



Regione Toscana

Le attività regionali
per la microzonazione
sismica
in Toscana

Gli Abachi per la Microzonazione Sismica di

Dario Albarello e Giacomo Peruzzi

Livello II

Dipartimento di Scienze Fisiche, della Terra e dell'Ambiente

Università degli Studi di Siena

dario.albarello@unisi.it



Firenze, 12 Giugno 2014

L'obiettivo principale del Secondo Livello di analisi proposto negli Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica è quello di dare una base quantitativa alle indicazioni di tipo qualitativo fornite dal modello geologico (I livello di approfondimento)



1.6.3.2 LIVELLO 2 – CARTA DI MICROZONAZIONE SISMICA

Il livello 2 si pone due obiettivi da raggiungere in sequenza:

- compensare alcune incertezze del livello 1 con approfondimenti conoscitivi;
- fornire quantificazioni numeriche, con metodi semplificati (abachi e leggi empiriche), della modificazione locale del moto sismico in superficie (zone stabili suscettibili di amplificazioni locali) e dei fenomeni di deformazione permanente (zone suscettibili di instabilità).

Per il raggiungimento di tali obiettivi si possono determinare modificazioni delle geometrie delle zone individuate precedentemente nella *Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica*.

Il risultato di questo livello è la *Carta di microzonazione sismica*, ottenuta associando una quantificazione numerica degli effetti, con metodi semplificati, alle zone, o a parti di esse, della *Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica*.



Un aspetto chiave dell'approccio di secondo livello è la definizione di aree nelle quali questo tipo di approccio può effettivamente essere applicato

Per esempio, per quanto riguarda le zone stabili suscettibili di amplificazione, si tratta di identificare quelle porzioni nelle quali le caratteristiche geomorfologiche e stratigrafiche locali sono compatibili con l'impiego di modelli monodimensionali ovvero caratterizzati da variazioni **solo verticali** delle caratteristiche meccaniche del sottosuolo

Per tutte le altre situazioni, la caratterizzazione quantitativa degli effetti attesi deve essere effettuata attraverso l'impiego di metodi avanzati (approccio di terzo livello di approfondimento)

In altri termini, in una carta di secondo livello esisteranno delle aree "bianche" la cui caratterizzazione è rimandata ad un terzo livello di approfondimento .

L'applicazione del terzo livello (almeno per quanto riguarda le zone stabili suscettibili di amplificazione) sarà ristretta a queste sole aree





La definizione degli effetti di amplificazione stratigrafica (1D) attesi in un sito richiederebbe la definizione:

1. *della situazione litostratigrafica locale (spessori degli strati relativi alle diverse formazioni presenti)*
2. *delle proprietà sismiche dei corpi geologici nel dominio lineare (profilo Vs)*
3. *delle equazioni costitutive dei diversi corpi geologici nel dominio non lineare (curve di degrado e smorzamento)*

Si tratta di indagini talvolta costose (p.es. le indagini di laboratorio per la definizione delle curve di degrado) poco compatibili con il carattere estensivo delle carte di microzonazione sismica

In questo contesto, l'impiego di **approcci semplificati** (laddove possibile) è utile per consentire di stimare il livello di amplificazione atteso con costi accessibili e sfruttando le informazioni raccolte in altre aree del territorio





Gli abachi

Un abaco (letteralmente) è una “Tavoletta per fare i conti”

Nel contesto della microzonazione sismica, gli abachi sono **tabelle** pre-confezionate utili a calcolare gli **effetti di amplificazione attesi** (parametrizzati in modo sintetico) in funzione di un **numero limitato** di parametri **stimabili empiricamente con costi contenuti**

Esistono due tipi di abaco:

1. *Abaco finalizzato alla determinazione dell'effetto di amplificazione stratigrafica*
2. *Abaco finalizzato alla determinazione dell'effetto di amplificazione topografica*

Tutti gli abachi possono essere utilizzati solo se la situazione di interesse ricade nella tipologie fissate dagli estensori dell'abaco





Nella formulazione degli abachi e ai fini della microzonazione sismica di secondo livello, l'amplificazione viene rappresentata da un solo parametro numerico detto **Fattore di Amplificazione**

Questo fattore numerico può essere per esempio stimato come segue:

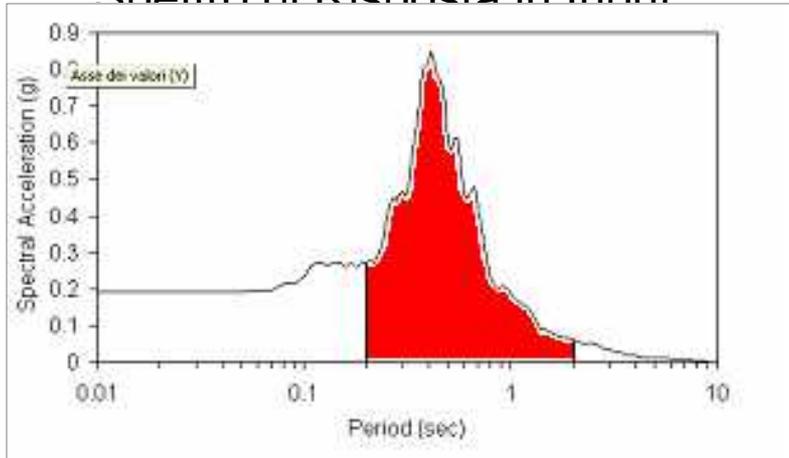
1. *Si prende lo spettro di risposta del moto di riferimento su basamento affiorante (moto di input) e si calcola l'area sottesa allo spettro in un intervallo di frequenze o periodi giudicato di interesse per la progettazione (**Intensità Spettrale**)*
2. *Per lo stesso intervallo di periodi si valuta l'intensità spettrale per lo spettro di risposta ottenuto dalla simulazione alla superficie della colonna stratigrafica considerata (moto di output)*
3. *Il fattore di amplificazione è il **rapporto** fra le due intensità spettrali*



