

CARTA DELLA FATTIBILITA' RELATIVAMENTE ALL'AREA IN OGGETTO - scala 1:2.000

Fg = 2 - fattibilità in relazione agli aspetti geomorfologici

Fi = 2 - fattibilità in relazione agli aspetti idraulici

Fs = 3 - fattibilità in relazione agli aspetti sismici

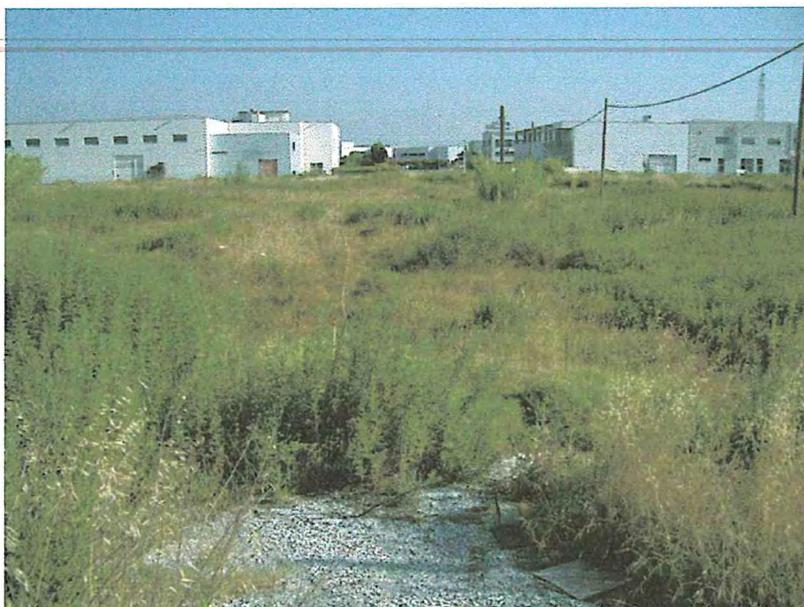
- | | |
|----|--|
| F4 | Fattibilità limitata
si riferisce alle previsioni urbanistiche ed infrastrutturali la cui attuazione è subordinata alla realizzazione di interventi di messa in sicurezza che vanno individuati e definiti in sede di redazione del medesimo regolamento urbanistico, sulla base di studi e verifiche atti a determinare gli elementi di base utili per la predisposizione della relativa progettazione. |
| F3 | Fattibilità condizionata
si riferisce alle previsioni urbanistiche ed infrastrutturali per le quali, ai fini della individuazione delle condizioni di compatibilità degli interventi con le situazioni di pericolosità riscontrate, è necessario definire la tipologia degli approfondimenti di indagine da svolgersi in sede di predisposizione dei piani complessivi di intervento o dei piani attuativi o, in loro assenza, in sede di predisposizione dei progetti edilizi. |
| F2 | Fattibilità con normali vincoli
si riferisce alle previsioni urbanistiche ed infrastrutturali per le quali è necessario indicare la tipologia di indagini e/o specifiche prescrizioni ai fini della valida formazione del titolo abilitativo all'attività edilizia. |
| F1 | Fattibilità senza particolari limitazioni
si riferisce alle previsioni urbanistiche ed infrastrutturali per le quali non sono necessarie prescrizioni specifiche ai fini della valida formazione del titolo abilitativo all'attività edilizia. |



Andrea Casella Geologo

studio tecnico - Piazza Berlinguer 38, 56010 Metato (San Giuliano Terme - PI)

RISULTATI DI INDAGINI GEOSISMICHE
EFFETTUATE IN EMPOLI, LOC. TERRAFINO,
MEDIANTE DUE LINEE MASW
E UNA RILEVAZIONE DEL MICROTREMORE SISMICO AMBIENTALE



LUGLIO 2012

RISULTATI DI INDAGINI GEOSISMICHE EFFETTUATE IN EMPOLI, LOC. TERRAFINO, MEDIANTE DUE LINEE MASW E UNA RILEVAZIONE DEL MICROTREMORE SISMICO AMBIENTALE.

PREMESSE

La presente relazione sintetizza e illustra i risultati di un'indagine geo-sismica effettuata in un'area posta nella zona industriale di Terrafino (Empoli – FI), e precisamente nella zona corrispondente al PUA 12-7 Via della Bastia, nell'ambito di approfondimenti effettuati in fase di valutazione di fattibilità geologica di una variante al R.U. del Comune di Empoli.

