



**Stazioni MARS88-MC: Interventi in fase di  
installazione e monitoraggio delle condizioni di sito**

**Marzorati S., D'Alema E. e Augliera P.**

---

**RAPPORTO TECNICO INGV-MI**

**Dicembre 2004**

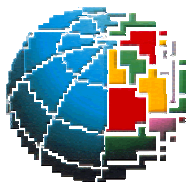
**Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia**

**Sezione di MILANO**

Via Bassini 15 - 20133 Milano

[www.ingv.it](http://www.ingv.it)





**ISTITUTO NAZIONALE di GEOFISICA e VULCANOLOGIA**  
**Sezione di Milano**

---

**“STAZIONI MARS88-MC: INTERVENTI IN FASE DI INSTALLAZIONE E  
MONITORAGGIO DELLE CONDIZIONI DI SITO”**

Simone Marzorati, Ezio D'Alema e Paolo Augliera

**RAPPORTO TECNICO INGV-MI**

**Milano, Dicembre 2004**

## Indice

<b>Riassunto.....</b>	<b>pag. 3</b>
<b>1. Introduzione.....</b>	<b>pag. 3</b>
<b>2. Acquisizione dati.....</b>	<b>pag. 6</b>
<b>3. Analisi spettrale: curve di Peterson e rapporto H/V.....</b>	<b>pag. 7</b>
<b>4. Variazione temporale delle condizioni di noise.....</b>	<b>pag.14</b>
<b>5. Livelli medi del noise ambientale.....</b>	<b>pag.16</b>
<b>6. Esempio di controllo da remoto per la corretta installazione della strumentazione.....</b>	<b>pag.20</b>
<b>7. Esempio di monitoraggio delle condizioni ambientali al sito.....</b>	<b>pag.23</b>
<b>Conclusioni.....</b>	<b>pag.32</b>
<b>Ringraziamenti.....</b>	<b>pag.33</b>
<b>Bibliografia.....</b>	<b>pag.33</b>

## **Riassunto**

Nella prima parte di questo lavoro sono descritte le analisi speditive eseguite per testare i siti nei quali sono state installate stazioni sismiche MARS88–MC (Modem Control) gestite dalla Sezione di Milano dell'INGV(INGV-MI) nel corso dell'anno 2003. Tali analisi sono eseguibili direttamente dal centro di acquisizione dati di Milano utilizzando la connessione telefonica sulla quale è basato il sistema di acquisizione; i confronti tra ordinate spettrali eseguiti su tracce di noise sismico e curve di riferimento (Peterson, 1993), l'analisi dei rapporti spettrali tra le componenti orizzontali e quella verticale (Nakamura, 1989) permettono di stimare una qualità preliminare del sito ed individuare eventuali anomalie di installazione strumentale e segnalarle agli operatori presenti al sito. Per verificare la variazione del livello di noise del sito su un lungo periodo di osservazione è stata sviluppata un'analisi che evidenzia l'influenza dell'attività antropica sulle registrazioni. Infine sono riportati alcuni esempi di studi eseguiti per migliorare l'installazione strumentale e risolvere le complicazioni tecniche che possono accadere durante le fasi stesse dell'installazione.

## **1. Introduzione**

Le operazioni di installazione di stazioni sismiche sul territorio richiedono una serie di attenzioni che riguardano non solo una scelta adeguata del sito ma anche alcune accortezze strumentali che permettano il reperimento corretto delle informazioni trasmesse dagli strumenti.