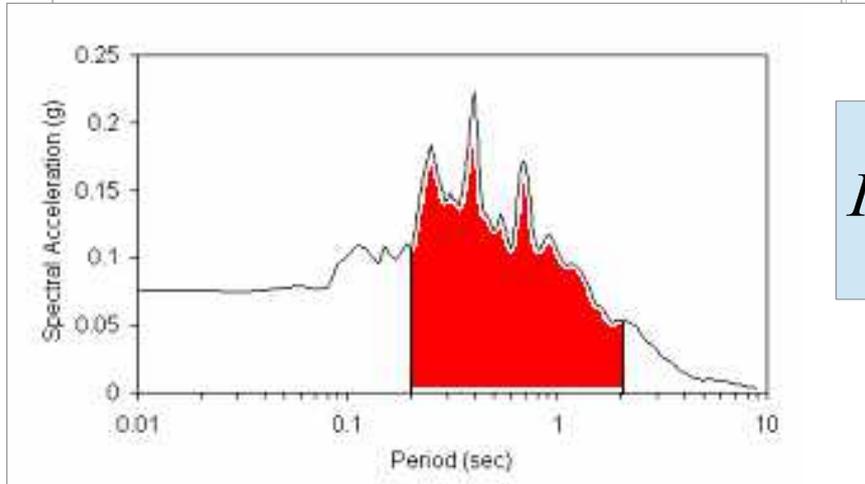


Il Fattore di amplificazione (FA) è utile per una valutazione relativa del livello di amplificazione atteso nelle diverse zone

Spettro di Risposta in Input



$$I_{sed} = \int_{0.5}^2 PSA dT$$



$$I_{rock} = \int_{0.5}^2 PSA dT$$

$$FA = \frac{I_{sed}}{I_{rock}}$$

Non si tratta di uno studio di risposta sismica locale!





Gli abachi possono essere definiti a partire da diversi approcci

1. *Su base totalmente empirica da dati accelerometrici osservati (è il caso dell'abaco delle NTC08)*
2. *Attraverso la **modellazione fisica** dei processi di propagazione delle onde sismiche a partire da **dati di letteratura** (è il caso dell'abaco esemplare descritto negli Indirizzi e Criteri di Microzonazione sismica) o da dati di sottosuolo **legati alle aree di applicazione** (è il caso degli abachi regionali in corso di definizione)*

Inoltre gli abachi si differenziano per il **tipo** di parametri necessari alla definizione locale del fattore di amplificazione e per la modalità definizione delle incertezze connesse al loro uso





- 1.
- 2.
- 3.

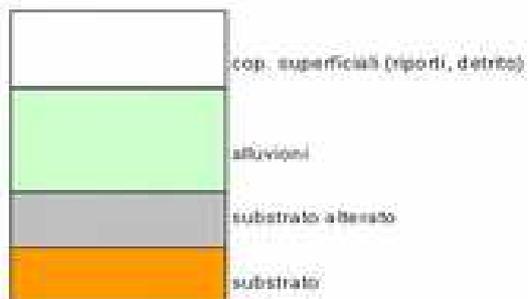
- 1.
- 2.
- 3.

- 1.
- 2.

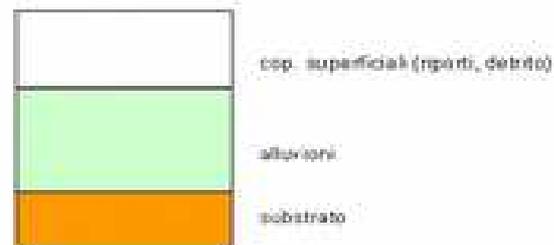
- 1.
- 2.



