

GUIDA ALL'USO DI
GEOPSY
per elaborazioni HVSR e MASW

(c) 2009 – 2013 SARA electronic instruments s.r.l.

Coordinamento:
Mauro Mariotti
Riccardo Sbirrazzuoli

in collaborazione con:
Dott. Geol. Lando Pacini
Dott. Geol. Francesco Stragapede

questa pagina è stata lasciata intenzionalmente bianca

Premessa

Lo scopo di questo documento è di fornire una guida pratica all'uso del programma Geopsy per l'elaborazione di prove HVSR e MASW.

Il documento affronta nel dettaglio ogni fase del ciclo di utilizzo del programma:

- Download ed installazione
- Elaborazione HVSR
- Elaborazione MASW
- Inversione dei risultati HVSR/MASW al fine di ottenere il profilo stratigrafico
- Approfondimenti sull'indagine HVSR (ad esempio valutazione del rispetto dei criteri SESAME)

La guida è stata creata utilizzando il programma nel sistema operativo *Windows XP*, ma non ci sono particolari differenze per chi lo utilizza in altri sistemi *Windows*, precedenti e successivi. Inoltre, a meno della sezione riguardante l'installazione, la guida è valida anche per gli utilizzatori di Geopsy in ambiente *Linux*.

La guida si concentra soprattutto su aspetti di carattere pratico. Eventuali consigli su quali parametri adottare o su come valutare la qualità dell'elaborazione derivano dall'esperienza e dalla conoscenza personali degli autori e sono da ritenersi assolutamente non vincolanti. La responsabilità dell'inserimento di dati e parametri e della validazione del risultato spetta esclusivamente all'operatore.

Benché si sia prestata la massima attenzione nella redazione del documento, gli autori non si assumono nessuna responsabilità per eventuali errori o omissioni causati dall'aver seguito quanto esposto in questa guida.

Download

È possibile scaricare il programma di installazione di Geopsy dal sito:

www.geopsy.org



Geopsy project

Geopsy team is developing, distributing and maintaining open source Project, it has provided tools for processing ambient vibrations techniques (such as MASW or refraction) are included to offer a high level of accuracy in the analysis of experimental data.

Education

Since the end of year 2005, we have been organizing courses and courses developed in this project. These courses extend over 5 to 6 days and cover the use of Geopsy softwares, feel free to contact us. You can host a general course for your requirements.

Cliccando sull'etichetta *Download* nella pagina sopra mostrata si può accedere alla pagina di download.

Geopsy.org packages, release 2.4.4, win32

What's new in current release? Read [release notes](#).

WARNING: several anti-viruses detect a few executables shipped within Geopsy packages as malwares. These are false positives. Such problem NEVER occur under Linux and Mac OS.

Geopsy softwares are distributed as individual packages. Make your selection in the 'Download' section.

If you get messages like "Website Certified by an Unknown Authority", add CAcert.org to the list of the certification authorities.

<input type="checkbox"/> Inversion		
<input type="checkbox"/> dinver	0.5.4	Graphical environment to solve inversion problems using the Inversion Algorithm or Monte-Carlo sampling. Various inversion techniques are included to solve common problems. You can use the template provided here below.
<input type="checkbox"/> dinverdc	1.4.1	Inversion of dispersion curves (Ray velocities, higher modes), autocorrelation, ellipticity peak and refraction travel time possible.

Il progetto *Geopsy.org* consiste in una serie di programmi, o moduli, correlati tra loro ma indipendenti, dei quali il principale è *Geopsy*, mentre un altro utile per i nostri scopi è *dinver*.

Benché dalla pagina di download sia possibile scegliere di aggiungere o escludere moduli dal pacchetto di installazione che si andrà a scaricare, si consiglia per semplicità di selezionare tutti i moduli, usando il pulsante *Select all*.

Dopo aver effettuato la selezione va premuto il pulsante *Download*, che causerà l'apertura di una pagina simile alla seguente.

Download

[geosypack-53items-win32-2.4.4.exe](#) [9.7 Mb]

- MD5 Hash: 0aaacd0f7a8ef98ec17f480c8a0e9a2c
- SHA1 Hash: 2702a42ad44dbbffd4208b4ae2b960d7880e1c1

Your selection contains 53 item(s) freely available:

dinver	geosyfta	gpmodel2param	gpviewdcreport
dinverdc	gpcoord	gpparam2model	kephren_plugin
dinverxt	gpcurve	gppoisson	kephrenrtu
fastmap	gpc	gpprofile	max2curve
figue	gpcmisfit	gprandom	spac2disp
geopsy	gpdcreport	gprefra	structureratios
geopsyarray	gpdepths	gpreplace	swim
geosydamping	gpdistance	gpsh	vslarray
geosyfigs	gpec8	gpsignal	waran
geosyvhv	gpell	gpsort	warangps
geosynr	gpfxsimulator	gpspac	waranmon
geosypackinstall	gpgroup2phase	gptarget	
geosyptmotion	gphistogram	gptime	
geosyrefra	gplivemodel	gptomoinfo	

A questo punto va scaricato il programma di installazione tramite l'apposito link in alto (*geosypack-53items-win32-2.4.4.exe* nella figura di esempio), ignorando la richiesta di autenticazione che si trova in fondo alla pagina (non mostrata in figura). Il programma di installazione scaricato avrà lo stesso nome utilizzato per il link.

La prima volta che si effettua il download solitamente viene mostrato un messaggio di errore, prima di giungere alla pagina con il link per il download.

Le figure e la modalità di soluzione dell'errore sono relative al browser *Mozilla Firefox*. In altri browser il procedimento potrebbe essere leggermente differente.



Questa connessione non è affidabile

È stata richiesta a Firefox una connessione sicura con **download.geopsy.org**, ma non è possibile confermare la sicurezza del collegamento.

Normalmente, quando si cerca di attivare un collegamento in modalità sicura, il sito web fornisce un'identificazione affidabile per garantire all'utente che sta visitando il sito corretto. Tuttavia l'identità di questo sito non può essere verificata.

Che cosa dovrei fare?

Se generalmente è possibile collegarsi a questo sito senza problemi, è possibile che questo errore sia causato dal tentativo da parte di qualcuno di sostituirsi al sito originale. Il consiglio è di non proseguire la navigazione.

- ▶ **Dettagli tecnici**
- ▶ **Sono consapevole dei rischi**

Cliccando sulla scritta *Sono consapevole dei rischi* la pagina viene espansa.

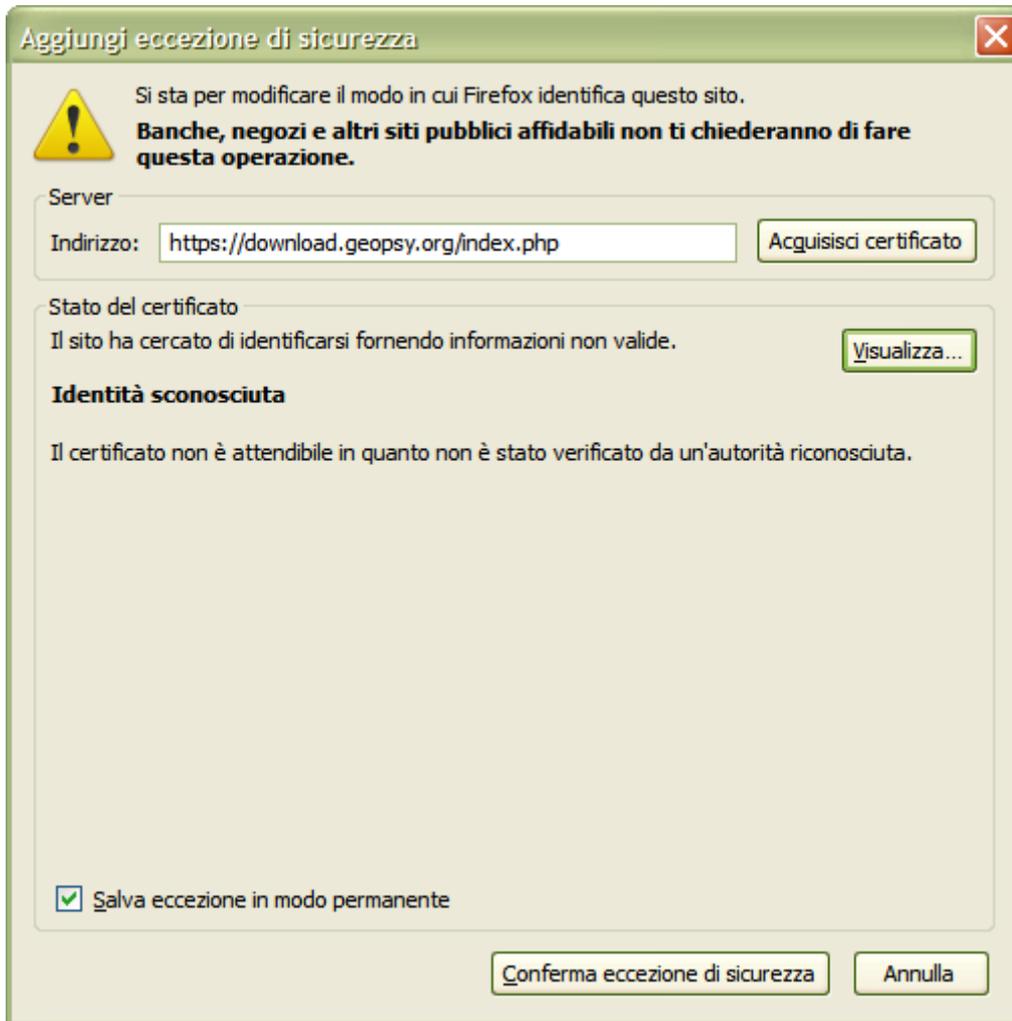
▼ **Sono consapevole dei rischi**

Se si comprende il motivo per cui viene mostrata questa segnalazione, è possibile fare in modo che, a partire da questo momento, l'identificazione di questo sito venga ritenuta affidabile da Firefox. **Anche se si ha fiducia nel sito, questo errore potrebbe comunque significare che qualcuno sta cercando di interferire con la connessione.**

Aggiungere un'eccezione solo nel caso in cui si conosca un motivo valido per cui questo sito non sta utilizzando una modalità di identificazione affidabile.

7----- Guida all'uso di GEOPSY

Va ora cliccato il pulsante *Aggiungi eccezione*, che causa l'apertura di un'ulteriore finestra.

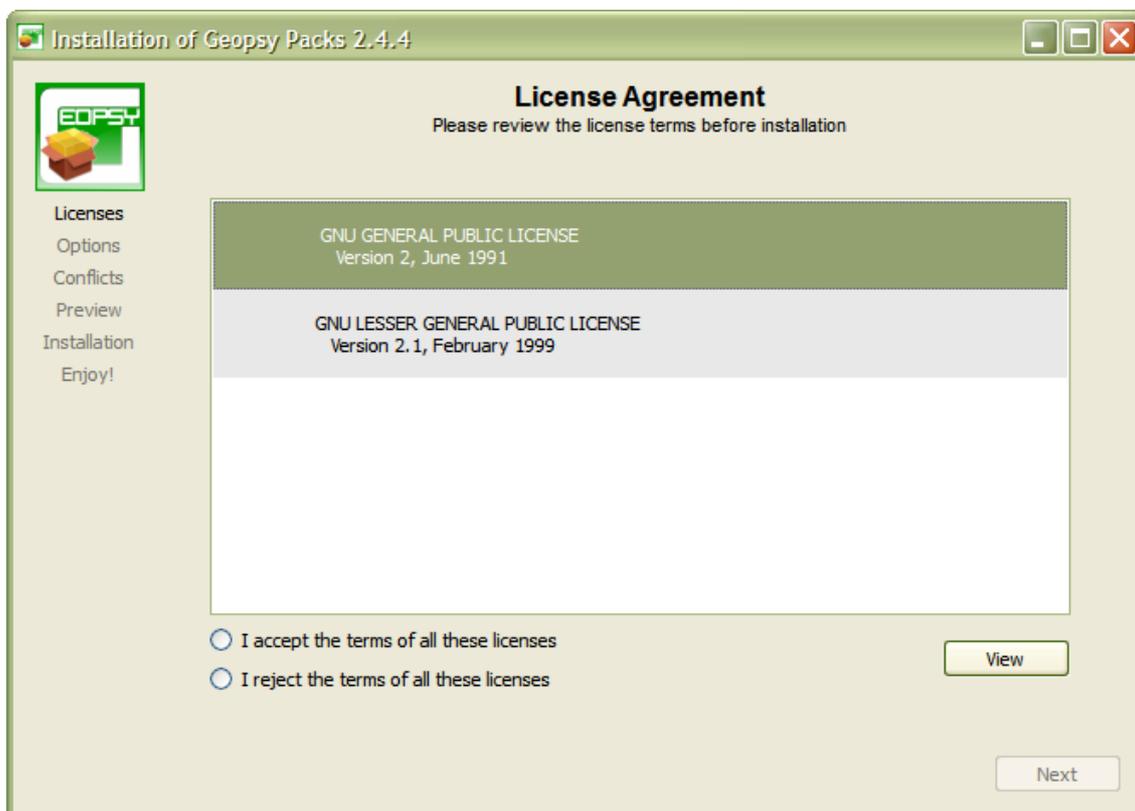


Cliccando il pulsante *Conferma eccezione di sicurezza*, assicurandosi che la casella *Salva eccezione in modo permanente* sia spuntata, sarà possibile accedere alla pagina del download.

Installazione

Per installare Geopsy va utilizzato il pacchetto di installazione scaricato seguendo le istruzioni del paragrafo precedente.

Appena avviato, dopo alcuni secondi in cui del testo scorre su una finestra con sfondo nero, mostra la schermata di accettazione della licenza sotto rappresentata. Se viene mostrato un avviso di protezione da parte del sistema operativo si deve passare oltre e confermare l'avvio del programma.

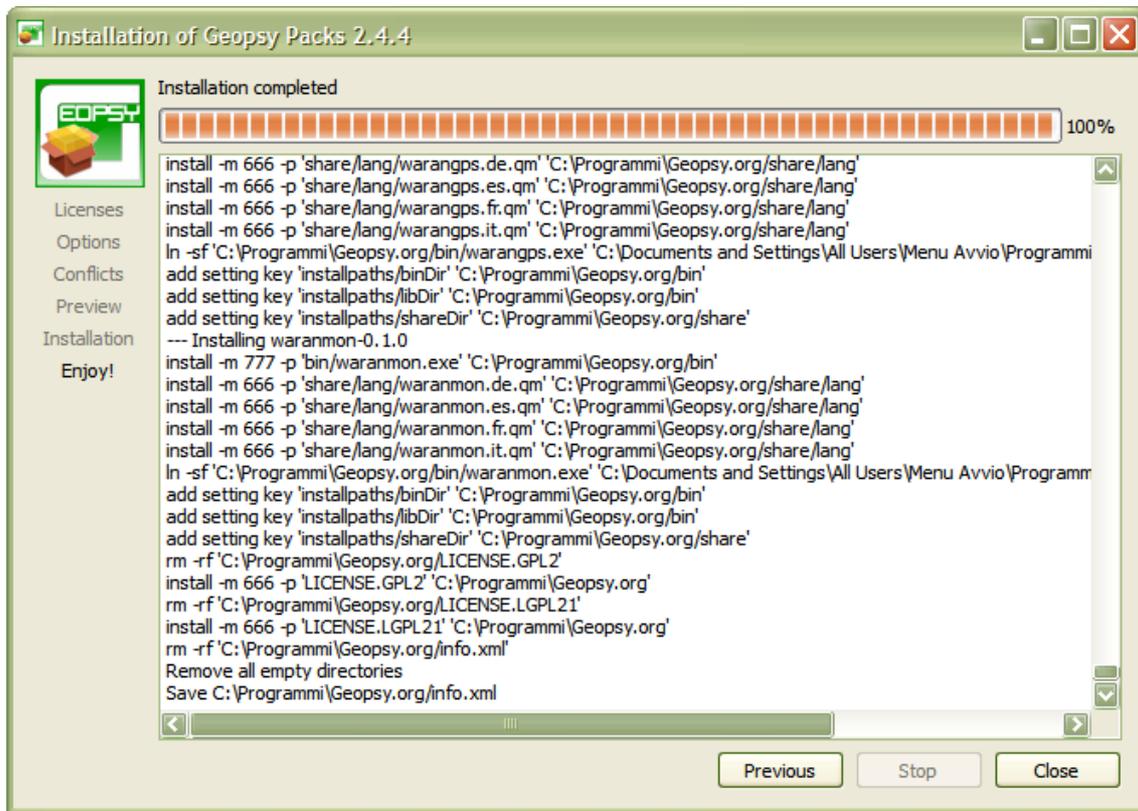


Da questa finestra è possibile leggere le licenze d'uso del programma usando il pulsante *View*. Per accettarle e passare oltre cliccare sull'opzione *I accept the terms of all these licenses* e poi sul pulsante *Next*.

La finestra seguente dà la possibilità di scegliere quali moduli installare e il percorso di installazione. Solitamente non c'è bisogno di cambiare nulla, per cui basta premere ancora sul pulsante *Next*.

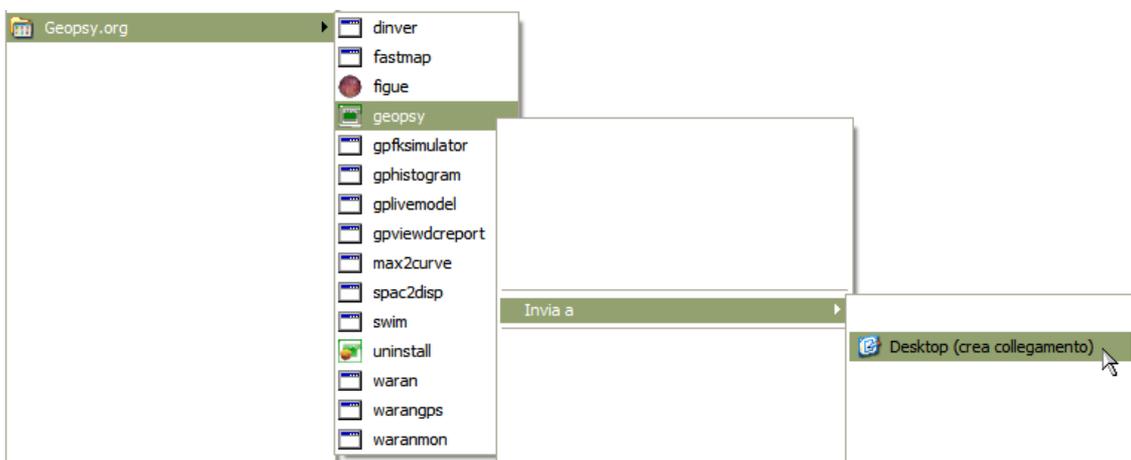
Il programma si prepara per l'installazione, mostrando una finestra in cui elenca le azioni eseguite. Cliccando il pulsante *Install* si avvia l'installazione.

