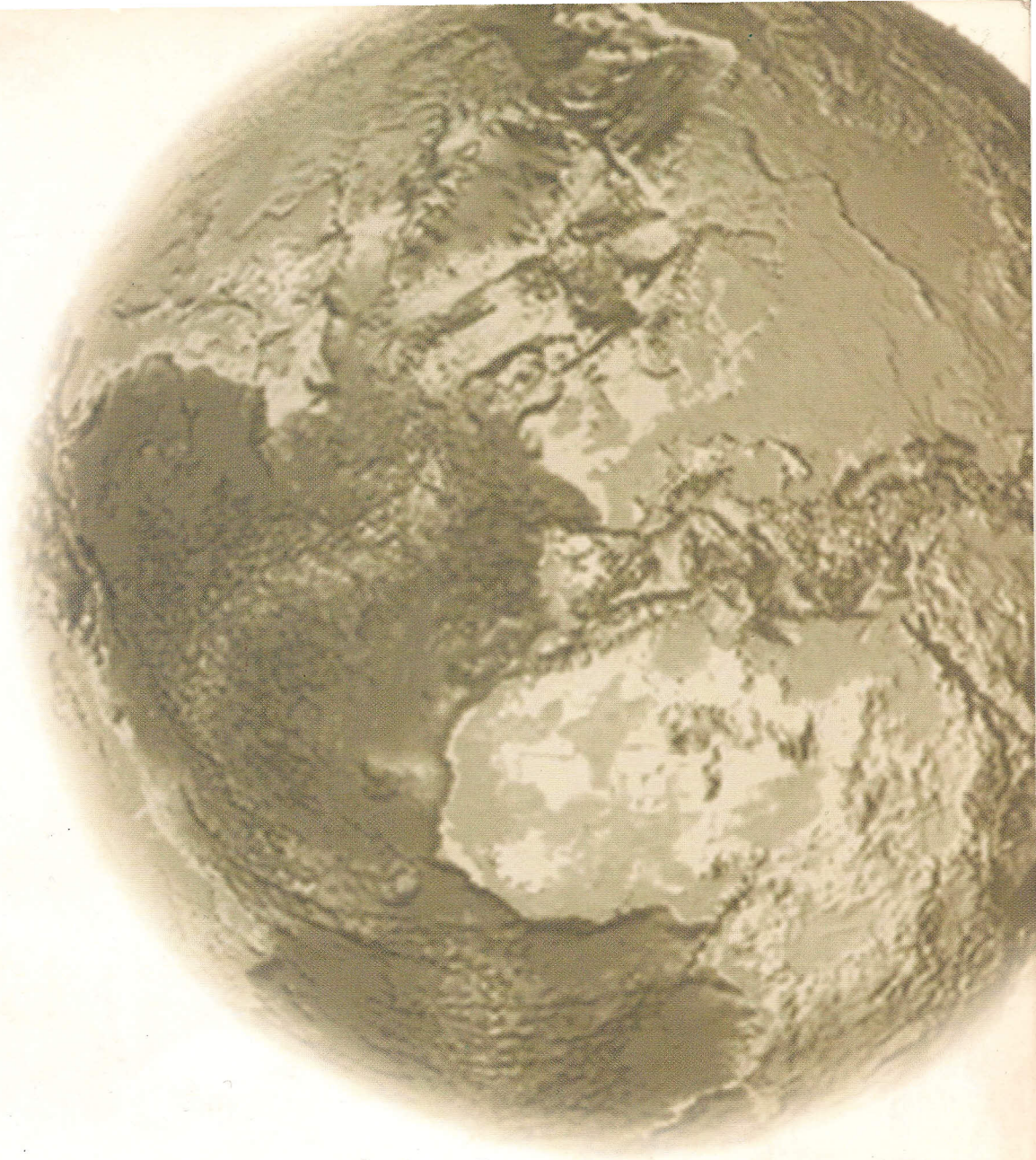




2004

**Manuale d'uso dei programmi
per lo scaricamento e l'analisi
semi-automatica dei dati registrati
da stazioni sismiche
per lo studio degli effetti di sito**

R. M. Azzara, F. Cara, G. Cultrera, G. Di Giulio

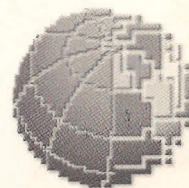
n. 25

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

Via di Vigna Murata 605 - 00143 Roma

tel. 06518601 • fax 065041181

www.ingv.it



Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

**Manuale d'uso dei programmi
per lo scaricamento e l'analisi semi-automatica
dei dati registrati da stazioni sismiche
per lo studio degli effetti di sito**

Riccardo M. Azzara
Fabrizio Cara
Giovanna Cultrera
Giuseppe Di Giulio

Luglio 2004

1. Introduzione	3
2. Trattamento dei dischi rigidi Reftek registrati dalle stazioni sismiche	4
2.1 Scaricamento dischi.....	4
2.2 Estrazione degli eventi sismici locali e trasformazione in formato SAC.....	6
2.3 Estrazione dei telesismi e degli eventi regionali e trasformazione in formato SAC.....	7
2.4 Inserimento delle coordinate epicentrali nell'header dei file SAC per Eventi locali	8
2.5 Inserimento delle coordinate epicentrali per Telesismi ed eventi regionali	9
3. Trattamento dei dischi rigidi MarsLite registrati dalle stazioni sismiche.....	10
3.1 Scaricamento dischi.....	11
3.2 Estrazione degli eventi sismici locali	13
3.3 Estrazione dei telesismi e degli eventi regionali.....	14
3.4 Eventi locali, regionali e telesismi estratti da dati MarsLite	15
4. Selezione delle forme d'onda	15
5. Macro SAC per lo studio degli effetti di sito.....	16
5.1 Confronto segnale rumore: sigtonoise	16
5.2 Calcolo della receiver function: receiver	18
5.3 Calcolo del rapporto spettrale rispetto ad un sito di riferimento: spratio	19
5.4 Macro speditiva rapspe	20
5.5 Analisi azimutale	21
5.6 Calcolo delle medie spettrali: medie.com.....	22
6. Analisi di rumore: rumore e averagespec.....	24
6.1 Macro rumore.....	24
6.2 Macro averagespec	25
6.3 Grafico noise: plot_noise	26
APPENDICE MACRO SAC	28
SIGTONOISE.....	28
RECEIVER.....	28
SPRATIO	29
RAP SPE	29
RUOTORATIO.COM.....	31
MEDIE.COM	31
RUMORE	32
AVERAGESPEC.....	33
Bibliografia:.....	34

1. Introduzione

Il quantitativo di dati prodotti dagli esperimenti di monitoraggio è cresciuto a tal punto nel corso degli ultimi anni che si è reso necessario sviluppare un insieme di procedure che consentano di rendere più rapido il processo di trasferimento dei dati registrati in campagna, la selezione degli eventi sismici attraverso le informazioni ricavate dai bollettini (dell'INGV per quanto riguarda i terremoti locali, del NEIC per quanto riguarda i telesismi e gli eventi regionali) o attraverso algoritmi di trigger e la conversione dei file estratti in un idoneo formato di archiviazione e di analisi.

Per analogia con quanto avviene per i dati registrati durante le campagne di monitoraggio temporaneo della rete sismica mobile dell'INGV si è scelto di memorizzare le forme d'onda degli eventi sismici in formato SAC binario (SAC denota il pacchetto di analisi "Seismic Analysis Code", sviluppato e distribuito dal Lawrence Livermore National Laboratory). Nell'header dei files SAC vengono inserite tutte le informazioni relative alla stazione sismica che ha prodotto il dato (codice della stazione sismica e sue coordinate geografiche) e all'evento sismico cui si riferisce la registrazione (coordinate ipocentrali e zona geografica così come riportate dai bollettini utilizzati) e tutti quei valori necessari per risalire dai conteggi digitali o dai valori in microVolt alla velocità o all'accelerazione del moto del suolo (modello, polarità e costante del sensore; modello, guadagno e risoluzione del digitalizzatore). Sfruttando le potenzialità dei codici SAC (sito web <http://www.llnl.gov/sac>) e MATLAB (sito web <http://www.mathworks.com>) è stato inoltre messo a punto un secondo insieme di procedure che consente di effettuare interattivamente le analisi standard che normalmente vengono utilizzate nello studio di effetti di sito.

Questo secondo insieme di procedure comprende:

- *il calcolo del rapporto spettrale segnale rumore*, che consente di discriminare un evento dal rumore sismico registrato da una stessa stazione,
- *il calcolo della receiver function*, cioè del rapporto spettrale fra le componenti orizzontali e verticale per ogni stazione che ha registrato l'evento,
- *il calcolo dei classici rapporti spettrali* fra le componenti orizzontali di una stazione rispetto alle medesime componenti di un sito assunto come riferimento (bedrock),
- *il calcolo delle medie spettrali*,
- *l'analisi di rumore* sulle forme d'onda, che consiste nel trovare il rapporto spettrale fra le componenti orizzontali e verticale del rumore sismico.

L'obiettivo delle tecniche spettrali applicate a registrazioni di terremoti (sia a singola stazione che con stazione di riferimento) è quello di stimare l'effetto della geologia locale sul livello di scuotimento del suolo (tra i tanti lavori rimandiamo a Borchardt, 1970; Lermo e Chavez-Garza, 1993; Field e Jacob, 1995). Gli effetti di sito per una stazione posta su un livello sedimentario si traducono in una maggiore amplificazione e durata del moto del suolo rispetto ad un sito su roccia.

Attualmente in microzonazione sismica sono anche molto usate le tecniche basate sull'analisi di microtremore, soprattutto in zone dove si ha mancanza di registrazioni di terremoti; tuttavia i risultati ottenuti sono spesso contrastanti (Bard 1999). Per ovviare a ciò un progetto CEE (SESAME, 2001) si prefigge lo scopo di indagare e chiarificare dove queste tecniche a basso costo possano essere impiegate per fornire utili informazioni per le stime dell'amplificazione locale (per maggiori informazioni rimandiamo al sito web del progetto <http://sesame-fp5.obs.ujf->

grenoble.fr/index.htm).

Nei paragrafi seguenti si descriverà il funzionamento delle differenti procedure e il loro modo di utilizzo. Le procedure e i metodi di analisi descritti sono stati usati a Catania (Lombardo e al, 2001), Benevento (Improta e al, 2002), Colfiorito (Di Giulio e al., 2003), Nocera Umbra (Cultrera e al. 2003) e Palermo (Azzara e al., 2003).

Tutti i programmi sviluppati all'interno dell'INGV possono essere richiesti ad uno degli autori di questo manuale.

2. Trattamento dei dischi rigidi Reftek registrati dalle stazioni sismiche

In questo capitolo descriveremo in dettaglio tutte le procedure che vengono applicate sui dati registrati da stazioni Reftek (modello 72A).

Le procedure riguardano il trasferimento dei dati dai dischi delle stazioni sismiche Reftek alla workstation. Dai dati in continua vengono poi estratti in formato SAC binario gli eventi (locali, regionali e telesismi) selezionati tramite bollettino. Il passo successivo è di inserire nell'header dei file SAC le informazioni riguardanti l'evento e la stazione sismica che lo ha registrato.

2.1 Scaricamento dischi

I programmi per lo scaricamento dei dischi sono stati implementati su workstations SUN ma possono venire usati indifferentemente su macchine Linux. Viene sfruttato il software distribuito dal consorzio IRIS PASSCAL (i programmi PASSCAL descritti in questo manuale si possono scaricare dal sito <http://www.iris.washington.edu/manuals/manuals.html>), affiancato da alcuni programmi Fortran sviluppati all'interno dell'INGV che consentono di rendere più rapide le operazioni di riletture e conversione di formato.

