



REGIONE MARCHE
Dipartimento per le Politiche Integrate di Sicurezza
e per la Protezione Civile

Corso di formazione con partecipazione
obbligatoria sulle specifiche
tecniche di MS per i professionisti incaricati



*OPCM 3907/2010 – effettuazione delle indagini di microzonazione sismica
(MZS) – Decreto 163/DPS del 22/12/2011*

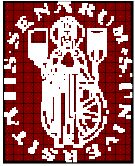
Caratterizzazione delle zone stabili dal punto geofisico

Dario Albarello

*Dipartimento di Scienze della Terra – Università degli Studi di Siena
Via Laterina, 8 – 53100 Siena*

dario.albarello@unisi.it

Ancona, 13 Aprile 2011



L'idea alla base del primo livello di approfondimento è quello di una raccolta accurata delle informazioni disponibili sull'area di studio sottolineando l'importanza di un modello geologico di riferimento come fondamento delle indagini successive

Tuttavia l'esperienza condotta nell'area aquilana ha messo in chiara evidenza come un modello geologico finalizzato alla caratterizzazione sismica del territorio non possa fare a meno di indicazioni di massima su due elementi di grande importanza

- 1. Quali contatti geologici rappresentano significativi contrasti di impedenza sismica? Anche nel caso di formazioni litoidi affioranti è possibile escludere la presenza di effetti di amplificazione stratigrafica indotti, per esempio, da zone di alterazione?***
- 2. Quale è la morfologia sepolta di questi contatti ?***



E' in discussione una proposta di modifica degli Indirizzi e Criteri per la Microzonazione sismica per quanto riguarda il primo livello di approfondimento relativamente alle zone stabili

Viene ora proposto un primo livello “pesante” nel quale sono previste esplicitamente misure geofisiche speditive. In questa nuova versione, accanto ad altre indicazioni, viene esplicitamente indicato che

“Di particolare importanza a questo scopo risulta la ricostruzione del modello geologico dell’area, l’individuazione dei litotipi che possono costituire il substrato rigido (ovvero dei materiali caratterizzati da valori delle velocità di propagazione delle onde di taglio S significativamente maggiori di quelli relativi alle coperture localmente presenti) accompagnata da una stima approssimativa della loro profondità rispetto al piano di campagna (del tipo: “qualche metro”, “una decina di metri”, “alcune decine di metri”, “oltre i 100 metri”), una stima di massima del contrasto di impedenza sismica atteso (del tipo: “alto” o “basso”). “



Se le informazioni geologiche svolgono un ruolo assai importante per individuare le formazioni potenzialmente responsabili di fenomeni di amplificazione, queste possono solo fornire vincoli generali sulla loro **geometria profonda**

Inoltre, non consentono di valutare efficacemente l'entità e il ruolo dei possibili **contrasti di impedenza sismica** eventualmente presenti alle superfici di contatto fra le diverse formazioni

In questo contesto, le **indagini geofisiche** possono fornire un contributo essenziale per integrare le informazioni geologiche fornendo indicazioni quantitative su questi aspetti

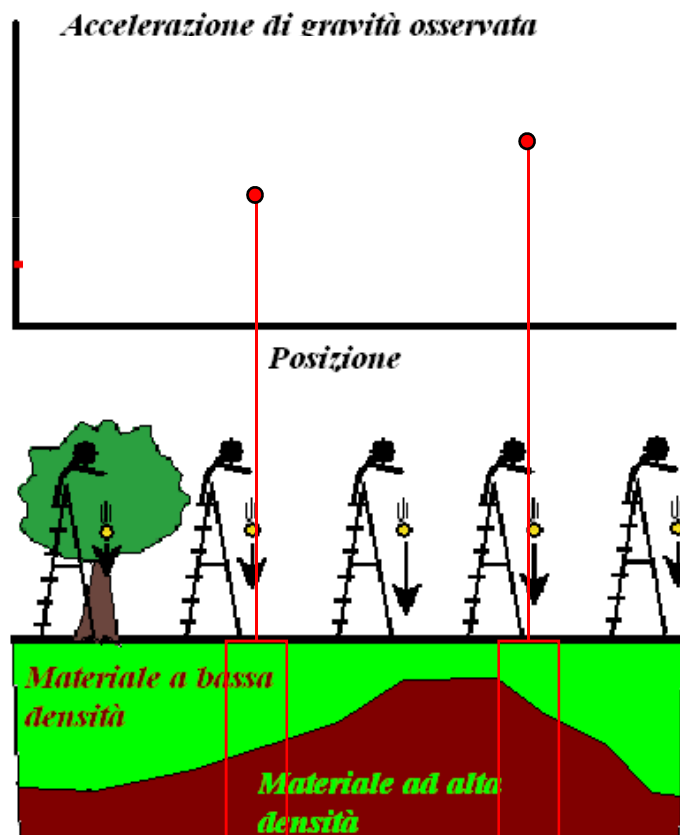
Tuttavia, per essere utili nel contesto della microzonazione sismica, queste tecniche devono essere caratterizzate da

1. *Bassi costi di esercizio per unità di volume di sottosuolo esplorato*
2. *Buona capacità di penetrazione (anche centinaia di metri)*



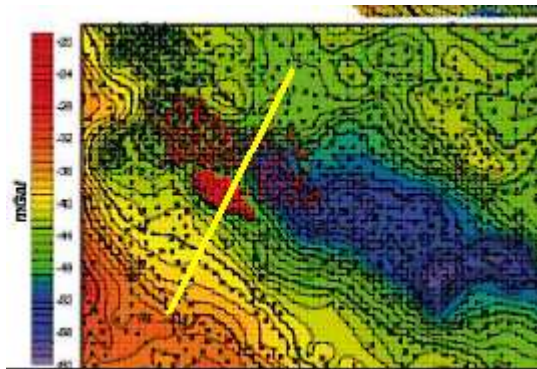
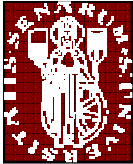
Fra i metodi geofisici esplorativi, il **metodo gravimetrico** è quello che garantisce la massima profondità di indagine a fronte di livelli di occupazione e invasività trascurabili oltre che bassissimi costi di esercizio

Questo corrisponde a un **elevato livello di ambiguità** dei risultati ed un livello di dettaglio assai scarso

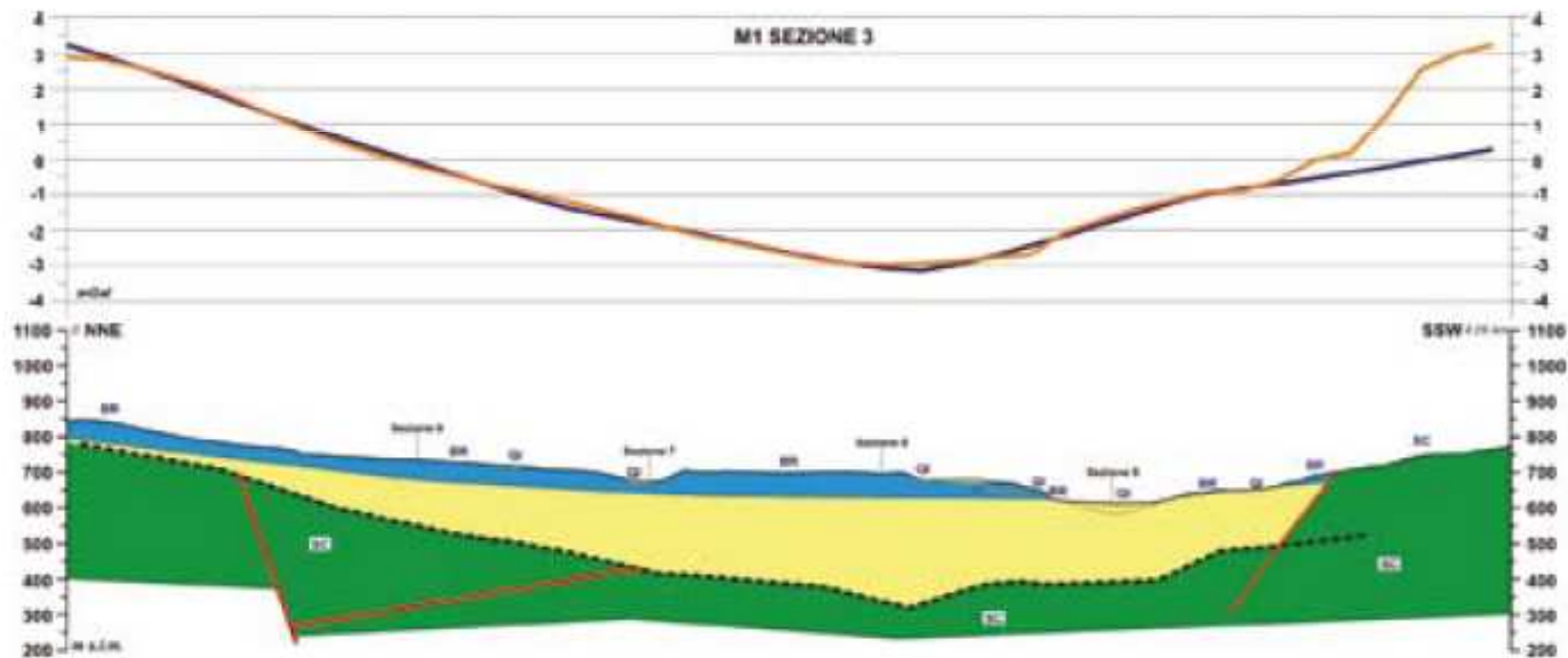


In pratica si tratta misurare le variazioni di gravità indotte da variazioni della densità medie dei materiali nel sottosuolo

La **maggiore densità** è solitamente associata a **materiali più competenti** e rigidi e quindi a più alti valori di impedenza sismica



Esempio di ricostruzione del modello geologico nella Macroarea 1 (L'Aquila)



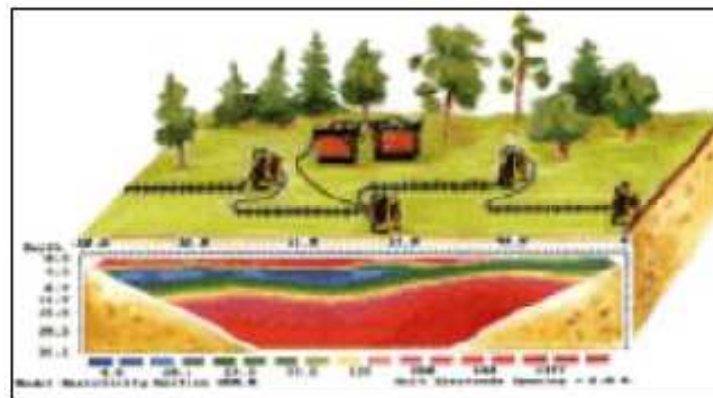


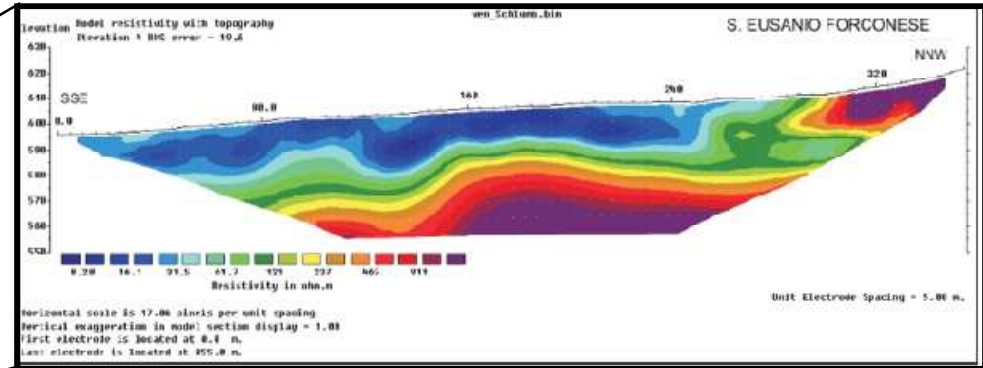
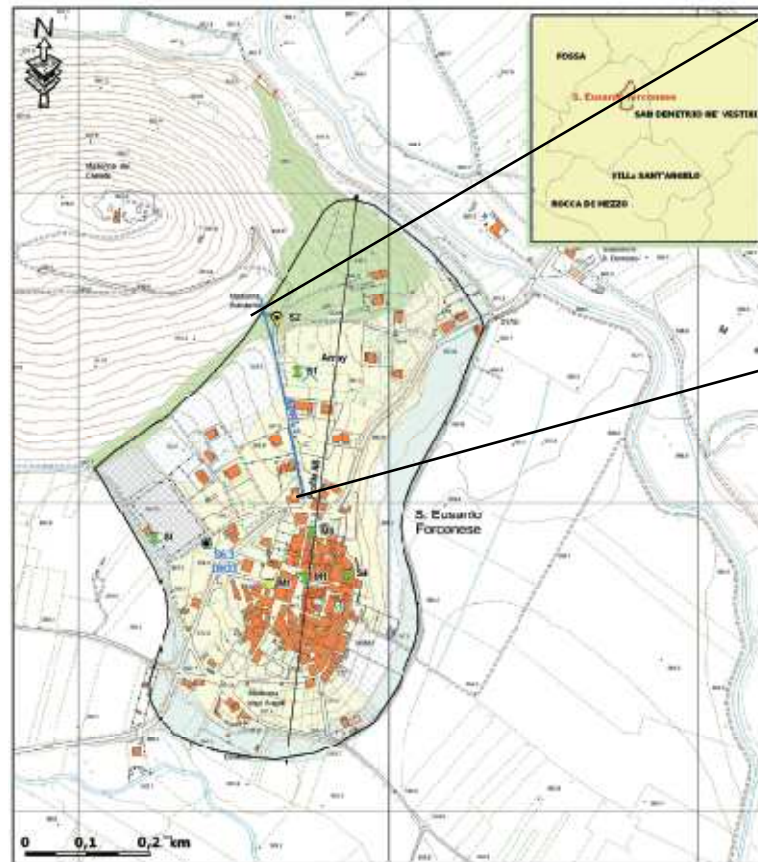
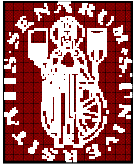
Anche le misure di **resistività** hanno in questo contesto carattere esplorativo e consentono **una buona caratterizzazione geometrica** dei corpi più competenti,

Si tratta di misure non invasive (anche se con discreti livelli di occupazione) a basso costo e con buona penetrazione (dell'ordine della metà o un quarto circa delle dimensioni dell'apparato di misura)

Il loro possibile utilizzo in questo contesto è legato ad una coerente interpretazione geologica (che va di volta in volta verificata).

