

Criteria generali per l'utilizzo dei risultati degli studi di Microzonazione Sismica di livello 3 per la ricostruzione nei territori colpiti dagli eventi sismici a far data dal 24 agosto 2016

1 Premessa

L'Ordinanza n. 24 del 12 maggio 2017, oltre a definire l'assegnazione di fondi per l'esecuzione degli studi di Microzonazione Sismica (MS) di livello 3 e le modalità di esecuzione, riportava nell'Allegato 1 i "Criteria per l'utilizzo degli studi di Microzonazione Sismica per la ricostruzione nei territori colpiti dagli eventi sismici a far data dal 24 agosto 2016".

Nel presente documento, al fine di facilitarne l'applicazione, si riprende e si approfondisce dal punto di vista tecnico quanto riportato nell'Allegato 1 della suddetta ordinanza.

I risultati degli studi di MS di livello 3 (di seguito MS3) sono sintetizzati e rappresentati su carte tematiche del territorio, carte di MS, distinguendo le microzone in:

- zone stabili, nelle quali il moto sismico non viene modificato rispetto a quello atteso su suolo di riferimento (Classe di sottosuolo di tipo A secondo le Norme Tecniche per le Costruzioni) pianeggiante;
- zone stabili con amplificazioni, nelle quali il moto sismico viene modificato, rispetto a quello atteso in corrispondenza di un suolo di riferimento pianeggiante, a causa delle caratteristiche geologiche/geofisiche/geotecniche e morfologiche del territorio. Ciascuna microzona viene caratterizzata, rispetto allo scuotimento, da:
 - o spettri di risposta elastici alla superficie;
 - o fattori di amplificazione (FA) calcolati mediante rapporti tra grandezze integrali derivate da spettri di risposta elastici alla superficie e quelli corrispondenti al moto atteso su un suolo di riferimento pianeggiante ed ipoteticamente affiorante nello stesso sito;
- zone instabili, in cui si possono attivare (innescati dal sisma) fenomeni di deformazione permanente del terreno come frane, liquefazione, fagliazione superficiale e cedimenti differenziali. Ciascun fenomeno viene parametrizzato secondo le linee guida per le instabilità approvate dalla Commissione tecnica interistituzionale MS (ex art.5 OPCM 3907/10).

Il livello 3 di MS consente di associare alle zone stabili soggette ad amplificazione, definite nella Carta delle MOPS (già individuate dalla MS di livello 1), oltre ai valori dei fattori di amplificazione (FA), anche gli spettri medi di risposta in pseudoaccelerazione (nell'intervallo di periodi di vibrazione 0.1-1.1 s) al 5% di smorzamento in superficie ed eventualmente di modificare i limiti delle microzone già definite dal livello 1 di MS.

Ai fini dell'utilizzazione dei risultati degli studi di MS3 per le amplificazioni locali, si definiscono le classi di intervallo dei periodi di vibrazione di interesse che, in prima approssimazione, possono essere associate al numero di piani in elevazione degli edifici presenti, o di futura edificazione, nell'area studiata.

Le classi di intervalli di periodo di interesse sono:

- . 0.1-0.5 s
- . 0.4-0.8 s
- . 0.7-1.1 s

I risultati degli studi di MS sono espressi, anche in termini cartografici, con riferimento a questi intervalli di periodo per l'utilizzo sia dei FA, sia degli spettri di risposta.

Per le modalità di rappresentazione si fa riferimento a quanto previsto dagli “Standard di rappresentazione e archiviazione informatica, versione 4.1” (2018), predisposti dalla Commissione tecnica per la microzonazione sismica.

Per la determinazione degli spettri di risposta in superficie, si è proceduto attraverso la convoluzione di accelerogrammi compatibili con la pericolosità sismica di base. In particolare gli accelerogrammi di input (in numero di 7), utilizzati nelle analisi numeriche, sono stati scelti in modo tale che la media dei loro spettri di risposta in pseudoaccelerazione fosse compatibile con lo spettro di pericolosità di base, relativamente ad un tempo di ritorno di 475 anni.

Lo spettro di risposta elastico rappresentativo di ciascuna microzona è calcolato a partire dai risultati delle analisi numeriche, mediando gli spettri di risposta ottenuti dall'applicazione dei 7 segnali di input.