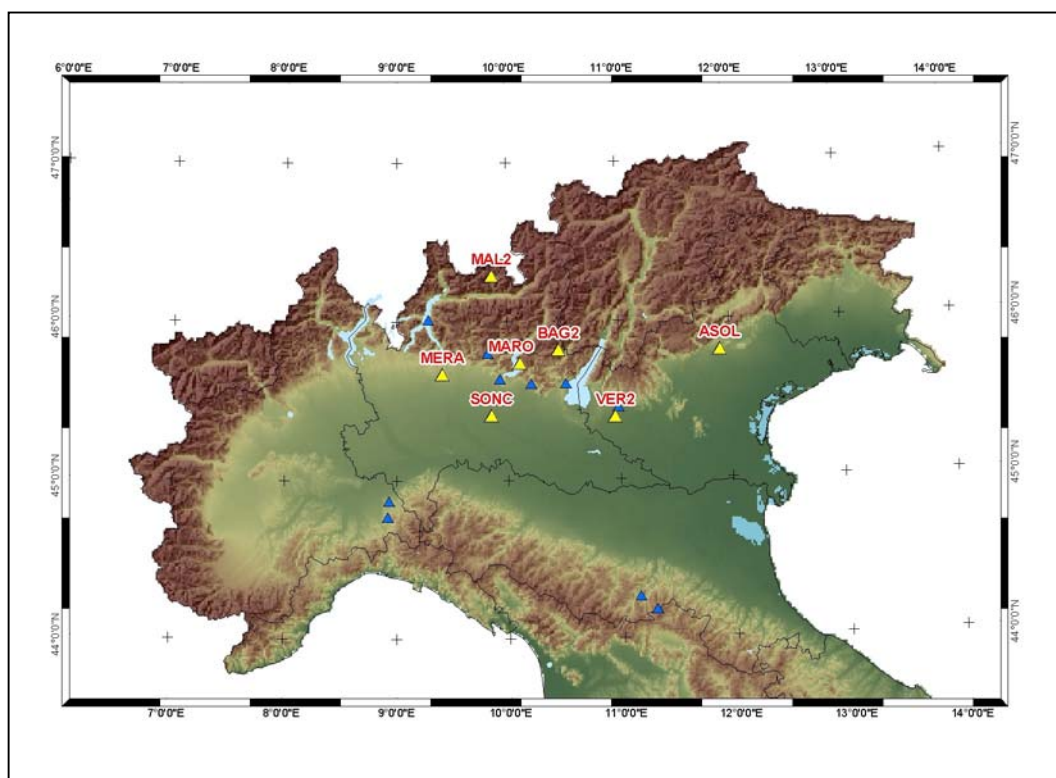
In una prima fase delle attività, non disponendo di strumentazione “leggera” per analisi speditive di qualificazione del sito, INGV-MI ha sfruttato acquisitori MARS88-MC ed un sistema di elaborazione dati per operare i controlli necessari alla valutazione delle condizioni di sito, sia in fase di installazione sia durante tutto il periodo di attività di una stazione. Questo fatto richiede un'organizzazione logistica che permetta di ottimizzare la quantità di interventi, risparmiando quanto possibile le limitate risorse umane a disposizione. Il sistema di acquisizione e le procedure di elaborazione implementate per analizzare rapidamente i dati in laboratorio (D'Alema, Marzorati, 2004) sono elemento essenziale per il raggiungimento degli obiettivi preposti.

La possibilità di controllare l'operato delle squadre in campagna al momento dell'installazione della strumentazione è dunque un aspetto determinante per correggere eventuali anomalie riscontrate nella trasmissione dati o nel contenuto del segnale stesso; questo ha un effetto immediato sulle decisioni che possono determinare un'ulteriore ricerca di un sito idoneo per le registrazioni sismiche, oppure una diversa disposizione della strumentazione, nonché eventuali sostituzioni delle componenti difettose. La valutazione speditiva dei livelli di noise al sito è stata effettuata non disponendo inizialmente di strumentazione maggiormente adatta per sopralluoghi preliminari;

sempre nell'ottica dell'ottimizzazione si è scelto di raggiungere una zona di interesse e stimare un possibile sito, installando da subito la strumentazione e valutando da remoto dalla Sede di Milano con le procedure descritte la qualità dello stesso.

Nel corso del 2004, nuova strumentazione del tipo Reftek 130 ha permesso di svolgere l'attività di ricerca siti adottando una strategia differente: viene effettuato un primo sopralluogo nella zona di interesse, in cui vengono acquisiti vari segnali di microtremore, e la prima valutazione del livello del noise può essere così effettuata direttamente in situ, da calcolatore portatile. Non è necessario quindi inviare i segnali alla Sede di Milano per l'esecuzione delle analisi preliminari.

Una volta installata la strumentazione, in caso di condizioni di noise accettabili, le condizioni al sito vengono monitorate per periodi più lunghi, per verificare eventuali variazioni nel corso del tempo. Prelevando quotidianamente del rumore (noise), viene verificato se i livelli di noise si mantengono al di sotto delle soglie di riferimento (Peterson,1993), discriminando così quei disturbi che sono temporanei da quelli che persistono cronicamente.



