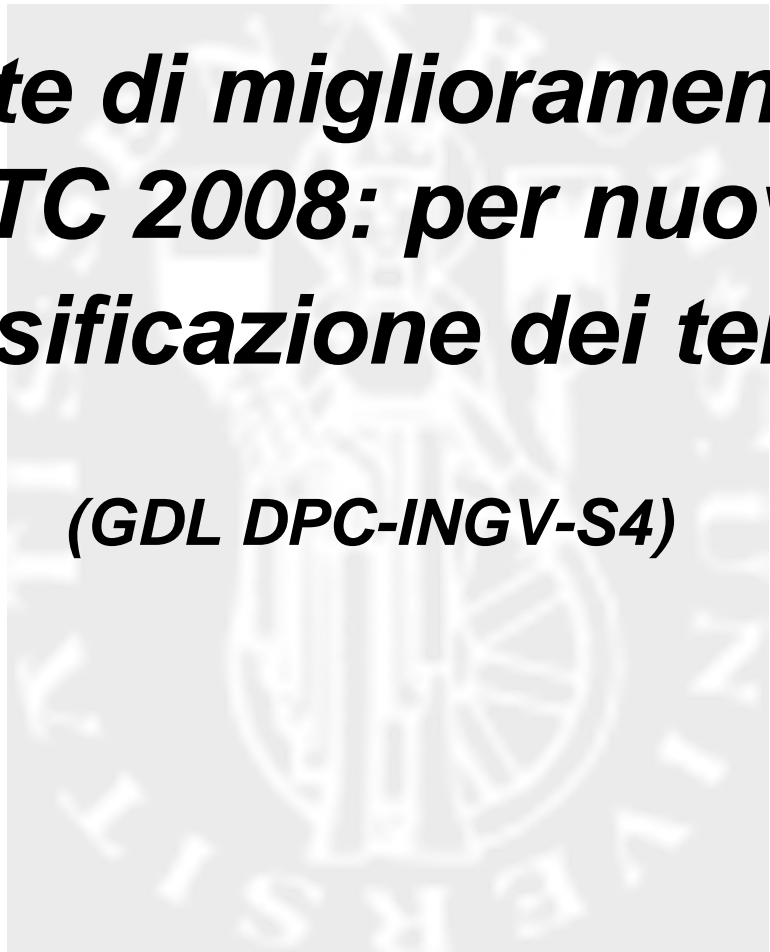


# ***Proposte di miglioramento delle NTC 2008: per nuova classificazione dei terreni***

***(GDL DPC-INGV-S4)***





## Perché si fa una classificazione dei suoli?

Il problema centrale è quello formulare degli “**abachi**” che consentano al progettista di evitare studi specifici della risposta sismica locale

Questi abachi devono consentire: la identificazione di **poche configurazioni** sismo-stratigrafiche del sottosuolo alle quali sia possibile associare **forme spettrali “tipo”** per lo scuotimento sismico atteso alla superficie di ciascuna configurazione

E' essenziale inoltre che queste configurazioni possano essere identificate a partire da **pochi** parametri sperimentali relativamente **facili** da determinare con poca spesa



## Ovviamente, perché tutto questo funzioni è necessario che:

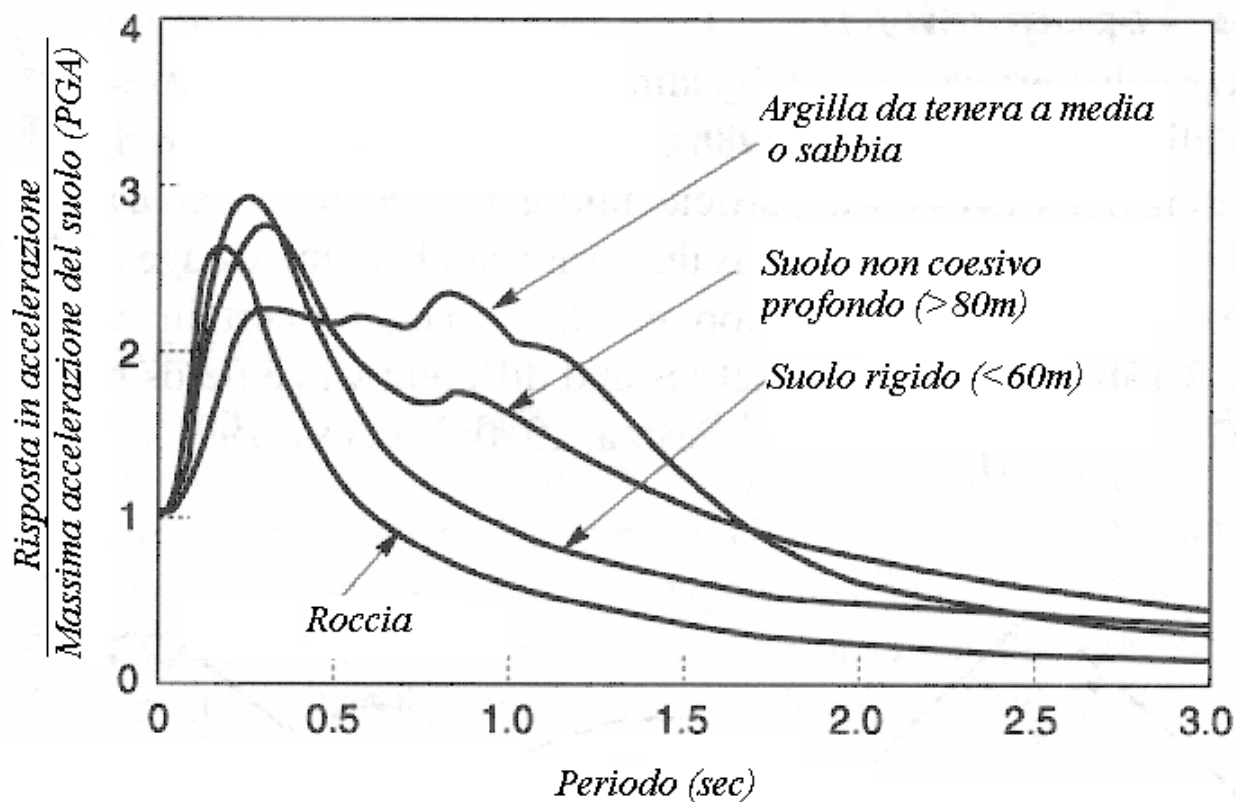
1. Esistano effettivamente delle **forme spettrali “tipo”** ovvero che sia effettivamente possibile trovare “gruppi” di forme spettrali ben distinte a partire da una analisi di tipo statistico delle osservazioni disponibili (accelerogrammi osservati)
2. Queste forme spettrali possano essere identificate a partire da pochi parametri sperimentali
3. Che questi parametri siano effettivamente facili da determinare

*Inoltre si fa l'implicita assunzione che il ruolo principale nella determinazione della forma spettrale sia giocato dalle variazioni verticali di velocità delle onde S (modelli 1D).*

