

ABACHI PER LA VALUTAZIONE DEI FATTORI DI AMPLIFICAZIONE PER LE INDAGINI DI MICROZONAZIONE SISMICA DI SECONDO LIVELLO IN EMILIA-ROMAGNA

A. Tento¹, L. Martelli², A. Marcellini¹

¹ IDPA-CNR, Milano

² Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli, Regione Emilia-Romagna, Bologna

Premessa. La Regione Emilia-Romagna con la delibera di Assemblea Legislativa n.112 del 2 maggio 2007 (Regione Emilia-Romagna, 2007) ha introdotto gli “Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica” con i seguenti obiettivi principali:

- introdurre criteri uniformi per la protezione dal rischio sismico che tengano conto delle caratteristiche geologiche locali;
- fornire una guida ai professionisti per la realizzazione di studi di microzonazione sismica.

Gli indirizzi, analogamente a numerose altre regolamentazioni in vigore, definiscono tre livelli di analisi, con dettaglio e approfondimento crescenti. In particolare il secondo livello è rivolto alla pianificazione urbanistica comunale e fornisce una suddivisione del territorio in base alla risposta sismica locale stimata tramite abachi, per l'utilizzo dei quali è richiesta una conoscenza geologica di dettaglio del territorio. Ad esempio, ai fini della valutazione delle amplificazione sismiche, sono necessarie informazioni sulla profondità del substrato, o spessore

del terreno di copertura (H), sul modello stratigrafico e sulla velocità di propagazione delle onde di taglio nell'intervallo di copertura (V_{s_H}).

Le linee guida forniscono quindi ai professionisti incaricati di redigere le microzonazioni apposite tabelle per la valutazione dei fattori di amplificazione sismica in termini di PGA (PGA_{sito}/PGA_0) e intensità spettrale (SI_{sito}/SI_0) negli intervalli di periodi 0,1-0,5 s e 0,5-1 s (fino a 1,5 s in pianura). Le tabelle sono state preparate tramite modellazioni 1D di risposta sismica locale per gli ambiti morfologici e stratigrafici che caratterizzano il territorio dell'Emilia-Romagna.

Dalla emanazione degli indirizzi, le tabelle per la valutazione dell'amplificazione sismica sono state largamente impiegate per la redazione di carte di microzonazione sismica di secondo livello; in particolare, in Facciorusso *et al.* (2012) viene illustrato lo stato dell'arte dei primi quattro anni di applicazione con particolare attenzione al punto di vista dei professionisti che hanno operato sul territorio.

L'esperienza maturata e le nuove conoscenze acquisite, grazie anche agli studi effettuati a seguito della crisi sismica emiliana di maggio-giugno 2012, hanno reso possibile la revisione delle tabelle per la valutazione dei fattori di amplificazione sismica.

L'aggiornamento delle tabelle ha riguardato i punti seguenti.

Revisione della suddivisione del territorio regionale in ambiti geo-litologici omogenei.

Sono stati individuati due ambienti principali relativi 1) alla zona collinare e montana (Appennino) e 2) alla pianura e alla zona costiera (Fig. 1).

Appennino. Per questo ambiente sono state individuate tre tipologie:

1. depositi di copertura, con spessori fino a 50 metri, sovrastanti il substrato geologico rigido (depositi marini generalmente caratterizzati da $V_s > 800$ m/s);
2. depositi di copertura, con spessori fino a 50 metri, sovrastanti il substrato marino non rigido (depositi marini caratterizzati da $V_s \ll 800$ m/s);
3. substrato marino non rigido affiorante o sub affiorante (i.e. depositi marini caratterizzati da $V_s \ll 800$ m/s, con spessore della copertura o della coltre di alterazione $< 2,5$ m).

Nei casi 1 e 2 i fattori di amplificazione sono in funzione dello spessore H dei depositi fino al substrato e di V_{s_H} , ovvero della velocità media fino al substrato. Lo spessore di copertura H deve essere almeno 2,5 m. I valori di V_{s_H} considerati iniziano da 150 m/s per i depositi più superficiali. Nel caso 3, che non prevede la presenza di terreni di copertura di spessore rilevante ($H < 2,5$ m), il parametro considerato è la $V_{s_{30}}$, con valori a partire da 350 m/s.

