

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

Dott. G. Peruzzi, Dott. D. Pileggi 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, 30 Dicembre 2013

Indice

1. Introduzione

2. La procedura

3. Tipologie lito-stratigrafiche e moto sismico di riferimento

4. Generazione delle stratigrafie sismiche delle diverse Tipologie Lito-Stratigrafiche

5. Curve di risposta e fattori di amplificazione per le diverse Tipologie Lito-Stratigrafiche

6. Identificazione dei parametri diagnostici

7. Costruzione degli abachi

8. Aggregazione degli abachi per macro-aree

9. Conclusioni

10. Bibliografia

Appendici

Appendice 1

Appendice 2

Appendice 3

Appendice 4

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 II per le aree per le quali gli approcci di tipo semplificato abbiano senso.

Alcune Regioni (Emilia-Romagna, Lombardia, Lazio) hanno già provveduto a dotarsi di questo strumento a partire da metodologie differenti ma comunque congruenti per quanto riguarda il tipo di risultati attesi e le modalità di impiego. Lo studio qui descritto ha avuto lo scopo di dotare anche la Regione Toscana di questo tipo di strumento a supporto delle attività di MZS pianificate dall'Autorità Regionale. La procedura adottata allo scopo si discosta in maniera significativa da quelle adottate per le Regioni Lombardia e Lazio ed è affine (anche se non identica) a quella a suo tempo utilizzata dalla Regione Emilia-Romagna. La procedura 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.

Nel primo capitolo della relazione vengono descritti gli aspetti principali della procedura, mentre in quelli seguenti vengono descritti in maggiore dettaglio gli elementi informativi essenziali ed i protocolli utilizzati per la costruzione degli abachi.

2. La procedura

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 fornite a partire da un numero ristretto di osservabili, relativamente agevoli da determinare sperimentalmente e comunque rappresentativi delle diverse possibili situazioni presenti.

A partire da questi vincoli, è stata 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. Si tratta della fase più importante ed impegnativa dell'intera procedura e viene sviluppata sulla base delle conoscenze disponibili sulla situazione stratigrafica (in prospettiva sismica) delle diverse aree geologiche della Regione. In pratica si tratta di identificare delle successioni deposizionali "tipo", del tutto analoghe a quelle definite nella MZS di primo livello, nelle 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 degrado e smorzamento). Queste proprietà saranno caratterizzate da una variabilità che viene 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 viene dedotto a partire dalla stima della pericolosità sismica identificando gruppi di accelerogrammi sperimentali (moto di riferimento) rappresentativi della sismicità attesa nelle diverse zone di interesse.

Nella seconda fase, per ciascuna TLS e tenendo conto della variabilità dei parametri sismici definita nella prima fase, viene generato un campione di profili sismo-stratigrafici ciascuno costituito mediamente da un centinaio di profili. A questo scopo è stata utilizzata la procedura implementata nel codice "STRATA" (Rathje and Kottke, 2013) 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 è 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 le curve di risposta sismica locale (RSL) attese. In questo modo, per ogni TLS, è stato possibile generare una popolazione di curve RSL ciascuna rappresentata in termini di ordinate

spettrali dello spettro di risposta in accelerazione e di un fattore di amplificazione integrale (FA) indicativo dell'andamento complessivo della curva RSL.

Nella terza fase si è quindi proceduto all'analisi statistica delle popolazioni dei fattori di amplificazione ottenuti per le diverse TLS ed alla loro aggregazione su base geografica e, soprattutto, 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 secondo livello.

La quarta fase è quella dedicata alla costruzione degli abachi veri e propri ed alla loro validazione.

Alcuni dettagli relativi alle diverse fasi sono riportati nelle sezioni successive di questa relazione.

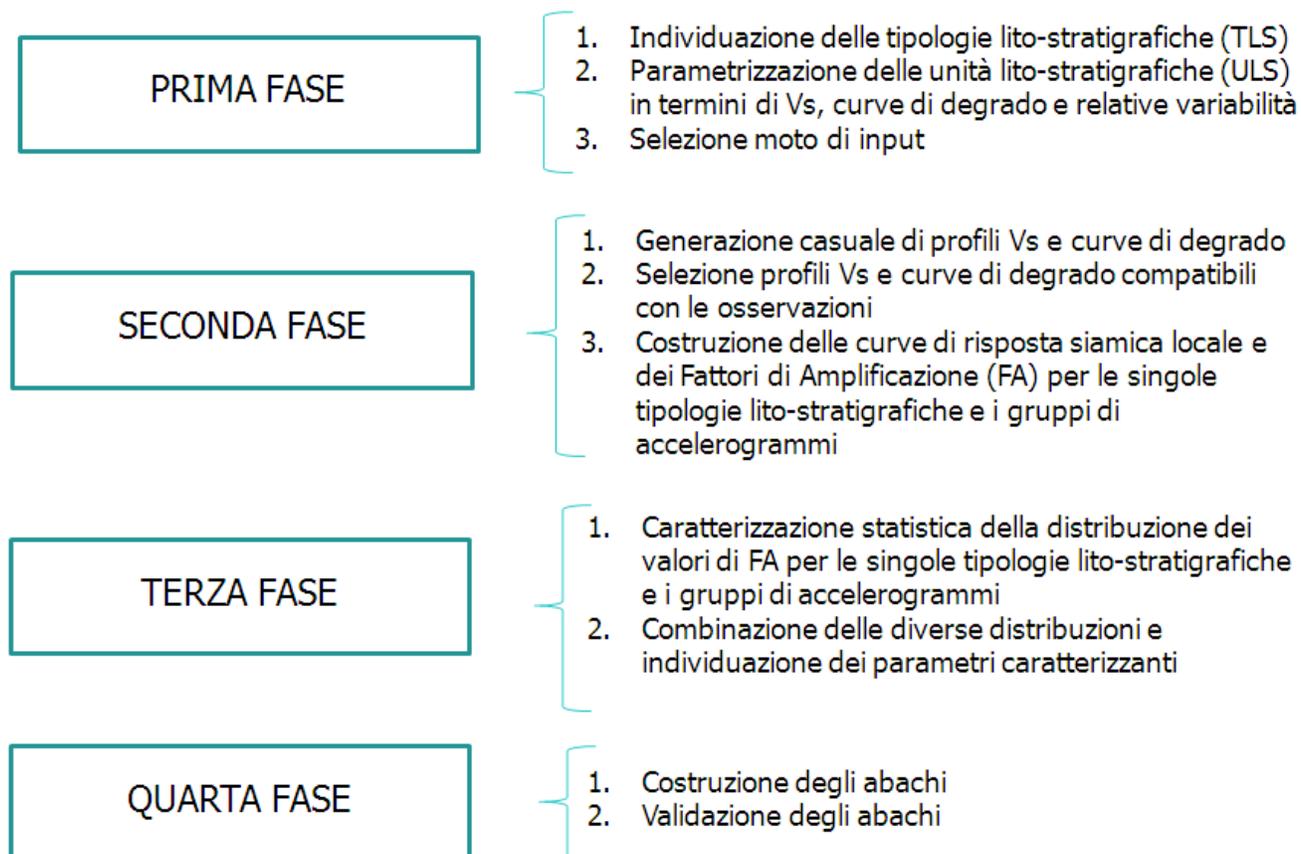


Figura 1. Linee generali della procedura utilizzata per la definizione degli abachi a supporto della micro zonazione sismica di livello II in Toscana.

3. Tipologie lito-stratigrafiche e moti di riferimento

L'individuazione delle TLS è stata effettuata dal personale dell'Ufficio Prevenzione Sismica dalla Direzione Generale "Ambiente, Energia e Cambiamenti Climatici" della Regione Toscana (di seguito indicato come UPS) a partire dalle informazioni disponibili presso la stessa struttura. I dati sono stati inizialmente suddivisi su base geografica a partire dalle zone a maggiore pericolosità sismica. In particolare sono state identificate le aree geografiche:

1. *Garfagnana*
2. *Lunigiana,*
3. *Mugello e val di Sieve,*
4. *Casentino,*
5. *Val Tiberina,*
6. *Arezzo e Val di Chiana,*
7. *Val d'Arno Superiore,*
8. *Piana di Firenze, Prato, Pistoia e Empolese,*
9. *Senese,*
10. *Lucchesia,*
11. *Versilia,*
12. *Livornese,*
13. *Area del Monte Amiata*

Per ciascuna di queste aree geografiche sono state identificate varie situazioni sismo-stratigrafiche ciascuna caratterizzata da una diversa successione di ULS (per esempio "coperture superficiali", "alluvioni", "lacustre fine" o "lacustre grossolano", "substrato alterato", "substrato"). La lista e la configurazione di queste ULS è riportata nell'Appendice 1. Per ciascuna di queste e a partire dai profili di velocità delle onde S (V_s) sperimentali disponibili nella banca dati a disposizione dell'UPS, sono stati forniti valori rappresentativi della V_s , dello spessore e della densità (per tutte il valore medio, la mediana, la deviazione standard, il massimo ed il minimo). Laddove possibile è stato anche fornito un profilo di velocità in funzione della profondità (Figura 2).

Quando disponibili presso l'UPS, sono state anche fornite le curve di degrado relative alla diverse ULS. In assenza di queste ultime, alla specifica ULS sono state attribuite curve di degrado e smorzamento dedotte dalla letteratura.

A partire da queste indicazioni iniziali si è poi provveduto ad identificare le diverse TLS (qui intese come successioni di ULS) presenti nella specifica area geografica considerata.