Prima di tutto si deve collegare il disco Reftek al cavo connesso alla porta SCSI della workstation, e alimentare il disco Reftek attraverso una batteria collegata a sua volta all'alimentatore (fig. 1).



Figura 1. Particolare del disco Reftek collegato con la workstation SUN. Il disco è alimentato da una batteria a sua volta connessa ad un alimentatore.

Occorre poi posizionarsi nella directory dove si vogliono archiviare i dati, e mandare in esecuzione il programma PASSCAL **ref2segy** inviando il comando:

\$ ref2segy \$REFDISK

La variabile ambiente REFDISK corrisponde al device file che è associato alla partizione del disco Reftek. E' da sottolineare che nel caso si usi la porta SCSI primaria della workstation, è necessario effettuare il boot della workstation ogni volta che un disco viene collegato alla macchina.

Il programma ref2segy legge il disco collegato alla SUN e ne scarica il contenuto in formato segy nella directory di lavoro.

La directory di lavoro dopo lo scaricamento dei dati conterrà:

- 1 file log contenente le informazioni sullo stato della stazione sismica di volta in volta registrate dal sistema di acquisizione (si possono visualizzare in maniera grafica le informazioni del file di log tramite il programma PASSCAL **logview** nomefiledilog, fig.2)

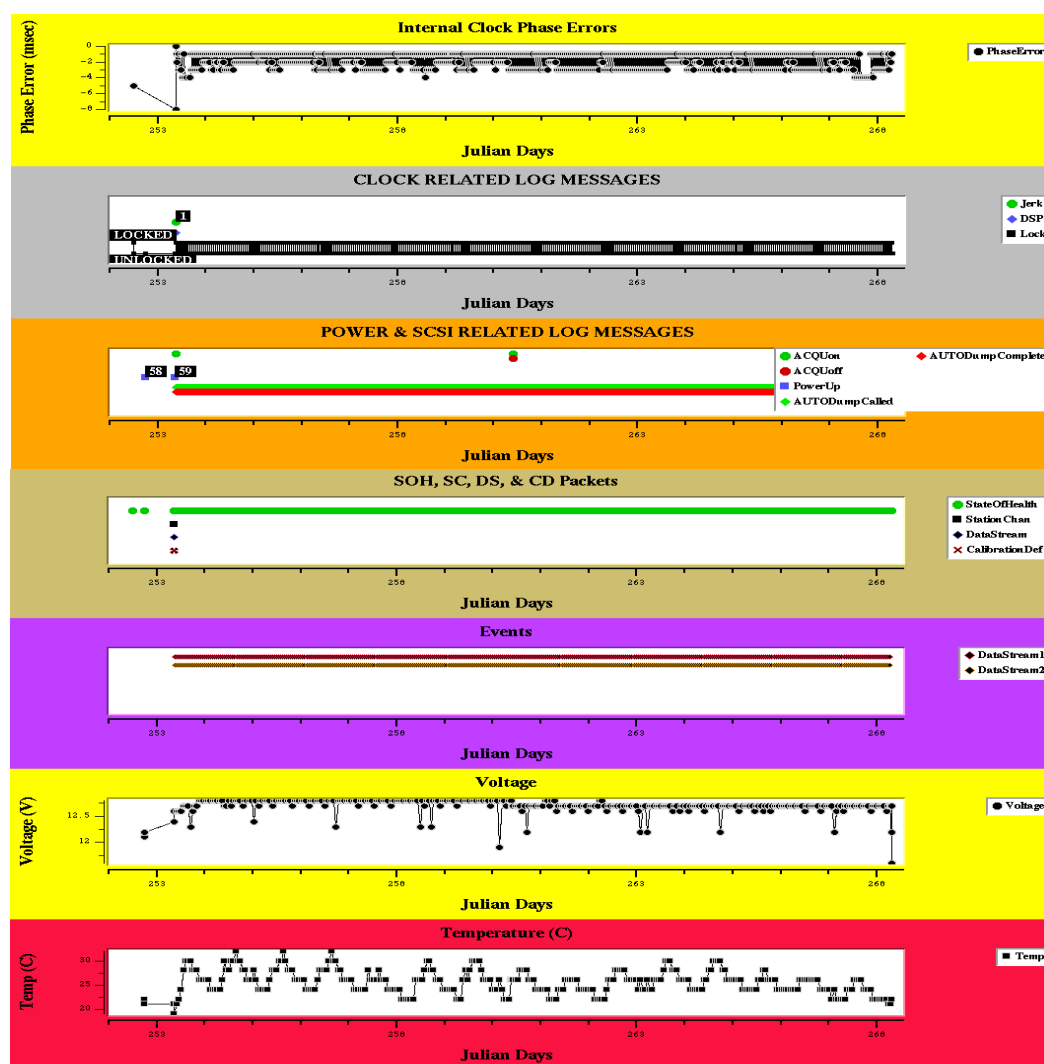


Figura 2. Visualizzazione del file di log tramite il programma PASSCAL **logview**.

- 1 file di errori (se si riscontra la presenza di errori nello scaricamento del

disco) contenente generalmente gli errori di sincronizzazione avvenuti durante il funzionamento della stazione sismica

- N directories pari al numero dei giorni di registrazione indicate con **RJJJ.SS** dove **JJJ** è il giorno giuliano di riferimento, **SS** è la stream di acquisizione (01 o 02). All'interno di ogni directory sono contenuti i dati in formato segy (di lunghezza pari alla durata fissata al momento dell'inserimento dei parametri di acquisizione). Il nome di ogni file è del tipo:
YY.JJJ.hh.mm.ss.DDDD.C, dove **YY.JJJ.hh.mm.ss** è la data completa del primo campione del file, **DDDD** è il numero di serie dell'acquisitore installato nella stazione sismica, **C** è la componente (1,2,3 e/o 4,5,6 rispettivamente per Z,N,E).

2.2 Estrazione degli eventi sismici locali e trasformazione in formato SAC

Il programma Fortran **estraillocREF** consente di creare uno script Unix (**merge.com**) che manda in esecuzione il programma di estrazione delle forme d'onda degli eventi selezionati da bollettino a partire dai dati in formato segy registrati in continua. La lunghezza della finestra di estrazione sarà proporzionale alla magnitudo (M_d) letta dal file di bollettino.

Prima di mandare in esecuzione il programma è necessario aver cura di controllare che il file bollettino non contenga eventi al di fuori del periodo di funzionamento della stazione sismica, inoltre bisogna eliminare dal suddetto file tutte le righe di intestazione e di spiegazione dei parametri (la prima riga deve corrispondere al primo evento). Il programma **estraillocREF** chiede in input:

- il nome della stazione
- il numero del canale corrispondente alla componente verticale (1 o 4)
- il numero della stream di registrazione (1 o 2)
- il nome del file bollettino INGV
- la presenza di un eventuale shift temporale fra il tempo UTC e l'orologio dell'acquisitore
- l'anno (YYYY)

Produce in output diversi files:

- **merge.com**, uno script Unix che manda in esecuzione il programma **segymerge** (**segymerge** è il programma PASSCAL di estrazione di parti di registrazione ed ha sintassi
segymerge FILENAMES -c -s TIN -l LENGTH > EVFILE
con FILENAMES nomi dei files in formato segy, TIN = YYYY:JJJ:HH:MM:SS tempo di inizio estrazione e LENGTH durata in secondi)
- **selectrace**, una macro SAC che consente la successiva selezione delle tracce (è una semplice macro che per ogni evento estratto chiama la macro **selecteq**)
- **diag.txt**, un file di riepilogo che elenca il numero di eventi per classi di magnitudo
- **db_Evtemp** e **db_Regtemp**, files utili per il database sviluppato all'interno

dell' INGV (G. Cultrera e L. Luzi, 2003)

Per effettuare l'estrazione bisogna rendere eseguibile il file **merge.com**, usando il comando Unix:

\$ chmod 755 merge.com

e mandare in esecuzione il file **merge.com** dalla directory corrispondente alla stazione sismica per cui si intende estrarre i dati. Il file **merge.com** esegue inoltre la trasformazione delle forme d'onda in formato SAC. Alla fine dell'esecuzione dello script **merge.com** verrà creata la directory **Event** che conterrà i files delle forme d'onda in formato SAC (in conteggi digitali). Il nome di ogni file sarà del tipo **YYJJJhhmms.STNMc** dove

- **YYJJJhhmms** è la data del tempo origine (anno, giorno giuliano, ora, minuto, secondo espresso in lettere, ogni lettera corrisponde in ordine alfabetico a tre secondi consecutivi: a=0,1,2 b=3,4,5 c=6,7,8 ecc.).
- **STNM** nome della stazione
- **c** componente del moto del suolo (z,n,e per verticale, N/S, E/W).

2.3 Estrazione dei telesismi e degli eventi regionali e trasformazione in formato SAC

Il programma Fortran **estraiteleREF** consente di creare uno script Unix (**telemerge.com**) che manda in esecuzione il programma di estrazione delle forme d'onda relative agli eventi selezionati da bollettino NEIC (National Earthquake Information Center, <http://neic.usgs.gov/>) a partire dai dati in formato segy registrati in continua.

L'estrazione del bollettino dal sito del NEIC deve essere fatta scegliendo il formato di output compresso. Il programma utilizza il tempo origine come inizio della finestra di estrazione delle forme d'onda, la lunghezza della finestra di estrazione è fissata a 3600 secondi dal tempo origine. Nel caso di eventi di magnitudo particolarmente elevata potrebbe essere necessario aumentare la durata della finestra di estrazione, effettuando manualmente l'estrazione della forma d'onda tramite il programma PASSCAL **segymerge**.

Prima di mandare in esecuzione il programma è necessario aver cura di controllare che il file bollettino non contenga eventi al di fuori del periodo di funzionamento della stazione sismica, inoltre bisogna eliminare dal suddetto file tutte le righe di intestazione e di spiegazione dei parametri (la prima riga deve corrispondere al primo evento). Il programma **estraiteleREF** chiede in input:

- il nome della stazione
- il numero del canale corrispondente alla componente verticale (1 o 4)
- il numero della stream di registrazione (1 o 2)
- il nome del file bollettino INGV
- l'anno (YYYY)

Produce in output 3 files:

- **telemerge.com**, uno script Unix che manda in esecuzione il programma PASSCAL **segymerge** che consente l'estrazione di intervalli di forma d'onda dalla registrazione in continua.
- **selectrace**, una macro SAC che consente la successiva selezione delle tracce (è una semplice macro che per ogni evento estratto chiama la macro **selecteq**)
- **diag.txt**, un file di riepilogo che elenca il numero di eventi per classi di magnitudo

Per effettuare l'estrazione rendere eseguibile il file **telemerge.com**, usando il comando Unix

\$ chmod 755 merge.com

e mandare in esecuzione il file telemerge.com dalla directory corrispondente alla stazione sismica per cui si intende estrarre dati. Il file telemerge.com esegue inoltre la trasformazione delle forme d'onda in formato SAC. Alla fine dell'esecuzione dello script **merge.com** verrà creata la directory **Tele** che conterrà i files delle forme d'onda in formato SAC con la velocità del moto del suolo espressa in conteggi digitali, il nome di ogni file sarà del tipo **YYJJJhhmms.STNMc** dove

- **YYJJJhhmms** è la data del primo campione (anno, giorno giuliano, ora, minuto, secondo espresso in lettere, ogni lettera corrisponde in ordine alfabetico a tre secondi consecutivi: a=1,2,3 b=4,5,6 c=7,8,9 ecc.).
- **STNM** nome della stazione
- **c** componente del moto del suolo (z,n,e per verticale, N/S, E/W).