1



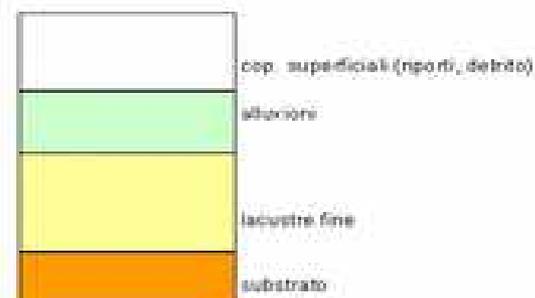
2



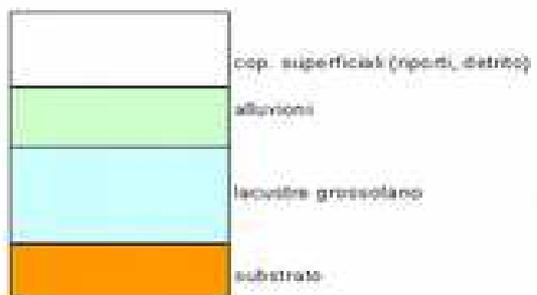
3



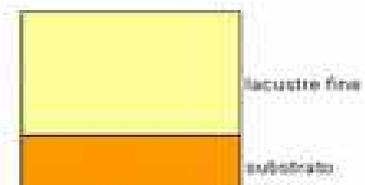
4



5



6

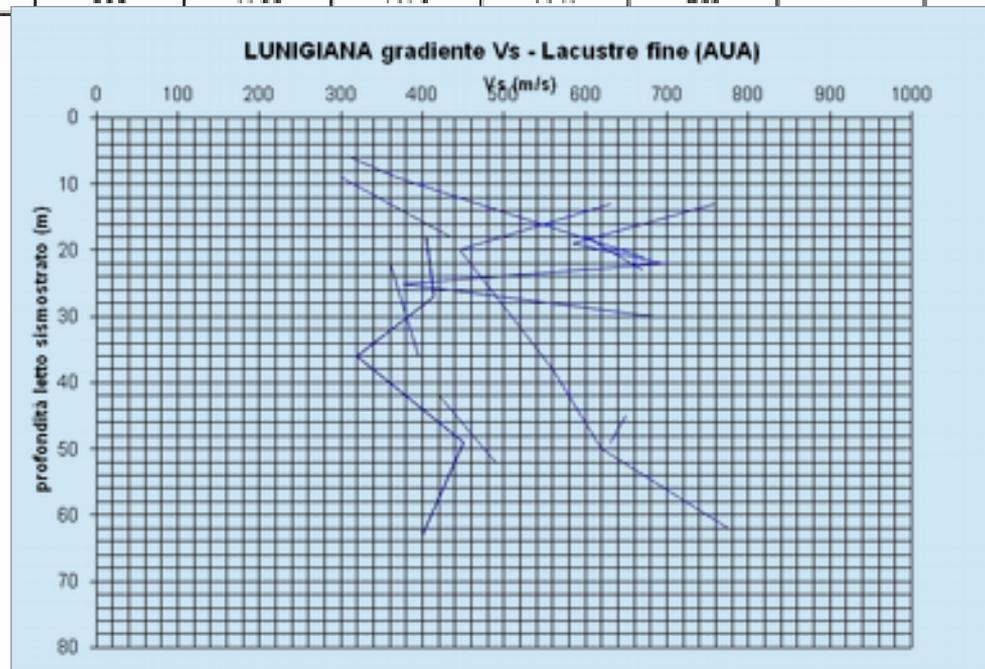


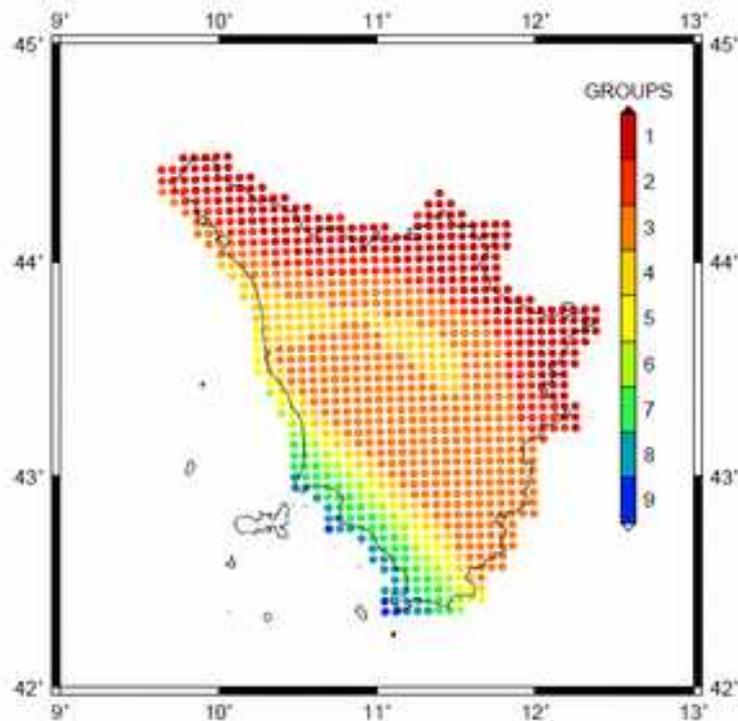
7





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	1760	1176	1147	263	-	-	-	-	-