L'indagine si è articolata sull'effettuazione di una linea MASW e su un'indagine in sismica passiva (*microtremore sismico ambientale*) in 2 postazioni tra loro vicine. Si sono inoltre considerati i risultati di un'indagine MASW disponibile nelle immediate vicinanze.

E' stato così possibile ottenere i dati necessari a una prima definizione delle caratteristiche geo-sismiche della zona in prospettiva di microzonazione sismica di primo livello ai sensi del DPRG 25.10.2011 n. 53/R.

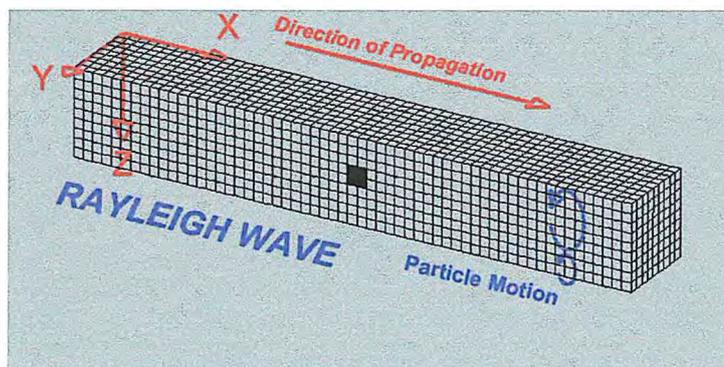
Le risultanze delle indagini in oggetto sono riportate nei grafici, schede e report allegati.

INDAGINE MASW

GENERALITÀ SUL METODO MASW

Le onde sismiche che si propagano in un mezzo si dividono, principalmente, in onde *di corpo* e onde *di superficie*. Fra queste ultime si hanno le onde di *Rayleigh*, le onde di *Love* e le onde di *Lamb*.

Le onde di Rayleigh, in particolare, sono originate dall'interazione fra le onde di pressione e le onde di taglio verticali quando esista una superficie libera in un mezzo omogeneo e isotropo.

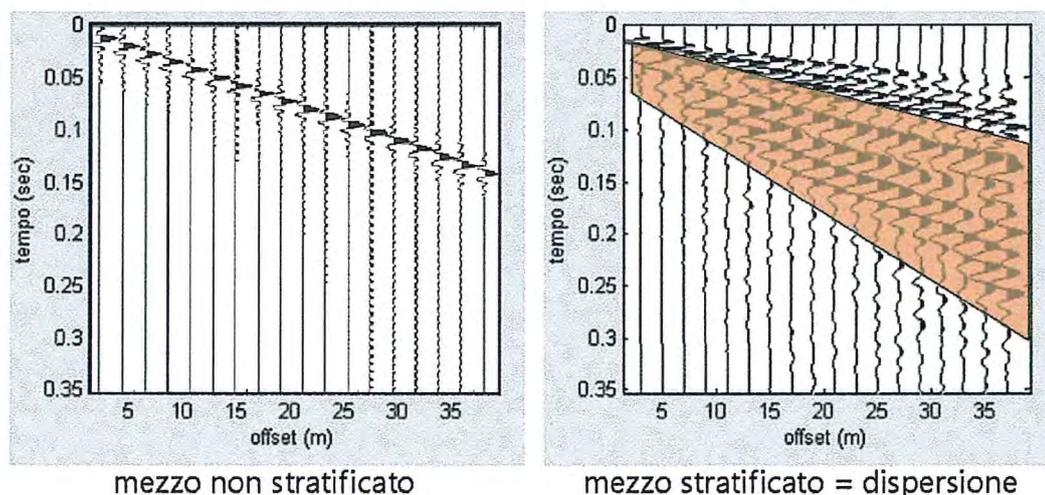


Il moto delle particelle è di tipo ellittico retrogrado, il quale si inverte a una profondità di $\lambda/2\pi$. L'ampiezza dello spostamento decresce secondo una legge esponenziale.

L'energia convertita in onde di Rayleigh è, in percentuale, molto maggiore rispetto a quella coinvolta nella generazione e propagazione delle onde P ed S. Inoltre l'ampiezza delle onde di superficie varia con la radice quadrata di r , e non con r come avviene per le onde di corpo. Le onde di Rayleigh presentano una velocità del 90% circa rispetto a quella delle onde di taglio.