A questo punto il programma esegue l'installazione, al termine della quale la finestra mostrata è simile a quella sottostante.



Cliccando sul pulsante *Close* l'installazione ha termine.

Il programma di installazione non crea nessuna icona sul desktop, ma solo la voce *Geopsy.org* nel menù dei programmi. Per aggiungere manualmente al desktop le icone di Geopsy e dinver, i programmi di cui si parlerà nel corso della guida, basta cliccare con il tasto destro sopra il programma desiderato e selezionare la voce *Invia a → Desktop (crea collegamento)*, come mostrato nella figura seguente (l'aspetto grafico può variare a seconda del sistema operativo utilizzato).



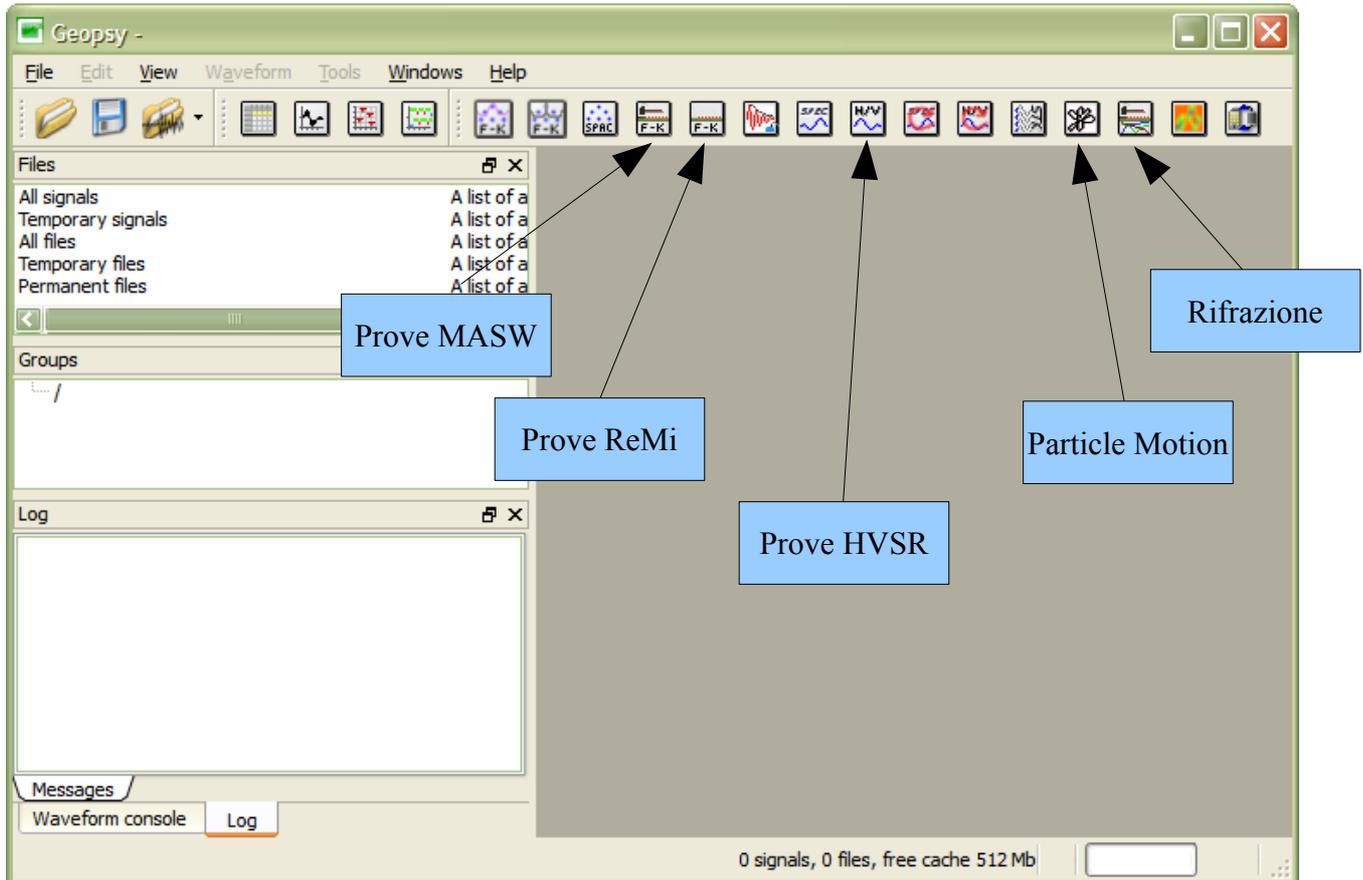
Prima esecuzione e schermata principale

Al primo avvio Geopsy mostra la finestra di impostazione delle opzioni, o preferenze, di utilizzo del programma.

L'azione suggerita è cliccare sulla casella *Show this dialog on startup* in fondo alla finestra, in modo da toglierne la spunta, e premere sul pulsante *OK*, senza modificare nessuna delle opzioni.

Si potrà accedere nuovamente a quella finestra dal menù principale del programma, alla voce *File* → *Preferences*.

All'apertura il programma mostra la finestra seguente.



I pulsanti della barra degli strumenti in alto servono per eseguire diversi tipi di elaborazione. Come già accennato, questa guida affronterà solo l'elaborazione di prove HVSr e MASW.

Elaborazione prova HVSR

Questa sezione spiegherà come utilizzare Geopsy per l'interpretazione di dati misurati da una singola stazione con il metodo dei rapporti spettrali o HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*). Il risultato dell'elaborazione è una curva, detta di ellitticità, che rappresenta appunto il rapporto spettrale tra il segnale delle componenti orizzontali e quello della componente verticale.

Questa curva permette di valutare in modo diretto le frequenze di risonanza del sito indagato; una sezione seguente di questa guida mostrerà come utilizzare il programma dinver per ricavare la stratigrafia, e quindi una stima delle velocità equivalenti, a partire dalla curva di ellitticità.

Descrizione del metodo HVSR

La tecnica, in origine proposta da Nogoshi e Igarashi (1971), in seguito diffusa da Nakamura (1989), consiste nella stima del rapporto fra lo spettro di ampiezza delle componenti orizzontali e quello della componente verticale dei microtremori sismici ambientali registrati da una singola stazione.

Il calcolo del rapporto H/V segue queste fasi:

1. Registrazione del segnale ambientale nelle 3 componenti.
2. Scomposizione del segnale in finestre temporali, con l'obiettivo di isolare le parti della registrazione in cui il segnale risulta maggiormente stazionario ed eliminare i rumori transitori, o transienti.
3. Calcolo e smussamento dello spettro di ampiezza ricavato tramite la trasformata di Fourier per ognuna delle finestre selezionate su tutte e tre le componenti.
4. Combinazione, con un'operazione di media, delle due componenti orizzontali per ognuna delle finestre selezionate.
5. Calcolo del rapporto H/V per ogni finestra.
6. Calcolo della media dei rapporti H/V delle singole finestre, che rappresenterà la curva H/V definitiva.

Come si vedrà, Geopsy è in grado di assistere attivamente l'utente nella fase di selezione delle finestre ed esegue in modo automatico tutti gli altri passaggi, dal 3 al 6, permettendo di ottenere in modo semplice e veloce la curva H/V.

Vale la pena di aggiungere una nota breve ma fondamentale. L'apparente semplicità di un'indagine HVSR, sia in fase di acquisizione che di elaborazione dei dati, non deve far pensare che sia una misura priva di insidie.

L'acquisizione è infatti un'operazione da eseguire con grande accortezza: tanto il posizionamento dello strumento che la valutazione consapevole del livello e della natura del rumore ambientale che si sta registrando sono molto importanti per la riuscita del sondaggio.

In fase di elaborazione occorre invece grande attenzione nella verifica della qualità e dell'affidabilità della curva ottenuta. Ad esempio, il fatto che i criteri SESAME, di cui si parlerà in seguito, siano rispettati non implica necessariamente che il risultato sia aderente alla situazione reale, né che l'acquisizione sia stata eseguita correttamente. D'altro canto, quando i criteri non sono rispettati non si può concludere immediatamente che l'acquisizione o l'elaborazione siano errate, ma la curva ottenuta potrebbe semplicemente stare ad indicare, a titolo esemplificativo, un terreno omogeneo e compatto che non dà luogo a fenomeni di amplificazione. I criteri quindi indicano se la curva contiene o meno elementi significativi dal punto di vista geofisico, ma possono dire poco sulla sua correttezza e coerenza.

L'elaborazione HVSR, per non parlare dell'operazione di inversione, richiede assolutamente che l'operatore agisca con cognizione di causa, senza affidarsi ciecamente a parametri che regolano solo alcuni aspetti dell'indagine, e che utilizzi con criterio eventuali ausili informatici che operano in modo automatico.

In questa guida non si parlerà ulteriormente di come effettuare questo tipo di valutazioni, ma si rimanda alla letteratura disponibile in materia, in particolare al documento che contiene le linee guida ufficiali del progetto SESAME, disponibile attualmente al seguente indirizzo:

http://sesame-fp5.obs.ujf-grenoble.fr/Papers/HV_User_Guidelines.pdf

Scelta delle frequenze di interesse

È utile avere un'idea del range di frequenze utile entro cui si può calcolare l'HVSR.

Se ad esempio la frequenza di campionamento è di 200 Hz, significa che, per il teorema di Nyquist, non sarà assolutamente possibile visualizzare frequenze superiori a $200/2 = 100$ Hz.

Il limite inferiore che si può raggiungere in frequenza dipende dai sensori utilizzati, dalla qualità dell'acquisitore, dalla durata della registrazione e dalla scelta delle finestre. Come regola generale (anche se molto empirica) si può considerare che la frequenza più bassa osservabile (o almeno decentemente osservabile) si ha dividendo la durata del campionamento per 10, ad esempio $1200 \text{ secondi}/10 = 120 \text{ secondi} = \text{circa } 0,008 \text{ Hz}$, per un'acquisizione di 20 minuti.

Questo calcolo è del tutto teorico in quanto presuppone che venga utilizzata una sola finestra comprendente l'intera registrazione. Nella pratica si utilizzano molte finestre più brevi e la minima frequenza raggiungibile dipenderà dalla durata di queste finestre: se ad esempio si usano finestre di 60 secondi si potrà osservare fino a $60/10 = 6 \text{ secondi} = \text{circa } 0,17 \text{ Hz}$.

Rovesciando il ragionamento possiamo dire che se intendessimo esaminare frequenze, ad esempio, fino a 0,05 Hz non potremmo farlo agevolmente se non abbiamo **almeno** 200 secondi di sismogramma. Diciamo “almeno” perché sarebbe meglio avere una registrazione più lunga così da avere la possibilità di eliminare porzioni di sismogramma contenenti eventuali disturbi ambientali e da poter scegliere più di una finestra temporale.

In Geopsy, come si vedrà nella sezione seguente, è possibile scegliere le frequenze entro cui calcolare il rapporto H/V. La minima frequenza che si può indicare è 0,01 Hz, la massima è virtualmente illimitata.

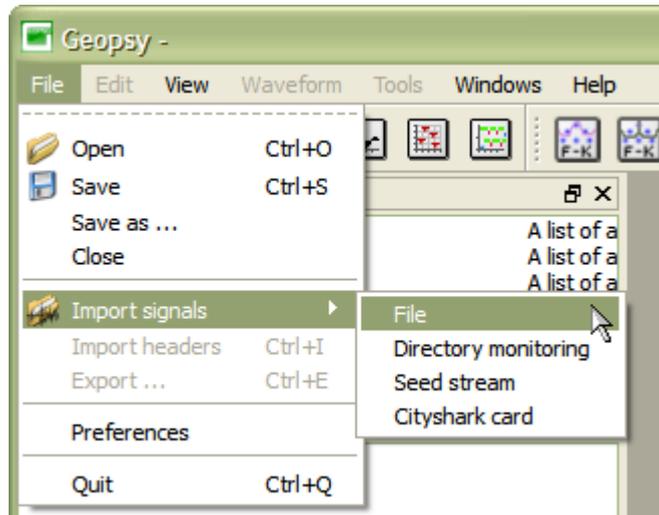
Se si inserisce una frequenza massima oltre la frequenza di Nyquist, il rapporto H/V oltre tale frequenza sarà piatto.

Se si inserisce una frequenza minima inferiore alla frequenza corrispondente a un decimo della lunghezza delle finestre temporali utilizzate (0,17 Hz nell'esempio precedente), Geopsy calcolerà lo stesso il rapporto H/V al di sotto di tale frequenza ma evidenzierà la zona tratteggiandola di rosso, indicando che in quell'area il rapporto non è affidabile.

Elaborazione HVSR in pratica

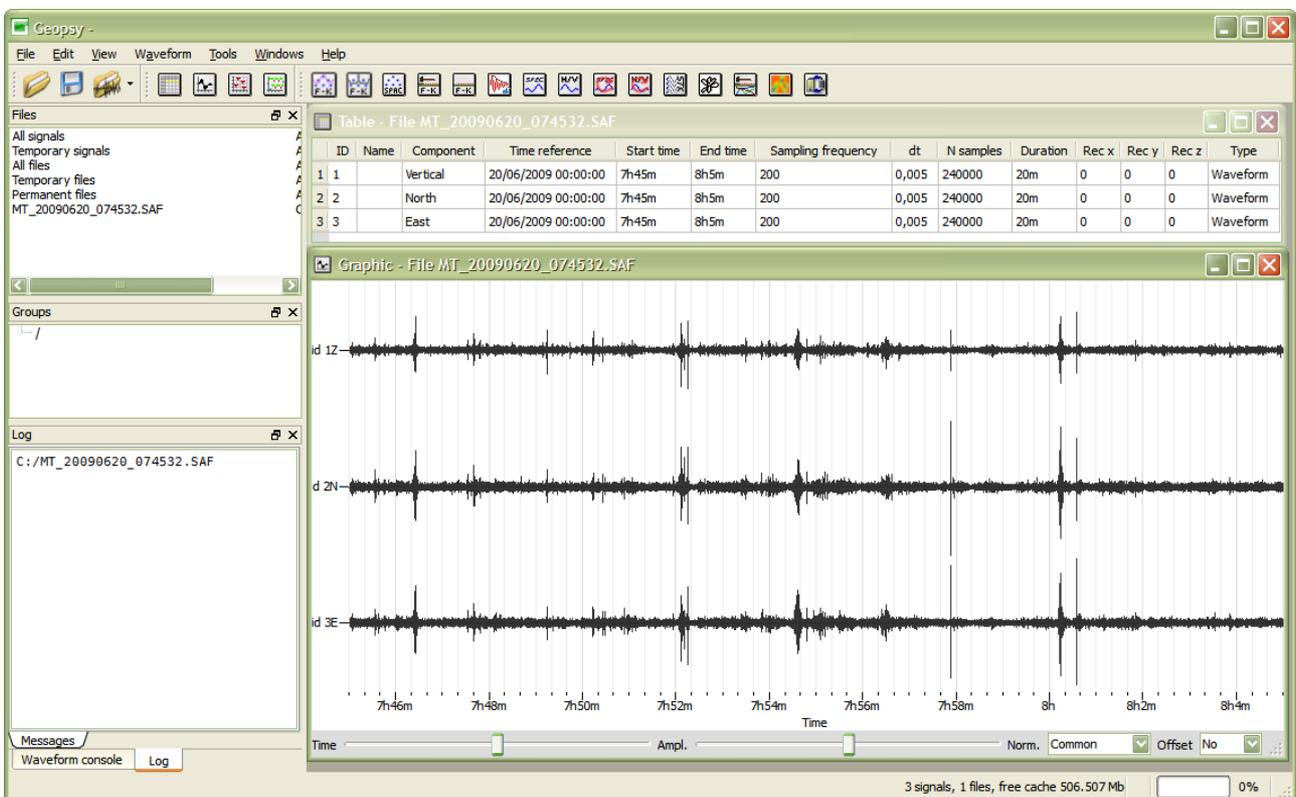
La prima operazione da eseguire è caricare in Geopsy il file contenente i sismogrammi da analizzare. Geopsy può leggere svariati tipi di file, fra i quali SEG2, SEGY, SAF (Sesame), GSE, SAC e miniSeed. Il formato più comune per i dati di indagini HVSR è il SAF, che è il formato di default del nostro software di acquisizione SEISMOLOG-MT.

Un modo per caricare il file è tramite la voce di menù *File* → *Import signals* → *File*.



Verrà mostrata una finestra di dialogo standard per la selezione di file, tramite cui cercare e poi selezionare il file da aprire.

Una volta aperto il file, la finestra principale di Geopsy si presenta come nella figura seguente.