Per esempio, **corpi più competenti e minore fratturazione** sono spesso caratterizzati da **più alti valori di resistività** rispetto ai mezzi circostanti a causa della minore quantità di fluidi conduttivi in circolazione mentre valori molto bassi di resistività indicano spesso la presenza di corpi argillosi, ecc.





In contesti complessi, misure di tipo geoelettrico possono rivelarsi utili per determinare la geometria di dettaglio dei corpi sepolti (soprattutto nelle zone di margine) fornendo indicazioni complementari alle misure passive (sismiche e gravimetriche)



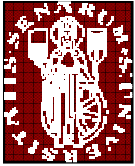
Un'altra famiglia di tecniche geofisiche di superficie utili a fini esplorativi sono le tecniche di **sismica passiva**

Si tratta di tecniche sismiche finalizzate alla caratterizzazione delle proprietà meccaniche del sottosuolo (impedenza sismica, velocità di propagazione delle onde S) a partire da misure del **campo di vibrazioni ambientali generate** da sorgenti non controllate di varia natura

Si tratta di metodi basati sull'osservazione di un campo d'onde fisicamente legato a quello generato dal terremoto e quindi potenzialmente di grande interesse per la microzonazione sismica

Il vantaggio di queste tecniche è che le onde sismiche oggetto di studio sono caratterizzate da lunghezze d'onda e profondità di propagazione molto maggiori di quelle generate artificialmente e questo permette di raggiungere profondità di esplorazione **assai più grandi di quelle raggiungibili da tecniche attive** a prezzo di una peggiore risoluzione spaziale e di una **maggiore ambiguità interpretativa**

Inoltre possono operare in ambiente urbano anche in presenza di forti disturbi antropici



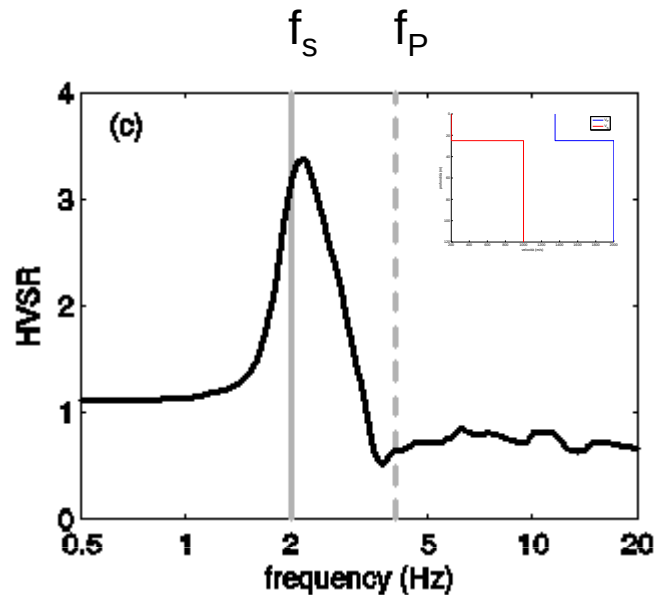
1. Se gli spettri medi delle vibrazioni ambientali sono **calcolati per un intervallo di tempo sufficientemente lungo** da includere una molteplicità di sorgenti distribuite uniformemente attorno al sito
2. Se queste sollecitano in modo statisticamente uguale le componenti orizzontali e verticali del moto

allora i rapporti spettrali medi H/V (**HVSR** - Horizontal to Vertical Spectral Ratios) sono funzione solo delle caratteristiche medie (nelle diverse direzioni) del sottosuolo

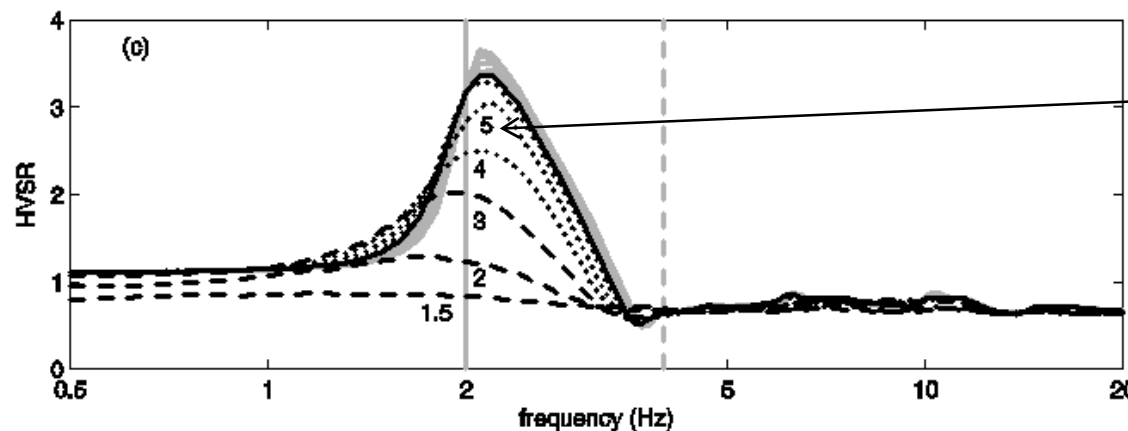
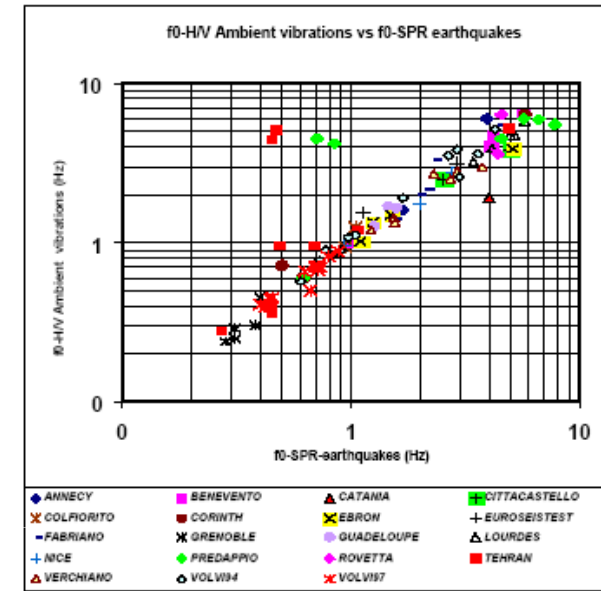
Quindi da misure di rumore risulta possibile risalire alle proprietà del mezzo, al netto del contributo delle diverse sorgenti



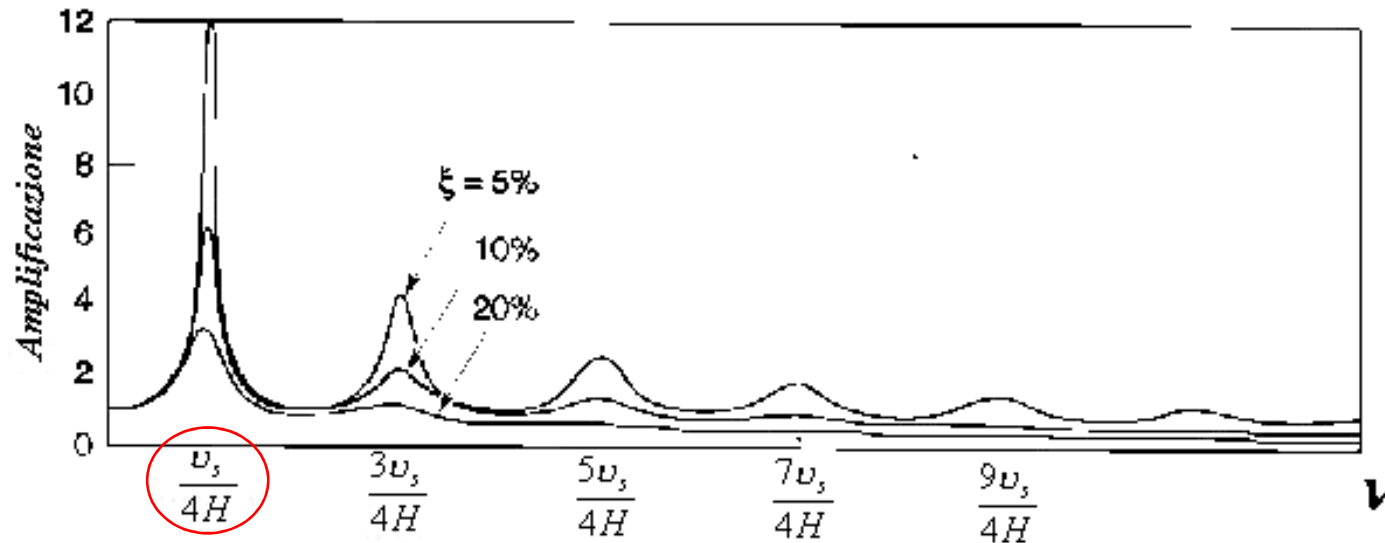
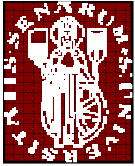
Simulazioni numeriche e dati osservativi indicano che



La posizione dei massimi dei rapporti spettrali mostra una buona correlazione con le **frequenze di risonanza delle onde S** ($f_0 = V_s/4H$)



Per contrasti di impedenza bassi o nulli il picco sparisce e la sua ampiezza aumenta con l'aumentare del contrasto (in modo non lineare)

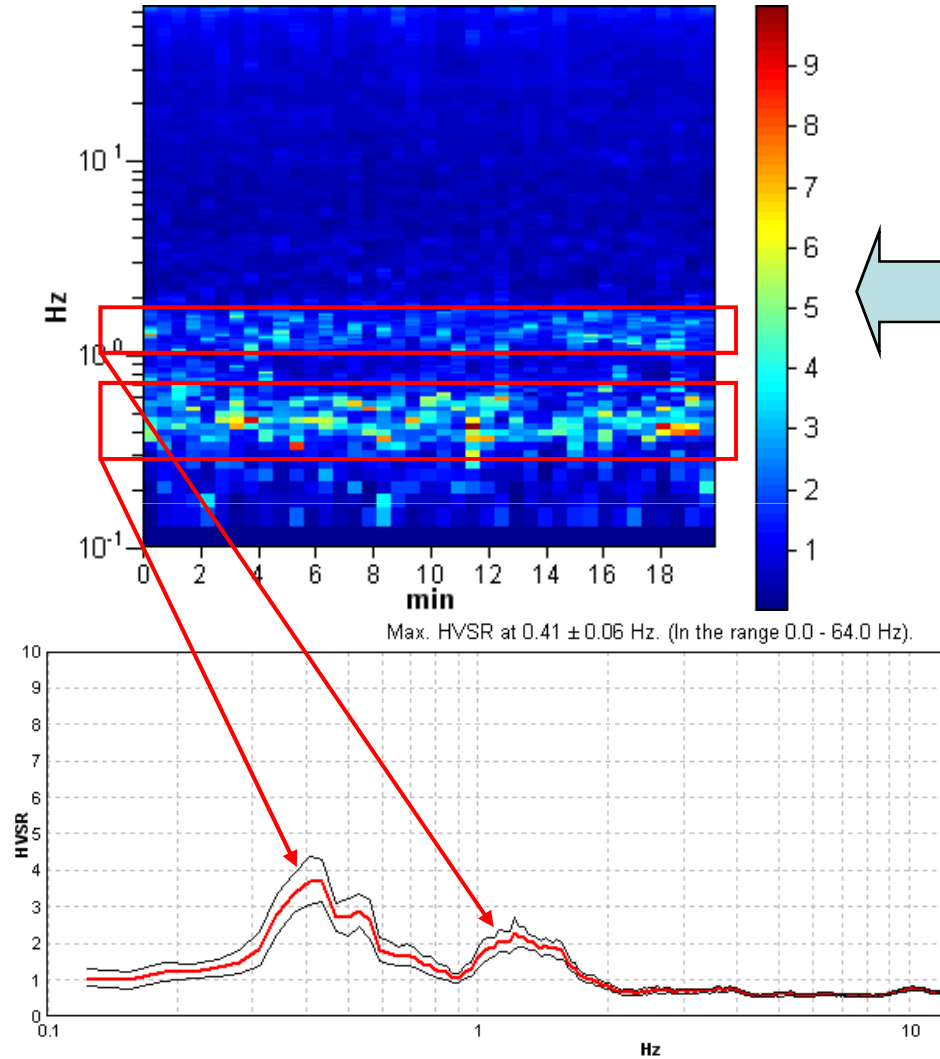


In pratica, la misura H/V (HVSr) permette di:

1. *Valutare la possibile presenza/assenza di fenomeni di risonanza e le frequenze eventualmente interessate*
2. *Stimare il rapporto $V_s/4H$*
3. *Avere una stima relativa dell'entità del contrasto di impedenza sismica (del tipo "Alto" o "Basso")*

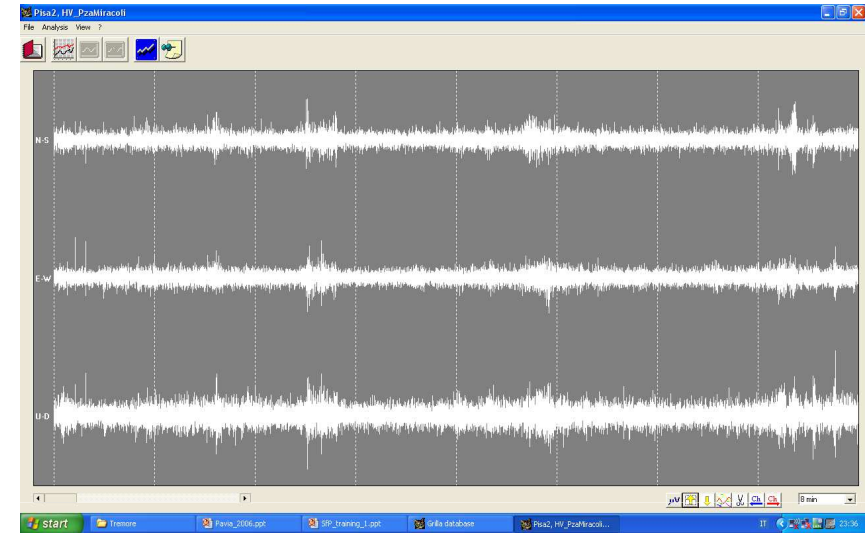


Andamento nel tempo dei rapporti spettrali:

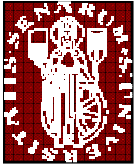


Rapporti Spettrali H/V medi

Registrazioni tridirezionale delle vibrazioni ambientali (misure velocimetriche)



un solo operatore



Un elemento chiave è la corretta esecuzione della misura

L'esecuzione della misura presenta due ordini di problemi

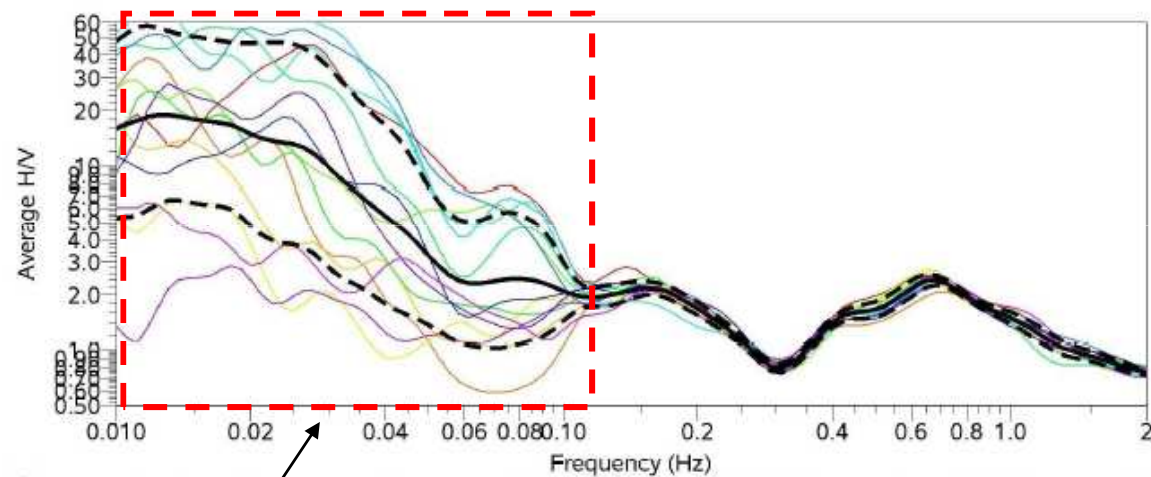
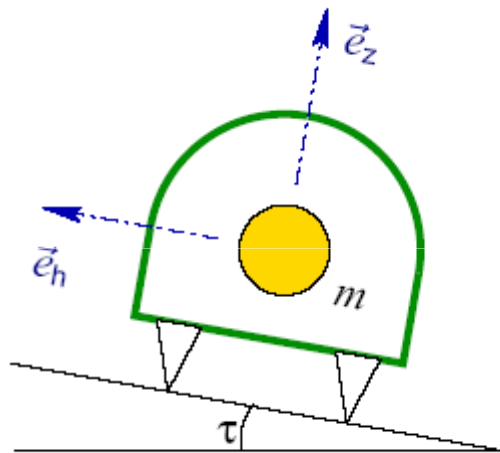
Il primo è legato ai **ridotti valori di ampiezza del segnale**

Trattandosi infatti di valori di ampiezza ridotti, le modalità di accoppiamento dello strumento con il suolo giocano un ruolo essenziale

Le analisi condotte indicano infatti che lo strumento andrebbe accoppiato **direttamente al terreno libero**, evitando materiali troppo soffici (fango o neve soffice per esempio). Bisogna anche evitare che elementi disturbo, agendo direttamente sul sensore, ne possano influenzare il comportamento **modificandone l'assetto** o inducendo movimenti anche piccoli ma comunque registrabili (contatto con fili d'erba, vento forte o pioggia sullo strumento, ecc.)

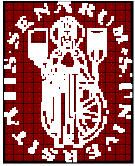


Per esempio, è possibile dimostrare che un lieve cambiamento nella livellazione (per esempio provocata da un piccolo cedimento del terreno su cui è appoggiato lo strumento) è in grado di perturbare significativamente la forma della funzione HVSR risultante soprattutto nella sua parte in bassa frequenza



“Effetto del tilting”

Bisogna quindi sempre controllare che lo strumento conservi la sua livellazione fino alla fine della misura!!!

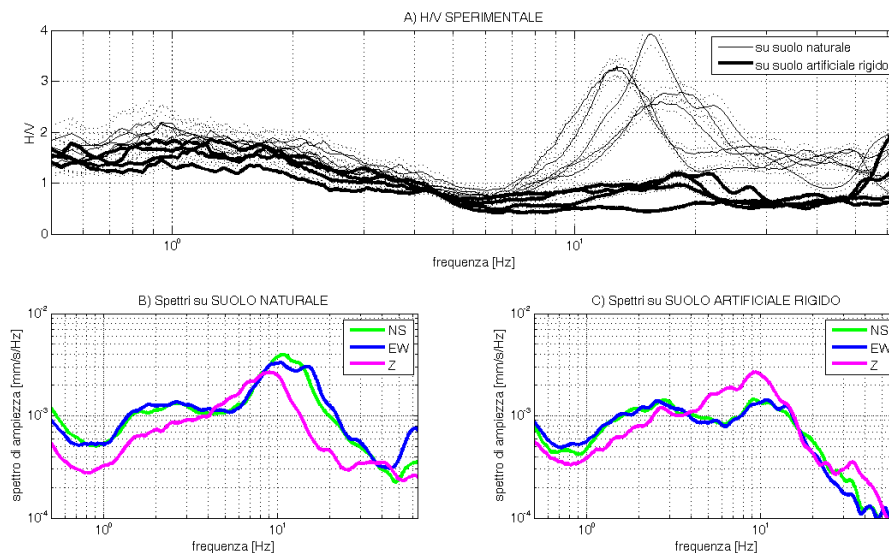


La misura HVSR può essere fortemente condizionata dalla presenza di pavimentazione

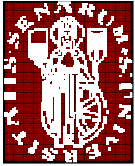
In alcune circostanze, questa pavimentazione può non essere accoppiata in modo ottimale con il suolo

In pratica è come se la misura fosse effettuata al tetto di una formazione costituita da uno strato molto rigido (la pavimentazione) al di sopra di uno strato più soffice (il suolo)

Questa “inversione” di velocità (rispetto ad un andamento normale con una velocità che cresce con la profondità) può perturbare la misura in modo significativo soprattutto nella parte in più alta frequenza

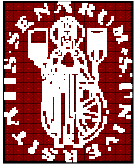


Per questo la misura va possibilmente effettuata su suolo libero!



Le **condizioni meteorologiche** possono giocare un ruolo importante sia in senso positivo che negativo. Infatti:

1. Le condizioni meteorologiche condizionano positivamente il campo d'onde: in presenza di tempo perturbato (mari mossi, vento in quota, marcate variazioni barometriche) producono in genere un “buon” campo di rumore “illuminando” il sottosuolo anche in bassa frequenza (<0.5 Hz)
2. Tuttavia la presenza di un forte vento a terra o di pioggia che agiscano direttamente sul sensore possono perturbare la misura. Il vento al suolo può “rovinare” le misure se queste sono effettuate in un terreno con copertura di erba alta



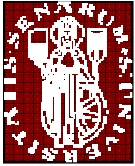
Un aspetto spesso sopravvalutato è quello del possibile disturbo arrecato dalla presenza di edifici o manufatti elevati nelle vicinanze della misura

La regola “aurea” imporrebbe una distanza minima dalla struttura pari a circa l'altezza della struttura stessa. In molti casi, questo vincolo renderebbe impossibile l'esecuzione delle misure

In realtà questa regola vale per strutture sollecitate direttamente (per esempio in condizioni di forte vento). Nei casi in cui la struttura è sollecitata dalle vibrazioni ambientali stesse, allora l'energia “ritrasmessa” al terreno risulta assai minore e quindi poco efficace nel disturbare la misura.

In questi casi, a pochi metri dalla struttura l'effetto diviene rapidamente trascurabile

Comunque, l'effetto delle strutture ha carattere quasi mono-frequenziale e quindi risulta chiaramente distinguibile nelle curve HVSR

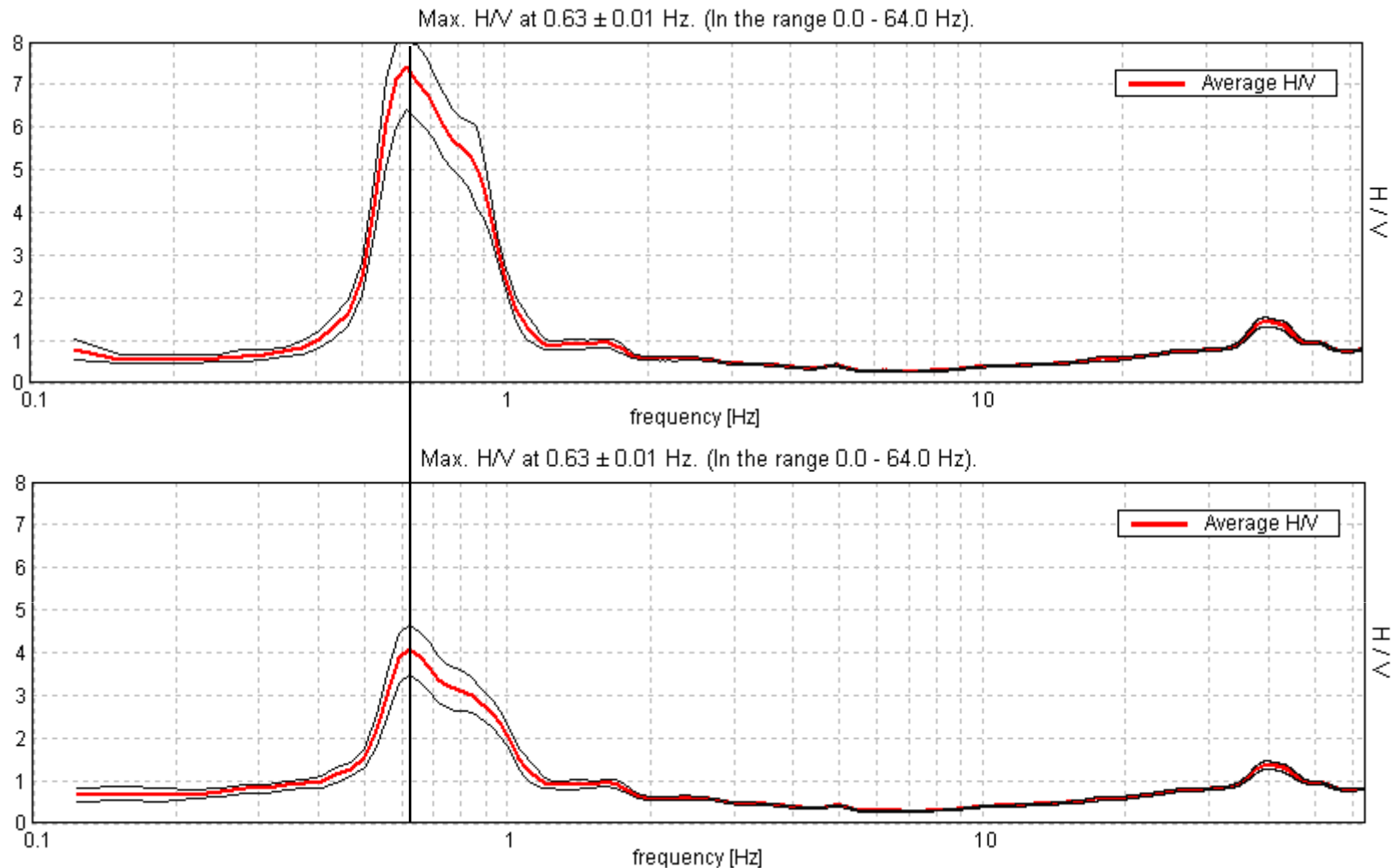
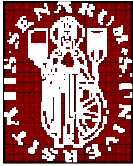


Il secondo aspetto importante riguarda il **carattere stocastico** della grandezza da misurare (rapporto spettrale medio)

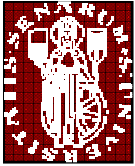
Si ricorderà che, affinché la misura HVSR possa essere considerata rappresentativa delle caratteristiche del sottosuolo, questa deve essere sufficientemente estesa nel tempo da includere l'effetto di un numero significativo di sorgenti a varie distanze dal ricevitore e distribuite all'intorno di quest'ultimo

Inoltre, dovendo operare su un segnale di tipo stocastico, è necessario mettere in campo tutti gli accorgimenti necessari perché l'analisi spettrale fornisca risultati statisticamente stabili ed affidabili

Per ottenere questi risultati bisogna quindi definire tempi di misura adeguatamente lunghi (non meno di 20 minuti) e procedere adottando opportune tecniche di trattamento del segnale



Le procedure di processing non sono equivalenti. Per esempio viene mostrato l'effetto di due diverse modalità di lisciamento (finestra triangolare e Konno-Ohmachi) si vede che la posizione del massimo non cambia ma l'ampiezza si. Non esiste un metodo ottimale!

