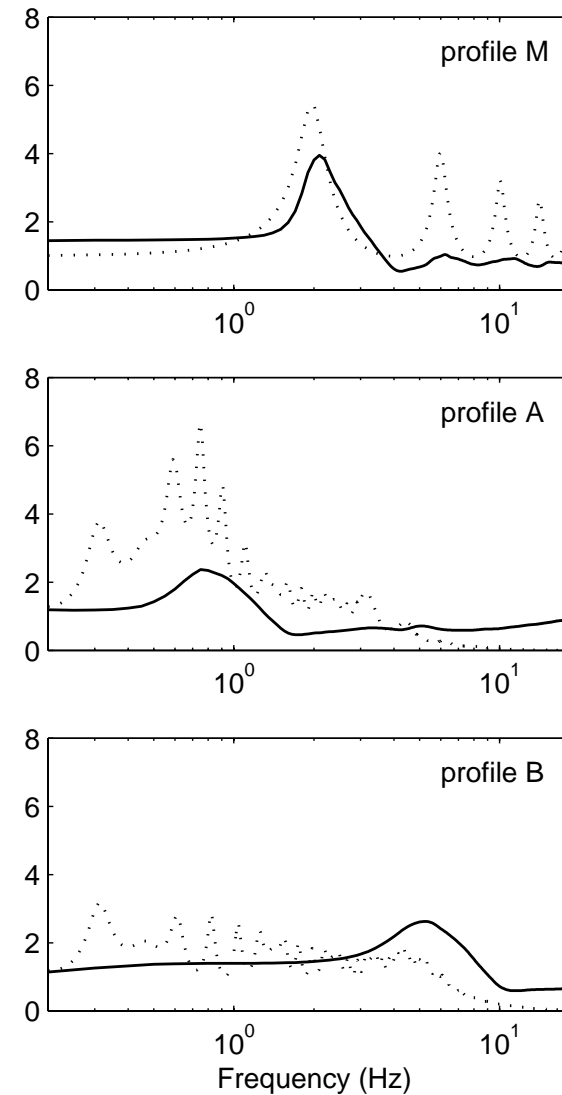




Il rapporto fra le ampiezze spettrali medie del rumore ambientale misurato nelle componenti orizzontali (H) e verticali (V) del moto è potenzialmente in grado di fornire indicazioni sulle **caratteristiche dinamiche del sottosuolo (anche se non corrisponde alla curva di risposta)**

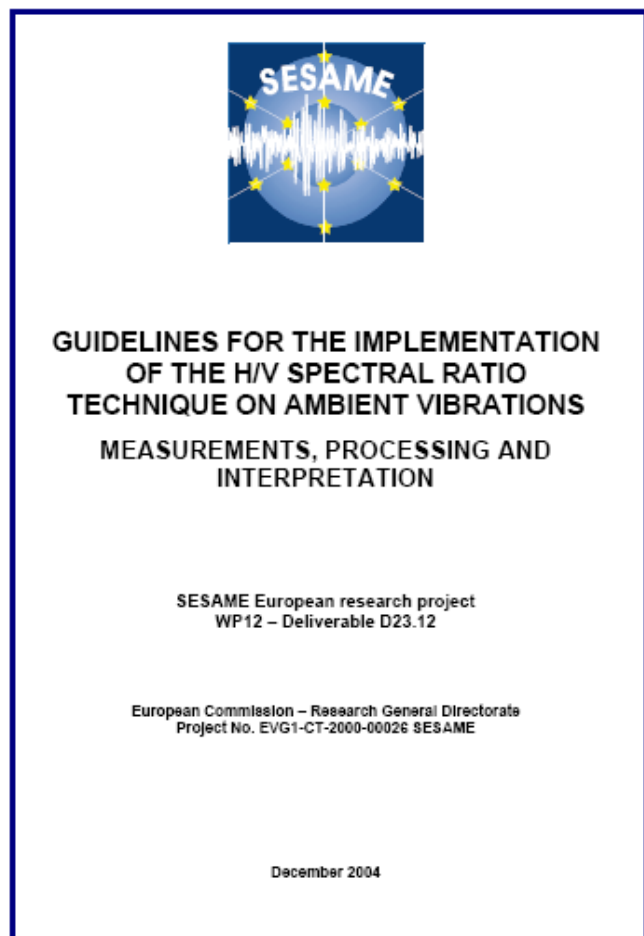
$$HVSR(\omega) = \sqrt{\frac{[H_i^2(\omega)]}{[V_i^2(\omega)]}}$$

L'andamento di questi rapporti spettrali è detta funzione **HVSR** (Horizontal to Vertical Spectral Ratios) ed è alla base del cosiddetto “metodo di Nakamura”





Data la possibile importanza di questo metodo, esso è stato oggetto di numerose ricerche e di almeno due progetti internazionali in ambito CEE e NATO

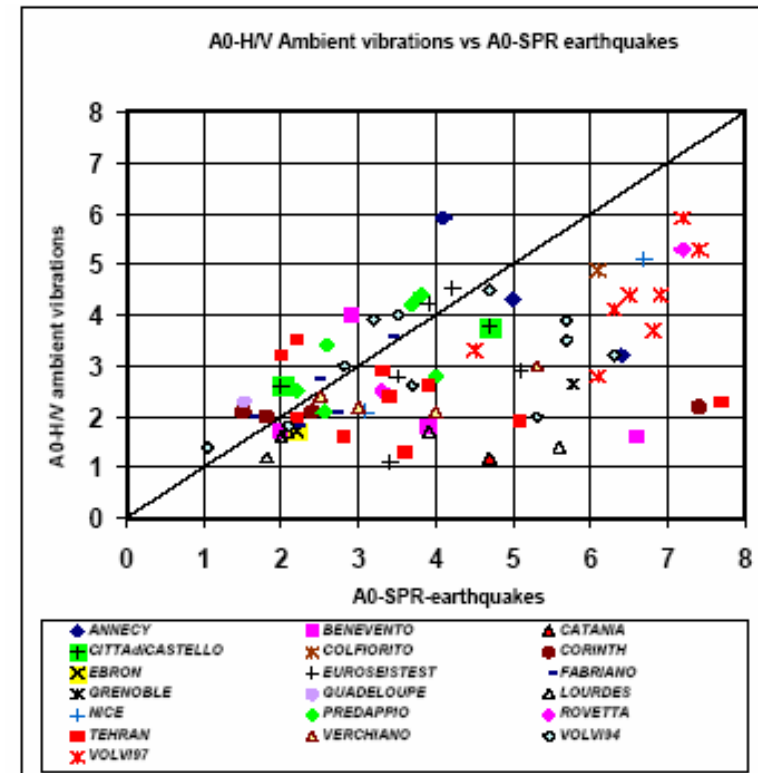
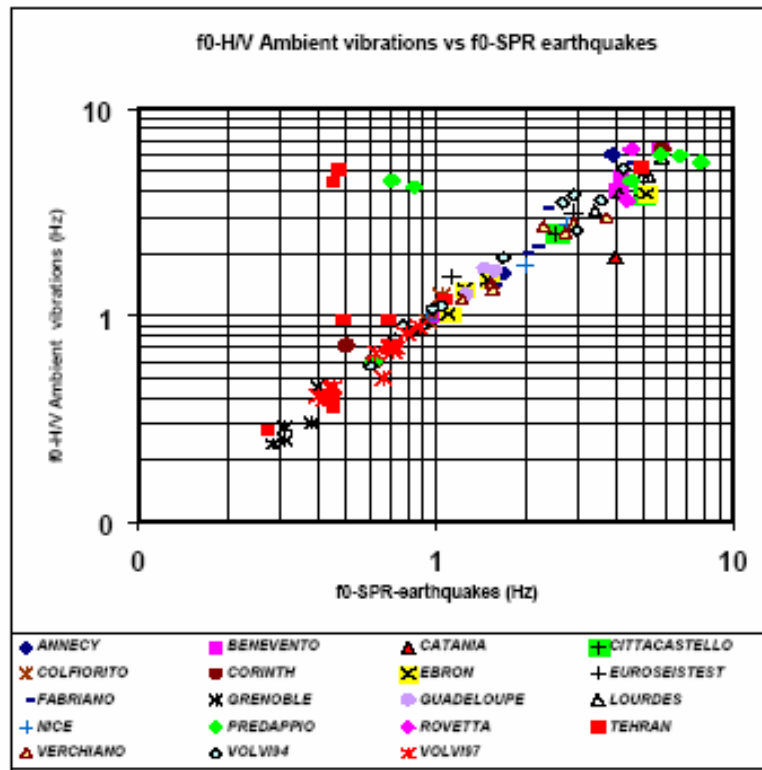