*In altri termini, gli effetti morfologici o 2/3 D vengono considerati non influenti oppure esclusi “a priori” selezionando solo situazioni per le quali questi ultimi effetti possano essere esclusi*

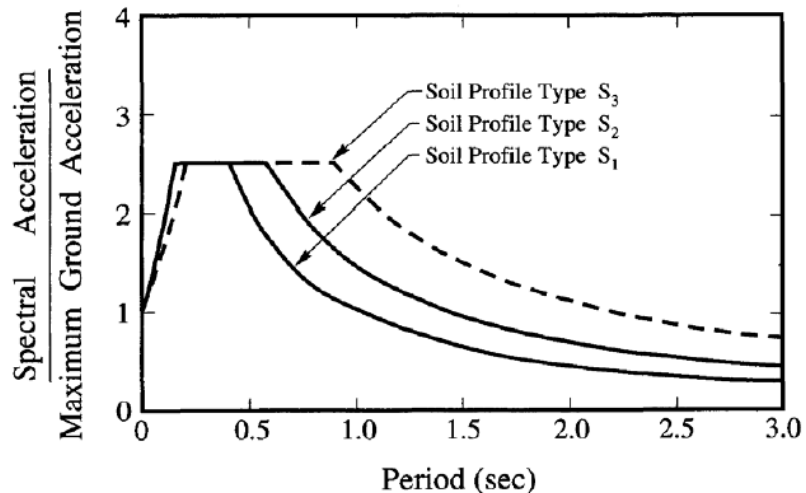
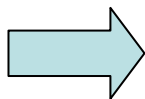
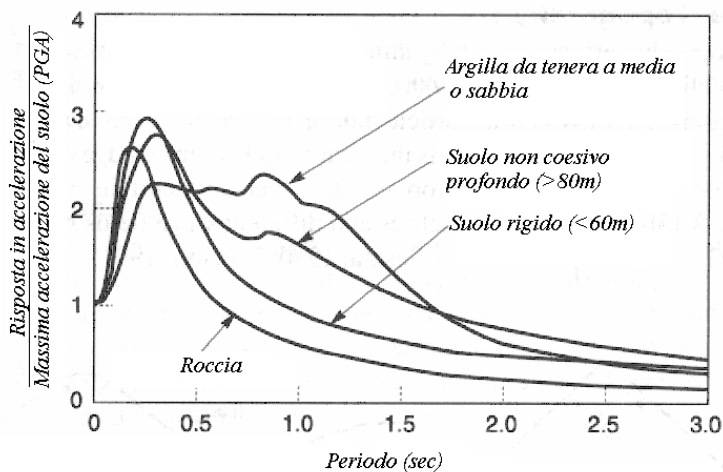


*Tutto parte da studi statistici condotti negli Stati Uniti (Seed et al., 1976) che portarono alla prima “classificazione” dei suoli su base esclusivamente geologico/stratigrafica*





## Prescrizioni NEHRP (1994)



Soil Profile Type	Description	Site Coefficient, $S$
$S_1$	A soil profile with either (1) rock of any characteristic, either shale-like or crystalline in nature, that has a shear wave velocity greater than 2,500 feet per second or (2) stiff soil conditions where the soil depth is less than 200 feet and the soil types overlying the rock are stable deposits of sands, gravels, or stiff clays.	1.0
$S_2$	A soil profile with deep cohesionless or stiff clay conditions where the soil depth exceeds 200 feet and the soil types overlying rock are stable deposits of sands, gravels, or stiff clays.	1.2
$S_3$	A soil profile containing 20 to 40 feet in thickness of soft-to medium-stiff clays with or without intervening layers of cohesionless soils.	1.5
$S_4$	A soil profile characterized by a shear wave velocity of less than 500 feet per second containing more than 40 feet of soft clays or silts.	2.0



Nel 1994, Borchardt sulla base di uno studio statistico degli accelerogrammi osservati in California (nel bacino di Los Angeles) a seguito del terremoto di Northridge (1989) propone un'altra classificazione dei suoli ed altri gruppi di forme spettrali basato sul parametro  $V_{s,30}$  definito nella forma

$$V_{s,30} = \frac{30}{\sum h/V_s}$$

Questo rappresenta un passo in avanti rispetto alla classificazione precedente perché include nella classificazione un parametro fisicamente significativo (il valore di  $V_s$ ). Tuttavia la base sperimentale è **assai debole** e molto condizionata dalla **specifica situazione** presa in esame

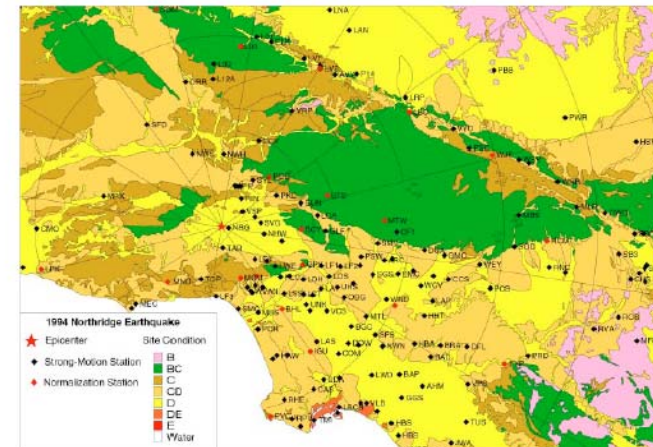
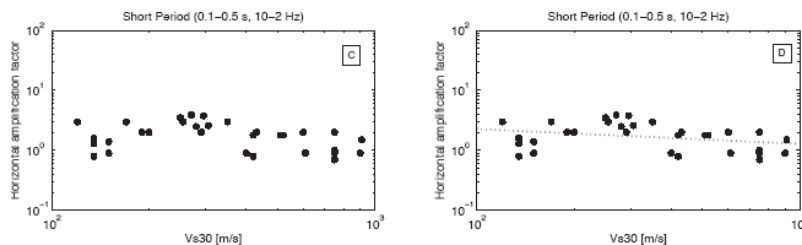


Figure 1. Map showing locations of strong-motion recording stations, normalization stations, and azimuth-distance bins used to minimize influence of source radiation and distance superimposed on geologic site-condition map (Wills et al. 2001).



Soil profile type	Description	Shear wave velocity top 30 m (m/s)	Standard Pen. Resistance (blows/ft)	Undrained shear strength (kPa)
A	Hard rock	> 1500	-	-
B	Rock	760-1500	-	-
C	Very dense soil/soft rock	360-760	> 50	> 100
D	Stiff soil	180-360	15 – 50	50 – 100
E	Soft soil	< 180	< 15	< 50
F	Special soils requiring site-specific evaluation	-	-	-

Table2: summary of soil profile types in 1997 NEHRP provisions and 1997 UBC.

