

IL RISCHIO SISMICO DEGLI EDIFICI PROGETTATI SECONDO NORMA IN ITALIA

I. Iervolino e il gruppo di lavoro del progetto RINTC

Dipartimento di Strutture per l'Ingegneria e l'Architettura, Università degli Studi di Napoli Federico II, Italy

Le Norme Tecniche per le Costruzioni (di seguito NTC; CS.LL.PP., 2008, 2018) richiedono agli ingegneri di progettare in riferimento a una serie di soglie prestazionali prestabilite, o *stati limite*. Agli stati limite di norma corrispondono intensità dello scuotimento sismico al suolo che hanno uno specifico tasso di superamento al sito della costruzione. La progettazione tende a fare in modo che la struttura resista a intensità di scuotimento relativamente rare, calcolate secondo l'analisi probabilistica di pericolosità sismica (Cornell, 1968; McGuire, 2004). Le intensità dello scuotimento di progetto sono quelle che vengono superate al sito, in media, una volta in un certo numero di anni; si parla comunemente del *periodo di ritorno* del superamento. Per esempio, una struttura ordinaria progettata per lo stato limite di *salvaguardia della vita* deve essere verificata per lo scuotimento che ha quattrocentosettantacinque anni di periodo di ritorno.

Come in molti codici moderni di progettazione sismica anche in Italia, mentre le azioni elastiche sono definite probabilisticamente, il rischio che le costruzioni falliscano gli obiettivi prestazionali non è esplicitamente controllato dal progettista e, in ultima analisi, non è noto. Inoltre, poiché le procedure di progettazione possono essere diverse per diverse tipologie strutturali o possono essere disponibili molteplici opzioni di progettazione per la stessa tipologia, la norma non garantisce esplicitamente che le diverse strutture progettate per lo stesso sito o strutture simili in siti diversi abbiano la stessa probabilità di fallire il medesimo obiettivo di prestazione.

Approfondimenti sull'affidabilità sismica (o rischio sismico) implicato dalla progettazione secondo gli standard attuali sono un punto di partenza per comprendere l'adeguatezza delle norme e per valutare miglioramenti, se necessario. Questo, in effetti, è stato l'obiettivo di un vasto programma di ricerca nazionale: il progetto RINTC - *Rischio Implicito delle Strutture Progettate Secondo le NTC*, che si è svolto tra il 2015 e il 2017 (Iervolino *et al.*, 2017; RINTC Workgroup, 2018). Ai fini del progetto, tre siti italiani sono stati considerati in modo da coprire un'ampia gamma di livelli di pericolosità sismica all'interno del paese. I tre siti sono Milano (MI), Napoli (NA) e L'Aquila (AQ), corrispondenti a pericolosità bassa, media e alta. La Fig. 1 (a sinistra) mostra le posizioni dei siti sulla mappa di pericolosità adottata ufficialmente dalle NTC, che riporta l'accelerazione di picco di picco al suolo (PGA) di progetto con quattrocentosettantacinque anni di periodo di ritorno in condizioni di suolo roccioso. La PGA in questione per i siti considerati varia tra 0,05 g per Milano e 0,26 g per L'Aquila.

Sono stati progettati diversi edifici appartenenti a cinque tipologie strutturali e con riferimento a due condizioni locali del suolo, vale a dire tipo A e C (secondo la classificazione NTC e Eurocode 8; CEN, 2004) presso i tre siti: muratura, cemento armato gettato in opera, cemento armato prefabbricato, acciaio ed edifici isolati alla base. Il progetto ha considerato due stati limite definiti dalle NTC, vale a dire danno e salvaguardia della vita (si veda la Fig. 1, a destra, per gli spettri di progetto corrispondenti).

Sono stati sviluppati modelli strutturali non lineari tridimensionali, generalmente basati sulla plasticità concentrata, e le loro prestazioni sismiche sono state valutate mediante analisi dinamica *multi-stripe* (Jalayer, 2003). Questo approccio fornisce una caratterizzazione probabilistica della risposta sismica per una gamma di intensità dello scuotimento al sito di interesse. Quest'ultima, unita alla pericolosità sismica che ha supportato la definizione delle azioni di progetto illustrate nella Fig. 1, ha permesso di calcolare l'affidabilità sismica strutturale, espressa in termini di tasso di fallimento annuale. Questi tassi sono stati valutati rispetto a due livelli prestazionali definiti ad hoc, vale a dire *collasso globale* e *danno che impedisce l'utilizzo*.