In presenza di un semispazio omogeneo, la velocità di tali onde non varia in funzione della frequenza,

non si ha cioè *dispersione*, la deformazione di un treno di onde dovuta alla variazione della velocità di propagazione in funzione della frequenza. Questa deformazione si manifesta invece quando il terreno presenti una stratificazione; la velocità di propagazione per una certa lunghezza d'onda viene influenzata dalle proprietà che il mezzo possiede fino a una profondità dell'ordine di $\lambda/2$ circa.



Le componenti a bassa frequenza (lunghezze d'onda maggiori), sono caratterizzate da forte energia e grande capacità di penetrazione, mentre le componenti ad alta frequenza (lunghezze d'onda corte), hanno meno energia e una penetrazione superficiale. Quindi una metodologia che utilizzi le onde superficiali è in grado di rilevare variazioni delle proprietà elastiche dei materiali prossimi alla superficie al variare della profondità.

Nel caso che l'obiettivo sia di verificare le caratteristiche delle velocità delle onde S nel terreno, questo tipo di indagine è molto utile, in quanto la V_s è il fattore che governa le caratteristiche della dispersione. Inoltre il metodo non è limitato dalla presenza di inversioni di velocità, e presenta una buona risoluzione.

L'indagine secondo la tecnica MASW (*Multi-channel Analysis of Surface Waves*) prevede l'energizzazione mediante sorgente attiva, con registrazione simultanea su 12 o più canali. Vengono utilizzati geofoni a componente verticale sensibili alle basse frequenze (un valore tipico sono 4,5 Hz).

La distanza dalla sorgente di energizzazione e il primo ricevitore condiziona λ_{max} , e quindi la profondità di indagine; anche la lunghezza dello stendimento geofonico è in relazione alla profondità di indagine, mentre la distanza intergeofonica condiziona lo spessore dello strato più sottile rilevabile.

È importante osservare che nel sismogramma possono comparire diversi tipi di onde: onde di corpo, onde superficiali non piane, onde riverberate dalle disomogeneità superficiali, oltre al rumore ambientale e quello imputabile alle attività umane. Questo comporta una difficoltà aggiuntiva nella "lettura" dello spettro di velocità e quindi nella successiva individuazione della curva di dispersione.

Le onde di corpo sono di solito riconoscibili; le onde superficiali riverberate (back scattered) possono risultare prevalenti in un sismogramma quando siano presenti discontinuità orizzontali. Le ampiezze relative di ciascuna tipologia di rumore generalmente cambiano con la frequenza e la distanza dalla sorgente. Ciascun rumore, inoltre, ha diverse velocità e proprietà di attenuazione che possono essere identificate sulla registrazione multicanale grazie all'utilizzo di modelli di coerenza e in base ai tempi di arrivo e all'ampiezza di ciascuno.

In sintesi l'indagine comporta:

- l'acquisizione delle onde superficiali (*ground roll*);
- la determinazione di uno spettro di velocità, con velocità di fase in funzione della frequenza;
- l'identificazione della curva di dispersione, cioè la determinazione dei punti che, sullo spettro di velocità, appartengono a un certo modo di propagazione dell'onda superficiale di Rayleigh;

- l'inversione della curva di dispersione, al fine di ottenere il profilo verticale delle Vs.

L'inversione della curva di dispersione viene realizzata iterativamente, utilizzando come riferimento la curva di dispersione precedentemente ottenuta. Per ottenere il profilo verticale Vs dalla curva di dispersione è necessaria l'assunzione di valori approssimati per il rapporto di Poisson e per la densità.

La procedura di inversione utilizzata dal software *winMASW* è legata agli "algoritmi genetici", il quale approccio consente di ottenere risultati più affidabili rispetto ai metodi di inversione basati sulla matrice Jacobiana. E' estremamente utile, per una interpretazione affidabile, poter disporre di dati di riferimento, sia per fornire uno spazio di ricerca iniziale al processo di inversione, sia per effettuare una "modellazione diretta" di ausilio a un corretto "picking" della curva di dispersione.

ATTREZZATURA E METODOLOGIE IMPIEGATE

Per l'indagine in oggetto si è impiegata un'attrezzatura *AMBROGEO "ECHO 12-24/2002 Sismic Unit"*, avente le seguenti caratteristiche principali:

. numero di canali: 24	. sampler interval: 0,296 msec
. A/D conversion: 16 bit	. input impedance: 1KOhm
. Gain: 10 dB – 100 dB (step 1 dB)	. distorsion: 0,01%
. sampling: 130 microsec	. filter low pass: 50/950 Hz, step 1 Hz
. digital filter low pass: 1000-50	. digital filter high pass: 0-250
. frequency response: 7-950 Hz, filter at 950 Hz	. dynamic range: 93 dB

Il software di acquisizione dati è "ECHO 12-24" vers. 7.00. L'attrezzatura è completata da 2 cavi sismici a 12 takes out spaziatati a 3 m, con connettori cannon, montati su rullo, geofoni verticali da 4,5 Hz, mazza di battuta da 8 Kg con interruttore starter, geofono starter, cavo trigger da 200 m montato su rullo.