Per ogni input sismico, i valori di FA sono stati ottenuti come rapporti tra l'integrale dello spettro elastico in pseudoaccelerazione di output e l'integrale dello spettro elastico in pseudoaccelerazione di input, nei tre intervalli di periodo 0.1-0.5, 0.4-0.8, 0.7-1.1s. Per ciascun insieme di input sismici e per ciascun intervallo di periodi è stato calcolato poi separatamente il fattore di amplificazione medio relativo alla microzona.

Per le zone stabili non soggette ad amplificazione risulta $FA = 1$ in tutti e tre gli intervalli di periodo.

2 Pianificazione

2.1 Zone instabili

La disciplina d'uso è riportata nelle linee guida relative a faglie attive e capaci, liquefazione e instabilità di versante. Nelle linee guida vengono definite le modalità di perimetrazione delle zone instabili e valutazioni quantitative delle instabilità con metodi semplificati e avanzati. Si evidenzia che per eventuali scostamenti, in termini di individuazione cartografica, da quanto previsto negli strumenti conoscitivi o pianificatori, cronologicamente precedenti o a scale più piccole, la disciplina d'uso dovrà tener conto di quanto individuato nella Carta di MS3.

2.2 Zone stabili e stabili con amplificazione

I fattori di amplificazione (FA) in pseudoaccelerazione sono calcolati con analisi numeriche nei tre intervalli di periodo definiti in precedenza.

Essi forniscono informazioni quantitative sull'entità dell'amplificazione dello spettro di risposta dovuta alle peculiari caratteristiche geologiche, geofisiche e geotecniche della microzona in esame, rispetto allo spettro di riferimento derivante dalla pericolosità di base, per i diversi intervalli di periodo di vibrazione presi in considerazione.

I fattori di amplificazione (FA) permetteranno di confrontare la pericolosità sismica in aree diverse del territorio comunale e per diverse classi di costruzioni, caratterizzate dall'appartenenza a uno degli intervalli di periodo di vibrazione in condizioni di scuotimento.

Ai fini della pianificazione, i fattori di amplificazione definiti per ogni singola microzona consentiranno valutazioni sul contesto nel quale si colloca il territorio interessato dalle attività di ricostruzione (vie di accesso all'abitato, con particolare attenzione ai centri storici, collegamenti tra gli edifici principali, in particolare le scuole, edifici prospicienti le vie di comunicazione principali), nonché indicazioni al pianificatore per definire il regolamento edilizio e la scelta della tipologia dell'edificato.

In particolare, gli strumenti di pianificazione urbanistica comunale, attraverso l'analisi dei FA:

- a) individuano il grado relativo di pericolosità locale di ciascuna parte del territorio urbanizzato e urbanizzabile;
- b) definiscono prescrizioni per la riduzione del rischio sismico, fissando, per le diverse parti del territorio, i limiti e le condizioni per realizzare gli interventi di trasformazione urbanistica ed edilizia.

3 Interventi su manufatti

3.1 Zone instabili

La disciplina d'uso è riportata nelle linee guida relative a faglie attive e capaci, liquefazioni e instabilità di versante. Nelle linee guida vengono definite le modalità di perimetrazione delle zone instabili e valutazioni quantitative delle instabilità con metodi semplificati e avanzati.

Per le instabilità, come già previsto all'interno delle linee guida, si rimanda comunque alla disciplina d'uso prevista dal PAI di riferimento o alla normativa regionale.

3.2 Zone stabili e stabili con amplificazione

Con riferimento a quanto indicato negli Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica (Gruppo di lavoro MS, 2008), gli studi di MS3 forniscono utili indicazioni per la progettazione delle nuove costruzioni e degli interventi sulle costruzioni esistenti.

Al fine di definire lo spettro elastico di progetto, il progettista delle strutture dovrà confrontare lo spettro di risposta medio regolarizzato (secondo il metodo riportato in Appendice 1) ottenuto dallo studio di MS3 della microzona di interesse con quello ottenuto con l'approccio semplificato della normativa sismica, per la categoria di sottosuolo in corrispondenza del manufatto e per il tempo di ritorno di 475 anni.

L'intervallo di periodi da considerare per il confronto tra lo spettro di MS3 e quello di norma dell'approccio semplificato è determinato considerando i periodi di vibrazione di interesse dell'opera nelle due direzioni principali, ossia il minore, T_{min} , e il maggiore, T_{max} , dei tre periodi di vibrazione dell'edificio (inteso come struttura tridimensionale) con massa partecipante più elevata, tenendo anche conto dell'elongamento degli stessi durante la risposta sismica. Tale intervallo è compreso tra T_{min} e $2T_{max}$ ¹.