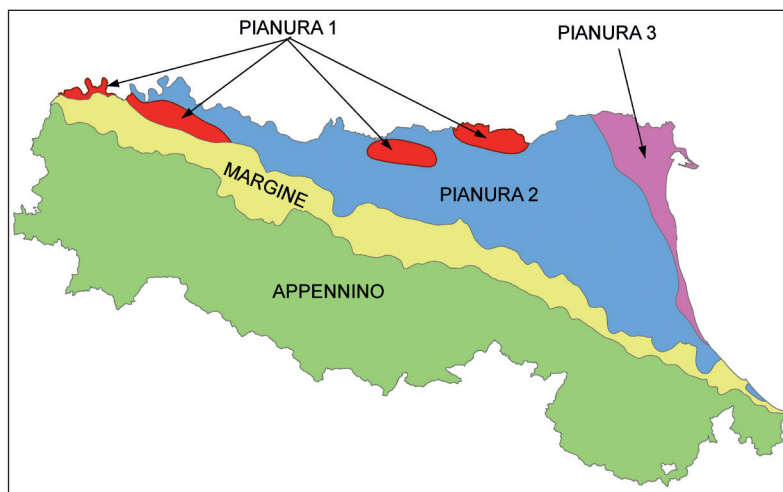


Fig. 1 – Localizzazione indicativa delle ambienti geomorfologici e litostratigrafici per l'applicazione degli abachi regionali per la MS di secondo livello in Emilia-Romagna.

Pianura e zona costiera. Per questo ambiente sono state individuate le seguenti tipologie:

1. PIANURA 1: settore di pianura con sedimenti alluvionali prevalentemente fini, alternanze di limi, argille e sabbie, caratterizzato dalla presenza di una importante discontinuità stratigrafica responsabile di un significativo contrasto di impedenza a circa 100 m da p.c.; i fattori di amplificazione sono espressi in funzione di $V_{s_{30}}$ che varia da 150 a 500 m/s;
2. PIANURA 2: settore di pianura con sedimenti alluvionali prevalentemente fini, alternanze di limi, argille e sabbie, caratterizzato dalla presenza di una importante discontinuità stratigrafica responsabile di un significativo contrasto di impedenza a circa 100 m da p.c. e dal tetto del bedrock sismico ($V_s > 800$ m/s) a circa 150 m da p.c.; anche in questo caso si utilizza $V_{s_{30}}$ che varia da 150 a 500 m/s;
3. PIANURA 3: settore di pianura caratterizzato da elevati spessori di sedimenti prevalentemente fini e poco consolidati, alternanze di limi, argille e sabbie di ambiente alluvionale e transizionale, con substrato rigido a profondità non inferiori a 300 m da p.c.; si utilizza $V_{s_{30}}$ che varia da 150 a 250 m/s;
4. MARGINE: settore di transizione tra la zona collinare (Appennino) e la pianura caratterizzato da terreni prevalentemente fini sovrastanti orizzonti grossolani (ghiaie, ghiaie sabbiose); il substrato geologico è generalmente costituito da sabbie marine pleistoceniche o da peliti plio-pleistoceniche (substrato non rigido); questo ambiente è suddiviso in:
 - A) MARGINE settore A: caratterizzato da spessore dei terreni fini sovrastanti gli orizzonti grossolani inferiore a 30 m; gli strati grossolani sovrastano direttamente il substrato geologico; in questo caso si utilizza H e V_{s_H} , compresa fra da 150 a 250 m/s;
 - B) MARGINE settore B: caratterizzato da spessore dei terreni fini superiore a 30 m; gli strati grossolani sovrastano altri strati di terreni fini presenti fino al substrato; in questo caso si utilizza $V_{s_{30}}$ che varia da 150 a 250 m/s.