Questi hanno avuto come obiettivi la valutazione delle caratteristiche del metodo e la messa a punto di protocolli di misura e interpretazione



<http://nato.gfz.hr/>

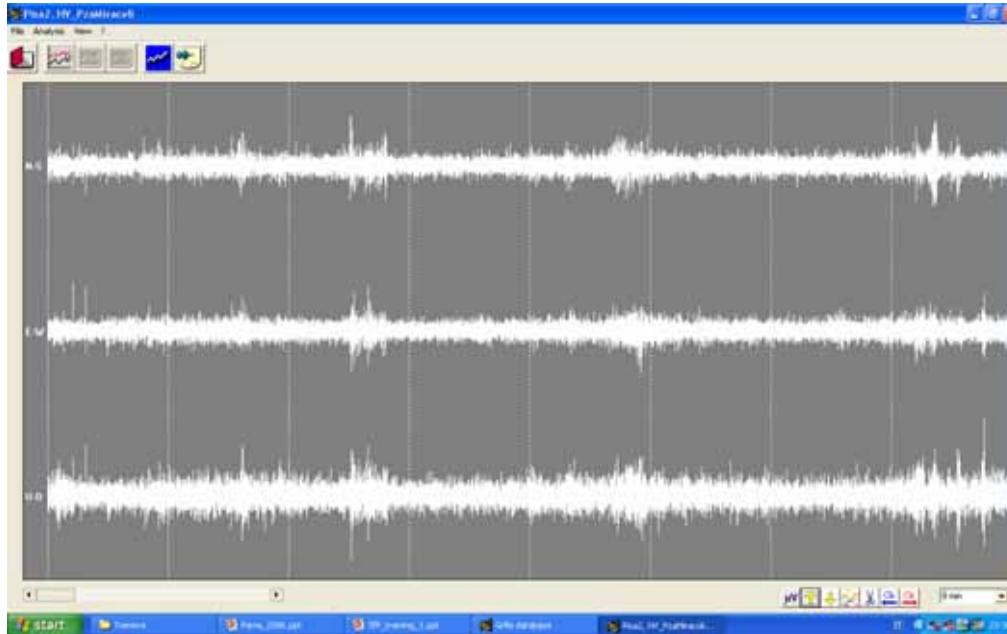
http://sesame-fp5.obs.ujf-grenoble.fr/SES_Reports.htm#Guidelines



Per esempio, è stato possibile appurare che il massimo della funzione HVSR permette in generale di identificare correttamente la presenza di fenomeni di risonanza e la frequenza cui il fenomeno avviene. Tuttavia non sembra in grado di definire l'entità dell'amplificazione indotta sul moto sismico



In generale, la HVSR consiste nella registrazione delle vibrazioni ambientali sulle tre direzioni dello spazio ad una singola stazione di misura



Esistono tre tipi di problema:

- 1. Come seguire correttamente la misura**
- 2. Come valutarne la qualità**
- 3. Come interpretare i risultati**



1. Come seguire correttamente la misura

L'esecuzione della misura presenta due ordini di problemi

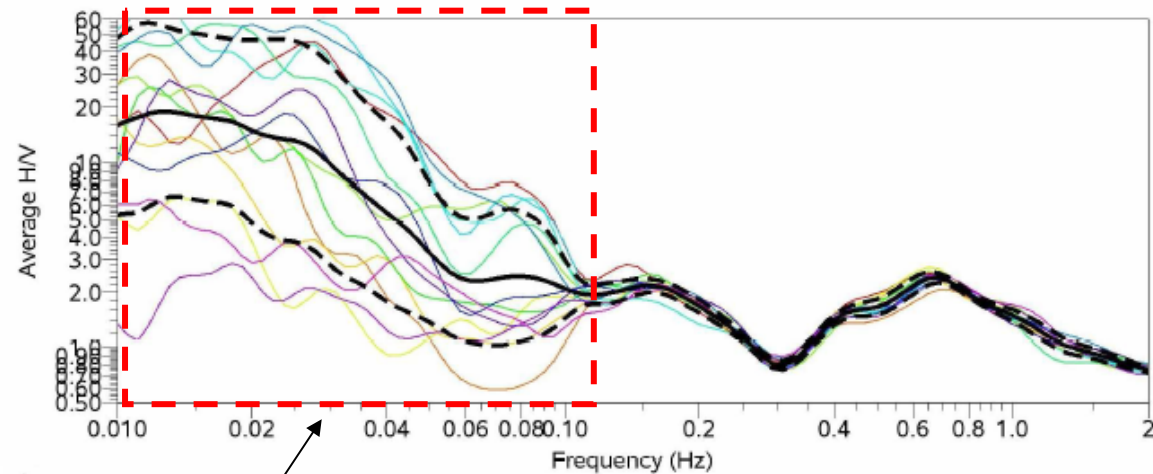
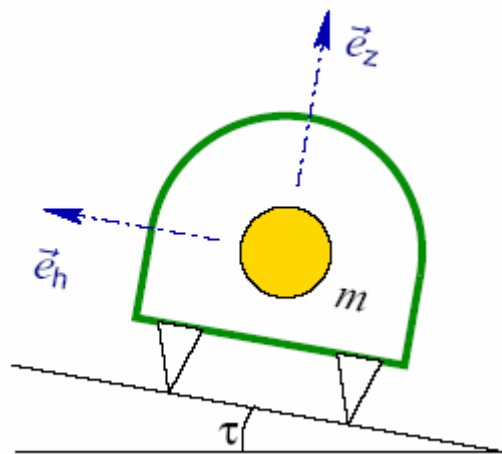
Il primo è legato ai ridotti valori di ampiezza del segnale

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 indicando 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 tilt”

