

APPLICABILITÀ DEGLI ABACHI PER LA MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO 2 Gruppo di Lavoro "Abachi"¹

Introduzione. Per favorire la massima diffusione degli studi di microzonazione sismica (MS), gli Enti preposti al governo del territorio (Regioni e Amministrazioni Locali) hanno avvertito la necessità di definire criteri e procedure che permettessero di acquisire ed elaborare i dati con costi e tempi contenuti, garantendo comunque l'attendibilità scientifica degli elaborati finali. Sono state così definite procedure che, sulla base di dati litostratigrafici (spessore delle coperture, profondità e tipo di substrato), geotecnici e geofisici (V_s nell'intervallo di copertura considerato) acquisiti con indagini di tipo corrente, permettono la stima dell'amplificazione in superficie con fattori di amplificazione (FA) calcolati tramite abachi (MS di secondo livello di approfondimento o livello 2; ICMS, 2008).

In genere, i FA indicati nei vari abachi regionali fin qui emanati (Albarello e Peruzzi, 2014; Regione Lombardia, 2005, Regione Emilia-Romagna, 2007; Regione Lazio, 2011; Regione Liguria, 2015; Regione Toscana, 2015; Tento *et al.*, 2014), 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:

$$FA = \frac{\int_{T_1}^{T_2} Sa \, dT}{\int_{T_1}^{T_2} Sb \, dT}$$

dove Sa è lo spettro di risposta elastico (in accelerazione o velocità) della componente orizzontale del moto in superficie al di sopra della copertura, Sb è lo spettro di risposta elastico (in accelerazione o velocità) al sito di riferimento, T_1 e T_2 rappresentano gli estremi dell'intervallo di periodi considerati. In genere, i valori di FA considerati fanno riferimento a due intervalli di T : uno relativo ai corti periodi ($T_1=0.1$ s e $T_2=0.5$ s) ed uno a più lunghi periodi ($T_1 = 0.5$ s e $T_2=1.0$ s).

I risultati ottenuti con l'applicazione degli abachi non danno nessuna indicazione sulla forma degli spettri di risposta elastici in superficie ovvero sul livello di amplificazione corrispondente a ciascun singolo periodo spettrale.

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 (84% per gli abachi Regione Emilia-Romagna, 75% per gli abachi Regione Toscana

¹ Gruppo di Lavoro "Abachi":

Dario Albarello, *Università di Siena - Dipartimento Scienze Fisiche, della Terra e dell'Ambiente*

Massimo Baglione, *Regione Toscana - Settore Sismica*

Simone Barani, *Università di Genova - Dipartimento di Scienze della Terra dell'Ambiente e della Vita*

Daniele Bottero, *Regione Liguria - Settore Assetto del Territorio*

Sergio Castenetto, *DPC - Ufficio Rischio Sismico e Vulcanico*

Antonio Colombi, *Regione Lazio - Agenzia Regionale di Protezione Civile*

Massimo Compagnoni, *Politecnico di Milano - Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale*

Vittorio D'Intinosante, *Regione Toscana - Settore Sismica*

Roberto De Ferrari, *Università di Genova - Dipartimento di Scienze della Terra dell'Ambiente e della Vita*

Eugenio Di Loreto, *Regione Lazio - Direzione Regionale Infrastrutture, Ambiente e Politiche Abitative*

Pierangelo Fabbroni, *Regione Toscana - Settore Sismica*

Gabriele Ferretti, *Università di Genova - Dipartimento di Scienze della Terra dell'Ambiente e della Vita*

Luca Martelli, *Regione Emilia-Romagna - Servizio geologico, sismico e dei suoli*

Giuseppe Naso, *DPC - Ufficio Rischio Sismico e Vulcanico*

Floriana Pergalani, *Politecnico di Milano - Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale*

Giacomo Peruzzi, *Università di Siena - Dipartimento Scienze Fisiche, della Terra e dell'Ambiente*

Daniele Spallarossa, *Università di Genova - Dipartimento di Scienze della Terra dell'Ambiente e della Vita*

Alberto Tento, *CNR - Istituto per le Dinamica dei Processi Ambientali.*

e Liguria, 50% per gli abachi Regioni Lazio e Regione Lombardia) del totale dei casi studiati per l'intervallo di periodi T considerati.

Le analisi effettuate per la costruzione degli abachi, essendo modellazioni 1D, non tengono conto delle variazioni laterali della litostratigrafia che si possono verificare nelle valli strette, nei bacini intramontani o nelle zone di passaggio tra rilievi e aree pianeggianti. In generale, la presenza di morfologie sepolte può dare origine a fenomeni di interferenza capaci di aumentare il livello di scuotimento sismico del suolo più di quanto avvenga in condizioni monodimensionali ovvero in presenza di stratificazioni piano-parallele caratterizzate da marcati contrasti di impedenza sismica al loro interno.