## NEHRP (1997)

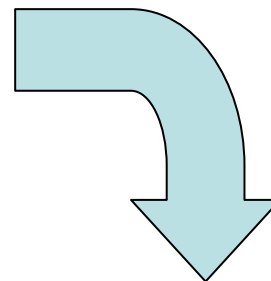
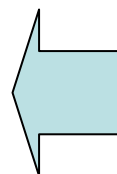


Tabella 3.2.II – Categorie di sottosuolo

Categoria	Descrizione
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore <u>massimo pari a 3 m</u> .
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> con spessori <u>superiori a 30 m</u> , caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
C	<i>Depositii di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con spessori <u>superiori a 30 m</u> , caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
D	<i>Depositii di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con spessori <u>superiori a 30 m</u> , caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
E	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m</i> , posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).



## NTC (2008)

(Va notata l'introduzione di una valutazione sullo spessore delle coperture)

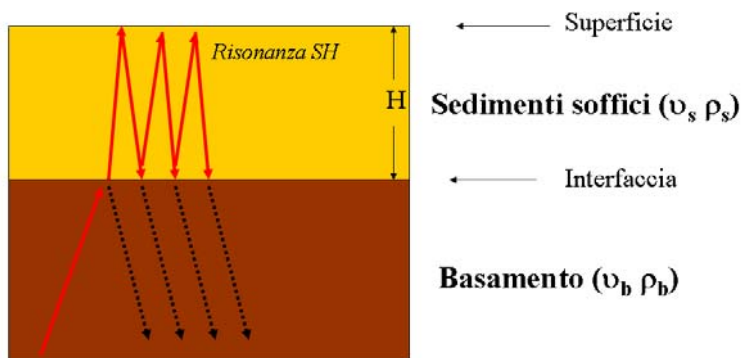
Subsoil class	Description of stratigraphic profile	Parameters		
		$V_{s,30}$ (m/s)	$N_{SPT}$ (bl/30cm)	$c_u$ (kPa)
A	Rock or other rock-like geological formation, including at most 5m of weaker material at the surface	> 800	-	-
B	Deposits of very dense sand, gravel, or very stiff clay, at least several tens of m in thickness, characterised by a gradual increase of mechanical properties with depth	360 – 800	> 50	> 250
C	Deep deposits of dense or medium-dense sand, gravel or stiff clay with thickness from several tens to many hundreds of m	180 – 360	15 - 50	70 – 250
D	Deposits of loose-to-medium cohesionless soil (with or without some soft cohesive layers), or of predominantly soft-to-firm cohesive soil	< 180	< 15	< 70
E	A soil profile consisting of a surface alluvium layer with $V_{s,30}$ values of class C or D and thickness varying between <u>about 5 m and 20 m</u> , underlain by stiffer material with $V_{s,30} > 800$ m/s			
S <sub>1</sub>	Deposits consisting – or containing a layer at least 10 m thick – of soft clays/silts with high plasticity index (PI > 40) and high water content	< 100 (indicative)	-	10 – 20
S <sub>2</sub>	Deposits of liquefiable soils, of sensitive clays, or any other soil profile not included in classes A – E or S <sub>1</sub>			

## Eurocode8



Esistono però altre proposte di classificazione (tutte basate su estese indagini di tipo statistico) che mettono in evidenza l'insufficienza del solo parametro Vs30 come elemento caratterizzante

In effetti, il fenomeno fisico della **risonanza** sismica è caratterizzato da tre parametri fondamentali: **lo spessore delle coperture (H)**, la **velocità media delle onde S** nelle coperture ( $\langle V_s \rangle$ ) e dal **contrasto di impedenza sismica alla base di queste ultime (R)**



Onde SH incidenti



**Sembra quindi difficile che il solo parametro Vs30 possa essere rappresentativo delle diverse possibili situazioni**





In realtà, esistono delle alternative rispetto al “paradigma” NEHRP basato essenzialmente sull’uso del parametro  $V_{s30}$

Per esempio, in Giappone vengono proposte (e adottate) una classificazioni dei suoli a due parametri:  $V_{s30}$  e  $T_0$  (periodo proprio delle coperture pari a  $\langle V_s \rangle / 4H$ )

Subsoil class	Description	$V_{s,30}$ (m/s)	$f_0$ (Hz)	$T_0$ (s)
SC I	Rock or stiff soil	$> 600$	$> 5$	$< 0.2$
SC II	Hard soil	300 – 600	5-2.5	0.2 – 0.4
SC III	Medium soil	200 – 300	2.5-0.166	0.4 – 0.6
SC IV	Soft soil	$< 200$	$< 0.166$	$> 0.6$

Table 4: classification scheme adopted by Japanese Road Association (1980, 1990).

Site classes	Site natural period	Average shear wave velocity	NEHRP class
SC-1	$TG < 0.2s$	$V_{s30} > 600$ m/s	A+B
SC-2	$0.2s \leq TG < 0.6s$	$200 \text{ m/s} \leq V_{s30} < 600$	C+D
SC-3	$0.6s \leq TG$	$V_{s30} \leq 200$ m/s	E
SC-4*	Unknown	$V_{s30} > 800$ m/s	A+B
SC-5*	Unknown	$300 \text{ m/s} \leq V_{s30} < 800$ m/s	C

Table 5: Site class definition used Fukushima et al. (2007) and the approximate correspondence with NEHRP site classes (\* = SC-4 and SC-5 are general rock and soil classes that were impossible to classify using the new procedure).



Altri propongono forme di classificazione dove vengono prese in considerazione il **periodo proprio**, lo **spessore delle coperture** e il valore medio di  $V_s$  **fino alla base delle coperture**

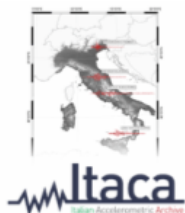
Site	Description	Site Period	Comments
A	Hard Rock	$\leq 0.1$ s	Hard, strong, intact rock; $V_s \geq 1500$ m/s
B	Rock	$\leq 0.2$ s	Most "unweathered" California rock cases ( $V_s \geq 760$ m/s or $< 6$ m of soil).
C-1	Weathered/Soft Rock	$\leq 0.4$ s	Weathered zone $> 6$ m and $< 30$ m ( $V_s > 360$ m/s increasing to $> 700$ m/s).
-2	Shallow Stiff Soil	$\leq 0.5$ s	Soil depth $> 6$ m and $< 30$ m
-3	Intermediate Depth Stiff Soil	$\leq 0.8$ s	Soil depth $> 30$ m and $< 60$ m
D-1	Deep Stiff Holocene Soil, either S (Sand) or C (Clay)	$\leq 1.4$ s	Soil depth $> 60$ m and $< 200$ m. Sand has low fines content ( $< 15\%$ ) or nonplastic fines ( $PI < 5$ ). Clay has high fines content ( $> 15\%$ ) and plastic fines ( $PI > 5$ ).
-2	Deep Stiff Pleistocene Soil, S (Sand) or C (Clay)	$\leq 1.4$ s	Soil depth $> 60$ m and $< 200$ m. See D <sub>1</sub> for S or C sub-categorization.
-3	Very Deep Stiff Soil	$\leq 2$ s	Soil depth $> 200$ m.
E-1	Medium Depth Soft Clay	$\leq 0.7$ s	Thickness of soft clay layer 3 m to 12 m
-2	Deep Soft Clay Layer	$\leq 1.4$ s	Thickness of soft clay layer $> 12$ m.
F	Special, e.g., Potentially Liquefiable Sand or Peat	$\approx 1$ s	Holocene loose sand with high water table ( $z_w \leq 6$ m) or organic peat.