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



Type of parameter	Main recommendations	
	Minimum expected f_0 [Hz]	Recommended minimum recording duration [min]
Recording duration	0.2	30'
	0.5	20'
	1	10'
	2	5'
	5	3'
	10	2'
Measurement spacing	<p>→ <u>Microzonation</u>: start with a large spacing (for example a 500 m grid) and, in case of lateral variation of the results, densify the grid point spacing, down to 250 m, for example.</p> <p>→ <u>Single site response</u>: never use a single measurement point to derive an f_0 value, make at least three measurement points.</p>	
Recording parameters	<p>→ level the sensor as recommended by the manufacturer.</p> <p>→ fix the gain level at the maximum possible without signal saturation.</p>	
In situ soil-sensor coupling	<p>→ set the sensor down directly on the ground, whenever possible.</p> <p>→ avoid setting the sensor on "soft grounds" (mud, ploughed soil, tall grass, etc.), or soil saturated after rain.</p>	
Artificial soil-sensor coupling	<p>→ avoid plates from "soft" materials such as foam rubber, cardboard, etc.</p> <p>→ on steep slopes that do not allow correct sensor levelling, install the sensor in a sand pile or in a container filled with sand.</p> <p>→ on snow or ice, install a metallic or wooden plate or a container filled with sand to avoid sensor tilting due to local melting.</p>	
Nearby structures	<p>→ Avoid recording near structures such as buildings, trees, etc. in case of wind blowing (faster than approx. 5 m/s). It may strongly influence H/V results by introducing some low frequencies in the curves</p> <p>→ Avoid measuring above underground structures such as car parks, pipes, sewer lids, etc.</p>	
Weather conditions	<p>→ <u>Wind</u>: Protect the sensor from the wind (faster than approx. 5 m/s). This only helps if there are no nearby structures.</p> <p>→ <u>Rain</u>: avoid measurements under heavy rain. Slight rain has no noticeable influence.</p> <p>→ <u>Temperature</u>: check sensor and recorder manufacturer's instructions.</p> <p>→ <u>Meteorological perturbations</u>: indicate on the field sheet whether the measurements are performed during a low-pressure meteorological event.</p>	
Disturbances	<p>→ <u>Monochromatic sources</u>: avoid measurements near construction machines, industrial machines, pumps, generators, etc.</p> <p>→ <u>Transients</u>: In case of transients (steps, cars,...), increase the recording duration to allow for enough windows for the analysis, after transient removal.</p>	

Protocolli sperimentali
del progetto SESAME
forniscono utili
indicazioni sulle
condizioni sperimentali
migliori

Tuttavia vanno
considerate con spirito
"laico"



Per esempio, 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 erbosa ed erba alta



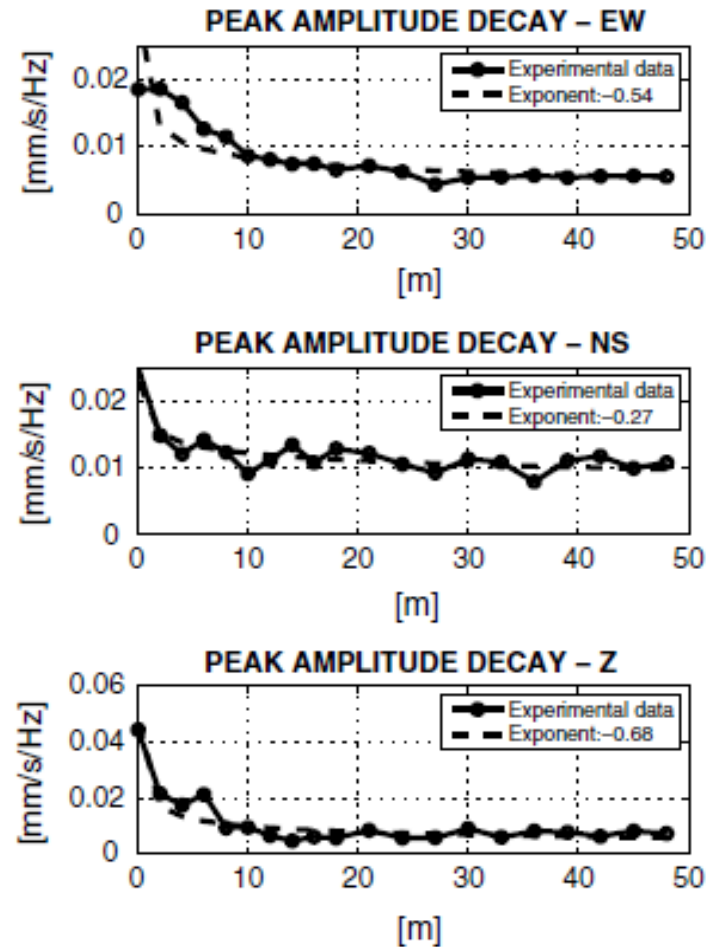
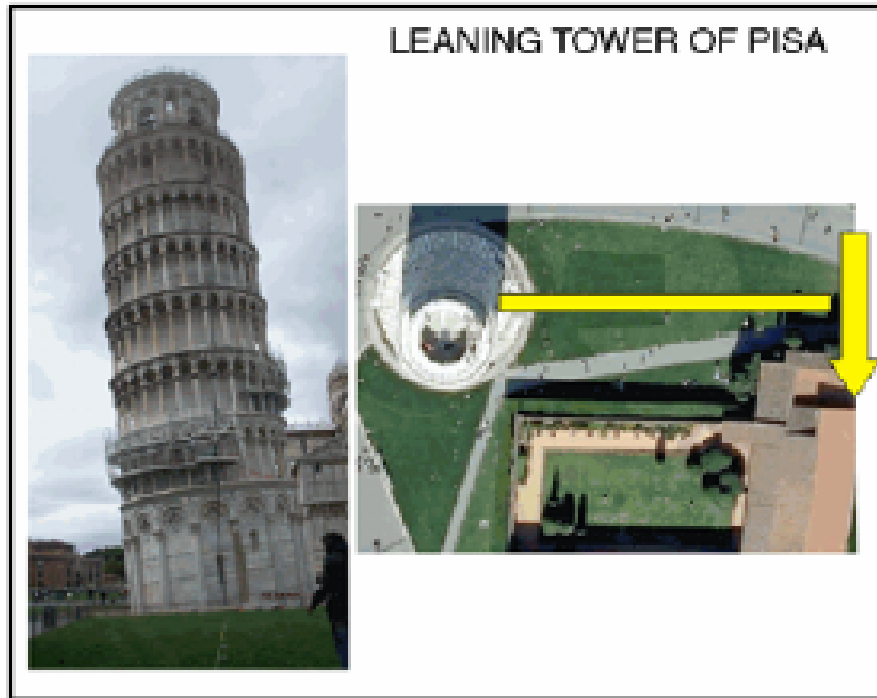
Un aspetto spesso sopravvalutato è quello del possibile disturbo arrecato dalla presenza di edifici o manufatti elevati nelle vicinanze della misura

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



Variazione dell'ampiezza spettrale delle vibrazioni ambientali relative alla frequenza di risonanza della Torre di Pisa a distanze crescenti dalla base dell'edificio



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 e procedere adottando opportune tecniche di trattamento del segnale



Il primo aspetto è quello della durata complessiva delle misura

1. Se l'intervallo di frequenze di interesse è quello più alto ($> 1\text{ Hz}$) sono le sorgenti antropiche a “guidare” il gioco. In questo caso è necessario adottare un intervallo di misura tale da garantire l'attivazione di un numero adeguato di sorgenti all'intorno del ricevitore. In aree urbane, potrebbero bastare allo scopo pochi minuti di misura. Questi però potrebbero non essere sufficienti in aree meno urbanizzate dove il rumore è più scarso. **In generale, si consigliano misura di almeno 20 minuti**
2. Se l'intervallo di frequenze è quello più basso ($< 0.5\text{ Hz}$), allora può essere utile prolungare l'intervallo di misura (30 min - 1 ora) tenendo presente che, in generale, il segnale può essere molto debole (si tratta di sorgenti remote di grandi dimensioni). In presenza di forti perturbazioni (non necessariamente nella zona di misura) può invece essere sufficiente la durata standard di 20 minuti
3. La frequenza di campionamento deve invece essere adeguata all'intervallo di frequenze di interesse (frequenza di Nyquist): non deve essere inferiore a 50 Hz, se si vuole stimare lo spettro sino ad almeno 20 Hz.