Questi fenomeni possono essere associati a tre tipi di processo:

- generazione di nuove fasi sismiche (onde superficiali) al bordo del bacino,
- fenomeni di focalizzazione delle onde di volume generati dalle geometrie sepolte
- risonanza complessiva del bacino sepolto.

In tali contesti, i risultati di analisi di risposta sismica 1D possono sottostimare l'amplificazione. Pertanto, per un'analisi più realistica della risposta sismica può essere necessario ricorrere a modelli più complessi (2D o 3D). In altri termini, ai fini di una più corretta applicazione degli studi di MS, in particolare di quelli di secondo livello di approfondimento, occorre definire il campo di validità degli abachi, ovvero in quali contesti geologici e geomorfologici gli abachi forniscono stime adeguate dell'amplificazione e in quali invece forniscono sottostime.

Per quanto riguarda la risonanza complessiva del bacino, gli ICMS (2008) chiedono di identificare e rappresentare già nelle mappe di primo livello, con apposito simbolo, l'eventuale presenza di valli strette, tramite la stima del coefficiente di forma $C=h/l$, dove h è lo spessore della coltre di copertura (o profondità della valle) e l la semiampiezza della valle; se $C>0.25$ la valle è considerata stretta. Per l'utilizzo degli abachi negli studi di secondo livello gli ICMS (2008) (cfr § 2.5.2 "Limiti di utilizzo degli abachi") chiedono poi di verificare, dalle mappe di primo livello, la presenza delle seguenti condizioni:

- forme di superficie che possono determinare amplificazioni topografiche;
- geometria articolata del substrato geologico sepolto che potrebbe determinare effetti 2D;
- importanti inversioni di V_s ;
- condizioni di instabilità.

La presenza di tali condizioni potrà indirizzare verso l'utilizzo di metodi più complessi per la stima delle amplificazioni a meno che alcune di queste condizioni (per esempio la presenza di inversioni nel profilo di velocità) siano previste nella formulazione degli abachi utilizzati.

Per valutare la possibile presenza di effetti di risonanza complessiva del bacino indotte dalla presenza di forme sepolte del substrato viene consigliato di fare riferimento all'approccio semplificato proposto da Bard e Bouchon (1985). Tale valutazione può essere effettuata con la formula

$$\frac{h}{l} \leq \frac{0.65}{\sqrt{C_v - 1}}$$

dove C_v il rapporto tra V_s del substrato e V_s media dei terreni di riempimento della valle o bacino.

Se l'equazione è verificata nella situazione analizzata gli effetti di risonanza complessiva potranno essere considerati trascurabili e, al netto di possibili effetti di focalizzazione o legati alla generazione di nuove fasi sismiche (onde superficiali) sarà possibile stimare l'amplificazione con modelli 1D.

Negli ICMS (2008) non viene però riportato nessun criterio per l'identificazione degli altri due fenomeni di potenziale interesse (presenza di onde superficiali e fenomeni di focalizzazione).

D'altro canto, la possibile presenza di fenomeni di questo tipo può rendere inefficace l'impiego di abachi semplificati nella MS di livello 2. In particolare, risulta importante valutare in quali condizioni (distanza dal bordo del bacino, entità del contrasto di impedenza sismica al fondo di questo, ecc.) gli FA possano risultare errati per difetto, fornendo indicazioni poco cautelative. Questo problema è della massima importanza. Infatti, data la conformazione fisica del territorio italiano, gran parte dei centri abitati si sono sviluppati proprio nei fondovalle e nelle conche intramontane, dove le conoscenze geologiche disponibili confermano importanti variazioni litostratigrafiche laterali.

Per questo motivo i tecnici di alcune Regioni, del DPC ed esperti di settore impegnati nella realizzazione di studi di MS e linee guida hanno avvertito la necessità di confrontarsi per valutare le potenzialità e i limiti di applicazione delle procedure di stima dell'amplificazione di abachi nei contesti regionali d'interesse¹.

Metodo di analisi. Gli Enti territoriali che hanno partecipato a tale gruppo di lavoro dispongono di conoscenze e dati che permettono di ricostruire un'ampia casistica di situazioni geomorfologiche e litostratigrafiche: dalle valli strette e profonde della Liguria e della dorsale appenninica, ai bacini intramontani (*graben*) della Toscana, alle valli ampie dell'Appennino emiliano, ai margini catena-pianura dell'Emilia-Romagna, della Toscana e del Lazio.