Table 6: classification scheme proposed by Rodriguez-Marek et al. (2001)

SOIL CATEG.	DESCRIPTION	T <sub>0</sub> (sec)	REMARKS
A <sub>1</sub>	Healthy rock formations		$V_s > 1500$ m/s
A <sub>2</sub>	Slightly weathered/segmented rock formations, (thickness of weathered layer $< 5.0$ m)	$\leq 0.2$	Weak layer: $V_s \approx 300$ m/s Rock form.: $V_s \geq 800$ m/s $V_s \geq 800$ m/sec
B <sub>1</sub>	Highly weathered rock formations whose weathered layer has a considerable thickness of 5.0 - 30.0 m Soft rock formations of great thickness or formations of similar stiffness and mechanical properties (e.g. stiff marls)	$\leq 0.4$	Weathered layer: $V_{s(III)} \approx 300$ m/s $V_s = 400 - 800$ m/s $N_{60PT} > 50$ $S_u > 200$ KPa $V_s = 400 - 800$ m/s $N_{60PT} > 50$ $S_u > 200$ KPa
B <sub>2</sub>	Homogeneous soil formations of very dense sand - sand gravel and/or very stiff clay, and small thickness (less than 30.0 m) Homogeneous soil formations of very dense sand - sand gravel and/or very stiff clay, and medium thickness (30.0 - 60.0 m) whose mechanical properties and stiffness increase with depth	$\leq 0.8$	$V_s = 400 - 800$ m/s $N_{60PT} > 50$ $S_u > 200$ KPa
C <sub>1</sub>	Soil formations of dense to very dense sand-sand gravel and/or stiff to very stiff clay, of great thickness ( $> 60.0$ m), whose mechanical properties and strength are constant and/or increasing with depth	$\leq 1.2$	$V_s = 400 - 800$ m/s $N_{60PT} > 50$ $S_u > 200$ KPa
C <sub>2</sub>	Soil formations of medium dense sand - sand gravel and/or medium stiffness clay ( $PI > 15$ , fines percentage $> 30\%$ ) of medium thickness (20.0 m - 60.0 m)	$\approx 1.2$	$V_s = 200 - 400$ m/s $N_{60PT} > 20$ $S_u > 70$ KPa
C <sub>3</sub>	Category C2 soil formations of great thickness ( $> 60.0$ m), homogenous or stratified that are not interrupted by any other soil formation with a thickness of more than 5.0 m and of lower strength and $V_s$ velocity	$\leq 1.4$	$V_s = 200 - 400$ m/s $N_{60PT} > 20$ $S_u > 70$ KPa
D <sub>1</sub>	Recent soil deposits of substantial thickness (up to 60m), with the prevailing formations being soft clays of a high plasticity index ( $PI > 40$ ) with a high water content and low values of strength parameters	$\leq 2.0$	$V_s \leq 200$ m/s $N_{60PT} < 20$ $S_u < 70$ KPa
D <sub>2</sub>	Recent soil deposits of substantial thickness (up to 60m), with prevailing fairly loose sandy to sandy-silty formations with a substantial fines percentage (so as not to be considered susceptible to liquefaction)	$\leq 2.0$	$V_s \leq 200$ m/s $N_{60PT} < 20$
D <sub>3</sub>	Soil formations of category C with $V_s > 300$ m/s and great overall thickness ( $> 60.0$ m), interrupted at the first 40 meters by soil layers of category D1 or D2 of a small thickness (5 - 15m).	$< 1.2$	
E	Surface soil formations of small thickness (5m - 20m), small strength and stiffness, likely to be classified in category C or D according to geotechnical properties, which overlie category A formations ( $V_s \geq 800$ m/s).	$\approx 0.5$	Surface soil layers: $V_s = 150 - 300$ m/s
X	- Loose fine sandy-silty soils beneath the water table, susceptible to liquefaction (unless a special study proves no such danger, or if the soil's mechanical properties are improved). - Soils near well documented seismically active tectonic faults. - Steep slopes covered with loose lateral deposits. - Loose granular or soft silty-clayey soils, provided they have been proven to be hazardous in terms of dynamic compaction or loss of strength. Recent loose landfills. - Soils with a very high percentage in organic material.		

(1), (2), (3) : mean values over the whole soil column until the bedrock.

Table 7: classification scheme proposed by Pitilakis et al. (2006)



## INFLUENZA DI SCHEMI DI CLASSIFICAZIONE DEI SUOLI SULLA SIGMA INTER-STAZIONE



L. Luzi, D. Bindi, F. Pacor, R. Puglia  
*Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV)*



M. R. Gallipoli, M. Mucciarelli  
*Università della Basilicata*



R. Paolucci  
*Politecnico di Milano (POLIMI)*



Prato 26-28 ottobre 2010

Agreement INGV-DPC 2007-2009

### Project S4: ITALIAN STRONG MOTION DATA BASE

Responsibles: Francesca Pacor, INGV Milano – Pavia  
and Roberto Paolucci, Politecnico Milano

<http://sssd.mi.itgv.it>

Deliverable # D12

Critical review of methods proposed  
in the literature for seismic site classification

May 2009

edited by:

UR1 Lucia Luzi, INGV Milano – Pavia

UR5 Marco Mucciarelli and Maria Rosaria Gallipoli UNIBAS

Queste considerazioni hanno dato l'avvio anche in Italia ad un tentativo di proporre una classificazione dei suoli più rappresentativa dei fenomeni fisici soggiacenti e sostenuta da robuste evidenze di tipo statistico

Queste attività hanno avuto una prima realizzazione nell'ambito dei progetti DPC-INGV a supporto delle attività connesse alla realizzazione della banca dati accelerometrica italiana (ITACA)



## **Obiettivi dello studio erano**

- 1. La valutazione dell'effettivo potere discriminante del parametro Vs30*
- 2. Valutare il possibile ruolo di altri parametri*
- 3. Valutare quali combinazioni di parametri è la più promettente*

## **Per fare questo bisognava scegliere**

- 1. Scegliere i parametri potenzialmente rappresentativi*
- 2. Definire una banca dati accelerometrica accompagnata da una caratterizzazione dei siti secondo diversi parametri*
- 3. Scegliere un indicatore rappresentativo delle capacità discriminanti di ciascun parametro*
- 4. Scegliere un approccio statistico adeguato*