2.4 Inserimento delle coordinate epicentrali nell'header dei file SAC per Eventi locali

Le informazioni relative all'evento sismico, le coordinate ipocentrali, la magnitudo, il nome dell'area geografica epicentrale, non sono presenti nell'header dei files SAC. Esse possono essere inserite, insieme alle coordinate di stazione e alle informazioni relative alle caratteristiche del sensore e del digitalizzatore, usando il programma Fortran **epi2sac**. Il programma necessita in input di un file **Station.hdr** che deve contenere nell'ordine le seguenti informazioni che andranno inserite dentro le header sac:

- il nome della stazione
- stazione in superficie o in pozzo (rispettivamente 1 o 2)
- le coordinate della stazione (latitudine, longitudine, quota)
- il tipo di sensore utilizzato
- il tipo di digitalizzatore utilizzato
- la costante di conversione del sensore (ad esempio per il CMG40T 800V/m/s, per il CMG5T 1V/m/s², per il Le3D/5s 400V/m/s)
- la costante di conversione del digitalizzatore in V/counts (1.907 µV/count o 1µV/count rispettivamente per Reftek72A08 e MarsLite)

- azimuth e inclinazione della prima componente orizzontale (pari a 90,90 gradi per la componente EW)
- azimuth e inclinazione della seconda componente orizzontale (0,90 per la componente NS)
- azimuth e inclinazione della componente verticale (0,0 componente Z)

Le altre grandezze, relative all'evento sismico, saranno lette dal programma **epi2sac** direttamente dal file di bollettino.

I valori delle grandezze indicate vengono automaticamente inseriti nei seguenti campi dell'header del file SAC:

stla, stlo, stel coordinate geografiche della stazione sismica

kstnm nome della stazione sismica

kcmpnm componente del moto del suolo registrato **z,n,e** rispettivamente per verticale, Nord/Sud e Est/Ovest

lpspol polarità del sensore «True» se corretta (+ verso UP, Nord, Est), «False» se invertita

user2 costante di conversione del digitalizzatore in V/counts

user3 costante del sensore in V/ms^{-1} o V/ms^{-2}

evla, evlo, evdp coordinate ipocentrali dell'evento sismico

user9 magnitudo dell'evento (generalmente Md dal bollettino)

kevn area geografica dell'evento sismico

kinst nome dell'acquisitore digitale

Una volta inserite le coordinate della stazione e quelle dell'evento sismico compaiono automaticamente nell'header SAC i seguenti campi:

dist, distanza epicentrale in km

az, azimuth epicentro - stazione in gradi, dal Nord in senso orario

baz, azimuth stazione - epicentro in gradi, dal Nord in senso orario

gcarc, lunghezza dell'arco di cerchio fra la stazione e l'epicentro in gradi

2.5 Inserimento delle coordinate epicentrali per Telesismi ed eventi regionali

Le informazioni relative all'evento sismico, le coordinate ipocentrali, la magnitudo, il nome dell'area geografica epicentrale, non sono presenti nell'header dei files SAC. Esse possono essere inserite, insieme alle coordinate di stazione e alle informazioni relative alle caratteristiche del sensore e del digitalizzatore, usando il programma Fortran **tele2sac**. Il programma necessita del file di input **Station.hdr** che contiene le seguenti informazioni :

- il nome della stazione
- stazione in superficie o in pozzo (rispettivamente 1 o 2)
- le coordinate della stazione (latitudine, longitudine, quota)
- il tipo di sensore utilizzato
- il tipo di digitalizzatore utilizzato
- il nome del file bollettino utilizzato per estrarre le forme d'onda
- la costante di conversione del sensore (ad esempio per CMG40T 800V/m/s,

- per CMG5T 1V/m/s^2 , per Le3D/5s 400V/m/s
- il guadagno del digitalizzatore in V/counts ($1.907\ \mu\text{V/count}$ o $1\mu\text{V/count}$ rispettivamente per Reftek72A08 e MarsLite)
- azimuth e inclinazione della prima componente orizzontale (90,90 per la componente EW)
- azimuth e inclinazione della seconda componente orizzontale (0,90 per la componente NS)
- azimuth e inclinazione della componente verticale (0,0 componente Z)

Le altre grandezze, relative all'evento sismico, saranno lette dal programma **tele2sac** direttamente dal file di bollettino.

I valori delle grandezze indicate vengono automaticamente inseriti nei seguenti campi dell'header del file SAC:

stla, stlo, stel coordinate geografiche della stazione sismica

kstnm nome della stazione sismica

kcmpnm componente del moto del suolo registrato **z, n, e** rispettivamente per verticale, Nord/Sud e Est/Ovest

lpspol polarità del sensore «True» se corretta (+ verso UP, Nord, Est), «False» se invertita

user2 costante di conversione del digitalizzatore in V/counts

user3 costante del sensore in V/ms^{-1} o V/ms^{-2}

evla, evlo, evdp coordinate ipocentrali dell'evento sismico

user9 magnitudo dell'evento

kevn area geografica dell'evento sismico

kinst nome dell'acquisitore digitale

Per quanto riguarda l'area geografica si fa riferimento al codice numerico utilizzato dal NEIC.

Una volta inserite le coordinate della stazione e quelle dell'evento sismico compaiono automaticamente nell'header SAC i seguenti campi:

dist, distanza epicentrale in km

az, azimuth epicentro - stazione in gradi, dal Nord in senso orario

baz, azimuth stazione - epicentro in gradi, dal Nord in senso orario

gcarc, lunghezza dell'arco di cerchio fra la stazione e l'epicentro in gradi

3. Trattamento dei dischi rigidi MarsLite registrati dalle stazioni sismiche

Analogamente a quanto fatto per i dischi Reftek descriveremo in dettaglio tutte le procedure che vengono applicate ai dati da stazioni MarsLite.

Il primo passo è trasferire i dati dai dischi alla workstation. I dati in continua, contrariamente ai dati Reftek che vengono scaricati in formato segy, sono già in formato SAC binario e sono archiviati non in conteggi digitali ma in microVolt. Il passo successivo è di estrarre le forme d'onda (locali, regionali e telesismi) selezionate tramite bollettino. Finalmente si inseriscono nell'header dei file SAC le informazioni riguardanti l'evento.

3.1 Scaricamento dischi

Gli acquisitori MarsLite della Lennartz Electronic registrano dati su dischi che possono essere di due tipi:

- magneto-ottici (dalla capienza massima di 230 o 540 Mbyte)
- Hard disk (da 4.4 o 2.2 Gbyte).

I dati vengono scaricati direttamente in formato SAC tramite un Personal Computer con sistema operativo Linux utilizzando alcuni programmi del pacchetto di gestione MarsLite fornito dalla ditta costruttrice (si possono ottenere dal sito Web <http://www.lennartz-electronic.de/indexmain.html>). A questi programmi se ne aggiungono altri creati presso l'INGV che consentono lo scaricamento dei dati direttamente in formato SAC.

Una volta inserito il disco nell'apposito lettore (fig. 3) e assegnata la variabile ambiente corrispondente alla device (ad esempio in tcsh shell il comando è **setenv LITE_DEVICE /dev/sda**), i primi programmi da lanciare sono **partinfo** e **loginfo**.

Partinfo indica lo spazio occupato sulle diverse partizioni del disco durante il tempo di registrazione; **loginfo** permette di estrarre dal disco il contenuto della partizione **log**, dove sono riportate tutte le informazioni relative allo stato di funzionamento delle stazioni sismiche, in modo da controllarne il corretto funzionamento.

In particolar modo nel logfile viene riportata la data in cui il disco viene montato e smontato, lo stato della batteria interna all'acquisitore (batteria esclusivamente dedicata al disco), lo stato della batteria esterna e dell'eventuale GPS. Il file prodotto dal programma **loginfo** assume la seguente forma:

```
01/01/11 12:30:09 DFS Drive 0 mounted
01/01/11 12:33:57 DAQ Data acquisition started
01/01/11 13:19:03 POW VBAT 6.2 , VEXT 13.1 ok
01/01/11 14:19:18 POW VBAT 6.2 , VEXT 13.1 ok
01/01/11 14:46:37 TIM set by GPS
01/01/11 15:00:38 POS lat 4107.069 lon 01446.280
01/01/11 15:00:38 TIM G lag=-010 lfix=01/01/11 11:00:37
01/01/11 15:25:59 POW VBAT 6.2, VEXT 13.1 ok
01/01/11 16:00:57 POS lat 4107.071 lon 01446.274
01/01/11 16:00:57 TIM dp=-87 dt=5060 pll=79
01/01/11 16:00:57 TIM G lag=-063 lfix=01/01/11 12:00:56
01/01/11 16:26:14 POW VBAT 6.2, VEXT 13.1 ok
.....
.....
01/02/15 10:25:23 DAQ Data acquisition stopped
01/02/15 10:26:41 DFS Drive 0 unmounted
```

Terminata la fase di controllo si passa alla fase di scaricamento dei dati. Innanzitutto si deve creare nella stessa directory in cui si desidera mettere i dati il file **SACHDR.IN** che riporta le informazioni che saranno memorizzate nell'header SAC.

Il file **SACHDR.IN** si presenta nella seguente forma:

```
staz SAB1 41.07230 14.61600 125
drec 0 Marslite 1.0E-06 FIR 25 96
drec 1 Marslite 1.0E-06 FIR 25 96
drec 2 Marslite 1.0E-06 FIR 25 96
```

```
sens 0 LE3d-5s V 0.2 70 400 Z 1 -12345
sens 1 LE3d-5s V 0.2 70 400 N 1 0
sens 2 LE3d-5s V 0.2 70 400 E 1 90
```

La prima riga del file contiene informazioni relative alla stazione sismica: il codice della stazione, le coordinate geografiche, la quota, (in questo esempio il codice della stazione è SAB1, con latitudine, longitudine e quota rispettivamente di 41.0723, 14.6160, 125m) .

Le successive tre righe si riferiscono al tipo di acquisitore utilizzato (Marslite) con una costante di conversione pari a 1.0E-06 V/count, seguono le caratteristiche dei filtri digitali anti-aliasing mentre le ultime tre righe indicano il tipo di sensore (LE3d-5s, velocimetro), la frequenza di taglio (0.2 Hz), lo smorzamento in % (0.7), la costante di conversione (400 V/m/sec), la polarità (se 1 corretta), azimuth della componente. Per eventuali informazioni mancanti si può utilizzare il valore -12345 che nell'header dei files SAC corrisponde ad un valore indefinito.