Ogni Regione ha quindi proposto una serie di sezioni schematiche rappresentative di situazioni geologiche e geomorfologiche ritenute realistiche (per quanto semplificate) e rappresentative del proprio territorio. Sono state quindi analizzate variazioni laterali di geometria e spessore dei terreni di copertura² o della profondità delle discontinuità litologiche capaci di determinare rilevanti contrasti di impedenza sismica, assimilabili perciò al tetto del substrato³.

Tali situazioni sono state oggetto di stima dell'amplificazione sismica tramite l'impiego di abachi già formulati da alcune Regioni e modellazioni 1D in siti spazati ad intervalli regolari e modellazioni 2D lungo l'intera sezione; i risultati sono stati quindi confrontati al fine di verificare le differenze tra i fattori di amplificazione FA ottenuti con analisi 2D e quelli ottenuti con analisi 1D e con gli abachi di riferimento.

Le varie sezioni oggetto delle modellazioni differiscono per differenti valori dei seguenti parametri:

- ampiezza della valle;
- spessore dei terreni di copertura (depositi di riempimento della valle o del bacino) o profondità del substrato;
- inclinazione dell'interfaccia copertura/substrato, vale a dire pendenza del bordo della valle o del bacino;
- densità, smorzamento e V_s dei terreni di riempimento della valle o bacino (copertura);
- densità, smorzamento e V_s del substrato.

In sintesi sono state modellate valli di ampiezza variabile da 200 m (valle stretta) a 1600 m (valle larga o bacino intramontano), con spessore di copertura variabile da 20 m (valle poco incisa) a 150 m (valle profonda) e diversa inclinazione dell'interfaccia copertura/substrato in corrispondenza dei bordi dei modelli numerici del terreno. Le densità dei terreni sono state assunte dell'ordine di 1.6-2 g/cm³ per i terreni della copertura e 2.1-2.3 g/cm³ per il substrato; le V_s della copertura sono state assunte variabili tra 200 e 500 m/s mentre le V_s del substrato sono state assunte variabili tra 400 e 1400 m/s in maniera da simulare sempre contrasti di impedenza substrato/copertura da 2 a 4.

Simulazioni di valli ancora più ampie di quelle modellate non hanno fornito differenze significative. La situazione di margine catena-pianura (es. margine appenninico – Pianura Padana) non è stata modellata.

² terreni di copertura: depositi di riempimento della valle o del bacino caratterizzati da V_s media < 500 m/s, comunque inferiore o uguale alla metà della V_s del corpo roccioso sottostante più rigido, assimilabile a substrato.

³ substrato: corpo roccioso o deposito caratterizzato da $V_s > 400$ m/s e almeno doppia rispetto alla V_s del deposito soprastante (copertura).

Le sezioni sono state modellate mediante diversi codici di calcolo in campo 1D o 2D: SHAKE (Idriss *et al.*, 1992), STRATA (Rathje e Kottke, 2013), QUAD4M (Hudson *et al.*, 1993), BESOIL (Sanò, 1996) e il codice di calcolo di Bard e Gariel (1986).

Sintesi dei risultati. Dalle analisi effettuate è emerso quanto segue:

- nelle zone di bordo le modellazioni 1D forniscono molto spesso valori di FA compatibili, e talvolta anche più conservativi, delle modellazioni 2D;
- nelle restanti porzioni si nota che:
 - 1) nel caso di valle classificata “larga” l'amplificazione dovuta a effetti 2D tende a crescere verso il centro della valle fino ad una distanza che dipende dalla geometria dell'interfaccia copertura/substrato, dal valore del rapporto $V_{s,substrato}/V_{s,media}$ della copertura e, a parità di questo rapporto, anche dal valore di $V_{s,media}$ della copertura; al centro della valle non si osservano differenze significative tra amplificazione 2D e 1D;
 - 2) nel caso di valle classificata “stretta” la rilevanza degli effetti 2D aumenta con lo spessore della copertura e si estende per tutta l'ampiezza della valle, con maggiore importanza al centro; in questi casi si possono verificare discrepanze non trascurabili tra l'amplificazione stimata tramite analisi 1D e 2D;
- si osserva una buona applicabilità della relazione di Bard e Bouchon (1985);
- infine, nei casi di bassi valori di V_s media della copertura (≤ 200 m/s) si osserva, verso il centro della valle, un effetto di focalizzazione delle onde;
- salvo per quanto riguarda situazioni caratterizzate da forti contrasti di impedenza sismica (>4), gli abachi considerati nelle analisi numeriche forniscono valori di FA sempre conservativi rispetto a quanto prodotto dai fenomeni 2D modellati.

Questi risultati riguardano i soli valori di F_a ; differenze nelle forme spettrali, invece, possono essere assai significative.

