o meno separate. Spesso è impossibile accertare senza danni in che misura le pareti interne siano unite alle facciate o gli appoggi dei soffitti in legno siano collegati alle pareti.

I muri in pietra naturale venivano spesso eretti con due facce a vista utilizzando materiali di riempimento scadenti. In questi casi sussiste il pericolo di separazione degli strati esterni del muro, che quindi «porta alla rottura». Anche in una situazione del genere, è difficile procedere a un controllo senza danneggiare l'oggetto. Un'osservazione meticolosa della tipologia e delle condizioni della muratura fornisce comunque degli indizi sulla sua qualità interna: l'aspetto e lo stato delle commessure e la presenza di eventuali crepe possono offrire indicazioni al riguardo. A seconda della resistenza delle pietre e della loro disposizione, possono essere trasmesse forze di trazione nel piano del muro tramite l'attrito nei giunti orizzontali. Va verificata anche la presenza di bombature, che segnalano l'indebolimento interno della muratura, e la capacità legante della malta.

Le indicazioni relative al grado di elasticità di una struttura in muratura variano notevolmente, per cui si consiglia un raffronto con edifici costruiti in modo simile di cui si conoscono le caratteristiche.

La trasmissione di forze su un muro in pietra naturale costituiscono spesso un problema delicato. Occorre pertanto accertare se sono possibili trasmissioni di forze fortemente eccentriche (p. es. sotto soffitti in calcestruzzo flettenti), dato che queste favoriscono la rottura delle pareti (nel piano e fuori piano).

In aggiunta alle misure sopraccitate, le costruzioni in muratura di pietra naturale possono essere consolidate nei modi seguenti:

- Fissaggio meccanico della parete (perpendicolarmente al suo piano) con sottili barre di trazione collocate in modo abbastanza ravvicinato. Per la trasmissione delle forze possono essere prese in considerazione fissaggi a vista con dadi e piastre di ancoraggio, soluzioni non a vista o l'incollatura senza piastre di ancoraggio.
- Contrazione delle facciate a livello dei soffitti mediante barre di trazione. In questo modo, durante un terremoto si può evitare il ribaltamento della facciata dal proprio piano. Spesso gli edifici e i ponti storici sono già dotati di simili barre di trazione.
- Precompressioni verticali (p. es. in pozzi già esistenti). Consentono a volte interventi relativamente modesti.

Le costruzioni in calcestruzzo moderne e del secondo dopoguerra spesso possono essere consolidate tramite la chiusura monolitica dei giunti di dilatazione. I processi di scorrimento viscoso e di ritiro del calcestruzzo sono terminati da tempo, per cui i giunti in realtà oggi non hanno più alcuna funzione. Spesso queste strutture portanti sono costruzioni a scheletro irrigidite mediante

perni o singole lastre. Quando questi elementi irrigidenti offrono una resistenza insufficiente, spesso può essere d'aiuto un'armatura esterna con lamelle in materiale composito (a base d'acciaio o di fibre). Anche la precompressione verticale costituisce di regola una misura poco invasiva.

Gli elementi sospesi delle facciate spesso non sono fissati in modo tale da soddisfare le esigenze di sicurezza sismica. Poiché la sostituzione degli ancoraggi spesso è molto onerosa, è possibile in alternativa l'aggiunta di ulteriori fermi e/o il collegamento di più elementi con fissaggi concentrati.

Gli edifici in legno di regola offrono svariate possibilità di rinforzo antisismico, ma non è possibile fornire raccomandazioni universalmente valide al riguardo. In questi casi si consiglia di procedere in modo sistematico, elencando e valutando in una prima fase tutte le possibili soluzioni.

Berna, 22 giugno 2018

Commissione federale dei monumenti storici

Il Presidente
Prof. Dr. Nott Caviezel

La Segretaria di commissione
Irène Bruneau

Commissione federale dei monumenti storici CFMS c/o UFC
Hallwylstrasse 15, 3003 Berna
+41 58 46 29284, ekd@bak.admin.ch

Ulteriori informazioni e bibliografia

Hugo Bachmann, *Erdbebensicherheit von Gebäuden – Rechts- und Haftungsfragen*, pieghevole, Fondazione per la dinamica strutturale e l'ingegneria sismica, Società svizzera di ingegneria sismica e dinamica strutturale (SGEB), Istituto per il diritto svizzero e internazionale della costruzione dell'Università di Friburgo, 2010.

Hugo Bachmann, Blaise Duvernay, *Edilizia antisismica in Svizzera*, pieghevole, Ufficio federale dell'ambiente (UFAM) e Società svizzera di ingegneria sismica e dinamica strutturale (SGEB), 2013.

Hugo Bachmann, Friederike Braune, Blaise Duvernay, *La sicurezza sismica del nostro edificio è sufficiente? Verificare e migliorare la sicurezza sismica: quando e perché?*, pieghevole, Ufficio federale dell'ambiente (UFAM) e Società svizzera di ingegneria sismica e dinamica strutturale (SGEB), 2013.

Commissione federale dei monumenti storici (a. c.), *Principi per la tutela dei monumenti storici in Svizzera*, Zurigo 2007, [<http://vdf.ch/leitsatze-zur-denkmalspflege-in-der-schweiz-1597068686.html>].

SIA Società svizzera degli ingegneri e degli architetti, *Merkblatt SIA 2018. Überprüfung bestehender Gebäude bezüglich Erdbeben*, Zürich 2004.

SIA Società svizzera degli ingegneri e degli architetti, *Dokumentation SIA D 0211. Einführung in das Merkblatt SIA 2018: Überprüfung bestehender Gebäude bezüglich Erdbeben*, Zürich 2005.

Ufficio federale dell'ambiente (UFAM), *Richtlinien zum Inventar der Erdbebensicherheit bestehender Bundesbauten*, www.bafu.admin.ch/erdbeben.

Thomas Wenk, «Erdbebenertüchtigung von Bauwerken. Strategie- und Beispielsammlung aus der Schweiz», in *Umwelt-Wissen*, n. 0832, Ufficio federale dell'ambiente, Bern 2008.