

VALIDAZIONE DEGLI ABACHI PER LA STIMA DELL'AMPLIFICAZIONE LITO-STRATIGRAFICA PER GLI STUDI DI MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO II DELLA REGIONE MARCHE

E. Paolucci, A. Tanzini, D. Albarello, G. Peruzzi

Dipartimento di Scienze Fisiche, della Terra e dell'Ambiente, Università degli Studi di Siena, Italy

Introduzione. Nell'ambito degli studi di Microzonazione Sismica di livello II, come suggerito dagli Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica (DPC-CRPA, 2008), alcuni Enti preposti alla gestione del territorio (Regioni e Amministrazioni Locali) si sono dotati di procedure semplificate (abachi) volte alla stima dell'amplificazione del moto sismico. In particolare, tali abachi sono finalizzati alla caratterizzazione quantitativa dei fenomeni di amplificazione attesi nella zone "stabili suscettibili di amplificazione" per le quali un approccio semplificato possa avere significato, ovvero in situazioni lito-stratigrafiche caratterizzate da stratificazioni con buona approssimazione piane e orizzontali. Si tratta sostanzialmente di tabelle nelle quali ad un insieme di valori assunti da parametri litostratigrafici e geofisici considerati diagnostici siano associati univocamente valori attesi dell'amplificazione del moto sismico in termini di "Fattore di Amplificazione" (FA) rispetto ad un terreno di riferimento. Per gli abachi regionali fin qui emanati, i valori di FA sono espressi come il rapporto, per un determinato intervallo di periodi T , tra il moto alla superficie del sito d'interesse e il moto alla superficie di un sito di riferimento, calcolato secondo la seguente relazione:

$$FA = \frac{\int_{T_1}^{T_2} Sa \, dT}{\int_{T_1}^{T_2} Sb \, dT}, \quad (1)$$

dove Sa è lo spettro di risposta elastico in accelerazione della componente orizzontale del moto in superficie al di sopra della copertura, Sb è lo spettro di risposta elastico in accelerazione al sito di riferimento, T_1 e T_2 rappresentano gli estremi dell'intervallo di periodi considerati. Gli abachi sono stati definiti sulla base di analisi di risposta sismica 1D di casi reali ritenuti caratteristici e significativi del contesto litologico, geotecnico e geofisico locale proprio di ciascuna regione. I valori dei vari FA riportati negli abachi regionali corrispondono a diversi percentili del totale dei casi studiati per l'intervallo di periodi considerati.

Lo scopo di questo lavoro è la validazione degli abachi regionali proposti per la Regione Marche (Gruppo di Lavoro “Microzonazione Sismica delle Marche”, 2015). Dal momento che gli abachi sono stati definiti come stime cautelative dei valori di FA e tali valori corrispondono al 75° percentile della totalità dei profili considerati, ci si aspetta che i valori definiti al loro interno siano caratterizzati da una probabilità di eccedenza del 25% (ovvero nel 75% dei casi il valore dovrebbe risultare conservativo). La procedura di validazione è stata realizzata prendendo in considerazione l’ingente quantità di dati geologici e geofisici ottenuti tramite il progetto di Microzonazione Sismica di livello III (MSIII) dei Comuni marchigiani colpiti dagli eventi sismici del 2016 (<https://sisma2016.gov.it/wp-content/uploads/2017/05/Ordinanza-24-del-12-maggio-2017.pdf>). In particolare, sono stati confrontati i valori di FA stimati con l’uso degli abachi con quelli calcolati attraverso le analisi di risposta sismica locale 1D realizzate dai professionisti incaricati degli studi di Microzonazione dei 25 Comuni appartenenti alla Macroarea denominata “Marche 1”.