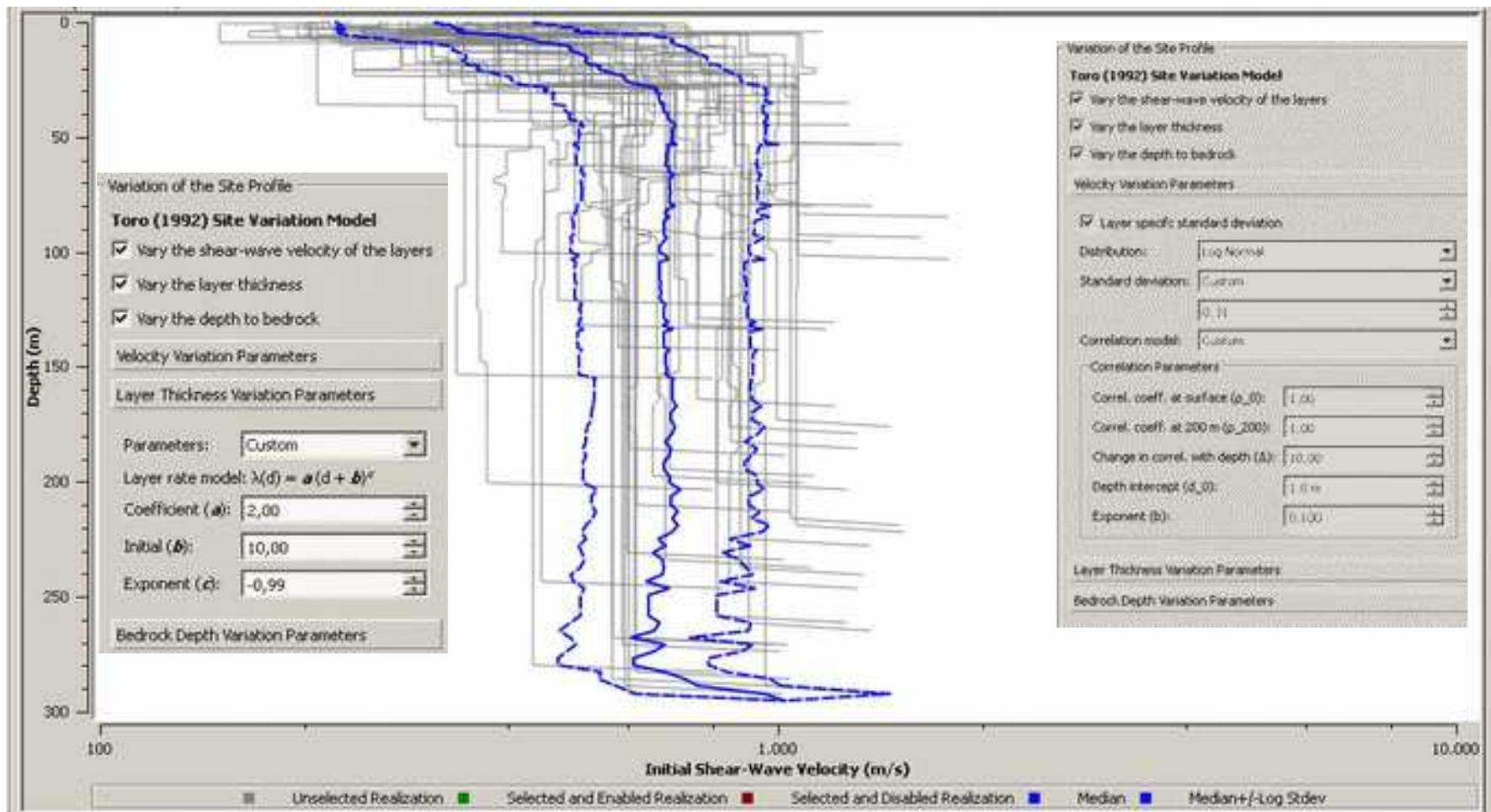
General Settings | Soil Types | Soil Profile | Motion(s) | Output Specification | Compute | Results

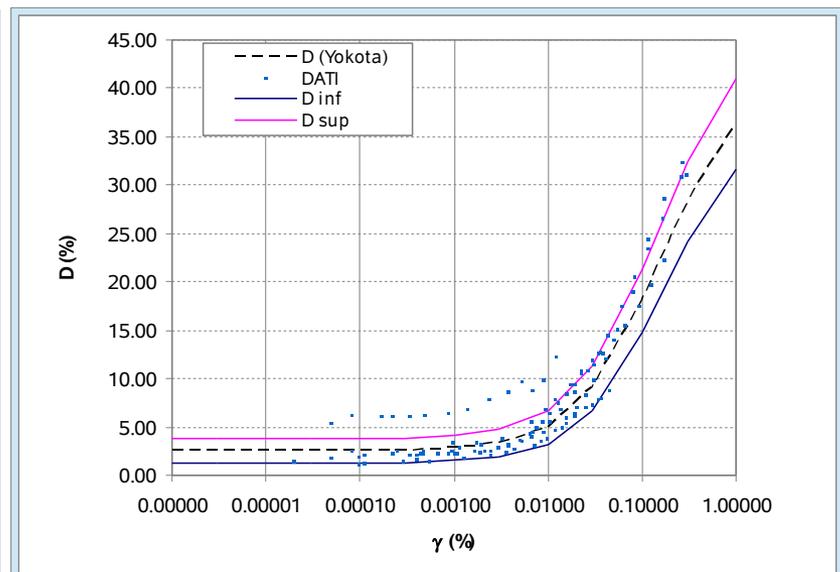
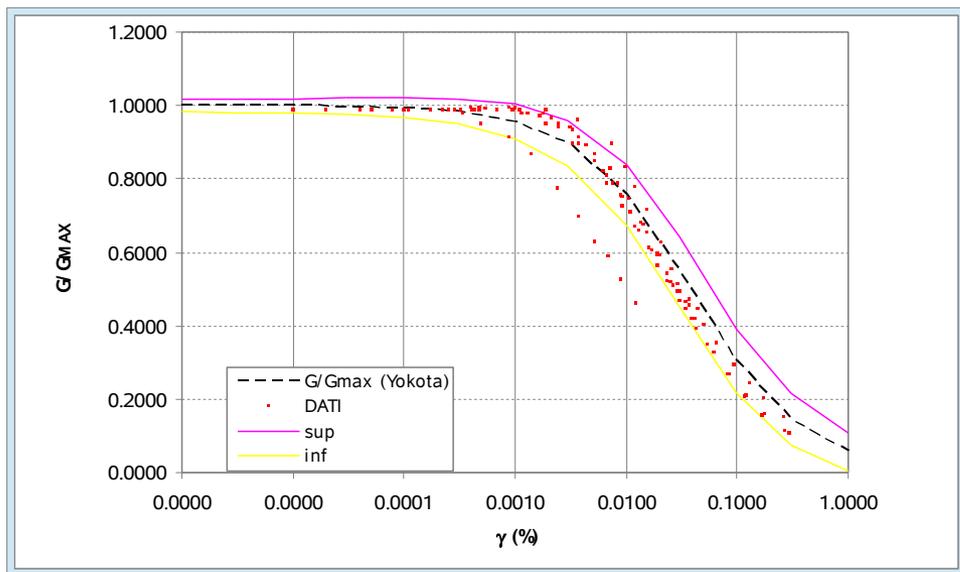
Motion Input Location
Specify the location to input the motion(s):