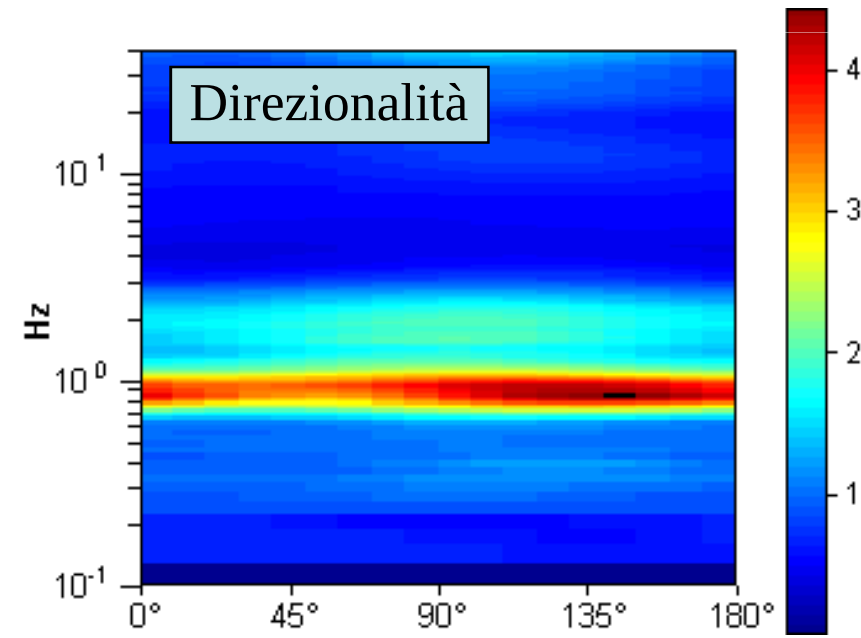
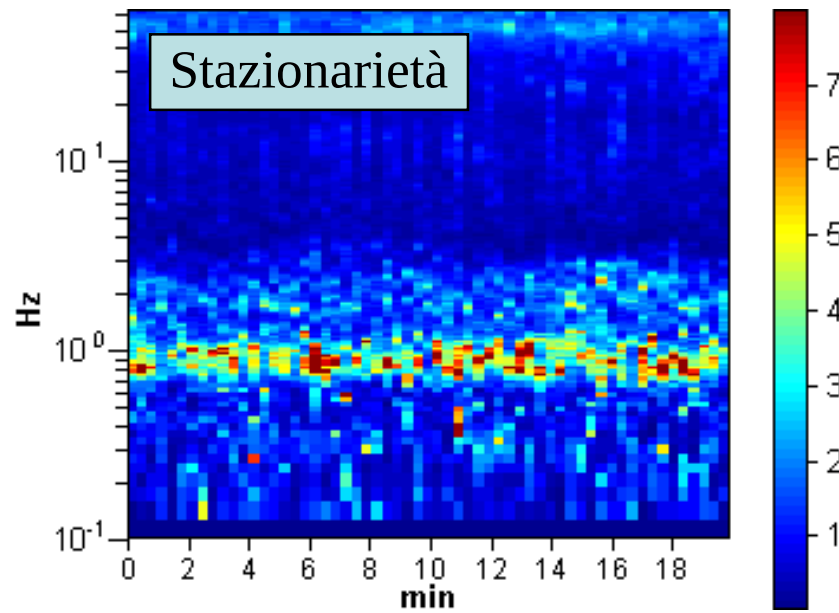
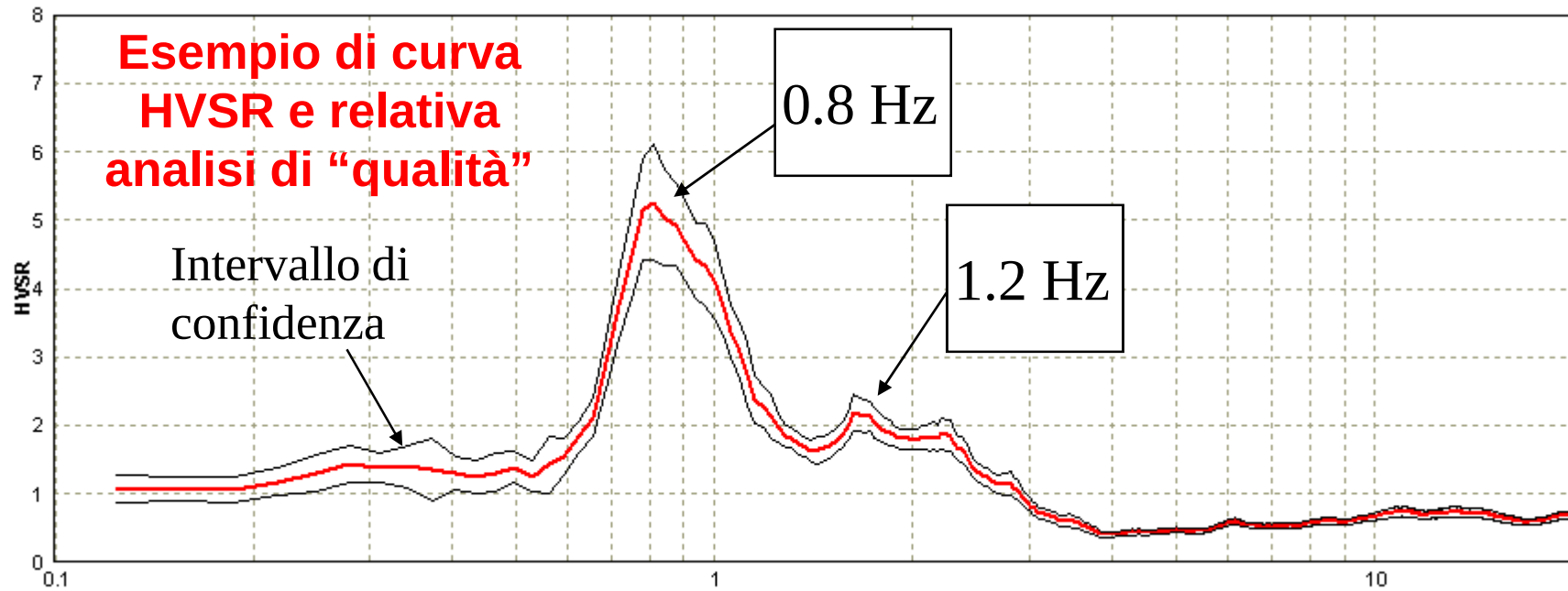


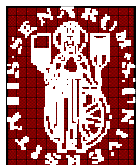
Prima di passare ad una interpretazione di queste misure è **necessario** valutarne preliminarmente la qualità e la rappresentatività

In particolare bisogna prendere in considerazione che

- 1. La misura ha carattere statistico e quindi il risultato deve essere rappresentativo delle caratteristiche medie del campo di vibrazioni ambientali*
- 2. Gli effetti di sorgente devono essere effettivamente stati rimossi dal processo di media (non esistono sorgenti “dominanti”)*
- 3. Non devono essere presenti disturbi di natura diversa, comunque non associati alle caratteristiche del campo di vibrazioni ambientali*

Queste caratteristiche vanno valutate per via indiretta attraverso l'impiego di opportuni diagnostici: la **stazionarietà temporale** e la **direzionalità** del segnale





Un aspetto importante è la valutazione relativa alla qualità statistica del risultato

A questo proposito, il progetto SESAME ha a suo tempo definito una serie di criteri di carattere empirico

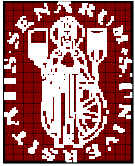
Appendice 1: I criteri SESAME (2004)

Criteri per una curva H/V affidabile [Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]	$f_0 > 10 / L_w$ $n_c(f_0) > 200$ $\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$
Criteri per un picco H/V chiaro [Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]	Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$ Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$ $A_0 > 2$ $f_{\text{picco}} [A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$ $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$

L_w	lunghezza della finestra
n_w	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
f	frequenza attuale
f_0	frequenza del picco H/V
σ_f	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	ampiezza media della curva H/V alla frequenza f_0
$A_{H/V}(f)$	ampiezza media della curva H/V alla frequenza f
f^-	frequenza tra $f_0/4$ e f_0 alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$
f^+	frequenza tra f_0 e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Valori di soglia per σ_f e $\sigma_A(f_0)$					
Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 f_0	0.2 f_0	0.15 f_0	0.10 f_0	0.05 f_0
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

Si tratta essenzialmente di considerazioni di tipo statistico sulla stabilità della curva, sulle modalità di campionamento, ecc.

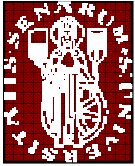


Questi criteri hanno carattere esclusivamente statistico

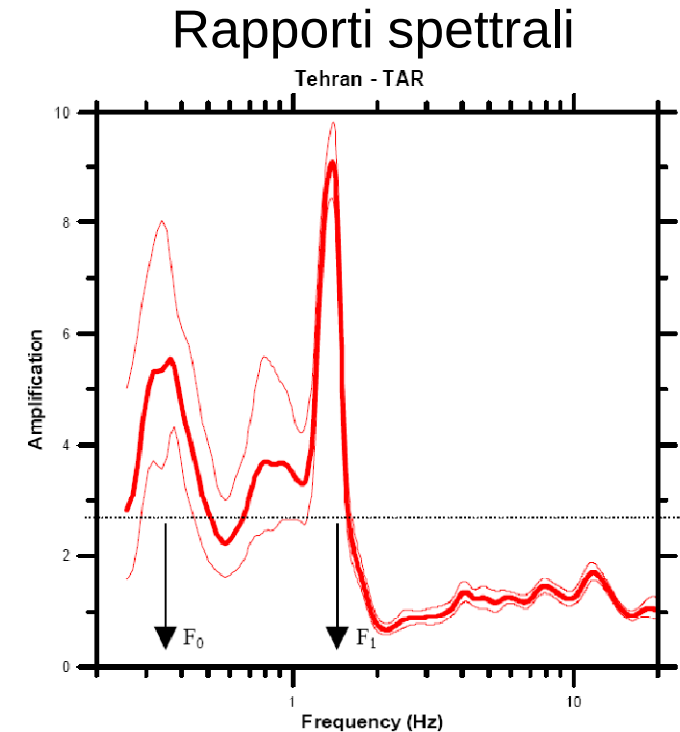
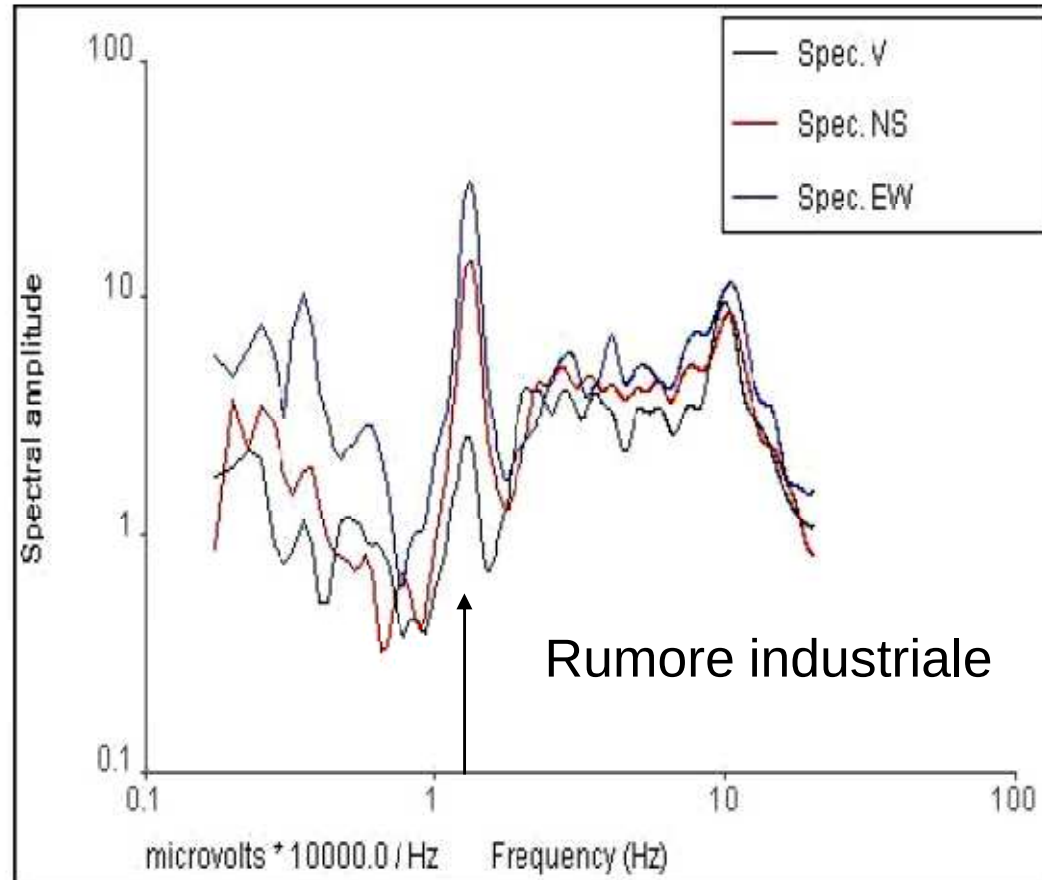
Di fatto non permettono di valutare la qualità “fisica” della misura

Quest’ultima deve essere valutata soprattutto sulla base della **ripetibilità** della misura valutata confrontando misure condotte in posizioni vicine o in condizioni ambientali differenti

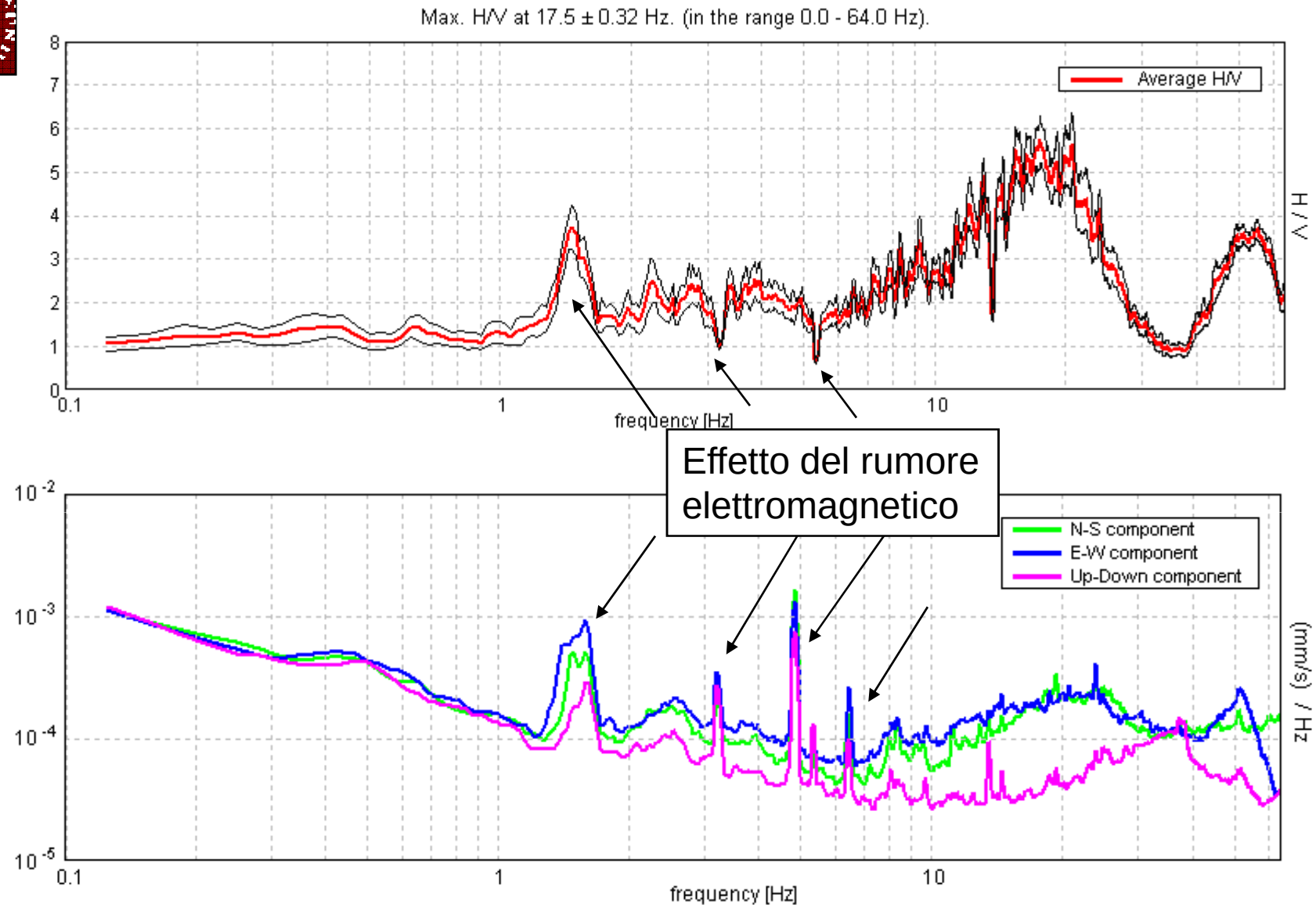
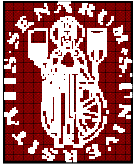
Infatti, data una certa frequenza di vibrazione ν , misure condotte in posizioni distanti meno della lunghezza d’onda considerata (V_s/ν) devono dare gli stessi risultati