Lo stendimento impiegato per il profilo *MASW* in oggetto comprende 24 geofoni con spaziatura di 2,0 m. Sono stati effettuati diversi shots, impiegando esclusivamente la mazza di battuta, a varie distanze dalla linea geofonica, con tempo di acquisizione di 1,000 msec; l'energizzazione è stata verticale, in modo da effettuare l'analisi in onde di *Rayleigh*.

INTERPRETAZIONE DEI DATI

Per l'interpretazione dei dati è stato impiegato il software *winMASW 4.3 pro*, il quale consente la determinazione di profili della velocità delle onde di taglio Vs tramite modellazione diretta e tramite inversione delle curve di dispersione ottenute, effettuata con algoritmi "genetici". Tale programma è in grado di operare sui records in formato .SGY prodotti dalla strumentazione *Ambrogeo* e di effettuare l'analisi delle curve di dispersione in onde di *Rayleigh*.

Si è considerato lo spettro di velocità relativo allo "shot" posto a offset minimo di 7,0 m dalla linea geofonica (gli altri sono del tutto analoghi). Si è proceduto da modello diretto, considerando come base di partenza i dati geognostici disponibili per la zona; allegati alla presente relazione si hanno:

- i grafici con la rappresentazione dei file dei dati acquisiti ("common-shot gather" – segnale per i vari geofoni nel tempo di acquisizione di 1000 msec) e lo spettro di velocità di fase relativamente al dato di campagna;
- il common-shot gather dopo una prima ripulitura e lo spettro di velocità conseguente, con sovrainposte le curve di dispersione relative al modello diretto ottenuto (5 modi di

propagazione).

Il modello adottato prevede 4 strati a diversa velocità V_s , e precisamente:

shot a offset min. = 7 m	strato	1	2	3	4
	V_{Sv} da Rayleigh (m/sec)	210	170	220	280
	spessore (m)	3,0	9,0	10,0	

Con i dati ottenuti si ha per la zona di indagine, a partire da p.campagna, una $V_{S30} = 212$ m/sec . Effettuando il calcolo a partire da -2,0 m si passa a 216 m/sec .

Alla presente relazione sono allegati anche i dati relativi alla vicina MASW2, interpretata invece tramite picking e inversione. L'andamento dello spettro di velocità di fase è analogo al caso precedente, anche se è possibile osservare meglio come la parte più prominente dello spettro nella zona delle maggiori frequenze sia relativa a modi superiori di propagazione.

L'andamento delle velocità delle onde S nel sottosuolo è del tutto analogo, con V_{S30} sui 215-216 m/sec.

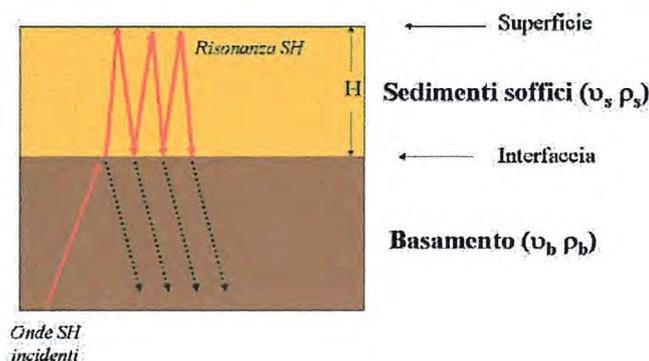
INDAGINE SISMICA PASSIVA

GENERALITÀ

La sismica passiva studia il *microtremore sismico ambientale* (rumore sismico); essa sfrutta il fatto che il "rumore", pur non recando l'informazione relativa alla sua sorgente, risulta sensibile alla locale struttura presso la stazione di misura. La strumentazione per eseguire misure di sismica passiva può operare in spazi ridotti, non necessita di energizzazioni e permette di indagare profondità molto elevate. I tempi di esecuzione sono relativamente bassi.