Input Motions

	Name	Description	Type	PGA (g)	PGV (cm/s)	Scale Factor
1	<input checked="" type="checkbox"/> acc01_1.csv	6.87, ESD 000182xa.cor	Outcrop	0.27	13.85	1.00
2	<input checked="" type="checkbox"/> acc01_2.csv	6.2, ESD 000234ya.cor	Outcrop	0.15	12.63	1.00
3	<input checked="" type="checkbox"/> acc01_3.csv	5.74, NGA 0146y.bit	Outcrop	0.27	17.44	1.00
4	<input checked="" type="checkbox"/> acc01_4.csv	6.93, NGA 0804y.bit	Outcrop	0.21	16.49	1.00
5	<input checked="" type="checkbox"/> acc01_5.csv	5.61, NGA 1649y.bit	Outcrop	0.16	6.82	1.00
6	<input checked="" type="checkbox"/> acc01_6.csv	6.6, KNET1 SAG0010503201053.N5	Outcrop	0.25	19.14	1.00
7	<input checked="" type="checkbox"/> acc01_7.csv	5.6, ITACA 19971014_152309ITDPC_CSC_WEC.DAT	Outcrop	0.16	13.58	1.00
8	<input checked="" type="checkbox"/> acc02_1.csv	6.87, ESD 000182xa.cor	Outcrop	0.23	11.70	1.00
9	<input checked="" type="checkbox"/> acc02_2.csv	6.2, ESD 000234ya.cor	Outcrop	0.13	10.48	1.00
10	<input checked="" type="checkbox"/> acc02_3.csv	5.74, NGA 0146y.bit	Outcrop	0.22	14.71	1.00
11	<input checked="" type="checkbox"/> acc02_4.csv	6.93, NGA 0765x.bit	Outcrop	0.16	12.57	1.00
12	<input checked="" type="checkbox"/> acc02_5.csv	6.69, NGA 1033y.bit	Outcrop	0.14	12.91	1.00
13	<input checked="" type="checkbox"/> acc02_6.csv	6.6, KNET1 SAG0010503201053.N5	Outcrop	0.21	16.14	1.00
14	<input checked="" type="checkbox"/> acc02_7.csv	5.6, ITACA 19971014_152309ITDPC_CSC_WEC.DAT	Outcrop	0.14	11.45	1.00
15	<input checked="" type="checkbox"/> acc03_1.csv	5.6, ESD 000766xa.cor	Outcrop	0.26	8.44	1.00
16	<input checked="" type="checkbox"/> acc03_2.csv	6.87, ESD 000182xa.cor	Outcrop	0.19	9.80	1.00
17	<input checked="" type="checkbox"/> acc03_3.csv	6.2, ESD 000234ya.cor	Outcrop	0.11	8.77	1.00
18	<input checked="" type="checkbox"/> acc03_4.csv	6.93, NGA 0804y.bit	Outcrop	0.15	11.62	1.00
19	<input checked="" type="checkbox"/> acc03_5.csv	5.61, NGA 1649y.bit	Outcrop	0.12	4.78	1.00
20	<input checked="" type="checkbox"/> acc03_6.csv	6.6, KNET1 SAG0010503201053.N5	Outcrop	0.17	13.48	1.00
21	<input checked="" type="checkbox"/> acc03_7.csv	5.6, ITACA 19971014_152309ITDPC_CSC_WEC.DAT	Outcrop	0.11	9.57	1.00