## I parametri considerati sono stati

1. *Velocità media delle onde S nei primi 30 m ( $V_{s,30}$ );*
2. *Velocità medie delle onde S fino al basamento sismico ( $V_{s,bed}$ );*
3. *Velocità media delle onde S fino a profondità fissate  $H$  ( $V_{s,H}$ );*
4. *Profondità del basamento sismico ( $m$ );*
5. *Frequenza di risonanza dedotta dai rapporti H/V degli spettri di Fourier di terremoti ( $f_{0hv sr}$ );*
6. *Frequenza di risonanza dedotta da misure di vibrazioni ambientali ( $f_{0hv sr}$ );*
7. *Frequenza di risonanza dedotta da modelli 1D lineari ( $f_{01D}$ );*
8. *Frequenza di risonanza dedotta dai rapporti H/V degli spettri di risposta in accelerazione ( $f_{0hv r sr}$ ).*

## La banca dati

E' quella costituita dalle registrazioni della Rete Accelerometrica Nazionale (RAN) gestita dalla Protezione Civile e da quella dell'Università della Basilicata. In totale sono state utilizzate registrazioni ottenute a **126** stazioni, per ciascuna delle quali fosse disponibile una adeguata caratterizzazione di sito e fossero disponibili registrazioni di eventi deboli o intensi (**567** registrazioni)



## Indicatore

Si è definita una legge di attenuazione media per le ampiezze spettrali con la distanza (è quella che si usa per prevedere lo scuotimento al sito nei calcoli di pericolosità)

$$\log_{10} Y = a + f(M) + g(R) + e_i S_i + f_j F_j$$

**Y** è lo scuotimento (l'accelerazione ad una determinata frequenza)

**M** è la magnitudo dell'evento

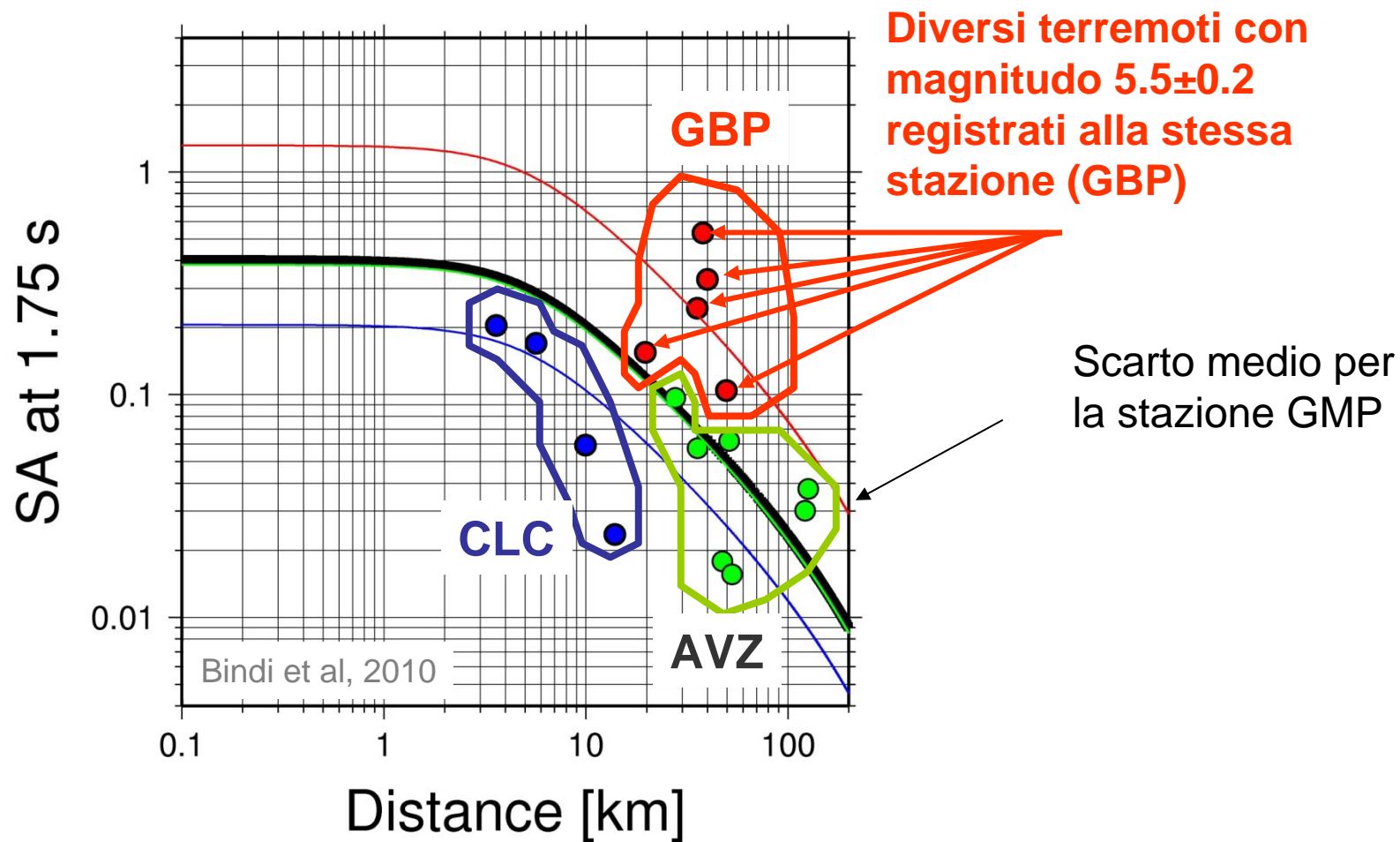
**R** è la distanza epicentrale

**F** è il tipo di terremoto (meccanismo focale)

**S** è l'effetto delle condizioni di sito che dipendono dalla classificazione adottata



# Predizione media per la magnitudo $M=5.5$ relativamente all'accelerazione spettrale a 1.75 s





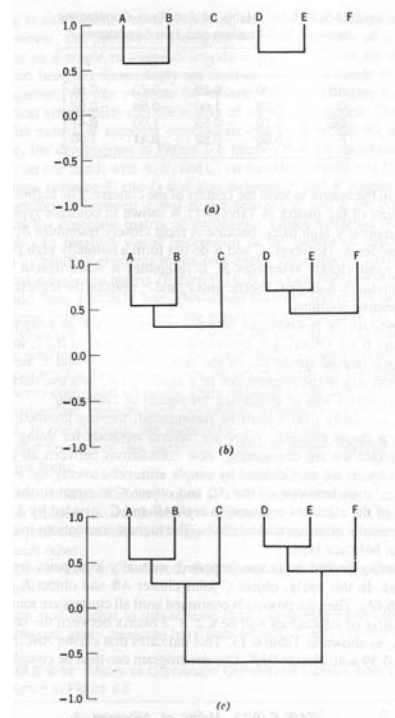
Ogni stazione sarà caratterizzata da uno **scarto** rispetto alla previsione ottenuta dal modello “medio” : ci si aspetta che stazioni **su suoli dello stesso tipo** mostrino **scarti delle stesso tipo alle diverse frequenze**

Quale o quale combinazione di parametri fra quelli selezionati riesce a riprodurre meglio questi scarti?

