

# *Aggiornamento degli abachi di amplificazione sismica per la redazione di studi di MS di livello 2*

Dott. E. Paolucci, Dott. G. Peruzzi e Prof. D. Albarello

*Relazione Finale relativa alle attività svolte nell'ambito della Convenzione fra la  
Regione Toscana e il Dipartimento di Scienze Fisiche, della Terra e dell'Ambiente  
dell'Università degli Studi di Siena*

Siena, 19 Novembre 2019

## **Sommario**

1. Introduzione .....	3
2. Procedura adottata per la determinazione degli abachi per la stima dei fattori di amplificazione stratigrafica 1D .....	5
3. Revisione degli abachi .....	8
4. Proposta di abachi per la valutazione semplificata di effetti morfologici.....	9
4.1 Pendii.....	10
4.2 Rilievi isolati .....	11
5. Modalità di impiego .....	12
6. Bibliografia.....	14
Appendice 1: abachi per la stima dell'amplificazione stratigrafica 1D .....	15
Appendice 2: scarti relativi alla versione precedente (2014) .....	29
Appendice 3: popolazioni statistiche dei valori di FA nelle diverse celle degli abachi .....	31

## **1. Introduzione**

Nell'ambito degli Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica (DPC-CRPA, 2008) viene suggerito agli enti preposti di dotarsi di abachi per la caratterizzazione quantitativa dei fenomeni di amplificazione attesa nella zone "stabili suscettibili di amplificazione" per le quali un approccio semplificato possa avere significato (situazioni litostratigrafiche caratterizzate da alternanza di formazioni lungo superfici di discontinuità con buona approssimazione piane e orizzontali). In pratica si tratta di realizzare delle tabelle nelle quali ad un insieme di valori assunti da parametri considerati diagnostici e ad un particolare livello di pericolosità sismica siano associati univocamente valori attesi dell'amplificazione del moto sismico (FA ovvero "Fattore di Amplificazione") rispetto ad un terreno di riferimento. Obiettivo di questi abachi è fornire indicazioni utili alla realizzazione di carte di micro zonazione sismica (MZS) di livello 2 per le aree per le quali gli approcci di tipo semplificato abbiano senso.

Già dal 2014, la Regione Toscana si è dotata di abachi per la stima dell'amplificazione stratigrafica da utilizzare nelle attività di micro zonazione sismica di livello 2 (Peruzzi et al., 2014). La procedura a suo tempo adottata ha avuto come scopo quello di valorizzare il grande patrimonio informativo messo a disposizione dalla Regione Toscana come esito di passate attività di indagine e caratterizzazione della risposta sismica locale (progetti VEL e DOCUP fra il 1996 al 2006) ed allo stesso tempo fornire agli operatori presenti sul territorio uno strumento versatile e specificamente applicabile nelle diverse situazioni lito-stratigrafiche presenti nella Regione Toscana. Nella loro prima formulazione, gli abachi permettevano il calcolo del Fattore di Amplificazione relativo a due intervalli di periodi: 0.1-0.5s e 0.5-1.0s. Nell'ottobre 2017, sono stati emanati dalla Commissione tecnica per la Microzonazione Sismica nuovi standard di rappresentazione e archiviazione informatica da utilizzare negli studi di microzonazione sismica (Art.5, comma 7, OPCM 13 novembre 2010, n. 3907) recepiti a livello regionale con Delibera del G.R.T. n.1162 del 22/10/2018. Questi nuovi standard prescrivono una valutazione del fattore di amplificazione stratigrafica su tre intervalli di periodo parzialmente sovrapposti: 0.1-0.5s, 0.4-0.8s e 0.7-1.1s. Scopo di questa nuova prescrizione è quello di fornire al pianificatore informazioni più dettagliate e meglio calibrate sulle diverse tipologie edilizie presenti sul territorio. Questo ha richiesto una complessiva revisione degli abachi che è l'oggetto della presente relazione. Inoltre, è stata richiesta la formulazione di abachi per la stima dei valori di FA connessi a caratteristiche morfologiche presenti sul territorio, in linea con quanto proposto nell'ambito delle attività di microzonazione sismica sviluppate in Italia centrale su mandato del Commissario Straordinario per la ricostruzione in Italia Centrale (Ordinanza n. 24 del 12 maggio 2017).

Nel primo capitolo della relazione che segue vengono ricapitolati gli aspetti principali della procedura e, di seguito, le azioni svolte per la riformulazione degli abachi regionali secondo i nuovi "Standard di rappresentazione ed archiviazione informatica" da utilizzare per gli studi di

Microzonazione Sismica di Livello 2. Di seguito viene descritta una procedura per determinazione speditiva dei fattori di amplificazione morfologica.

## **2. Procedura adottata per la determinazione degli abachi per la stima dei fattori di amplificazione stratigrafica 1D**

La procedura utilizzata per la costruzione degli abachi regionali della Regione Toscana è stata descritta in un rapporto tecnico (Peruzzi et al., 2014), successivamente pubblicato su rivista (Peruzzi et al., 2016). La stessa procedura è stata di seguito adottata dalla regione Marche e dalla Regione Puglia per lo sviluppo degli abachi regionali ed è in corso di applicazione nella Regione Basilicata. Si tratta di una procedura sostanzialmente in linea con quanto sviluppato dalla Regione Emilia-Romagna e dalla Regione Liguria. Quello adottato rappresenta una sorta di standard largamente condiviso a scala nazionale.

L'obiettivo fondamentale della procedura è quello di fornire stime statisticamente valide e ragionevolmente conservative del fattore di amplificazione atteso nelle diverse situazioni litostratigrafiche presenti nella Regione Toscana ed in particolare nelle aree a maggiore pericolosità sismica. Inoltre, queste stime devono poter essere determinate a partire da un numero ristretto di osservabili. Questi devono essere relativamente agevoli da ottenere sperimentalmente e comunque essere rappresentativi delle diverse possibili situazioni presenti.

A partire da questi vincoli, è stata a suo tempo definita la procedura sinteticamente rappresentata in Figura 1 e caratterizzata da quattro fasi operative.

La prima prevede l'individuazione delle diverse tipologie lito-stratigrafiche (TLS) presenti nelle zone di interesse, tenendo conto dei diversi ambienti sedimentari e della loro distribuzione geografica. Si tratta della fase più importante ed impegnativa dell'intera procedura ed è stata sviluppata sulla base delle conoscenze disponibili sulla situazione stratigrafica (in prospettiva sismica) delle diverse aree geologiche della Regione. Vengono in pratica identificate delle successioni deposizionali "tipo", del tutto analoghe a quelle definite nella MZS di primo livello, all'interno delle quali vengono individuate formazioni (Unità Lito-Stratigrafiche o ULS) caratterizzate da specifiche caratteristiche sismiche. Ciascuna ULS viene definita in termini di proprietà geometriche (possibili spessori e profondità) e sismiche (velocità delle onde di taglio, curve di decadimento e smorzamento). Queste proprietà risultano caratterizzate da una variabilità che è stata connotata statisticamente (sulla base dei dati disponibili) in termini di limiti di variazione attorno ad un valore centrale rappresentativo. Di particolare importanza in questa fase è la definizione del substrato sismico di riferimento (basamento sismico) in corrispondenza del quale lo scuotimento sismico è assunto come noto. Quest'ultimo è stato dedotto a partire dalla stima della pericolosità sismica identificando gruppi di 7 accelerogrammi sperimentali (moto di riferimento) rappresentativi della sismicità attesa nelle diverse zone di interesse. In particolare, a questo scopo si è fatto riferimento al programma *SCALCONA 2.0* disponibile nel sito WEB della Regione Toscana