Nonlinear Curve Fitting Parameters

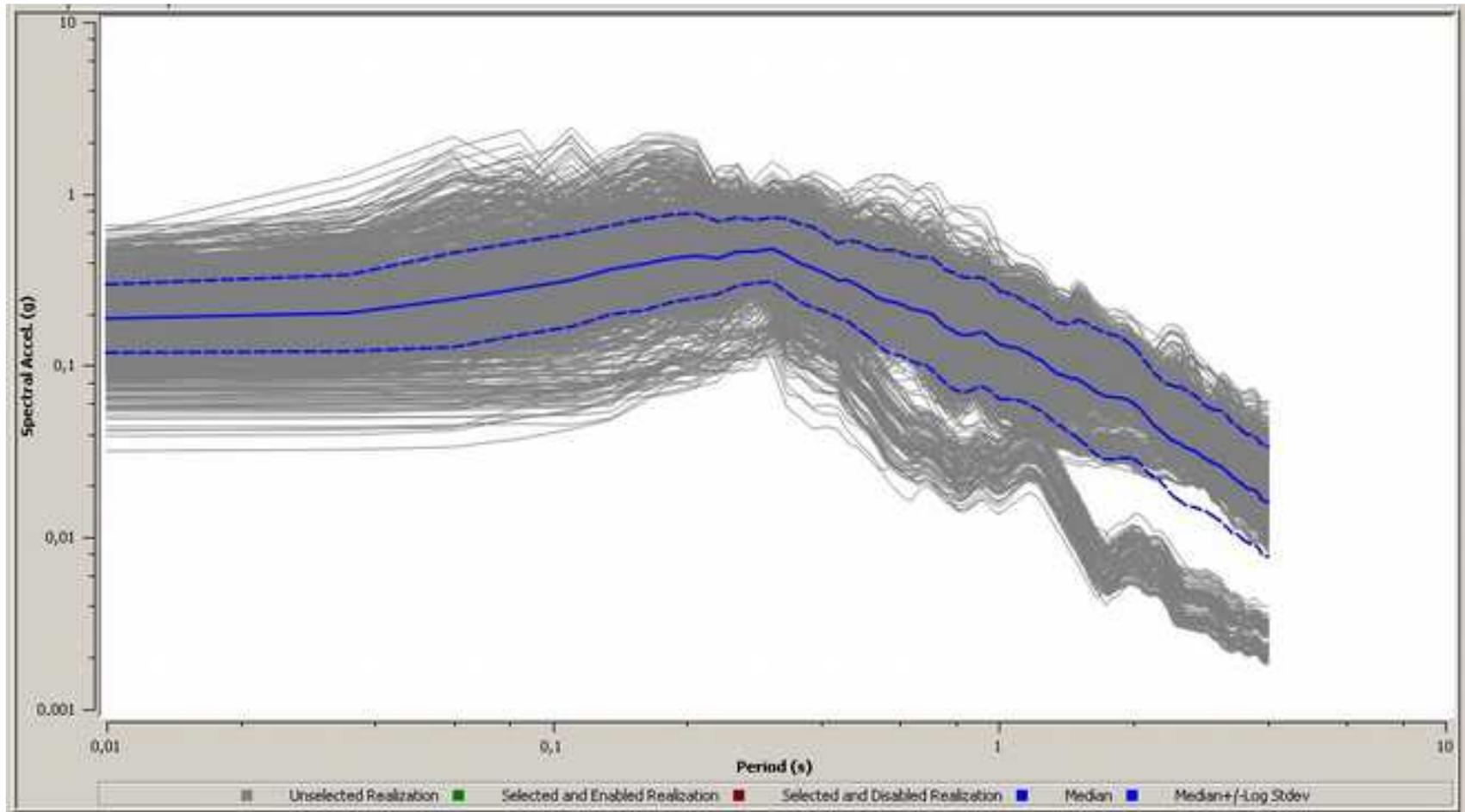
Standard deviation model: $\sqrt{\text{var}(y)} = \text{Corrcoef}$

Normalized shear modulus (G/G_{max}):
Function: $\text{Math.exp}(-\gamma^2) + \text{Math.sign}(0.25) * \text{Math.exp}(\gamma^2) + \text{Math.pow}(\text{modulus} - 0.5, 0) * \text{Math.exp}(\gamma^2) * 0.5$ Min: 0.100 Max: 1.000

Damping:
Function: $\text{Math.exp}(\gamma) + \text{Math.exp}(-0.25 * \gamma) * \text{Math.sign}(\text{damping})$ Min: 0.25 % Max: 15.00 %

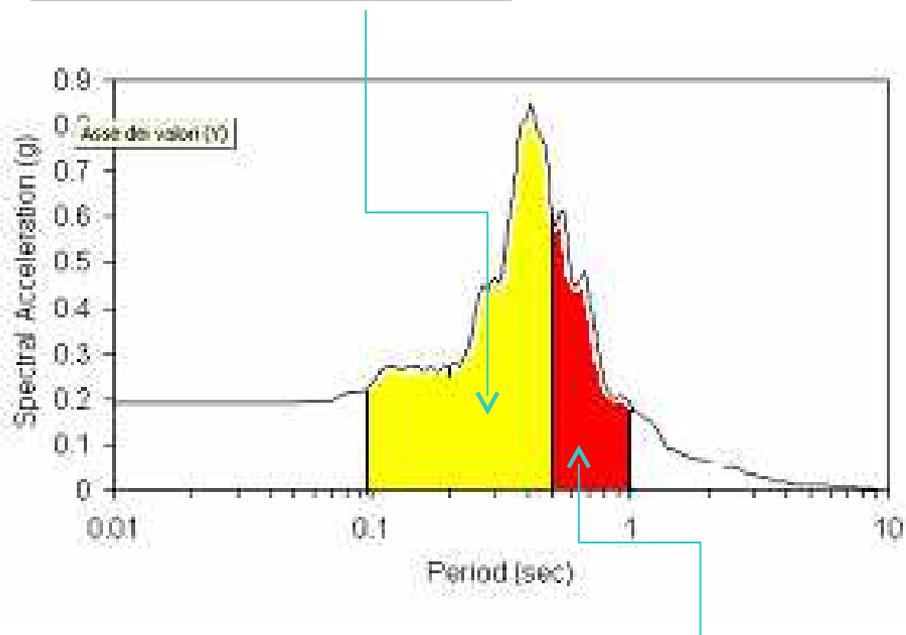
G/G_{max} , Damping Correlation Coefficient (ρ): 0.50







$$I_{output} = \int_{0.1}^{0.5} PSA dT$$



$$FA = \frac{I_{output}}{I_{input}}$$

$$I_{input} = \int_{0.5}^1 PSA dT$$





1.

2.

3.