Una volta creato il file SACHDR.IN è possibile estrarre tutti i dati che risiedono sul disco. Dopo aver individuato l'intero periodo di registrazione presente sul disco tramite il programma **loginfo** o attraverso altri programmi inclusi nel pacchetto Lennartz (**datainfo** o **evlist**), è necessario mandare in esecuzione lo script:

lite2sac Timein Timefin

dove **Timein** e **Timefin** sono rispettivamente il tempo iniziale e quello finale di registrazione secondo il formato **YYMMDDhhmmss**, anno, mese, giorno, ora minuto secondo (Es.: **20000214094730**)

lite2sac genererà a sua volta lo script **dump.sac** che consente di estrarre il contenuto del disco rigido trascrivendolo in file orari per ogni componente in formato SAC. Lo script **dump.sac** ** (da rendere eseguibile con il comando di shell **chmod +x dump.sac**) manda in esecuzione il programma **C lt2sac** che consente di estrarre dal disco dell'acquisitore un qualsiasi intervallo di registrazione e memorizzarlo come file in formato SAC (separando le tre componenti). Il comando **lt2sac** può essere utilizzato direttamente per estrarre una qualsiasi finestra di dati; si esegue tramite il comando

lt2sac -f YYYYMMDDhhmmss -l YYYYMMDDhhmmss

La sintassi prevede le opzioni **f** ed **l** che stanno ad indicare rispettivamente il tempo iniziale e quello finale di estrazione.

YYYYMMDDhhmmss sta ad indicare la data completa: anno, mese, giorno, ora, minuto, secondo. I programmi **lt2sac** e **lite2sac** sono stati sviluppati da M. Di Bona.

Alla fine della fase di estrazione il contenuto del disco di campagna sarà trasferito sul sistema di rilettura suddiviso in directory giornaliere all'interno delle quali saranno contenuti file orari per ogni componente. Le directory giornaliere prenderanno il nome

YYMMDD

i file orari SAC in esse contenuti avranno il nome

YYMMDDhhmma.STATc

dove **YY** indica l'anno, **MM** il mese, **DD** il giorno, **hh** l'ora, **mm** i minuti, ed **a** è una lettera che codifica i secondi (a comprende i secondi 60, 1,2, la lettera b 3,4,5 e così via), **STAT** è il nome a quattro caratteri della stazione sismica, **c** è la componente del moto del suolo z, n, e.

** Con la distribuzione SUSE release 8 di linux si hanno dei problemi in fase di compilazione del programma **lt2sac**, quindi la procedura di scaricamento è la seguente: dopo l'esecuzione del **lite2sac** lanciare il programma Fortran **ridump.x** che crea lo script **ridump.sac**, il quale richiamando i programmi **lt2ascii** e **alenn2sac.x**, consente di ottenere i record sia in formato sac che ascii.



Figura 3. Particolare del lettore Hard disk per gli acquisitori MarsLite collegato attraverso la porta scsi a un pc/linux.

3.2 Estrazione degli eventi sismici locali

Come per i dati registrati dai sistemi Reftek, dopo aver eliminato tutte le righe di intestazione del file di bollettino, è necessario lanciare il programma **estrailocML** che chiederà in input:

- il nome della stazione
- il nome del file bollettino
- l'anno (YYYY)

Esso produce in output:

- **merge.com**, uno script Unix che manda in esecuzione il programma **sac_merge** (**sac_merge** è l'equivalente di **segymerge**, con sintassi **sac_merge NOMEFILE -s TIN -l LENGTH** dove **NOMEFILE=YYMMDDhhmms.statc** **TIN=YYYYMMDDhhmmss** **LENGTH=durata in secondi**)

- **selectrace**, una macro SAC che consente la successiva selezione delle tracce (attraverso la macro **selecteqloc** che si occupa anche di inserire nelle forme d'onda le informazioni relative al terremoto)
- **diag.txt**, un file di riepilogo che elenca il numero di eventi per classi di magnitudo
- **newname**, uno script che consente di cambiare il nome dei file, sostituendo la data di prima registrazione secondo la convenzione del calendario gregoriano con la data del tempo origine dell'evento in formato giuliano.
- **db_Evtemp** e **db_Regtemp**, file utili per il database sviluppato all'interno dell'INGV (G. Cultrera e L. Luzi, 2003)

Prima di lanciare **estrailocML**, per evitare che il programma vada in errore, è necessario eliminare dal file bollettino tutti gli eventi che ricadono fuori dal set di dati a disposizione.

Alla fine dell'esecuzione dello script saranno presenti nella directory **Event** (creata dallo stesso script **merge.com**) i files delle forme d'onda in formato SAC espresse in **microVolt**, il nome di ogni file sarà del tipo **YYMMDDhhmms.STNMc**

3.3 Estrazione dei telesismi e degli eventi regionali

Come per i dati Reftek, il file di bollettino da utilizzare per l'estrazione dei telesismi e degli eventi regionali è quello estratto dal NEIC in formato compresso. Dopo aver eliminato tutte le righe di intestazione del file di bollettino, lanciare il programma **telemergeMars.x** (per telesismi, oppure **teleregioMars.x** per regionali) che chiederà in input:

- il nome della stazione
- il nome del file bollettino
- l'anno (YYYY)

Esso produce in output:

- **telemerge.com**, uno script Unix che manda in esecuzione il programma **sac_merge**
(**sac_merge** è l'equivalente di **segymerge**, con sintassi
sac_merge NOMEFILE -s TIN -l LENGTH
dove **NOMEFILE=YYMMDDhhmms.statc** **TIN=YYYYMMDDhhmmss**
LENGTH=durata in secondi)
- **selectrace**, una macro SAC che consente la successiva selezione delle tracce (attraverso la macro **selecteqtele** o **selecteqreg** rispettivamente per telesismi o regionali)
- **diag.txt**, un file di riepilogo che elenca il numero di eventi per classi di magnitudo

Prima di lanciare **telemergeMars.x** (o **teleregioMars.x**), per evitare che il programma vada in errore, è necessario eliminare dal file bollettino tutti gli eventi che ricadono fuori dal set di dati a disposizione. La lunghezza della finestra di estrazione è fissata a 3600 secondi dal tempo origine per eventi regionali, mentre per i telesismi

la durata può arrivare a due ore per eventi con magnitudo particolarmente elevata.

Alla fine dell'esecuzione dello script saranno presenti nella directory **Eventtele** (creata dallo stesso script **telemmerge.com**) i files delle forme d'onda in formato SAC in microVolt. Il nome di ogni file sarà del tipo **YYDDMMhhmms.STNMc**

3.4 Eventi locali, regionali e telesismi estratti da dati MarsLite

Come già visto nei paragrafi precedenti, l'estrazione dei dati dai dischi MarsLite necessita del file **SACHDR.IN** in cui sono già presenti

Il nome della stazione

la latitudine, longitudine, e quota della stazione (se già noti)

le caratteristiche del digitalizzatore e del sensore

Quindi le uniche variabili aggiuntive da inserire nell'header SAC sono quelle relative all'evento: latitudine, longitudine, profondità e magnitudo del sisma (header sac **evla**, **evlo**, **evdp**, **user9**, **kevn**, **timeorig**). Queste variabili vengono lette direttamente dal file di bollettino durante l'esecuzione di **estralocML** (equivalentemente da **telemmergeML.x** e **teleregioML.x**) e inserite al momento della selezione delle forme d'onda, attraverso la macro SAC **selecteqloc** (o equivalentemente da **selecteqtele** o **selecteqreg**) richiamata dalla macro **selectrace**:

```
macro selecteqloc date ...evlat ...evlog ...evdep... user9 ...kevn .... Timeorig ....
```

```
macro selecteqloc date ...evlat... evlog... evdep... user9... kevn .... Timeorig ....
```

4. Selezione delle forme d'onda

La selezione delle forme d'onda SAC avviene attraverso la macro SAC **selectrace**, creata dai programmi di estrazione degli eventi sismici. La macro **selectrace** ha come obiettivo di eliminare, attraverso un'analisi visiva, tutti gli eventi che non sono stati registrati con un buon rapporto segnale-rumore.

Una volta posizionati nella directory contenente le forme d'onda in formato SAC, è necessario lanciare il programma SAC e la macro **selectrace**, che per ogni evento estratto dal file di bollettino manda in esecuzione la macro SAC **selecteq** (o **selecteqloc**).

La macro **selecteq** mostra su schermo il sismogramma per tutte le componenti e chiede se si vuole conservare, eliminare o rivedere la traccia. Inviare **1** per cancellare i files dal disco, **2** per rivedere la traccia filtrata con un filtro passabanda (fig.4).

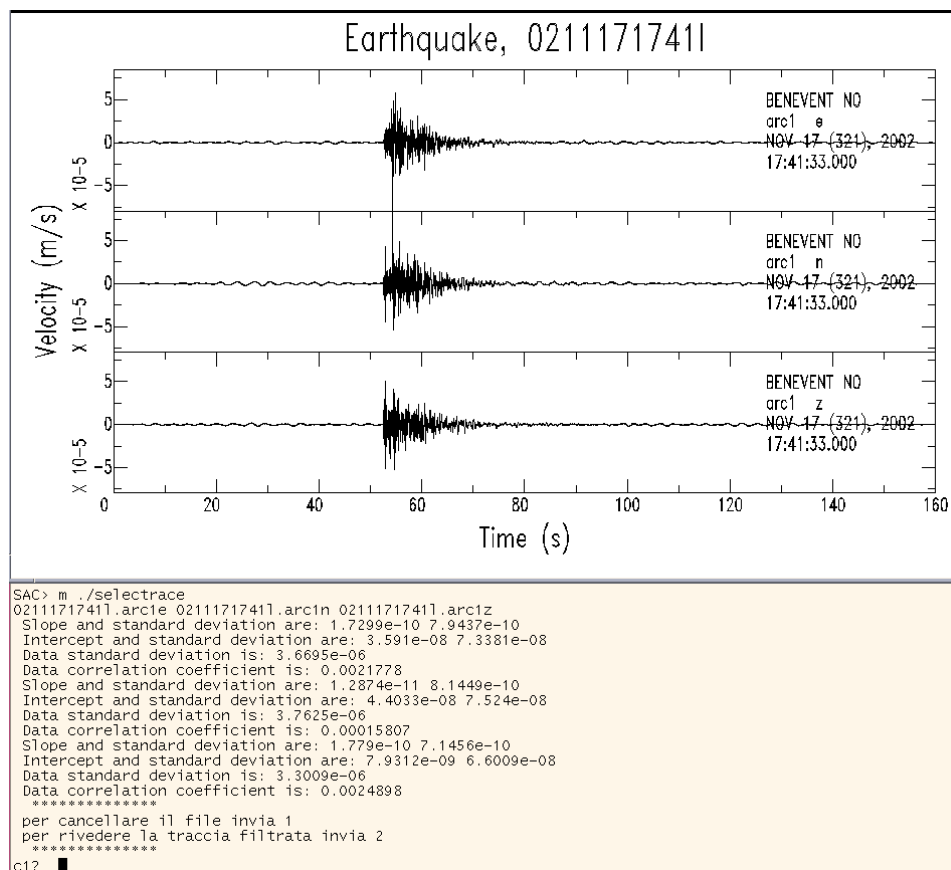


Figura 4. Schermata della macro selecttrace.

Nel caso in cui si voglia rivedere la traccia filtrata la macro **selecteq (selecteqloc)** chiede il valore della frequenza di taglio del filtro passa basso, mentre la frequenza di taglio del passa alto è fissata di default a 0.05 Hz pari a 20 s.

5. Macro SAC per lo studio degli effetti di sito

Un insieme di macro SAC sono state sviluppate per poter svolgere automaticamente quelle analisi standard che normalmente si eseguono sui dati registrati da un array per lo studio di effetti di sito. Esse prevedono: la valutazione del rapporto segnale rumore, il calcolo della receiver function (rapporto spettrale fra le componenti orizzontali e verticali della stessa stazione sismica), il calcolo dei rapporti spettrali (rapporto fra componenti orizzontali di una stazione e della stazione di riferimento), il calcolo delle medie spettrali, l'analisi azimutale.