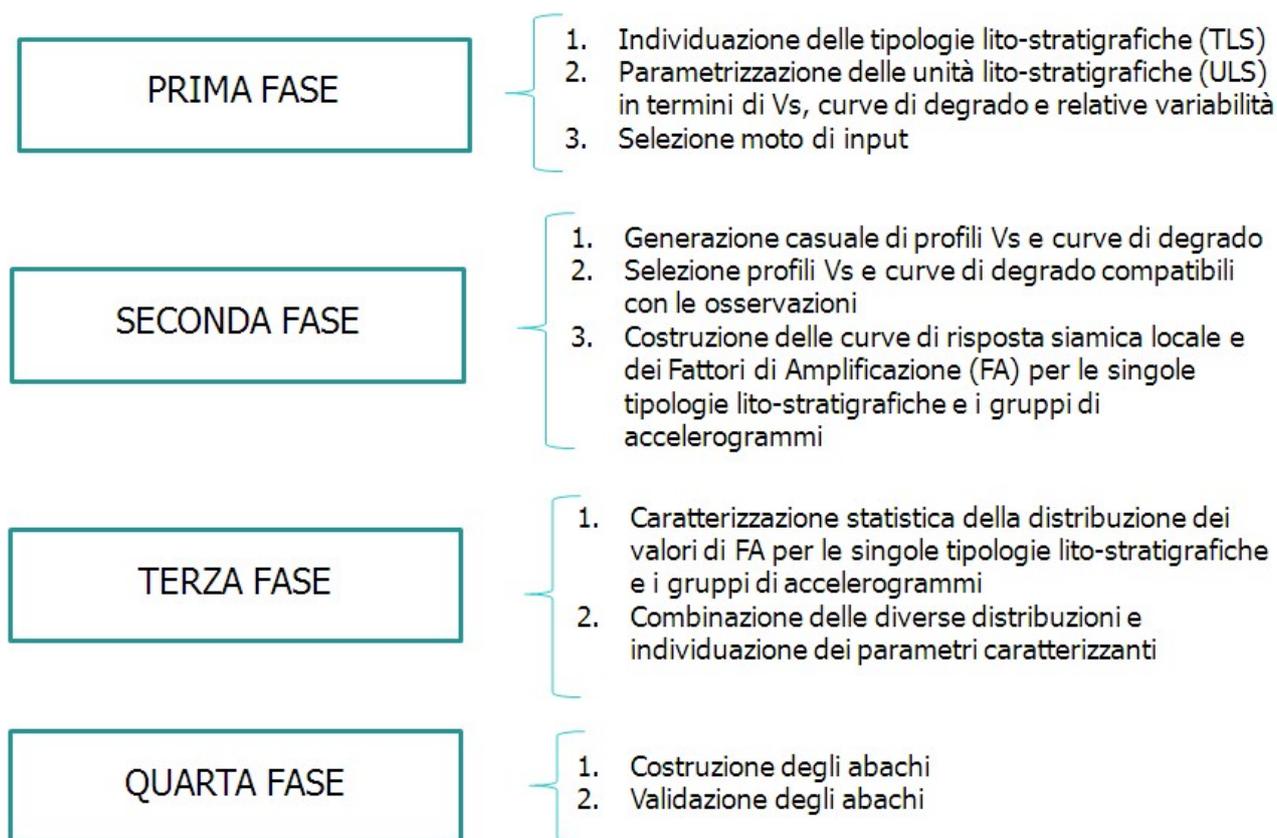
([http://www.rete.toscana.it/sett/pta/sismica/01informazione/banchedati/input\\_sismici/progettazione/index.htm](http://www.rete.toscana.it/sett/pta/sismica/01informazione/banchedati/input_sismici/progettazione/index.htm))

per l'individuazione di accelerogrammi spettro-compatibili con le stime di pericolosità di riferimento per il tempo di ritorno di 475 anni (<http://esse1-gis.mi.ingv.it/>). In particolare, sono state distinte diverse zone in funzione del diverso livello di pericolosità sismica

Nella seconda fase, per ciascuna TLS e tenendo conto della variabilità dei parametri sismici definita nella prima fase, è stato generato un campione di un centinaio di profili sismostratigrafici utilizzando la procedura lineare equivalente implementata nel codice "STRATA" (Rathje and Kottke, 2013) e che permette di generare profili sismici connotati da specifiche proprietà statistiche e rappresentativi delle situazioni compatibili con i vincoli posti dall'operatore sulla base delle conoscenze disponibili. Questa fase era stata accompagnata dal costante controllo dell'operatore che, sulla base di giudizio esperto, ha escluso dal campione profili non compatibili con le informazioni disponibili. Quindi, per ciascun elemento del campione e per i diversi accelerogrammi rappresentativi della pericolosità locale, sono state definite gli spettri di risposta sismica locale (RSL) attesi. In questo modo, per ogni TLS, è stato possibile generare una popolazione di spettri RSL per ciascuno dei quali è stato calcolato un fattore di amplificazione integrale (FA) indicativo dell'andamento complessivo della curva RSL all'interno dei campi di periodi fissati dai nuovi standard di rappresentazione informatica.

Nella terza fase si procede quindi all'analisi statistica delle popolazioni dei fattori di amplificazione ottenuti per le diverse TLS, alla loro aggregazione su base geografica e in funzione della specifica situazione sperimentale. Con quest'ultimo termine viene definita una peculiare combinazione di valori relativi a parametri diagnostici determinabili sperimentalmente e rappresentativi di configurazioni del sottosuolo capaci di produrre specifici livelli di amplificazione del moto sismico. A differenza delle TLS, che sono dedotte dalla conoscenza della specifica situazione lito-stratigrafica, queste combinazioni di valori devono essere attribuiti sperimentalmente mediante misure di campagna e con costi contenuti. Questa caratterizzazione è un elemento chiave per garantire l'effettiva applicabilità degli abachi nella MZS di livello 2. Al termine delle analisi sono stati poi individuati i seguenti parametri geognostici per la determinazione del valore di FA rappresentativo della specifica di interesse:

1. *L'area geografica di appartenenza*
2. *La classe di pericolosità (secondo la classificazione in Figura 3)*
3. *Il periodo fondamentale di vibrazione del sito ( $T_0$ ) o la corrispondente frequenza fondamentale ( $f_0$ )*
4. *Il valore della velocità media delle Onde S nei primi 30 metri di sottosuolo ( $V_{S30}$ ) o, se il basamento sismico si trova a meno di 30 metri dalla superficie, il valore della velocità media delle onde S fino al basamento sismico ( $V_{SH}$ ).*



**Figura 1.** Linee generali della procedura utilizzata per la definizione degli abachi a supporto della micro zonazione sismica di livello II in Toscana.

### **3. Revisione degli abachi**

La revisione degli abachi ha comportato un riesame complessivo dei risultati delle elaborazioni numeriche condotte inizialmente. In pratica, i risultati delle simulazioni numeriche relative alle TLS iniziali (Fase 2) sono state riesaminate per dedurre i valori di FA nelle nuove tre classi di periodo relative alle popolazioni ottenute variando stocasticamente i parametri del modello 1D all'interno dei vincoli fissati inizialmente a partire dalle informazioni disponibili.

Sulla base di questo riesame, l'intera FASE 3 del processo è stata condotta nuovamente procedendo alla riaggregazione dei risultati ottenuti nei diversi domini analogamente a quanto fatto nella prima elaborazione. Tutto questo ha portato ad una complessiva rivisitazione degli abachi anche riguardo all'intervallo di periodi 0.1-0.5s di fatto sovrapponibili a quelli precedenti.

I risultati ottenuti al termine di questa analisi sono riportati in Appendice 1.

Nel corso di questa revisione, è stato anche possibile rimediare ad alcuni piccoli errori nelle modalità di costruzione degli abachi. L'individuazione di questi errori ha avuto una scarsa influenza sui risultati finali che, nell'intervallo 0.1-0.5s (di fatto invariato rispetto alle stime precedenti) presentano differenze che non superano 0.1 unità di FA rispetto alle stime precedenti. Le differenze riscontrate sono riportate in dettaglio in Appendice 2.