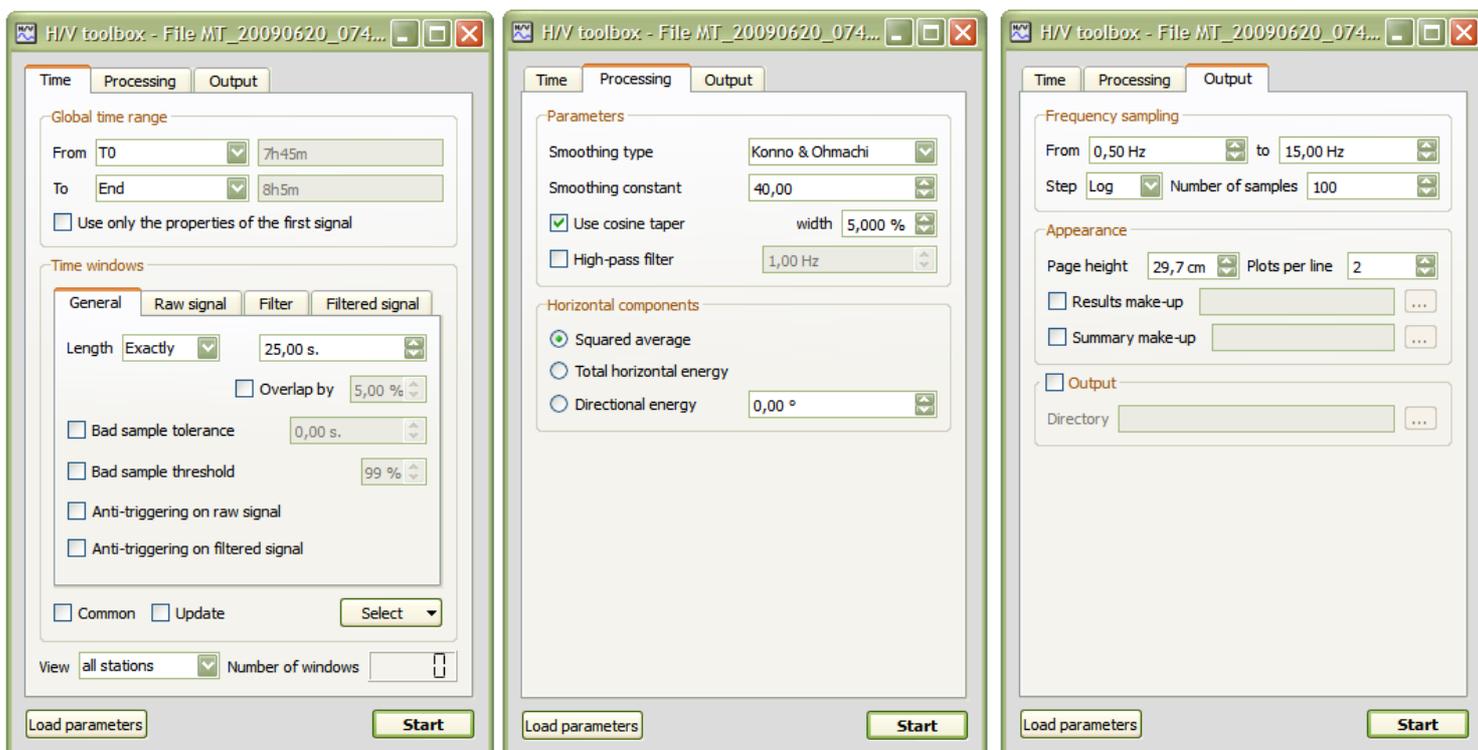
La finestra *Table* riporta le componenti del file e le caratteristiche di acquisizione di ogni canale.
 La finestra *Graphic* mostra il segnale nella serie temporale.

Per procedere al calcolo dei rapporti spettrali si può cliccare sull'icona *H/V*, in alto nella barra degli strumenti.



All'avvio dell'elaborazione H/V Geopsy apre un altro grafico del segnale nel dominio del tempo, che verrà utilizzato per visualizzare graficamente la selezione delle finestre temporali, e una finestra tramite cui effettuare questa selezione e impostare i parametri di calcolo.

La finestra per il calcolo H/V contiene tre sezioni, mostrate nelle figure seguenti.



La sezione *Time* permette di indicare i criteri per la scelta delle finestre, tra cui la lunghezza minima e massima e i parametri di funzionamento dell'algorithmo di anti-triggering per l'identificazione e l'esclusione dei transienti.

La sezione *Processing* contiene i parametri che regolano il calcolo e il liscio degli spettri e la modalità di combinazione degli spettri orizzontali.

La sezione *Output* permette di indicare il range di frequenze d'interesse, da scegliere secondo le considerazioni fatte nel paragrafo precedente, e la densità e spaziatura dei punti della curva H/V definitiva.

I parametri mostrati nelle figure non hanno un valore particolare né sono quelli “consigliati”, ma sono semplicemente quelli che Geopsy propone inizialmente.

Per approfondire il significato di ogni campo e casella delle tre sezioni si rimanda alla documentazione online di Geopsy sull'argomento (in inglese), che attualmente si trova all'indirizzo:

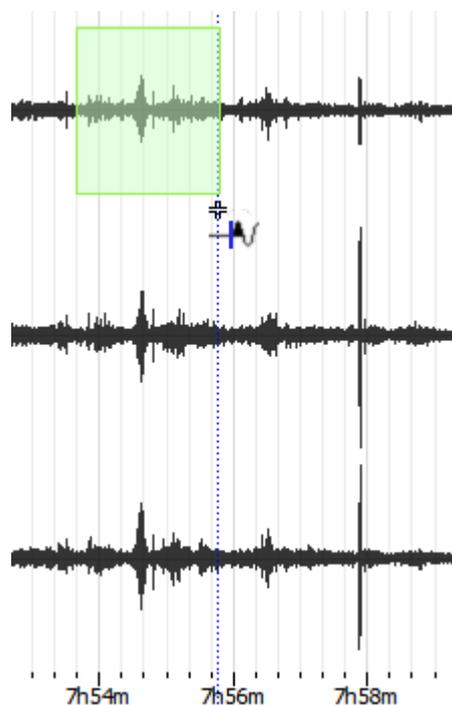
http://www.geopsy.org/wiki/index.php/H/V_spectral_ratio

Per indicare a Geopsy di selezionare automaticamente le finestre temporali su cui eseguire l'elaborazione, in base ai parametri impostati, basta cliccare sul pulsante *Select*, nella sezione *Time*, e selezionare la voce *Auto* dal menù che viene mostrato.

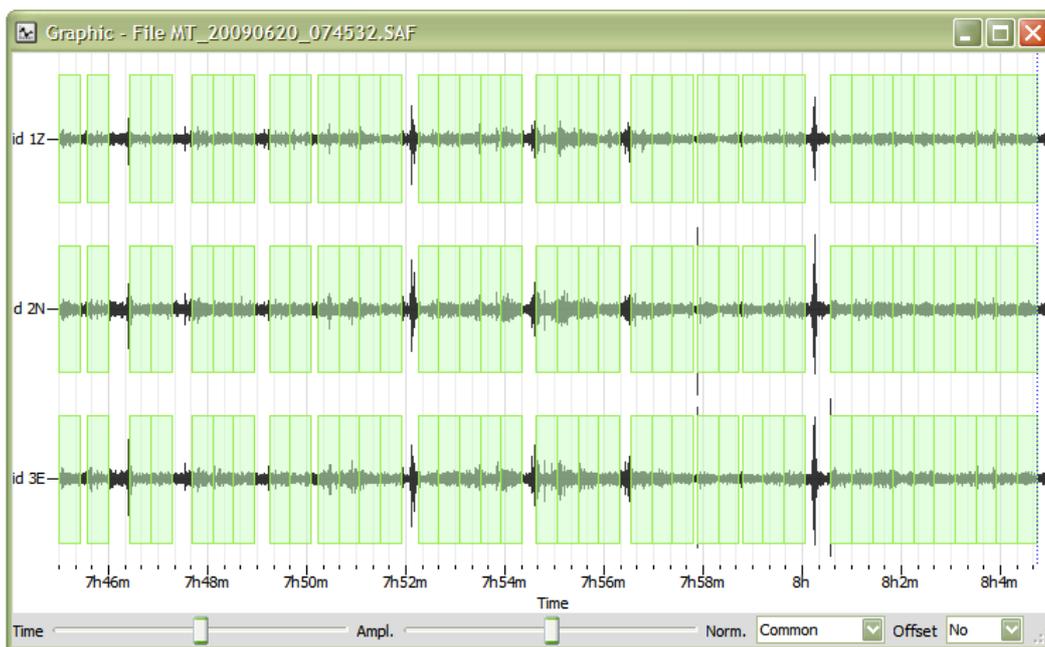
Per procedere a una selezione manuale bisogna invece selezionare la voce *Add* e portarsi con il mouse sopra la finestra che rappresenta il segnale nel dominio del tempo. Noterete che la forma del puntatore cambierà, ad indicare che ora potete selezionare delle finestre.

Cliccando con il tasto sinistro del mouse sopra un sismogramma e trascinando vedrete apparire un riquadro verde. Quando è della lunghezza che desiderate rilasciate il tasto del mouse. Se la finestra rimane visualizzata allora ha lunghezza sufficiente, ed anzi è possibile che venga scomposta in più finestre in base ai parametri, se scompare vuol dire che era di lunghezza inferiore alla lunghezza minima indicata nel campo *Length* della sezione *Time*.

La figura seguente mostra come appare la finestra con la rappresentazione del segnale durante la selezione manuale delle finestre.

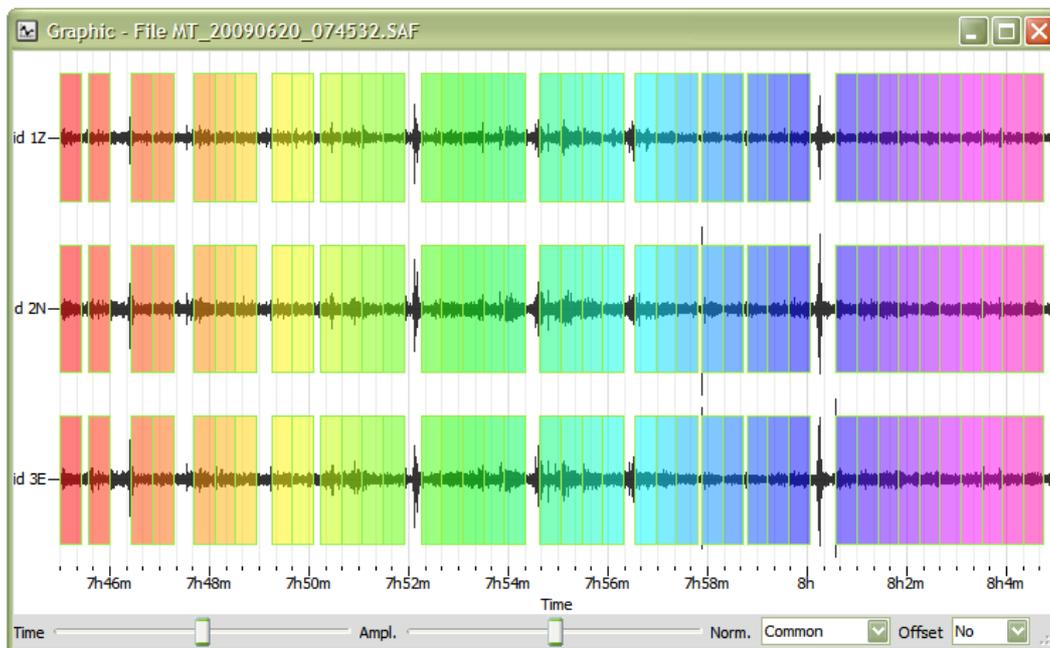


Al termine della selezione, automatica o manuale, dovreste essere in grado di ottenere un grafico come il seguente, in cui sono stati scartati i transienti più importanti.

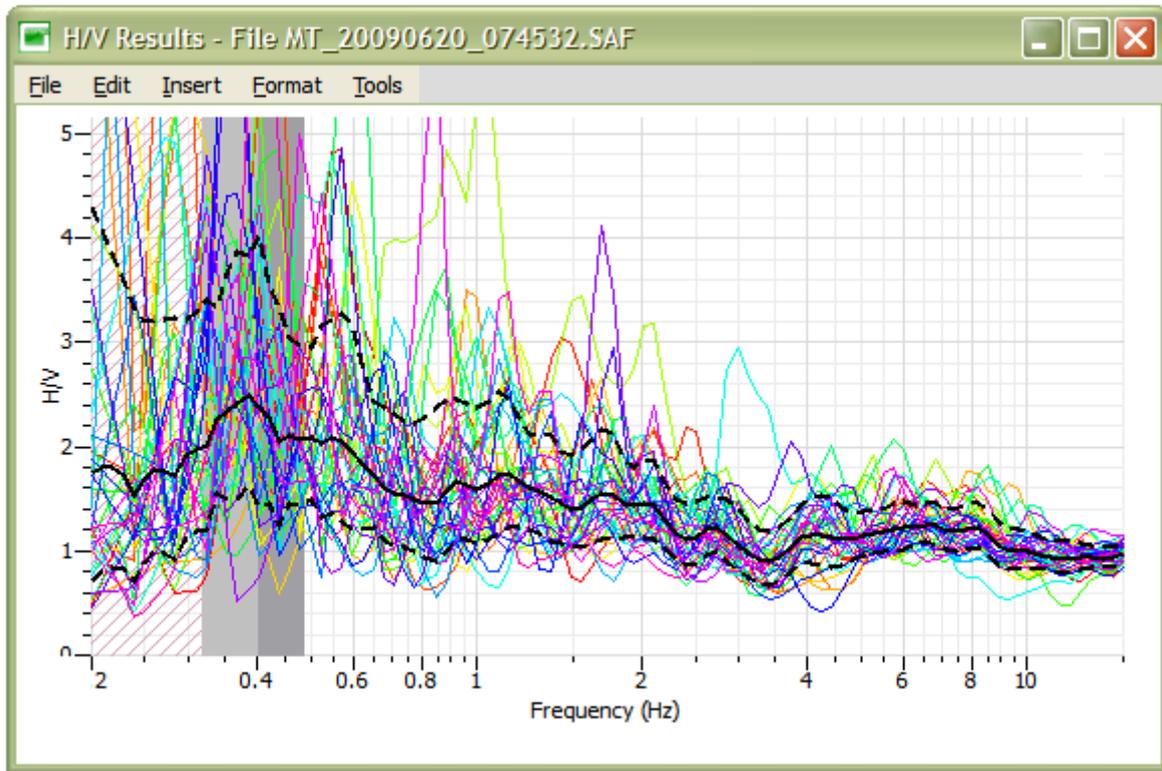


Cliccando sul pulsante *Start* della sezione *Time* si avvierà l'elaborazione H/V vera e propria, che impiegherà più o meno tempo a seconda del numero e della lunghezza delle finestre.

Al termine dell'elaborazione Geopsy mostra il grafico della curva H/V risultante e colora in modo diverso ogni finestra temporale selezionata, come nella figura seguente.



Il grafico della curva H/V si presenta invece come nell'immagine che segue.



La curva nera continua rappresenta il rapporto H/V medio, mentre le curve nere tratteggiate, dette “curve di confidenza”, sono il risultato della moltiplicazione (curva superiore) e divisione (curva inferiore) dei valori del rapporto H/V medio per la deviazione standard dei valori delle singole curve H/V.

Le curve colorate sono i rapporti H/V delle singole finestre; grazie al colore è possibile associare ogni curva alla corrispondente finestra temporale.

Le due bande grigie identificano la frequenza principale, o f_0 , individuata automaticamente dal programma. La f_0 del rapporto medio è esattamente al centro delle due bande, mentre l'area coperta dalle bande è ottenuta aggiungendo e sottraendo alla f_0 del rapporto medio la deviazione standard delle f_0 delle singole curve.

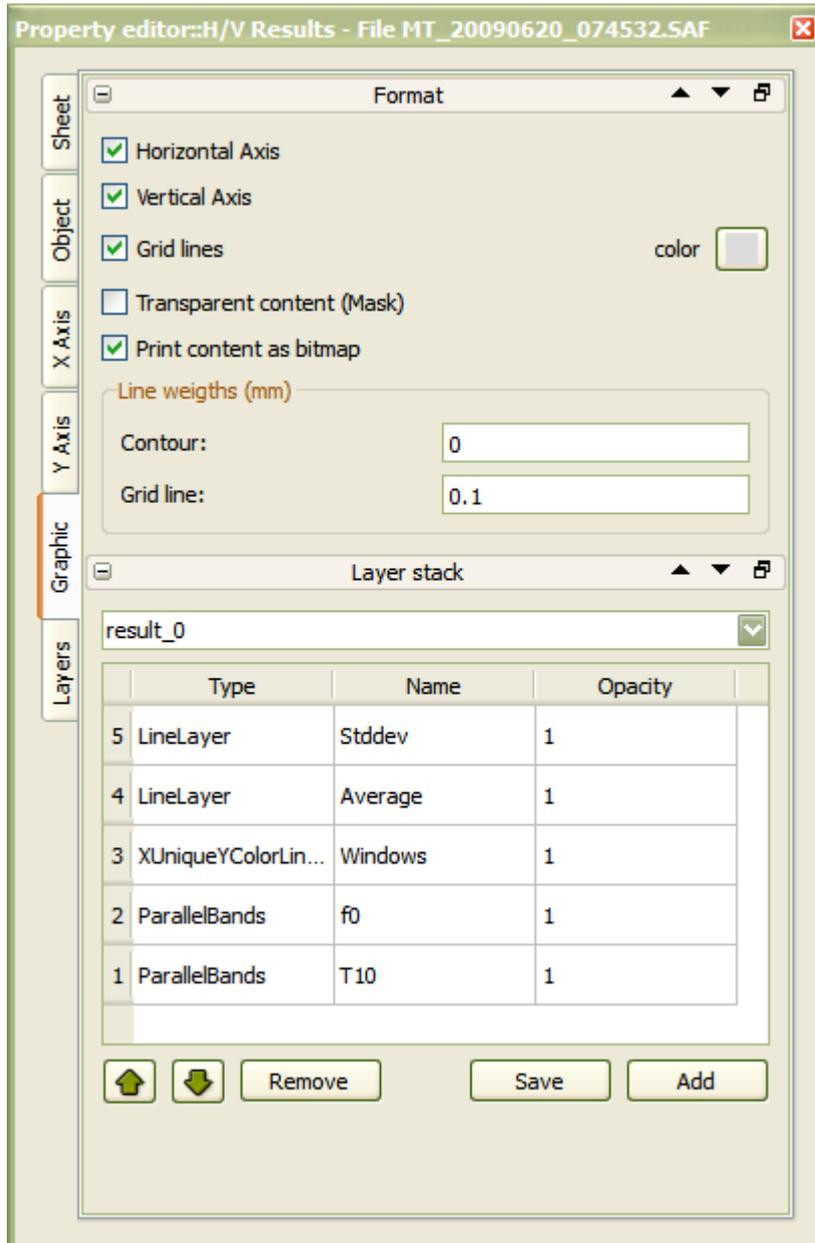
L'area tratteggiata di rosso indica invece la zona di frequenze in cui il rapporto calcolato non è affidabile in quanto le finestre temporali scelte per l'elaborazione non sono lunghe a sufficienza per raggiungere quelle basse frequenze.

Modifica della rappresentazione grafica del rapporto H/V

È possibile modificare alcuni parametri della rappresentazione grafica, come dimensioni del grafico, colori, scala, aspetto e spaziatura della griglia e nascondere o mostrare alcune delle curve.

Per farlo si deve cliccare con il tasto destro sopra il grafico e selezionare la voce *Properties* dal menù contestuale che viene mostrato, oppure tramite la voce *Format* → *Properties* del menù della finestra che contiene il grafico.

La finestra che viene mostrata contiene diverse sezioni, accessibili tramite le etichette poste sul lato sinistro.



La sezione *Object*, ad esempio, permette di modificare le dimensioni del grafico, grazie ai campi *Width(cm)* e *Height(cm)*.