**Figura 1** Dislocazione delle stazioni sismiche dell'INGV-MI ancora attive alla fine del 2003 (simboli gialli) e siti precedentemente qualificati (triangoli blu)

<b>Stazione (Sigla)</b>	<b>Comune</b>	<b>Provincia</b>	<b>Latitudine</b>	<b>Longitudine</b>	<b>Quota (m)</b>	<b>Data Installazione</b>	<b>Data Disinstallazione</b>	<b>Sensore</b>
<b>MI66</b>	Zone	Brescia	45,7397	10,1175	600	05/12/02	24/03/03	Mark L4-3D
<b>MI55</b>	Concesio	Brescia	45,6062	10,2155	210	05/12/02	11/03/03	Mark L4-3D
<b>MI61</b>	Capriolo	Brescia	45,6375	9,9338	253	16/12/02	12/03/03	Mark L4-3D
<b>MI50</b>	Perledo	Lecco	46,0107	9,2910	219	18/02/03	27/05/03	Mark L4-3D
<b>ASOL</b>	Asolo	Treviso	45,8049	11,9180	221	04/03/03		Mark L4-3D
<b>SONC</b>	Soncino	Cremona	45,4123	9,8554	90	06/03/03		Mark L4-3D
<b>MI52</b>	Salò	Brescia	45,6080	10,5260	123	06/03/03	11/03/03	Mark L4-3D
<b>BAGO</b>	Bagolino	Brescia	45,8217	10,4678	767	12/03/03	12/05/03	Mark L4-3D
<b>MALE</b>	Chiesa di Val Malenco	Sondrio	46,2914	9,8650	2030	14/03/03	04/09/03	Mark L4-3D
<b>MARO</b>	Zone	Brescia	45,7397	10,1175	600	24/03/03		Mark L4-3D
<b>BAG2</b>	Bagolino	Brescia	45,8228	10,4664	807	12/05/03		Mark L4-3D
<b>SARE</b>	Sarezzano	Alessandria	44,8705	8,9429	284	13/05/03	20/05/03	Mark L4-3D
<b>SARD</b>	Sardigliano	Alessandria	44,7707	8,9276	340	05/06/03	11/06/03	Mark L4-3D
<b>VERO</b>	Verona	Verona	45,4546	10,9941	174	17/06/03	26/11/03	Mark L4-3D
<b>GAZZ</b>	Gazzaniga	Bergamo	45,7986	9,8290	475	15/07/03	14/10/03	Mark L4-3D
<b>MAL2</b>	Chiesa di Val Malenco	Sondrio	46,2918	9,8636	2030	28/07/03		Mark L4-3D
<b>GRIZ</b>	Grizzana Morandi	Bologna	44,2604	11,1554	661	15/09/03	28/10/03	Mark L4-3D
<b>OGGI</b>	Monghiodoro	Bologna	44,1773	11,2988	970	15/09/03	28/10/03	Mark L4-3D
<b>MERA</b>	Merate	Lecco	45,6725	9,4182	350	23/10/03		Lennartz LE-3D/5S
<b>VER2</b>	Verona	Verona	45,3970	10,9609	174	26/11/03		Mark L4-3D

**Tabella 1** Elenco delle stazioni sismiche installate da INGV- MI nel corso del 2003.

## 2. Acquisizione dati

INGV–MI, a fine 2003, disponeva di 20 stazioni sismiche MARS88 della ditta “Lennartz Electronics GmbH”; di queste, 14 sono state modificate ed aggiornate con sistema di trasmissione dati via Modem GSM (MARS88-MC); le rimanenti dispongono di un sistema di memorizzazione dati su Floppy Disk (MARS88-FD). Le MARS88–MC sono state dotate di sensori Mark L4-3D. Il periodo proprio dei sensori è 1 sec. I sensori Mark sono strumenti di tipo passivo, non alimentati, hanno una sensibilità pari a 171 Volts/metro/secondi e smorzamento critico uguale a 0.707. In Figura 1 sono indicati sia le stazioni attive sia i siti qualificati (Tabella 1) alla fine del 2003.