Costruzione degli abachi della Regione Marche. L’obiettivo fondamentale della procedura di costruzione è quello di fornire stime statisticamente valide e ragionevolmente conservative del valore di FA atteso nelle diverse situazioni litostratigrafiche presenti nelle Marche. In modo da rendere il più agevole possibile la procedura di utilizzo, tali stime devono poter essere fornite a partire da un numero ristretto di parametri relativamente agevoli da determinare sperimentalmente nella pratica professionale. In questo caso sono stati scelti due parametri chiave:

- il valore di $V_{s_{30}}$ (la velocità media delle onde S nei primi 30 metri) o V_{s_H} (la velocità media delle onde S fino al substrato sismico, ovvero il tetto dei corpi geologici con velocità delle onde S almeno pari a 800m/s), da utilizzarsi rispettivamente nei casi in cui il substrato sismico si trova oltre o al di sotto dei 30m;
- il valore della frequenza di risonanza f_0 relativa alle coperture.

La procedura di costruzione degli abachi della Regione Marche (Gruppo di Lavoro “Microzonazione Sismica delle Marche”, 2015), affine a quella utilizzata dalla Regione Toscana (Peruzzi *et al.*, 2016), è stata caratterizzata da tre fasi operative. La prima ha previsto l’individuazione delle diverse tipologie lito-stratigrafiche (TLS) presenti nelle zone di interesse e viene sviluppata sulla base delle conoscenze disponibili sulla situazione stratigrafica (in prospettiva sismica) delle diverse aree geologiche della Regione. In questa fase, sono stati preliminarmente identificati tre Domini Geologici (DG) caratterizzati da analoghe modalità deposizionali ed evoluzione tettonica:

1. Dominio Calcareo, costituito dai massicci e dalle dorsali montuose carbonatiche di età triassico-cretacico;
2. Dominio Alluvionale, costituito dai fondivalle alluvionali e costieri e dalle conche intermontane di età quaternaria;
3. Dominio Terrigeno, costituito dalla fascia dei rilievi collinari di età mio-plio-pleistocenica.

Per ciascun DG sono state determinate successioni deposizionali “tipo”, nelle quali sono state individuate formazioni (Unità Lito-Stratigrafiche o ULS) caratterizzate da specifiche caratteristiche in termini sismici. In pratica, ciascuna TLS è costituita da una specifica successione di ULS. Ciascuna ULS è stata definita in termini di proprietà geometriche (spessori e profondità) e sismiche (velocità delle onde S, curve di decadimento della rigidità e di incremento del rapporto di smorzamento con la deformazione di taglio). Queste proprietà sono state caratterizzate da una variabilità che viene connotata statisticamente in termini di limiti di variazione attorno ad un valore centrale rappresentativo. Di particolare importanza in questa fase è stata inoltre la definizione in termini di profondità del substrato sismico di riferimento in corrispondenza del quale lo scuotimento sismico è assunto come noto. Quest’ultimo è stato dedotto a partire dalla stima della pericolosità sismica identificando un gruppo di 8 accelerogrammi sperimentali (moto di riferimento) rappresentativi della sismicità attesa nell’area di interesse.

Nella seconda fase, per ciascuna TLS dei diversi DG e tenendo conto della variabilità dei parametri sismici definita nella prima fase, è stato generato un campione di profili sismo-stratigrafici ciascuno costituito mediamente da un centinaio di profili. In particolare, tramite la procedura implementata nel codice STRATA (Rathje e Kottke, 2013), per ciascun elemento del campione e per i diversi accelerogrammi rappresentativi della pericolosità locale, sono stati definiti gli spettri di risposta in accelerazione del moto in superficie. In questo modo, è stato possibile generare, per ogni TLS, una popolazione di FA usando l'Eq. (1): in particolare, per la prima stesura degli abachi, i valori di FA sono stati calcolati per gli intervalli di periodi 0.1-0.5 s e 0.5-1 s.