In Appendice 3 sono invece riportate le numerosità delle popolazioni di valori di FA utilizzati per le determinare i valori riportati nei diversi abachi.

#### **4. Proposta di abachi per la valutazione semplificata di effetti morfologici**

Oltre agli effetti di amplificazione del moto del suolo legati a fenomeni di interferenza generati dalla presenza di variazioni dei valori di impedenza sismica nel sottosuolo, la risposta sismica locale è anche condizionata da analoghi fenomeni generati da morfologie complesse alla superficie del terreno. In generale, questi fenomeni sono strettamente dipendenti dal rapporto esistente fra le caratteristiche geometriche della morfologia presente (in particolare con le lunghezze d'onda che la caratterizzano) e quelle del moto del suolo ovvero del suo contenuto spettrale. Ci si aspetta, in generale, che non tutto il campo delle frequenze di vibrazione sia affetto nella stessa misura da questo genere di fenomeni: in particolare, questi diverrebbero più rilevanti in corrispondenza di frequenze di vibrazione caratterizzate da lunghezze d'onda di dimensioni confrontabili con quelle delle forme morfologiche. Si tratta in generale di effetti difficili da prevedere per il loro carattere intrinsecamente bi- e tri-dimensionale e per il ruolo giocato da fenomeni di conversione fra le diverse fasi del moto sismico (p.es., Kramer, 1996). La previsione di questo genere di effetti richiede quindi l'impiego di specifiche procedure di calcolo (elementi finiti, elementi al contorno, ecc.) che raramente sono alla portata dei professionisti e che comunque richiedono una specifica formazione. Per affrontare comunque il problema, o almeno valutarne l'importanza in rapporto agli effetti stratigrafici, sono stati compilati abachi che permettono di stimare l'ordine di grandezza dei fenomeni di amplificazione attesi in funzione di alcune caratteristiche geometriche del rilievo. Esempi di questo genere di abachi sono quelli forniti dalla Norme Tecniche per le Costruzioni (DM 17 gennaio 2018) e dagli Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica (DPC-CRPA, 2008). Un limite di questi abachi è costituito dall'assenza di qualunque riferimento al rapporto fra le dimensioni caratteristiche della morfologia potenzialmente responsabile del fenomeno di amplificazione e l'intervallo di periodi al quale tale fattore va applicato. In pratica, il fattore di amplificazione risulta costante per tutto l'intervallo di periodi, senza nessuna distinzione legata alle effettive dimensioni della scala alla quale la morfologia si manifesta.

Nel corso delle attività di supporto alla ricostruzione nelle aree dell'Italia Centrale interessate dalla sequenza sismica del 2016-2017 (Decreto 24 della Presidenza del Consiglio dei Ministri, 2017) sono stati adottati specifici abachi con lo scopo di superare la limitazione di cui sopra relativamente alla presenza di creste isolate e pendii (Fig.2) caratterizzate geometricamente attraverso semplici indicatori geometrici. Rispetto ai coefficienti di normativi (NTC18) la procedura proposta tiene conto della dipendenza dell'amplificazione topografica dalla frequenza (cioè dell'evidenza che i fenomeni di amplificazione topografica avvengono prevalentemente in determinati campi di periodo). Inoltre per le creste si valuta in maniera quantitativamente più realistica il fenomeno: si vede, infatti, che i fattori di amplificazione proposti dalle NTC18 (pari al massimo a 1.4) possono sottostimare i fenomeni in modo significativo.

L'applicazione di questi abachi avviene in due fasi: nella prima si determina l'intervallo di periodi affetto dai possibili effetti di amplificazione e poi si assegna uno specifico valore del fattore di amplificazione (FA).

In generale, nelle modellazioni numeriche utilizzate per la loro formulazione, si è ipotizzata un sottosuolo a carattere roccioso (in senso geotecnico) ovvero un sottosuolo caratterizzato dall'assenza di fenomeni di amplificazione stratigrafica. Pertanto, l'applicazione di questi abachi dovrebbe essere ritenuta adatta solo ad affioramenti di terreni di riferimento. Un suggerimento riguardante le modalità di applicazione è riportato nel capitolo conclusivo.

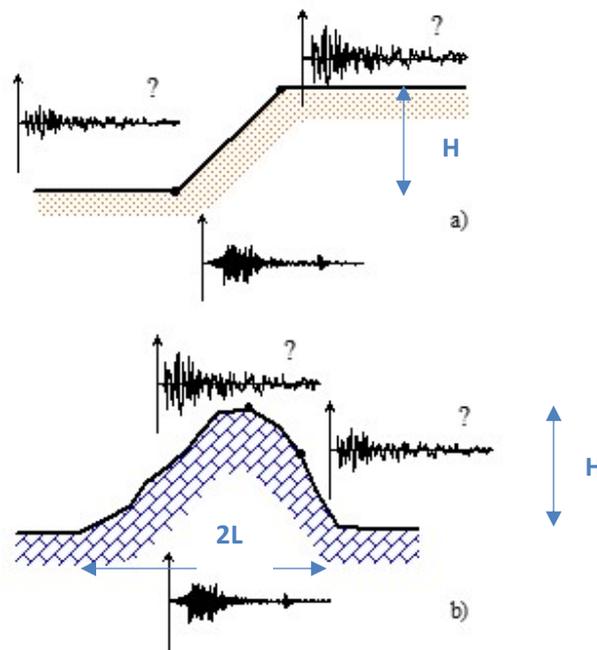


Fig. 2. Configurazioni topografiche considerate: rilievo isolato (a), pendio (b)

#### 4.1 Pendii

Sulla sommità dei pendii i fenomeni di amplificazione topografica interessano prevalentemente i valori di periodo intorno a (Ashford et al., 1997):

$$T_0 = 5H/V_s \quad (1)$$

dove  $H$  è altezza del pendio (Fig.2a),  $V_s$  è la velocità delle onde di taglio media (pesata sullo spessore) dei materiali che costituiscono il pendio.

In accordo con i risultati ottenuti da Ashford et al. (1997), il fattore di amplificazione topografica alla sommità del pendio può essere posto:

$S_T = 1.0$  per pendii di inclinazione minore di  $15^\circ$

$S_T = 1.2$  per pendii di inclinazione maggiore di  $15^\circ$  e minore di  $30^\circ$

$S_T = 1.4$  per pendii di inclinazione maggiore di  $30^\circ$  (e fino a  $75^\circ$ )

$S_T = 1.55$  per pendii subverticali (rupi)

Stimato  $T_0$  con la (1), si valuta l'intervallo di inclinazione di interesse e si moltiplica per il corrispondente  $S_T$  il fattore di amplificazione FA relativo all'intervallo di periodo in cui ricade  $T_0$ . Es. se  $T_0 = 0.2$  s si moltiplica per  $S_T$  solo il fattore FA calcolato nel campo 0.1-0.5s e non quelli tra 0.4-0.8s e 0.7-1.1s.

Lungo il pendio si usa sempre la (1) ponendo, se l'inclinazione è maggiore di  $15^\circ$ , sempre  $S_T = 1.2$ .

## 4.2 Rilievi isolati

Alla cresta di rilievi isolati i fenomeni di amplificazione topografica interessano prevalentemente i valori di periodo intorno a (Paolucci, 2002):

$$T_0 = (1-1.4) * 2L/V_s \quad (2)$$

dove L è la semi-larghezza del rilievo misurata alla base (Fig. 2b),  $V_s$  è la velocità delle onde di taglio media (pesata sullo spessore) dei materiali che costituiscono il rilievo.

Il fattore di amplificazione topografica in cresta può essere valutato a partire dalla retta di regressione riportata nel grafico di Fig. 2 in funzione del rapporto di forma H/L con H altezza del rilievo.