L'architettura sulla quale si basa il sistema di acquisizione dati è composta da tre moduli distinti: le stazioni sismiche con trasmissione dati via modem GSM, il Gateway e la Workstation. Le stazioni MARS88-MC sono dei digitalizzatori a 24 bit di dinamica dotati di una memoria volatile (RAM) di 4Mb e sono accoppiate tramite una connessione multipolare a modem GSM con una velocità di trasferimento dati pari a 9600 bps. Il Gateway è un computer con sistema operativo Unix - FreeBSD che esegue fisicamente le connessioni telefoniche con ognuna delle stazioni installate sul territorio; dalla console di tale macchina è possibile collegarsi in remoto alla stazione e verificare i setup di configurazione, modificandoli se necessario. Stabilita la connessione telefonica tramite il gateway, i dati contenuti nella RAM di ogni singola stazione vengono scaricati tramite un collegamento con una scheda di rete sulla Workstation ed archiviati in un data base; la Workstation è un PC sul quale è stato installato il sistema operativo Linux Suse 8.1. Il sistema di acquisizione dati è impostato in base ad un ciclo di chiamate periodiche (in genere ogni 1 o 2 ore), in cui si verifica se il valore dell'ampiezza dei segnali memorizzati nelle stazioni remote abbia superato una certa soglia. Algoritmi interni agli acquisitori sfruttano il rapporto STA/LTA (Short-Time-Average through Long-Time-Average) per operare questa verifica; se più stazioni indicano segnali utili in coincidenza, il sistema di acquisizione dati scarica le informazioni e le archivia nella Workstation centrale. Questo criterio di coincidenza permette una notevole riduzione della mole di dati da processare, riducendo al minimo i tempi delle chiamate telefoniche per lo scarico dei dati e rendendo tutto il sistema di acquisizione di più facile gestione. Al fine di eseguire un'accurata analisi sulle caratteristiche del noise di ogni sito, e di conseguenza della qualità del sito stesso, è stato impostato un ciclo di chiamate integrative con lo scopo di prelevare finestre di rumore (noise) della lunghezza di 5 minuti su ognuna delle stazioni installate. In particolare su ogni stazione, a partire dalla data della sua installazione, sono state prelevate finestre di 5 minuti di rumore alle 3:30, 9:30, 15:30, 21:30 (GMT).

Su una o più finestre di rumore è possibile eseguire le seguenti analisi di qualificazione del sito:

1. Confronto spettrale delle finestre di rumore con spettri di riferimento (Peterson, 1993);
2. Rapporto spettrale (Nogoshi, Igarashi, 1970; Nakamura, 1989);
3. Variazione nel tempo del livello di noise del sito.

### 3. Analisi spettrale: curve di Peterson e rapporto H/V

In laboratorio è possibile eseguire una procedura speditiva per verificare le condizioni di rumorosità del sito, nonché l'eventuale presenza di amplificazioni locali, mentre sul campo è ancora presente la squadra di installatori delle stazioni, i quali, se necessario, possono intervenire cercando di risolvere eventuali problemi riscontrati. Il controllo avviene prelevando dalla stazione appena installata, tramite chiamata forzata, 5 minuti di segnale.

Questa procedura si è rivelata utile, ad esempio, nel caso di installazione di sensori interrati che comporta una delicata sequenza di operazioni, durante la quale il sensore può essere sottoposto a "tilt" e non si verificano le condizioni di accoppiamento sensore-terreno. In tal modo è possibile controllare la corretta installazione della strumentazione.

Una prima elaborazione permette di confrontare lo spettro calcolato del noise, di durata pari ad un minuto, con le curve spettrali di Peterson (1993). Le curve spettrali di Peterson sono il risultato dell'involuppo degli spettri di maggiore e minore noise, derivanti da un catalogo di registrazioni appartenenti ad una serie di stazioni sismiche mondiali. Esse quindi rappresentano una fascia di riferimento delimitata dai valori spettrali, superiore ed inferiore, all'interno della quale il noise ambientale di un sito è ritenuto accettabile.

