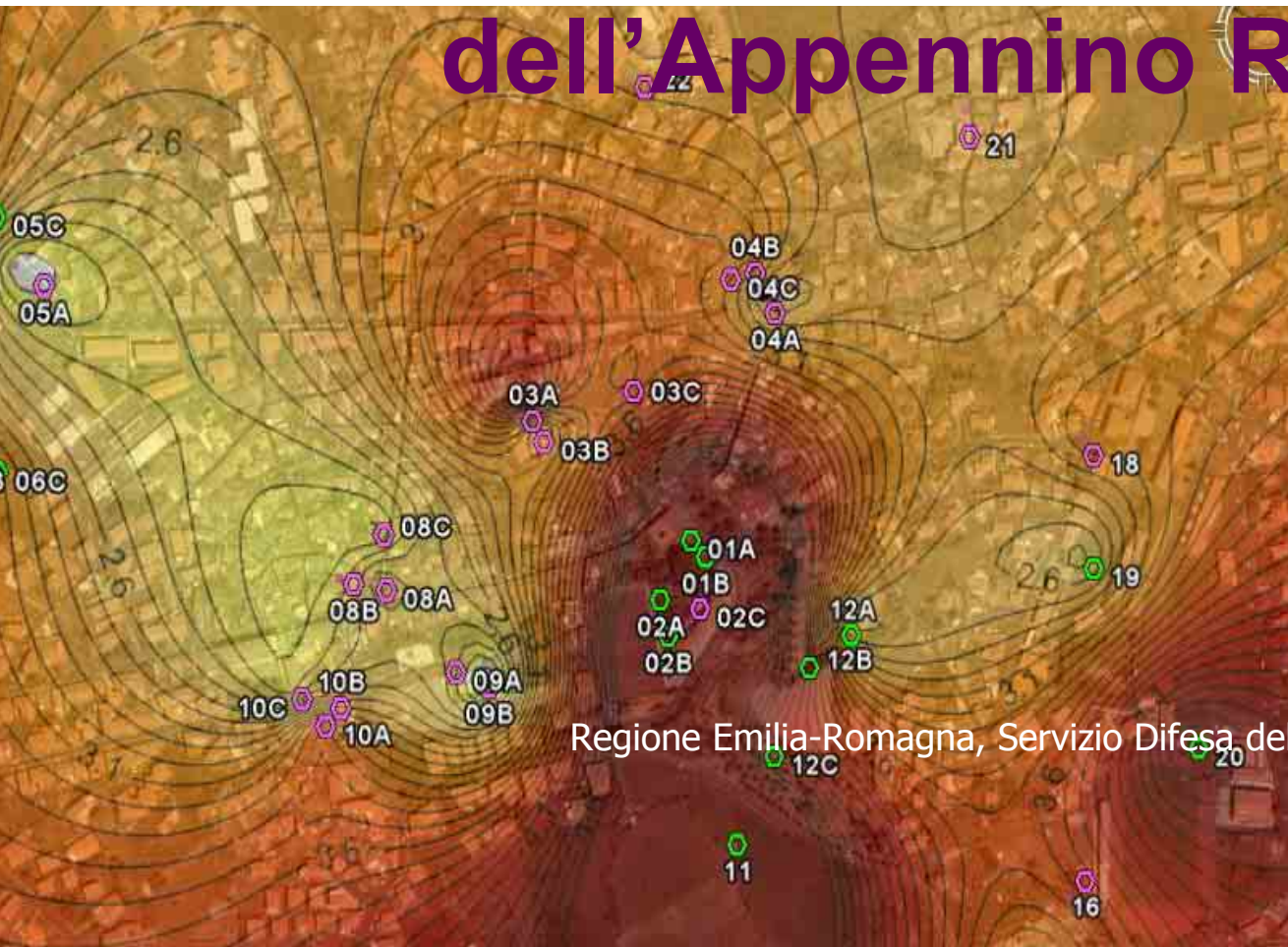


Esempi di microzonazione sismica in ambiente montano, litoraneo e di pianura nell'Appennino Romagnolo



Silvia Castellaro

silvia.castellaro@unibo.it

Dipartimento di Fisica

Università di Bologna

Stefano Quagliere

Provincia di Forlì-Cesena

Suolo, della Costa e Bonifica

Claudia Tomassoli

Libero professionista

c.tomassoli@tes07.it

7 comuni interessati

- ◆ *1 in ambito litoraneo*
- ◆ *1 ambito di pianura*
- ◆ *5 in ambiti montani*

I tempi:

3 mesi per 7 comuni

4.1 - Secondo livello di approfondimento – analisi semplificata

Un'analisi semplificata è richiesta e ritenuta sufficiente, per gli ambiti suscettibili di urbanizzazione e per gli interventi sul territorio urbanizzato, nelle aree pianeggianti e sub-pianeggianti, incluse le zone di fondovalle appenniniche, con stratificazione orizzontale e sub-orizzontale, e sui versanti stabili con acclività $\leq 15^\circ$, in cui il deposito ha spessore costante.

Tale analisi ha lo scopo di valutare l'effettivo grado di pericolosità sismica locale per l'elaborazione della carta di microzonazione. Questa fornisce indicazioni essenziali per l'elaborazione e approvazione del PSC (o del PTCP⁷) e delle sue varianti indicando:

- quali ambiti di riqualificazione e nuovo insediamento possano essere attuati senza la necessità di eseguire nuove indagini;
- quali ambiti di riqualificazione e nuovo insediamento siano subordinati allo svolgimento di ulteriori indagini di cui al punto 4.2.