Nella sezione *Graphic* invece è possibile mostrare o nascondere gli oggetti grafici rappresentati agendo sulla colonna *Opacity* della tabella nella parte bassa della finestra: se il valore è uguale a 1 il relativo oggetto è mostrato, se uguale a 0 è nascosto. Un valore intermedio rende gli oggetti più o meno trasparenti.

È possibile mostrare o nascondere il rapporto H/V medio (*Average*), le curve di confidenza (*Stddev*), le curve dei singoli rapporti (*Windows*), le bande di identificazione della frequenza principale (*f0*) e l'area tratteggiata che indica le frequenze per cui il calcolo non è affidabile (*T10*).

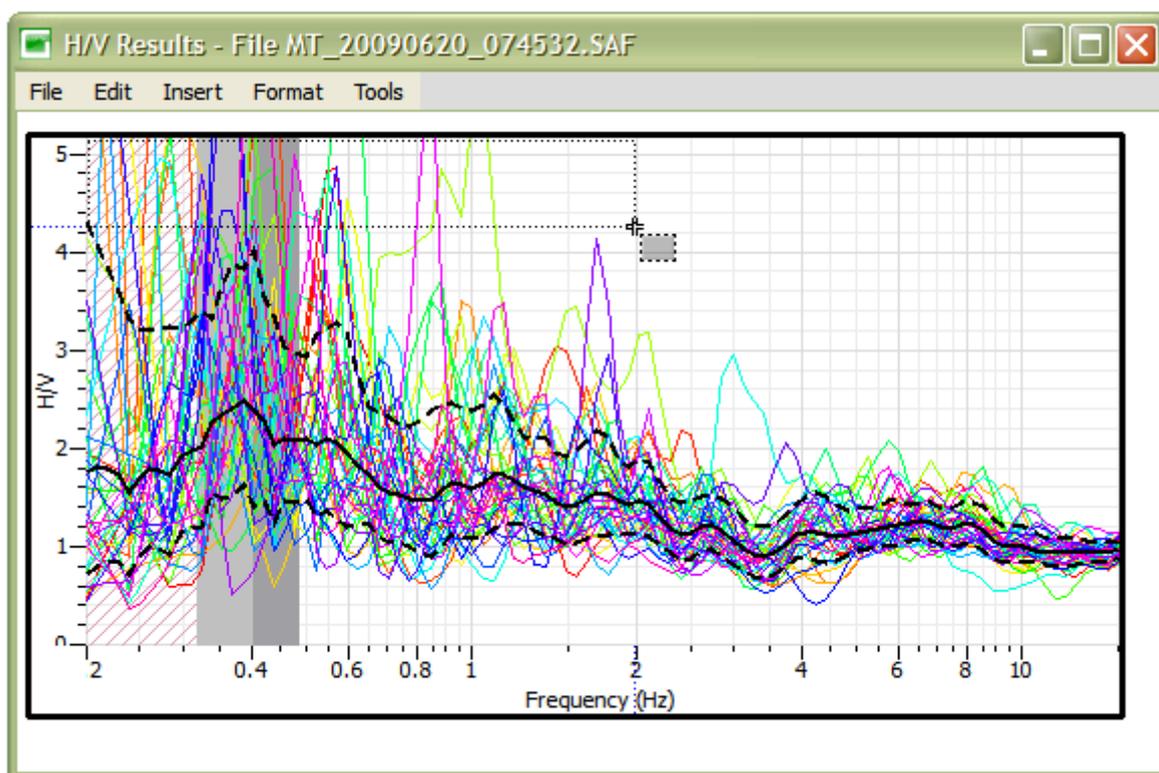
Raffinamento del rapporto H/V

Una volta calcolato il rapporto H/V è possibile modificare la scelta delle finestre temporali e i parametri di calcolo e ripetere l'operazione, in modo da raffinare il risultato ottenuto inizialmente.

È ad esempio utile individuare ed escludere eventuali finestre temporali con disturbi magari non individuati dall'algoritmo di anti-triggering ma che danno origine a curve H/V che deviano in modo significativo rispetto alla media e che quindi perturbano il risultato definitivo.

Benché sia possibile eseguire questa operazione manualmente, Geopsy offre la possibilità di farlo automaticamente in due semplici passaggi.

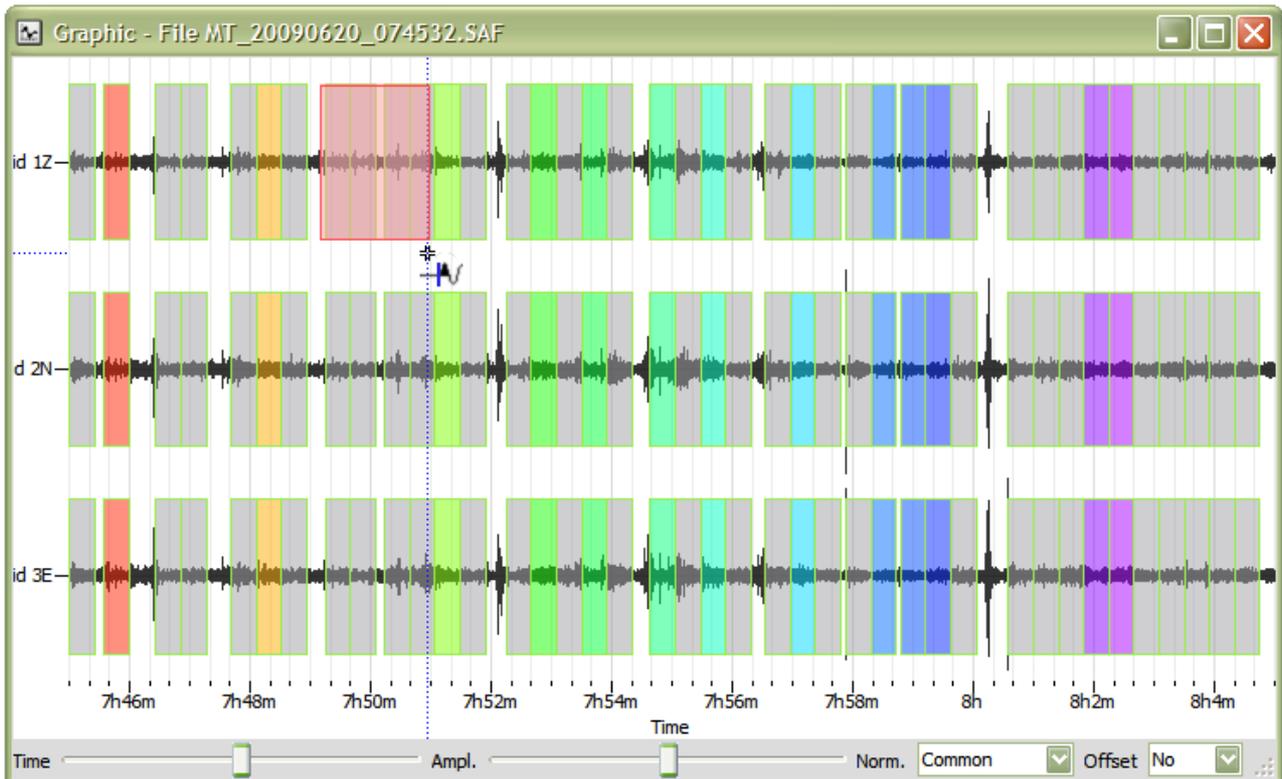
Per prima cosa va scelta la modalità di esclusione delle finestre temporali, cliccando con il tasto destro sul grafico del rapporto H/V e selezionando la voce *Reject time windows* dal menù contestuale che viene mostrato. A questo punto la forma del puntatore cambierà e, cliccando il tasto sinistro e tenendolo premuto, sarà possibile tracciare un riquadro sopra il grafico, come mostra la figura seguente.



Al rilascio del pulsante, tutte le curve che sono incluse anche solo in parte all'interno del riquadro e le relative finestre temporali nel grafico del segnale del dominio del tempo si coloreranno di grigio.

A questo punto, cliccando sul pulsante *Select*, nella sezione *Time* della finestra per il calcolo H/V, e selezionando la voce *Remove* dal menù che viene mostrato, il puntatore assumerà la stessa forma che ha quando si seleziona la voce *Add* per aggiungere manualmente nuove finestre temporali, ma il riquadro che si traccia al di sopra del grafico cliccando il pulsante sinistro del mouse e tenendolo premuto sarà di colore rosso e le finestre incluse anche solo in parte all'interno del riquadro verranno eliminate.

La figura seguente mostra come appare il grafico del segnale nel dominio del tempo durante la selezione delle finestre da rimuovere.



Sono evidenti le finestre temporali colorate di grigio dalla funzione *Reject time windows* e il riquadro rosso che, al rilascio del mouse, causerà la rimozione delle due finestre incluse al suo interno su tutti e tre i canali.

Va fatto notare che non è obbligatorio eliminare tutte le finestre grigie prima di effettuare di nuovo il calcolo del rapporto H/V; è inoltre possibile utilizzare la funzione di rimozione delle finestre temporali in modo indipendente, senza prima evidenziare di grigio le finestre che si ritiene siano causa di disturbi, che in questo caso andranno individuate manualmente.

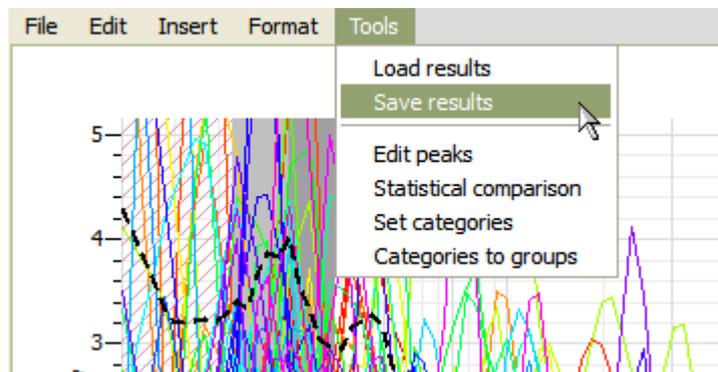
Una volta raffinata la selezione delle finestre, cliccando di nuovo il pulsante *Start* nella sezione *Time* della finestra per il calcolo H/V sarà possibile ricalcolare il rapporto H/V sulle nuove finestre.

Salvataggio del rapporto H/V

Quando il rapporto H/V è stato calcolato in modo soddisfacente solitamente si desidera esportarne i dati in modo da utilizzarli, ad esempio, nel modulo dinver ed effettuare l'inversione o salvare il grafico in formato immagine.

Per salvare il grafico sotto forma di file immagine basta selezionare la voce *Edit* → *Copy image* dal menù della finestra che contiene il grafico, dopo di che l'immagine, che è stata copiata da Geopsy negli appunti di Windows, va incollata nel programma di destinazione desiderato.

Per esportare i dati numerici della curva va invece usata la voce *Tools* → *Save results* dello stesso menù: verrà mostrata la finestra standard per il salvataggio di file in cui andrà indicato il percorso e il nome del file in cui salvare i dati.



All'atto del salvataggio Geopsy crea due file, entrambi con il nome indicato nella finestra di dialogo, ma con diversa estensione: uno ha estensione “.hv”, l'altro “.log”. Entrambi sono semplici file di testo leggibili con qualsiasi editor testuale che supporti file con terminatore di riga in stile UNIX; in Windows è più che sufficiente il programma WordPad, mentre non è adatto il classico Blocco note.

Il file con estensione “.hv” contiene i dati della curva del rapporto H/V medio e delle curve di confidenza ed è quello che andrà importato nel modulo dinver.

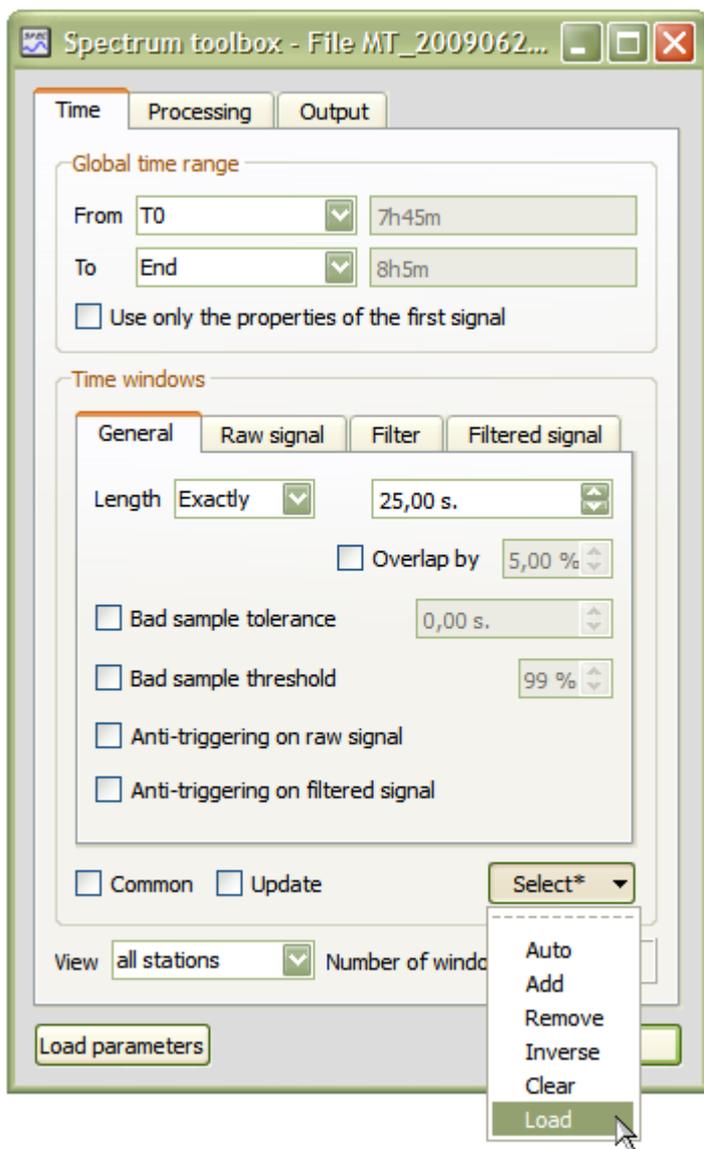
Il file con estensione “.log” contiene i parametri effettuati per il calcolo e i dati su tutte le finestre temporali selezionate e può essere usato, come si vedrà nella sezione seguente, per replicare l'elaborazione in un secondo momento.

Visualizzazione e calcolo degli spettri delle singole componenti

Un'elaborazione accessoria che può aiutare a verificare la validità del rapporto H/V calcolato è la visualizzazione separata degli spettri di frequenza delle singole componenti. In particolare, l'andamento dello spettro della componente verticale in relazione a quello delle componenti orizzontali permette di avere un'indicazione sulla natura dei picchi evidenziati dal rapporto H/V, se di origine naturale o antropica.

Il calcolo degli spettri avviene in modo molto simile a quello del rapporto H/V, in quanto anche esso viene effettuato su finestre temporali, dando origine a uno spettro per ogni finestra, e lo spettro definitivo è quello risultante dalla media degli spettri di tutte le finestre.

Per avviare il calcolo, dopo aver caricato il file, si deve cliccare sull'icona *Spec*, in alto nella barra degli strumenti, dopo di che si dovrà procedere alla selezione delle finestre temporali, esattamente come nel calcolo del rapporto H/V.



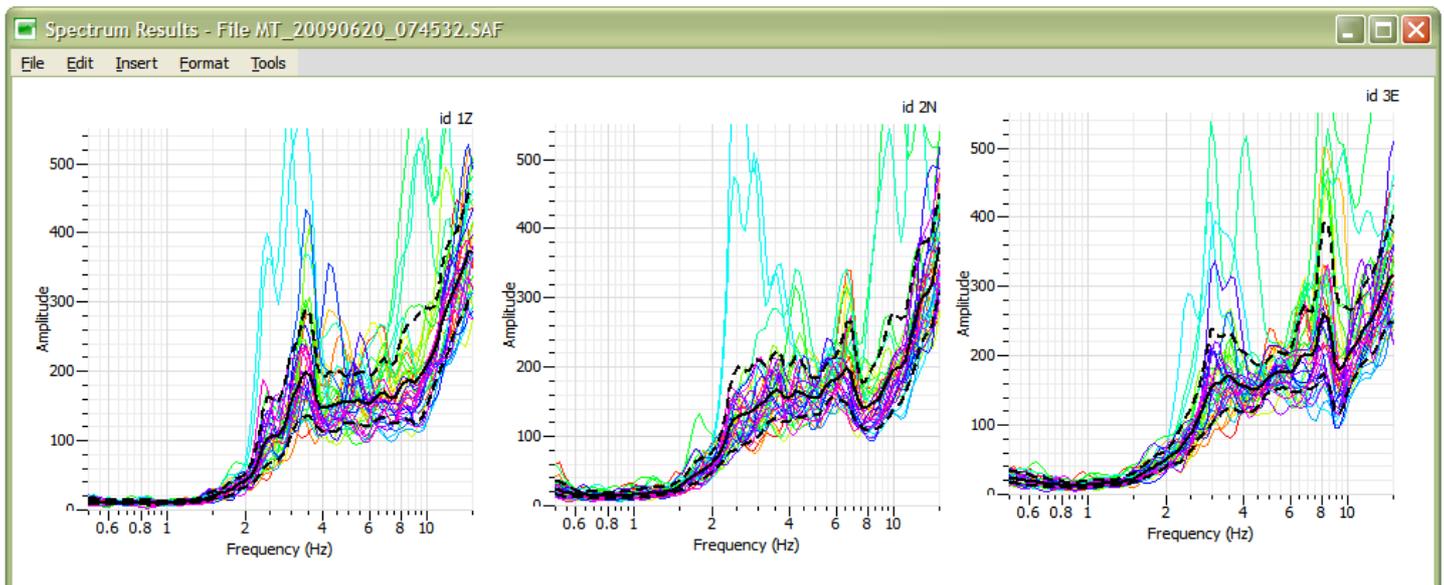
Geopsy rende molto semplice selezionare le stesse finestre usate per l'elaborazione HVSR, se questa è stata già effettuata e i risultati sono stati salvati su file.

Per farlo basta selezionare la voce *Load* dal menù mostrato cliccando sul pulsante *Select* della sezione *Time* della finestra per il calcolo degli spettri, come mostrato nella figura a fianco.