Per ogni traccia di rumore viene calcolata la Power Spectral Density (PSD) utilizzando finestre mobili di lunghezza pari a 40 sec con ricoprimento del 75% con tapering del 10% utilizzando una funzione coseno tipo Hamming; i valori ottenuti da ogni finestra sono mediati ottenendo uno spettro liscio. In Figura 2 è riportato un esempio del confronto tra rumore e curve di Peterson: nella colonna di sinistra sono rappresentate le tracce di 60 secondi di rumore, registrate rispettivamente dalla componente Verticale, orizzontale Nord-Sud, ed orizzontale Est-Ovest della stazione "MI50"; nella colonna di destra sono stati sovrapposti gli spettri calcolati (tratto grigio), lo spettro smoothato (tratto rosso) e le curve di Peterson (tratto blu); l'ampiezza degli spettri è espressa in decibel. Si può notare che gli spettri calcolati ricadono all'interno della fascia di riferimento fino a frequenze pari a 0.3-0.4 Hz; al di sotto di tali frequenze gli spettri hanno addirittura ampiezze minori del limite inferiore della fascia, ma in tale banda i valori derivanti dal sensore Mark L4-3D sono meno affidabili, avendo la risposta piatta fino ad 1 Hz. Dal confronto tra lo spettro del rumore calcolato della stazione e le curve di Peterson si può dedurre come il sito risulti essere molto buono dal punto di vista del basso livello di rumore presente in tutta la banda di frequenza d'interesse.

I due ultimi riquadri in basso della Figura 2 presentano l'ulteriore analisi effettuata, la quale consiste nel calcolo dei rapporti spettrali tra una componente orizzontale e quella verticale (tecnica di Nakamura); in particolare a sinistra è rappresentato il rapporto tra la componente orizzontale Nord-Sud e la Verticale e a destra il rapporto tra la componente orizzontale Est-Ovest e la Verticale. La tecnica proposta da Nakamura assume che i microtremori siano principalmente composti da