Inoltre, i risultati ottenuti, valgono per le geometrie esaminate che rappresentano una casistica sufficientemente rappresentativa; tali risultati potrebbero non risultare confermati per geometrie significativamente differenti.

In sintesi, risulta che gli abachi possono essere utilizzabili sempre quando si verificano simultaneamente le seguenti condizioni:

- se si è in presenza di una valle classificata “larga” (ICMS, 2008), ovvero con coefficiente di forma $C < 0.25$;
- quando il rapporto $V_{s,substrato}/V_{s,media}$ della copertura è minore di 4 e si è in presenza di bacini con spessore delle coperture indicativamente minore di 50 m oppure quando è minore di 3 nei casi di bacini con spessore delle coperture indicativamente minore di 150 m;
- quando è verificata la relazione di Bard e Bouchon (1985).

Pertanto, in considerazione anche del fatto che contrasti di impedenza maggiori di 4 non sono stati finora riscontrati nelle aree d'interesse, gli abachi, e quindi il secondo livello di approfondimento, trovano una vasta applicazione negli studi di microzonazione sismica. Tale risultato, è imputabile anche al carattere assai conservativo degli abachi regionali fin qui prodotti.

Bibliografia

- Albarelo D., Peruzzi G., 2014: *Abachi regionali per amplificazioni litostratigrafiche finalizzati alla redazione di carte di microzonazione sismica di livello II*. Disponibile in http://www.rete.toscana.it/sett/pta/sismica/01informazione/formazione/pubblicazioni/microzonazione/02_ps_locale/02_cap10.htm
- Bard P. Y., Bouchon M., 1985: *The two-dimensional resonance of sediment-filled valleys*, Bull. Seis. Soc. Am., 75, N. 2, 519-541.
- Bard P. Y., Gariel J. C., 1986: *The seismic response of two-dimensional sedimentary deposits with large vertical velocity gradient*. Bull. Seis. Soc. Am., 76, 343-346.
- Hudson M.B., Idriss I.M., Beikae M., 1993. *QUAD4M, A computer program for evaluating the seismic response of soil structure by variable damping finite element procedures*. Report of Dip. of Civil & Environmental Eng., University of California, Davis

- ICMS, 2008: *Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica*. Dipartimento della Protezione Civile e Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome. Dipartimento della Protezione Civile, Roma, 515 pp., disponibile in http://www.protezionecivile.gov.it/jcms/it/view_pub.wp?contentId=PUB1137
- Idriss I.M., Sun J.I., 1992. *User's manual for SHAKE91, A computer program for conducting equivalent linear seismic response analyses of horizontally layered soil deposits*. Report of Dip. of Civil & Environmental Eng., University of California, Davis
- Rathje E.M., Kottke A., 2013: *Strata*. Disponibile in <http://nees.org/resources/strata>
- Regione Emilia-Romagna, 2007: *Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica*. Delibera dell'Assemblea Legislativa n. 112/2007
- Regione Lazio, 2011: *DGR n. 490 del 21 ottobre 2011 - Approvazione degli Abachi Regionali per gli studi di Livello 2 di Microzonazione Sismica ai sensi della DGR Lazio n. 545 del 26 novembre 2010 e procedure di applicazione nell'ambito del rilascio del parere ai sensi dell'art. 89 del DPR del 6 giugno 2001 n. 380*. Modifica alla DGR Lazio n. 545/2010.
- Regione Toscana, 2015: *Del. G.R.T. n.144 del 23 febbraio 2015 – Approvazione nuove specifiche tecniche per la redazione degli studi di Microzonazione Sismica e abachi litostratigrafici regionali per la redazione di studi di MS di livello 2*
- Regione Liguria, 2015: *Abachi Regionali per l'amplificazione stratigrafica* (Contratto di servizio tra Regione Liguria e DISTAV dell'Università degli studi di Genova, G.Ferretti, D. Spallarossa, S. Barani, R. De Ferrari)
- Regione Lombardia, 2005: *D.G.R. n. 8/1566 del 22 dicembre 2005 “Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio*, in attuazione dell'art. 57, comma 1, della L.R. 11 marzo 2005, n. 12” e s.m.i. (D.G.R. n. 8/7374 del 28 maggio 2008 – D.G.R. n. 9/2616 del 30 novembre 2011)
- Sanò T., 1996: *BESOIL: un programma per il calcolo della propagazione delle onde sismiche*. Rapporto tecnico SSN/RT/96/9
- Tento A., Martelli L., Marcellini A., 2014: *Abachi per la valutazione dei fattori di amplificazione per le indagini di microzonazione sismica di secondo livello in Emilia-Romagna*. Atti del 33° convegno NGGTS, Bologna 25-27 novembre 2014, Tema 2 “Caratterizzazione sismica del territorio”, 289-294