A questo scopo viene utilizzata una tecnica statistica detta “analisi di cluster” (o analisi di aggregazione)

Questa analisi ha lo scopo di valutare:

1. *Quanto un parametro (o una combinazione) ha la possibilità di separare i gruppi di stazioni in base alle caratteristiche delle registrazioni*
2. *Quanti gruppi ben distinti è possibile individuare*

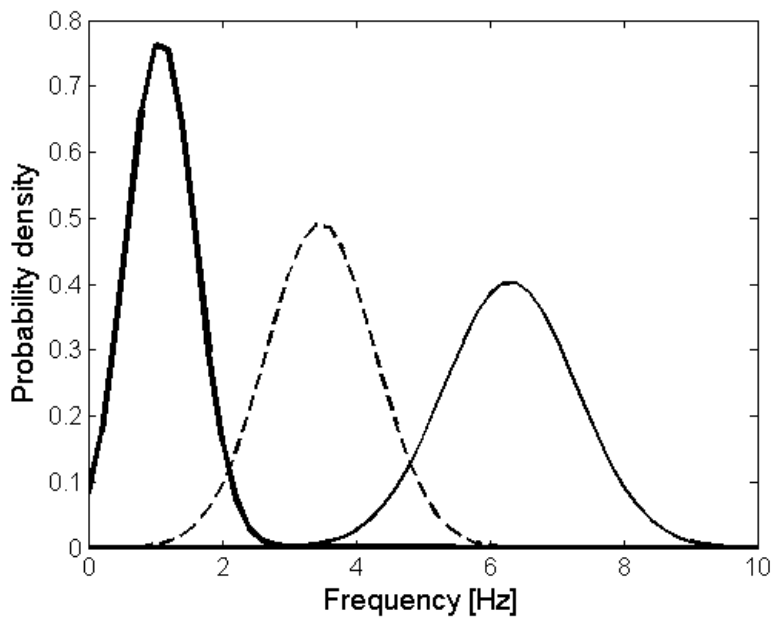






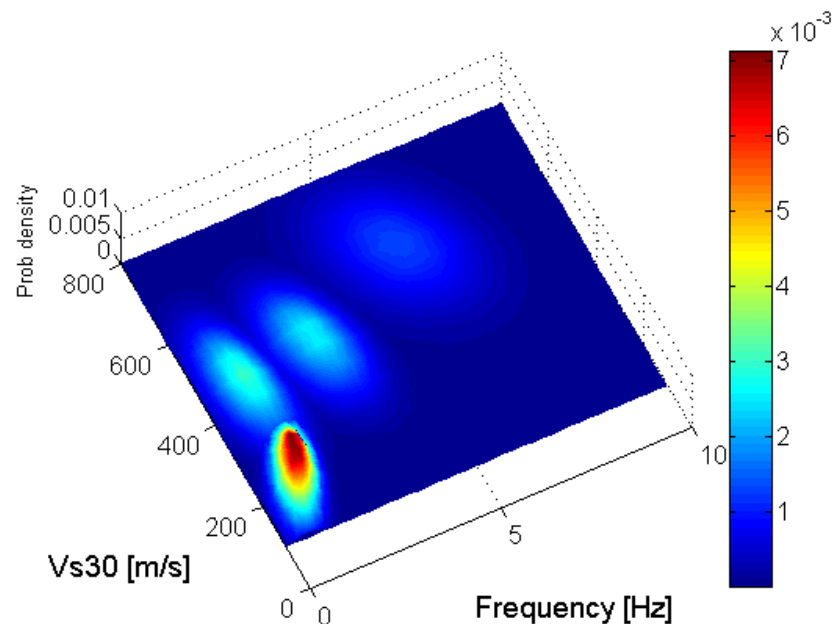
Questo è quello che si ottiene considerando un solo parametro

Tre classi ed 1 variable ( $f_0$ )



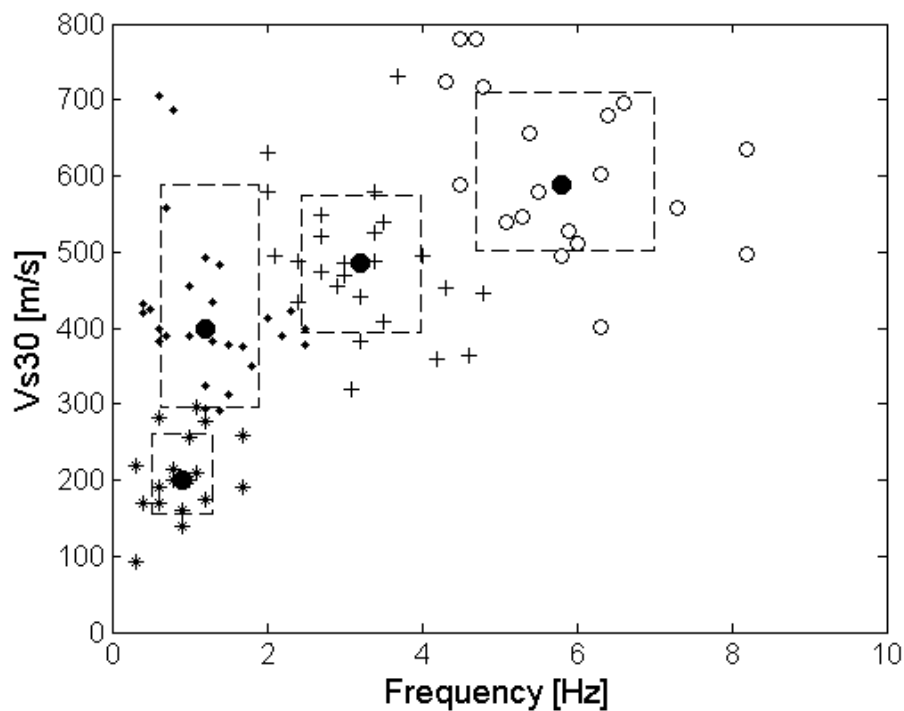
Questo è quello che si ottiene considerando due parametri

Quattro classi e 2 variabili ( $Vs_{,30} - f_0$ )