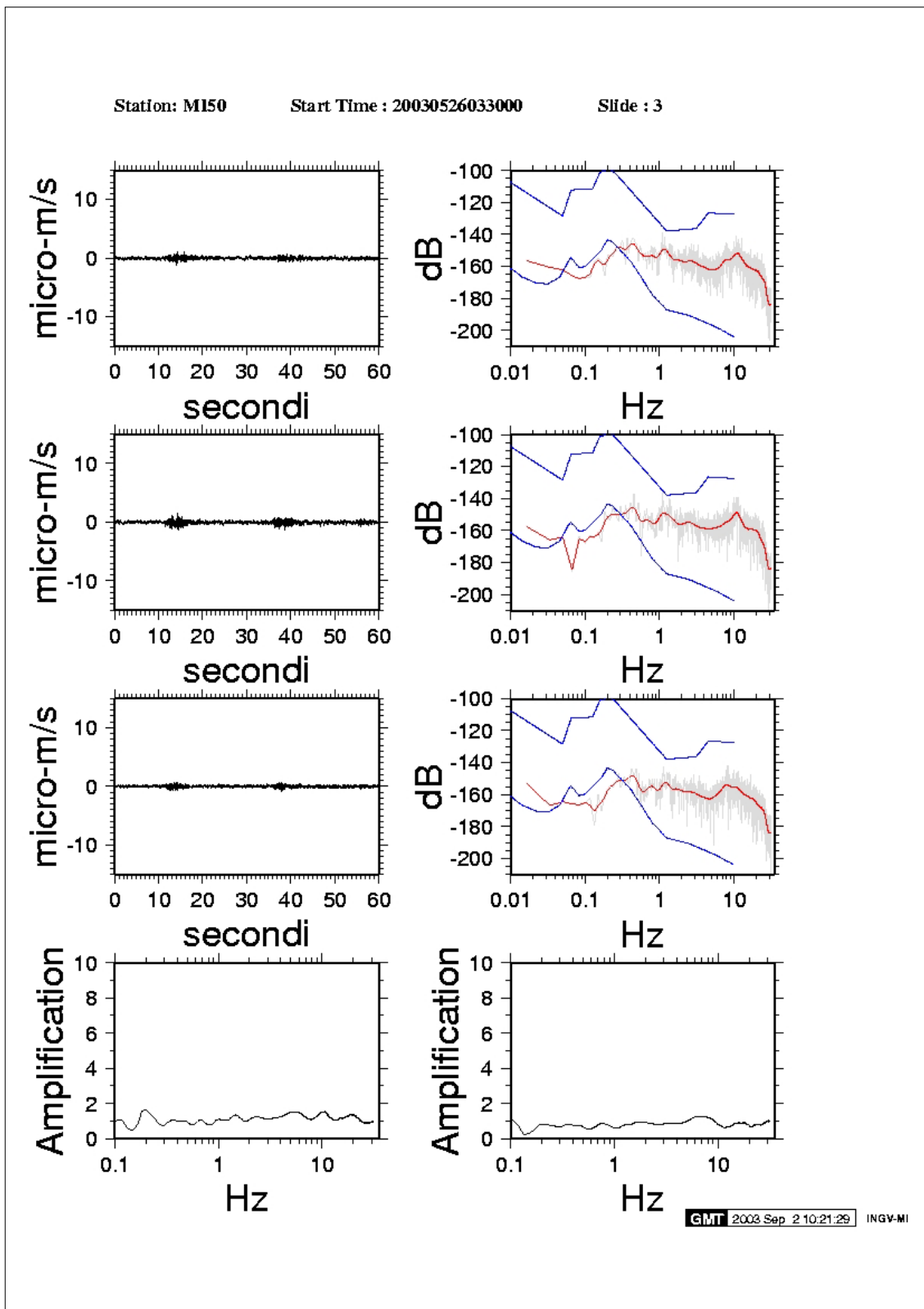


onde di Rayleigh che si propagano in un singolo strato soffici su semispazio rigido e che la presenza di quello strato sia la causa dell'amplificazione al sito. Tale tecnica permette di separare i termini di sorgente-percorso e di sito tramite i rapporti tra le componenti del moto, senza utilizzare alcun sito di riferimento.

Le ipotesi sulle quali si basa la tecnica di Nakamura sono essenzialmente tre:

i microtremori sono generati da sorgenti locali e non da sorgenti profonde, il cui contributo viene scartato; le sorgenti dei microtremori in superficie non influenzano i microtremori alla base del substrato dei sedimenti; la componente verticale del moto non risente di effetti di amplificazione locale.

L'ampia bibliografia presente in letteratura ha dimostrato la validità delle assunzioni fatte da Nakamura e della stessa tecnica, arrivando alla conclusione che il picco visibile nei rapporti spettrali H/V applicati al noise registrato è indipendente dalle caratteristiche della sorgente del rumore ma è, invece, fortemente dipendente dalla stratigrafia del terreno; il picco è ben correlato con la frequenza fondamentale di risonanza del terreno soggetto alla propagazione di onde S verticali e con il picco fondamentale delle curve di dispersione delle onde di Rayleigh. Il valore dell'amplificazione sismica locale non è affidabile in termini di valore assoluto, ma può fornire una stima ragionevole, come ordine di grandezza, del limite inferiore.



**Figura 2** Analisi spettrale per la stazione “MI50” su tracce di noise registrato alle 03:30 GMT. Dal pannello in alto a sinistra, dall’alto verso il basso sono disegnate le tracce delle componenti V, orizzontale NS e orizzontale EW; nella parte destra sono raffigurati i relativi spettri con le curve di Peterson, mentre nei due pannelli in basso sono disegnati i rapporti di Nakamura NS/V (destra) e EW/V (sinistra).

Dai rapporti spettrali ottenuti applicando la tecnica di Nakamura si può desumere se il sito in questione ha una risposta piatta o presenta eventuali amplificazioni per determinate frequenze. Ritornando all'esempio di Figura 2, si può osservare come non sia presente un picco di amplificazione, avendo ottenuto una risposta di sito piatta sia per la componente NS/V sia per EW/V.

L'esempio riportato sopra rappresenta l'analisi speditiva che viene effettuata in laboratorio al momento dell'installazione della stazione; se non appaiono particolari problemi e la stazione viene lasciata in situ, già dopo 24 ore si ha un quadro della situazione come proposto dalla Figura 2 alla Figura 5, in cui sono rappresentate, per la stessa stazione "MI50", le analisi spettrali effettuate sulle finestre di segnale prelevato alle ore (GMT) 3:30 (Figura 2), 9:30 (Figura 3), 15:30 (Figura 4), 21:30 (Figura 5) dello stesso giorno. Le ampiezze rilevate nelle ore diurne sono superiori a quelle notturne, come ci si aspetta per l'effetto del disturbo antropico; esse, in ogni caso, ricadono all'interno delle curve di Peterson. I rapporti spettrali non evidenziano variazioni giornaliere rilevanti, anche se nel caso della finestra delle 21:30 (Figura 5) si può notare un leggero picco dei valori delle amplificazioni per frequenze comprese tra 0.1 e 0.2 Hz. Tale valore è tuttavia da considerarsi poco significativo poiché è il risultato di un rapporto eseguito tra valori molto piccoli e quindi presenta una soluzione instabile. Inoltre si può vedere come i valori delle frequenze sono molto prossimi al limite inferiore del range della curva di risposta strumentale del sensore Mark L4-3D.