La principale fonte di incertezza nella risposta strutturale, per un dato livello di intensità del movimento al suolo, è stata quella nota come *variabilità da terremoto-a-terremoto*, ma anche

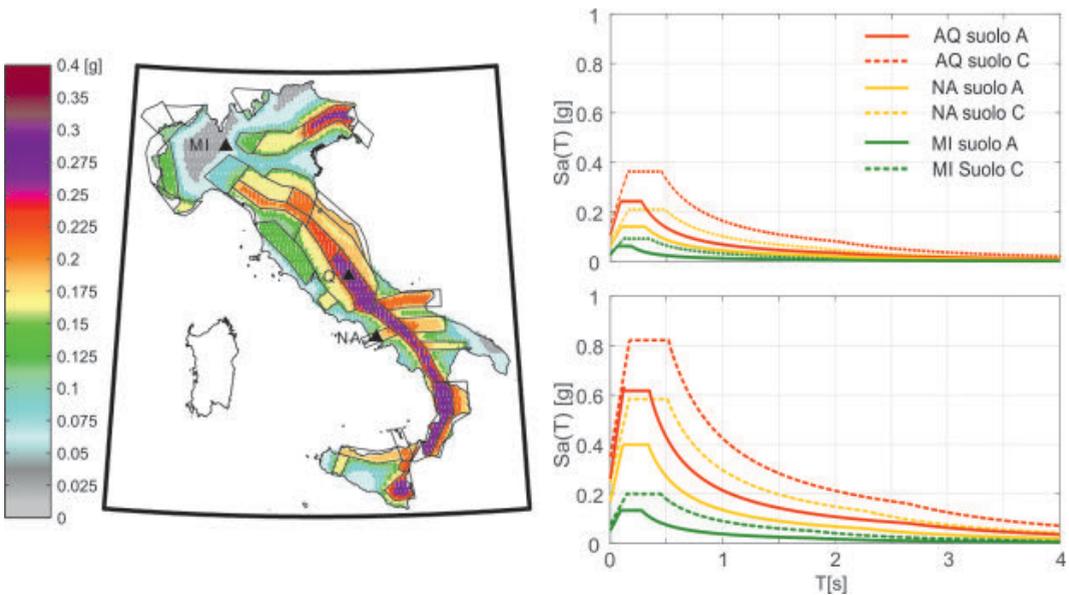


Fig. 1 - Sinistra: modello a zone sismogenetiche per l'Italia italiana e mappa di pericolosità sismica ufficiale in termini di PGA con periodo di ritorno di 475 anni di superamento su roccia; a destra: spettri elastici di progetto corrispondenti a 50 anni (per stato limite di danno, in alto) e a 475 anni (per stato limite di salvaguardia della vita, in basso) di periodo di ritorno nei siti considerati (negli spettri, T è il periodo di vibrazione naturale e Sa è l'accelerazione spettrale).

la cosiddetta incertezza di modello (vale a dire, l'incertezza nelle proprietà dei materiali e nelle opzioni di progettazione e relazioni costitutive degli elementi strutturali) è stata considerata in alcuni casi. Questo vale anche per l'interazione suolo-struttura.

I risultati mostrano, che contrariamente a quanto si possa essere portati a pensare, il rischio sismico implicato dalle NTC cresce con la pericolosità del sito, sebbene le strutture siano tutte progettate per azioni che hanno lo stesso periodo di ritorno ai siti considerati.

Bibliografia

C.E.N.; 2004: *EuroCode Eurocode 8: design of structures for earthquake resistance: Part 1: general rules, seismic actions and rules for buildings*. European Committee for Standardization, Bruxelles, Belgium.
 Cornell C.A.; 1968: *Engineering seismic risk analysis*. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, **58**, 1583-1606.
 CS.LL.PP.; 2008: *Norme tecniche per le costruzioni*. Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana, **29**.
 CS.LL.PP.; 2018: *Aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni*. Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana **42**.
 Iervolino I., Spillatura A. e Bazzurro P.; 2017: *RINTC project: Assessing the (implicit) seismic risk of code-conforming structures in Italy*. Atti di VI ECCOMAS Thematic Conference on Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering, Rodi, Grecia.
 Jalayer F.; 2003: *Direct Probabilistic Seismic Analysis: Implementing Nonlinear Dynamic Assessment*. Tedi di dottorato, Department of Civil and Environmental Engineering, Stanford University, Stanford, CA, USA.
 McGuire R.K.; 2004: *Seismic Hazard and Risk Analysis*. EERI - Earthquake Engineering Research Institute, MNO-10, Oakland, CA, USA.
 RINTC Workgroup; 2018: *Results of the 2015-2017 implicit seismic risk of code-conforming structures in Italy (RINTC) project*. ReLUIIS - Rete dei Laboratori Universitari di Ingegneria Sismica, Napoli. Disponibile a <https://goo.gl/j8H7MV>