Il rumore sismico ambientale deriva dalla composizione di molte sorgenti che agiscono in tempi diversi e in zone diverse. nel campo del rumore sono rappresentate sia *onde di volume* (fronte d'onda sferico) sia *onde di superficie* (fronte d'onda cilindrico); ma le onde di superficie hanno carattere dominante, perché caratterizzate da minore attenuazione.

Quando fra 2 superfici esiste una variazione dell'impedenza acustica si ha il fenomeno della *risonanza*, che deriva dall' "intrappolamento" di energia sismica (essenzialmente delle fasi SH) all'interno delle coperture ovvero fra la superficie e un basamento rigido qui inteso come una formazione "caratterizzata da valori delle velocità di propagazione delle onde di taglio S significativamente maggiori di quelli relativi alle coperture localmente presenti" delle onde.



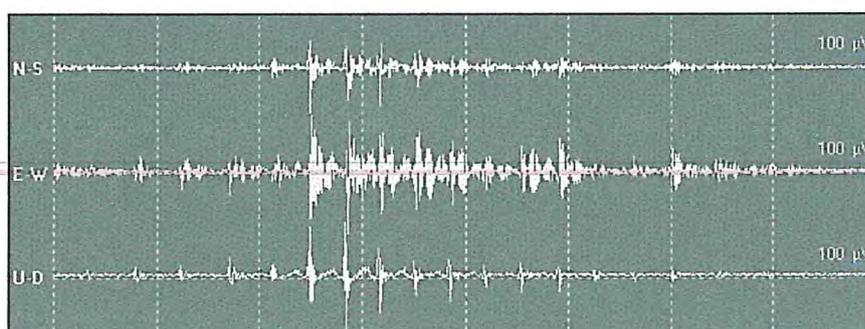
L'equazione della risonanza è la seguente:

$$f = n \frac{Vs}{4H} \quad n = 1, 3, 5, \dots$$

dove n indica l'ordine del modo di vibrare (fondamentale, primo superiore ecc.), Vs è la velocità delle onde di taglio nello strato oggetto di risonanza e H è lo spessore di detto strato. Nella maggior parte dei casi, a causa dell'attenuazione delle coperture, il solo modo visibile è il *fondamentale*.

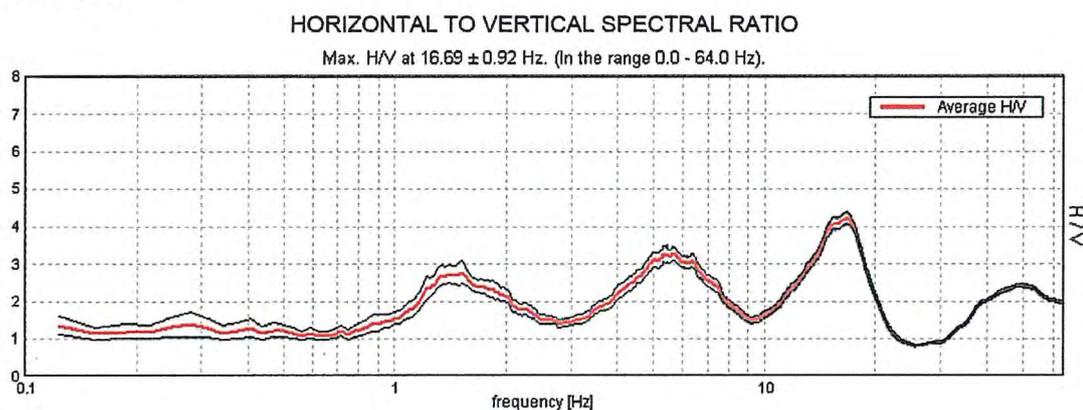
Le registrazioni in campagna vengono effettuate mediante un *tromografo*, apparecchiatura che riunisce una terna di sensori velocimetrici orientati su tre direzioni ortogonali:

- 2 nella componente orizzontale dello spostamento (tra loro ortogonali) per misure su suoli ordinariamente corrispondenti alle direzioni NS ed EW ;
- 1 nella componente verticale (up-down).



I diagrammi relativi a tali registrazioni vengono elaborati attraverso la determinazione dell'intensità del segnale in sottofinestre di determinata durata, e trasformati in *spettri H/V*. Nella pratica si utilizza il rapporto H/V perché è un buon *normalizzatore* e un buon estimatore delle frequenze di risonanza dei terreni; i valori assoluti degli spettri orizzontali e verticali variano infatti con il livello assoluto del rumore ambientale, mentre la forma dello spettro, e in particolare il rapporto tra le ampiezze orizzontale e verticale si mantiene più stabile, e per il suo carattere stocastico mostra caratteristiche correlabili con la struttura locale del suolo.