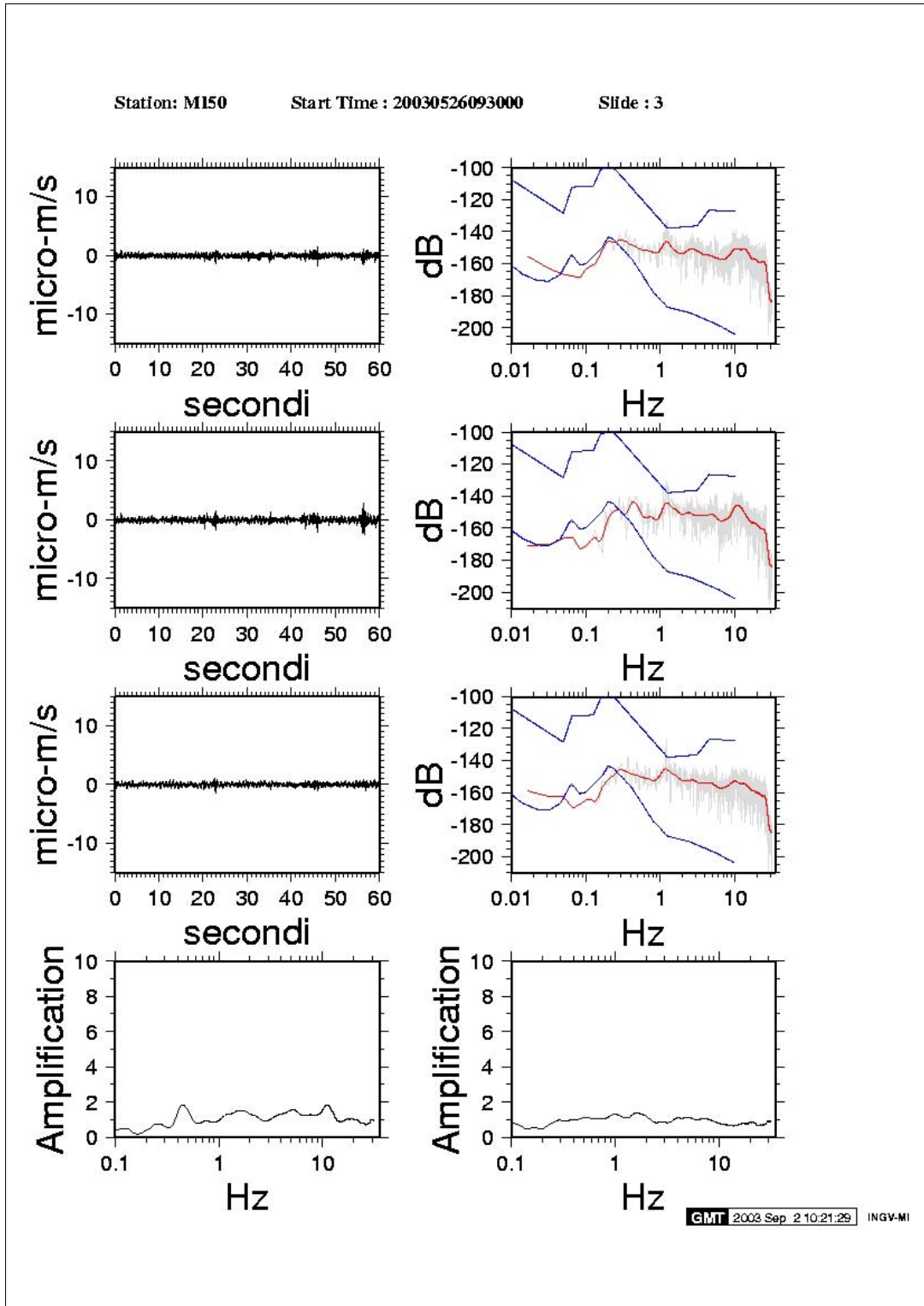


Figura 3 Analisi spettrale per la stazione “MI50” su tracce di noise registrato alle 9:30 GMT.