Le modalità di funzionamento e il modo di utilizzo di tali macro vengono illustrate schematicamente nel seguito.

La struttura delle macro è descritta in appendice. Le macro possono essere ottenute contattando uno degli autori di questo manuale.

5.1 Confronto segnale rumore: *sigtonoise*

La macro SAC **sigtonoise** permette il confronto degli spettri del segnale sismico e

del rumore sismico ambientale registrato dalla stessa stazione.

La macro effettua il calcolo degli spettri, producendo in output su schermo il grafico dei due spettri sovrapposti per tutte le stazioni e tutte le componenti che vengono indicate nella lista.

INPUT:

- **dirdati** il path completo della directory ove risiedono i dati da analizzare
- **date ('data')** la data del primo campione della registrazione corrispondente al nome del file
- **statlist** elenco dei nomi delle stazioni da elaborare

OUTPUT:

- **'data'. 'sta'c'.noi** spettro del rumore (file SAC): OPZIONALE
- **'data'. 'sta'c'.sig** spettro del segnale (file SAC): OPZIONALE
- **sn_'data'. 'sta'c'.ps** grafico degli spettri segnale-rumore (file PostScript): OPZIONALE

Gli estremi degli intervalli di rumore e di segnale su cui calcolare gli spettri vengono fissati interattivamente (fig.5). Ciò viene fatto su ogni stazione per evitare problemi legati alla eventuale mancanza di sincronismo dovuta all'assenza o al cattivo funzionamento del GPS.

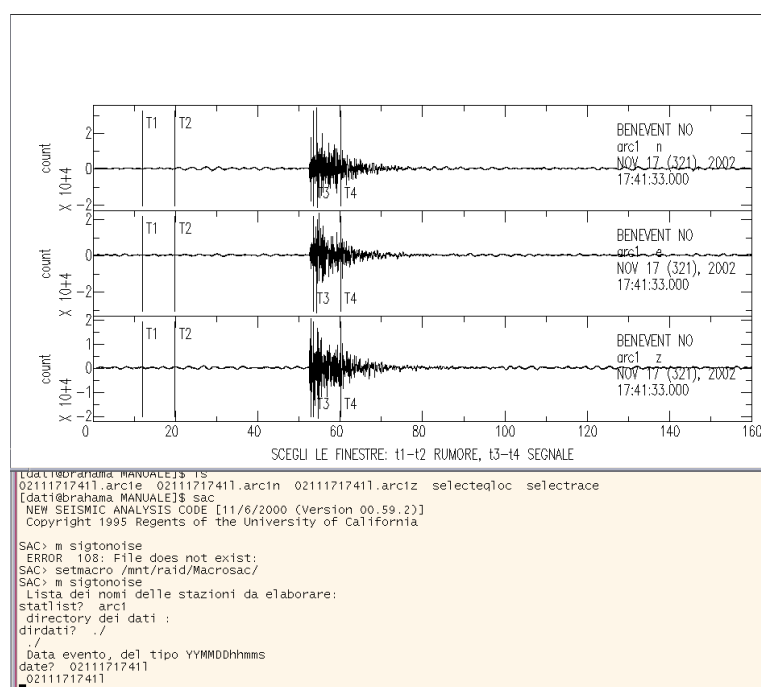


Figura 5. Scelta delle finestre di segnale e rumore tramite la macro sigtonoise.

Poiché gli intervalli di segnale e di rumore potrebbero essere di lunghezza differente, gli spettri vengono normalizzati dividendo per la radice quadrata della durata della finestra temporale su cui vengono calcolati. Nell'ipotesi che si abbia un buon rapporto segnale-rumore nella banda in cui lo spettro di segnale sia almeno il triplo di quello del rumore, è possibile visualizzare il confronto fra lo spettro del segnale e quello del rumore moltiplicato per 3 (fig.6).

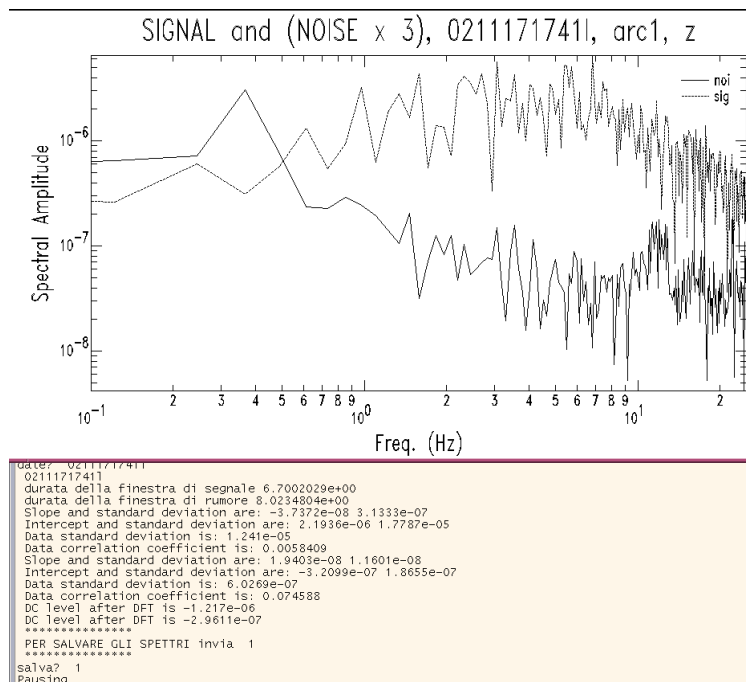


Figura 6. Confronto fra lo spettro di segnale e quello di rumore moltiplicato per tre.

5.2 Calcolo della receiver function: *receiver*

La macro SAC **receiver** effettua il calcolo del rapporto spettrale fra le componenti orizzontali e verticale per ogni stazione che ha registrato l'evento, calcola cioè la *receiver function* (fig. 7).

INPUT:

- **dirdati** il path completo della directory ove risiedono i dati da analizzare
- **date:** ('data') la data del primo campione della registrazione (nome del file)
- **statlist:** lista dei nomi delle stazioni che si vogliono elaborare
- **res:** e' la risoluzione in frequenza che si vuole ottenere dopo l'operazione di smoothing sullo spettro. Lo smoothing dello spettro viene fatto utilizzando una finestra rettangolare mobile contenente un numero di punti pari al doppio del rapporto fra il valore res e il passo di campionamento dello spettro.

OUTPUT:

- **'data'. 'sta'c'.rec** receiver function (file SAC).
- **rec_'data'sta'.ps** grafico delle receiver function delle due componenti (file PostScript): OPZIONALE

La durata della finestra di segnale comune a tutte le stazioni viene fissata per la prima stazione. Il tempo iniziale viene invece deciso interattivamente per le stazioni successive. La macro legge i file SAC delle forme d'onda orizzontali e della verticale, filtra la forma d'onda sopra 0.05 Hz e calcola la FFT della finestra temporale definita interattivamente. In realtà la durata della finestra temporale su cui viene calcolata la FFT è 0.5 s maggiore di quella fissata interattivamente in modo da tener conto

dell'effetto della finestra di taper coseno prima della FFT. Prima di calcolare i rapporti spettrali, i files spettrali vengono sottoposti ad un algoritmo di smoothing. La lunghezza della semifinestra su cui effettuare lo smoothing viene fissata indicando il valore di risoluzione in frequenza che si vuole ottenere.

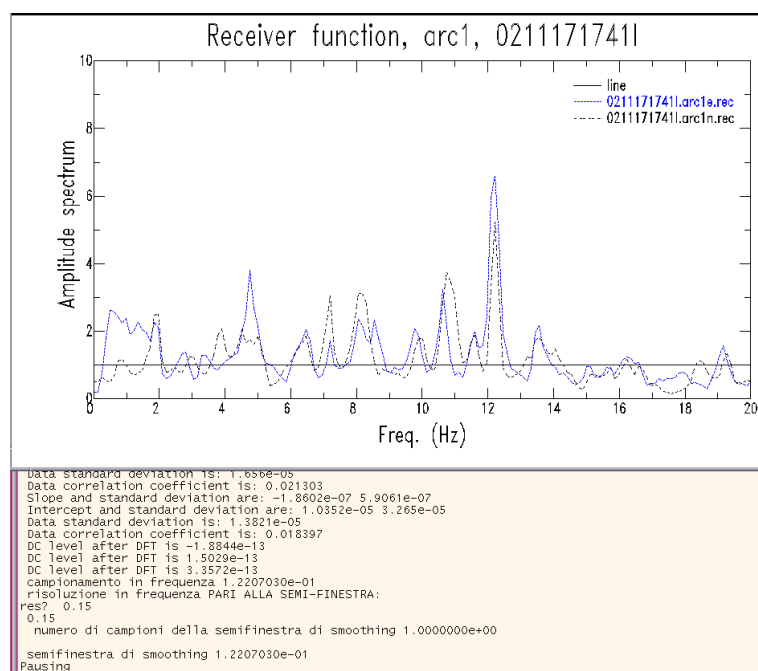


Figura 7. L'output su schermo della macro receiver consiste nel rapporto spettrale EW/V e NS/V.

5.3 Calcolo del rapporto spettrale rispetto ad un sito di riferimento: *spratio*

La macro SAC **spratio** calcola il rapporto spettrale fra le componenti orizzontali di una stazione dell'array e le omologhe della stazione di riferimento (bedrock) (standard spectral ratio, fig.8). Il calcolo viene fatto su tutte le stazioni della lista.

INPUT:

- **dirdati** il path completo della directory ove risiedono i dati da analizzare
- **date ('data')** data del primo campione della registrazione corrispondente al nome del file
- **stat2** nome della stazione di riferimento
- **statlist** lista dei nomi delle stazioni da elaborare
- **res** semiampiezza della risoluzione in frequenza dopo lo smoothing

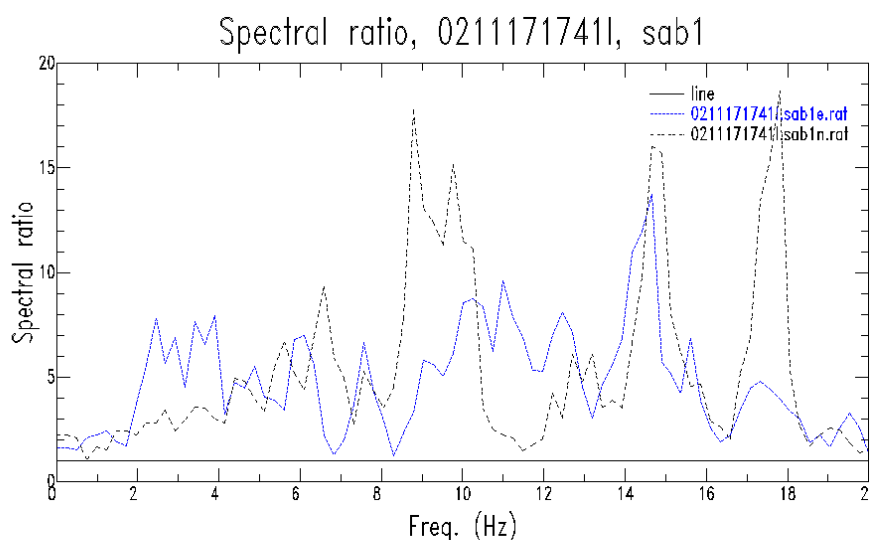
OUTPUT:

- **'data'. 'sta'c'.rat** rapporti spettrali per ogni stazione e per ogni componente orizzontale (file SAC).
- **rat_'data'sta'c'.ps** grafico dei due rapporti spettrali per ogni stazione (file PostScript): OPZIONALE

La durata della finestra di segnale, comune a tutte le stazioni, viene definita interattivamente. Il tempo iniziale viene fissato interattivamente per ogni singola

stazione. L'inizio dell'intervallo è anticipato di 0.5 s prima del punto scelto interattivamente per tener conto degli effetti sulla forma d'onda introdotti dall'uso di una finestra di taper coseno prima del calcolo della FFT.