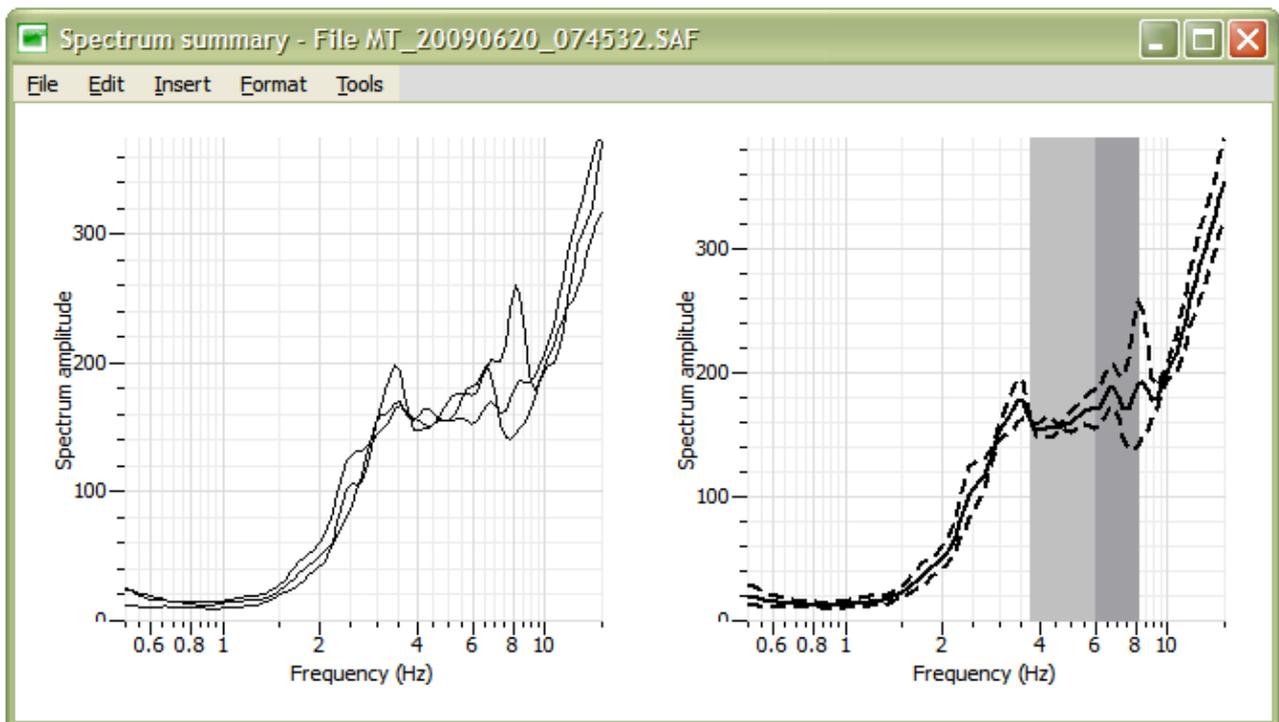
Verrà mostrata la finestra di dialogo standard per la selezione di file, da cui andrà scelto il file con estensione “.log” esportato al termine dell'elaborazione HVSR.

Geopsy leggerà da questo file il numero e la lunghezza delle finestre utilizzate in precedenza e le selezionerà automaticamente nel grafico del segnale utilizzato per il calcolo.

Premendo il pulsante *Start* nella sezione *Time* sarà avviato il calcolo degli spettri, il cui risultato è mostrato in due finestre separate rappresentate nelle figure seguenti.



I tre grafici della finestra *Spectrum Results* rappresentano i singoli spettri, nella classica visualizzazione con spettro medio, curve di confidenza e uno spettro colorato per ogni finestra.



Il grafico a sinistra nella finestra *Spectrum summary* raggruppa gli spettri medi di tutte e tre le componenti; agendo sulla finestra delle proprietà è possibile modificare il colore delle curve in modo da riconoscere a quale componente appartiene ciascuno spettro.

Il grafico a destra rappresenta lo spettro medio complessivo e la sua deviazione standard.

Valutazione della stazionarietà e della direzionalità del rapporto H/V

Altre informazioni che aiutano ad avere un'idea della bontà dell'indagine HVSR riguardano la stazionarietà e la direzionalità del rapporto H/V.

Per stazionarietà si intende la stabilità del rapporto H/V lungo tutta la durata dell'indagine: i singoli rapporti H/V correlati ciascuno ad una finestra temporale dovrebbero essere più simili possibile, specie per quanto riguarda la frequenza a cui si manifesta il picco, o i picchi, di ampiezza del rapporto. In Geopsy non è possibile generare un grafico che riassume questa informazione, anche se si può avere un'idea della stazionarietà del rapporto osservando le curve colorate, che rappresentano i singoli rapporti H/V, nel grafico del rapporto H/V definitivo.

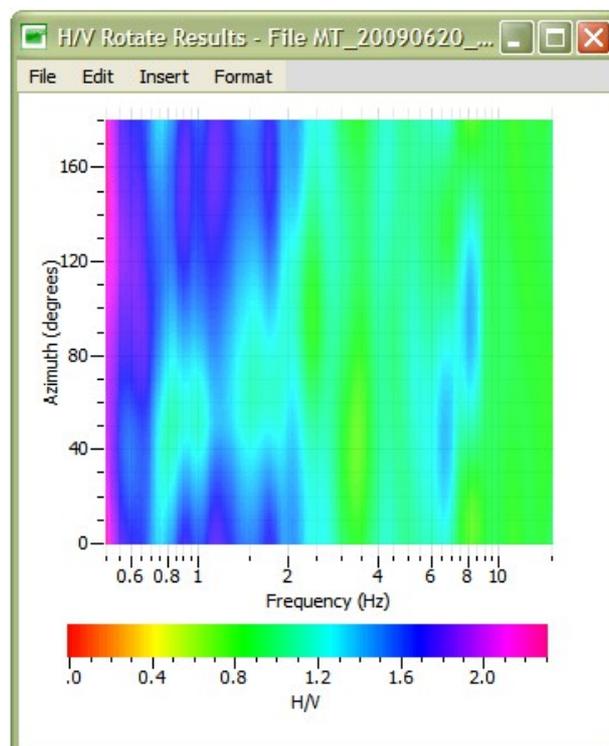
La direzionalità del rapporto H/V è invece l'informazione riguardante la direzione di provenienza del segnale sul semipiano orizzontale, che può aiutare a rilevare l'eventuale situazione non desiderabile in cui si ha la polarizzazione del segnale lungo una certa direttrice.

In Geopsy è possibile ricavare il grafico di direzionalità del rapporto H/V tramite il tool *H/V rotate*, accessibile dall'apposita icona nella consueta barra degli strumenti in alto.



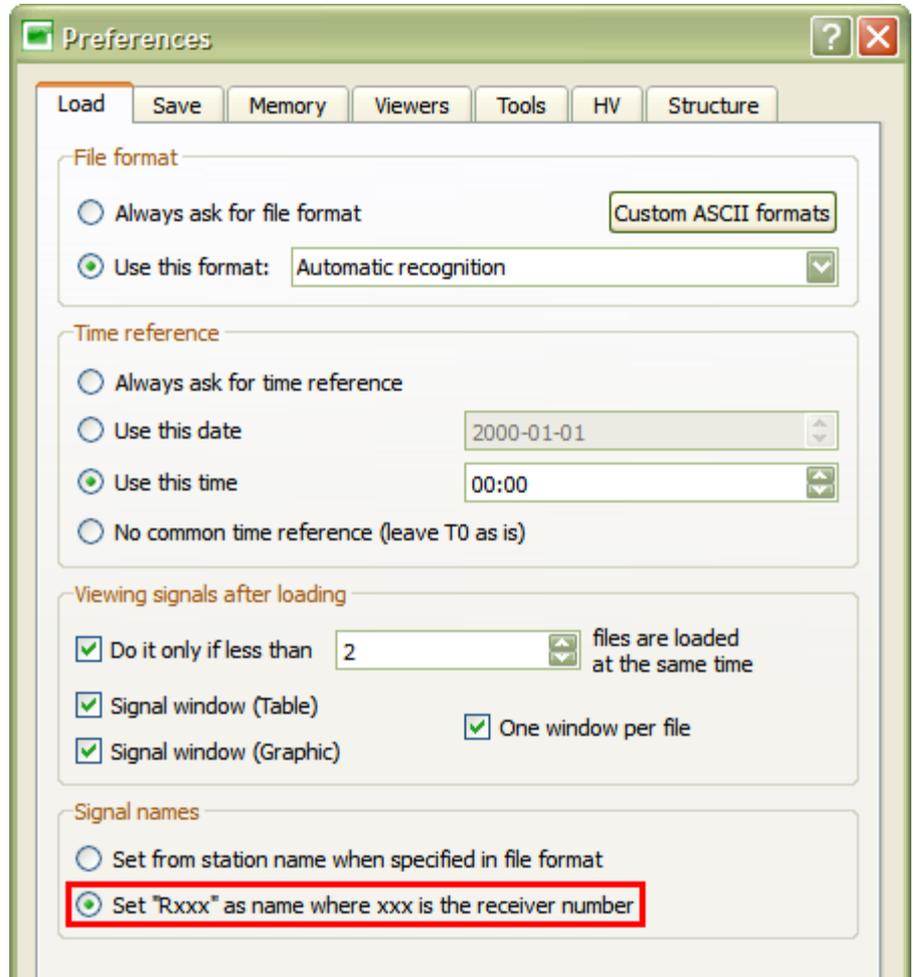
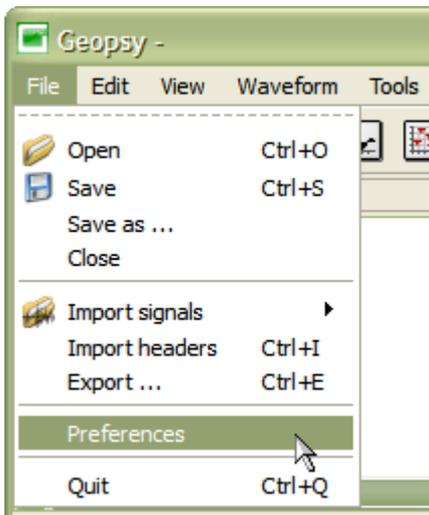
L'elaborazione si svolge in modo praticamente identico a quella per il rapporto H/V semplice o per gli spettri delle singole componenti.

Il risultato finale è un grafico simile al seguente, ottenuto dalla produzione di un rapporto H/V per ogni 10° di rotazione, che riporta sulle ascisse la frequenza, sulle ordinate la rotazione e in cui il colore rappresenta l'ampiezza del rapporto.

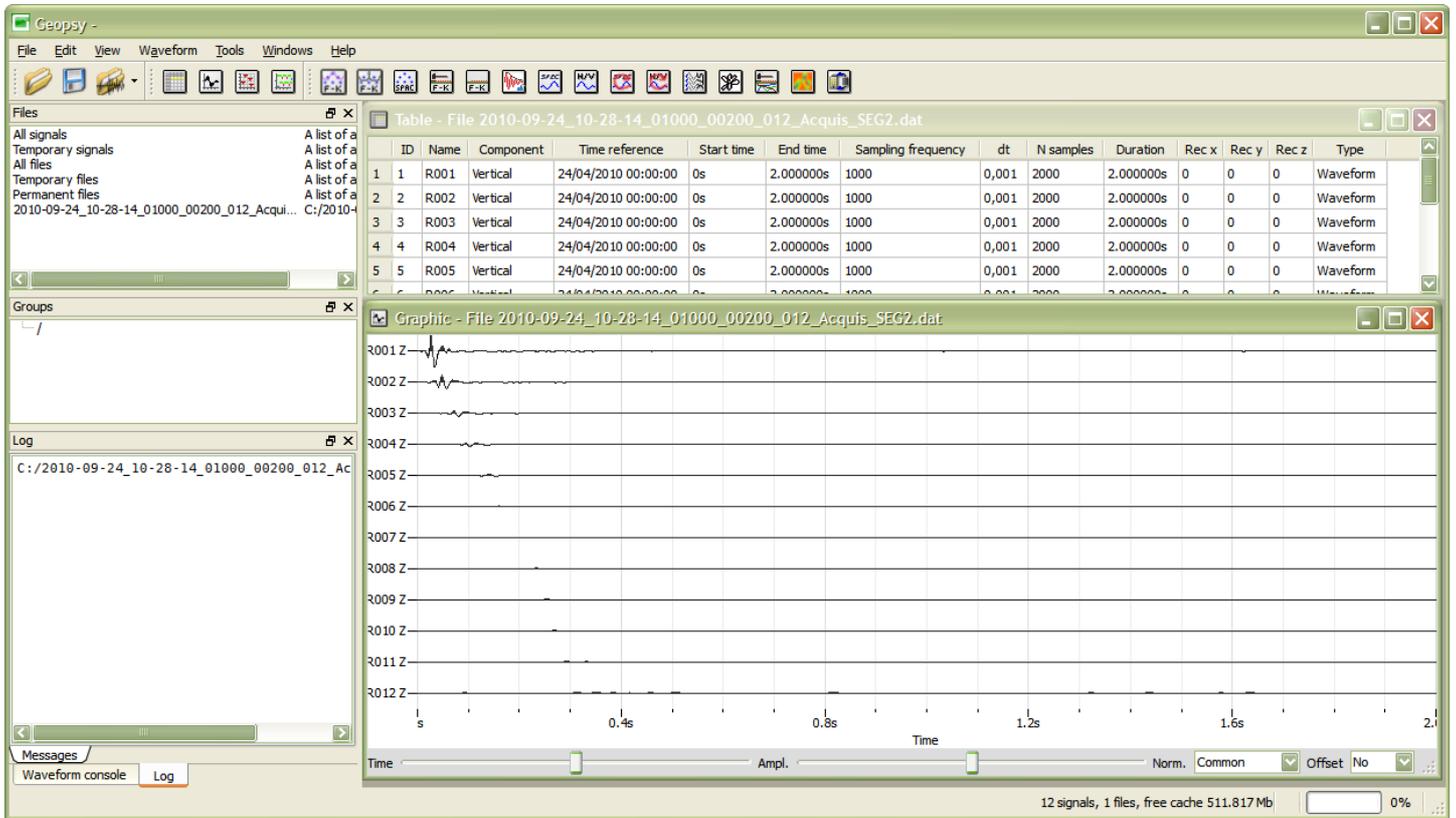


Elaborazione prova MASW (F-K attiva)

Prima di importare il file contenente i dati di campagna, tipicamente in formato SEG2, si deve aprire la finestra delle impostazioni del programma, tramite la voce di menù *File* → *Preferences*, e selezionare la voce *Set "Rxxx" as name where xxx is the receiver number* nel riquadro *Signal names*, in basso nella sezione *Load*.

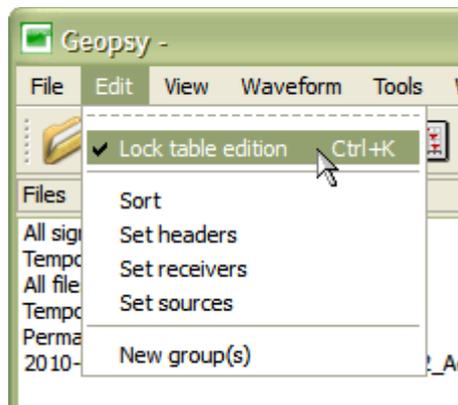


Va poi importato il file, nello stesso modo in cui si importa il file per l'elaborazione HVSR. La finestra principale di Geopsy apparirà come nella figura seguente.



La finestra *Table* riporta le componenti del file e le caratteristiche di acquisizione di ogni canale. La finestra *Graphic* mostra il segnale nella serie temporale.

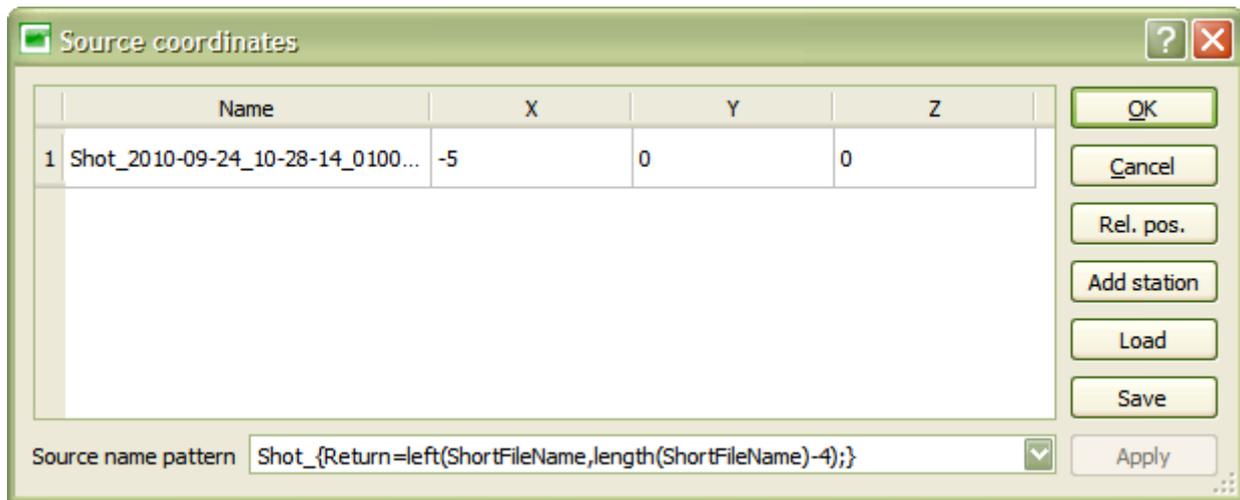
Per inserire la geometria, se necessario, va modificata la tabella, in particolare, per geometrie lineari, la colonna *Rec x*. Per farlo va prima sbloccata la tabella, togliendo la spunta alla voce di menù *Edit* → *Lock table edition*.



A questo punto è possibile modificare manualmente la tabella e impostare le coordinate di ogni ricevitore.

Un modo alternativo per farlo è utilizzare la finestra che viene aperta dalla voce di menù *Edit* → *Set receivers*, anche senza sbloccare la tabella.

Vanno poi inserite le coordinate del punto di battuta, utilizzando la voce di menù *Edit* → *Set sources*, che causa l'apertura di una finestra come la seguente.



Una volta inserita la geometria dello stendimento si può avviare il tool per l'elaborazione della MASW, dall'apposita icona nella barra degli strumenti in alto, *Linear F-K for active experiments*.



Il tool *Linear F-K* permette di includere o escludere parte dei dati secondo criteri spaziali o temporali. Si può decidere, ad esempio, di escludere le tracce più vicine al punto di battuta, agendo sui campi *Minimum* e *Maximum* nella sezione *Pre-processing*, o di considerare solo il primo secondo, tramite i campi *From* e *To* della sezione *Processing*.