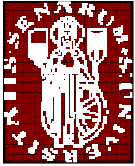
Spettri relativi alle tre componenti



Un problema specifico è posto dalla presenza di disturbi di tipo elettromagnetico (solitamente di origine industriale) che si manifesta con picchi intensi molto stretti su tutte le componenti spettrali



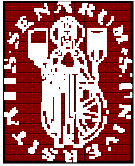
Contro questo disturbo non c'è niente da fare salvo eliminare la misura



Nessuno di questi criteri è comunque da solo definitivo: infatti non è detto che curve poco chiare siano effettivamente prive di valore

L'atteggiamento corretto è quello di cercare conforto in misure condotte in punti vicini (in rapporto alla lunghezza d'onda di interesse). Su questa base, nell'ambito delle attività di microzonazione sismica speditiva nell'area del terremoto aquilano è stata proposta **una classificazione delle misure** sulla base di criteri volti a stabilirne **la qualità**

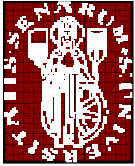
Obiettivo della classificazione è fornire una indicazione immediata circa la qualità delle singole misure H/V, con lo scopo di aiutare gli operatori nella fase interpretativa e nel confronto con altri dati osservati. Questo tipo di classificazione trova il suo principale impiego nella redazione delle mappe delle indagini relative al **livello 1** della microzonazione sismica.



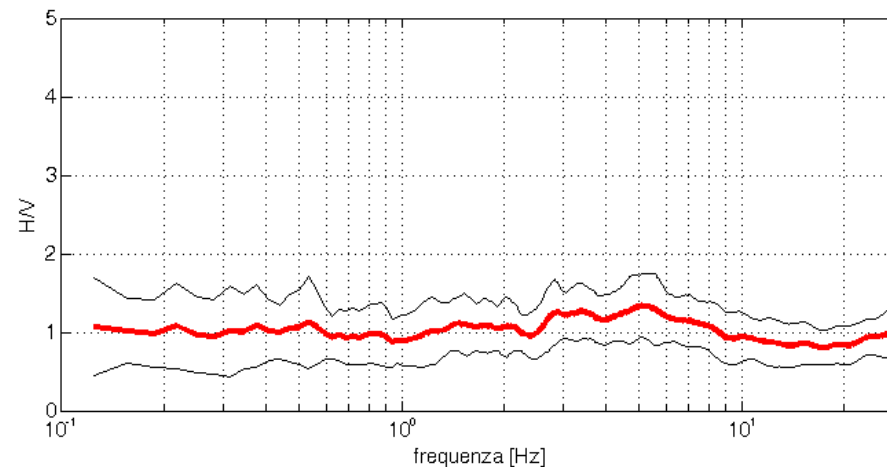
Vengono proposte tre classi di qualità:

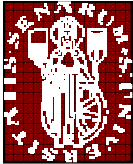
Classe A: H/V affidabile e interpretabile: può essere utilizzata anche da sola

1. la forma dell'H/V nell'intervallo di frequenze di interesse rimane stazionaria per almeno il 30% circa della durata della misura (*stazionarietà*)
2. le variazioni azimuthali di ampiezza non superano il 30% del massimo (*isotropia*)
3. non ci sono indizi di rumore elettromagnetico nella banda di frequenza di interesse (*assenza di disturbi*)
4. i massimi sono caratterizzati da una diminuzione localizzata di ampiezza dello spettro verticale (*plausibilità fisica*)
5. i criteri di SESAME per una curva H/V attendibile (primi 3 criteri) sono verificati (*robustezza statistica*)
6. la misura è durata almeno 15/20 minuti (*durata*)



ECCEZIONE: misure effettuate su roccia integra affiorante o in zone alluvionali fini con basamento sismico molto profondo (tipicamente > 1 km) possono non mostrare alcun picco statisticamente significativo della curva H/V nell'intervallo di frequenze di interesse ingegneristico, a causa dell'assenza di contrasti di impedenza sufficientemente marcati. In questi casi, in cui la curva H/V apparirà piatta e con *ampiezza circa pari a 1*, il criterio 5 risulterà non verificato anche se la misura è di fatto attendibile. In questo solo caso la misura può ricadere nella classe A ma si consiglia di ripetere la misura per confermare l'effettiva assenza di massimi significativi.



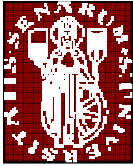


Classe B: curva H/V sospetta (da “interpretare”): va utilizzata con cautela e solo se coerente con altre misure ottenute nelle vicinanze

1. almeno una delle condizioni della classe A non è soddisfatta, a condizione che non si rientri nell’ECCEZIONE citata per la Classe A

Classe C: curva H/V scadente e di difficile interpretazione: non va utilizzata

1. misura di tipo B nella quale la curva H/V mostra una ampiezza crescente al diminuire della frequenza (deriva), indice di un movimento dello strumento durante la misura
2. misura di tipo B nella quale si evidenzia la presenza di rumore elettromagnetico nell’intervallo di frequenze di potenziale interesse

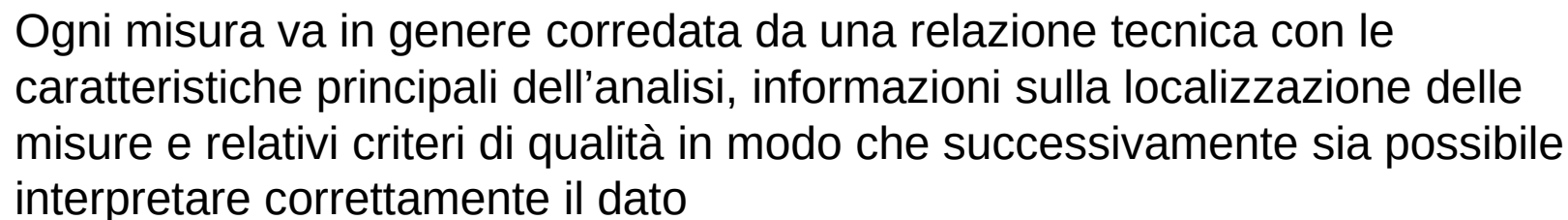


I criteri delineati sopra non riguardano l'interpretazione in chiave geologico-stratigrafica della curva, per la quale sono richiesti ulteriori criteri (per esempio i criteri SESAME per la “chiarezza” del picco).

Per le sole Classi A e B si possono pertanto definire due sottoclassi delle classi precedenti, ossia:

Tipo 1. Presenta almeno un picco “chiaro” secondo i criteri di SESAME: *possibile risonanza*

Tipo 2. Non presenta picchi “chiari” nell'intervallo di frequenze di interesse: *assenza di risonanza*

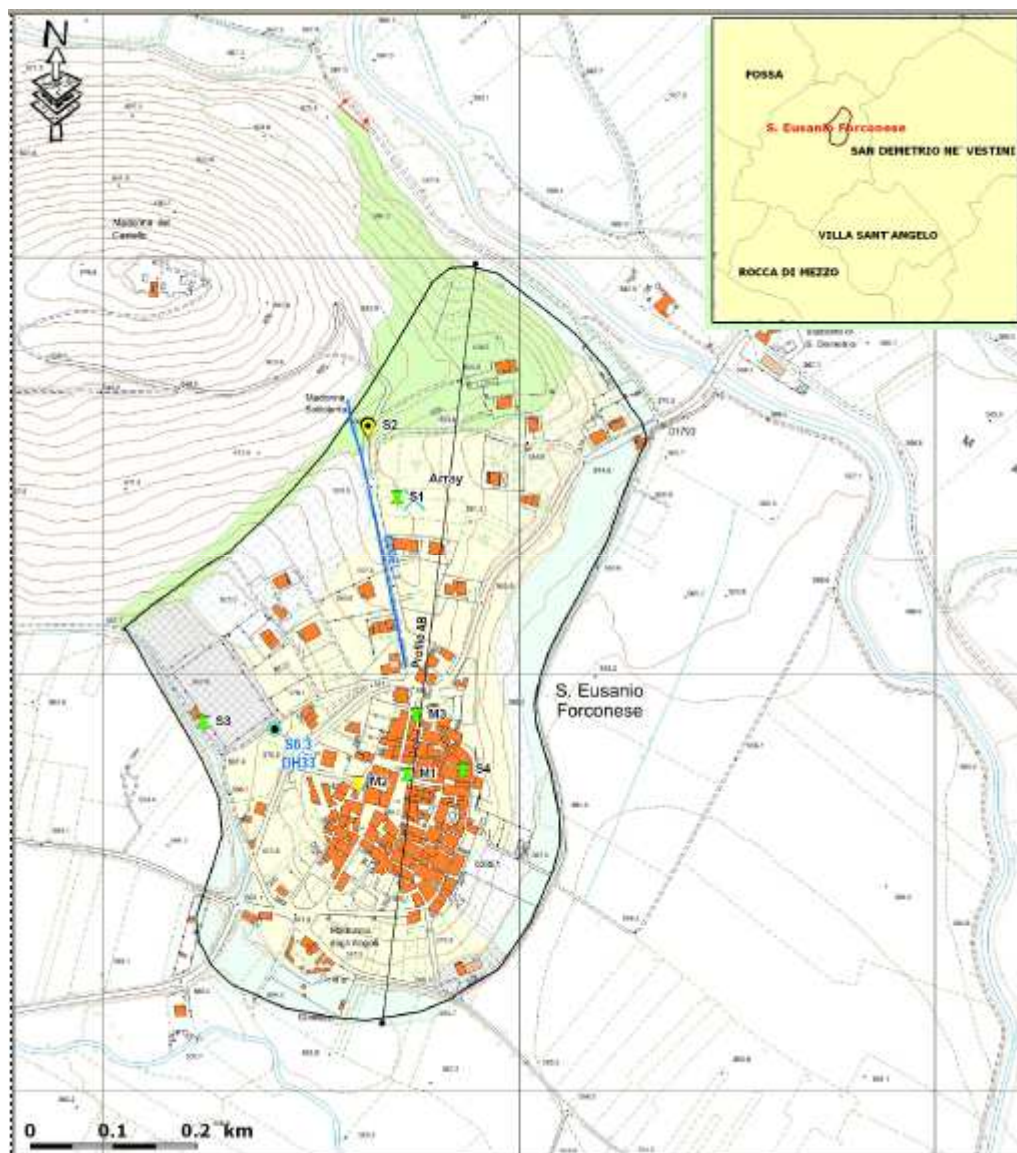
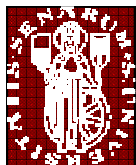


Threshold values for α and α_{eff}					
Freq range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
α_{eff} [Hz]	0.25 %	0.2 %	0.15 %	0.10 %	0.05 %
β (%) for α_{eff}	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
Log β (%) for α_{eff}	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

A wide, empty street in a town, flanked by old stone buildings. A small white object is on the ground in the foreground.

Criteri SESAME





MACROAREA 6



CARTA DELLE INDAGINI

**Sant'Eusanio
Forconese (AQ)**



In collaborazione con:

- Università Di Siena, Dipartimento Di Scienze Della Terra
- Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, sezione MI - Pv
- CNR, Istituto per l'Ambiente Marino Costiero (IAMC), Napoli
- Regione Abruzzo

Legenda

Indagini ex-novo

Rumore sismico (UNISI - INGV MI-PV)

- | | | |
|--|--|--|
| | | Classe di qualità dell'HVSR |
| | | A: affidabile; B: da interpretare; C: di difficile interpretazione |
| | | Tipo 1: presenta almeno un picco chiaro (simbolo puntina) |
| | | Tipo 2: non presenta picchi chiari (simbolo goccia). |
| | | Array |

Sondaggio geognostico (Regione Abruzzo - DPC - ISPRA)
Codice sondaggio/Codice DownHole

Stesa geoelettrica (ISPRA)

Per la legenda della Carta geologica e geomorfologica di base e il profilo geologico, consultare la relativa cartografia di Sant'Eusanio Forconese.

S.Eusanio Forconese (Aq) - Macroarea 6 - a cura di ISPRA Servizio Geologico d'Italia

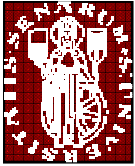
Rilevamento geologico alla scala 1:5.000 a cura di: D'Ambrogio C. & Marino M.
Informatizzazione e allestimento cartografico: Roma M.
Coordinamento Macroarea 6 e 7: Amanti M. & Cesi C.

Base topografica CTR alla scala 1:5.000 fornita dalla Regione Abruzzo.
Reticolato chilometrico WGS84 fuso 33N.