La macro legge i file SAC delle forme d'onda delle componenti orizzontali, effettua un passa alto da 0.05 Hz (20 sec) e calcola la FFT sulla finestra temporale definita. I file spettrali vengono smoothati prima di calcolare i rapporti spettrali. La lunghezza della semifinestra su cui effettuare lo smoothing viene fissata indicando il valore di risoluzione in frequenza che si vuole ottenere dopo lo smoothing.



```

Data standard deviation is: 1.7030e-05
Data correlation coefficient is: 0.039748
Slope and standard deviation are: -1.4847e-07 1.1015e-06
Intercept and standard deviation are: 8.1915e-06 6.0384e-05
Data standard deviation is: 1.8688e-05
Data correlation coefficient is: 0.0087733
DC level after DFT is -6.2623e-12
DC level after DFT is 6.3028e-13
DC level after DFT is 7.0031e-13
DC level after DFT is 3.3276e-13

campionamento in frequenza 2.4414060e-01
risoluzione in frequenza PARI ALLA SEMI-FINESTRA:
res? 0.15
0.15
numero di campioni della semifinestra di smoothing 1.0000000e+00
semifinestra di smoothing 2.4414060e-01
line 02111717411.sab1e.rat 02111717411.sab1n.rat
Pause

```

Figura 8. Rapporto spettrale EW/EWrif e NS/NSrif fra la stazione in analisi e la stazione assunta come riferimento.

5.4 Macro speditiva rapspe

La macro **rapspe** è una macro riassuntiva che unisce le tre macro **sigtonoise**, **receiver** ed **spratio**. Il vantaggio di questa macro, rispetto alle tre sopramenzionate, oltre ad una maggiore rapidità, consiste nell'uso della stessa finestra di segnale per le varie elaborazioni. In altre parole, per una stazione, il confronto segnale-rumore, il rapporto degli spettri fra componente orizzontale e verticale, e il rapporto degli spettri rispetto al corrispettivo segnale della stazione di riferimento, viene eseguito sulla medesima finestra di segnale.

INPUT:

- **date** ('data') data del primo campione della registrazione corrispondente al nome del file
- **stat2** nome della stazione di riferimento

- **statlist** lista dei nomi delle stazioni da elaborare
- **res** semiampiezza della risoluzione in frequenza per lo smoothing

OUTPUT:

- **'data'.'sta'c'.rat** rapporti spettrali NS/NSrif e EW/EWrif per ogni stazione rispetto al riferimento (file SAC).
- **'data'.'sta'c'.rec** rapporti spettrali NS/V e EW/V per ogni stazione (file SAC).
- **'data'.'sta'c'.sig** e **'data'.'sta'c'.noi** spettri di segnale e rumore per ogni stazione e per ogni componente orizzontale (file SAC).
- **rat_'data'.'sta'c'.ps, rec_'data'.'sta'c'.ps, sn_'data'.'sta'c'.ps** grafico dei rapporti spettrali per ogni stazione (file PostScript): OPZIONALE

La macro **rapspe** richiama altre tre macro:

sc1 che consente di fissare la finestra di segnale e rumore, ed opera un filtro passa alto a 20 sec

sc2 che esegue, per il segnale ed il rumore, le trasformate di Fourier normalizzate alla radice quadrata delle durate, e visualizza su schermo il confronto segnale-rumore per le tre componenti su scala doppio logaritmica

sc3 che esegue lo smoothing

sc4 che calcola il rapporto degli spettri H/Hbedrock e le receiver function H/V

5.5 Analisi azimutale

a) Lo script **ruotoratio.com** permette di studiare un'eventuale variazione del rapporto H/Hbedrock o H/V al variare dell'azimuth.

INPUT:

- **directory di input** dove risiedono i files delle registrazioni
- **file eventi** con la lista degli eventi da analizzare, ad esempio
eventi.lis
9803222208o 9803232052i
- **file stazioni** con le sigle delle stazioni (esclusa quella di riferimento), ad esempio
sta.lis
noc1 noc3 noc5
- **riferimento** sigla della stazione di riferimento
- **res** semiampiezza della finestra dello smoothing in frequenza

OUTPUT:

I file di output, ovvero i rapporti ruotati, risiederanno nella directory da cui viene lanciato lo script:

- **'data'.'sta'.'ang'.rs**
- **'data'.'sta'.'ang'.hv**
dove **ang** indica l'angolo di rotazione (in senso orario rispetto al nord), **rs** e **hv** distinguono tra rapporto H/Hbedrock e H/V.

Lo script richiama le macro:

durata.mac che permette di definire per ogni evento la finestra comune a tutte le registrazioni, e per ogni stazione, il tempo iniziale

ruotoratio.mac che ruota le forme d'onda, e calcola il rapporto degli spettri ruotati.

b) Il programma *matlab* **spruoto_tutti_new.m** permette di graficare con un contour - plot i rapporti ruotati (fig.9).

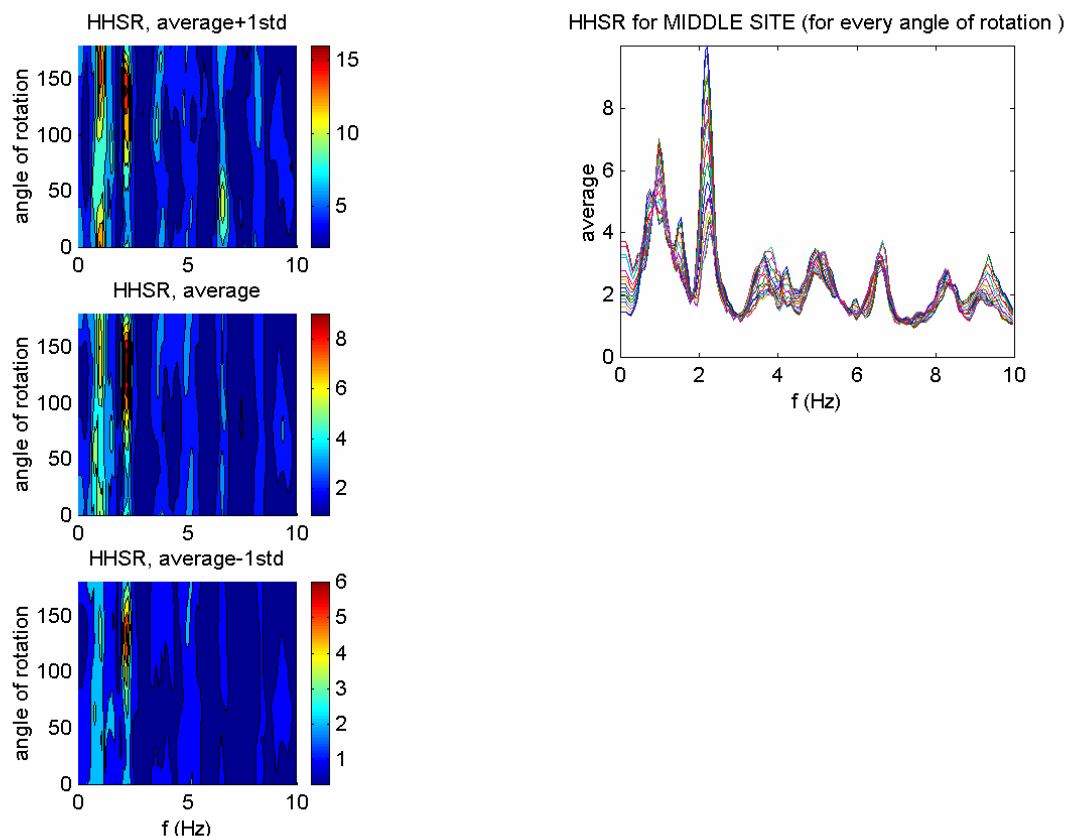


Figura 9. Destra) La media dei classici rapporti spettrali H/Hrif ottenuta nel bacino di Colfiorito. Ogni curva corrisponde ad una rotazione di 10° in senso orario del nord. Sinistra) I valori della media, della media + la deviazione standard, e della media – la deviazione standard sono stati plottati in funzione della frequenza e dell'angolo di rotazione. In questo caso si evidenzia bene una forte direzionalità dell'amplificazione a 2.25 HZ, con il massimo in direzione N130°.

5.6 Calcolo delle medie spettrali: *medie.com*

Una volta calcolate le receiver function e i rapporti spettrali per ogni singolo evento è possibile calcolare le medie geometriche dei file spettrali di piu' eventi registrati ad una singola stazione. Lo script **medie.com** consente di calcolare le medie geometriche dei rapporti spettrali e delle receiver function (ruotati o meno) e la loro deviazione standard (fig. 10).

Tale script richiede di preparare un file con la lista dei nomi degli eventi da mediare secondo le convenzioni esposte nei paragrafi precedenti.

INPUT:

- **dir** path della directory in cui risiedono i dati da mediare
- **file** lista degli eventi, ad esempio
eventi.lis
022530858h
022541435f
.....
- **statlist** lista dei nomi delle stazioni che si vuole elaborare
- **tipo** indica il tipo di rapporto che si vuole mediare:
rec per receiver function,
rat per rapporto spettrale,
rs e **hv** rispettivamente per rapporto spettrale e receiver function degli spettri ruotati

OUTPUT:

- **'sta'c.'tipo'.med** media dei files spettrali
- **'sta'c.'tipo'.medm** media meno una deviazione standard
- **'sta'c.'tipo'.medp** media più una deviazione standard

nei nomi dei file compare il nome della stazione cui sono riferiti, **sta**, e quello della componente su cui è stato effettuato il calcolo, **c**, ed il **tipo** di files mediati (*rec* e *hv* per receiver, *rat* e *rs* per rapporti spettrali).

Tale script richiama le due macro SAC **media1.mac** e **media2.mac**.

Il passo di campionamento dei file spettrali dipende dalla durata della finestra di segnale utilizzata nel il calcolo dei rapporti. Per il calcolo delle medie e' necessario che i passi di campionamento siano uguali a quello del file con minor risoluzione (passo in frequenza piu' largo). La macro **media1.mac** legge quindi i passi di campionamento di ogni file che partecipa alla media mentre la macro **media2.mac** decima i files in modo che tutti abbiano lo stesso passo di campionamento, per poi poter calcolare la media e le deviazioni standard.