LITOLOGIA	Vs (m/sec)					SPESSORE (m)				
	val. min.	val. max	media	mediana	dev stand	val. min.	val. max	media	mediana	dev stand
riporti-suoli	179	311	245	270	44	1.5	4	2	2	1
detrito di versante (a)	190	610	390	328	145	1	7	4	4	2
detrito di frana (A1q)	150	840	339	301	153	2	10	5	4	2
b (Alluvioni)	140	1279	497	453	230	1	39	7	6	6
AUA (lacustre fine)	270	775	518	500	140	2	28	10	8	7
OLP (lacustre grossolano)	335	1070	731	748	201	2.5	11	6	7	2
Substrato alterato	280	760	593	600	138	2	20	7	5	4
Substrato	800	1780	1176	1147	263	-	-	-	-	-

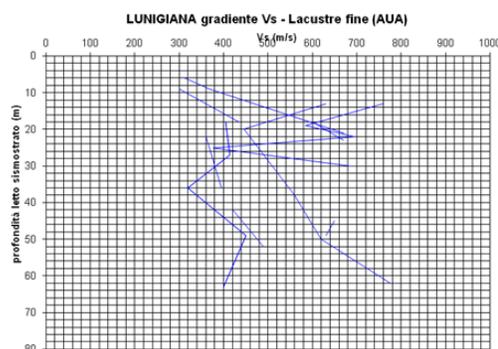


Figura 2. Esempio delle informazioni fornite dall'UPS riguardo ad una delle ULS della Lunigiana

Sono stati quindi definiti gli accelerogrammi rappresentativi dei diversi livelli di pericolosità sismica dell'area di volta in volta presa in esame. A questo scopo si è fatto riferimento alla carta di pericolosità sismica della Regione Toscana relativa ad un periodo di ritorno di 475 anni (Figura 3).

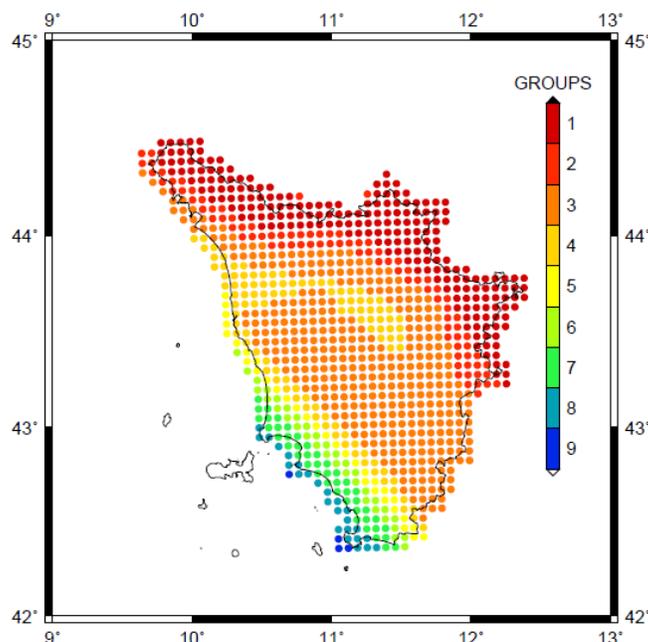


Figura 3. Posizione dei nodi in funzione del gruppo di appartenenza per tempo di ritorno medio di 475 anni; ciascun possibile gruppo di 7 accelerogrammi è rappresentato da un diverso colore (da Lai & Cucullo, 2012).

Per ognuna delle aree geografiche sono stati quindi individuati i gruppi di 7 accelerogrammi naturali forniti dal 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). Ad ognuno degli accelerogrammi è stata anche associata una magnitudo rappresentativa del relativo evento sismico.

4. Generazione delle stratigrafie sismiche per le diverse TLS

Il codice di calcolo *STRATA* presenta la possibilità di variare in modo casuale le caratteristiche del profilo sismo-stratigrafico da utilizzare per la stima della Risposta sismica locale. La gestione di questa applicazione richiede la definizione di specifici parametri statistici che gestiscono le modalità di variazione dei parametri considerati ovvero le curve di degrado relative alle diverse ULS le relative velocità (ma non le densità) oltre che lo spessore dei singoli strati e la profondità del basamento sismico.

Per quanto riguarda la variazione delle curve di degrado è stato scelto di utilizzare i parametri di default forniti dal codice di calcolo (Darendeli, 2001) che si sono dimostrati rappresentativi della effettiva variabilità osservata nei valori forniti dall'Ufficio Prevenzione Sismica. I parametri che controllano la variazione degli spessori delle ULS e le correlazioni interstrato (vedi Kottke e Rathje, 2013) sono stati invece modificati in modo opportuno (non sempre utilizzando i medesimi valori per le diverse TLS e aree geografiche), cercando di ottenere profili compatibili con i dati forniti e che non presentassero troppi strati a diversa velocità (quindi poco correlati fra loro); per la profondità del substrato sismico si è invece operato sulla base dei dati forniti dall'UPS per determinare massima e minima profondità del tetto del basamento sismico ovvero l'interfaccia alla quale applicare il moto di riferimento. Si tenga presente che quest'ultimo è stato definito su base geologica (ovvero tramite giudizio esperto) in corrispondenza della formazione identificata come "substrato" di riferimento ed indipendentemente dalla velocità delle onde S che lo caratterizzava. Soltanto nei casi in cui i bacini deposizionali presentassero notevoli profondità (anche nell'ordine delle migliaia di metri) si è considerata come profondità massima del basamento sismico quella alla quale sono raggiunti valori di V_s di 800 m/s a prescindere dall'eventuale connotato geologico della formazione considerata.

Ciascuno dei profili sismo-stratigrafici ottenuti è stato quindi esaminato in dettaglio e confrontato con i profili sperimentali disponibili e con i limiti di variabilità forniti dall'UPS (specialmente in rapporto ai gradienti di velocità forniti per la specifica ULS). In particolare si è operato sovrapponendo il grafico dei valori di V_s generati dal codice per la singola ULS) con quello dei valori sperimentali: l'individuazione dei profili da scartare è in questo modo immediata, dato che subito visivamente si notano quelli incompatibili con le osservazioni (Figura 4). Sono stati quindi selezionati per la modellazione i soli profili compatibili con le osservazioni, scartando quelli che, per vari motivi (come velocità troppo alte in superficie o troppo basse a grandi profondità), possono essere considerati irrealistici. Per ciascuna TLS sono stati così ottenuti fra 50 e 100 profili sismo-stratigrafici.

5. Curve di risposta e fattori di amplificazione per le diverse TLS

E' stata quindi valutata la risposta sismica locale per ciascuno dei profili sismo-stratigrafici selezionati. A questo scopo è stata utilizzata la procedura numerica lineare-equivalente implementata nel codice di calcolo *STRATA*, utilizzando come moto di riferimento (input sismico) gli accelerogrammi definiti per ciascuna area geografica. Tra i parametri richiesti dal codice di calcolo utilizzato c'è anche l'*effective strain ratio (e.s.r.)*, necessario per determinare la deformazione efficace a partire da quella massima corrispondente al moto di riferimento nei diversi strati. Tale parametro è stato determinato a partire dalla magnitudo (*M*) associata a ciascun accelerogramma secondo la relazione:

$$e.s.r. = (M - 1) / 10 \quad [1]$$

Ad ogni insieme di gruppi di accelerogrammi è stato associato un unico valore di *e.s.r.* corrispondente al 75° percentile dei valori ottenuti per ciascun moto di riferimento considerato.

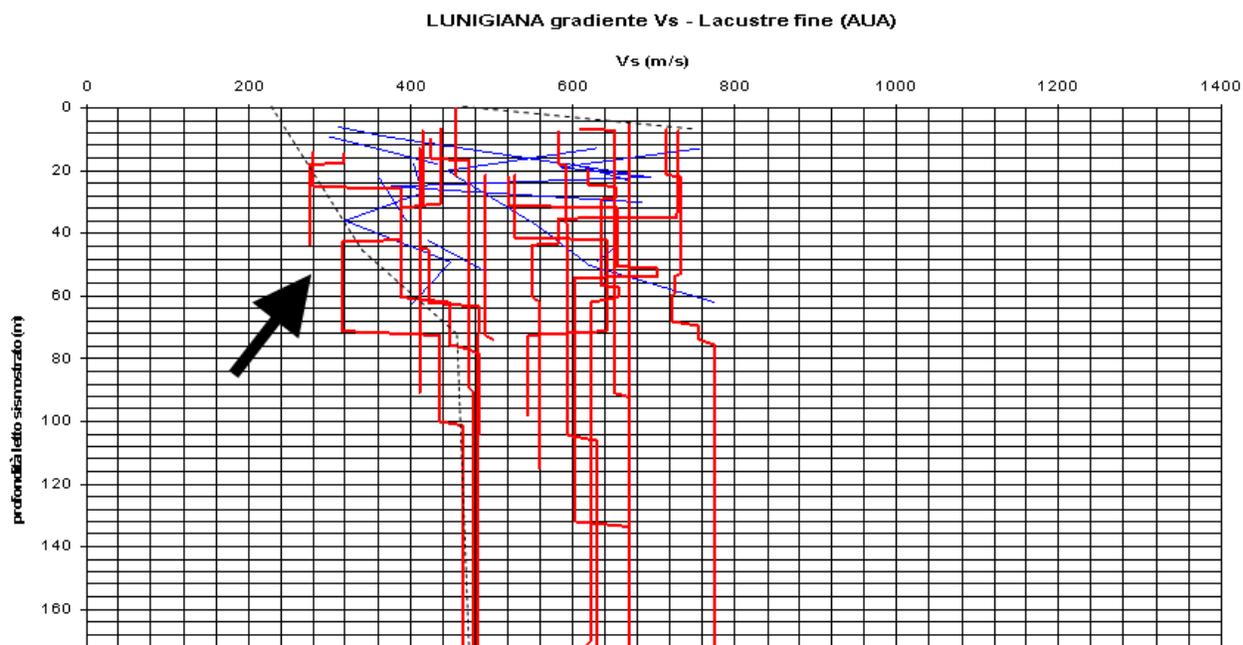


Figura 4. Esempio sovrapposizione profili generati da codice *STRATA* (in rosso) con profili di velocità sperimentali (in blu) per una ULS ("lacustre fine") per l'area della Lunigiana. In nero con tratteggio sono identificati i limiti di variazione dei profili giudicati compatibili con le osservazioni. La freccia nera indica i profili da scartare.

Per ogni profilo sismo-stratigrafico e per ogni accelerogramma sono stati quindi calcolati i valori dello spettro di risposta in accelerazione (PSA) attesi alla superficie. In questo modo, per ogni TLS è stata ottenuta una popolazione di spettri di risposta (Figura 5).

Gli spettri di risposta in accelerazione (espressa in frazioni dell'accelerazione di gravità) calcolati da *STRATA*, sono stati utilizzati per ricavare il fattore di amplificazione in accelerazione (FA). Questo è stato ottenuto come l'integrale dello spettro di amplificazione ovvero della curva ottenuta dai rapporti spettrali fra i valori della risposta in accelerazione del moto in *output* rispetto a quelli di riferimento (Figura 6). In particolare sono stati calcolati due fattori valori di FA per ogni profilo sismo-stratigrafico: uno considerando i corti periodi (0.1-0.5 s) ed uno i lunghi periodi (0.5-1.0 s).