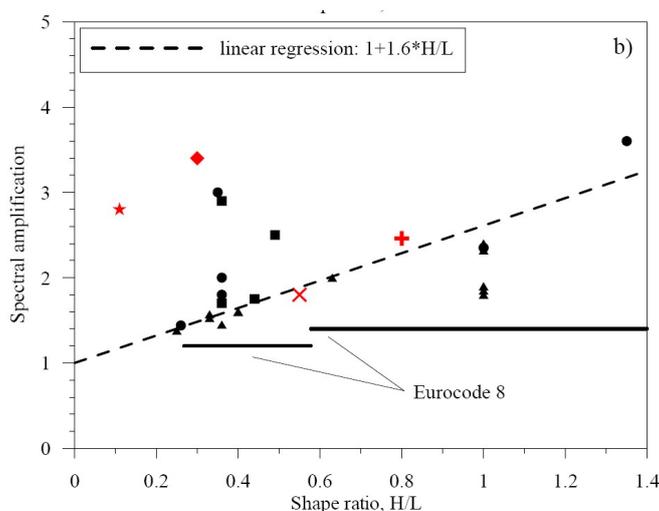


Fig.3. Fattore di amplificazione topografica per rilievi isolati (Pagliaroli et al., 2007)

Stimato  $T_0$  con la (2), si moltiplica per il valore di  $S_T$ , ricavato dal grafico di Figura 2, il fattore di amplificazione FA relativo all'intervallo di periodo in cui ricade  $T_0$ .

Lungo i versanti del rilievo si usa sempre la (2) ponendo, se inclinazione maggiore di  $15^\circ$ :  $S_T = 1.2$ , se inclinazione maggiore di  $30^\circ$ :  $S_T = 1.4$ .

## 5. Modalità di impiego

Gli abachi per la determinazione degli effetti stratigrafici (1D) e morfologici vanno utilizzati avendo chiari i loro limiti di applicazione. Innanzitutto, non sono sostitutivi delle valutazioni della risposta sismica locale richieste dalle Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC18) per la progettazione e la verifica sismica degli edifici. Si tratta infatti di uno strumento per la valutazione quantitativa degli effetti di amplificazione attesi su aree vaste (le cosiddette microzone omogenee in prospettiva sismica definite dagli Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica) e vanno utilizzati esclusivamente a fini di pianificazione territoriale nell'ambito di quanto prescritto dalla normativa regionale. In quest'ambito, l'impiego degli abachi stratigrafici qui descritti fornisce risultati attendibili solo laddove le morfologie sepolte o superficiali sono tali da non generare effetti 2D di fatto esclusi dai modelli di calcolo alla base degli abachi. In particolare, è lecito aspettarsi che la presenza di marcate variazioni laterali nei valori di impedenza sismica nel sottosuolo (indicativamente contrasti superiori ad un fattore 3) possa generare fenomeni (generazione di onde superficiali, fenomeni di risonanza di bacino, ecc.) che possono significativamente aumentare lo scuotimento sismico, ben oltre i valori previsti dall'abaco. D'altro canto, per il carattere conservativo dell'approccio utilizzato per le stime dei valori di FA, questi ultimi possono risultare maggiori di quelli ottenuti da stime di risposta sismica locale specifiche per il sito di interesse.

Tenuto conto di queste limitazioni, gli abachi lito-stratigrafici vanno applicati tenendo conto:

- 1. del dominio di appartenenza della zona di studio in rapporto alla diverse macroaree della Regione Toscana*
- 2. del livello di pericolosità sismica*
- 3. dei valori medi delle velocità di propagazione delle onde S al di sopra del substrato sismico (laddove questo si trova entro i 30m dalla superficie) o fino a 30m di profondità*
- 4. della frequenza di risonanza delle coperture qui intesa come quella corrispondente massimo della curva dei rapporti spettrali (H/V).*

In linea di principio, gli abachi proposti non presentano limitazioni legate alle specifiche configurazioni sismo stratigrafiche locali (p.es. inversioni nel profilo di velocità del onde S o particolari configurazioni litologiche). La possibile presenza di queste situazioni dovrebbe essere stata compresa nelle simulazioni condotte e quindi incluse nei valori di FA proposti. Questi ultimi

vanno infatti considerati come un limite superiore “ragionevole” (ovvero caratterizzato da una probabilità di eccedenza del 25%) ai valori di FA effettivamente possibili. Si noti infine che gli abachi non coprono tutte le possibili combinazioni di parametri. Questo è il risultato dei limiti imposti alle simulazioni sulla base delle osservazioni. Accanto a queste situazioni, ne esistono altre per quali i valori di FA indicati sono ricavati da un numero di simulazioni inferiori a 10 (si vedano i dati in Appendice 3). Si tratta quindi di configurazioni piuttosto rare che non dovrebbero a loro volta verificarsi e quindi essere presenti nella pratica applicativa. Nel caso in cui queste rare condizioni si verificassero sarebbe opportuno ricorrere a modellazioni della risposta sismica locale condotte con strumenti di calcolo appropriati e non utilizzare l’abaco corrispondente.

Oltre a questi abachi, sono stati qui proposti anche abachi per la stima del fattore di amplificazione legato alla presenza morfologie superficiali non planari. Si tratta di abachi dedotti mediante modellazione numerica nell’ipotesi che la morfologia riguardi materiali appartenenti al substrato sismico, ovvero nell’ipotesi che non esistano congiuntamente anche fenomeni di amplificazione stratigrafica dovuti alla presenza di coperture. Questa limitazione suggerisce di non combinare i fattori di amplificazione dedotti dagli abachi morfologici con quelli stratigrafici (come proposto invece dalle Norme Tecniche per le Costruzioni) ma di utilizzarli solo laddove il substrato sismico affiora e per i soli intervalli di periodi per i quali i fattori di amplificazione morfologica sono diversi da 1. Nel caso in cui le coperture siano caratterizzate da morfologie non planari, si suggerisce di confrontare, per ciascuna frequenza, il valore del fattore di amplificazione stratigrafica con quello morfologico: laddove il secondo fosse confrontabile o maggiore del primo, indicare come necessario un approfondimento basato su specifiche modellazioni numeriche.

## 6. Bibliografia

- Ashford S. A., Sitar N. , 1997. Analysis of Topographic Amplification of Inclined Shear Waves in a Steep Coastal Bluff. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 87: 692-700.
- Darendeli M. B. (2001), "Development of a new family of normalized modulus reduction and material damping curves". Austin, Texas: The University of Texas.
- 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., disponibile sul sito WEB  
[http://www.protezionecivile.gov.it/jcms/it/view\\_pub.wp?contentId=PUB1137](http://www.protezionecivile.gov.it/jcms/it/view_pub.wp?contentId=PUB1137)
- Lai C. G. & Zuccolo E. (2012), Rapporto scientifico "Definizione di input sismici sismo-compatibili e spettro-compatibili per i comuni della regione Toscana".
- Peruzzi G., Pileggi D., Albarello D. , 2014. *Realizzazione di abachi regionali per amplificazioni litostratigrafiche finalizzati alla redazione di cartografie di microzonazione sismica di livello 2. Rapporto Tecnico, 49 pp.*
- Peruzzi G., Albarello D., Baglione M., D'Intinosante V.,Fabbroni P., Pileggi D., 2016. Assessing 1D seismic response in microzoning studies studies in Italy, *Bull.Earthq. Eng.*, 14:373-389, DOI 10.1007/s10518-015-9841-z
- Rathje E. M. & Kottke A. (2013), "Strata", <http://nees.org/resources/strata>.
- Paolucci R., 2002. Amplification of earthquake ground motion by steep topographic irregularities. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 31: 1831-1853.
- Pagliaroli A., Lanzo G., D'Elia B., Costanzo A., Silvestri F. , 2007). Topographic amplification factors associated to cliff morphology: numerical results from two case studies in Southern Italy and comparison with EC8 recommendations. XIV European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Workshop on geotechnical aspect of EC8, Madrid (Spain), September 25, 2007, CD-ROM, 10 pp.