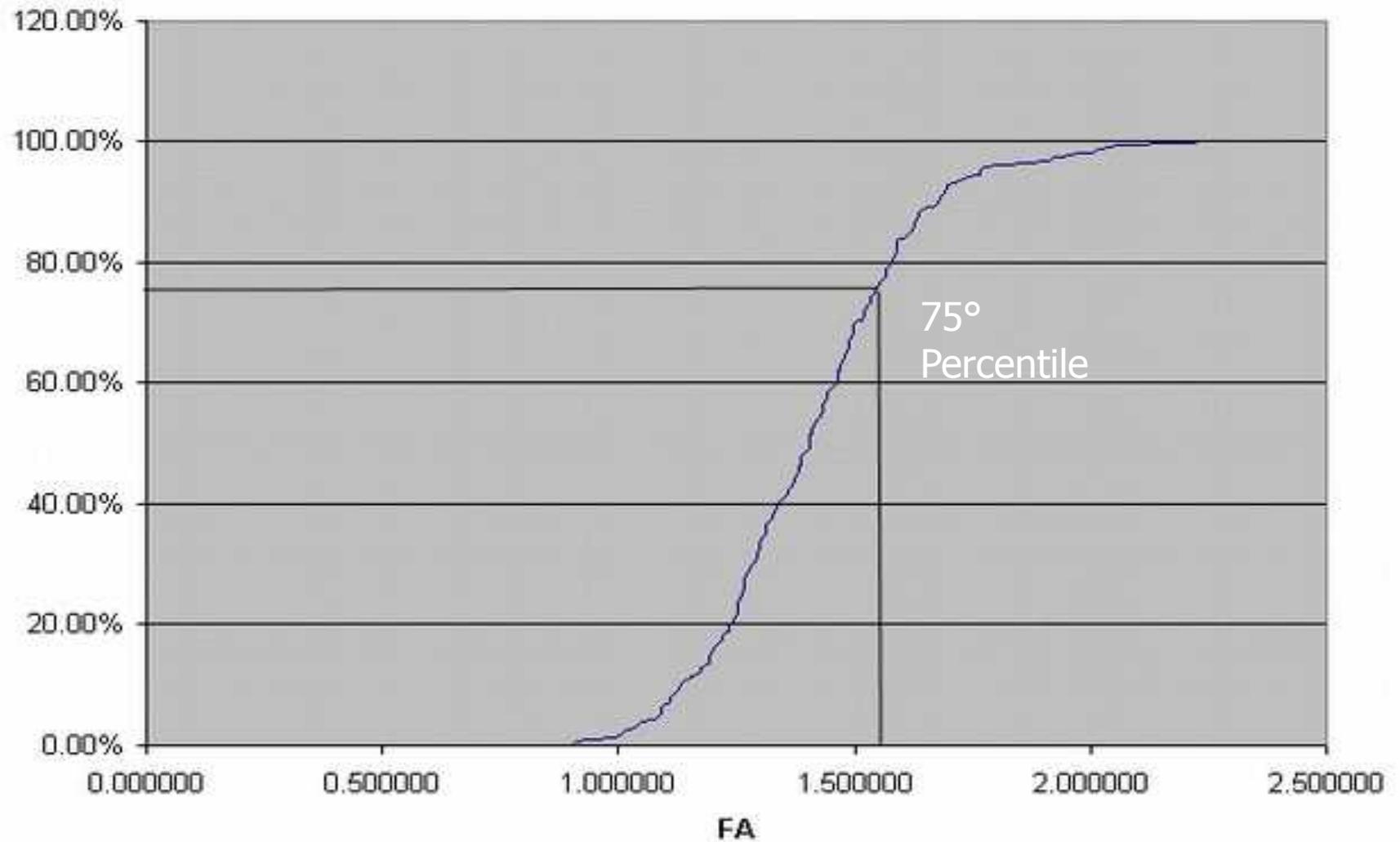
4.