In Appendice 2 sono riportate le statistiche relative ai profili simulati per le diverse aree geografiche e le diverse TLS. Nel complesso sono state condotte 4850 simulazioni (fra quelle utilizzate perché compatibili con i dati dell'UPS). In Appendice 3 sono riportate i parametri principali usati nelle simulazioni.

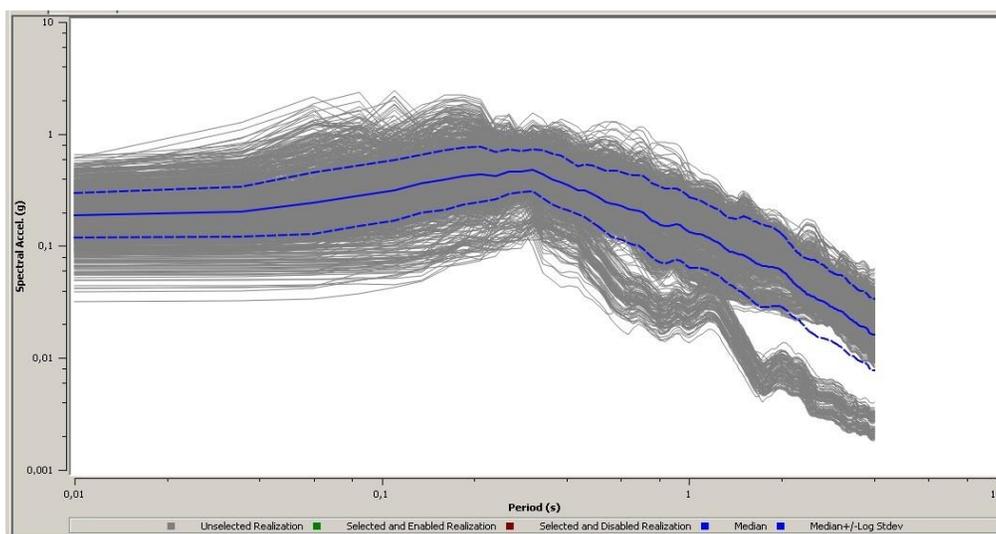


Figura 5. Esempio di una popolazione di curve di risposta in accelerazione ottenute dall'analisi numerica della risposta sismica locale per una specifica TLS ed un fissato livello di pericolosità sismica.

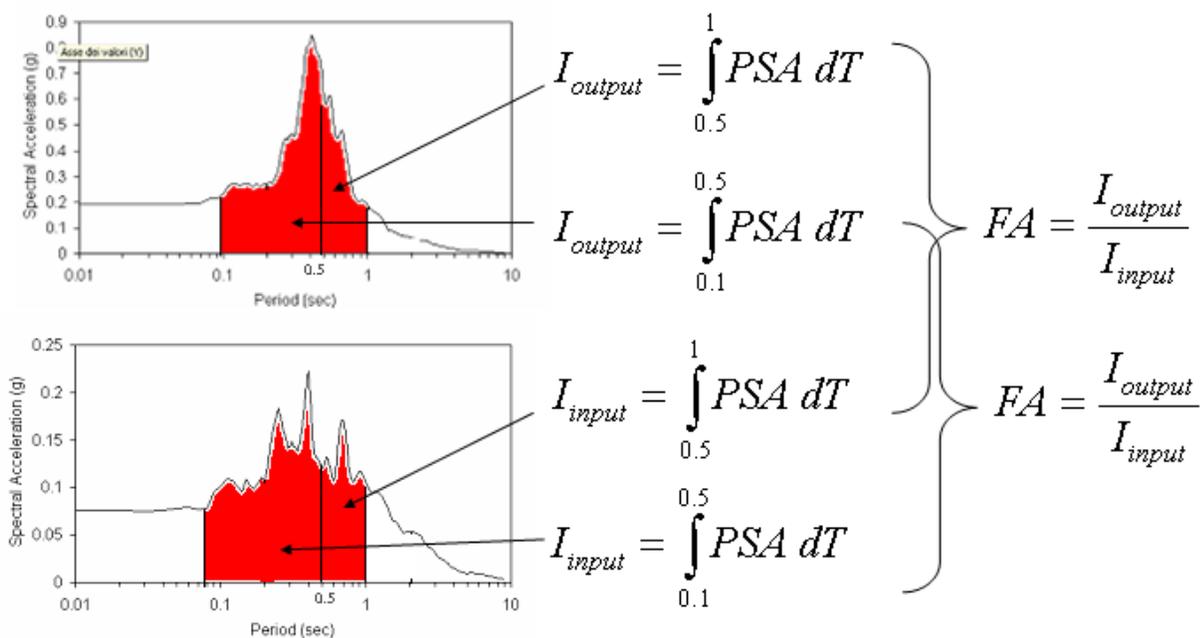


Figura 6. Modalità di calcolo di FA per due intervalli di periodo (0.1-0.5 s e 0.5-1.0 s).

6. Identificazione dei parametri diagnostici

Seguendo le procedure descritte sopra sono state quindi ottenute numerose popolazioni di valori di FA in funzione della specifica area geografica, del livello di pericolosità (e quindi del moto sismico di riferimento) e della singola TLS. A questo punto è necessario definire le situazioni sperimentali corrispondenti ai diversi valori di FA. Come si è detto, con il termine “situazione sperimentale” si è intesa una configurazione di parametri diagnostici utilizzati come indicatori dei valori di FA attesi nelle diverse con figurazioni lito-stratigrafiche presenti nel sottosuolo nelle diverse aree geografiche.

Una scelta corretta di questi parametri costituisce un elemento chiave per garantire l’effettiva applicabilità degli osservabili che verranno determinati al termine della procedura. Questi parametri, da un lato devono essere rappresentativi delle possibili situazioni capaci di generare fenomeni di amplificazione, dall’altro devono essere determinabili con costi contenuti (comunque compatibili con le attività di MZS di secondo livello) e con procedure di campagna diffuse e già utilizzate nella pratica professionale.

Sono stati quindi identificati quattro parametri utili allo scopo:

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}).*

Questi ultimi due valori sono stimati a partire dal profilo di V_s utilizzando le relazioni

$$V_{S30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_i}} \quad [2]$$

$$V_{SH} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_i}} \quad [3]$$

In cui h_i e V_i rappresentano lo spessore e la velocità delle onde S per l’ i -esimo strato al di sopra del basamento sismico.

La scelta del primo parametro (area geografica) appare ovvia in quanto rappresentativa della diversa evoluzione geologica caratteristica di ciascuno dei diversi domini cui corrisponde una diversa generale storia deposizionale. Le aree geografiche di riferimento sono quelle riportate nel precedente Capitolo 3.

Il secondo parametro (pericolosità sismica) è indicativo del differente livello di scuotimento atteso e quindi dei potenziali effetti di non linearità nella risposta dei terreni allo scuotimento atteso. Anche in questo caso sarà messa a disposizione dell'operatore una lista delle attribuzioni dei livelli di pericolosità da utilizzare per i diversi comuni toscani.

I rimanenti due parametri (V_{S30}/V_{SH} e f_0) hanno invece lo scopo di connotare in maniera speditiva la specifica situazione sismo-stratigrafica e quindi i valori di FA attesi.

Il primo dei due parametri è stato scelto in quanto di comune utilizzo nella pratica edilizia (il valore della V_{S30} è comunemente richiesto per la caratterizzazione dei suoli nelle Norme Tecniche per le Costruzioni). Questo parametro viene comunemente determinato sia a partire da misure in foro (tipicamente in configurazione down-hole) sia da misure sismiche di superficie sia con sorgenti controllate (rifrazione in SH, tomografia sismica, MASW) che da sorgenti naturali (ESAC, FK, ecc.). Questo parametro è stato considerato rappresentativo della rigidità media delle coperture al di sopra del substrato sismico alla base delle coperture. Sembra logico aspettarsi che bassi valori della V_S media possano essere indicativi di valori relativamente elevati di FA legati alla possibile presenza di forti contrasti di impedenza in profondità al contatto fra le coperture (la cui rigidità è stimata dal valore medio della V_S). In questo senso, la scelta di separare le due situazioni (coperture con spessori maggiori o minori di 30 metri) è sembrato utile per evitare possibili sottostime del contrasto di impedenza sismica stimato in corrispondenza di sedimenti soffici di limitato spessore ($\ll 30\text{m}$) si trovassero al di sopra di coperture rigide sub-affioranti.

Il secondo dei due parametri (f_0) fornisce indicazioni sul rapporto fra la velocità media delle coperture e lo spessore di queste ultime. Se accompagnato dai valori del parametro V_{S30}/V_{SH} può fornire utili indicazioni sullo spessore dello strato risonante e quindi identificare meglio il campo di frequenze interessato dall'amplificazione del moto atteso. Questo si rifletterà sui due valori di FA attesi permettendo di identificare situazioni amplificative nei due domini di periodi giudicati di interesse per la MZS (1.0-0.5s e 0.5-0.1 s).

Il parametro f_0 può essere stimato a partire dalla misura della funzione HVSR ovvero dai rapporti spettrali medi del campo di vibrazioni ambientali misurato nelle direzioni orizzontali (H) e verticali (V). Questo tipo di misura viene comunemente richiesto nella costruzione delle carte MZS di primo livello in Toscana ed è quindi largamente disponibile ed alla portata dell'operatore professionale. In pratica, la frequenza corrispondente al valore massimo della curva HVSR (f_r) viene considerato un buon stimatore di f_0 . A supporto di questa associazione sono state condotte

simulazioni numeriche volte a valutare la correlazione fra f_0 ed f_r ottenendo risultati che supportano in maniera soddisfacente questa associazione (Figura 7).