L'utilizzo di abachi comporta necessariamente l'individuazione di parametri di sintesi che descrivono la situazione geo-litologica a cui correlare i fattori di amplificazione. Come già descritto, in numerose situazioni, in particolare negli abachi della pianura, viene utilizzata $V_{s_{30}}$ la cui adeguatezza è stata più volte messa in discussione, vedi ad esempio Lee and Trifunac (2010). Tuttavia, sia per la semplicità e la diffusione di queste misure sia perché le relazioni fra $V_{s_{30}}$ e i fattori di amplificazione sono sviluppate specificatamente per i vari contesti geolitologici, si è ritenuto di continuare a utilizzare questo parametro.

Individuazione di profili geofisici tipo relativi ad ogni ambito. Utilizzando i dati geofisici e geotecnici disponibili, sono stati individuati per ogni ambiente, e relativa tipologia, i profili medi di velocità (V_s) e la loro variabilità. Questi dati sono stati utilizzati per la generazione dei profili di velocità casuali impiegati per la modellazione 1D della risposta sismica.

Ad esempio per gli ambienti di pianura sono stati utilizzati i dati recentemente acquisiti nell'ambito degli studi di microzonazione promossi dalla Regione Emilia-Romagna. Si tratta di prove Down-Hole e Cross-Hole, effettuate in sondaggi a carotaggio continuo che in alcuni casi hanno raggiunto profondità fino a 130-150 m, e di profili di V_s ottenuti invertendo le registrazioni di rumore sismico effettuate con array.

In questo caso V_s in superficie è 150 m/s e arriva a 530 m/s a 100 m di profondità; nella generazione dei profili casuali questi valori, che determinano il gradiente di velocità, variano di circa il 20%. Per quanto riguarda lo smorzamento, avendo a disposizione pochi dati provenienti da prove di colonna risonante, si è considerata una dipendenza casuale da V_s : $540/V_s < D < 720/V_s$, dove D è lo smorzamento percentuale per basse deformazioni. Il comportamento non lineare dei suoli viene considerato tramite le curve di decadimento del modulo di taglio e dell'aumento dello smorzamento in funzione della deformazione, disponibili per alcune litologie e ricavate da prove di colonna risonante.

Le amplificazioni sismiche sono state valutate rispetto alla la categoria di sottosuolo A, definita nella tabella 3.2.II di NTC 2008, come “Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di V_{s30} superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m”. A questo riguardo è stato definito un profilo di velocità delle onde di taglio congruente con la definizione di suolo A ma definito fino a circa 2000 metri di profondità. I profili di V_s relativi alle varie tipologie geo-litologiche che sono generati casualmente si congiungono in profondità con il profilo del suolo A.

Calcolo dell'amplificazione sismica. Considerando che la finalità dell'utilizzo degli abachi è nell'ambito della pianificazione territoriale e urbanistica, si è considerata come pericolosità sismica di riferimento quella relativa al periodo di ritorno di 475 anni. Si è verificato che il relativo spettro di risposta (Meletti e Montaldo, 2007; Montaldo e Meletti, 2007) presenta una forma che rimane costante sul territorio della regione rendendo possibile l'utilizzo degli stessi accelerogrammi di input, opportunamente scalati, per tutti i casi analizzati. La selezione degli accelerogrammi è basata solo sulla compatibilità del loro spettro di risposta rispetto a quello della pericolosità sismica.

Per il calcolo della risposta sismica si è utilizzato un modello 1D considerando la non linearità dei terreni tramite uno schema lineare-ivalente (Schnabel *et al.*, 1972).

L'amplificazione sismica, ovvero il rapporto fra lo scuotimento alla superficie dei depositi analizzati e quello in superficie al suolo A, è stata valutata in termini di PGA e di intensità spettrale calcolata negli intervalli di T_0 : 0.1 - 0.5 s, 0.5 - 1.0 s e, per la pianura, 0.5 - 1.5 s.