Per quanto riguarda l'analisi spettrale si utilizzano le tecniche standard per la definizione dello spettro (detrend, padding e tapering) oltre che procedure specifiche per la determinazione delle caratteristiche spettrali medie (metodi di Daniell e Bartlett)

In particolare, la procedura si divide in due fasi

1. Determinazione degli spettri e dei rapporti spettrali su sotto-finestre del segnale
2. Determinazione dello spettro medio del rapporto spettrale medio



Fase 1

Ciascuna traccia viene suddivisa in finestre di uguale dimensione e per ciascuna viene calcolato lo spettro con la seguente procedura

1. Detrend (eliminazione componenti lungo periodo)
2. Tapering (la serie viene “rastremata” ai lati per ridurre il fenomeno del leakage)
3. Padding (aggiunta di zeri alle estremità della serie per arrivare ad un numero di punti pari ad una potenza di 2 ed applicare la FFT (trasformata di Fourier rapida)
4. Esecuzione della FFT e calcolo della trasformata di Fourier
5. Lisciamento dello spettro di ampiezza per ridurre la variabilità stocastica nella stima delle ordinate spettrali



NS

EW

UD

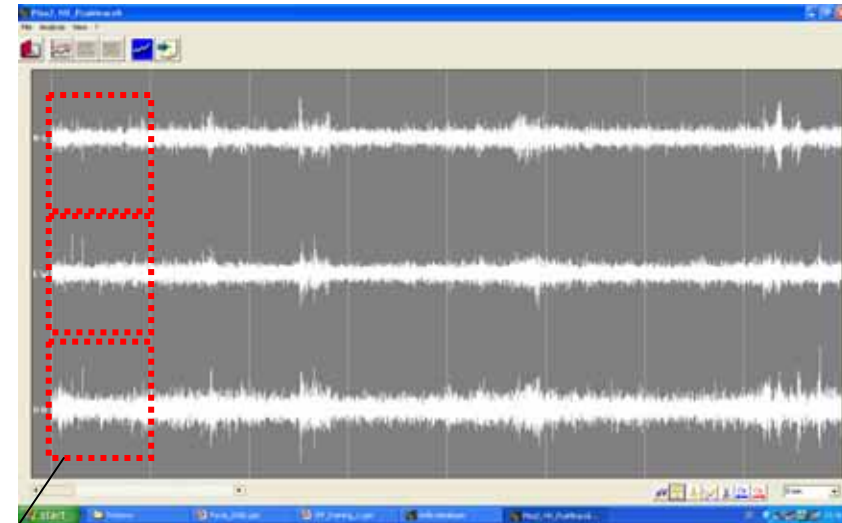


$$H_{NS}^2(\omega)$$

$$H_{EW}^2(\omega)$$

$$H^2(\omega) = \sqrt{H_{NS}^4(\omega)H_{EW}^4(\omega)}$$

$$HVSR(\omega) = \sqrt{\frac{H^2(\omega)}{V^2(\omega)}}$$



NS

EW

UD

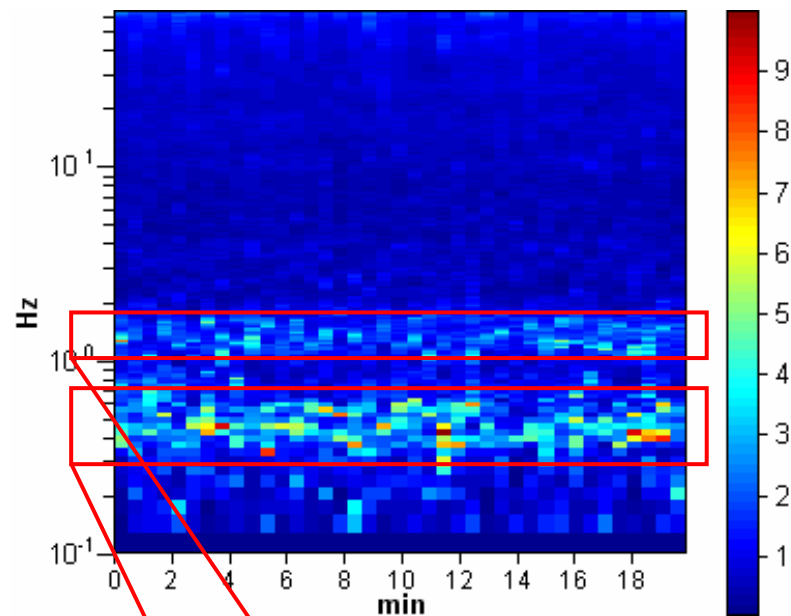
$$H(\omega) = \sqrt{H_{NS}^2(\omega) + H_{EW}^2(\omega)}$$

Formulazione alternativa

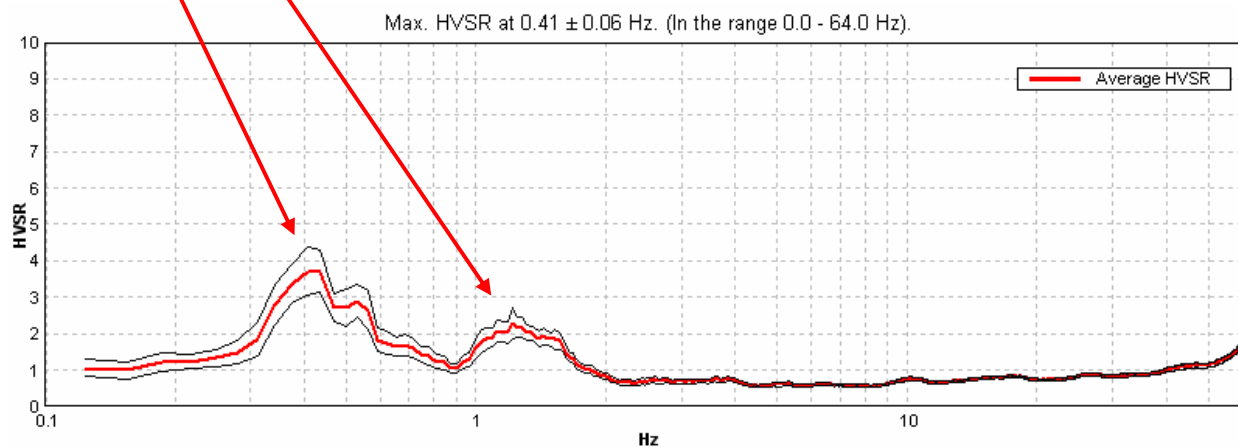
Questa operazione viene eseguita per ogni finestra temporale