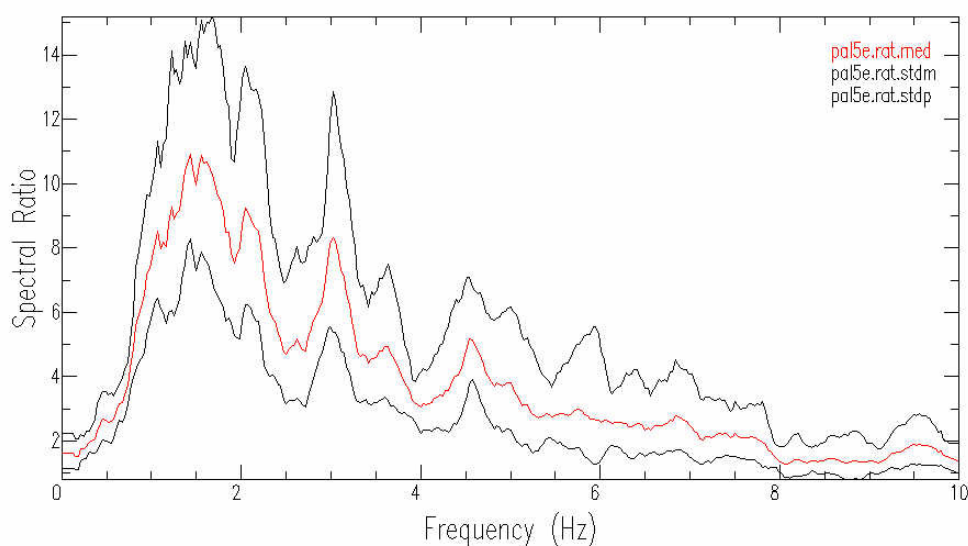


Figura 10. Media +/- deviazione standard di 18 rapporti spettrali della componente EW rispetto a un sito di riferimento. La stazione si trova nella città di Palermo.

6. Analisi di rumore: *rumore* e *averagespec*

I dati registrati in continua dalle singole stazioni sismiche si prestano bene all'analisi di rumore sismico di fondo con la tecnica nota come Metodo Nakamura. Per effettuare l'analisi di rumore è stata creata una macro SAC (***rumore***), che legge una forma d'onda continua di lunghezza qualsiasi ed estrae da essa intervalli di rumore contigui di lunghezza fissata dall'utente.

Su ogni intervallo, dopo aver effettuato una rimozione del trend lineare e dopo aver applicato una finestra di taper coseno, viene calcolata la FFT.

L' output della macro rumore consiste nei rapporti spettrali medi H/V sull'intervallo considerato. Gli spettri su ogni intervallo vengono smoothati prima di eseguire il rapporto; la lunghezza della semifinestra di smoothing viene fissata inviando come input alla macro SAC il valore di risoluzione in frequenza che si vuole ottenere dopo lo smoothing.

Tipicamente l'esecuzione dell'analisi di rumore consiste nell'inviare in input alla macro un file di durata di un'ora, indicando di effettuare il calcolo della FFT su spezzoni di un minuto. Alla fine dell'esecuzione si otterranno, per ogni componente orizzontale, 3 files: la media oraria del rapporto spettrale, la media oraria del rapporto spettrale più una deviazione standard, la media oraria del rapporto spettrale meno una deviazione standard.

Una volta calcolati i rapporti spettrali medi orari per un'intera giornata è possibile calcolare la loro media giornaliera utilizzando la macro SAC ***averagespec***. Tale macro calcola la media, la deviazione standard e la deviazione standard della media dei file spettrali medi orari. Alla fine dell'esecuzione per ogni componente orizzontale saranno prodotti file contenenti la media dei rapporti spettrali, la media più o meno una deviazione standard e la media più o meno una deviazione standard della media.

6.1 Macro rumore

La macro ***rumore*** consente di effettuare la media dei rapporti fra le due componenti orizzontali e la componente verticale del rumore su finestre consecutive di segnale di lunghezza fissata dall'utente. Inoltre calcola il rapporto H/V (Nakamura) tra la media o la composizione vettoriale delle componenti orizzontali e quella verticale (fig.11).

INPUT:

- **date** (**'data'**) data del primo campione della registrazione corrispondente al nome del file senza estensione
- **statlist** lista delle stazioni da esaminare
- **win** durata in secondi della finestra temporale su cui calcolare gli spettri (tipicamente 60 secondi per un file della durata di un'ora)
- **res** risoluzione in frequenza –semifinestra- che si vuole ottenere dopo lo smoothing. Se non si vuole effettuare lo smoothing degli spettri commentare le seguenti righe della macro:

```
eval to temp8 &1,delta  
message' '  
message 'campionamento in frequenza %temp8%'  
message 'risoluzione in frequenza -semifinestra- res'
```

```

message' '
eval to temp9 (int ($res$ / %temp8 ))
eval to temp9 %temp9

if %aum1 eq 1
if %aum eq 1
message ' numero di campioni in freq della semifinestra di smoothing %temp9%'
pause
endif
endif

smooth h %temp9

```

OUTPUT:

- **'data'. 'sta'c_m.rat** media dei rapporti spettrali
- **'data'. 'sta'c_m-dev.rat** media meno una deviazione standard
- **'data'. 'sta'c_m+dev.rat** media più una deviazione standard

dove c corrisponde a 'e', 'n' oppure 'H'.

Per ogni finestra viene rimosso il trend lineare, portati a zero gli estremi con una funzione coseno, e calcolata la FFT. Viene poi effettuato lo smoothing dei file spettrali prima di fare il rapporto delle componenti orizzontali rispetto alla verticale. I rapporti spettrali ottenuti su ogni intervallo sono poi mediati in modo da ottenere un singolo file di media spettrale.

NB: Tipicamente l'esecuzione dell'analisi di rumore consiste nell'inviare in input alla macro un file di durata di un'ora, indicando di effettuare il calcolo della FFT su finestre di 60 secondi. Il programma calcola gli spettri e i rapporti spettrali sulle 60 finestre e media i tre rapporti spettrali (2 per le componenti orizzontali più 1 per la composizione di questi) calcolati su ogni finestra.

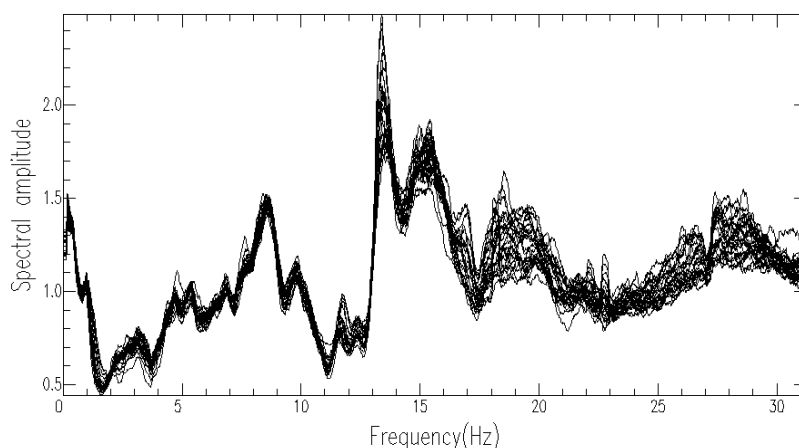


Figura 11. Rapporti spettrali medi orari H/V durante un'intera giornata.

6.2 Macro averagespec

Una volta calcolati i rapporti spettrali medi orari per un'intera giornata è possibile

calcolare la media geometrica giornaliera dei rapporti spettrali utilizzando la macro SAC **averagespec** (fig. 12).

INPUT:

- **YYMMDD (o YYJJJ)** giorno di cui si vuol fare la media giornaliera
- **statlist** lista delle stazioni da processare.
- **orig** <m> per gli output della macro rumore

OUTPUT:

- Rapporti spettrali medi giornalieri per le componenti orizzontali e la loro media (o composizione vettoriale) dal nome **mediagcomp.dat**
- Rapporti spettrali medi più o meno la deviazione standard dal nome **mediagpiustdcomp.dat** **mediagmenostdcomp.dat**
- file post script dal nome **mediagiorn_namestatcomp.std.ps** che si possono salvare o meno dove **comp** può essere 'e', 'n', oppure 'H'

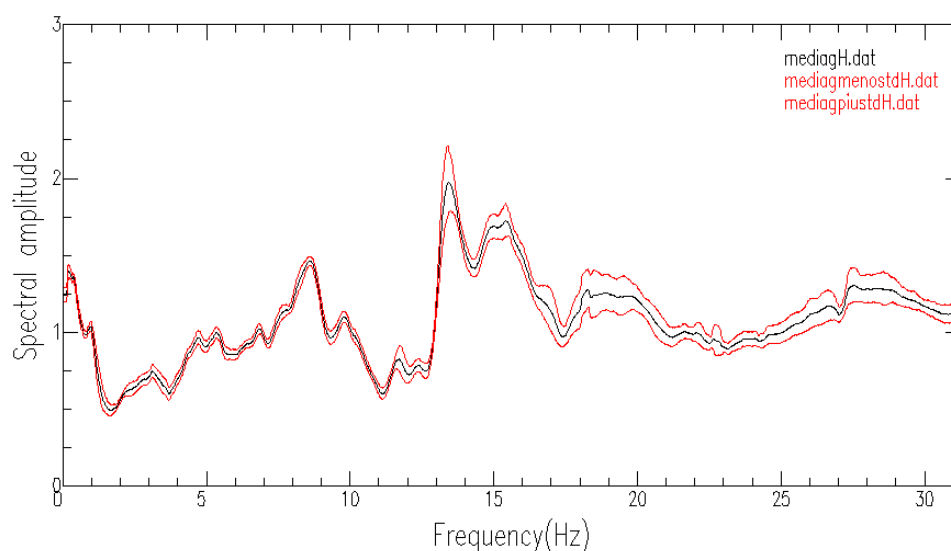


Figura 12. Media giornaliera $\pm$ deviazioni standard per i files H/V orari di figura 11.

6.3 Grafico noise: *plot_noise*

Questa macro fornisce uno strumento grafico in grado di mostrare sequenzialmente i 24 rapporti spettrali medi orari di rumore delle tre componenti del moto. Si ha così una animazione dell'andamento giornaliero del rumore.

È importante sottolineare come i nomi dei file di output delle macro rumore non si prestano direttamente ad essere l'input della macro *plot_noise*, che utilizza invece il seguente standard:

nameCCstacomp_tipo.am

dove:

name lettera dell'alfabeto

CC numero a due cifre variabile tra 01 e 24 e che indica le ore della giornata alla quale i files si riferiscono

sta stazione

comp componente del moto

tipo è 'm' per gli spettri medi e 'rat' per i rapporti spettrali medi

Per svolgere rapidamente l'operazione di copiatura dei file con il nome corretto per questa macro si può utilizzare una apposita utility, chiamata **inputplot_noi**, che crea lo script **creafile**, da rendere eseguibile e lanciare.

INPUT:

- **name** è la lettera iniziale dei nomi dei file che si intende graficare
- **sta** stazione
- **lim** fissa il limite massimo dell'asse x
- **in** è il numero del file dal quale si vuole iniziare la visualizzazione (utile se non si vogliono vedere tutte le ventiquattro ore).

APPENDICE MACRO SAC

SIGTONOISE

Comparison of the signal and noise spectra

- do loop over the stations
- choose the signal and the noise windows
- do loop over the 3 components
 - cut, remove trend (a least squares curve fit to a straight line is calculate and then 'subtracted' from the data), taper (Hanning window 5%)
 - FFT (before the transform is performed, the time series is padded with zeros to the next power of two)
 - Normalize the signal and noise spectra dividing by their durations (Tsig, Tnoi) and compare them: $\text{FFT}(\text{sig}) / \text{Tsig}$, $\text{FFT}(\text{noi}) / \text{Tnoi}$

It does modify for output files *.noi and *.sig the following header :

RESP8 (starting time used to make spectra)

RESP9 (time length of the noise and signal).