Verifica dei criteri per la trasformazione dei valori di amplificazione sismica in fattori di amplificazione delle tabelle. I fattori di amplificazione riportati nelle tabelle sono relativi a 84 percentile dei valori ottenuti considerando i profili generati casualmente e opportunamente raggruppati in intervalli di V_{sH} e H oppure di V_{s30} .

Inoltre, nella compilazione delle tabelle non viene considerata l'eventuale diminuzione dell'amplificazione sismica dovuta a un significativo comportamento non lineare dei suoli, che è osservabile in alcuni casi per i valori più bassi di V_{sH} o V_{s30} .

In questi casi i fattori di amplificazione sono mantenuti ai valori di amplificazione massima.

La Fig. 2 mostra, come esempio, i fattori di amplificazione valutati per l'ambiente pianura 1.

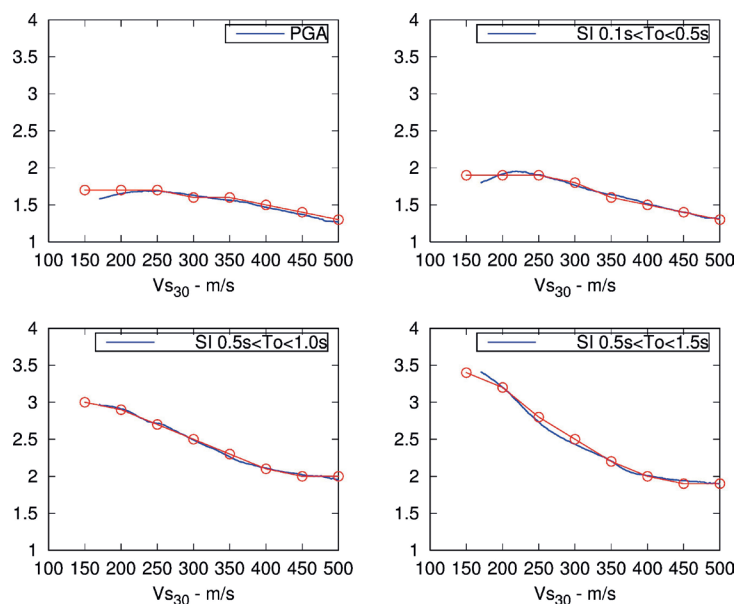


Fig. 2 – Ambiente Pianura 1. Fattori di amplificazione calcolati, linea continua blu; Fattori di amplificazione delle tabelle, linea rossa con cerchi.

La revisione delle tabelle, realizzata nell'ambito delle attività previste dall'art. 17 dell'OPCM 4007/2012 (attuazione della seconda annualità del fondo per studi di riduzione del rischio sismico previsto dall'art. 11 L. 77/2009), è attualmente sottoposta a una fase di verifica prima dell'inizio dell'iter legislativo necessario per la loro approvazione e emanazione.

Microzonazione sismica e norme tecniche per le costruzioni. Il sisma di maggio–giugno 2012 che ha colpito l'Emilia-Romagna e la Lombardia ha evidenziato l'importanza dei suoli, anche a causa delle forti evidenze di comportamenti non lineari, quali cedimenti e liquefazioni. La microzonazione sismica viene quindi a assumere un ruolo rilevante ai fini della riduzione del rischio sismico, dal momento che la stima degli effetti di sito è il suo scopo principale. Il fatto da un lato è positivo perché contribuisce a una maggiore conoscenza dei suoli e della loro risposta al terremoto, dall'altro, per la sua accresciuta rilevanza, rischia di confliggere con le vigenti norme tecniche NTC 2008 (NTC, 2008) che pure prevedono specifiche indicazioni per il calcolo delle azioni sismiche che tengono conto della natura del suolo.

E' opportuno allora ricordare che gli indirizzi emanati dalla Regione Emilia-Romagna sono stati promulgati nel 2007, quindi sono precedenti all'emanazione delle NTC 2008: per il calcolo delle tabelle (vedi paragrafo 'Calcolo amplificazione Sismica') sono stati impiegati accelerogrammi riferiti a un periodo di ritorno di 475 anni. Tale scelta, tutt'altro che casuale, era dettata dalla necessità di usare lo stesso criterio di rischio adottato nelle allora vigenti norme sismiche per le costruzioni.