La terza fase è stata dedicata alla costruzione degli abachi veri e propri in forma di tabelle dove per ciascuno dei 3 DG e per ciascuno dei 2 intervalli di periodi scelti viene determinato il valore di FA: in particolare, tale valore corrisponde al 75° percentile della totalità dei profili considerati riferiti ad una specifica combinazione dei due parametri sperimentali diagnostici, ovvero $V_{s_{30}}$ (o V_{s_H}) e f_0 . Nella prima stesura, sono stati prodotti 2 coppie di abachi (uno per ciascuno dei due intervalli di periodi di riferimento) per ciascuno dei DG individuati: una coppia riferita ai casi dove il substrato sismico si trova a profondità maggiori di 30 m, ed una riferita ai casi in cui quest'ultimo si trova a profondità minore di 30 m. Per il Dominio Terrigeno, vista la mancanza di TLS caratterizzate da un substrato sismico a profondità minore di 30 m, è stata realizzata solo la coppia di abachi riferita a profondità maggiori.

Infine, per facilitare i professionisti all'individuazione del DG di appartenenza per la località di interesse, è stata fornita una tabella con un'attribuzione di massima dei Comuni marchigiani al dominio di riferimento.

Procedura di validazione e integrazione degli abachi. Come accennato in introduzione, la procedura di validazione è stata effettuata prendendo in considerazione i dati geologici e geofisici nonché i risultati delle analisi di risposta sismica locale (RSL) ottenuti dagli studi di MSIII dei Comuni marchigiani appartenenti alla Macroarea "Marche 1". Per rendere possibile la comparazione tra i due tipi di FA, è stato necessario ricostruire gli abachi per i 3 intervalli di periodi oggetto delle analisi RSL negli studi di MSIII, ovvero 0.1-0.5 s, 0.4-0.8 s e 0.7-1.1 s.

Per stimare i valori di FA tramite l'utilizzo degli abachi, per prima cosa sono stati recuperati tutti i profili di V_s appartenenti alle zone stabili suscettibili di amplificazione sia ottenuti direttamente (misure di down-hole), sia indirettamente (inversioni congiunte di curve MASW e HVSr). Dopo aver individuato il DG di riferimento del Comune preso in considerazione, per ciascun profilo è stata stimata la profondità del substrato sismico (maggiore o minore di 30 m) e di conseguenza i valori di $V_{s_{30}}$ o V_{s_H} . Il valore di FA corrispondente per ciascuno dei tre intervalli di periodi di riferimento è stato individuato incrociando l'informazione riferita alle V_s con il valore di f_0 identificato dalla misura HVSr realizzata più vicina al down-hole (per i profili stimati direttamente) oppure da quella considerata per l'inversione congiunta (per i profili stimati indirettamente). La terna di FA individuata attraverso gli abachi per ciascun profilo di V_s è stata confrontata con la terna associata a ciascuna zona stabile suscettibile di amplificazione stimata dalle analisi RSL della MSIII. Visto che i valori di FA degli abachi sono stati definiti come stime cautelative, è stato necessario individuare la quantità dei casi dove i valori di FA della MSIII eccedevano rispetto a quelli definiti dagli abachi. In particolare, ci si aspetta che i valori definiti negli abachi siano caratterizzati da una probabilità di eccedenza del 25% (ovvero nel 75% dei casi il valore dovrebbe risultare conservativo). Per valutare la probabilità che il numero delle non eccedenze osservate sia stata una semplice fluttuazione casuale e che quindi lo scarto rispetto al numero atteso $\mu(M)$ sia non significativo, è stato stimato il valore del parametro Z , definito come:

$$Z = \frac{K - \mu(M)}{\sigma(M)}, \quad (2)$$

dove K è il numero delle non eccedenze osservate, $\mu(M)$ e $\sigma(M)$ sono rispettivamente la media e la deviazione standard delle M non eccedenze attese. Se le eccedenze osservate sono maggiori di quelle attese, tale parametro assumerà valore negativo, se viceversa assumerà valore positivo. Inoltre, essendo Z è una variabile casuale gaussiana standardizzata (dal teorema del limite centrale) i valori di Z in valore assoluto maggiori di 2 indicano che lo scarto osservato è significativo e quindi non può essere considerato casuale.