RECEIVER

Compute the receiver function (NS/V, EW/V and H/V) for one or more stations that recorded the same event

- do loop over the stations
- choose the signal windows: for the first station we choose the beginning-0.5sec and duration, only the beginning for the others
- cut, high-pass filter 20 sec (Butterworth filter, corner frequency 0.05, 4 poles, 2 passes), remove trend (a least squares curve fit to a straight line is calculate and then 'subtracted' from the data), taper (Hanning window 5%)
- FFT (before the transform is performed, the time series is padded with zeros to the next power of two)
- Smoothing with a mean smoothing algorithm (define frequency resolution length and compute the number of points that approximate the smoothing window)
- compute the spectral ratio between NS or EW components and V comp.
 'date'. 'sta' 'comp'.rec where 'comp'=n, e

It does modify for output files *.rec the following header :

RESP7 (resolution in frequency -halfwindow of smoothing-)

RESP8 (starting time for station, it can be different from RESP6 due a bad synchronism between stations)

RESP9 (time lenght of the signal).

SPRATIO

Compute the horizontal (standard) spectral ratio with respect to a reference station

- choose the time window duration for all the stations, and the beginning-0.5sec for each station
- cut, high-pass filter 20 sec (Butterworth filter, corner frequency 0.05, 4 poles, 2 passes), remove trend (a least squares curve fit to a straight line is calculate and then 'subtracted' from the data), taper (Hanning window 5%)
- FFT (before the transform is performed, the time series is padded with zeros to the next power of two)
- Smoothing with a mean smoothing algorithm (define frequency resolution length and compute the number of points that approximate the smoothing window)
- compute the NS or EW spectral ratio
 'date'. 'sta' comp'.rat where 'comp'=n, e

It does modify for output files *.rat the following header :

RESP6 (starting time for reference station)

RESP7 (resolution in frequency -halfwindow of smoothing-)

RESP8 (starting time for station, it can be different from RESP6 due a bad synchronism between stations)

RESP9 (time lenght of the signal).

RAPSPE

Compute the signal-to-noise spectral ratio, the receiver function and the horizontal (standard) spectral ratio with respect to a reference station using the same time window.

We use a specific file name of record: YYDDMMhhmms.STNMc, where

'YY' year, 'MM' month, 'JJ' day, 'HH' hour, 'mm' minuts and 's' alphabetic code for seconds

'STNM' station name

'c' component (n, e, z)

- choose the common time window (duration) for the NS components of all the stations
- do loop over the stations
 - a) <macro sc1>: TIME WINDOW

- choose the begin time (-0.5sec) of the signal and the noise window for each record
 - high-pass filter 20 sec (Butterworth filter, corner frequency 0.05, 4 poles, 2 passes), cut
- b) <macro sc2>: SIGNAL-to-NOISE
- remove trend (a least squares curve fit to a straight line is calculate and then 'subtracted' from the data), taper (Hanning window 5%) and FFT (before the transform is performed, the time series is padded with zeros to the next power of two)
 - Normalize the signal and noise spectra dividing by the square root of their durations (T_{sig} , T_{noi}) and compare them: $FFT(sig)/\sqrt{T_{sig}}$, $FFT(noi)/\sqrt{T_{noi}}$
 - Plot signal and noise spectra
- c) Save single spectra in SAC format and signal-to-noise plot (optional)
- d) <macro sc3> : SMOOTHING
- read records of both reference and non-reference stations
 - remove trend (a least squares curve fit to a straight line is calculate and then 'subtracted' from the data), taper (Hanning window 5%) and FFT (before the transform is performed, the time series is padded with zeros to the next power of two)
 - Smoothing with a mean smoothing algorithm (the user define half-length of frequency resolution, and the number of points that approximate the smoothing window is computed).
- e) <macro sc4> : SPECTRAL RATIO and RECEIVER FUNCTION
- compute the NS or EW spectral ratio (to the reference station)
 - compute the NS or EW receiver functions for both reference and non-reference station
 - Plot ratios
 - Save plots of ratios (optional)
- f) Save receiver function ('date'.sta"comp'.rec) and spectral ratio ('date'.sta"comp'.rat) in SAC format
where 'comp'=n, e

The following header of output files are modified:

RESP6 (starting time for reference station)

RESP7 (resolution in frequency: half-window of smoothing)

RESP8 (starting time for station, it can be different from RESP6 due a bad synchronism between stations)

RESP9 (time length of the signal).

RUOTORATIO.COM

Rotate the horizontal components by 10° step and compute the receiver function and the standard spectral ratio of the longitudinal component

- do loop over a list of events, stations and rotation angles
- choose the time window duration for all the stations, and the beginning for each station
- cut, remove trend (a least squares curve fit to a straight line is calculate and then 'subtracted' from the data), taper (Hanning window 5%)
- rotate by 10° (from 0° to 170°)
- FFT (before the transform is performed, the time series is padded with zeros to the next power of two)
- Smoothing with a mean smoothing algorithm (define frequency resolution length and compute the number of points that approximate the smoothing window)
- compute the longitudinal spectral ratio
 - 'date'.'sta'.'ang'.rs
 - 'date'.'sta'.'ang'.hv where 'ang'=0-17
- plot the contour of the rotated spectral ratios spruoto_tutti_new.m)

MEDIE.COM

Compute the logarithmic mean of the receiver function and standard spectral ratio (for rotated ratios also) over a list of events

- decimate (downsample applying an anti-aliasing FIR filter) the logarithmic spectral ratio files with the smaller sampling rate
- compute the logarithmic mean over the intervals and the mean +- 1 standard deviation:
$$\text{meanlog} = \text{SUM}[\log(\text{ratio})] / \text{Nrec}$$
$$\text{stdlog} = \{ \text{SUM}[\log(\text{ratio}) - \text{meanlog}]^2 / (\text{Nrec} - 1) \}^{1/2}$$
- save the correspondent geometric mean:
- $10^{(\text{meanlog})} \pm 10^{(\text{meanlog} - \text{stdlog})}$

'sta'comp'.'tipo'.med

'sta'comp'.'tipo'.medm

where 'comp'=n, e; 'tipo'=rec, rat

'sta''comp'.'tipo'.medp

'sta'.'ang'.'tipo'.med

'sta''comp'.'tipo'.medm

'sta''comp'.'tipo'.medp

where 'ang'=0-17; 'tipo'=hv, rs

It does modify for output files the following header :
RESP5 (number of averaged events).

RUMORE

Compute the spectral ratio of N intervals (NS/V, EW/V, H/V) of a time history and then compute their logarithmic average (<NS/V>, <EW/V>, <H/V>)

- Do loop over different files
- do loop over the stations
- do loop over the 3 components
- define the window length (seconds)
- compute the number of window length (interval) included in the total duration of the record
- for each interval (do loop):
 - compute the spectrum:
 - cut, remove trend (a least squares curve fit to a straight line is calculate and then 'subtracted' from the data), taper (Hanning window 5%), high-pass filter 20 sec (Butterworth filter, corner frequency 0.05, 4 poles, 2 passes)
 - FFT (before the transform is performed, the time series is padded with zeros to the next power of two)
 - Smoothing with a mean smoothing algorithm (define frequency resolution length and compute the number of points that approximate the smoothing window)
 - compute the spectral ratio:
 - Ratio between NS or EW components and V comp.
 - Ratio between H component, $(NS+EW)/2$ or $[(NS^2+EW^2)/2]^{1/2}$, and V comp.
- compute the sp. ratio logarithmic mean over the intervals and the mean +- 1 standard deviation:
 - meanlog = $SUM[\log(ratio)] / N_{intervals}$
 - stdlog = $\{SUM[\log(ratio)-meanlog]^2 / (N_{intervals}-1)\}^{1/2}$
- save the correspondent geometric mean:
 - $10^{(meanlog)} \pm 10^{(meanlog \pm stdlog)}$

'date'.'sta''comp'_m.rat

'date'.'sta''comp'_m+dev.rat

where 'comp'=n, e, H

'date'.'sta''comp'_m-dev.rat

AVERAGESPEC

Compute the logarithmic mean of the previous ratios average of different records within the same day

- do loop over different records within the same day (YYMMDD)
- compute the logarithmic mean over the intervals, the mean +- 1 standard deviation (std) and the mean +- 1 standard deviation of the mean (med):
 $\text{meanlog} = \text{SUM}[\log(\text{ratio})] / \text{Nrec}$
 $\text{stdlog} = \{ \text{SUM}[\log(\text{ratio}) - \text{meanlog}]^2 / (\text{Nrec} - 1) \}^{1/2}$
 $\text{stdlog_m} = \text{stdlog} / (\text{Nrec})^{1/2}$
- save the correspondent geometric mean:
 $\exp(\text{meanlog}) \pm \exp(\text{meanlog} \pm \text{stdlog})$
 $\exp(\text{meanlog}) \pm \exp(\text{meanlog} \pm \text{stdlog_m})$

mediag'comp'.dat

mediagmeno'tipo''comp'.dat

mediagpiu'tipo''comp'.dat

where 'comp'=n, e; 'tipo'=std, med

Bibliografia:

Azzara, R. M., Alletti, M., Cultrera, G., D'Anna, G., D'Anna, R., Di Giulio, G., Giammarinaro, M. S., Passafiume, L., Rovelli, A., Vallone, P., Variations of the ground motion in the city of Palermo observed during aftershocks of the September 6, 2002, ML 5.6 earthquake, *SM-10, EAE03-A-10406*, Nizza 2003

Bard, P.-Y., Microtremor measurements: A tool for site effect estimation?, in *The Effects of Surface Geology on Seismic Motion*, Irikura, Kudo, Okada, and Sasatani Eds., 1251-1279, Balkema, Rotterdam, Netherland, 1999.

Borcherdt, R.D., 1970, Effect of local geology on ground motion near San Francisco bay, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 60, 29-61.

Cultrera, G., Luzi, L., Struttura di un data base per la gestione delle registrazioni di una rete di stazioni sismiche, *Rapporto tecnico INGV*, 2003 (in print).

Cultrera, G., Rovelli, A., Caserta, A., Mele, G., Azzara, R. M., Azimuth dependent amplification effects on weak and strong motions within a fault zone (Nocera Umbra, central Italy), *J. Geophys. Res.*, 108, 2156, 2003.

Di Giulio, G., Rovelli, A., Cara, F., Azzara, R. M., Marra, F., Basili, R., and Caserta, A., Long-duration, asynchronous ground motions in the Colfiorito plain, central Italy, observed on a 2D dense array, *J. Geophys. Res.*, Vol. 108, No. B10, 2486, 2003.

Field, E.H., and Jacob, K.H., 1995, A comparison and test of various site-response estimation techniques, including three that are not reference site dependent, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 85, 1127-1143.

Improta, L., Di Giulio, G., Rovelli, A., Local site effects in the city of Benevento (southern Italy) using weak-motion and microtremor recordings, *SE0-85, EGS02-A-00773*, Nizza 2002.

Lermo, J., and Chavez-Garcia F. J., 1993, Site effect evaluation using spectral ratios with only one station, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 83, 1574-1594.

Lombardo, G., Coco, G., Corrao, M., Imposa, S., Azzara, R. M., Cara, F., Rovelli, A., Results of microtremor measurements in the urban area of Catania, Italy, *Boll. Geofis. Teorica e Applicata* 2001.

MarsLite Software: <http://www.lennartz-electronic.de/indexmain.html>

Matlab Tool: <http://www.mathworks.com>

PASSCAL Software: <http://www.iris.washington.edu/manuals/manuals.html>

SAC Program: <http://www.llnl.gov/sac/>

SESAME Project: <http://sesame-fp5.obs.ujf-grenoble.fr>, 2001.