Fase 2



Viene valutata la persistenza delle funzioni HVSR nelle diverse finestre temporali



Vengono quindi calcolati i rapporti spettrali medi ed il relativo intervallo di confidenza

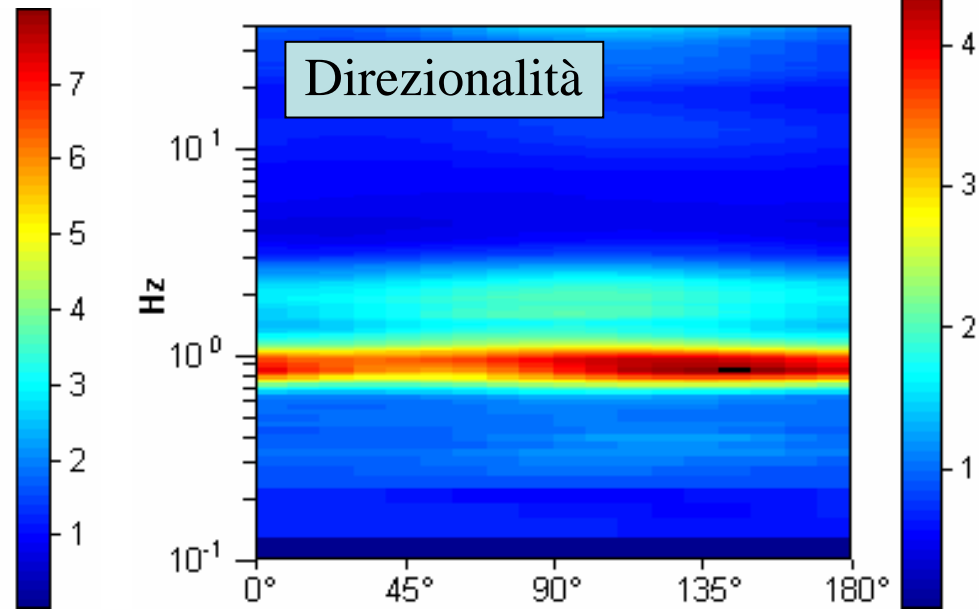
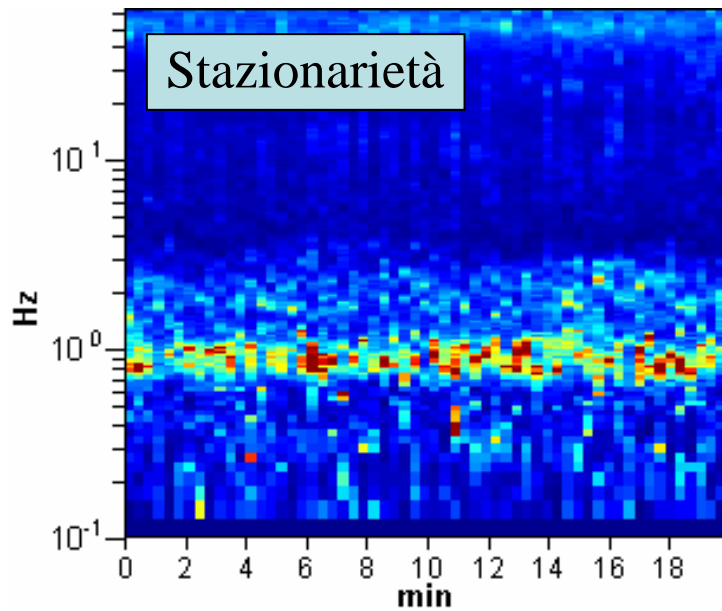
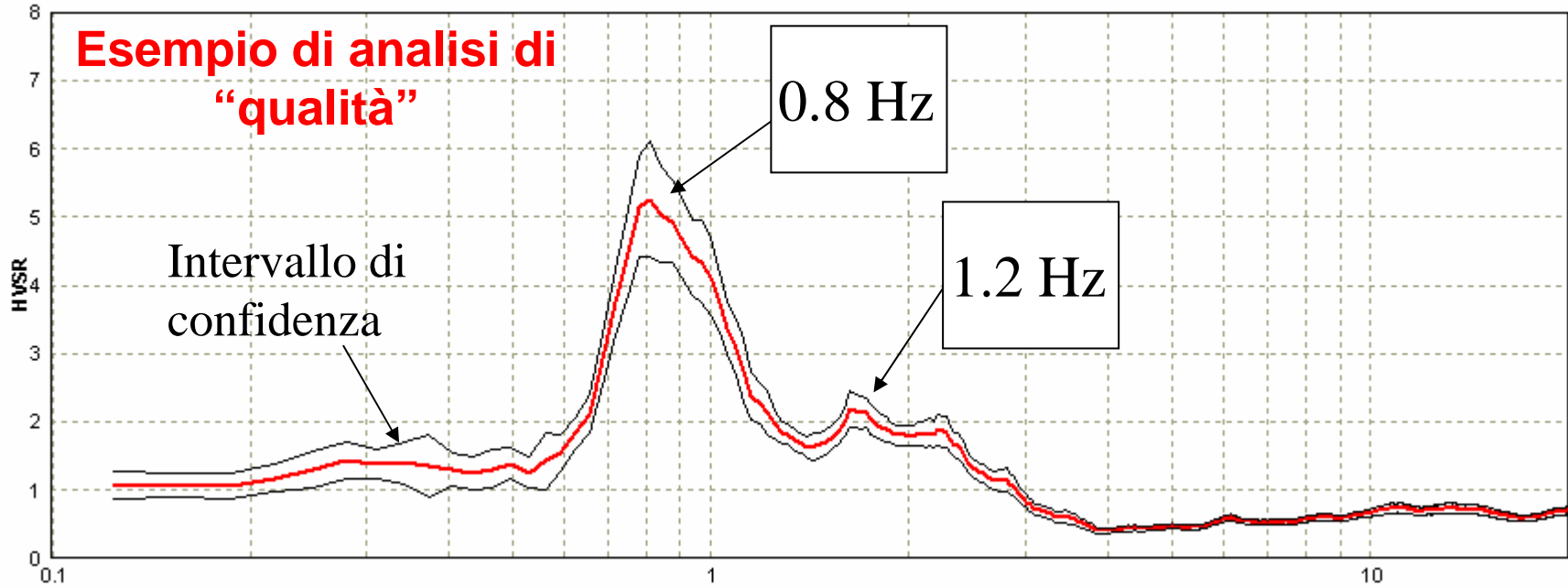


2. Come valutarne la qualità

Perché la misura ottenuta possa essere considerata una stima delle proprietà medie del campo di rumore sismico

- 1. I rapporti H/V ottenuti sperimentalmente siano “stabili” ovvero frutto di un campionamento statistico adeguato (almeno 20 minuti di misura)*
- 2. Gli effetti di sorgente siano stati effettivamente mediati ovvero non ci siano sorgenti “dominanti”*
- 3. La misura non contenga errori sistematici (p.es. dovuti al cattivo accoppiamento dello strumento con il terreno)*

Per controllare che siano rispettate queste condizioni occorre analizzare la stazionarietà nel tempo dei rapporti H/V misurati (criteri statistici) e la presenza di eventuali direzionalità nel 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