Profilo	Vs30	FO_01_1	AO_01_1	FA_01_1	FO_01_2	AO_01_2	FA_01_2	FO_01_3	AO_01_3	FA_01_3	FO_01_4	AO_01_4	FA_01_4	FO_01_5	AO_01_5	FA_01_5	FO_01_6	AO_01_6	FA_01_6
S-1	333.9455	0.75	1.643952	1.028211	0.75	1.458075	1.212676	0.75	1.346555	1.061058	0.75	1.650946	1.18861	3.25	1.754272	1.218204	0.5	1.623395	1.06659
S-2	225.0114	0.25	1.246277	0.746523	0.5	1.531910	0.804911	0.25	1.425000	0.817777	0.25	1.632207	0.826000	0.5	1.691317	0.748993	0.25	1.253434	0.711992
S-3	325.3112	0.500000	1.601332	0.909589	0.5	1.567549	0.99483	0.5	1.58438	0.915316	0.5	1.597016	1.113493	3.75	1.621237	0.932906	0.5	1.618322	0.982358
S-4	582.7757	1	1.467936	1.106760	1	1.461241	1.125067	1	1.486523	1.156227	1	1.488328	1.19966	1	1.436368	1.129729	1	1.503883	1.114864
S-5	562.9625	0.25	1.688179	0.961426	0.75	1.369642	0.92926	0.25	1.614119	0.700479	0.75	1.511011	0.982263	0.25	1.514230	0.659773	0.25	1.584430	0.951428
S-6	312.75	0.25	1.65939	0.637217	0.25	1.487955	0.714204	0.25	1.524413	0.623147	0.25	1.602202	0.749999	0.25	1.55555	0.677724	0.25	1.631117	0.671412
S-7	794.071	0.75	1.506168	0.841240	0.75	1.463611	0.903209	0.75	1.510975	0.88464	0.75	1.514276	0.941359	0.75	1.414048	0.837015	0.75	1.538142	0.873222
S-8	415.729	3.75	2.201445	1.603511	3.75	2.214254	1.766364	3.75	2.268977	1.630960	3.75	2.244377	1.661838	4	2.352456	1.780617	3.75	2.249166	1.695311
S-9	489.0235	0.5	1.81128	0.719238	0.5	1.819607	0.786226	0.5	1.761782	0.744118	0.5	1.716734	0.886777	0.5	1.703442	0.741188	0.5	1.86181	0.762267
S-10	561.4204	1.5	1.711139	1.252079	1.5	1.677804	1.207085	1.5	1.706617	1.252651	1.5	1.702193	1.26709	17.5	1.753829	1.172467	1.5	1.711494	1.22218
S-11	555.6483	0.75	1.736041	1.015458	1	1.751374	1.092415	0.75	1.771868	1.10225	0.75	1.768644	1.178875	1	1.667462	1.102602	0.75	1.903665	1.050441
S-12	418.3892	4	2.853194	1.612146	4	2.757139	1.742642	4	2.832778	1.658913	4	2.718881	1.492966	4.25	2.826006	1.954798	4	2.757393	1.487993
S-13	412.8325	2.5	1.617948	0.984578	2.75	1.625413	1.127784	2.5	1.604492	1.018066	0.75	1.58712	1.096745	2.75	1.784924	1.245074	0.75	1.578894	0.899935
S-14	693.5041	3.25	1.838227	1.447231	3.25	1.793927	1.427176	3.25	1.794391	1.388003	3.25	1.735248	1.425577	3.25	1.77793	1.381634	3.25	1.735662	1.257125
S-15	317.9175	1.5	2.842215	1.828331	1.5	2.647036	2.014242	1.25	2.594653	1.866376	1.25	2.629846	2.003923	3.5	2.849653	2.09262	1.5	2.618896	1.954285
S-16	555.1908	1.25	1.799493	1.304691	1.5	1.772025	1.295774	1.25	1.821874	1.298062	1.25	1.786302	1.33739	1.5	1.70208	1.311325	1.25	1.819392	1.259464
S-17	386.5205	0.25	1.870108	0.626757	0.25	1.774102	0.746303	0.25	1.88808	0.681438	0.25	2.041744	0.738828	0.25	1.92228	0.625531	0.25	2.018205	0.691027
S-18	677.9168	1.5	1.754323	1.366205	1.5	1.716423	1.488728	1.5	1.739828	1.386228	1.5	1.737466	1.315285	1.75	1.69214	1.362371	1.5	1.743178	1.322581
S-19	729.4759	9.25	1.567256	1.188572	9.5	1.580472	1.263626	9.25	1.583513	1.190150	9.25	1.564878	1.268816	9.5	1.591331	1.269164	9.25	1.578078	1.23433
S-20	500.5253	0.5	1.57592	0.678420	0.5	1.569588	0.701421	0.5	1.565528	0.705704	0.5	1.545202	0.791236	0.5	1.545273	0.682863	0.5	1.589285	0.706944
S-21	697.0772	1.25	1.521304	1.157757	1.25	1.480712	1.149774	1.25	1.531487	1.160687	1.25	1.528003	1.188151	9.75	1.51171	1.151066	1.25	1.538351	1.139156
S-22	434.794	0.5	1.619328	0.792230	0.75	1.567923	0.932167	0.5	1.623362	0.853170	0.5	1.609678	0.886459	0.75	1.562034	1.053072	0.5	1.703378	0.808237
S-23	561.8576	17	3.249361	1.051250	17.5	3.244351	1.048162	17	3.243157	1.065932	17.5	3.243409	1.023929	17.5	3.241852	1.10038	17	3.247949	1.052747
S-24	498.4671	8.25	3.0205	1.027917	8.75	3.077929	1.766409	8.5	3.104746	1.662397	8.75	3.077917	1.666038	9.25	3.116309	1.683730	8.75	3.097817	1.660534
S-25	660.7153	1.5	1.772409	1.197605	1.5	1.724695	1.187578	1.5	1.774044	1.175564	1.5	1.769487	1.257135	1.75	1.665362	1.003101	1.5	1.780261	1.1549







passaggio tra aree ad accelerazione propria della zona 3 ($a_g < 0.150g$) ed aree ad accelerazione riconducibile alla zona 2 ($a_g \geq 0.150g$) ai sensi dell'OPCM 3519/06.



Suddivisione aree per l'applicazione degli Abachi di II livello

- Area appenninica
- Area dell'Amiata
- Toscana costiera
- Transizione appennino - Toscana interna
- Toscana interna





Amiata (substrato geologico > 30 m)

Gruppo 4

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

		f0 (Hz)									
		<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	= 8	75° perc
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)									
		<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	= 8	75° perc
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

		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										

Figura 5. Esempio di abaco relativo alle zone del Monte Amiata: in neretto le combinazioni f_0/V_{s30} con più di 5 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.





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.





Conclusioni

Come si vede, la costruzione degli abachi richiede l'applicazione di una procedura lunga, costosa (soprattutto per quanto riguarda la parametrizzazione delle diverse stratigrafie) e complessa che richiede specifiche competenze

E' quindi opportuno che siano le Regioni (o analoghi Enti competenti) a provvedere alla formulazione degli Abachi investendo la necessaria quantità di risorse economiche e conoscitive

Quelli in corso di preparazione da parte della Regione Toscana sono ora in una fase di collaudo

Va notato comunque che, in ogni caso, gli abachi saranno validi per un insieme di situazioni comunque ristretto e che saranno comunque necessari studi specifici ogni volta che questo tipo di strumento risulterà non utilizzabile

Va quindi prestata la massima attenzione alle “regole” applicative fornite unitamente agli “abachi” evitandone l'applicazione impropria (il che vale a maggior ragione anche per le NTC)