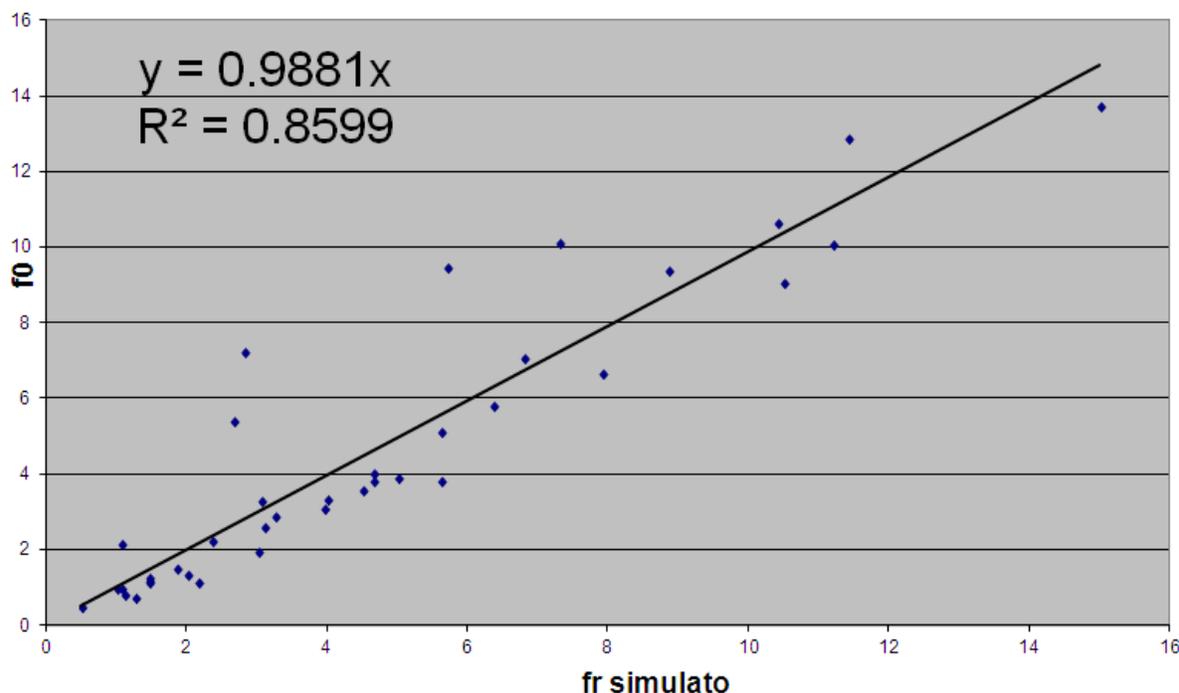


Figura 7. Confronto fra valori della frequenza corrispondente alla massima amplificazione calcolata dall'analisi di risposta sismica locale per alcuni profili sismo-stratigrafici e i valori della frequenza corrispondente al massimo della curva HVSR simulata per gli stessi profili. Il valore del coefficiente di correlazione risulta pari al 93% mentre il coefficiente angolare che descrive la corrispondenza è praticamente pari a 1.

Per ogni profilo sismo-stratigrafico generato da *STRATA* nelle diverse aree per i diversi livelli di pericolosità e per le differenti TLS sono stati quindi calcolati:

- un valore di V_{S30} o V_{SH} (in funzione dello spessore delle coperture),
- un valore di f_0 ,
- due valori di FA relativi ai due diversi intervalli di periodo.

I valori di V_{S30} o V_{SH} sono determinati mediante le formule [2] e [3] a partire dal profilo sismo-stratigrafico corrispondente mentre i valori di FA sono determinati considerando gli spettri di risposta in accelerazione secondo la procedura illustrata in Figura 6. La stima del valore di f_0 è invece stata stimata a partire dalla funzione di amplificazione stimata da *STRATA* scegliendo il valore di frequenza caratterizzato dalla massima amplificazione.

7. Costruzione degli abachi

Per le singole TLS delle diverse aree geografiche e in corrispondenza dei differenti livelli di pericolosità sono state realizzate delle tabelle sintetiche. In pratica, per ciascuna zona geografica e livello di pericolosità sono state esaminate le popolazioni dei valori di FA associati alle specifiche coppie V_{S30} (o V_{SH}) e f_0 . In particolare, sono state identificate le classi di valori in Tabella 1 e relative ai due parametri di sito f_0 e V_s media.

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 $7 \leq f_0 < 8$
	≥ 8
velocità (m/s)	$V_s < 200$
	300 $200 \leq V_s < 400$
	500 $400 \leq V_s < 600$
	700 $600 \leq V_s < 800$
	$V_s \geq 800$

Tabella 1: Classi relative ai valori dei due parametri rappresentativi dalla situazione sismo-stratigrafica locale: la frequenza di risonanza (f_0) e la velocità media delle onde S vicino alla superficie (V_{S30}/V_{SH}).

Come valore rappresentativo della singola popolazione è stato quindi scelto il valore di FA relativo al 75° percentile della popolazione corrispondente. Questo valore è stato considerato come una stima sufficientemente conservativa del valore di amplificazione atteso.

In Figura 8 viene riportata una tabella rappresentativa dei risultati ottenuti per la zona del Monte Amiata relativamente a situazioni caratterizzate da spessori delle coperture maggiori di 30m. Le prime due tabelle si riferiscono rispettivamente ai valori di FA relativi ai corti periodi ed ai lunghi periodi, mentre la terza indica la dimensione della popolazione considerata per l'analisi statistica.

Allo scopo di permettere una stima del valore di FA anche quando la curva HVSR non mostrasse massimi attendibili (e quindi non permettesse una stima corretta del valore di f_0) è stata anche considerata la popolazione dei valori di FA relativi alla sola caratterizzazione in termini di V_{S30}/V_{SH} (ultima colonna).

Come si vede, la popolosità delle celle della tabella è assai eterogenea. Questo dipende dalle caratteristiche specifiche dalle TLS presenti nell'area che non coprono tutte le combinazioni

possibili dei due parametri. Inoltre alcune configurazioni appaiono assai sporadicamente (meno di 10 volte) su un totale di 3374 valori di FA (per ogni intervallo di periodo) per le TLS considerate nell'esempio in Figura 8.

Amiata (substrato geologico > 30 m)

Gruppo 4

FA calcolato per corti periodi (0.1 < T < 0.5 s)

		f ₀ (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 calcolato per lunghi periodi (0.5 < T < 1 s)

		f ₀ (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	2.8								2.7
	300	1.8	2.5	2.1	1.7	2.5	2.1	2.4	1.7	2.1	2.3
	500	1.5	2.3	1.8	1.4	1.2	1.2	1.8	1.7	1.3	1.6
	700			1.6	1.3	1.1	1.1			1.1	1.3
	≥800										

Popolosità celle

		f ₀ (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									

Figura 8. Esempio di abaco relativo alle zone del Monte Amiata: in neretto le combinazioni f_0/V_{SH} con più di 50 valori, in grigio chiaro quelle con meno di 10 valori. Le due tabelle più in alto sono relative ai valori di FA ottenuti per le due classi di periodi. In basso ci sono i valori relativi al numero di simulazioni per ciascuna combinazione dei parametri.

8. Aggregazione degli abachi per macro-aree

Con la procedura descritta nei paragrafi precedenti sono stati costruiti gli abachi relativi alle diverse aree geografiche. Nel complesso si tratta di 13 aree per ciascuna delle quali sono definiti almeno due abachi (per alti e bassi periodi). Inoltre, laddove le aree insistessero su zone a pericolosità sismica diversa, son stati costruiti più abachi, considerando come moto di riferimento i gruppi di accelerogrammi relativi alla specifica classe di pericolosità. In particolare, i gruppi 1 e 2 sono stati accorpati, così come i gruppi 4, 5 e 6. Sono stati tenuti distinti i gruppi 3 e 4. Infine sono stati costruiti abachi distinti per le due configurazioni relative alle situazioni con un substrato posto a profondità maggiori o minori di 30 m. Come si vede, questo ha portato alla definizione di diverse decine di abachi di scarsa utilità pratica. Inoltre, a causa delle diverse caratteristiche delle TLS, molte delle combinazioni dei parametri f_0 e V_{S30}/V_{SH} , risultavano assenti con un conseguente sotto-campionamento delle diverse combinazioni.

Si è allora provveduto ad una analisi comparata volta a valutare la significatività delle differenze fra gli abachi ottenuti nelle diverse aree (a parità di pericolosità). A questo scopo sono stati confrontati a due a due gli abachi ottenuti per zone geologicamente simili e geograficamente contigue. Il confronto è avvenuto valutando le differenze fra i valori di FA ottenuti nelle celle corrispondenti dei due abachi (analoghi per campo di periodi, classe di pericolosità e classe di profondità del substrato sismico), considerando significative le sole differenze superiori a 0.2.

Le valutazioni effettuate (un esempio è riportato in Figura 9) hanno messo in evidenza la possibilità di raggruppare le aree in macro-aree all'interno delle quali il livello di eterogeneità osservato è assai minore di quello relativo alle altre macro-aree. Le macro-aree identificate inoltre sono ben connotate geograficamente e hanno senso sul piano geologico (in rapporto alle diverse storie evolutive ed alle configurazioni stratigrafiche). In particolare sono identificati quattro domini geografici:

1. un'area appenninica caratterizzata anche dai bacini intermontani (Garfagnana, Lunigiana, Mugello e val di Sieve, Casentino, val Tiberina, più due comuni della provincia di Arezzo),
2. un'area corrispondente alla Toscana centrale (Arezzo e val di Chiana, val d'Arno superiore, piana di Firenze, Prato, Pistoia e Empolese, Senese e Grossetano, Lucchesia),
3. un'altra relativa alla Toscana costiera (Versilia e Livornese, oltre alle zone in zona 4 nella classificazione regionale della pericolosità sismica),
4. il Monte Amiata.