Criteria for a reliable H/V curve

i) $f_0 > 10 / l_w$
and

ii) $n_c(f_0) > 200$
and

iii) $\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$
or $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$

**Criteria for a clear H/V peak
(at least 5 out of 6 criteria fulfilled)**

i) $\exists f \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0/2$

ii) $\exists f^* \in [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^*) < A_0/2$

iii) $A_0 > 2$

iv) $f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$

v) $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$

vi) $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$

- l_w = window length
- n_w = number of windows selected for the average H/V curve
- $n_c = l_w \cdot n_w \cdot f_0$ = number of significant cycles
- f = current frequency
- f_{sensor} = sensor cut-off frequency
- f_0 = H/V peak frequency
- σ_f = standard deviation of H/V peak frequency ($f_0 \pm \sigma_f$)
- $\varepsilon(f_0)$ = threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
- A_0 = H/V peak amplitude at frequency f_0
- $A_{H/V}(f)$ = H/V curve amplitude at frequency f
- f = frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f) < A_0/2$
- f^* = frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^*) < A_0/2$
- $\sigma_A(f)$ = "standard deviation" of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
- $\sigma_{\log H/V}(f)$ = standard deviation of the $\log A_{H/V}(f)$ curve, $\sigma_{\log H/V}(f)$ is an absolute value which should be added to or subtracted from the mean $\log A_{H/V}(f)$ curve
- $\theta(f_0)$ = threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$
- $V_{s,av}$ = average S-wave velocity of the total deposits
- $V_{s,surf}$ = S-wave velocity of the surface layer
- h = depth to bedrock
- h_{min} = lower-bound estimate of h

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

In realtà esistono anche altri problemi "invisibili" statisticamente

Threshold Values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$					
Frequency range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.20 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20



In generale, infatti, 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



La lunghezza d'onda (λ) è infatti legata alla frequenza di vibrazione (ν) ed alla velocità di propagazione (V) dalla relazione:

$$V = \lambda \cdot \nu$$

Esempio:

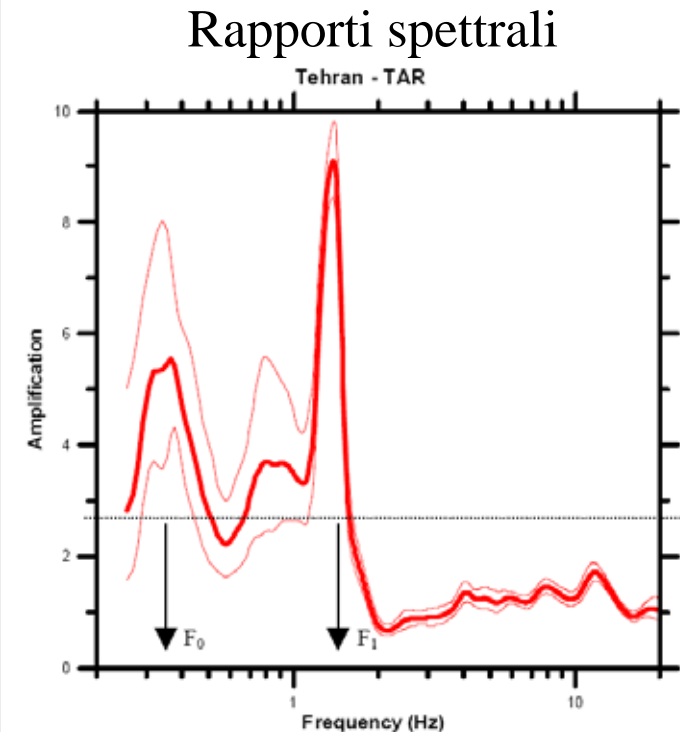
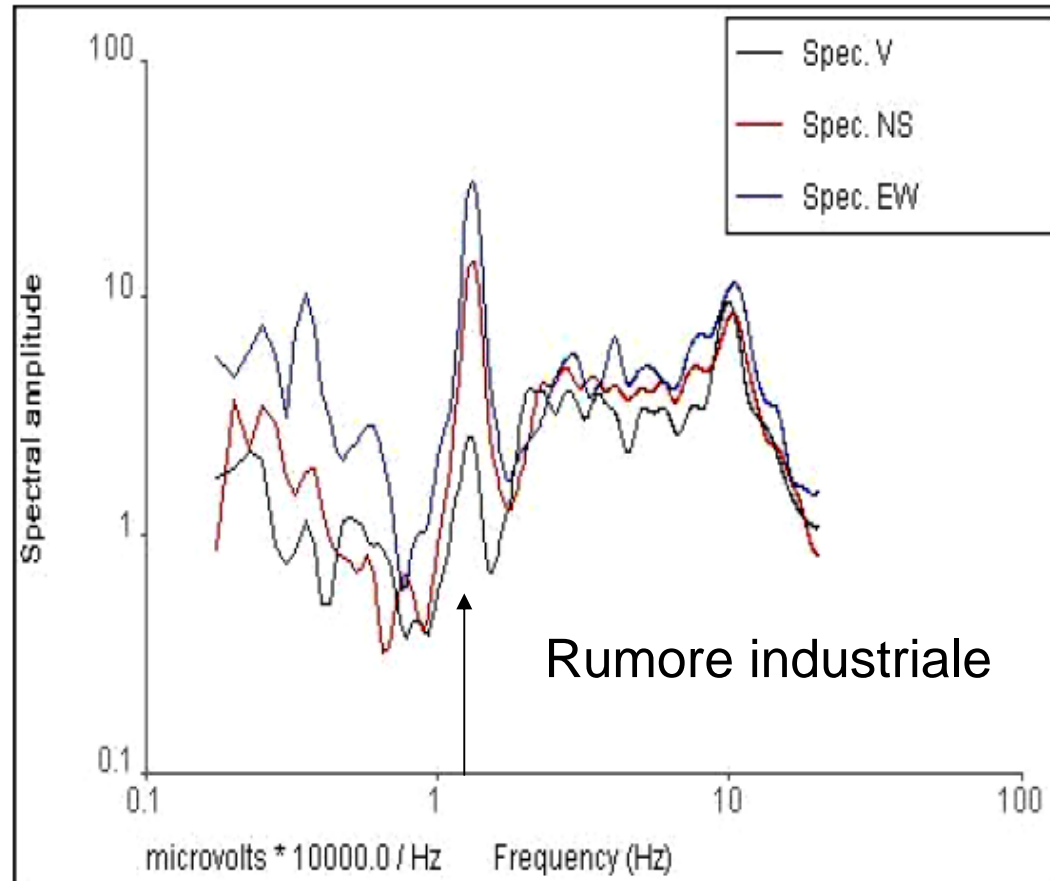
- Assumo una velocità media delle onde S (quelle con maggiori effetti distruttivi) dell'ordine di 300 m/sec nel primo sottosuolo
- In un sito ottengo un picco della funzione HVSR a 3 Hz
- A questo picco corrispondono lunghezze d'onda pari a