Analisi di Terzo livello

4.1.1 - *Elaborati da produrre*

In aggiunta agli elaborati previsti nella prima fase, devono essere prodotti

- la carta di microzonazione sismica alla scala 1:5.000 o 1:2.000⁸ delle parti di territorio indagate;
- i coefficienti di amplificazione sismica per ciascuna delle aree individuate nella “Carta comunale delle aree suscettibili di effetti locali” (cfr. 3.1) ottenuti impiegando le tabelle e le formule dell’Allegato A2 (A2.1 e A2.2) che permettono di calcolare i fattori di amplificazione sismica rispetto ad un suolo di riferimento. Questi fattori sono espressi sia in termini di rapporto di accelerazione massima orizzontale (PGA/PGA_0) sia di rapporto di Intensità di Housner (SI/SI_0)⁹ per prefissati intervalli di periodi, dove PGA_0 e SI_0 sono rispettivamente l’accelerazione massima orizzontale e l’Intensità di Housner al suolo di riferimento, definiti per ogni comune, ricavabili dal data base regionale (disponibile nel sito internet www.regione.emilia-romagna.it/geologia/sismica) e PGA e SI sono le corrispondenti grandezze di accelerazione massima orizzontale e Intensità di Housner calcolate alla superficie dei siti esaminati¹⁰.

A corredo devono essere prodotti anche i risultati delle prove per la definizione del modello geologico del sottosuolo e dei profili di velocità di propagazione delle onde di taglio (V_s).

Tecniche d'indagine

◆ A stazione singola H/V → Tromografo digitale "TROMINO"

◆ In array:

- Masw
- ReMi
- Esac

Rapporto PROVE A STAZIONE SINGOLA / ARRAY
=
10 o 20 / 1

Si ritiene infatti che la prova H/V sia particolarmente efficace nell'individuare le aree da sottoporre ad approfondimenti di 3° livello

4.2 - Terzo livello di approfondimento – analisi approfondita

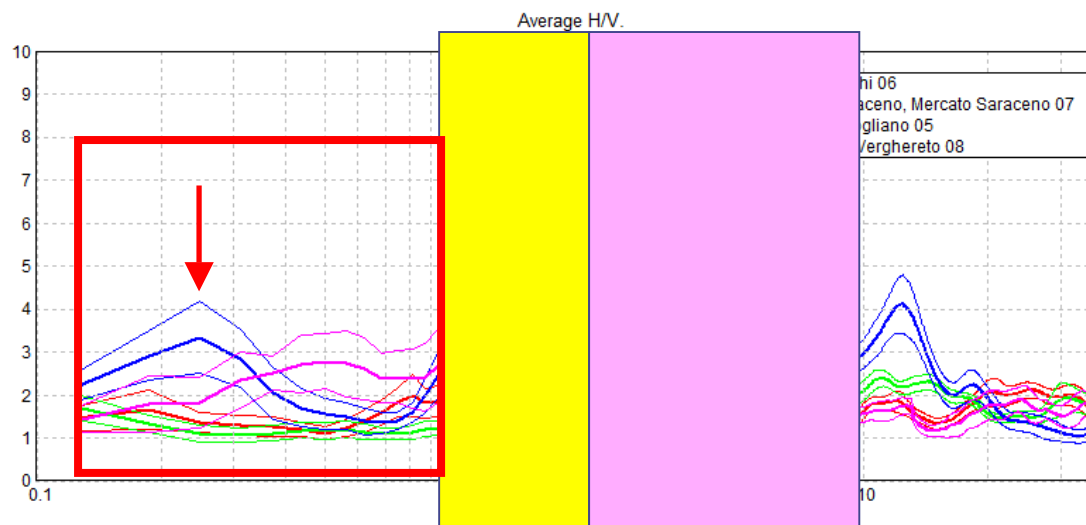
Un'analisi più approfondita è richiesta, come indicato in precedenza, per le aree nelle quali si intenda localizzare ambiti di riqualificazione e nuovo insediamento, nelle seguenti situazioni:

- a) aree soggette a liquefazione e densificazione;
- b) aree instabili e potenzialmente instabili;
- c) aree in cui le coperture hanno spessore fortemente variabile, come ad esempio nelle aree pedemontane e di fondovalle a ridosso dei versanti;
- d) aree in cui è prevista la realizzazione di opere di rilevante interesse pubblico.

Linee guida per la Microzonazione Sismica

→ Studio della risposta sismica
per 2 fasce:

Periodo	Frequenza
$0.5 < T_0 \leq 1 \text{ s}$	$1 \leq f_0 < 2 \text{ Hz}$
$0.1 \leq T_0 \leq 0.5 \text{ s}$	$2 \leq f_0 \leq 10 \text{ Hz}$





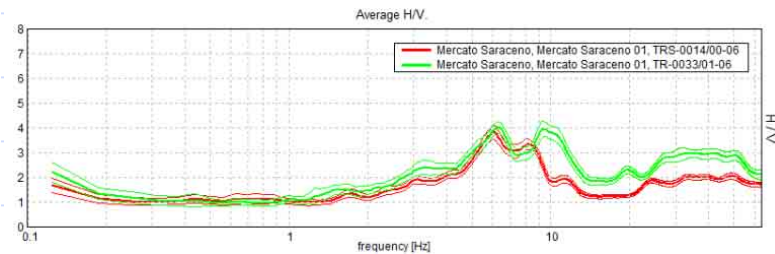
AMBITO MONTANO

PROCEDURE SPERIMENTALI

In molti casi c'è buon accordo tra i valori di amplificazione sperimentali e quelli suggeriti dalle Linee Guida

H/V multipli per:

- 1) verificare omogeneità dell'area
- 2) assicurare condizioni 1D sotto gli stendimenti



CLASSIFICAZIONE SECONDO LINEE GUIDA

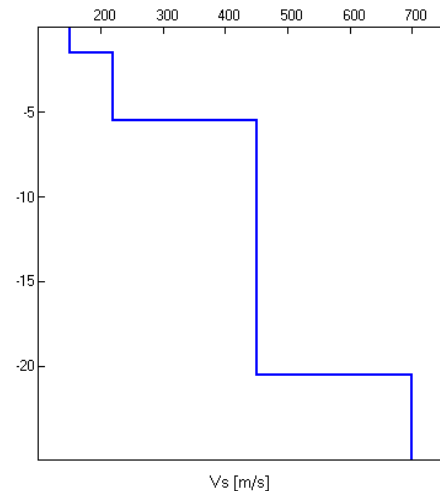
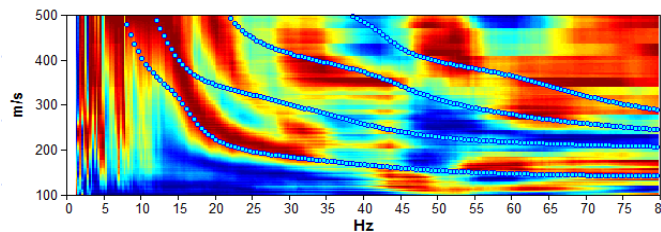
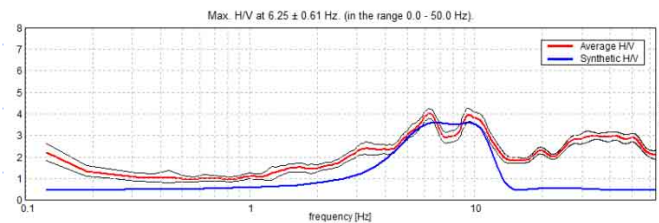
CLASSIFICAZIONE SECONDO QUESTO STUDIO

$V_{s30} = 400$ m/s
 $V_{sH(20.5)} = 333$ m/s

$F_a(PGA) = 2.3$
 $F_a(0.5-1\text{ s}) = 2.1$
 $F_a(0.1-0.5\text{ s}) = 2.6$

$F_a(1-10\text{ s}) \leq 1.5$
 $2 < F_a(0.2-1\text{ s}) \leq 2.5$
 $F_a(0.05-0.2\text{ s}) > 2$

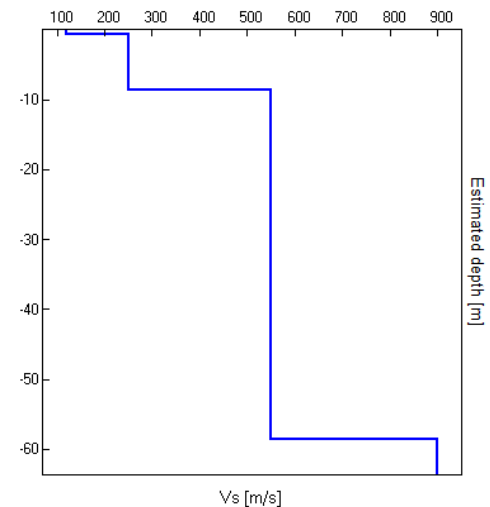
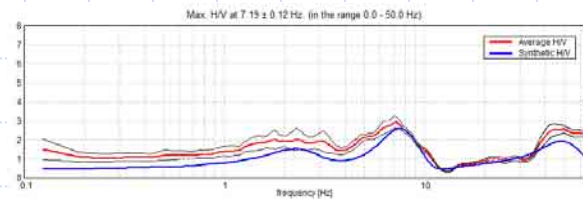
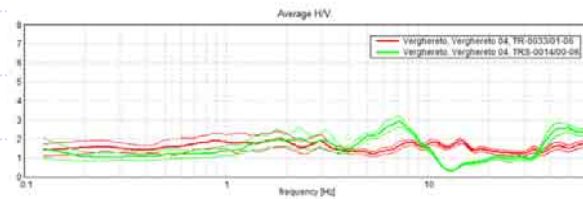
Fit congiunto di H/V e array passivi e attivi per profilo di V_s



Mediante il buon accordo tra i valori di amplificazione sperimentali e quelli suggeriti dalle Linee Guida riguarda le aree con 'moderata' amplificazione attesa

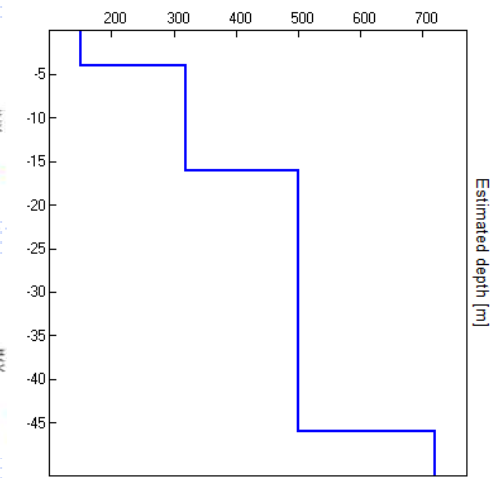
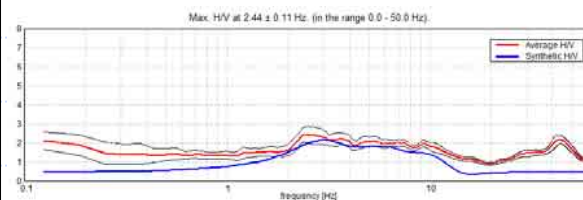
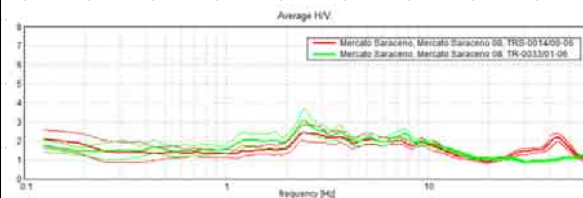
1