Senese, gruppo 4, basamento sismico > 30 m

FA calcolato per corti periodi (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	1.2	1.3	1.3							1.3
	300	1.1	1.4	1.6	1.9	1.6	1.7	1.8	1.6		1.4
	500	1.1	1.2	1.5	1.6	1.9	1.4	1.5	1.7	1.8	1.4
	700		1.1				1.2		1.1		1.1
	≥800										

FA calcolato per lunghi periodi (0.5 < T < 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	2.4	2.4							2.3
	300	1.4	2.2	1.8	1.6	1.6	1.5	1.5	1.5		1.8
	500	1.2	1.5	1.6	1.5	1.6	1.6	1.5	1.4	1.6	1.5
	700		1.5				1.2		1.2		1.5
	≥800										

Piana di FI, PO, PT e Empolese, gruppo 4, basamento sismico > 30 m

FA calcolato per corti periodi (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	1.2	1.4								1.3
	300	1.1	1.4	1.6	1.7	1.7	1.9	2.4	2.0	1.9	1.5
	500	1.1	1.3	1.4	1.6	1.6	1.6	1.5	1.4	1.6	1.4
	700	0.9	1.2	1.3	1.5		1.3			1.3	1.2
	≥800										

FA calcolato per lunghi periodi (0.5 < T < 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	2.5								2.2
	300	1.4	2.0	1.8	1.7	1.4	1.9	1.3	1.5	1.8	1.8
	500	1.2	1.7	1.6	1.5	1.5	1.6	1.6	1.7	1.6	1.5
	700	1.1	1.4	1.5	1.3		1.2			1.4	1.3
	≥800										

Figura 9. Esempio di confronto fra abachi di diverse aree (ma identica macroarea, quella della Toscana centrale). Le celle colorate indicano quelle in cui i valori di FA (di identiche celle nelle rispettive aree) differiscono di più di 0,2 tra loro: il rosso indica il valore minore tra i due, il blu il maggiore.

Una volta ottenuta questa nuova ripartizione, le popolazioni di valori di FA ottenuti nelle aree incluse nelle macro-aree individuate sono stati ricombinati per formulare nuovi abachi (costruiti considerando gli stessi criteri statistici adottati per la costruzione degli abachi delle sotto-aree) su una più estesa base territoriale. Si tratta ovviamente di abachi più “robusti” sul piano statistico grazie alla maggiore “copertura” assicurata dalla combinazione delle diverse simulazioni.

Infine sono stati quindi costruiti:

- a. 8 Abachi per la Toscana Appenninica: 2 gruppi di accelerogrammi (1+2, 3), due campi di periodo (1.0-0.5 e 0.5-0.1), due classi di profondità del basamento sismico (>30m e <30m)
- b. 8 Abachi per la Toscana Centrale: 2 gruppi di accelerogrammi (3,4), due campi di periodo (1.0-0.5 e 0.5-0.1), due classi di profondità del basamento sismico (>30m e <30m)
- c. 2 Abachi per la Toscana Costiera: 1 gruppo di accelerogrammi (4+5+6), due campi di periodo (1.0-0.5 e 0.5-0.1), una classe di profondità del basamento (>30 m)
- d. 8 abachi per la zona del Monte Amiata: 2 gruppi di accelerogrammi (3,4), due campi di periodo (1.0-0.5 e 0.5-0.1), due classi di profondità del basamento sismico (>30m e <30m)

Gli abachi relativi alle diverse macro-aree, gruppi di accelerogrammi e classi di profondità del substrato sismico sono riportati in Appendice 4.

Dall’osservazione degli abachi nel loro complesso, specialmente quelli con la maggior parte delle celle popolate da almeno 50 simulazioni, emerge un andamento ben definito dei valori di FA. Questi, in senso verticale (ovvero in rapporto alle classi di velocità del V_{S30}/V_{SH}), hanno il loro massimo per bassi valori delle velocità medie, mentre in rapporto ai valori di f_0 hanno il loro massimo per classi frequenze intermedie. Tutto ciò è compatibile con l’ipotesi che le maggiori amplificazioni si abbiano per alti contrasti di velocità (e quindi tanto più è bassa la velocità delle coperture) e per profondità dell’interfaccia risonante nell’ordine delle decine di metri. Da notare poi che i valori di FA, per le celle con popolazione di almeno 50 elementi, sono tutti compresi tra circa 1 e 2.5.

9. Conclusioni

Sono stati definiti gli abachi per la determinazione dei valori del fattore di amplificazione (FA) attesi nelle diverse macro-aree della Toscana da utilizzare nell'ambito di studi di microzonazione sismica di Livello 2 secondo gli Indirizzi e Criteri della Microzonazione Sismica (DPC-CRPA, 2008). In particolare, questi abachi hanno lo scopo di definire con un approccio speditivo i fattori di amplificazione attesi nelle zone stabili suscettibili di amplificazione come effetto della sola configurazione lito-stratigrafica locale e per la quale sono attesi solo fenomeni di risonanza sismica dovuti alla presenza di variazioni verticali delle proprietà sismiche dei terreni (risonanza 1D).

Il lavoro svolto ha consentito lo sviluppo di una procedura di lavoro basata sull'uso intensivo dei dati sismici e geotecnici disponibili riguardo alle successioni lito-stratigrafiche presenti nelle diverse parti del territorio toscano. In particolare, inizialmente sono state identificate e caratterizzate le Unità Lito-Stratigrafiche (ULS) più rappresentative della regione che sono poi state associate nella forma di specifiche configurazioni stratigrafiche (le Tipologie Lito-Stratigrafiche o TLS). Le diverse TLS identificate sono state considerate per l'esecuzione di simulazioni numeriche condotte con un metodo non-lineare equivalente che hanno tenuto conto della variabilità osservata nella geometria e nelle caratteristiche dinamiche delle ULS di volta in volta analizzate. In queste simulazioni si è tenuto conto dei differenti livelli di pericolosità sismica nelle diverse aree della Toscana, utilizzando specifici gruppi di accelerogrammi messi a disposizione da studi precedenti. Le popolazioni di valori di FA ottenuti da queste simulazioni per le diverse aree geografiche della Regione, sono stati analizzati dal punto di vista statistico e raggruppati in funzione dell'area geografica di riferimento, del livello di pericolosità e di due parametri rappresentativi della specifica situazione locale: la frequenza di risonanza delle coperture e del valore medio della velocità delle onde S nel primo sottosuolo. Questi due parametri sembrano sufficienti a discriminare le diverse situazioni (uni dimensionali) e sono effettivamente determinabili localmente sulla base delle informazioni rese disponibili già dagli studi di microzonazione sismica di primo livello (f_0 e profondità del basamento sismico) e da ulteriori analisi relativamente a basso costo (V_{s30}/V_{sH}).

In linea di principio, gli abachi proposti non presentano limitazioni legate alle specifiche situazioni 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 tratta quindi di configurazioni piuttosto rare che non dovrebbero a loro volta verificarsi. Queste configurazioni, quindi, non dovrebbero essere presenti nella pratica applicativa. Nel caso in cui si verificassero sarebbe opportuno ricorrere a modellazioni della risposta sismica locale condotte con strumenti di calcolo appropriati e non utilizzare l'abaco corrispondente.

10. Bibliografia

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

Lai C. G. & Zuccolo E. (2012), Rapporto scientifico "Definizione di input sismici sismo-compatibili e spettro-compatibili per i comuni della regione Toscana".

Rathje E. M. & Kottke A. (2013), "Strata", <http://nees.org/resources/strata>.

Appendice 1

Elenco delle Tipologie Lito-Statigrafiche (TLS) considerate per la costruzione degli abachi nelle diverse aree geografiche in cui è stato ripartito il territorio regionale toscano.

A ciascuna TLS è associata una sigla alfanumerica indicativa della zona di riferimento. Questa sigla è divisa in due parti. I primi caratteri alfabetici indicano la zona cui si fa riferimento (p.es. G per “Garfagnana” o AV per “Arezzo e Val di Chiana”). I codici numerici e alfabetici successivi, indicano la specifica successione stratigrafica. In particolare, il numero rappresenta specifiche Unità Lito-Stratigrafiche (ULS), la lettera “a” indica la presenza di substrato alterato, mentre “_bis” denota le TLS con substrato sismico a profondità minori di 30 m. Le associazioni fra i codici numerici e le singole ULS è descritta nelle tabelle seguenti per gruppi di aree:

Appennino - bacini intermontani

	coperture	alluvioni	lacustre fine	lacustre grossolano
1	si	si		si
2	si	si	si	
3	si	si		
4	si			
5	si	si	si	si
6	si		si	
a	presenza substrato alterato			
_bis	substrato sismico < 30 m			

Lucchesia, Arezzo e val di Chiana, Piana FI, PO, PT, Empolese, Senese

	coperture	alluvioni	lacustre fine	lacustre grossolano	depositi marini	(limi e argille)	sabbie marine	brecce calcaree
1	si	si		si				
2	si	si	si					
3	si	si						
4	si							
5	si				si			
6	si	si			si	si	si	
7	si							si
8		si			si	si		
a	presenza substrato alterato							
_bis	substrato sismico < 30 m							

Livornese e Versilia

	coperture	depositi marini	sabbie	alluvioni	limi e argille marino lagunari	torbe	sabbie cont.	sabbie e congl.	ghiaie marine
1	si	si		si	si				
2	si	si							
3				si	si	si	si		
4	si			si	si			si	
5	si							si	
6				si	si	si			Si
7	si	si			si			si	
a	presenza substrato alterato								

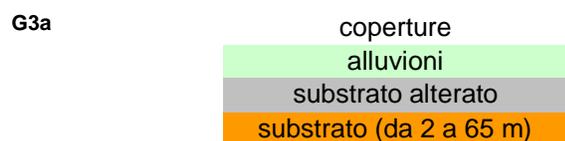
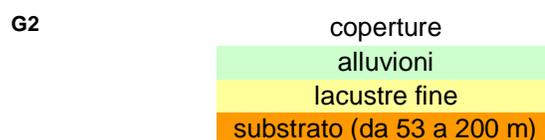
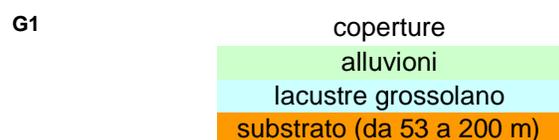
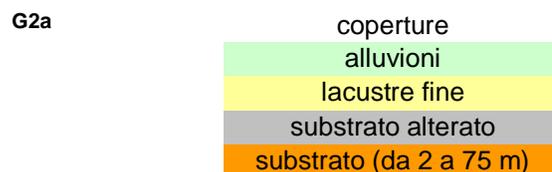
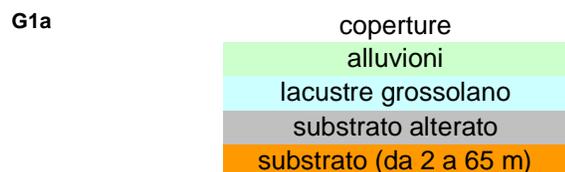
Le specifiche TLS utilizzate per la modellazione sono descritte di seguito secondo le diverse macro-aree geografiche: Toscana Appenninica, Toscana Centrale e Toscana Costiera e per area geografica (vedi cap. 3 del testo).