In questo intervallo dovranno essere valutate le seguenti due condizioni:

1. lo spettro di MS3 supera puntualmente in misura maggiore del 30% lo spettro semplificato di norma;
2. l'integrale dello spettro di MS3 è superiore del 20% rispetto al corrispondente integrale dello spettro semplificato di norma.

Se nessuna delle due condizioni è verificata, è possibile utilizzare l'approccio semplificato della normativa sismica. Se almeno una delle condizioni di cui sopra è verificata, lo spettro previsto dall'approccio semplificato della normativa può ritenersi significativamente meno conservativo di quello di MS3.

In questo caso il progettista, utilizzando i risultati della MS3, dovrà procedere a definire gli approfondimenti geologici, geofisici e geotecnici necessari a dettagliare il modello di sottosuolo nell'area di interesse del manufatto. Sulla base di questi approfondimenti il progettista dovrà valutare le condizioni di applicabilità dell'approccio semplificato della normativa e, nel caso, giustificarne l'adozione in relazione alle caratteristiche stratigrafiche e morfologiche dello specifico sito rispetto alla situazione di riferimento cui si riferisce lo spettro ottenuto dagli studi di microzonazione sismica. In caso contrario, il progettista dovrà necessariamente procedere con un'analisi di risposta sismica locale monodimensionale (1D) o bidimensionale (2D), in base alle caratteristiche del sito. In particolare, i risultati della MS3 saranno utilizzati per definire il volume significativo² di sottosuolo e le caratteristiche morfologiche da considerare per le analisi numeriche della risposta sismica locale, includendo la possibile presenza di effetti 2D.

Infine, ferme restando le prerogative del progettista in merito alle scelte effettuate per la caratterizzazione delle azioni sismiche e sotto la sua completa responsabilità, gli spettri di risposta elastici prodotti dallo studio di MS3 (regolarizzati secondo il metodo riportato in Appendice 1), possono essere usati nella progettazione qualora vengano ritenuti più affidabili di quelli risultanti dall'analisi di risposta sismica locale (RSL) condotti con metodi standard (1D lineare equivalente) e in ogni caso più conservativi di quelli dell'approccio semplificato. La scelta del progettista di utilizzare gli spettri di risposta elastici prodotti dallo studio di MS3

¹ Laddove $2T_{max} > 1.1s$, il confronto non potrà essere effettuato. In questi casi, la MS3 potrà fornire indicazioni riguardo alla possibile presenza di fenomeni di amplificazione relativi ad alti periodi (coltri deformabili di grande spessore) che renderebbero comunque non applicabile l'approccio semplificato della normativa all'analisi della risposta sismica locale.

² Per *volume significativo* di terreno si intende la parte di sottosuolo che, per le sue condizioni sismostratigrafiche, può influenzare le caratteristiche del moto sismico atteso nell'intervallo di periodi di interesse per il singolo manufatto.

dovrà comunque essere giustificata nella relazione di calcolo strutturale, anche con riferimento alla relazione geologica e geotecnica.

Per le costruzioni di classe III e IV, se nessuna delle due condizioni di cui ai punti 1 e 2 del presente paragrafo risultasse verificata, in riferimento al tempo di ritorno di 475 anni, sarà possibile utilizzare l'approccio semplificato della normativa sismica, al fine di determinare gli spettri di risposta per tutti i tempi di ritorno necessari. In caso contrario, occorrerà necessariamente approfondire l'analisi della risposta sismica locale nei modi detti. Sono fatte salve eventuali disposizioni regionali più restrittive.

Per le costruzioni di classe I, il progettista potrà adottare l'approccio semplificato della normativa sismica, fatte salve eventuali disposizioni regionali più restrittive.

Appendice 1

Regolarizzazione di uno spettro ottenuto con gli studi di MS3

La procedura di regolarizzazione (Newmark e Hall, 1982³, Romeo, 2007⁴, Liberatore e Pagliaroli, 2014⁵), permette di trasformare lo spettro di risposta, risultato delle simulazioni numeriche nell'ambito degli studi di MS3, in uno spettro con forma standard (secondo le vigenti norme tecniche per le costruzioni), costituita da un ramo con accelerazione crescente lineare, un ramo ad accelerazione costante, un ramo in cui l'accelerazione decresce con $1/T$ e, quindi, a velocità costante.