## Appendice 1: abachi per la stima dell'amplificazione stratigrafica 1D

Abachi relativi ai fattori di amplificazione FA determinati per le diverse macro-aree, i diversi livelli di pericolosità sismica presenti nelle macro-aree e la profondità del basamento sismico utilizzato come riferimento. In neretto sono riportati i valori di FA ottenuti come 75° percentile di una popolazione di almeno 50 simulazioni. In grigio chiaro sono riportati valori ottenuti da una popolazione di meno di 10 simulazioni.

I valori di FA sono raggruppati in funzione della frequenza di risonanza ( $f_0$ ) attesa dei corrispondenti valori di velocità media delle onde S vicino alla superficie ( $V_{S30}$  per quanto riguarda i valori fino a 30 m di profondità e  $V_{SH}$  per i valori fino al basamento sismico). L'ultima colonna di ciascun abaco (75° Perc) indica il valore di FA da attribuire in assenza di stime della frequenza di risonanza  $f_0$ . Le corrispondenza fra i valori di riportati negli abachi riguardo a questi parametri e gli intervalli di riferimento sono riportati nella tabella che segue

Classi	
frequenza (Hz)	$f_0 < 1$
	1.5 $1 \leq f_0 < 2$
	2.5 $2 \leq f_0 < 3$
	3.5 $3 \leq f_0 < 4$
	4.5 $4 \leq f_0 < 5$
	5.5 $5 \leq f_0 < 6$
	6.5 $6 \leq f_0 < 7$
	7.5 $7 \leq f_0 < 8$
	$\geq 8$
velocità (m/s)	$V_s < 200$
	300 $200 \leq V_s < 400$
	500 $400 \leq V_s < 600$
	700 $600 \leq V_s < 800$
	$V_s \geq 800$

**Macroarea: TOSCANA APPENNINICA**

**Pericolosità sismica: GRUPPO 1+2**

Profondità basamento sismico > 30 m

**FA 0.1 < T < 0.5 s**

		f0 (Hz)									75° perc.
		<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	≥8	
Vs30 (m/s)	<200	0.7	1.0								0.8
	300	1.1	1.5	1.9	2.1	2.1	1.8	2.0	2.0	2.2	1.6
	500	1.2	1.4	1.8	1.9	1.8	1.9	1.9	1.9	1.8	1.7
	700	1.2	1.2	1.6	1.8	1.7	1.7	1.6	1.6	1.6	1.6
	≥800	1.1	1.2		1.5	1.3	1.3				1.4

**FA 0.4 < T < 0.8 s**

		f0 (Hz)									75° perc.
		<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	≥8	
Vs30 (m/s)	<200	1.1	1.4								1.2
	300	1.4	2.1	2.2	2.1	2.2	2.0	2.1	2.1	1.8	2.1
	500	1.3	1.9	2.0	1.7	1.6	1.8	1.7	1.7	1.6	1.8
	700	1.2	1.5	1.7	1.5	1.3	1.3	1.4	1.4	1.4	1.5
	≥800	1.3	1.5		1.4	1.1	1.1				1.3

**FA 0.7 < T < 1.1 s**

		f0 (Hz)									75° perc.
		<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	≥8	
Vs30 (m/s)	<200	1.4	2.6								1.4
	300	1.6	2.3	1.7	1.9	1.8	1.7	1.5	1.9	1.9	2.1
	500	1.4	2.0	1.5	1.3	1.5	1.6	1.3	1.3	1.3	1.7
	700	1.3	1.7	1.3	1.2	1.1	1.1	1.3	1.2	1.2	1.3
	≥800	1.6	2.2		1.1	1.0	1.0				1.2

**Pericolosità sismica: GRUPPO 3**

Profondità basamento sismico > 30 m

**FA 0.1 < T < 0.5 s**

		f0 (Hz)									75° perc.
		<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	≥8	
Vs30 (m/s)	<200	0.8	1.0								1.0
	300	1.1	1.5	1.9	2.0	2.1	1.9	2.1	2.2	2.1	1.7
	500	1.2	1.4	1.8	2.0	1.8	1.9	1.9	1.9	1.8	1.7
	700	1.2	1.2	1.6	1.8	1.8	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6
	≥800	1.3	1.3		1.5		1.3				1.4

**FA 0.4 < T < 0.8 s**

		f0 (Hz)									75° perc.
		<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	≥8	
Vs30 (m/s)	<200	1.1	1.5								1.2
	300	1.4	2.1	2.3	2.0	2.2	2.0	2.0	2.1	1.8	2.1
	500	1.3	1.8	2.0	1.7	1.6	1.8	1.8	1.7	1.7	1.8
	700	1.2	1.5	1.7	1.6	1.4	1.3	1.5	1.4	1.4	1.5
	≥800	1.4	1.3		1.4		1.1				1.3

**FA 0.7 < T < 1.1 s**

		f0 (Hz)									75° perc.
		<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	≥8	
Vs30 (m/s)	<200	1.5	2.6								2.4
	300	1.6	2.2	1.7	1.8	1.8	1.7	1.5	1.7	1.9	2.1
	500	1.4	1.9	1.5	1.3	1.4	1.5	1.4	1.3	1.4	1.6
	700	1.3	1.7	1.3	1.2	1.1	1.1	1.3	1.2	1.2	1.3
	≥800	1.7	2.2		1.1		1.0				1.2

**Pericolosità sismica: GRUPPO 1+2**

Realizzazione di abachi regionali per amplificazioni litostratigrafiche e topografiche finalizzati alla redazione di cartografie di microzonazione sismica di livello 2

3 m < Profondità basamento sismico < 30 m

FA 0.1 < T < 0.5 s

		f0 (Hz)									75° perc.
		<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	≥8	
(s/m) HsA	<200	0.8	1.3	1.9	2.2	2.1	2.0	1.8	1.8	1.4	1.8
	300	0.6	1.3	1.9	2.0	2.0	1.8	1.7	1.6	1.4	1.9
	500		1.0	1.9	1.8	1.9	1.7	1.6	1.5	1.4	1.7
	700				1.8	1.4	1.5	1.5	1.5	1.3	1.4
	≥800									1.2	1.2

FA 0.4 < T < 0.8 s

		f0 (Hz)									75° perc.
		<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	≥8	
(s/m) HsA	<200	1.2	2.1	2.2	1.9	1.4	1.2	1.2	1.1	1.0	1.7
	300	1.0	2.2	2.1	1.7	1.4	1.2	1.2	1.1	1.1	1.8
	500		2.0	1.9	1.6	1.3	1.2	1.1	1.1	1.1	1.3
	700				1.5	1.1	1.2	1.1	1.1	1.1	1.1
	≥800									1.0	1.0

FA 0.7 < T < 1.1 s

		f0 (Hz)									75° perc.
		<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	≥8	
(s/m) HsA	<200	1.9	2.3	1.6	1.3	1.1	1.1	1.1	1.0	1.0	1.3
	300	1.8	2.2	1.5	1.2	1.1	1.1	1.1	1.0	1.0	1.3
	500		2.3	1.3	1.2	1.1	1.1	1.1	1.0	1.0	1.1
	700				1.2	1.1	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0
	≥800									1.0	1.0

**Pericolosità sismica: GRUPPO 3**

3 m < Profondità basamento sismico < 30 m

**FA 0.1 < T < 0.5 s**

		f0 (Hz)									75° perc.
		<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	≥ 8	
Vs (s/m) HsA	<200		1.3	1.9	2.2	2.2	2.0	1.9	1.8	1.5	1.8
	300		1.3	1.9	2.1	2.0	1.8	1.8	1.7	1.5	1.9
	500		1.3	1.7	1.9	1.8	1.7	1.6	1.5	1.4	1.6
	700					1.3	1.4	1.5	1.6	1.3	1.4
	≥800									1.2	1.2