CLASSIFICAZIONE SECONDO LINEE GUIDA	CLASSIFICAZIONE SECONDO QUESTO STUDIO
$V_{s30} = 395 \text{ m/s}$ $V_{sH}(58.6) = 458 \text{ m/s}$	
$F_a(\text{PGA}) = 1.6$ $F_a(0.5-1 \text{ s}) = 1.3$ $F_a(0.1-0.5 \text{ s}) = 1.8$	$F_a(1-10 \text{ s}) \leq 1.5$ $F_a(0.2-1 \text{ s}) \leq 1.5$ $1.5 < F_a(0.05-0.2 \text{ s}) \leq 2$



2

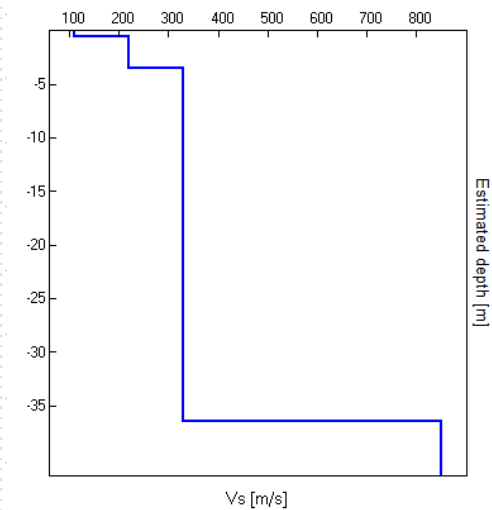
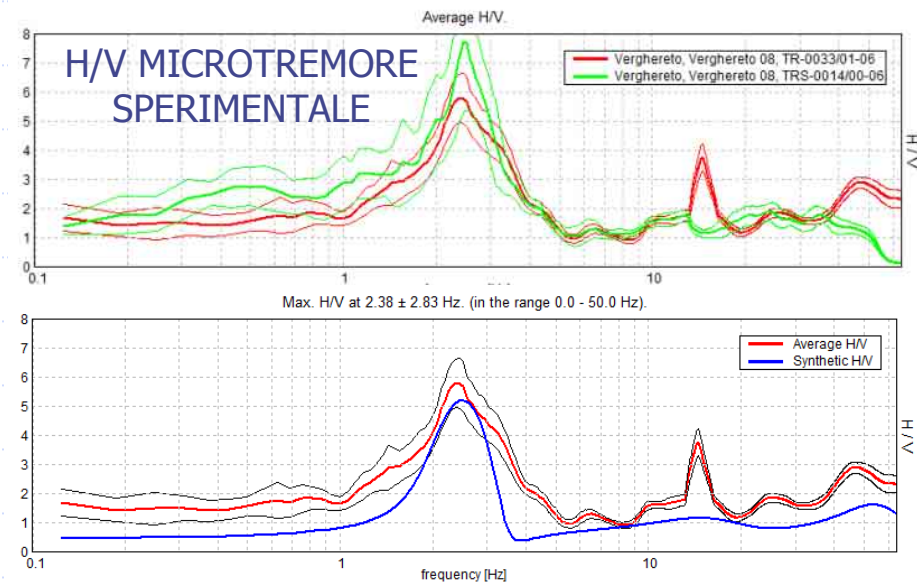
CLASSIFICAZIONE SECONDO LINEE GUIDA	CLASSIFICAZIONE SECONDO QUESTO STUDIO
$V_{s30} = 325 \text{ m/s}$ $V_{sH}(46) = 370 \text{ m/s}$	
$F_a(\text{PGA}) = 1.8$ $F_a(0.5-1 \text{ s}) = 2.3$ $F_a(0.1-0.5 \text{ s}) = 2.3$	$F_a(1-10 \text{ s}) \leq 1.5$ $2 < F_a(0.2-1 \text{ s}) \leq 2.5$ $2 < F_a(0.05-0.2 \text{ s})$



Mentre contatti nei casi con forti contrasti di impedenza le amplificazioni calcolate dal modello semplificato possono sottostimare quelle attese

3

CLASSIFICAZIONE SECONDO LINEE GUIDA	CLASSIFICAZIONE SECONDO QUESTO STUDIO
$V_{s30} = 305 \text{ m/s}$ $V_{sH(36.5)} = 309 \text{ m/s}$	
$F_a(\text{PGA}) = 1.9$ $F_a(0.5-1 \text{ s}) = 2.3$ $F_a(0.1-0.5 \text{ s}) = 2.3$	$F_a(1-10 \text{ s}) \leq 1.5$ $F_a(0.2-1 \text{ s}) \geq 3$ $2 < F_a(0.05-0.2 \text{ s}) \leq 2.5$