Alla fine della procedura saranno disponibili anche tutti i parametri per l'inserimento dello spettro elastico in codici di calcolo per la progettazione e la verifica delle costruzioni (a_g , a_{max} , T_B , T_C , T_D , T_C^* , F_0 , ξ , η , S_s , S_T). Indicando con SA lo spettro di risposta elastico in pseudoaccelerazione e SV lo spettro di risposta elastico in pseudovelocità, ottenuti dalle simulazioni numeriche, i passi della procedura di regolarizzazione sono i seguenti:

- Si calcola lo spettro di pseudoaccelerazione (SA) e si determina il periodo proprio (TA) per il quale è massimo il valore dello spettro di pseudoaccelerazione
- Si calcola il valore medio dello spettro (SA_m) nell'intorno di TA tra $0.5TA$ e $1.5TA$, questo valore sarà assunto come valore costante del tratto ad accelerazione costante dello spettro standard:

$$SA_m = \frac{1}{TA} \int_{0.5*TA}^{1.5*TA} SA(T) dT$$

- Si determina lo spettro di pseudovelocità (SV) a partire da quello di accelerazione, moltiplicando le ordinate spettrali di quest'ultimo per l'inverso della corrispondente frequenza circolare $\omega = 2\pi/T$:

$$SV(T) = SA(T) * \frac{T}{2\pi}$$

e quindi si individua il periodo (TV) per il quale è massimo il valore dello spettro di pseudovelocità:

- Si calcola il valore medio dello spettro (SV_m) nell'intorno di TV nell'intorno tra $0.8TV$ e $1.2TV$:

$$SV_m = \frac{1}{0.4 * TV} \int_{0.8*TV}^{1.2*TV} SV(T) dT$$

- Si determina il periodo in corrispondenza del quale si incontrano i due rami dello spettro ad accelerazione costante e velocità costante:

$$T_c = 2\pi \frac{SV_m}{SA_m}$$

- Si determina $T_B = 1/3 * T_c$ e $T_D = 4.0 * a_{max} / g + 1.6$ (secondo quanto indicato dalla normativa), con a_{max} punto di ancoraggio a $T=0$ dello spettro di output. Poiché il valore di a_{max} non è generalmente fornito nello spettro delle simulazioni numeriche si procede per estrapolazione lineare, secondo la seguente equazione:

$$a_{max} = \left(\frac{S_e(T = 0.01s)}{SA_m} - \frac{0.01}{T_B} \right) \left(\frac{SA_m}{1 - \frac{0.01}{T_B}} \right)$$

³ Newmark N.M. e Hall W.J., 1982. Earthquake spectra and design. EERI Research Report, 82- 71183, 103 pp.

⁴ Romeo Roberto W., 2007. Le azioni sismiche e le categorie di sottosuolo. Giornale di Geologia Applicata 6, 65-80. doi: 10.1474/GGA.2007-06.0-07.0188

⁵ Liberatore D. e Pagliaroli A., 2014. Verifica della sicurezza sismica dei Musei Statali. Applicazione O.P.C.M. 3274/2003 s.m.i. e della Direttiva P.C.M. 12.10.2007. Convenzione Arcus – DG PaBAAC Rep. n. 113/2011 del 30/09/2011.

Convenzione DG PaBAAC – Consorzio ReLUIS Rep. n. 21/2011 del 26/10/2011. Responsabile scientifico: Domenico Liberatore. Referente tecnico: Luigi Sorrentino

con S_e ($T=0.01s$) ordinata dello spettro di accelerazione per $T=0.01s$, primo valore del periodo nello spettro elastico delle simulazioni numeriche.

g) Si applicano le equazioni riportate in N T C (2018) per la determinazione dei tratti dello spettro tra $T_A=0$, T_B , T_C , T_D , fino a un T di interesse.

h) Si termina il parametro F_0 come rapporto S_{A_m} / a_{max}

Infine, al solo fine di fornire dati congruenti, per l'analisi e la verifica delle costruzioni si potranno utilizzare i seguenti valori dei parametri richiesti $a_g = a_{max}$; $\xi=5\%$; $\eta=1$; $SS=1$; $ST=1$. Va sottolineato che i valori di a_g , SS e S , sono evidentemente fittizi, in quanto non riferiti alla condizione ideale di suolo rigido e pianeggiante, come è per definizione nelle norme tecniche per le costruzioni, essendo gli effetti di amplificazione stratigrafica e morfologica già messi in conto nei risultati delle analisi della R S L.

Questa procedura di regolarizzazione può essere utilizzata anche per lo spettro di input, utilizzando a_g invece che a_{max} .