**FA 0.4 < T < 0.8 s**

		f0 (Hz)									75° perc.
		<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	≥ 8	
Vs (s) HsA	<200		2.1	2.3	2.0	1.4	1.2	1.2	1.2	1.0	1.8
	300		2.2	2.2	1.8	1.4	1.2	1.2	1.2	1.1	1.9
	500		2.0	1.9	1.6	1.3	1.2	1.1	1.1	1.1	1.3
	700					1.1	1.2	1.1	1.1	1.1	1.1
	≥800									1.0	1.0

**FA 0.7 < T < 1.1 s**

		f0 (Hz)									75° perc.
		<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	≥ 8	
Vs (s/m) HsA	<200		2.2	1.6	1.4	1.3	1.1	1.1	1.0	1.0	1.4
	300		2.2	1.5	1.3	1.2	1.1	1.1	1.0	1.0	1.3
	500		2.0	1.3	1.2	1.1	1.1	1.1	1.0	1.0	1.1
	700					1.1	1.1	1.1	1.0	1.0	1.0
	≥800									1.0	1.0

**Macroarea: TOSCANA CENTRALE**

**Pericolosità sismica: GRUPPO 3**

Profondità basamento sismico > 30 m

**FA 0.1 < T < 0.5 s**

		f0 (Hz)									75° perc.
		<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	≥8	
Vs30 (m/s)	<200	1.0	1.3	2.0							1.2
	300	1.1	1.4	1.7	1.8	1.7	1.7	2.0	2.0	1.8	1.4
	500	1.1	1.3	1.5	1.7	1.6	1.5	1.5	1.7	1.6	1.4
	700	0.9	1.1	1.3	1.5	1.3	1.3	1.2	1.2	1.3	1.2
	≥800	1.0	1.0	1.0					1.2	1.1	1.0

**FA 0.4 < T < 0.8 s**

		f0 (Hz)									75° perc.
		<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	≥8	
Vs30 (m/s)	<200	1.5	1.9	2.3							1.8
	300	1.4	1.8	2.1	1.8	1.7	1.5	1.7	1.7	1.8	1.7
	500	1.2	1.6	1.7	1.6	1.5	1.5	1.4	1.6	1.6	1.5
	700	1.0	1.2	1.5	1.4	1.2	1.4	1.3	1.1	1.2	1.2
	≥800	1.0	1.2	1.2					1.1	1.1	1.1

**FA 0.7 < T < 1.1 s**

		f0 (Hz)									75° perc.
		<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	≥8	
Vs30 (m/s)	<200	2.0	2.5	2.1							2.2
	300	1.5	2.0	1.6	1.7	1.5	1.5	1.6	1.6	1.7	1.8
	500	1.2	1.7	1.4	1.3	1.5	1.4	1.4	1.4	1.5	1.5
	700	1.1	1.4	1.3	1.1	1.2	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2
	≥800	1.1	1.3	1.1					0.9	1.0	1.2

**Pericolosità sismica: GRUPPO 4**

Profondità basamento sismico > 30 m

**FA 0.1 < T < 0.5 s**

		f0 (Hz)									75° perc.
		<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	≥ 8	
Vs30 (m/s)	<200	1.1	1.4	1.3							1.2
	300	1.1	1.4	1.7	1.8	1.7	1.9	2.0	2.0	1.8	1.4
	500	1.1	1.3	1.5	1.6	1.6	1.6	1.5	1.6	1.6	1.4
	700	0.9	1.1	1.3	1.5	1.4	1.3	1.2	1.2	1.3	1.2
	≥800	1.0	1.0	1.0						1.1	1.0

**FA 0.4 < T < 0.8 s**

		f0 (Hz)									75° perc.
		<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	≥ 8	
Vs30 (m/s)	<200	1.6	2.1	2.1							2.0
	300	1.4	1.9	2.0	1.7	1.6	1.7	1.5	1.6	1.8	1.8
	500	1.2	1.6	1.7	1.5	1.5	1.6	1.4	1.6	1.6	1.5
	700	1.0	1.2	1.5	1.4	1.2	1.4	1.3	1.1	1.2	1.2
	≥800	1.1	1.2	1.2						1.1	1.1

**FA 0.7 < T < 1.1 s**

		f0 (Hz)									75° perc.
		<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	≥ 8	
Vs30 (m/s)	<200	2.1	2.6	2.5							2.4
	300	1.5	2.1	1.6	1.7	1.5	1.7	1.7	1.6	1.7	1.8
	500	1.2	1.8	1.4	1.3	1.5	1.4	1.4	1.3	1.5	1.5
	700	1.1	1.5	1.3	1.1	1.2	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2
	≥800	1.1	1.3	1.1						1.0	1.2

**Pericolosità sismica: GRUPPO 3**

3 m < Profondità basamento sismico < 30 m

**FA 0.1 < T < 0.5 s**

		f0 (Hz)									75° perc.
		<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	≥ 8	
Vs (s/m) HsA	<200	1.1	1.5	1.9	2.5	2.1	2.1	2.0	2.0	1.5	1.9
	300	0.7	1.3	1.8	2.1	2.0	1.8	1.8	1.7	1.5	1.8
	500			1.5	1.7	1.7	1.6	1.4	1.5	1.3	1.4
	700					1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
	≥800										

**FA 0.4 < T < 0.8 s**

		f0 (Hz)									75° perc.
		<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	≥ 8	
Vs (s) HsA	<200	1.3	2.3	2.4	1.9	1.5	1.3	1.3	1.2	1.1	2.2
	300	1.0	2.1	2.2	1.8	1.4	1.2	1.2	1.2	1.1	1.9
	500			1.6	1.5	1.3	1.2	1.1	1.1	1.1	1.1
	700					1.1	1.1	1.1	1.1	1.0	1.1
	≥800										

**FA 0.7 < T < 1.1 s**

		f0 (Hz)									75° perc.
		<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	≥ 8	
Vs (s/m) HsA	<200	2.0	2.4	1.6	1.4	1.2	1.1	1.1	1.1	1.0	2.0
	300	1.6	2.0	1.5	1.3	1.2	1.1	1.1	1.0	1.0	1.3
	500			1.3	1.2	1.1	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0
	700					1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	≥800										

**Pericolosità sismica: GRUPPO 4**

3 m < Profondità basamento sismico < 30 m

**FA 0.1 < T < 0.5 s**

		f0 (Hz)									75° perc.
		<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	≥ 8	
Vs(m) (s/m) HsA	<200	1.1	1.5	1.9	2.5	2.1	2.1	2.1	2.1	1.5	1.9
	300	0.6	1.3	1.8	2.0	1.9	1.8	1.8	1.8	1.6	1.9
	500			1.6	1.6	1.6	1.6	1.4	1.5	1.3	1.4
	700					1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
	≥800										

**FA 0.4 < T < 0.8 s**

		f0 (Hz)									75° perc.
		<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	≥ 8	
Vs(m) (s) HsA	<200	1.5	2.4	2.4	1.8	1.4	1.3	1.2	1.1	1.1	2.2
	300	1.0	2.2	2.1	1.7	1.4	1.2	1.2	1.1	1.1	1.7
	500			1.6	1.5	1.3	1.2	1.1	1.1	1.1	1.1
	700					1.1	1.1	1.1	1.1	1.0	1.1
	≥800										

**FA 0.7 < T < 1.1 s**

		f0 (Hz)									75° perc.
		<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	≥ 8	
Vs(m) (s) HsA	<200	2.3	2.5	1.6	1.2	1.1	1.1	1.1	1.0	1.0	2.1
	300	1.5	2.0	1.5	1.2	1.1	1.1	1.1	1.0	1.0	1.3
	500			1.2	1.2	1.1	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0
	700					1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	≥800										