Caratterizzazione delle zone stabili dal punto geofisico – Dario Albarello





Interpretazione delle misure HVSR

Si definiscono tre livelli

1. Livello qualitativo

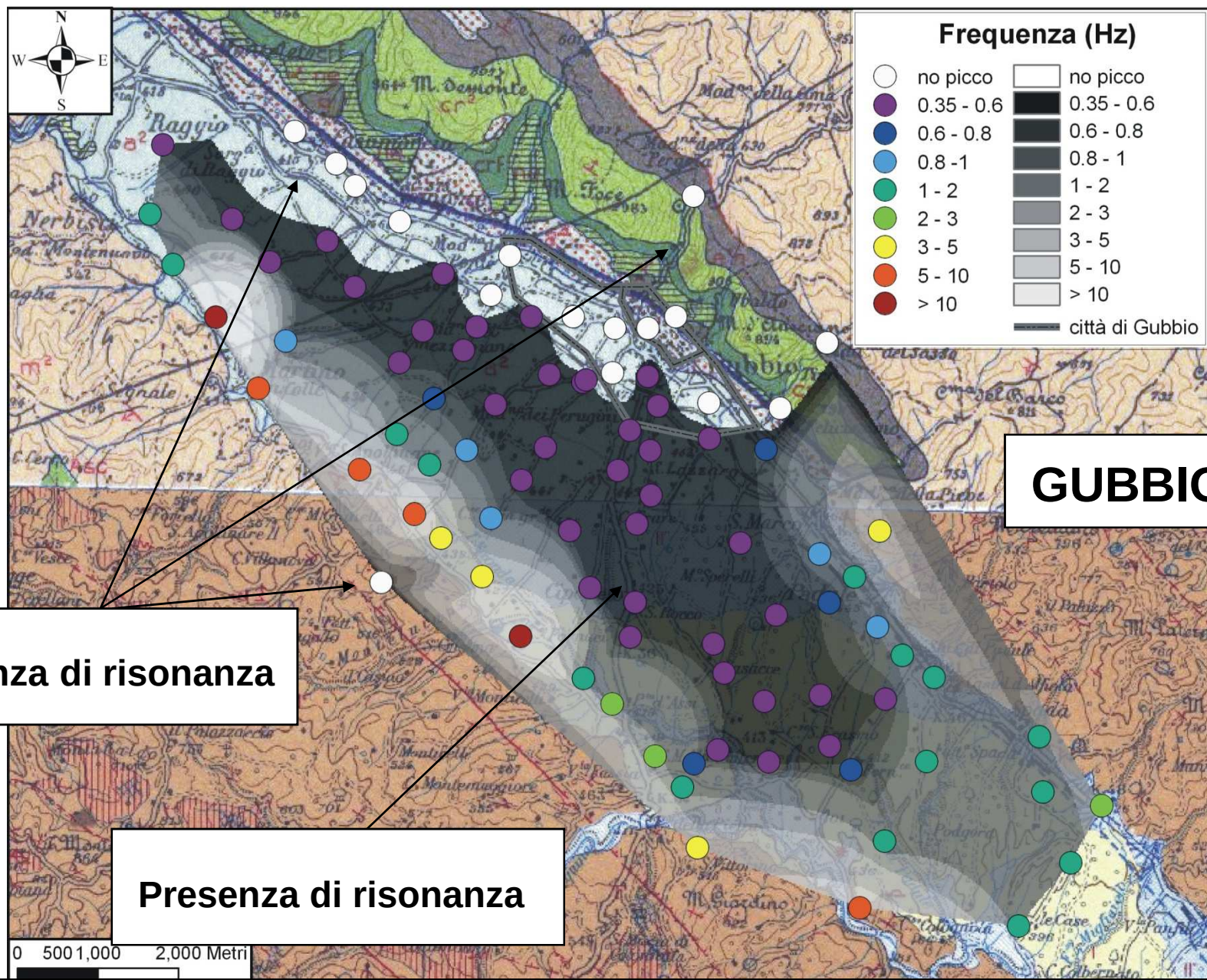
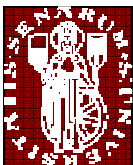
L'insieme dei dati ottenuti permette di identificare le aree dove esistono fenomeni di risonanza la presenza di fenomeni di risonanza sismica nel campo di frequenze di interesse ingegneristico (0.5-10 Hz)

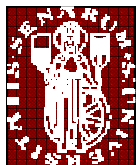
2. Livello semi-qualitativo

Alle misure sono associate delle stime molto grossolane dello spessore delle coperture responsabili del fenomeno della risonanza e dell'entità del contrasto atteso

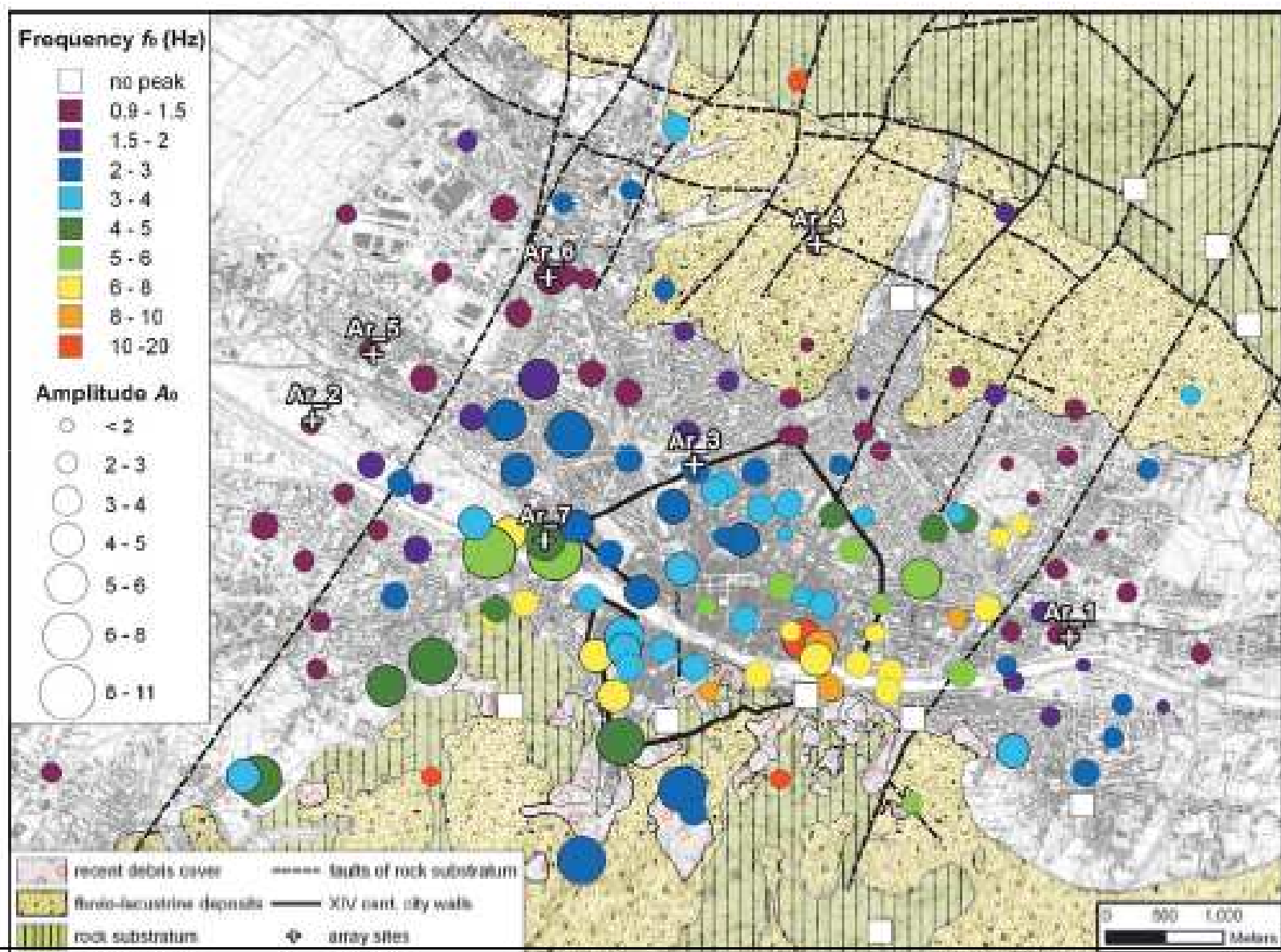
3. Livello quantitativo

Le misure vengono “invertite” per ricavare informazioni sul profilo di velocità delle onde S nel sottosuolo del punto di misura



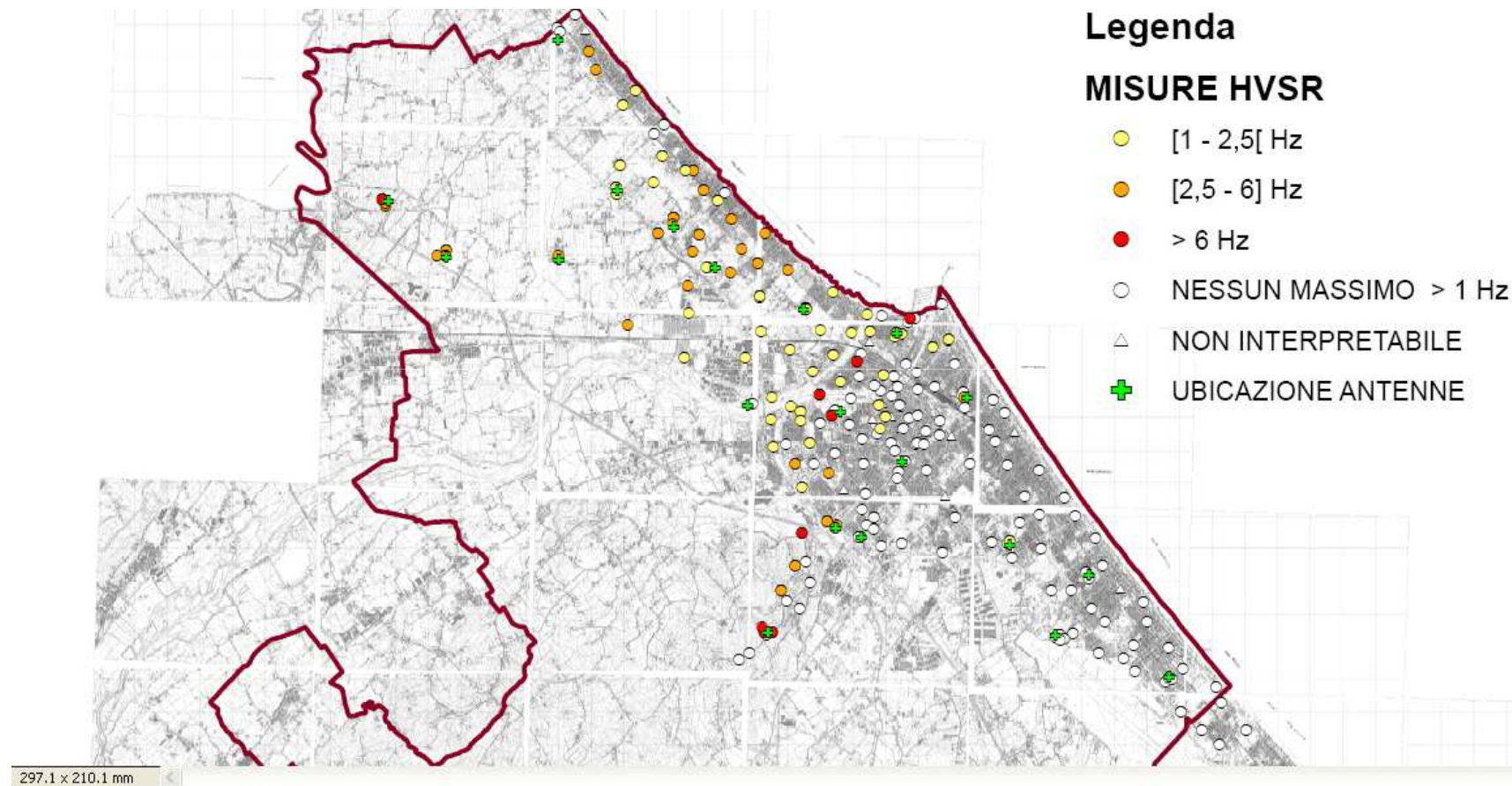


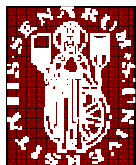
Misure HVSR nel comune di Firenze





Misure HVSR nel comune di Rimini





COMUNE DI S. EUSANIO FORCONESE

Totale misure svolte: 7

Geologia:

L'abitato di S. Eusanio è ubicato su sabbie più o meno addensate; 5 delle 7 misure svolte in questo comune risiedono, senza dubbio, su tale litologia.

Prima Interpretazione Dati:

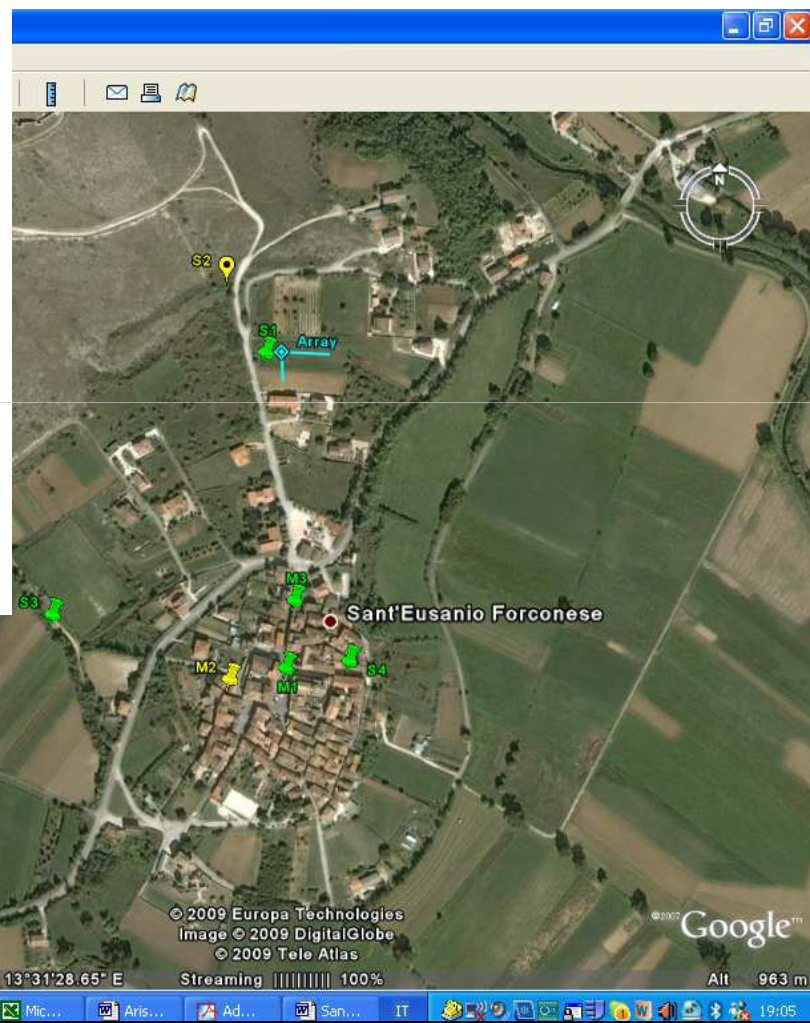
M1, M2, M3, S1, S4

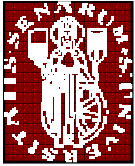
Le misure eseguite risultano affidabili (M1, M3, S1, S4 classe A1) e tutte presentano all'incirca un massimo risonante a 2.5-3 Hz. La potenza stimata delle coperture sabbiose è approssimativamente tra circa 30 e 35 metri. Le forti ampiezze riscontrate nelle misure realizzate, indicano, inoltre, un notevole contrasto d'impedenza con i materiali sottostanti.