Dopo una prima analisi, il valore di Z è risultato negativo in maniera significativa ($Z > 2$ in valore assoluto) per l'abaco riferito all'intervallo 0.1-0.5 s del DG Terrigeno. Da ciò si deduce tale abaco ha dimostrato di non essere abbastanza conservativo almeno nella parte più superficiale di sottosuolo rispetto al campione di FA sperimentali preso in considerazione. Per questo è stato ritenuto opportuno verificare se le TLS utilizzate per simulare questo DG fossero veramente rappresentative in prospettiva sismica. Per esplorare questa ipotesi, l'abaco riferito alle configurazioni con substrato sismico a profondità maggiori di 30 m è stato integrato con altre 4 TLS, le quali sono state aggiunte alle già disponibili 6. Tali TLS sono state ricavate dalle nuove informazioni geologiche e geofisiche (sondaggi, down-hole, inversioni congiunte MASW-HVSR) ricavate dagli studi MSIII dei Comuni ricadenti sul DG Terrigeno (principalmente Apiro, Camerino, Cingoli, Matelica e Treia per la Macroarea Marche 1). Rispetto alle precedenti, queste nuove TLS sono caratterizzate da profondità minori del substrato sismico e da ULS riferite a formazioni di substrato geologico di origine terrigena (Formazione della Laga, Formazione di Camerino) contraddistinte da valori di V_s maggiori. Tramite le informazioni reperite, è stato inoltre possibile costruire un abaco del DG Terrigeno riferito a configurazioni con substrato sismico a profondità minori di 30 m, in particolare considerando 3 TLS dedotte da alcune configurazioni riscontrate principalmente nei Comuni di Apiro, Camerino e Cingoli.

Dopo aver ricostruito l'intero abaco del DG Terrigeno stimando nuovi valori di FA ottenuti con l'integrazione delle nuove TLS, la procedura di validazione è stata ripetuta. In questo caso, il valore del parametro Z , pur rimanendo negativo, è notevolmente diminuito in termini di valore assoluto risultando minore di 2. Ciò testimonia la validità del nuovo abaco nel fornire stime conservative.

Conclusioni. La procedura di validazione svolta sulla prima stesura degli abachi della Regione Marche è stata di fondamentale importanza per verificare se le stime di FA attese nei diversi DG fossero ragionevolmente conservative. Ciò è stato possibile grazie alla notevole quantità di dati ottenuti dagli studi di MSIII, che hanno permesso di prendere in considerazione più di 300 profili di V_s , di cui più di 30 ottenuti direttamente tramite indagini down-hole. Dagli esiti del lavoro è emerso che gli abachi producono una stima di FA considerevolmente conservativa per i DG Calcareo e Alluvionale. Ciò non è risultato per il Dominio Terrigeno, il cui abaco è stato integrato con nuove TLS che ne hanno notevolmente migliorato il carattere conservativo delle stime di FA.

Bibliografia

- Dipartimento della Protezione Civile e Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome, 2008: *Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica (ICMS)*. Dipartimento della Protezione Civile, Roma, 515 pp., http://www.protezionecivile.gov.it/jcms/it/view_pub.wp?contentId=PUB1137.
- Gruppo di Lavoro "Microzonazione Sismica delle Marche", 2015: *Realizzazione di abachi regionali per amplificazioni lito-stratigrafiche finalizzati alla redazione di cartografie di microzonazione sismica di livello II relative alle Marche*. Relazione Tecnica.
- Peruzzi G., Albarello D., Baglione M., D'Intinosante V., Fabbri P., Pileggi D.; 2016: *Assessing 1D litho-stratigraphical amplification factor for microzonation studies in Italy*. Bull. Earthquake Eng., 14:373-389.
- Rathje E. M. e Kottke A.; 2013: "Strata". Disponibile in <http://nees.org/resources/strata>.