Alle frequenze caratteristiche di vibrazione dei suoli corrisponde infatti un decremento del segnale della componente verticale, che determina un picco nel rapporto spettrale rappresentato dal grafico seguente :

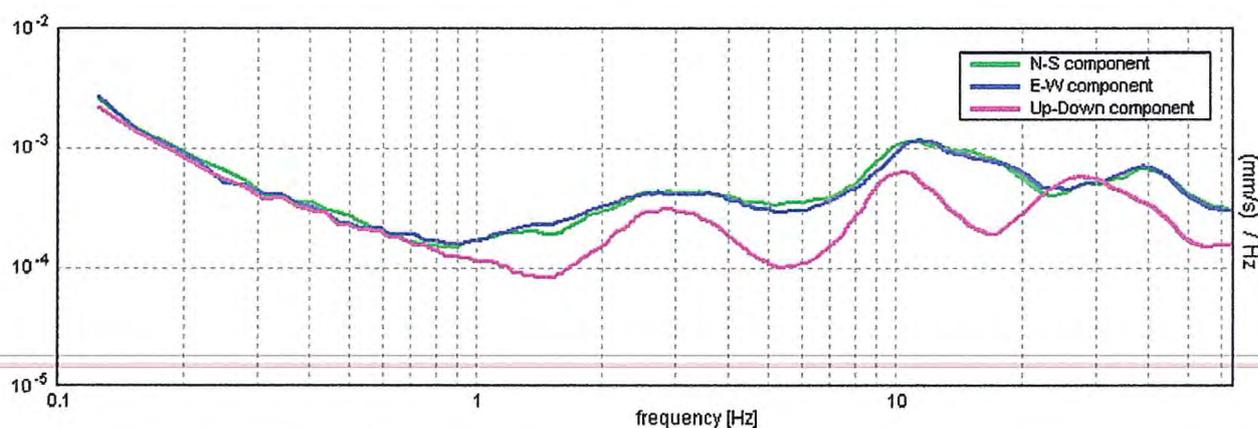


In un mezzo privo di contrasti di impedenza (ad esempio un ammasso roccioso sano) la curva H/V risulta teoricamente piatta e con valore medio fra 0,7 e 1,0 (in funzione del modulo μ).

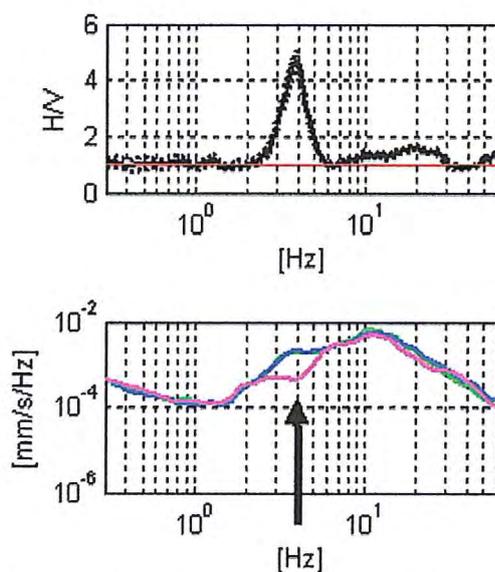
La presenza di un picco nella curva H/V può essere data da un fenomeno di *risonanza*, causato da una variazione di velocità delle onde sismiche nel terreno, e quindi di passaggi stratigrafici caratterizzati da un notevole contrasto tra le velocità sismiche stesse.

Dato che tali picchi su H/V possono essere dovuti anche ad *artefatti* e *transienti*, l' H/V deve essere analizzato alla luce degli spettri delle singole componenti.

SINGLE COMPONENT SPECTRA



Un picco di natura stratigrafica (e non artefattuale) presenta un minimo locale della componente spettrale verticale, mentre picchi spettrali (di solito aguzzi) su tutte le 3 componenti del moto sono di origine antropica.



L'elaborazione degli spettri H/V comporta quindi un'analisi ragionata dei vari picchi, uno *smoothing* (nel caso in oggetto triangolare al 10%) e una valutazione sugli spettri nelle varie "finestre" di tempo in cui è stata suddivisa l'acquisizione, in modo da poter eventualmente rimuovere gli intervalli di misura caratterizzati da disturbi.