S2, S3

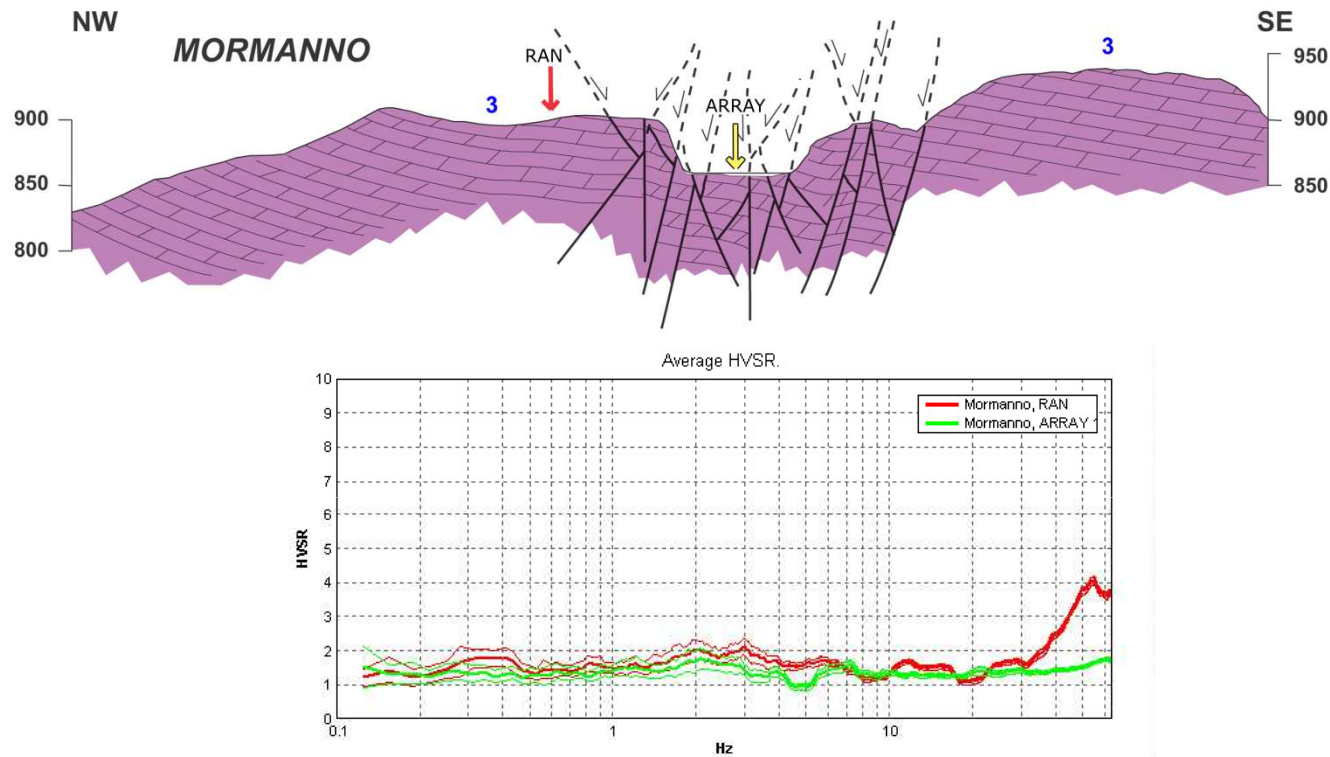
La misura S3 (classe A1) presenta un netto massimo a 3 Hz con elevati valori d'ampiezza. Quanto registrato trova un buon riscontro nel fatto che tale rilevazione sembra risiedere su terreni di riporto (spessore stimato 15-20 metri circa).

La S2 (classe B2), infine, non presenta nessun massimo netto; anche in questo caso il risultato sembrerebbe affidabile, visto che l'acquisizione dovrebbe poggiare sul sub-strato lapideo.

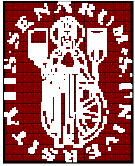




Indagine esplorativa del territorio comunale di Mormanno (Cosenza)



In assenza di contrasti di impedenza sismica significativi, la curva HVSR è “piatta” (non ci sono massimi significativi) e non ci sono variazioni laterali significative



Il livello semi-qualitativo

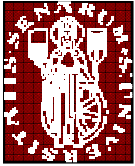
Le misure forniscono una stima diretta della **frequenza di risonanza** ν_0 delle coperture

La frequenza di risonanza del sedimento dipende dallo spessore H del sedimento e dalla velocità “media” ($\hat{V}$) delle onde S nel sedimento

$$\nu_0 = \frac{\hat{V}_s}{4H}$$
$$\hat{V}_s = 4H\nu_0$$
$$H = \frac{\hat{V}_s}{\nu_0 4}$$

Conoscendo lo spessore H del sedimento (per esempio da sondaggi) è possibile avere informazioni sulla velocità “media” delle Onde S

Alternativamente, conoscendo quest'ultima è possibile definire lo spessore H dello strato sedimentario

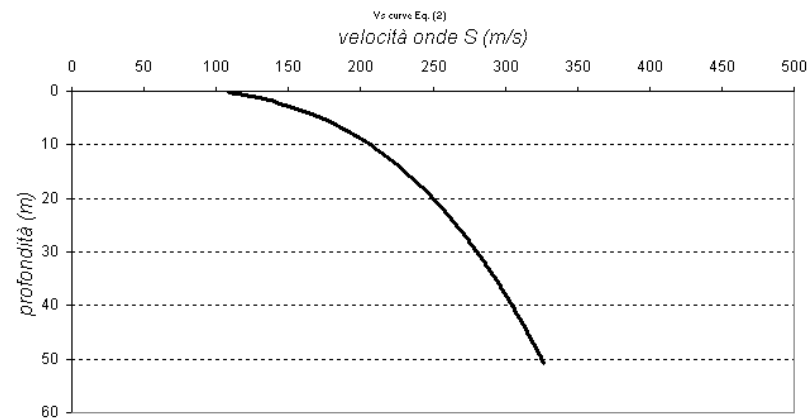


In alcuni casi è possibile formulare ipotesi ragionevoli riguardo al profilo di velocità

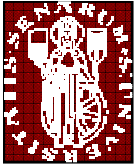
Per esempio, nel caso di corpi di sedimenti non consolidati, si può presumere che l'andamento medio del profilo di velocità sia controllato dal carico litostatico

In questo caso, per i mezzi granulari, è ragionevole ipotizzare un andamento delle Vs con la profondità H del tipo “Legge a potenza”

$$V_s(H) = V_0(1 + H)^a$$



dove V_0 e a dipendono dalle caratteristiche del sedimento (granulometria, coesione, ecc.)



In questi casi è possibile dimostrare che esiste una relazione diretta tra la **frequenza di risonanza** e lo **spessore** dello strato soffice

Questa relazione dipenderà dai due parametri V_0 e a secondo la relazione

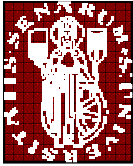
$$H = \left[\frac{V_0(1-a)}{4\nu_0} + 1 \right]^{1/(1-a)} - 1 \approx A\nu_0^B$$

Si ha allora che

$$\log H \approx \log A + B \log \nu_0$$

$$a = \frac{1}{B} + 1$$

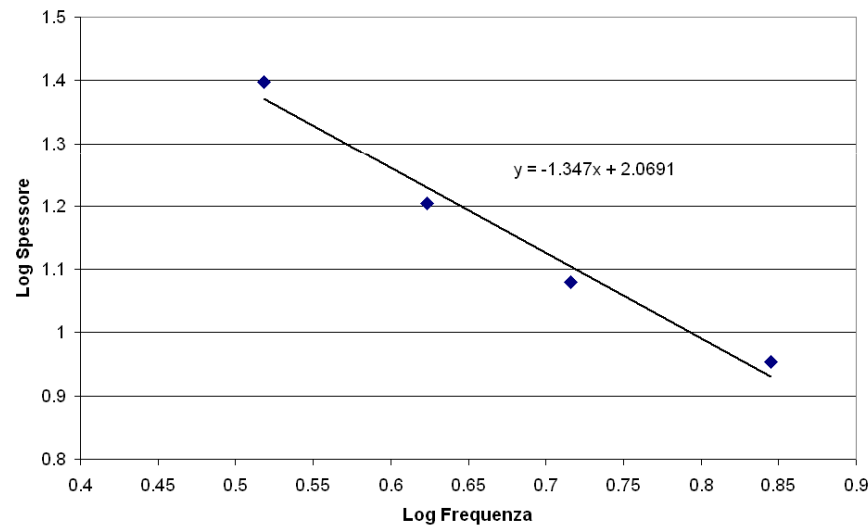
$$V_0 = \frac{4A^{1-a}}{1-a}$$



$$\ln H \approx \ln A + B \ln \nu_0$$

Questa relazione può essere utilizzata per stimare i parametri della “legge a potenza” (V_0 e a) a partire da valori di frequenza di risonanza misurati in corrispondenza di coperture di spessore H noto

H (m)	ν_0 (Hz)	
25	3.3	Sito 1
12	5.2	Sito 2
16	4.2	Sito 3
9	7.0	Sito 4

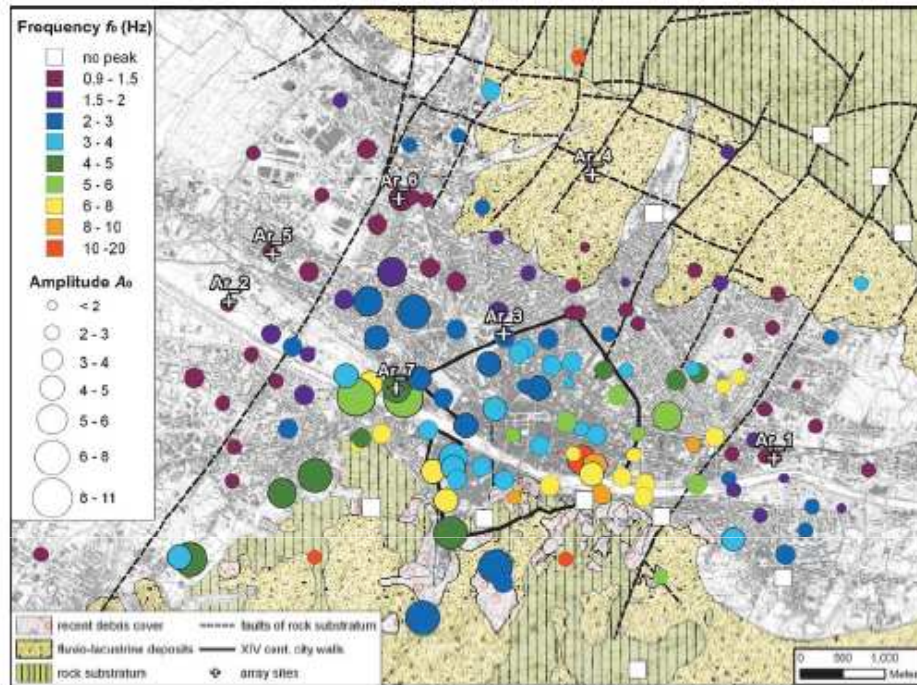
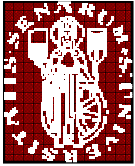


$$A = 10^{2.07} = 7.9$$

$$B = -1.347$$

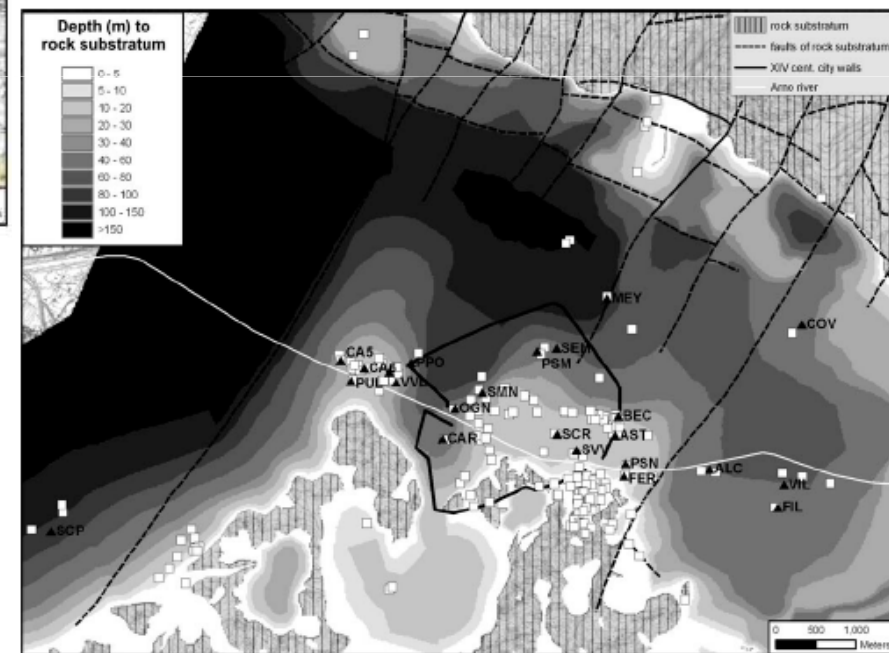
$$a = 0.25; \quad V_0 = 185 \text{ m/s}$$

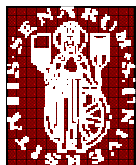
Sono i parametri della legge a potenza



In questo modo è stata eseguita una valutazione della topografia del basamento al di sotto della città di Firenze