Nella sezione *Output* si possono invece indicare i limiti della frequenze e delle velocità da considerare.

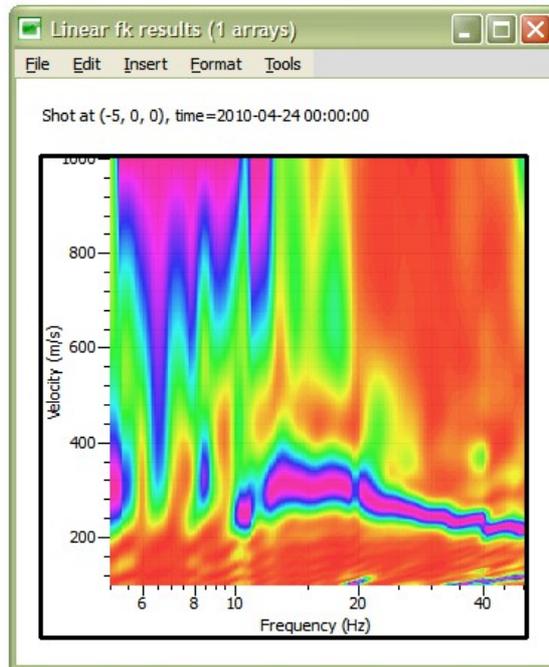
All'apertura del tool viene anche visualizzato un grafico delle tracce nel dominio del tempo in cui viene evidenziata, per ogni canale, la porzione che verrà sottoposta ad elaborazione, in modo simile alla finestrazione dell'elaborazione HVSR.

Per approfondire il significato di ogni campo e casella delle tre sezioni si rimanda alla documentazione online di Geopsy sull'argomento (in inglese), che attualmente si trova all'indirizzo:

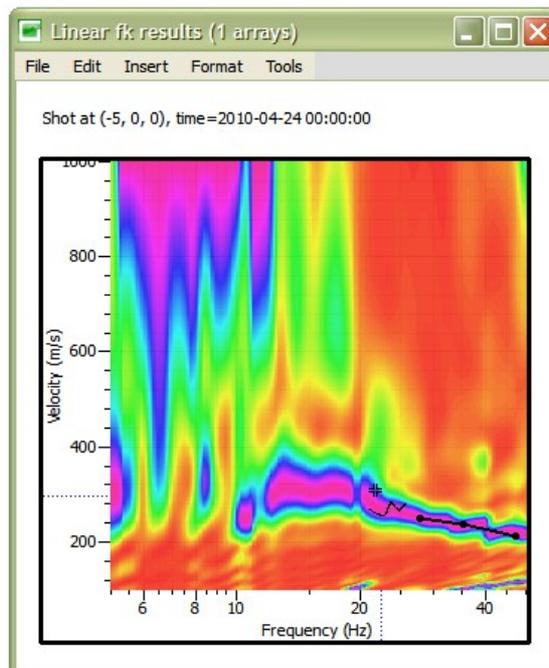
[http://www.geopsy.org/wiki/index.php/Active_source_experiment\(MASW\)](http://www.geopsy.org/wiki/index.php/Active_source_experiment(MASW))

Dopo aver terminato la fase di impostazione dei parametri, si può avviare l'elaborazione tramite il pulsante *Start*, nella parte bassa della finestra.

Il risultato dell'elaborazione MASW è mostrato nella finestra che segue e rappresenta il cosiddetto spettro F-K.

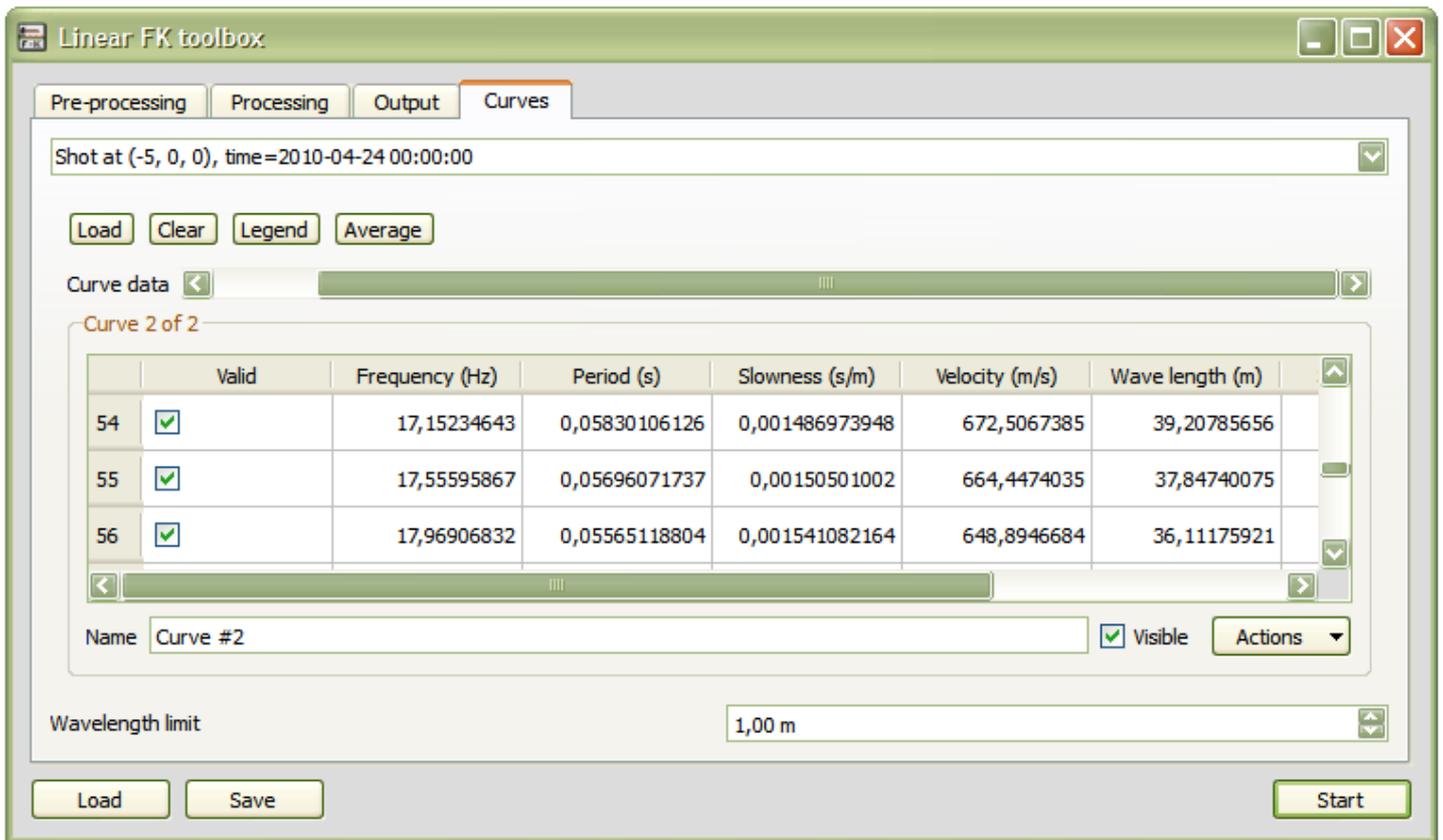


A questo punto è possibile effettuare il picking della curva di dispersione, sia in modalità manuale che automatica, agendo rispettivamente sulle voci *Pick curves* e *Auto pick curves* del menù *Tools*. La finestra che segue mostra come si presenta la finestra nel corso del picking manuale.

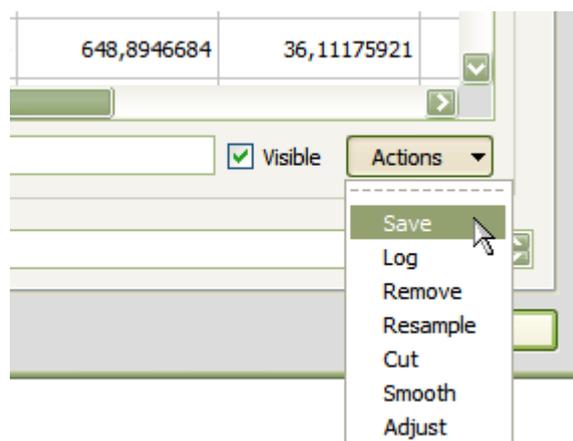


Cliccando con il mouse sopra il grafico è possibile selezionare i punti che, uniti, andranno a formare la curva di dispersione.

Dopo aver completato il picking è possibile visualizzare in forma tabellare, modificare o eliminare le curve selezionate dalla sezione *Curves* del tool per l'elaborazione MASW, mostrata nell'immagine che segue, in particolare tramite l'utilizzo del pulsante *Actions*.



Infine, selezionando la voce *Save* del menù che viene mostrato cliccando sul pulsante *Actions*, è possibile salvare su file i dati della curva di dispersione correntemente visualizzata nella tabella.

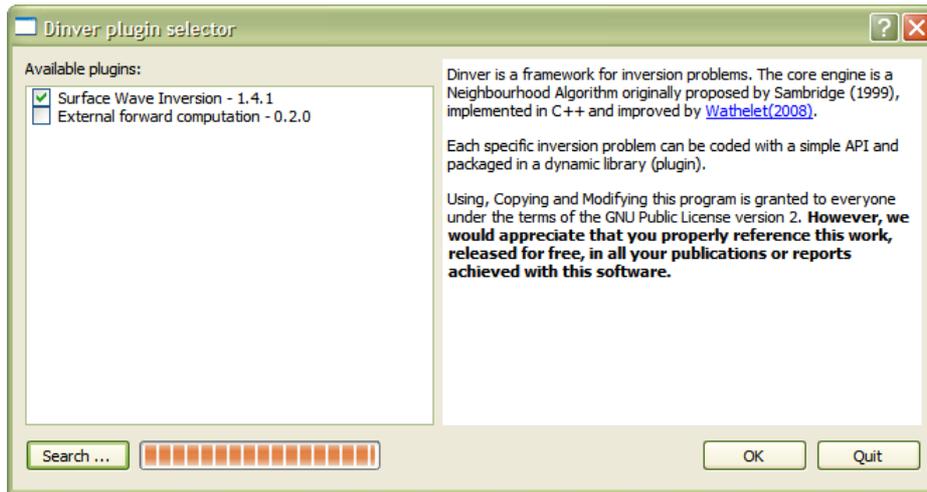


Inversione prova HVSR

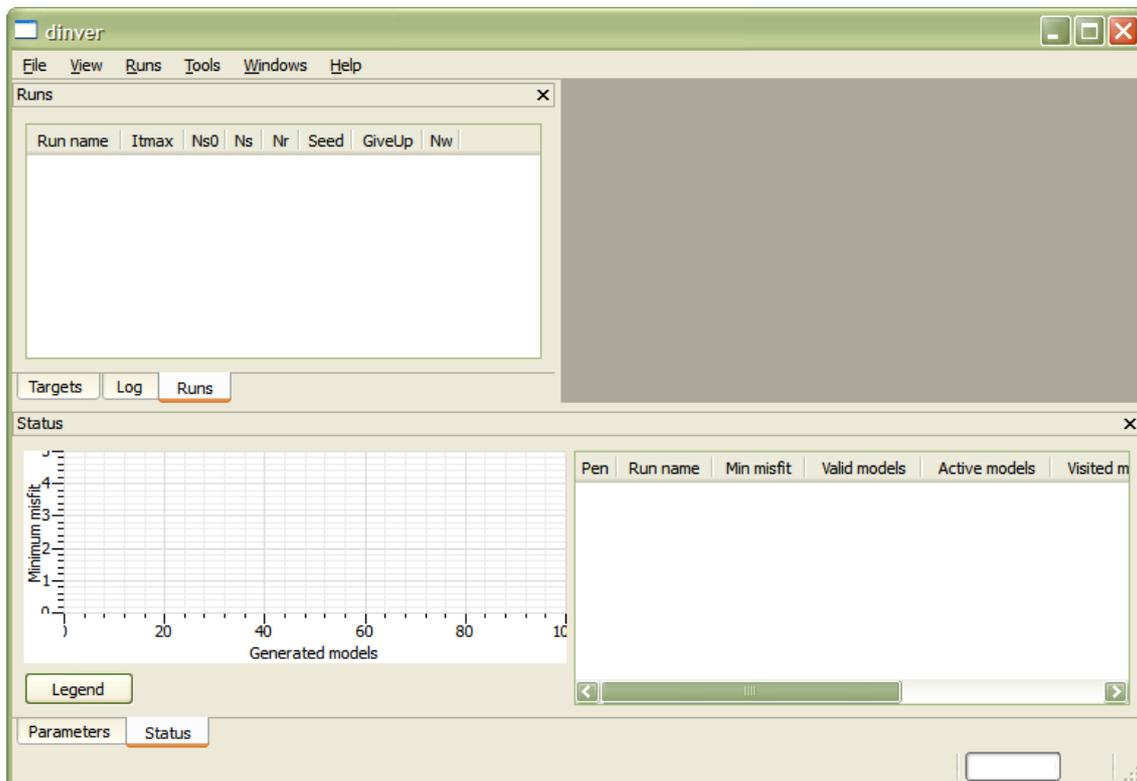
Tramite il modulo dinver è possibile effettuare l'inversione dei dati ottenuti dall'elaborazione HVSR, ovvero della cosiddetta “curva di ellitticità”, per ricavare il profilo stratigrafico dell'area soggetta ad indagine.

Avvio e caricamento dei dati

All'avvio, dinver mostra una schermata simile alla seguente. Bisogna assicurarsi che sia spuntata la casella *Surface Wave Inversion*, dopo di che va premuto il pulsante *OK*.

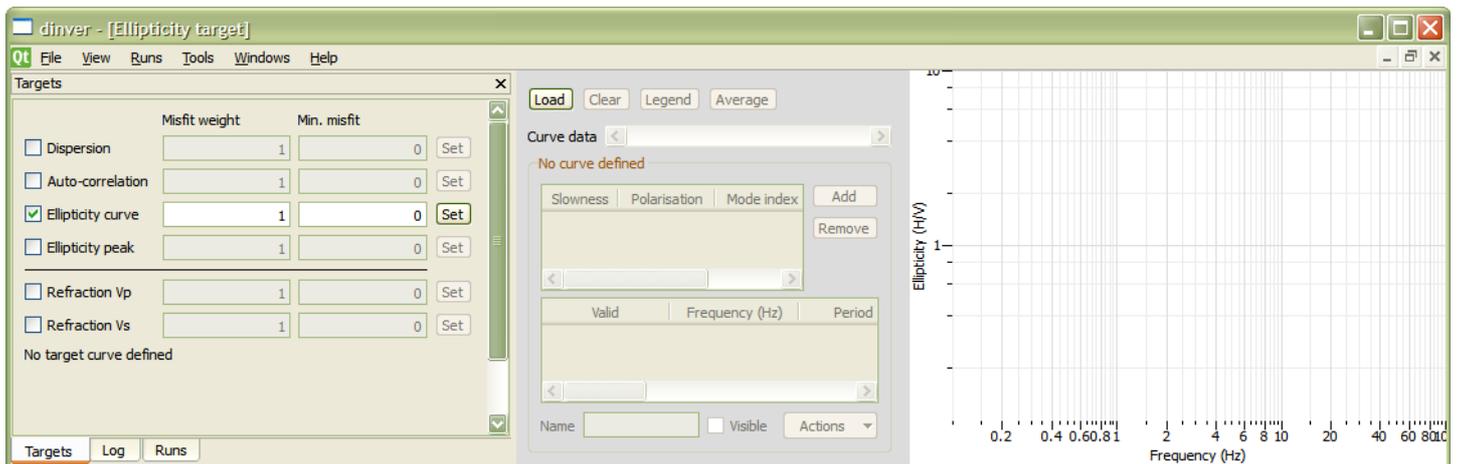


La finestra principale di dinver è rappresentata nella figura sottostante.



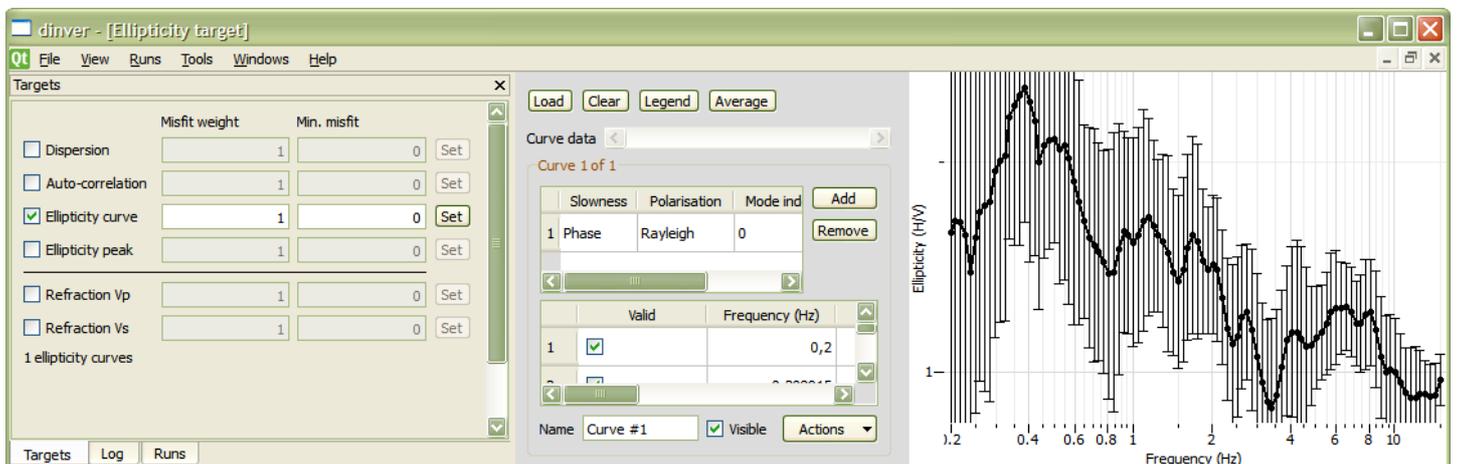
Per caricare i dati della curva di ellitticità calcolata tramite Geopsy va innanzitutto selezionata la sezione *Targets* nel riquadro *Runs*, in alto a destra, tramite l'apposita etichetta, dopo di che si deve spuntare la casella *Ellipticity curve* e cliccare sul pulsante *Set* a fianco, lasciando invariato il contenuto dei campi *Misfit weight* e *Min. misfit*.

Dopo aver cliccato il pulsante *Set*, l'area che prima era vuota sulla destra del riquadro *Targets*, si riempie con i campi e pulsanti necessari per la visualizzazione di un rapporto H/V precedentemente calcolato, come mostrato nella figura seguente.