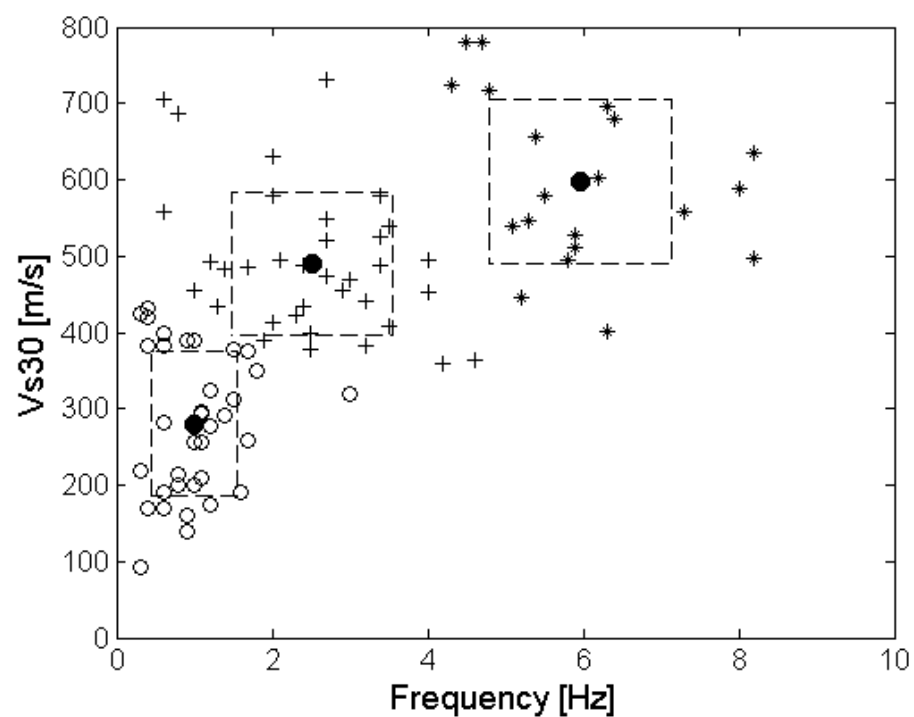




Per esempio, questi sono i risultati ottenuti considerando due parameri



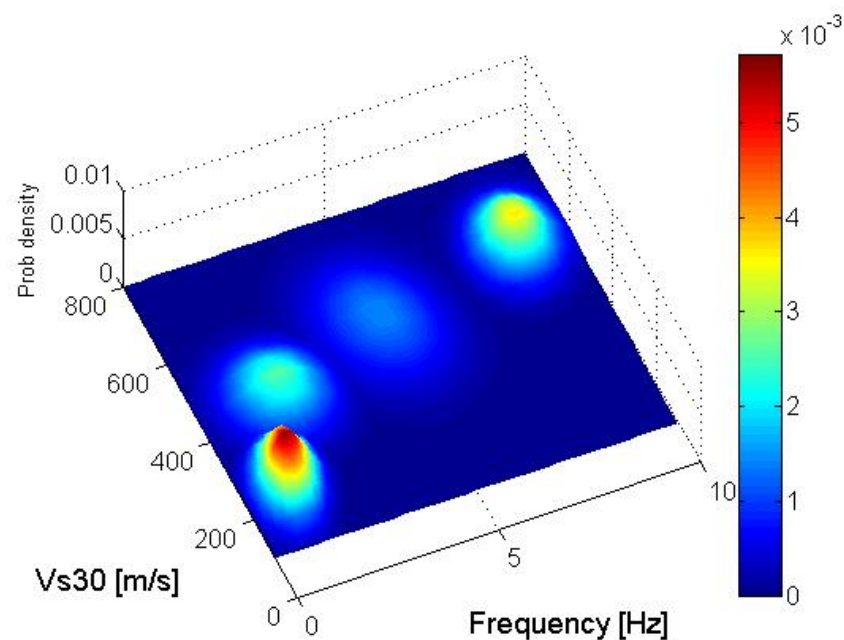
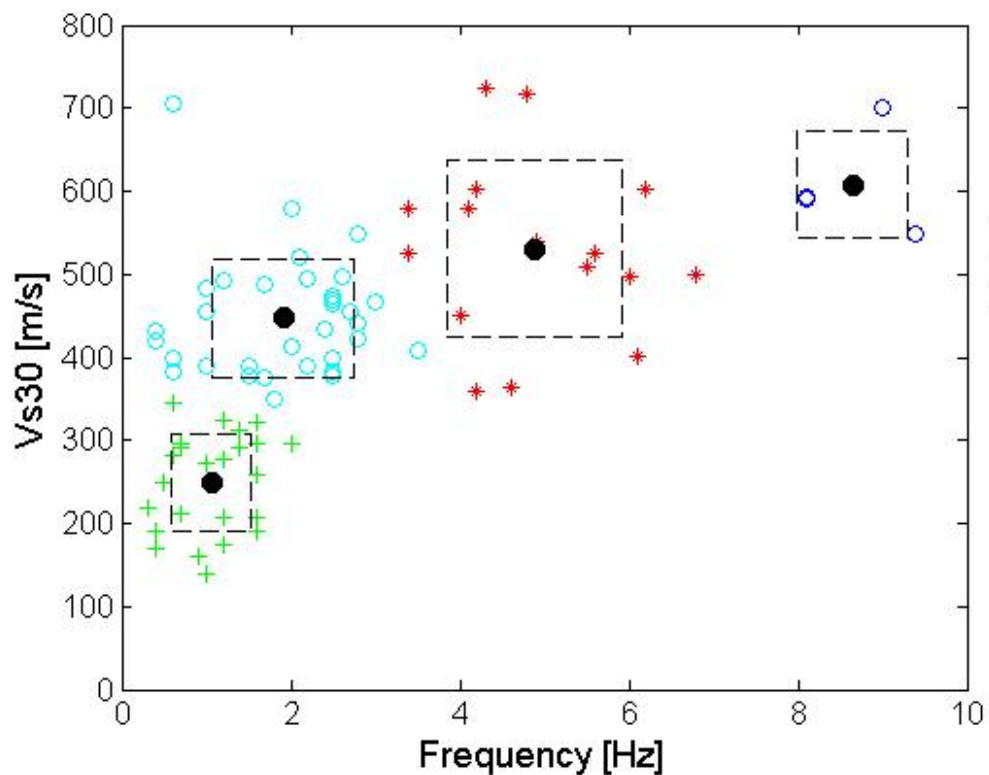
Four classes and 2 variables ( $Vs_{,30} - f_0$ )



Three classes and 2 variables ( $Vs_{,30} - f_0$ )