$$\lambda = V / \nu \rightarrow \lambda \approx 300 / 3 \approx 100 \text{ m}$$

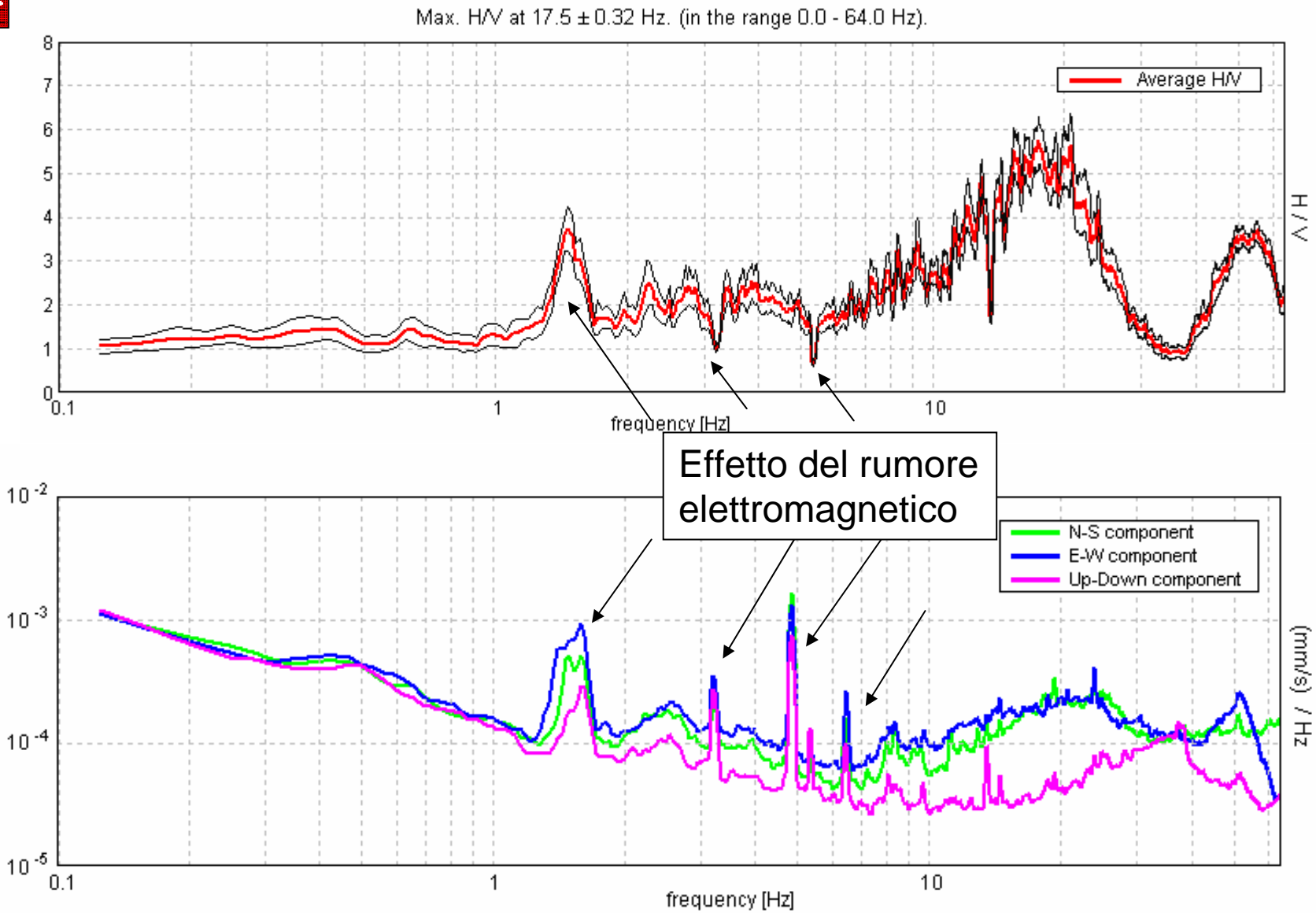
Mi aspetto che altre misure condotte entro un centinaio di metri debbano fornire risultati analoghi



Spettri relativi alle tre componenti



Un problema specifico è posto dalla presenza di rumore elettromagnetico origine industriale che si manifesta con picchi intensi su tutte le componenti spettrali



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



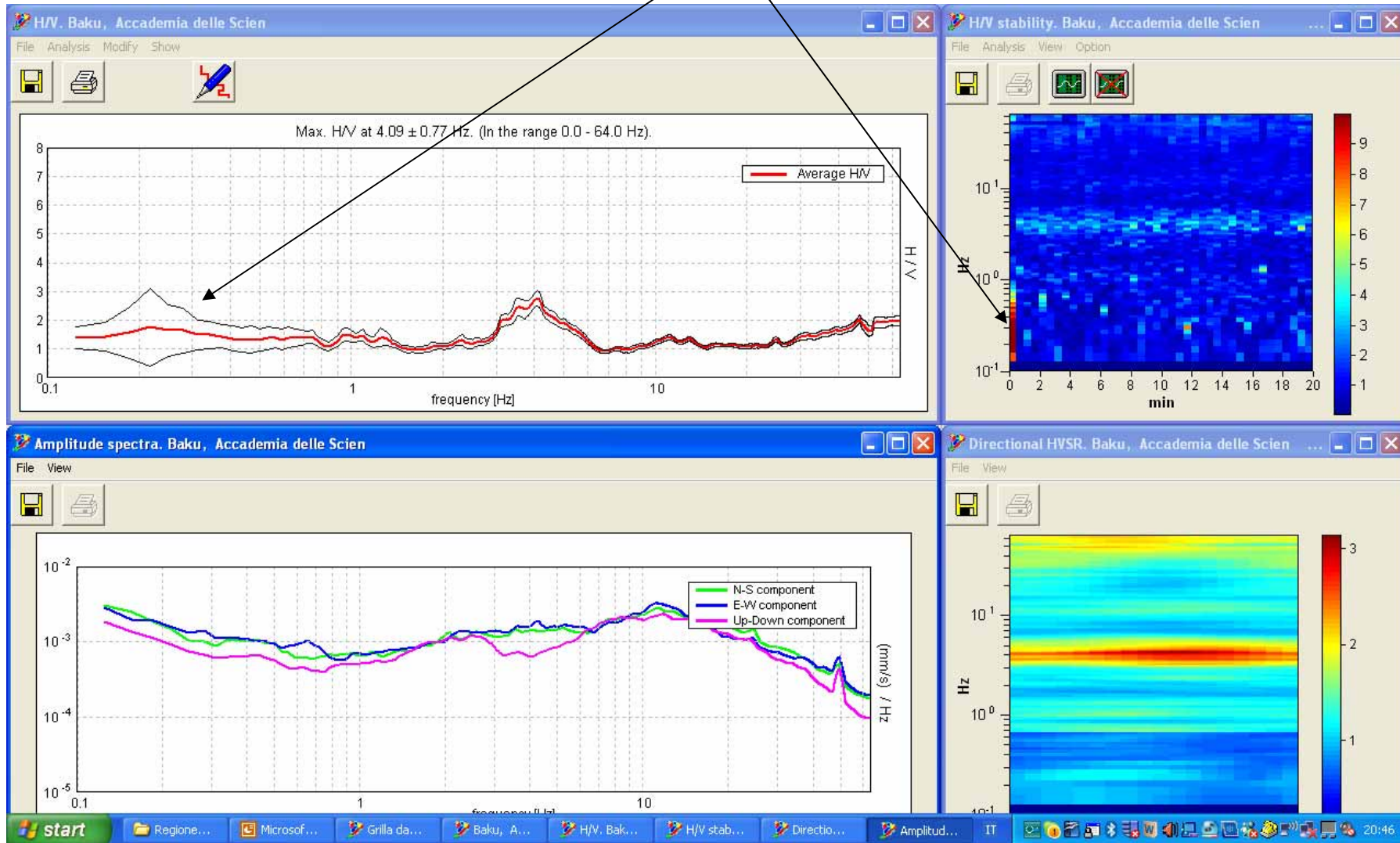
Un altro problema che può sorgere nell'interpretazione delle curva HVSR è la presenza di andamenti “anomali” indotti da forti fenomeni transienti avvenuti durante la misura (per esempio un urto sullo strumento o una forte sollecitazione nelle vicinanze di questo)