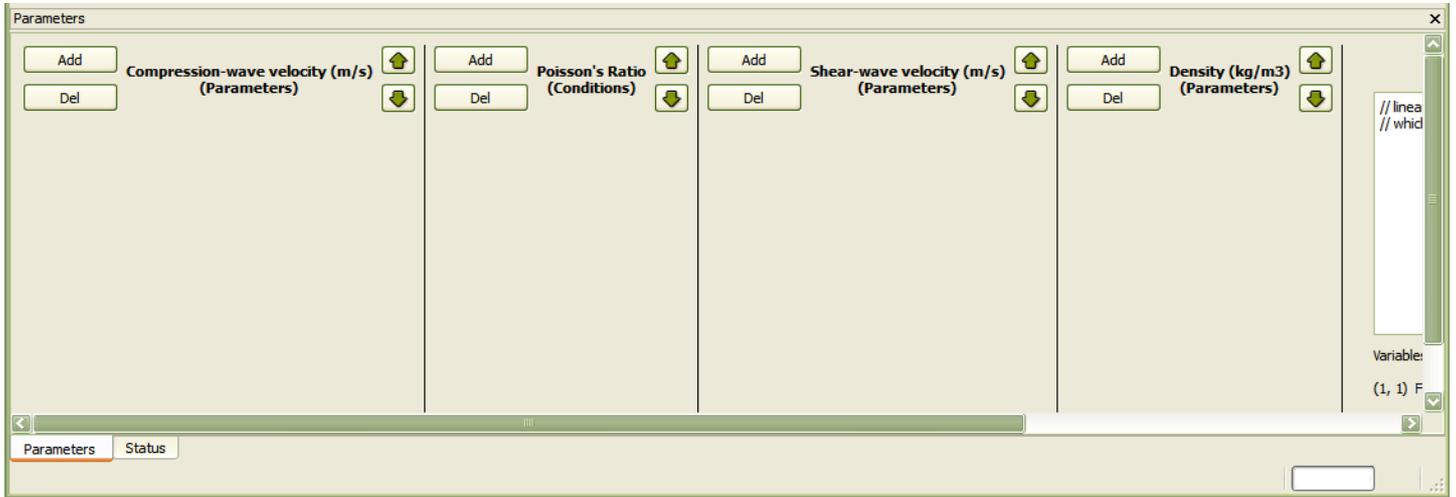
Cliccando sul pulsante *Load* viene mostrata una finestra di dialogo standard per la selezione di file, da cui va scelto il file con estensione “.hv” risultante dall'elaborazione HVSR.

Una volta caricato il file il riquadro *Targets* appare come nell'immagine seguente.



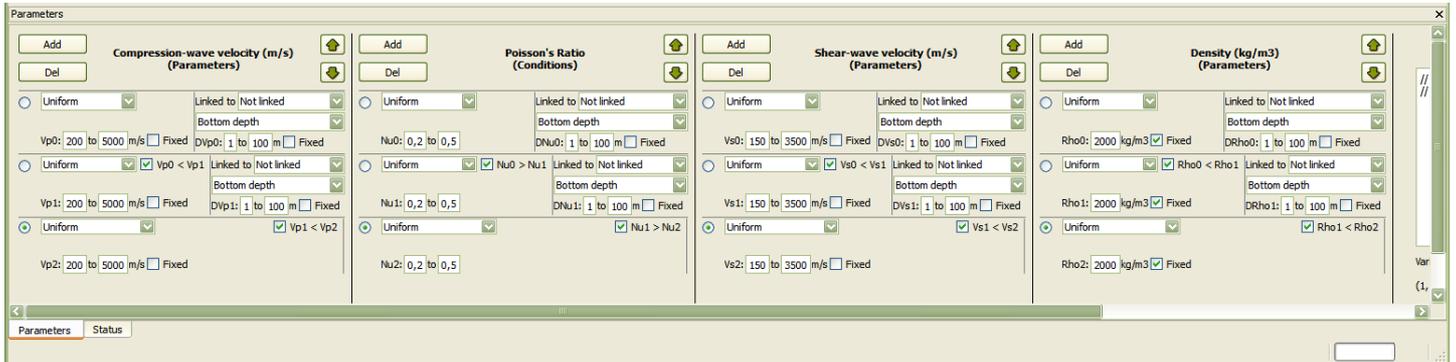
Inserimento della stratigrafia

Per inserire la stratigrafia di riferimento va selezionata la sezione *Parameters* nel riquadro *Status*, in basso, che apparirà inizialmente come nella figura seguente.



È evidente la separazione dei parametri in 4 sezioni, ognuna delle quali corrisponde a una caratteristica stratigrafica. Per ogni sezione va aggiunto il numero di strati desiderato, cliccando sul corrispondente pulsante *Add*, e per ogni strato inserito vanno specificati lo spessore e i valori caratteristici, fissi o variabili entro un certo range.

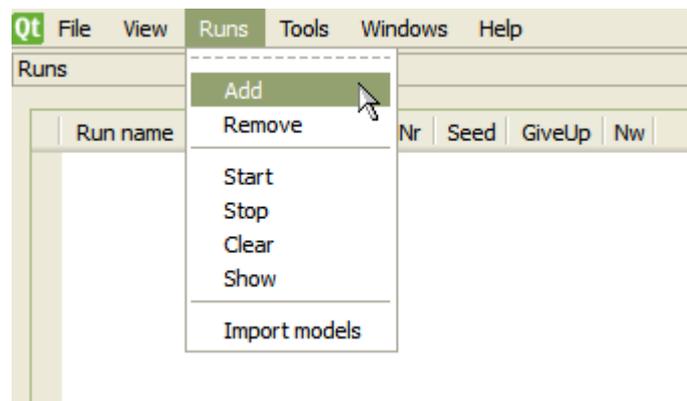
Al termine dell'operazione, che è indubbiamente la più delicata dell'intero procedimento, la finestra apparirà come nell'immagine seguente, in cui sono stati inseriti tre strati, compreso il bedrock, con caratteristiche casuali.



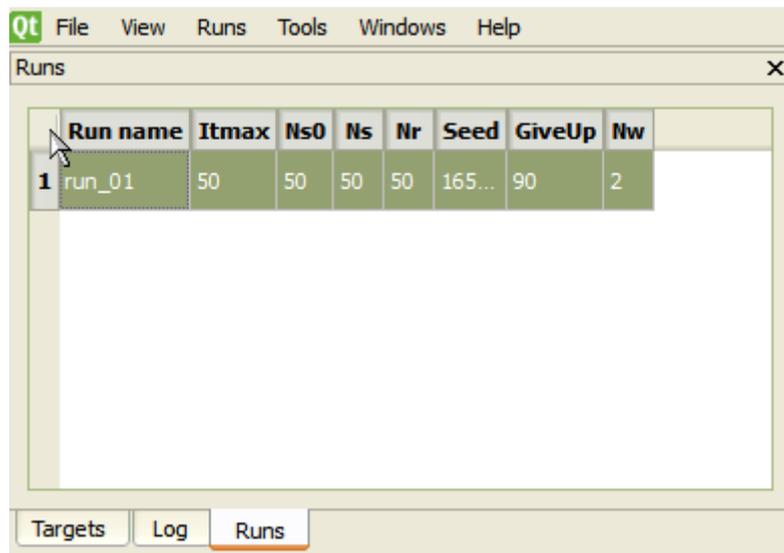
Avvio del processo di inversione

Dopo aver inserito la stratigrafia è possibile avviare il processo di inversione automatica, attraverso cui dinver calcolerà migliaia di modelli stratigrafici, a partire da quello inserito, cercando quello che corrisponde alla curva di ellitticità sintetica che meglio approssima quella sperimentale.

Per avviare l'inversione bisogna utilizzare la voce di menù *Runs* → *Add*, indicando così di eseguire il processo di inversione sulla stratigrafia appena inserita.



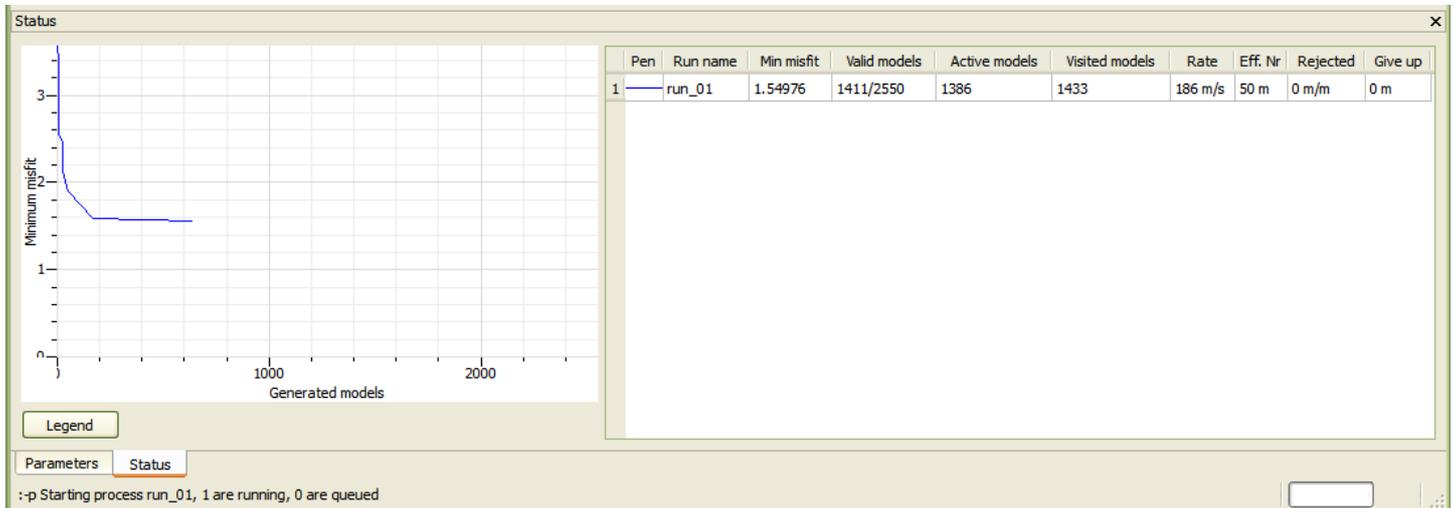
Si deve poi passare alla sezione *Runs* del riquadro *Runs* e cliccare sull'angolo in alto a sinistra della griglia mostrata, in modo da selezionare la riga appena inserita.



Infine, utilizzando la voce di menù *Runs* → *Start* si dà inizio al processo di inversione.

È possibile vedere l'avanzamento del processo, che dura alcuni secondi, dalla sezione *Status* del riquadro *Status*, in basso, che appare come nella figura che segue.

Lo scopo del processo è quello di cercare il modello stratigrafico corrispondente alla curva di ellitticità sintetica per cui il misfit, ovvero la differenza con la curva di ellitticità sperimentale, è minore.



Il grafico a sinistra rappresenta l'andamento del misfit in funzione del numero di modelli generati. È chiaro come man mano che vengono generati nuovi modelli il misfit tende a diminuire.

La tabella a destra mostra diverse informazioni, tra cui il numero di modelli e il miglior misfit ottenuto.

L'elaborazione termina quando vengono generati tutti i modelli previsti, ovvero, facendo riferimento alla figura d'esempio, quando nella colonna *Valid models* della griglia viene visualizzato "2550/2550". A quel punto, utilizzando come indicazione il valore definitivo riportato nella colonna *Min misfit* è possibile visualizzare graficamente il risultato dell'elaborazione.

Visualizzazione dei risultati

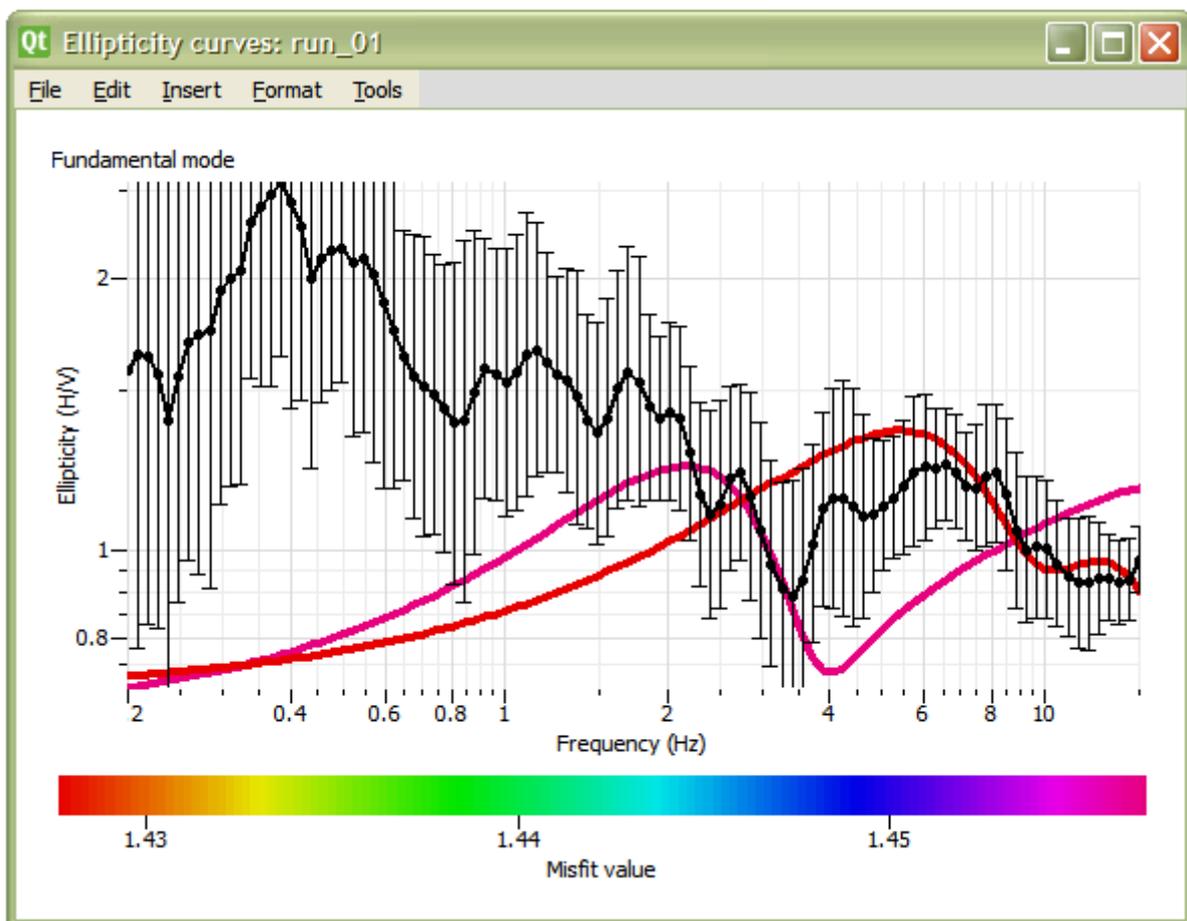
Al termine dell'inversione è possibile visualizzare tutti i modelli stratigrafici e le corrispondenti curve di ellitticità generati nel corso dell'elaborazione.

Ovviamente saranno di reale interesse solo quei due o tre per cui il misfit è minore.

Per visualizzare le curve di ellitticità sintetiche sovrapposte a quella sperimentale, in modo da valutare anche visivamente la bontà dell'elaborazione, si deve selezionare la voce *View* → *Ellipticity* del menù principale.

Verrà visualizzata una finestra in cui inserire un valore di misfit massimo: tutti i modelli per cui il misfit è minore del valore inserito verranno visualizzati. Solitamente è consigliabile inserire un valore appena superiore al minimo misfit ottenuto, riportato nella relativa colonna della tabella del riquadro *Status*.

Nel nostro esempio il misfit minimo è circa 1,43; inserendo un valore di 1,50 vengono selezionati due modelli, la cui rappresentazione è mostrata nella figura seguente.



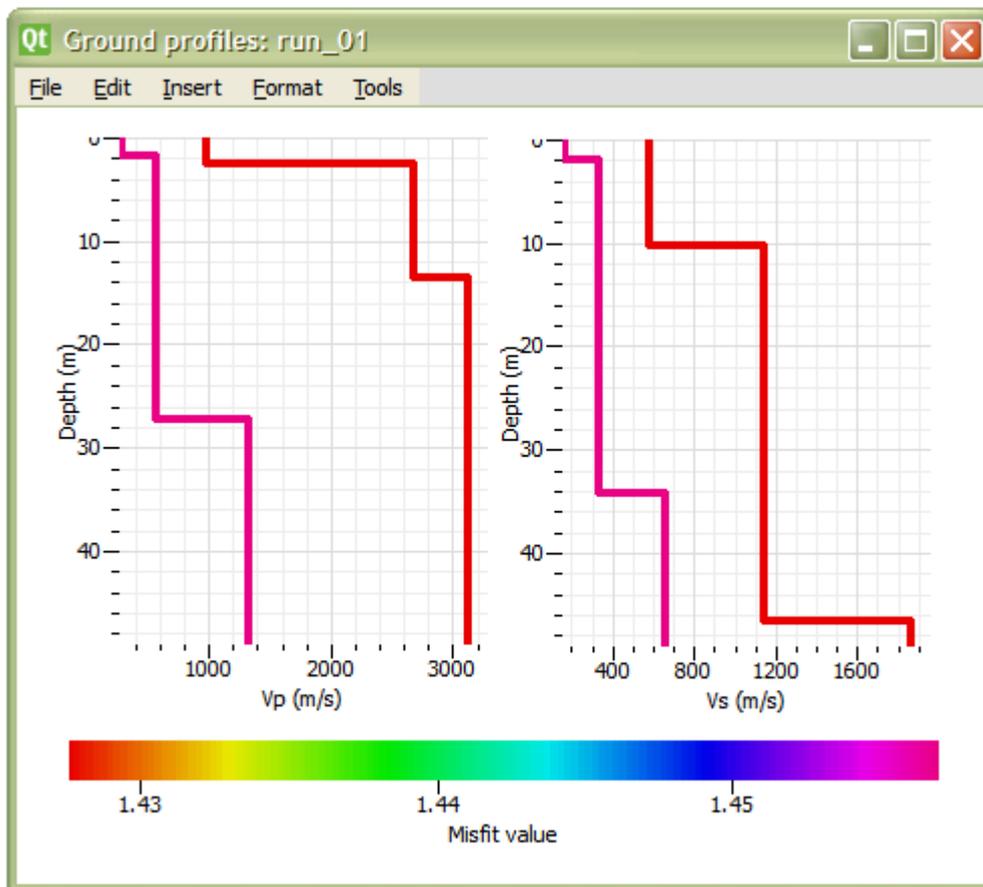
La rappresentazione del grafico e della legenda può essere modificata a piacimento, come in Geopsy, cliccando con il tasto destro sopra l'oggetto e selezionando la voce *Properties* dal menù contestuale che viene mostrato.