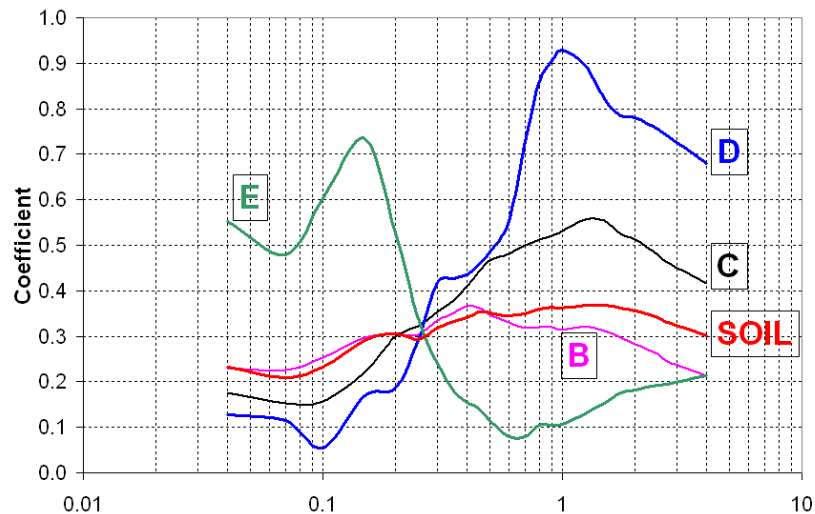


I migliori risultati sono ottenuti per una ripartizione in 4 classi di terreno differenziati sulla base dei parametri  $V_{s,30} - f_0$



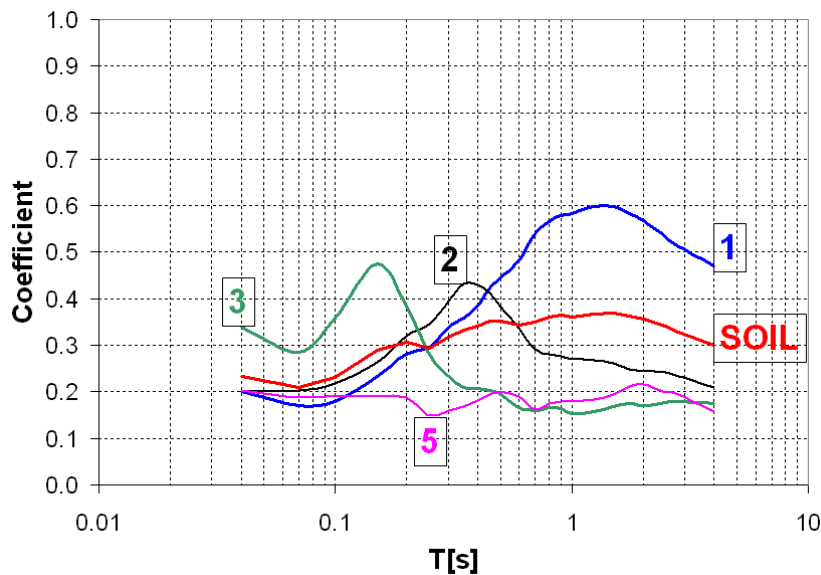


Questi sono alcuni dei risultati ottenuti utilizzando varie parametrizzazioni

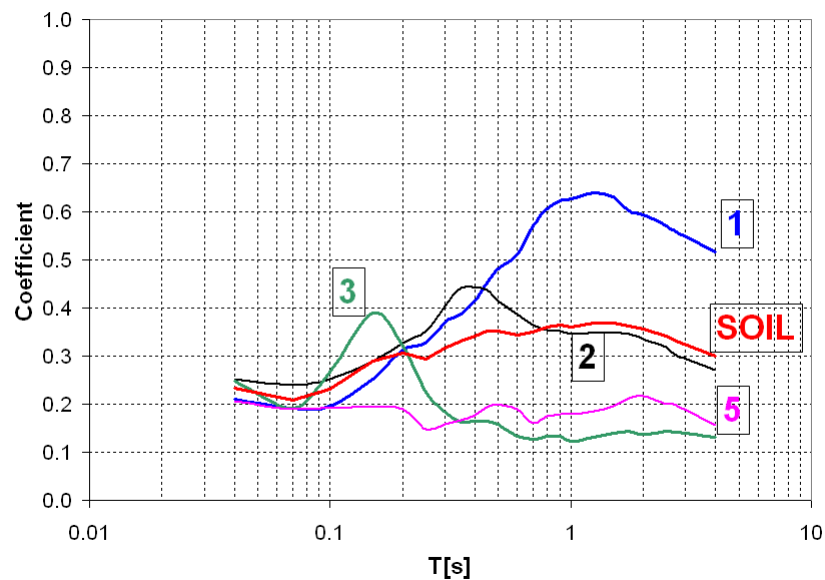


$E_{c8}$

$f_0 - V_{S,30}$

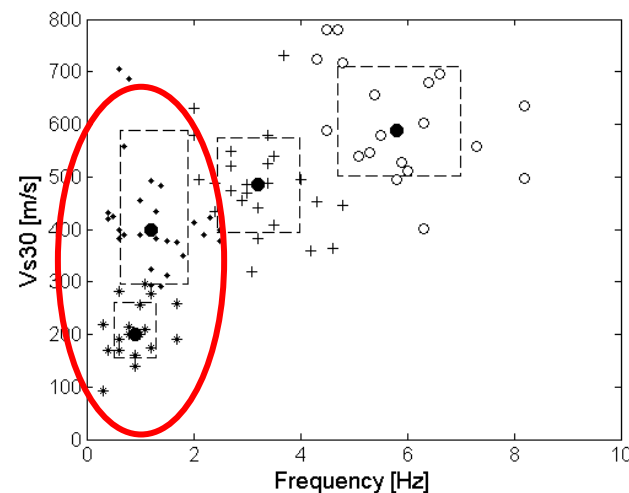


$f_0$





- **EC8** (4 classi di suolo sulla base del  $V_{s30}$ ): 2 classi risultano effettivamente ben distinte in termini di forme spettrali (classi D ed E), mentre le classi B e C hanno forme assai simili soprattutto in alta frequenza (lunghi periodi)
- **$V_{s,30} - f_0$  or  $f_0$**  (4 classi di suolo): ciascuna classe mostra un risposta ben definita. La maggiore differenza osservata fra le due modalità di classificazione riguarda una delle classi (la 2) per la quale si osserva una marcata sovrapposizione rispetto alla classe 1
- **Soil / rock** questa semplice differenziazione è poco utile e produce scarsi effetti in termini di forma spettrale





## Conclusioni (preliminari)

- La classificazione definita sulla base del solo parametro  $V_{s,30}$  sembra **poco efficace** per distinguere le forme spettrali attese
- Una classificazione basata sull'uso congiunto di due parametri ( $V_{s,30} - f_0$ ) sembra fornire indicazioni promettenti soprattutto per quanto riguarda la differenziazione delle forme spettrali in bassa frequenza (di maggiore interesse ingegneristico)
- Se si vuole ridurre il numero di parametri necessari alla classificazione, sembra più efficace fare riferimento alla sola frequenza di risonanza  $f_0$  (che vincola il rapporto fra la velocità media delle onde S fino al basamento sismico ovvero a primo significativo contrasto di impedenza sismica e lo spessore dello strato risonante)

### Problema aperto

- *Una volta selezionato il parametro o i parametri di interesse rimane da definire la forma spettrale specifica per ciascuna configurazione dei suoli*