Anche se questo transiente è breve rispetto all'intera durata della misura, se la sua ampiezza è grande può perturbare la curva media introducendo marcati effetti di sorgente

In questi casi, si dovrebbe rimuovere il segmento “contaminato” prima di procedere all'analisi

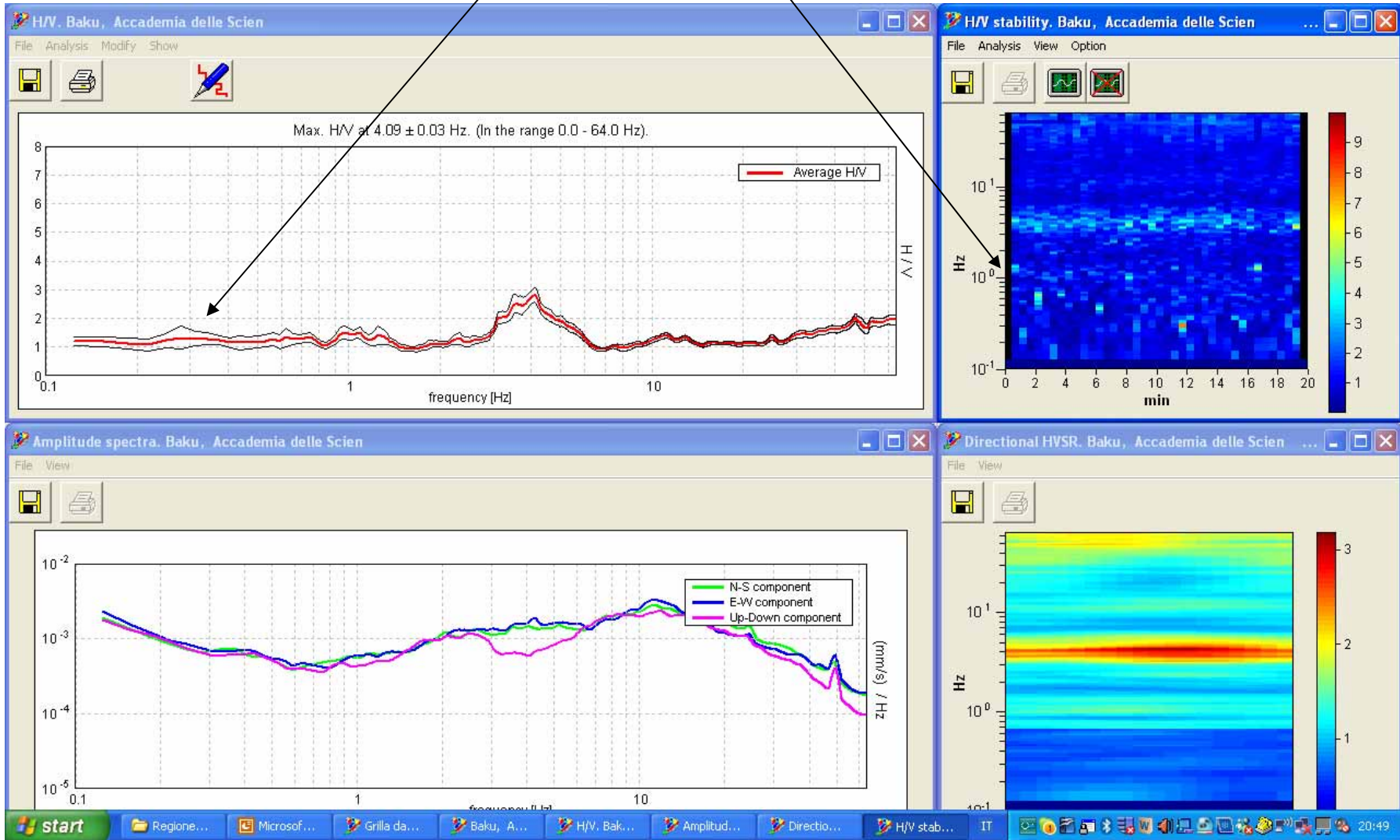


Forte transiente





Dopo la rimozione





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 misura sulla base di un criterio generale di qualità



Proposta per una classificazione delle misure HVSR

Obiettivo della classificazione è fornire una indicazione immediata circa la qualità della singola misura HVSR, con lo scopo di aiutare gli operatori nella fase interpretativa e nel confronto con altri osservabili. I criteri proposti sono più rigidi di quelli di SESAME in quanto includono altri elementi di giudizio:

1. Durata complessiva della registrazione
2. Stazionarietà temporale dei rapporti spettrali
3. Isotropia del segnale in termini dei rapporti spettrali
4. Assenza di rumore elettromagnetico
5. Andamento complessivo della curva HVSR

Si confrontano misure ottenute con spettri lisciati con una finestra triangolare al 5% della frequenza centrale. Valori maggiori dell'ampiezza della finestra di lisciamento possono essere utilizzati per migliorare la leggibilità della curva in fase di interpretazione.



Vengono proposte tre classi di qualità

Classe A: HVSR affidabile e interpretabile: può essere utilizzata anche da sola

1. la forma dell'HVSR 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 HVSR chiara e attendibile (*Robustezza statistica*)
6. la misura è durata almeno 20 minuti (*Durata*)

Classe B: curva HVSR 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

Classe C: curva HVSR scadente e di difficile interpretazione: non va utilizzata

1. misura di tipo B nella quale la curva HVSR mostra una deriva decrescente dalle basse alle alte frequenze, indice di un movimento dello strumento durante la misura
2. misura di tipo B nella quale si evidenzia la presenza di rumore elettromagnetico in corrispondenza di diverse frequenze nell'intervallo di interesse

I criteri delineati sopra non riguardano l'interpretazione in chiave Geologico-Stratigrafica della curva, per la quale sono richiesti ulteriori criteri (p.es. criteri SESAME per la "chiarezza" del picco). Aggiungerei quindi due sottoclassi a quelle precedenti:

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*



Google Earth

File Modifica Visualizza Strumenti Aggiungi Guida

Cerca

In volo Trova attività Itinerari

In volo ad es. Napoli

Visualizza: Principali

- Database principale
- Web geografico
- Strade
- Edifici 3D
- Confini ed etichette
- Traffico
- Galleria
- Consapevolezza globale

© 2009 Europa Technologies
Image © 2009 DigitalGlobe
© 2009 Tele Atlas

Puntatore 42°15'13.04" N 13°34'27.73" E Streaming 100% Alt 295 m

start Microsoft PowerPoint ... Google Earth IT 18:46

La simbologia adottata corrisponde ai criteri di classificazione adottati (Classi A, B e C e tipo 1 o 2)