Lo stesso vale per la copia dell'immagine negli appunti di Windows, che si può eseguire tramite la voce *Edit* → *Copy image* del menù della finestra che contiene il grafico.

Per visualizzare i profili stratigrafici corrispondenti alle curve con il miglior misfit bisogna invece utilizzare la voce *View* → *Ground profiles* del menù principale.

Anche in questo caso viene mostrata una finestra in cui inserire un valore di misfit di riferimento. La finestra contiene anche il campo *Ground profiles*: solitamente va inserito il valore “2”, in modo da visualizzare sia il grafico delle Vs che quello delle Vp.

Inserendo il valore di 1,50 nel campo *Maximum misfit* viene visualizzata la finestra seguente.



Anche in questa finestra la modifica dell'aspetto grafico e la copia delle immagini si possono effettuare come di consueto.

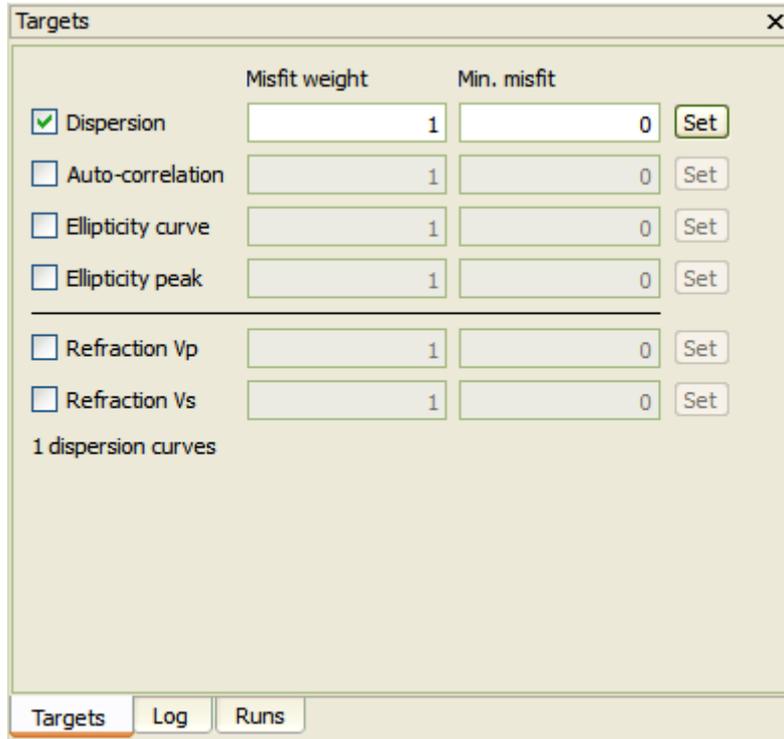
Per ulteriori informazioni sull'uso di dinver si rimanda alla sua documentazione online (parziale, in inglese), che attualmente si trova all'indirizzo:

<http://www.geopsy.org/wiki/index.php/Dinver>

Inversione prova MASW

L'inversione della curva di dispersione ottenuta dall'elaborazione MASW si effettua seguendo praticamente lo stesso procedimento dell'inversione HVSR.

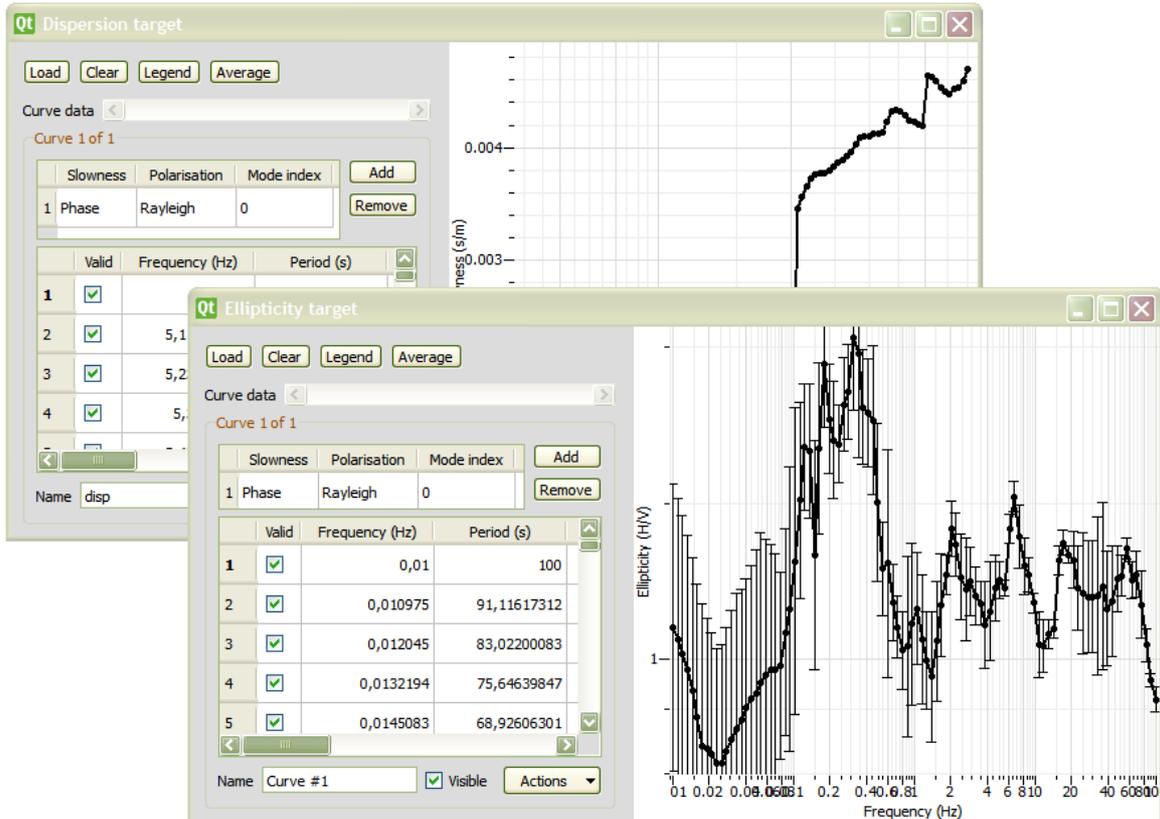
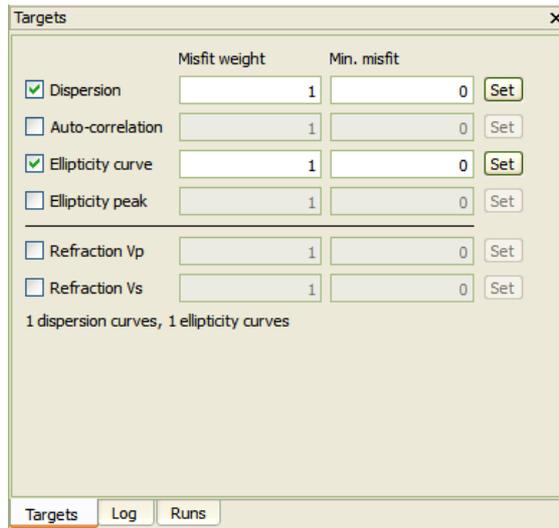
La differenza principale è che il set di dati deve essere caricato spuntando la casella *Dispersion*, nella sezione *Targets* del riquadro *Targets* della finestra principale di dinver, come mostrato nella figura che segue.



Inversione congiunta HVSR – MASW

Tramite dinver è anche possibile effettuare l'inversione congiunta di MASW e HVSR, indicando che l'algoritmo di ricerca deve tener conto sia della curva di dispersione ricavata da un'indagine MASW che della curva di ellitticità ottenuta da un'indagine HVSR.

Per fare questo basta spuntare sia la casella *Dispersion* che la casella *Ellipticity curve* nella sezione *Targets* del riquadro *Targets* della finestra principale di dinver e caricare entrambi i set di dati tramite il rispettivo pulsante *Set*, come mostrato nelle immagini seguenti, dopo di che l'elaborazione si esegue come di consueto, con l'inserimento della stratigrafia e l'avvio dell'inversione.



I criteri SESAME

Il documento che stabilisce le linee guida per l'esecuzione di indagini HVSR, redatto nell'ambito del progetto SESAME, indica una serie di criteri che la curva risultante dall'indagine e l'area circostante la frequenza di picco, o f_0 , dovrebbero soddisfare, noti come criteri SESAME.

Come detto in precedenza, il fatto che i criteri siano soddisfatti non implica necessariamente che l'indagine sia stata effettuata correttamente; viceversa, quando i criteri non sono soddisfatti non significa che l'indagine sia da scartare a priori.

In ogni caso, la verifica del rispetto di questi criteri si rivela spesso utile per determinare se l'indagine è rilevante dal punto di vista geofisico o se ci sia la necessità di approfondire ulteriormente la situazione.

I criteri SESAME, come riportati nel documento ufficiale, sono elencati nel prospetto seguente.

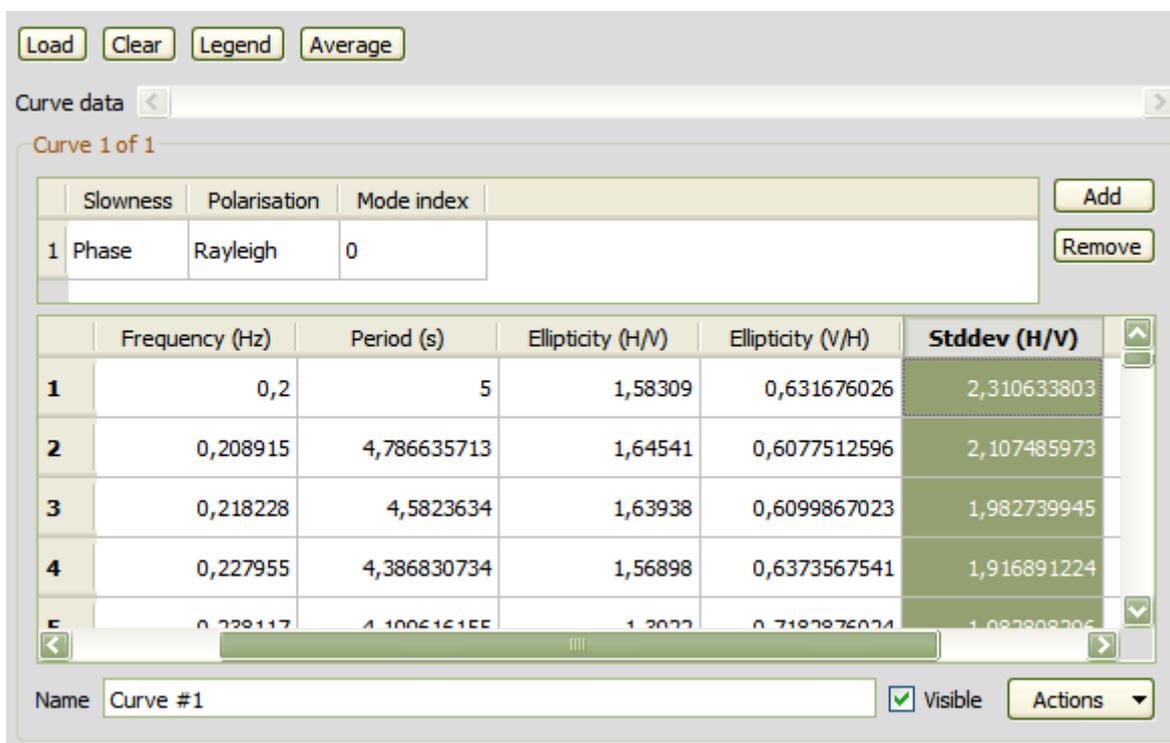
<p>Criteria for a reliable H/V curve</p> <p>i) $f_0 > 10 / l_w$ <i>and</i></p> <p>ii) $n_c(f_0) > 200$ <i>and</i></p> <p>iii) $\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ or $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$</p>	<ul style="list-style-type: none"> • l_w = window length • n_w = number of windows selected for the average H/V curve • $n_c = l_w \cdot n_w$. 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
<p>Criteria for a clear H/V peak <i>(at least 5 out of 6 criteria fulfilled)</i></p> <p>i) $\exists f \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0/2$</p> <p>ii) $\exists f^+ \in [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$</p> <p>iii) $A_0 > 2$</p> <p>iv) $f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$</p> <p>v) $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$</p> <p>vi) $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$</p>	

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

L'operazione preliminare è la scelta della frequenza alla quale verificare il rispetto dei criteri, che sarà identificata come f_0 : questa è solitamente la frequenza di picco, ovvero la frequenza a cui si trova il punto massimo della curva H/V.

I primi tre criteri riguardano l'affidabilità della curva nel suo insieme e la correttezza delle finestre temporali scelte per l'elaborazione.

1. Il criterio richiede che in ogni finestra temporale la componente del segnale alla frequenza di picco compia almeno 10 cicli. Ad esempio, se la f_0 è 0,5 Hz, corrispondente a un periodo di 2 secondi, le finestre temporali devono essere lunghe almeno 20 secondi; se le finestre sono lunghe 30 secondi, si avranno 15 cicli. La formula riportata nei criteri presuppone che tutte le finestre siano della stessa lunghezza; se le finestre sono di lunghezza diversa il criterio andrebbe verificato per ogni finestra.
2. Perché il criterio sia rispettato, la somma del numero di cicli di tutte le finestre deve essere superiore a 200. La formula riportata nei criteri presuppone che tutte le finestre siano della stessa lunghezza; se le finestre sono di lunghezza diversa va effettuata la somma dei risultati dell'operazione $f_0 * l_w$ effettuata per ogni finestra, in cui l_w è la lunghezza in secondi di ogni finestra.
3. Secondo questo criterio, la deviazione standard del rapporto H/V nell'intervallo di frequenze compreso tra la metà e il doppio di f_0 deve essere inferiore a 2 o a 3 in base al valore di f_0 . La deviazione standard si può ricavare dalle curve di confidenza, sapendo che si ottengono moltiplicando e dividendo il valore di ampiezza del rapporto H/V proprio per la deviazione standard. Per comodità è possibile ricavarla dalla tabella che si ottiene caricando in dinver il file in formato “.hv” prodotto da Geopsy come risultato dell'elaborazione HVSR. Le modalità di caricamento del file sono indicate nei paragrafi precedenti e un esempio di come l'informazione viene riportata è visibile nella figura seguente.



	Slowness	Polarisation	Mode index			
1	Phase	Rayleigh	0			
	Frequency (Hz)	Period (s)	Ellipticity (H/V)	Ellipticity (V/H)	Stddev (H/V)	
1	0,2	5	1,58309	0,631676026	2,310633803	
2	0,208915	4,786635713	1,64541	0,6077512596	2,107485973	
3	0,218228	4,5823634	1,63938	0,6099867023	1,982739945	
4	0,227955	4,386830734	1,56898	0,6373567541	1,916891224	
5	0,238117	4,19616155	1,3022	0,7182876024	1,882888206	

Questi primi tre criteri dovrebbero essere tutti rispettati.

I sei criteri seguenti riguardano invece la chiarezza del picco, sia rispetto alle frequenze circostanti la f_0 che alla sua stabilità nei rapporti H/V delle singole finestre.

4. Questo criterio indica che, nell'intervallo di frequenze compreso tra la f_0 e un quarto di f_0 esista almeno una frequenza per cui il valore di ampiezza del rapporto H/V sia minore della metà dell'ampiezza alla frequenza f_0 ; ciò significa quindi che il picco deve essere ben distinto rispetto al resto della curva alle frequenze più basse di f_0 .
5. Questo criterio è simmetrico rispetto al precedente, richiedendo che sia soddisfatta la stessa condizione nell'intervallo di frequenze comprese tra f_0 e il suo quadruplo.
6. Secondo questo criterio l'ampiezza del rapporto H/V alla frequenza f_0 deve essere maggiore di 2.
7. Le curve di confidenza solitamente presentano anch'esse un picco in corrispondenza del picco della curva media. Perché questo criterio sia rispettato la frequenza del picco delle curve di confidenza deve trovarsi nell'intervallo di frequenze delimitato dalla $f_0 \pm 5\%$.
8. Il picco evidenziato nella curva H/V media si trova anche nelle curve ricavate dall'elaborazione sulle singole finestre temporali, a una frequenza simile a f_0 . Questo criterio richiede che la deviazione standard della frequenza del picco nelle singole finestre si mantenga al di sotto di una soglia dipendente da f_0 ; le soglie sono indicate nell'apposita tabella sopra riportata.
9. Quest'ultimo criterio richiede che la deviazione standard dell'ampiezza della curva H/V media del singolo punto alla frequenza f_0 si mantenga al di sotto di una soglia dipendente da f_0 ; le soglie sono indicate nell'apposita tabella sopra riportata.

Perché il picco sia ritenuto chiaro, almeno cinque di questi sei criteri devono essere soddisfatti.

Verifica del rispetto dei criteri SESAME con Geopsy

Geopsy non permette di verificare direttamente i criteri SESAME, ma è possibile farlo piuttosto facilmente esaminando il contenuto dei file prodotti al termine dell'elaborazione del rapporto H/V, ovvero i file di formato “.hv” e “.log” menzionati in precedenza.

Alcuni dei dati richiesti per la verifica dei criteri sono visualizzabili tramite dinver. Come mostrato nel paragrafo precedente, caricando un file in formato “.hv” in dinver è possibile visualizzare in forma tabellare, per ogni frequenza, il valore del rapporto H/V medio, delle curve di confidenza e della deviazione standard. Tramite queste informazioni si può verificare il rispetto dei criteri 3, 4, 5, 6, 7 e 9.

Per conoscere la deviazione standard della frequenza di picco, necessaria per la verifica del criterio 8, basta aprire il file “.hv” con un editor di testo. Una delle righe di commento iniziali contiene la dicitura “#f0 from windows” e i tre valori numerici che seguono rappresentano rispettivamente la f_0 media e questo valore \pm la deviazione standard; sapendo questo, la deviazione standard della f_0 si può ottenere con una semplice operazione di addizione o sottrazione.

I criteri 1 e 2, infine, si possono verificare conoscendo la durata di ogni finestra, contenuta nella sezione finale del file “.log”, che inizia con la riga “### Time Windows ###”.