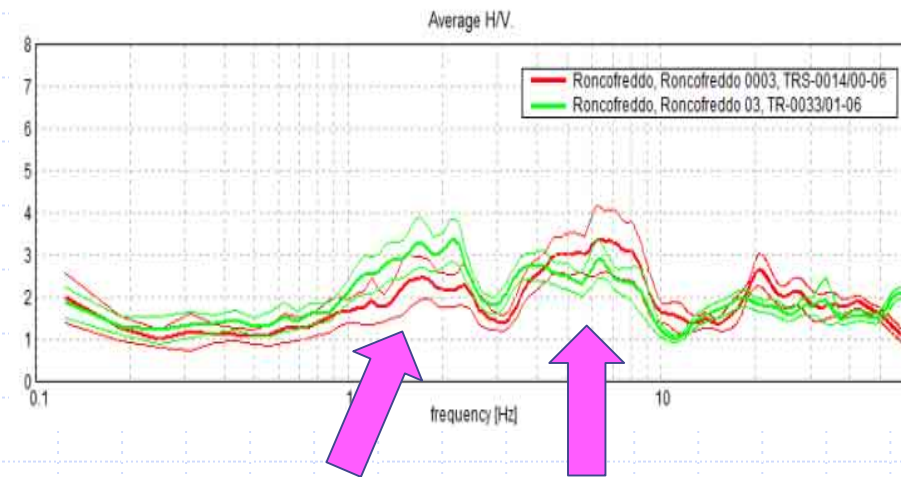
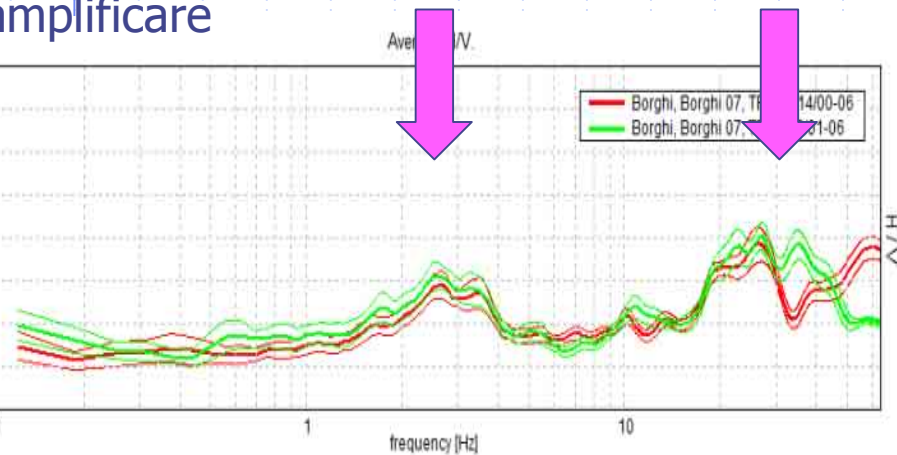


Il problema maggiore nell'applicazione delle Linee Guida è l'individuazione di H (profondità del bedrock) quando:

- 1) Esistono più contrasti di impedenza marcati

Ma esiste un'altra struttura molto più profonda capace di amplificare

Bedrock da sondaggio (entro 5 m)



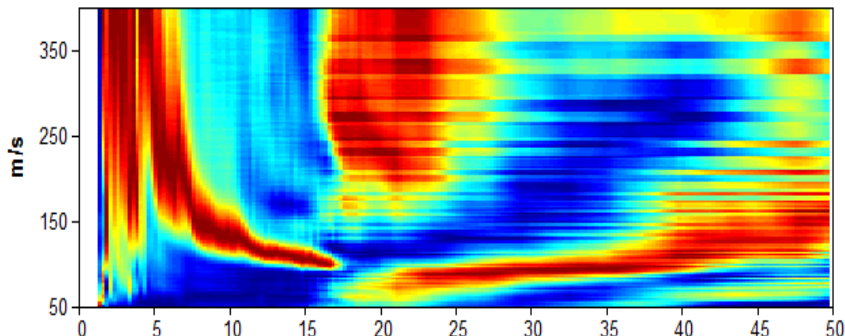
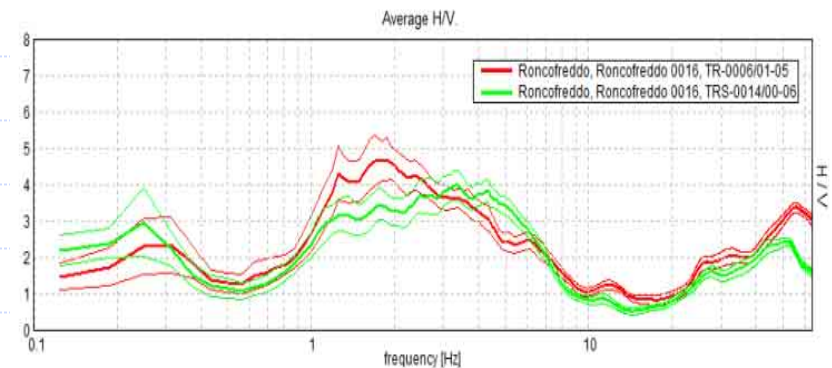
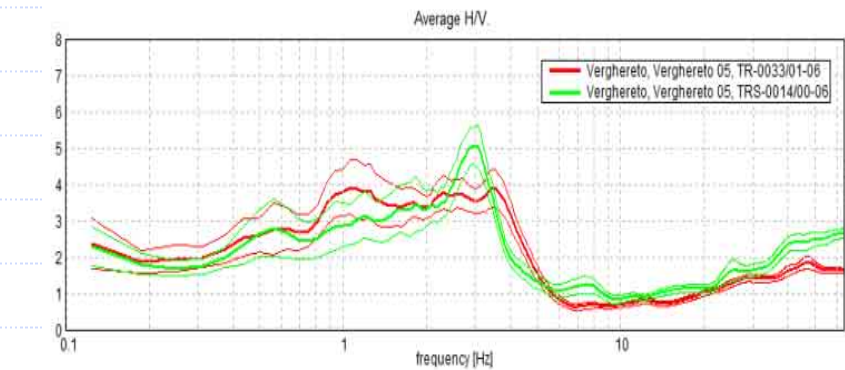
Ma esiste un'altra struttura molto più profonda capace di amplificare