Gli spessori delle diverse Unità Lito-Stratigrafiche (ULS) sono variabili (secondo i limiti forniti dall'Ufficio Prevenzione Sismica dalla Direzione Generale "Ambiente, Energia e Cambiamenti Climatici" della Regione Toscana e di seguito indicato come UPS). In talune delle configurazioni considerate per la modellazione e quando previsto dalle specifiche situazioni riscontrate sperimentalmente, alcune ULS della singola TLS possono anche scomparire ovvero essere caratterizzate da spessore nullo nella relativa modellazione.

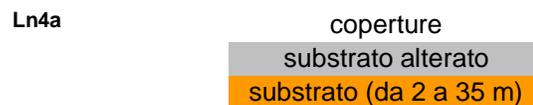
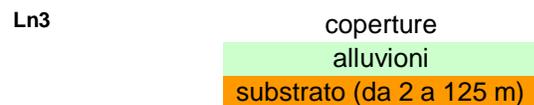
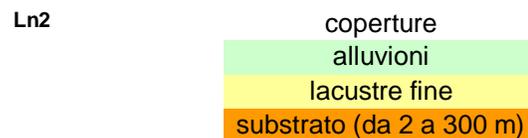
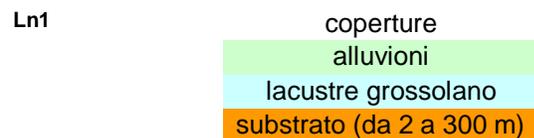
In tutte le configurazioni, il moto di riferimento è stato applicato al substrato sismico a prescindere dalla quota a cui quest'ultimo si viene di volta in volta a trovare nella singola configurazione utilizzata per la modellazione. L'intervallo di profondità cui è collocata la posizione del basamento sismico (e quindi il moto di riferimento) è indicato per ciascuna TLS in corrispondenza della ULS più profonda.

Toscana appenninica

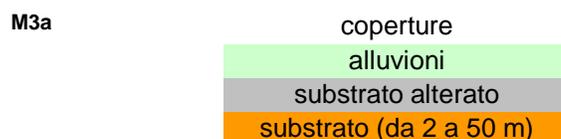
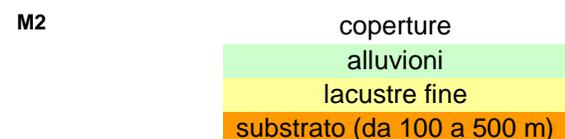
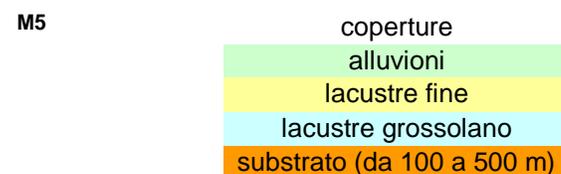
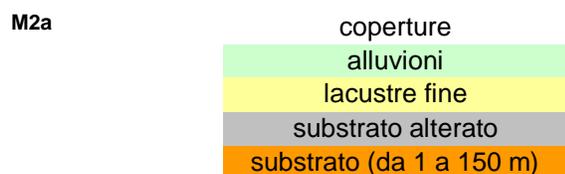
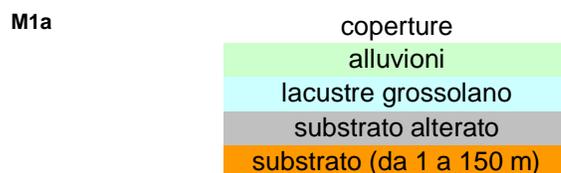
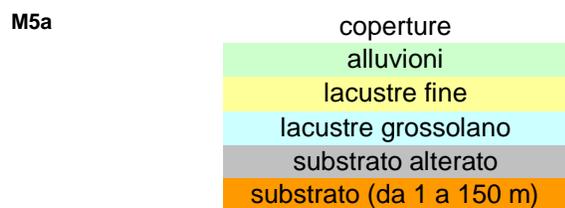
Garfagnana



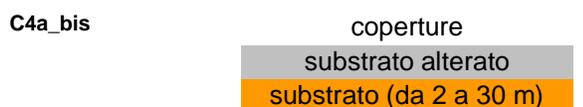
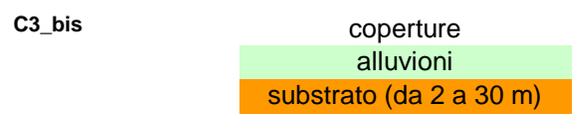
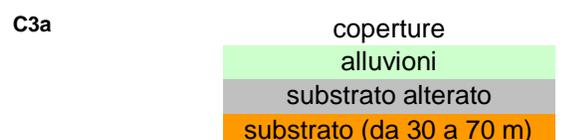
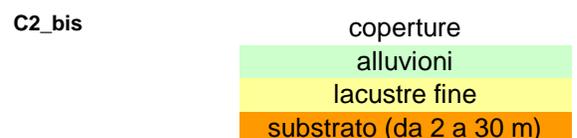
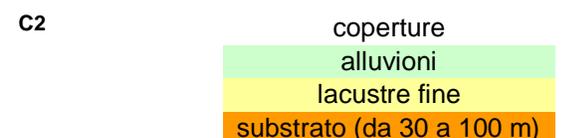
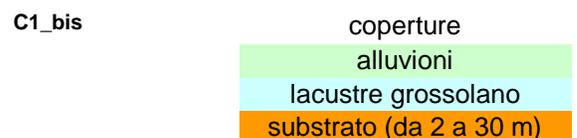
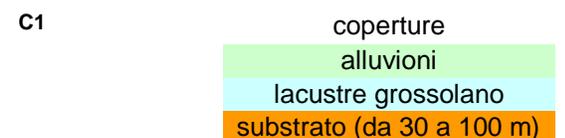
Lunigiana



Mugello e val di Sieve

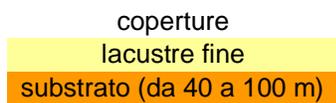


Casentino

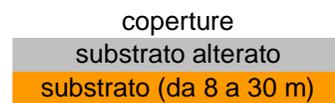


val Tiberina

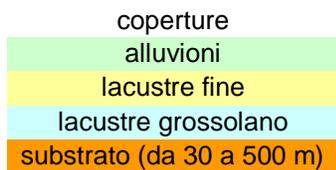
VT6



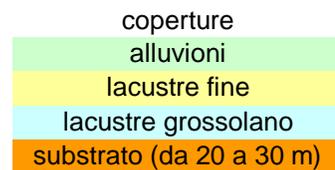
VT4a_bis



VT5



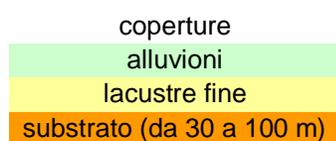
VT5_bis



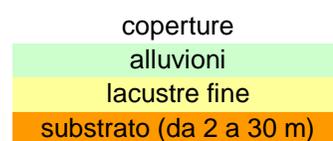
Toscana centrale

Arezzo e val di Chiana

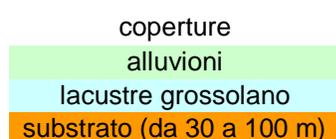
AV2



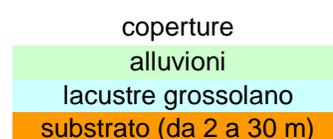
AV2_bis



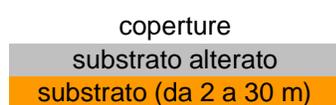
AV1



AV1_bis

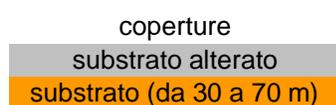


AV4a_bis

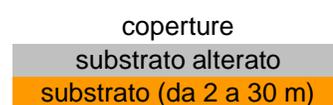


val d'Arno superiore

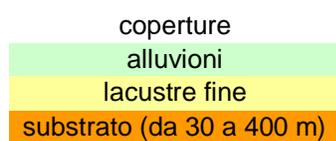
VA4a



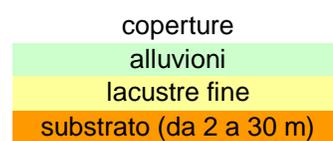
VA4a_bis



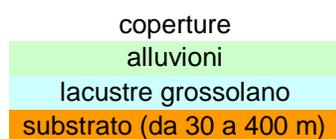
VA2



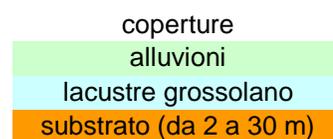
VA2_bis



VA1

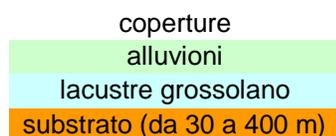


VA1_bis

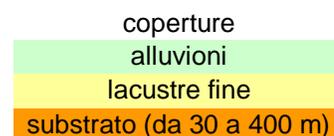


Piana di Firenze, Prato, Pistoia e depositi marini dell'Empolese

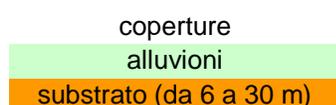
FPP1



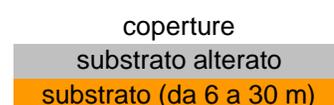
FFP2



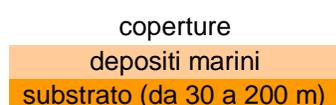
FPP3_bis



FPP4a_bis



FPP5



Senese

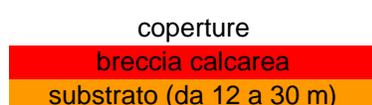
S6



S8

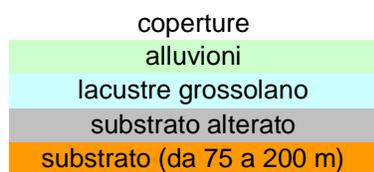


S7_bis

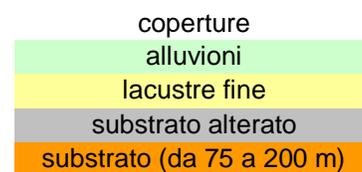


Lucchesia

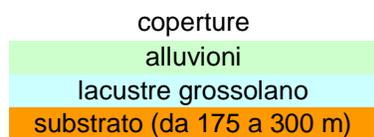
Lu1a



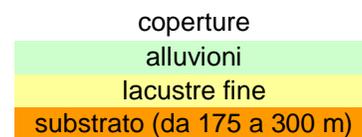
Lu2a



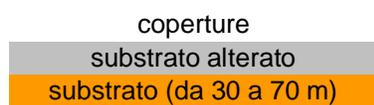
Lu1



Lu2



Lu4a



Toscana costiera

Versilia

V2	coperture
	depositi marini
	substrato (da 200 a 400 m)