L'avvento delle NTC 2008 ha radicalmente modificato il criterio di rischio associato al sisma: non vi è più un solo periodo di ritorno. L'importanza della struttura e la sua funzione, attraverso la vita nominale e la classe d'uso, determinano il periodo di ritorno di riferimento, che è anche legato allo stato limite considerato. Le NTC 2008 infatti prevedono la pericolosità calcolata per un tempo di esposizione t che può variare tra 35 e 200 anni. A titolo d'esempio per SLV ($P=10\%$) si passerebbe da circa 330 a 1900 anni di periodo di ritorno.

Risulta evidente che un suolo ha una risposta ben differente se eccitato da un terremoto con periodo di ritorno di 330 anni o da un terremoto con periodo di ritorno di 1900 anni.

La microzonazione sismica come proposta negli indirizzi rimane uno strumento estremamente utile per la riduzione del rischio sismico, ma è bene tenere presente che è aumentato il rischio di entrare in conflitto con le NTC 2008. Non basta infatti sostenere che microzonazione e NTC 2008 si applicano su obiettivi diversi: risultati contraddittori per lo stesso suolo sono fonte di obiettive difficoltà, in special modo durante la ricostruzione post-sisma. Un esempio è la tematica della liquefazione: calcolato con un sisma di input di periodo di ritorno di 475 anni (classicamente usato in studi di microzonazione) un suolo può non arrivare alla liquefazione ma il fenomeno può scatenarsi per un periodo di ritorno di 1900 anni. L'amplificazione sismica, seppure meno drammatica nei suoi effetti rispetto alla liquefazione, dovrà tenere conto dei citati aspetti di NTC 2008.

Nel prossimo futuro prevediamo di produrre nuovi abachi calcolati con accelerogrammi di input riferiti ai vari periodi di ritorno di NTC 2008.

Bibliografia

- Facciorusso J., Crespellani T., Martelli L., Romani M., Manicardi A., Ugoletti C., Mazzetti G.P., Campagnoli L., Marabini S., Nonni E., Sbarzaglia D., Madiati C., Vannucchi G.; 2012: *Microzonazione sismica, uno strumento consolidato per la riduzione del rischio. L'esperienza della Regione Emilia-Romagna*. Regione Emilia-Romagna, Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli, aprile 2012.
- Lee V.W. and Trifunac M.D.; 2010: *Should average shear-wave velocity in the top 30 m of soil be used to describe seismic amplification?* Soil Dyn. Earthq. Eng. 30(11), 1540–154.
- Meletti C., Montaldo V.; 2007: *Stime di pericolosità sismica per diverse probabilità di superamento in 50 anni: valori di ag*. Progetto DPC-INGV S1, Deliverable D2, <http://esse1.mi.ingv.it/d2.html>
- Montaldo V., Meletti C.; 2007: *Valutazione del valore della ordinata spettrale a 1sec e ad altri periodi di interesse ingegneristico*. Progetto DPC-INGV S1, Deliverable D3, <http://esse1.mi.ingv.it/d3.html>
- NTC; 2008: Norme Tecniche per le Costruzioni. Decreto del Ministero delle Infrastrutture del 14 gennaio 2008, Gazzetta Ufficiale n. 29, 4 febbraio 2008, Supplemento Ordinario n. 30.

- Regione Emilia-Romagna; 2007: *Atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell'art. 16, c. 1, della L. R. 20/2000 per "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica"*. Deliberazione dell'Assemblea Legislativa della Regione Emilia-Romagna n. 112 del 2/5/2007, Bollettino Ufficiale della Regione Emilia-Romagna n. 64 del 17/5/2007
- Schnabel, P.B., Lysmer, J. and Seed, H.B.; 1972: *SHAKE: a computer program for earthquake response analysis of horizontally layered sites*. Report No. UCB/EERC-72/12, University of California, Berkeley, December, 102p.