Il sottosuolo di Firenze





Al fine di provvedere una prima informazione di massima sulle caratteristiche delle zone caratterizzate da risonanza (valide solo in prima approssimazione e solo a fini esplorativi) sono stati prodotti degli abachi preliminari per:

1. *stimare la profondità h del contrasto di impedenza responsabile degli effetti osservati*
2. *Valutare qualitativamente l'entità di questo contrasto*

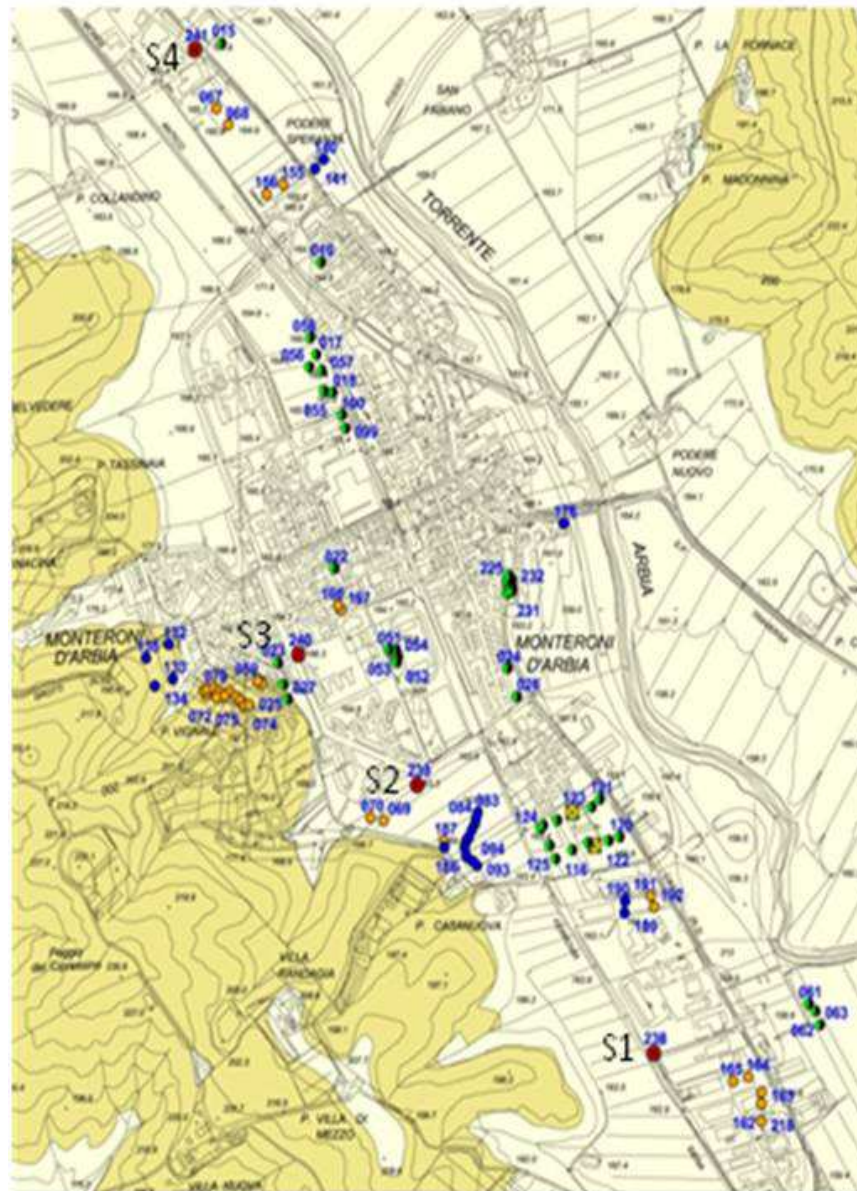
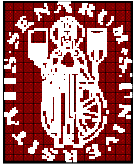
Utilizzando questo strumento, le frequenze di risonanza possono tentativamente essere convertite in spessori permettendo una identificazione preliminare delle interfacce risonanti

Questo tipo di indagine **non ha sostituito analisi di dettaglio** ma ha avuto il solo scopo (**sotto stretto controllo geologico**) di fornire indicazioni preliminari sulla struttura del sottosuolo e orientare le indagini successive

f_0 (Hz)	h (m)	
< 1	> 100	Centinaia di metri
1 – 2	50 – 100	
2 – 3	30 – 50	
3 – 5	20 – 30	Decine di metri
5 – 8	10 – 20	
8 – 20	5 – 10	
> 20	< 5	Qualche metro

H/V >3 Alto contrasto

2<H/V<3 Basso Contrasto



UNITA' LITOTECNICHE

Litotipi lapidei

Rocce stratificate

Successioni con alternanza di litotipi lapidei ed argillosi

Rocce stratificate con prevalenza di litotipi lapidei e subordinate argilliti

Rocce stratificate con alternanza di litotipi lapidei ed argillosi

Successioni conglomeratiche (o ghiaiose) sabbiose argillose

Brecce e conglomerati cementati

Sabbie con livelli conglomeratici

Argille e argille sabbiose

Limi sabbie e ghiaie

INDAGINI GEOGNOSTICHE

- Sondaggio a carotaggio
- Prova penetrometrica statica CPT
- Prova penetrometrica dinamica DP
- Profilo sismico
- ▲ Trincea esplorativa

PROGRAMMA DOCUP TOSCANA 2000-2006

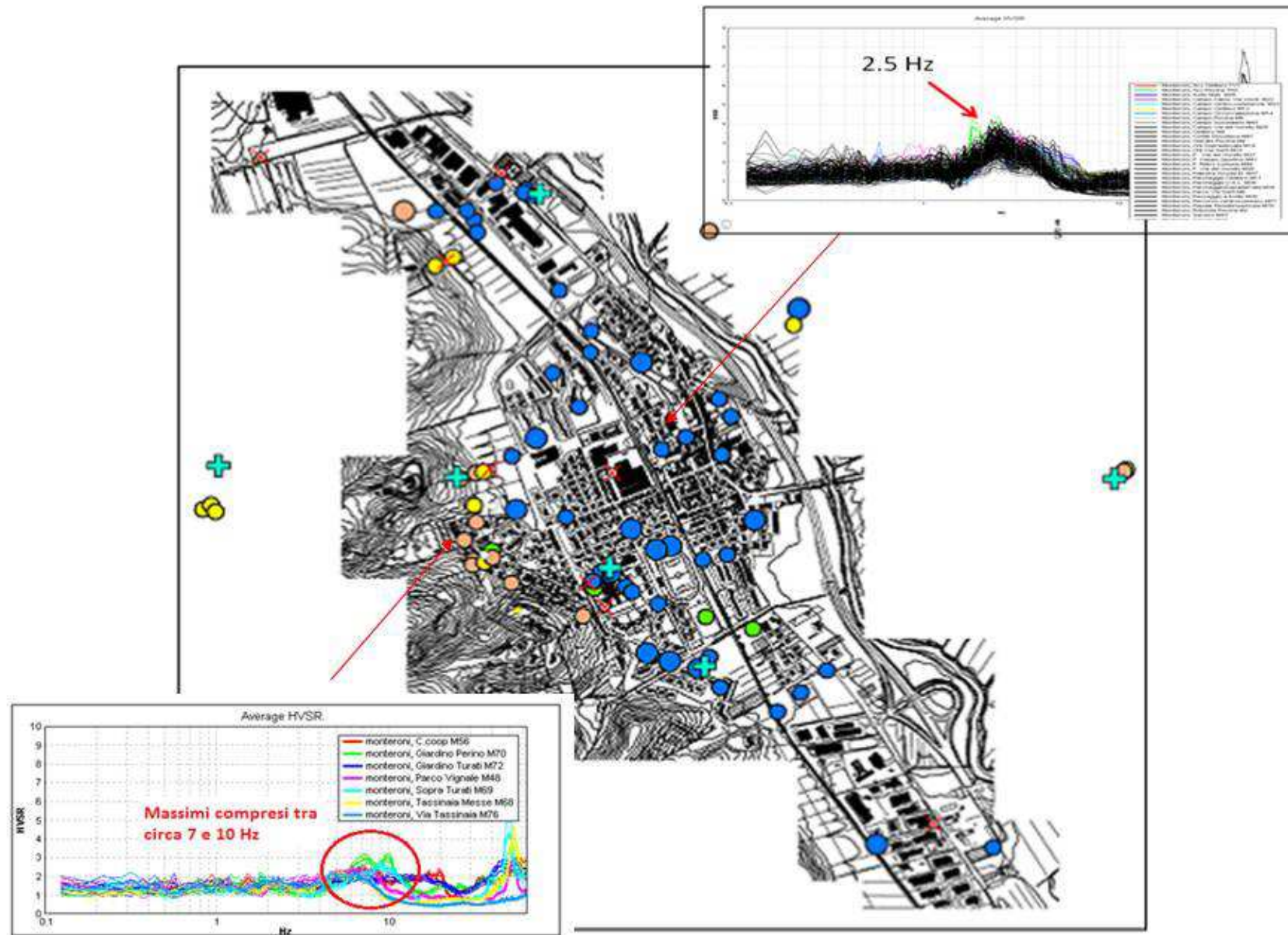
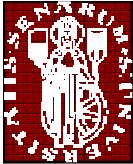
- Sondaggio per indagine geofisica in foro (Down-Hole)

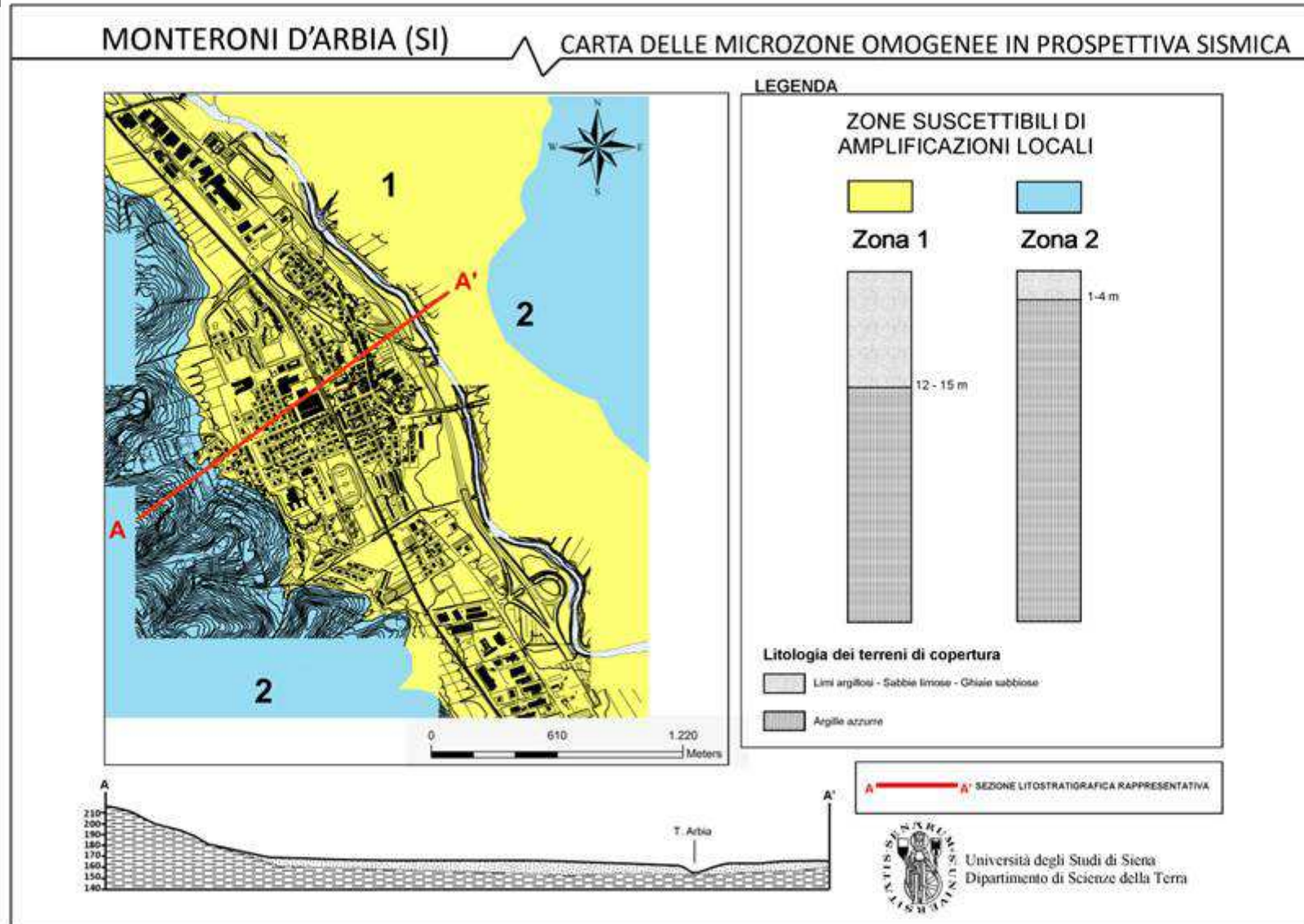
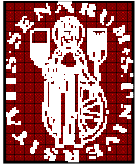
Il caso di Monteroni D'Arbia (Si)

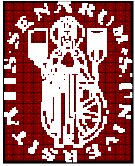


Caratterizzazione delle zone stabili dal punto geofisico – Dario Albarello









CONCLUSIONI

L'esperienza aquilana ha mostrato come una carta delle “microzone omogenee in prospettiva sismica” di **primo livello** prima di misure di tipo geofisico risulta troppo approssimativa per gli scopi previsti

D'altro canto, il carattere “frugale” di questo tipo di prodotto ed il suo carattere “estensivo” richiedono l'impiego di tecniche di prospezione del sottosuolo caratterizzate da bassi costi di esercizio per unità di volume di sottosuolo esplorato anche a spese di un livello di precisione che può non essere elevato

Le tecniche di prospezione gravimetrica, geoelettrica e di sismica passiva si sono rivelati di grande utilità anche perché sono in grado di raggiungere profondità di esplorazione elevate (centinaia di metri) a fronte di livelli di occupazione e costi ridotti

Inoltre sono uno strumento assai utile per supportare l'estrapolazione a aree estese di misure puntuali

Si tratta di tecniche “robuste” applicabili rapidamente nei diversi contesti (anche in presenza di forti disturbi antropici) ma richiedono una grande cura nella loro esecuzione