Bedrock da sondaggio (entro 15 m)

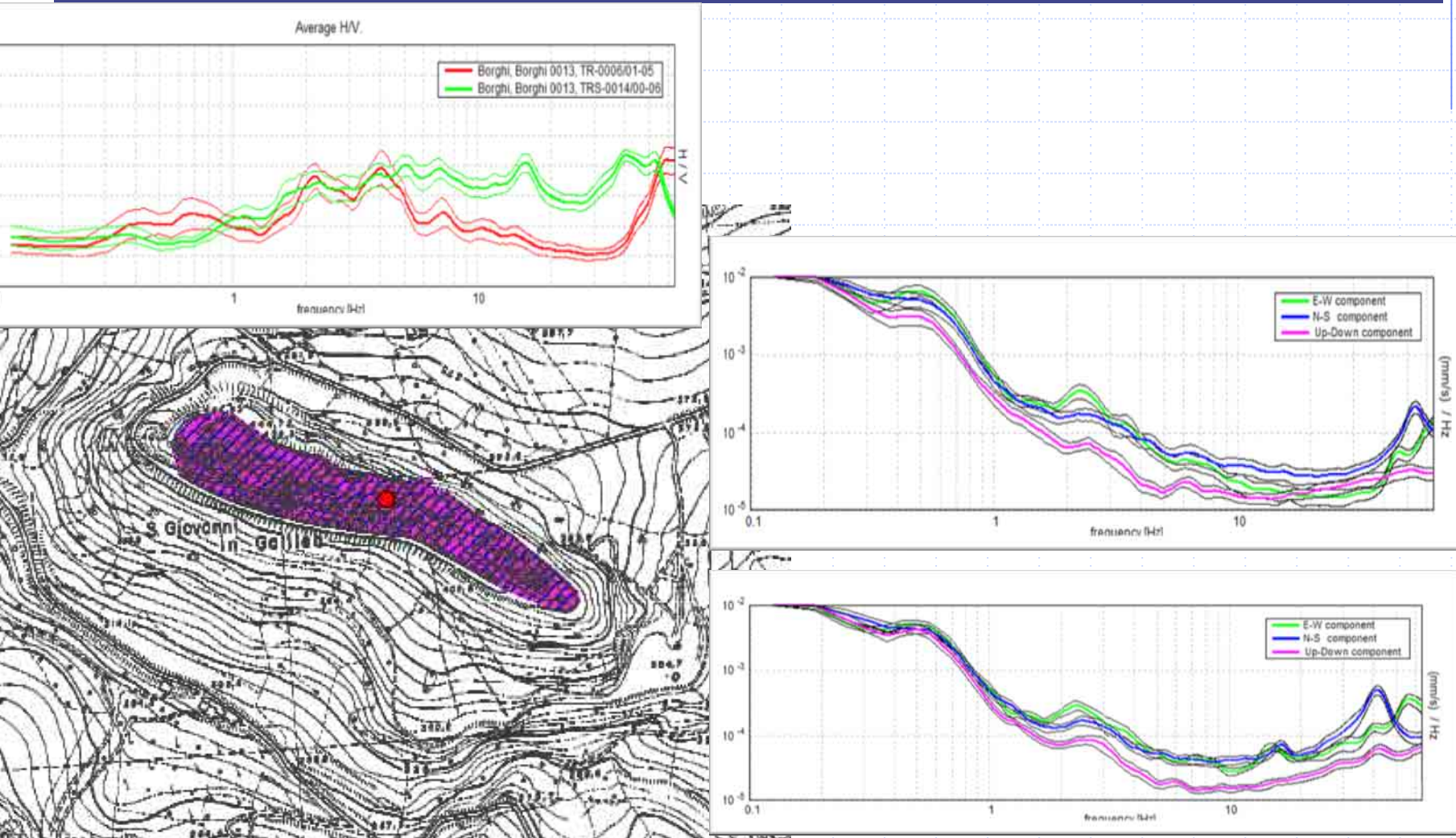
Il problema maggiore nell'applicazione delle Linee Guida è l'individuazione di H (profondità del bedrock) quando:

1) Esistono più contrasti di impedenza marcati

2) Quando il bedrock non è ben definito (litotipi argillosi o marnosi alterati) → amplificazione in una larga banda di frequenze



Vi è una diffusa non coincidenza tra bedrock litologico e bedrock sismico (non nel senso che il primo in un H/V non si veda ma nel senso che a frequenze più basse ci sono spesso sorprese)