Livornese

Li1	coperture
	depositi marini (sabbie)
	alluvioni
	limi e argille marino - lagunari
	substrato (da 75 a 400 m)

Li5a	coperture
	conglomerati e sabbie
	substrato alterato
	substrato (da 75 a 400 m)

Li2a	coperture
	depositi marini (sabbie)
	substrato alterato
	substrato (da 75 a 400 m)

Li3	alluvioni
	torbe
	sabbie continentali
	limi e argille marino - lagunari
	substrato (da 75 a 400 m)

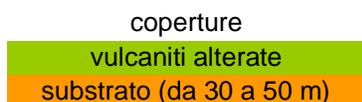
Li6	alluvioni
	torbe
	sabbie continentali
	limi e argille marino - lagunari
	substrato (da 75 a 400 m)

Li4	coperture
	alluvioni
	conglomerati e sabbie
	limi e argille marino - lagunari
	substrato (da 75 a 400 m)

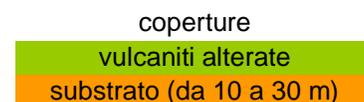
Li7	coperture
	depositi marini (sabbie)
	conglomerati e sabbie
	limi e argille marino - lagunari
	substrato (da 75 a 400 m)

Amiata

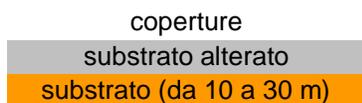
AM1



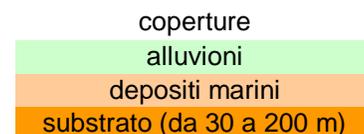
AM1_bis



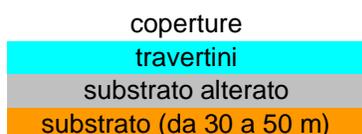
AM2_bis



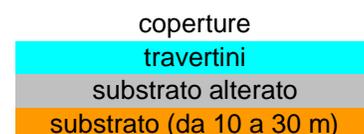
AM3



AM4



AM4_bis



Appendice 2

Statistiche relative alle simulazioni effettuate per le diverse Tipologie Lito-Stratigrafiche presenti nelle diverse aree e raggruppate per macro-regioni. Per ogni TLS sono riportati (oltre all'area geografica di pertinenza): il numero totale di profili generati ed il numero totale di profili compatibili con i dati disponibili ed effettivamente utilizzati per le simulazioni. Vengono anche conteggiati separatamente i profili con substrato sismico inferiore o superiore a 30 m (un no nella riga corrispondente indica che nessun profilo con quella caratteristica è stato utilizzato per le simulazioni).

Toscana appenninica

Area	TLS	n° profili totali	n° profili utilizzati	n° profili basamento <30m	n° profili basamento >30m	gruppi accelerogrammi
Garfagnana	G1a	125	74	si	si	1+2 e 3 (a.s.r. = 0.59)
	G1	100	52	no	si	
	G2a	125	86	si	si	
	G2	100	56	no	si	
	G3a	100	82	si	si	
	<i>totale</i>	<i>550</i>	<i>350</i>	<i>104</i>	<i>246</i>	
Lunigiana	Ln1	100	71	si	si	
	Ln2	100	67	si	si	
	Ln3	100	86	si	si	
	Ln4a	50	49	si	si	
	<i>totale</i>	<i>350</i>	<i>273</i>	<i>95</i>	<i>178</i>	
Mugello e val di Sieve	M5a	100	59	si	si	
	M1a	50	38	si	si	
	M2a	50	36	si	si	
	M5	140	66	si	no	
	M2	80	39	si	no	
	M3a	50	39	si	si	
	<i>totale</i>	<i>470</i>	<i>277</i>	<i>57</i>	<i>220</i>	
Casentino	C1	100	44	no	si	
	C1_bis	50	43	si	no	
	C2	100	70	no	si	
	C2_bis	50	42	si	no	
	C3a	100	71	no	si	
	C3_bis	100	91	si	no	
	C4a_bis	100	87	si	no	
	<i>totale</i>	<i>600</i>	<i>448</i>	<i>263</i>	<i>185</i>	
val Tiberina	VT6	100	51	no	si	
	VT4a_bis	100	75	si	no	
	VT5	200	132	no	si	
	VT5_bis	100	63	si	no	
	<i>totale</i>	<i>500</i>	<i>321</i>	<i>138</i>	<i>183</i>	
Arezzo e val di Chiana (Cortona e Castiglion F.no)	AV2	100	65	no	si	
	AV2_bis	100	71	si	no	
	<i>totale</i>	<i>200</i>	<i>136</i>	<i>71</i>	<i>65</i>	
totale		2670	1805	728	1077	

Toscana centrale

Area	TLS	n° profili totali	n° profili utilizzati	n° profili basamento <30m	n° profili basamento >30m	gruppi accelerogrammi
Arezzo e val di Chiana (tranne Cortona e Castiglion F.no)	AV2	100	69	no	si	3, 4 (e.s.r. = 0.58)
	AV2_bis	50	43	si	no	
	AV1	100	62	no	si	
	AV1_bis	50	43	si	no	
	AV4a_bis	100	100	si	no	
	<i>totale</i>	<i>400</i>	<i>317</i>	<i>186</i>	<i>131</i>	
val d'Arno superiore	VA4a	50	50	no	si	
	VA4a_bis	50	50	si	no	
	VA2	100	100	no	si	
	VA2_bis	50	50	si	no	
	VA1	100	100	no	si	
	VA1_bis	50	50	si	no	
	<i>totale</i>	<i>400</i>	<i>400</i>	<i>150</i>	<i>250</i>	
piana FI,PO,PT, empoese	FPP1	100	95	no	si	
	FPP2	150	130	no	si	
	FPP3_bis	100	91	si	no	
	FPP4a_bis	50	50	si	no	
	FPP5	200	138	no	si	
	<i>totale</i>	<i>600</i>	<i>504</i>	<i>141</i>	<i>363</i>	
Senese	S6	100	74	no	si	
	S8	100	82	no	si	
	S6_bis	100	76	si	no	
	S7_bis	100	71	si	no	
	<i>totale</i>	<i>400</i>	<i>303</i>	<i>147</i>	<i>156</i>	
Lucchesia	Lu4a	50	50	no	si	
	Lu2a	50	50	no	si	
	Lu1a	50	50	no	si	
	Lu2	50	50	no	si	
	Lu1	50	50	no	si	
	<i>totale</i>	<i>250</i>	<i>250</i>	<i>0</i>	<i>250</i>	
totale		1650	1408	624	1150	

Toscana costiera

Area	TLS	n° profili totali	n° profili utilizzati	n° profili basamento <30m	n° profili basamento >30m	gruppi accelerogrammi
Versilia	V2	155	115	no	si	4+5+6 (e.s.r. = 0,56)
Livornese	Li1	100	79	no	si	
	Li5a	100	59	no	si	
	Li2a	100	84	no	si	
	Li3	100	72	no	si	
	Li6	100	70	no	si	
	Li4	100	67	no	si	
	Li7	100	68	no	si	
	<i>totale</i>	700	499	0	499	
totale		855	614	0	614	

Amiata

Area	TLS	n° profili totali	n° profili utilizzati	n° profili basamento <30m	n° profili basamento >30m	gruppi accelerogrammi
AMIATA	AM1	200	172	no	si	3 e 4 (e.s.r. = 0,58)
	AM1_bis	200	166	si	no	
	AM2_bis	200	181	si	no	
	AM3	200	143	no	si	
	AM4	200	167	no	si	
	AM4_bis	200	194	si	no	
		totale	1200	1023	541	

Appendice 3

Valori attribuiti ai diversi parametri del codice di calcolo nelle simulazioni relative alla diverse configurazioni lito-stratigrafiche.