**Macroarea: TOSCANA COSTIERA**

**Pericolosità sismica: GRUPPO 4+5+6**

Profondità basamento sismico > 30 m

**FA 0.1 < T < 0.5 s**

		f0 (Hz)									75° perc.
		<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	≥8	
Vs30 (m/s)	<200	1.3	1.4	2.1							1.4
	300	1.2	1.4	1.7	1.7	1.8	1.5	1.5	1.1	1.7	1.4
	500	1.0	1.2	1.3	1.5	1.5	1.4	1.2	1.5	1.3	1.2
	700	0.9	1.1	1.3			1.4	0.9	1.2	1.1	1.0
	≥800	0.8	0.8								0.8

**FA 0.4 < T < 0.8 s**

		f0 (Hz)									75° perc.
		<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	≥8	
Vs30 (m/s)	<200	1.8	2.2	2.9							2.0
	300	1.4	1.9	2.1	1.7	1.6	1.5	1.5	1.1	1.6	1.6
	500	1.2	1.4	1.4	1.5	1.3	1.2	1.1	1.2	1.2	1.3
	700	1.1	1.3	1.5			1.5	0.9	1.1	1.1	1.1
	≥800	0.9	0.9								0.9

**FA 0.7 < T < 1.1 s**

		f0 (Hz)									75° perc.
		<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	≥8	
Vs30 (m/s)	<200	2.1	2.7	2.6							2.5
	300	1.5	1.9	1.8	1.5	1.7	1.7	1.5	1.1	2.2	1.6
	500	1.3	1.6	1.4	1.6	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2	1.3
	700	1.1	1.5	1.3			1.4	0.9	1.0	1.2	1.2
	≥800	1.0	1.0								1.0

Macroarea: AMIATA

Pericolosità sismica: GRUPPO 3

Profondità basamento sismico > 30 m

FA 0.1 < T < 0.5 s

		f0 (Hz)									75° perc.
		<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	≥ 8	
Vs30 (m/s)	<200	1.3	1.7								1.6
	300	1.5	1.6	2.1	2.6	2.4	2.2	2.1	2.4	2.6	1.9
	500	1.3	1.6	2.0	2.1	2.0	1.9	2.4	2.2	2.1	2.0
	700			2.1	1.8	1.7	1.6			1.9	1.8
	≥800										

FA 0.4 < T < 0.8 s

		f0 (Hz)									75° perc.
		<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	≥ 8	
Vs30 (m/s)	<200	1.5	2.2								2.2
	300	1.7	2.2	2.5	2.2	2.6	2.9	2.5	2.2	2.3	2.3
	500	1.5	2.1	2.2	1.8	1.5	1.3	2.3	2.4	1.7	1.9
	700			2.1	1.6	1.3	1.2			1.3	1.6
	≥800										

FA 0.7 < T < 1.1 s

		f0 (Hz)									75° perc.
		<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	≥ 8	
Vs30 (m/s)	<200	1.9	2.7								2.7
	300	1.9	2.4	1.7	1.7	2.0	2.1	1.9	1.4	1.8	2.2
	500	1.8	2.4	1.5	1.3	1.2	1.1	1.5	1.5	1.3	1.5
	700			1.4	1.2	1.1	1.1			1.1	1.2
	≥800										

**Pericolosità sismica: GRUPPO 4**

Profondità basamento sismico > 30 m

**FA 0.1 < T < 0.5 s**

		f0 (Hz)									75° perc.	
		<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	≥ 8		
Vs30 (m/s)	<200	1.4	1.7								1.6	
	300	1.5	1.6	2.1	2.5	2.4	2.0	2.3	2.3	2.4	1.9	
	500	1.4	1.6	1.9	2.1	2.0	2.0	2.4	2.2	2.1	2.0	
	700			2.1	1.8	1.7	1.7				1.9	1.8
	≥800											

**FA 0.4 < T < 0.8 s**

		f0 (Hz)									75° perc.	
		<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	≥ 8		
Vs30 (m/s)	<200	1.5	2.4								2.3	
	300	1.8	2.3	2.4	2.0	2.6	2.4	2.5	2.0	2.4	2.3	
	500	1.5	2.1	2.1	1.7	1.4	1.3	2.2	2.2	1.5	1.8	
	700			2.0	1.5	1.2	1.2				1.2	1.5
	≥800											

**FA 0.7 < T < 1.1 s**

		f0 (Hz)									75° perc.	
		<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	≥ 8		
Vs30 (m/s)	<200	2.0	2.8								2.7	
	300	1.9	2.5	1.7	1.6	2.2	1.7	1.9	1.4	1.6	2.2	
	500	1.8	2.4	1.5	1.2	1.1	1.1	1.5	1.4	1.2	1.5	
	700			1.4	1.2	1.1	1.1				1.1	1.2
	≥800											

**Pericolosità sismica: GRUPPO 3**

3 m < Profondità basamento sismico < 30 m

**FA 0.1 < T < 0.5 s**

		f0 (Hz)									75° perc.
		<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	≥ 8	
Vs (s/m) HsA	<200	1.0	1.4	2.0							1.8
	300		1.5	2.1	2.3	2.0	2.0	1.9	1.7	1.9	2.0
	500				1.9	1.9	1.9	1.7	1.6	1.6	1.8
	700					1.6	1.6	1.5	1.6	1.4	1.5
	≥800										

**FA 0.4 < T < 0.8 s**

		f0 (Hz)									75° perc.
		<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	≥ 8	
Vs (s/m) HsA	<200	1.3	1.9	2.6							2.5
	300		2.5	2.3	1.9	1.4	1.2	1.2	1.2	1.4	1.7
	500				1.6	1.4	1.2	1.2	1.1	1.1	1.3
	700					1.2	1.2	1.1	1.1	1.1	1.1
	≥800										

**FA 0.7 < T < 1.1 s**

		f0 (Hz)									75° perc.
		<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	≥ 8	
Vs (s/m) HsA	<200	2.3	2.6	1.7							2.5
	300		2.3	1.5	1.3	1.2	1.1	1.1	1.0	1.1	1.3
	500				1.2	1.1	1.1	1.1	1.0	1.0	1.1
	700					1.1	1.1	1.0	1.0	1.0	1.1
	≥800										

**Pericolosità sismica: GRUPPO 4**

3 m < Profondità basamento sismico < 30 m

**FA 0.1 < T < 0.5 s**

		f0 (Hz)									75° perc.
		<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	≥8	
Vs(m) (s/m)	<200		1.4	2.0							1.9
	300		1.6	2.0	2.3	2.0	2.0	2.0	1.8	1.9	2.0
	500				1.9	1.9	2.0	1.8	1.6	1.6	1.8
	700						1.6	1.5	1.5	1.4	1.5
	≥800										

**FA 0.4 < T < 0.8 s**

		f0 (Hz)									75° perc.
		<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	≥8	
Vs(m) (s/m)	<200		1.9	2.5							2.4
	300		2.6	2.2	1.8	1.4	1.2	1.2	1.1	1.4	1.6
	500				1.5	1.3	1.2	1.2	1.1	1.1	1.2
	700						1.2	1.1	1.1	1.1	1.1
	≥800										

**FA 0.7 < T < 1.1 s**

		f0 (Hz)									75° perc.
		<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	≥8	
Vs(m) (s/m)	<200		2.9	1.6							2.8
	300		2.3	1.4	1.2	1.1	1.1	1.1	1.0	1.1	1.2
	500				1.2	1.1	1.1	1.1	1.0	1.0	1.1
	700						1.1	1.0	1.0	1.0	1.0
	≥800										

## Appendice 2: scarti relativi alla versione precedente (2014)

Vengono di seguito riportate le differenze fra la nuova versione degli abachi (Appendice 1) e quella precedente (2014). Tutte riguardano il solo intervallo di periodi 0.1-0.5 s e hanno un valore massimo di 1 decimale.