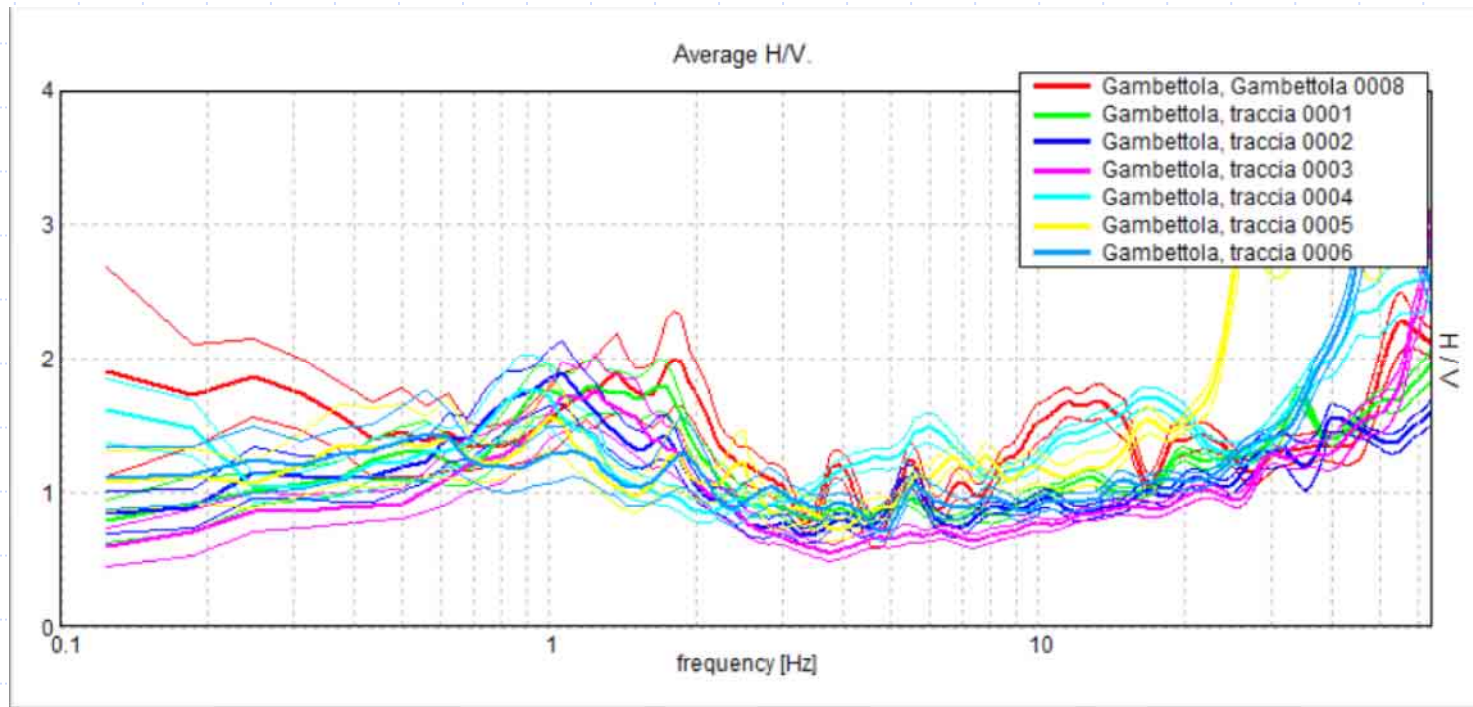




AMBITO LITORANEO e DI PIANURA

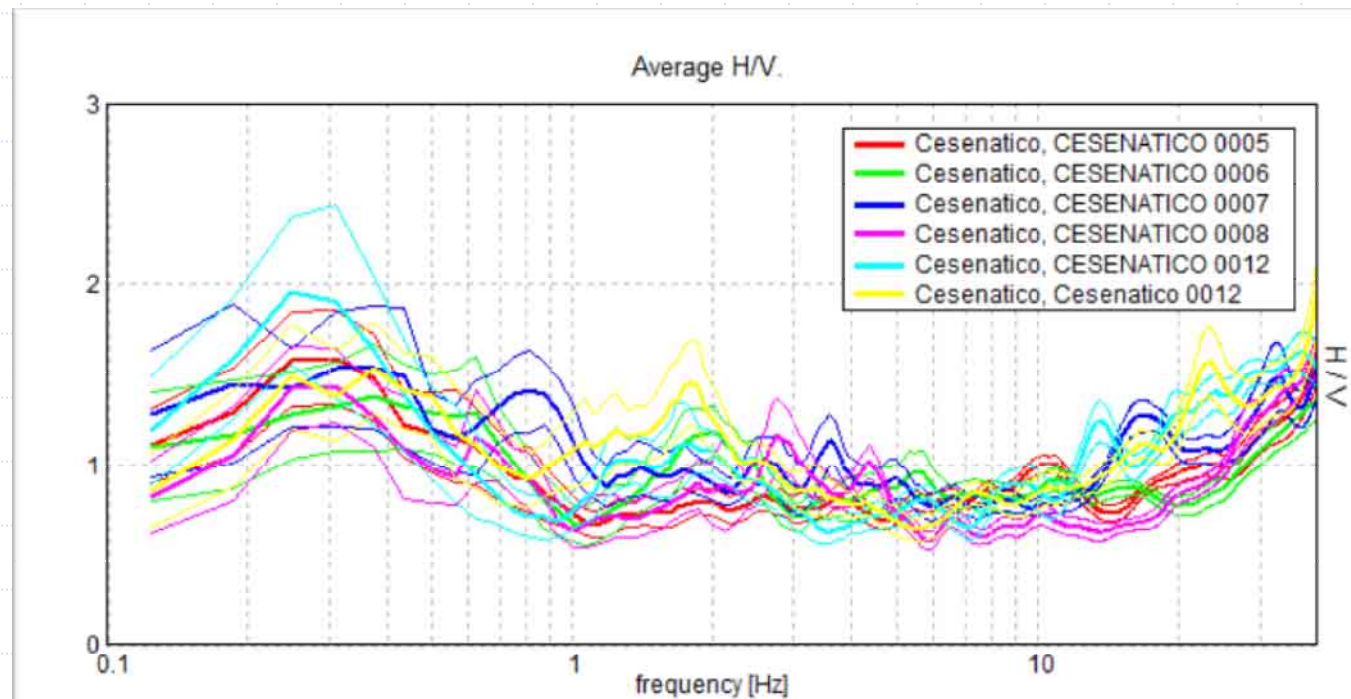
Comune 1

Periodo	Fa
	Fa(PGA) = 1.7
$0.1 < T_0 \leq 0.5$ s	1.9
$0.5 < T_0 \leq 1$ s	2.6

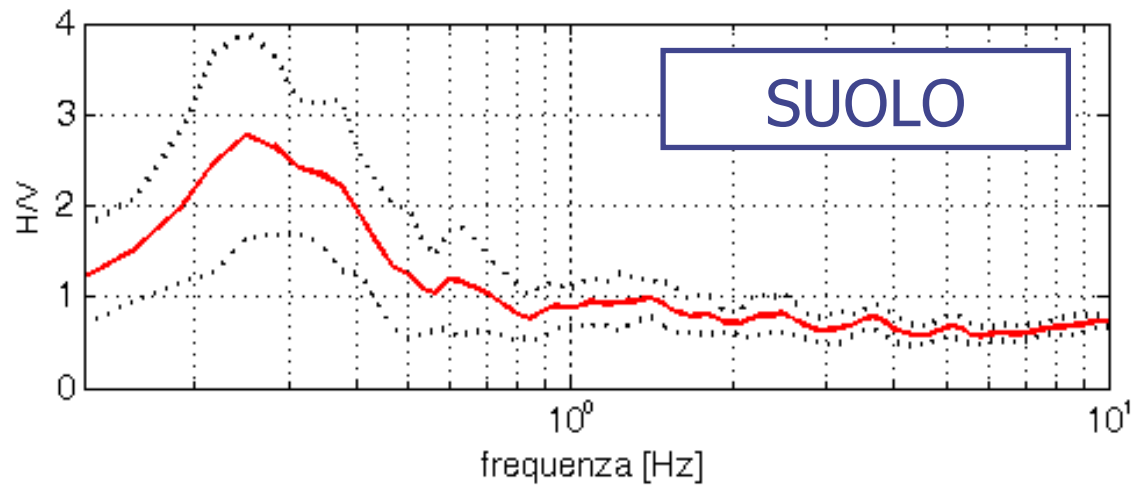
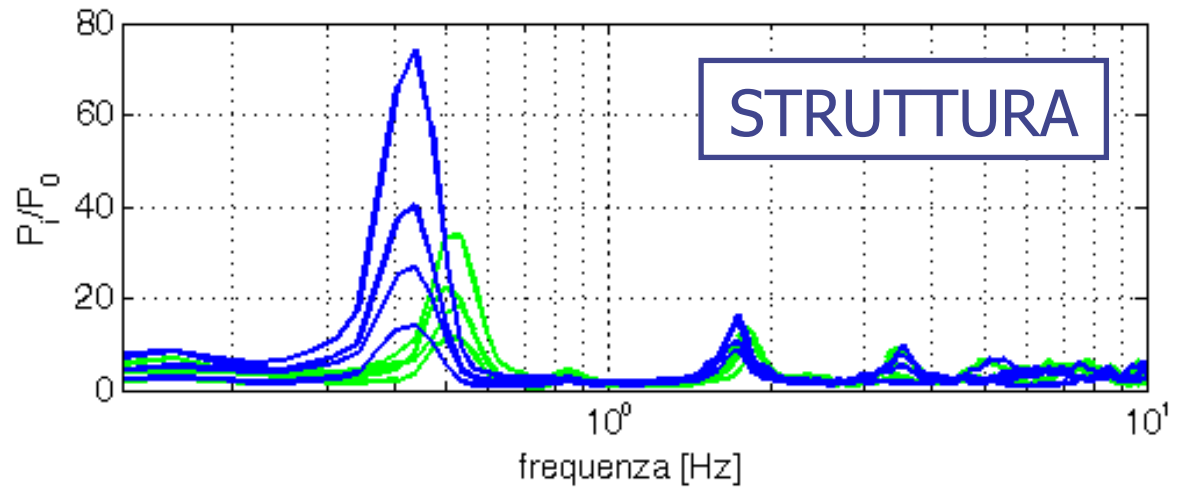


Comune 2

In questo comune il problema principale è la potenziale liquefazione delle sabbie, piuttosto che l'amplificazione sismica di sito



Comune 2



CONCLUSIONI

E' scontato che nessuna tecnica da sola basta a tutto.

Un'analisi sismica completa deve considerare anche aspetti che un H/V non può considerare, quali:

- rigidità assoluta dei suoli (fit vincolato di H/V o array)
- attenuazione (per questa si lavora in array in attiva o passiva),
- potenziale di liquefazione (di pertinenza maggiormente geotecnica che geofisica),
- instabilità gravitative (di pertinenza geologica classica),
- ecc.

CONCLUSIONI

Ma ai fini della microzonazione sismica di 2° livello il cui obiettivo è la definizione delle aree da sottoporre a nuove indagini (3° livello), la tecnica H/V del microtremore appare la più adeguata perché:

- 1) Permette di evidenziare **potenziali amplificazioni** in tutto il dominio di frequenze di interesse ingegneristico, senza i limiti dei 30 m, o di scarsa penetrazione in profondità degli array sismici in presenza di forti contrasti di impedenza superficiali,
- 2) Permette di chiarire se ci possano essere 'sorprese' in termini di amplificazione anche al di sotto della frequenza associata al bedrock litologico (da sondaggio),
- 3) Può suggerire amplificazioni più marcate di quanto stimato dalla normativa o da modelli 1D semplificati.



**Si ringraziano
Dott. Mulargia e Dott.ssa Castellaro
Dott. Gabrielli e Dott. Miserocchi
Tecnologia e Servizi s.r.l
Studio Consulenza & Progetto**

E grazie a voi per l'attenzione.