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

TLS	Velocità					Spessore			Basamento			
	rho_0	rho_200	delta	d_0	b	a	b	c	distribuzione	dev. St	min	max
G1	1	1	10	1	0.1	2	10	-0.99	log normale	0.9	53	200
G2	1	1	10	1	0.1	2	10	-0.99	log normale	0.9	53	200
G1a	1	1	10	1	0.1	2	10	-0.99	uniforme		2	65
G2a	1	1	10	1	0.1	2	10	-0.99	uniforme		2	75
G3a	1	1	10	1	0.1	2	10	-0.99	uniforme		3	65
Ln1	1	1	10	1	0.1	2	10	-0.99	uniforme		2	300
Ln2	1	1	10	1	0.1	2	10	-0.99	uniforme		2	300
Ln3	1	1	10	1	0.1	2	10	-0.99	log normale	0.99	2	125
Ln4a	1	1	10	1	0.1	2	15	-0.9	uniforme		2	50
M1	1	1	10	1	0.1	2	10	-0.99	log normale	0.71	1	150
M2	1	1	10	1	0.1	2	10	-0.99	log normale	0.71	1	150
M2bis	1	1	10	1	0.1	2	10	-0.99	log normale	0.71	1	150
M3	1	1	10	1	0.1	2	10	-0.99	uniforme		100	500
M4	1	1	10	1	0.1	2	15	-0.99	uniforme		100	250/200
M5	1	1	10	1	0.1	2	10	-0.99	uniforme		2	50
C3a	0.95	1	4.2	0	0.138	1	2	-0.99	uniforme		30	70
C3_bis	0.95	1	4.2	0	0.138	1	2	-0.99	uniforme		2	30
C2	1	1	1	0	0.1	1	3	-0.99	uniforme		30	100
C2_bis	1	1	1	0	0.1	1	3	-0.99	uniforme		9	30
C1	1	1	1	0	0.1	1	3	-0.99	uniforme		30	100
C1_bis	1	1	1	0	0.1	1	3	-0.99	uniforme		9	30
C4a_bis	0.95	1	4.2	0	0.138	1	2	-0.99	uniforme		2	30
VT4a_bis	0.95	1	4.2	0	0.138	1	3	-0.99	uniforme		8	30
VT6	1	1	1	0.1	0.1	1	3	-0.99	uniforme		40	100
VT5	1	1	1	0.1	0.1	1	3	-0.99	uniforme		30	100
VT5_bis	1	1	1	0.1	0.1	1	3	-0.99	uniforme		20	30
AV4a_bis	0.95	1	4.2	0	0.138	1	2	-0.99	uniforme		1	30
AV2	1	1	1	0.1	0.1	1	4	-0.99	uniforme		30	100
AV2_bis	1	1	1	0.1	0.1	1	4	-0.99	uniforme		1	30
AV1	1	1	1	0.1	0.1	1	4	-0.99	uniforme		30	100
AV1_bis	1	1	1	0.1	0.1	1	4	-0.99	uniforme		1	30
VA4a	0.95	1	4.2	0	0.138	1	2	-0.99	uniforme		2	30
VA2	1	1	1	0	0.1	1	2	-0.99	uniforme		30	400
VA2_bis	1	1	1	0	0.1	1	2	-0.99	uniforme		2	30
VA1	1	1	1	0	0.1	1	2	-0.99	uniforme		30	400
VA1_bis	1	1	1	0	0.1	1	2	-0.99	uniforme		2	30
FPP4a_bis	0.95	1	4.2	0	0.138	1	2	-0.99	uniforme		6	30
FPP3_bis	0.95	1	4.2	0	0.138	1	2	-0.99	uniforme		6	30
FPP1	1	1	1	0	0.1	1	2	-0.99	uniforme		30	400
FPP2	1	1	1	0	0.1	1	2	-0.99	uniforme		30	400
FPP5	1	1	1	0	0.1	1	2	-0.99	uniforme		30	200
S6	1	1	1	0	0.1	1	5	-0.95	uniforme		30	200
S6_bis	1	1	1	0	0.1	1	5	-0.95	uniforme		10	30
S7_bis	0.95	1	4.2	0	0.138	2	11	-0.89	uniforme		10	30
S8	1	1	1	0	0.1	1	5	-0.95	uniforme		100	300
Lu4a	0.95	1	4.2	0	0.138	2	11	-0.89	uniforme		30	70
Lu2a	1	1	10	1	0.1	1	20	-0.89	uniforme		75	200
Lu1a	1	1	1	0	0.1	1	2	-0.99	uniforme		75	200
Lu2	1	1	10	1	0.1	1	10	-0.99	uniforme		175	300
Lu1	1	1	1	0	0.1	1	2	-0.99	uniforme		175	300
V2	0.95	1	4.2	0	0.138	2	11	-0.89	uniforme		100	400
Li1	1	1	10	1	0.1	1	2	-0.99	uniforme		100	400
Li5a	1	1	10	1	0.1	1	5	-0.75	uniforme		100	400
Li2a	1	1	10	1	0.1	1	5	-0.75	uniforme		100	400
Li3	1	1	10	1	0.1	1	10	-0.75	uniforme		100	400
Li6	1	1	10	1	0.1	1	5	-0.75	uniforme		100	400
Li4	1	1	10	1	0.1	2	11	-0.99	uniforme		100	400
Li7	1	1	10	1	0.1	2	10	-0.99	uniforme		100	400
AM1	1	1	1	0.1	0.1	1	3	-0.9	uniforme		30	50
AM1_bis	1	1	1	0.1	0.1	1	3	-0.9	uniforme		10	30
AM2_bis	1	1	1	0.1	0.1	1	3	-0.9	uniforme		10	30
AM3	1	1	1	0.1	0.1	1	9	-0.9	uniforme		30	200
AM4	1	1	1	0.1	0.1	1	3	-0.9	uniforme		30	50
AM 4_bis	1	1	1	0.1	0.1	1	3	-0.9	uniforme		10	30

Appendice 4

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 $7 \leq f_0 < 8$
	≥ 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

Basamento sismico: profondità < 30 m

FA calcolato per corti periodi (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	
VsH (m/s)	<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	1.9	1.8	1.7	1.6	1.4	1.9
	500		1.0	1.8	1.8	1.9	1.7	1.6	1.5	1.4	1.7
	700	0.8	1.1			1.4	1.6	1.6	1.5	1.3	1.5
	≥800									1.3	1.3

FA calcolato per lunghi periodi (0.5 < T < 1 s)

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

Pericolosità sismica: GRUPPO 3

Basamento sismico: profondità < 30 m

FA calcolato per corti periodi (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	
VsH (m/s)	<200		1.3	2.1	2.2	2.2	2.0	1.9	1.8	1.5	1.8
	300		1.3	1.9	2.1	1.9	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			1.3	1.5	1.6	1.6	1.4	1.5
	≥800									1.3	1.3

FA calcolato per lunghi periodi (0.5 < T < 1 s)

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

Pericolosità sismica: GRUPPO 1+2

Basamento sismico: profondità > 30 m

FA calcolato per corti periodi (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	1.8	2.0	2.0	1.8	2.0	1.9	2.0	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	1.8	1.7	1.6	1.6	1.6	1.6
	≥800	1.1	1.2		1.5	1.3	1.3			1.4	1.4

FA calcolato per lunghi periodi (0.5 < T < 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	1.3	2.0								1.3
	300	1.5	2.3	2.0	1.9	2.1	1.9	1.8	1.8	1.3	2.2
	500	1.4	2.0	1.8	1.5	1.6	1.7	1.5	1.5	1.5	1.8
	700	1.2	1.7	1.6	1.3	1.2	1.2	1.3	1.3	1.3	1.4
	≥800	1.5	2.0		1.3	1.1	1.1			1.3	1.3

Pericolosità sismica: GRUPPO 3

Basamento sismico: profondità > 30 m

FA calcolato per corti periodi (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	1.2	1.5	1.9	1.9	2.0	1.9	2.1	2.1	1.9	1.7
	500	1.2	1.4	1.8	2.0	1.8	1.8	1.9	2.0	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	1.4

FA calcolato per lunghi periodi (0.5 < T < 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	1.3	2.0								1.6
	300	1.6	2.2	2.0	1.8	2.0	2.0	1.8	1.8	1.3	2.1
	500	1.4	1.9	1.8	1.5	1.6	1.7	1.6	1.5	1.5	1.7
	700	1.2	1.6	1.6	1.3	1.3	1.2	1.4	1.3	1.3	1.4
	≥800	1.5	1.8		1.3		1.1			1.3	1.3

Macroarea: TOSCANA CENTRALE

Pericolosità sismica: GRUPPO 3

Basamento sismico: profondità < 30 m

FA calcolato per corti periodi (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	
VsH (m/s)	<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 calcolato per lunghi periodi (0.5 < T < 1 s)

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

Pericolosità sismica: GRUPPO 4

Basamento sismico: profondità < 30 m

FA calcolato per corti periodi (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	
VsH (m/s)	<200	1.1	1.5	1.9	2.5	2.1	2.1	2.1	2.1	1.5	1.8
	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 calcolato per lunghi periodi (0.5 < T < 1 s)

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

Pericolosità sismica: GRUPPO 3

Basamento sismico: profondità > 30 m

FA calcolato per corti periodi (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 calcolato per lunghi periodi (0.5 < T < 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	1.8	2.2	2.3							2.1
	300	1.4	2.0	1.9	1.7	1.6	1.5	1.6	1.6	1.8	1.8
	500	1.2	1.7	1.6	1.5	1.5	1.5	1.4	1.5	1.6	1.5
	700	1.1	1.3	1.4	1.3	1.2	1.3	1.2	1.1	1.2	1.2
	≥800	1.1	1.2	1.2					1.0	1.0	1.1

Pericolosità sismica: GRUPPO 4

Basamento sismico: profondità > 30 m

FA calcolato per corti periodi (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 calcolato per lunghi periodi (0.5 < T < 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	1.8	2.3	2.4							2.2
	300	1.4	2.0	1.9	1.7	1.6	1.7	1.5	1.6	1.8	1.8
	500	1.2	1.7	1.6	1.4	1.5	1.6	1.5	1.5	1.6	1.5
	700	1.1	1.3	1.4	1.2	1.1	1.4	1.2	1.2	1.3	1.2
	≥800	1.1	1.2	1.2						1.0	1.1

Macroarea: TOSCANA COSTIERA

Pericolosità sismica: GRUPPO 4+5+6

Basamento sismico: profondità > 30 m

FA calcolato per corti periodi (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 calcolato per lunghi periodi (0.5 < T < 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	2.6	2.9							2.3
	300	1.5	1.9	1.9	1.6	1.6	1.6	1.5	1.1	1.9	1.6
	500	1.2	1.5	1.4	1.6	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2	1.3
	700	1.1	1.4	1.5			1.5	0.9	1.1	1.1	1.2
	≥800	1.0	1.0								1.0

Macroarea: AMIATA

Pericolosità sismica: GRUPPO 3

Basamento sismico: profondità < 30 m

FA calcolato per corti periodi (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	
VsH (m/s)	<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 calcolato per lunghi periodi (0.5 < T < 1 s)

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

Pericolosità sismica: GRUPPO 4

Basamento sismico: profondità < 30 m

FA calcolato per corti periodi (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	
VsH (m/s)	<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 calcolato per lunghi periodi (0.5 < T < 1 s)

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

Pericolosità sismica: GRUPPO 3

Basamento sismico: profondità > 30 m

FA calcolato per corti periodi (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 calcolato per lunghi periodi (0.5 < T < 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								2.5
	300	1.8	2.5	2.2	2.0	2.5	2.8	2.3	1.9	2.3	2.3
	500	1.5	2.3	1.8	1.5	1.4	1.2	1.9	1.9	1.5	1.7
	700			1.7	1.4	1.2	1.2			1.2	1.4
	≥800										

Pericolosità sismica: GRUPPO 4

Basamento sismico: profondità > 30 m

FA calcolato per corti periodi (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 calcolato per lunghi periodi (0.5 < T < 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	1.6	2.8								2.7
	300	1.8	2.5	2.1	1.7	2.5	2.1	2.4	1.7	2.1	2.3
	500	1.5	2.3	1.8	1.4	1.2	1.2	1.8	1.7	1.3	1.6
	700			1.6	1.3	1.1	1.1			1.1	1.3
	≥800										