### TOSCANA APPENNINICA

substrato > 30 m, gruppo 1+2

- cella 300-2.5: 1.9 invece di 1.8
- cella 300-3.5: 2.1 invece di 2.0
- cella 300-4.5: 2.1 invece di 2.0
- cella 700-4.5: 1.7 invece di 1.8
- cella 300-7.5: 2.0 invece di 1.9
- cella 300-8: 2.2 invece di 2.0

substrato > 30 m, gruppo 3

- cella 300-1: 1.1 invece di 1.2
- cella 300-3.5: 2.0 invece di 1.9
- cella 300-4.5: 2.1 invece di 2.0
- cella 500-5.5: 1.9 invece di 1.8
- cella 300-7.5: 2.2 invece di 2.1
- cella 500-7.5: 1.9 invece di 2.0
- cella 300-8: 2.1 invece di 1.9

substrato < 30 m, gruppo 1+2

- cella 700-1: vuoto invece di 0.8
- cella 700-1.5: vuoto invece di 1.1
- cella 500-2.5: 1.9 invece di 1.8
- cella 700-3.5: 1.8 invece di vuoto
- cella 300-4.5: 2.0 invece di 1.9
- cella 700-5.5: 1.5 invece di 1.6
- cella 700-6.5: 1.5 invece di 1.6
- cella 800-8: 1.2 invece di 1.3
- cella 700-75°percentile: 1.4 invece di 1.5
- cella 800-75°percentile: 1.2 invece di 1.3

substrato < 30 m, gruppo 3

- cella 700-1.5: vuoto invece di 1.3
- cella 200-2.5: 1.9 invece di 2.1
- cella 300-4.5: 2.0 invece di 1.9
- cella 700-5.5: 1.4 invece di 1.5

*Realizzazione di abachi regionali per amplificazioni litostratigrafiche e topografiche finalizzati alla redazione di cartografie di microzonazione sismica di livello 2*

---

- cella 700-6.5: 1.5 invece di 1.6
- cella 700-8: 1.3 invece di 1.4
- cella 800-8: 1.2 invece di 1.3
- cella 700-75°percentile: 1.4 invece di 1.5
- cella 800-75°percentile: 1.2 invece di 1.3

**TOSCANA CENTRALE**

substrato < 30 m, gruppo 4

- cella 200-75°percentile: 1.9 invece di 1.8

## Appendice 3: popolazioni statistiche dei valori di FA nelle diverse celle degli abachi

Macroarea: TOSCANA APPENNINICA

Pericolosità sismica: GRUPPO 1+2

Profondità basamento sismico > 30 m

Popolosità celle

		f0 (Hz)								
		<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	≥ 8
Vs30 (m/s)	<200	12	2							
	300	789	3678	1283	280	215	51	62	20	48
	500	904	2034	1305	856	416	287	165	163	394
	700	235	226	252	139	145	110	78	129	646
	≥800	12	16		28	2	12			42

Pericolosità sismica: GRUPPO 3

Profondità basamento sismico > 30 m

Popolosità celle

		f0 (Hz)								
		<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	≥ 8
Vs30 (m/s)	<200	4	3							
	300	272	1762	730	147	161	45	43	19	34
	500	379	984	636	428	252	150	98	94	241
	700	112	114	117	69	66	64	39	54	345
	≥800	4	10		14		7			21

**Pericolosità sismica: GRUPPO 1+2**

3 m < Profondità basamento sismico < 30 m

**Popolosità celle**

		f0 (Hz)								
		<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	≥ 8
Vs(m) HsA	<200	7	100	85	47	57	57	56	34	257
	300	1	246	1352	1252	553	410	217	205	902
	500		13	47	357	778	484	309	284	1662
	700				2	18	56	41	19	298
	≥800									28

**Pericolosità sismica: GRUPPO 3**

3 m < Profondità basamento sismico < 30 m

**Popolosità celle**

		f0 (Hz)								
		<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	≥ 8
Vs(m) HsA	<200		39	52	23	28	26	25	24	133
	300		74	594	671	304	221	109	103	493
	500		6	8	163	374	243	174	139	860
	700					2	33	22	10	150
	≥800									14

Macroarea: TOSCANA CENTRALE

Pericolosità sismica: GRUPPO 3

Profondità basamento sismico > 30 m

Popolosità celle

		f0 (Hz)								
		<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	≥ 8
Vs30 (m/s)	<200	118	63	1						
	300	1436	1358	498	159	57	7	9	19	90
	500	1077	654	528	309	146	139	55	49	347
	700	278	145	75	43	28	20	11	21	142
	≥800	78	61	15					1	13

Pericolosità sismica: GRUPPO 4

Profondità basamento sismico > 30 m

Popolosità celle

		f0 (Hz)								
		<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	≥ 8
<200	105	74	3							
300	1338	1325	560	196	70	10	9	20	105	
500	1057	606	506	314	163	149	66	48	395	
700	268	148	69	47	29	18	9	20	155	
≥800	77	63	14						14	

**Pericolosità sismica: GRUPPO 3**

3 m < Profondità basamento sismico < 30 m

**Popolosità celle**

		f0 (Hz)								
		<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	≥ 8
Vs (s/m) HsA	<200	10	157	74	33	25	17	13	4	80
	300	5	154	476	393	259	203	134	98	560
	500			16	55	94	97	94	49	785
	700					31	53	61	55	283
	≥800									

**Pericolosità sismica: GRUPPO 4**

3 m < Profondità basamento sismico < 30 m

**Popolosità celle**

		f0 (Hz)								
		<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	≥ 8
Vs (s/m) HsA	<200	4	153	80	36	22	17	17	2	82
	300	1	115	454	408	272	213	120	103	596
	500			9	51	93	102	84	48	803
	700					26	53	62	55	287
	≥800									

Macroarea: TOSCANA COSTIERA

Pericolosità sismica: GRUPPO 4+5+6

Profondità basamento sismico > 30 m

Popolosità celle

		f0 (Hz)								
		<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	≥ 8
Vs30 (m/s)	<200	578	469	24						
	300	3176	1185	738	624	176	144	30	12	26
	500	2298	716	70	141	171	250	176	56	154
	700	942	244	21			1	7	35	262
	≥800	162	6							

Macroarea: AMIATA

Pericolosità sismica: GRUPPO 3

Profondità basamento sismico > 30 m

Popolosità celle

		f0 (Hz)								
		<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	≥ 8
Vs30 (m/s)	<200	7	14							
	300	267	883	551	133	28	24	34	10	30
	500	131	132	370	294	95	15	15	14	243
	700			7	42	21	7			7
	≥800									

Pericolosità sismica: GRUPPO 4

Profondità basamento sismico > 30 m

Popolosità celle

		f0 (Hz)								
		<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	≥ 8
Vs30 (m/s)	<200	7	14							
	300	256	840	588	128	28	22	47	17	34
	500	130	121	353	308	97	19	13	15	253
	700			7	42	21	7			7
	≥800									

**Pericolosità sismica: GRUPPO 3**

3 m < Profondità basamento sismico < 30 m

**Popolosità celle**

		f0 (Hz)								
		<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	≥ 8
Vs (s/m) HsA	<200	1	16	11						
	300		31	289	360	403	315	225	190	189
	500				153	283	320	180	164	482
	700					1	54	48	10	62
	≥800									

**Pericolosità sismica: GRUPPO 4**

3 m < Profondità basamento sismico < 30 m

**Popolosità celle**

		f0 (Hz)								
		<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	≥ 8
Vs (s/m) HsA	<200		15	13						
	300		23	274	360	392	324	222	206	201
	500				138	279	323	176	171	495
	700						52	48	8	67
	≥800									