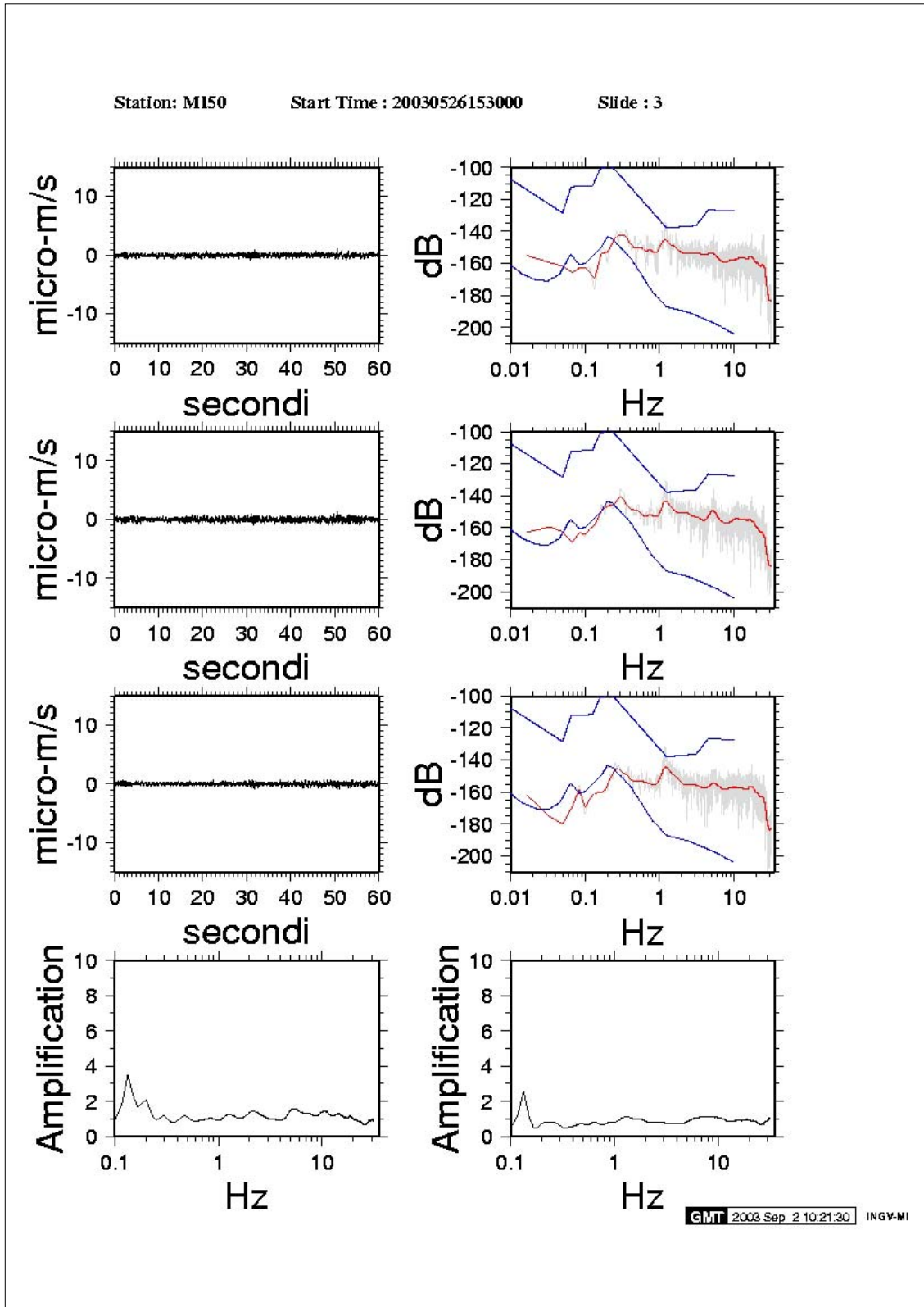


Figura 4 Analisi spettrale per la stazione “MI50” su tracce di noise registrato alle 15:30 GMT.

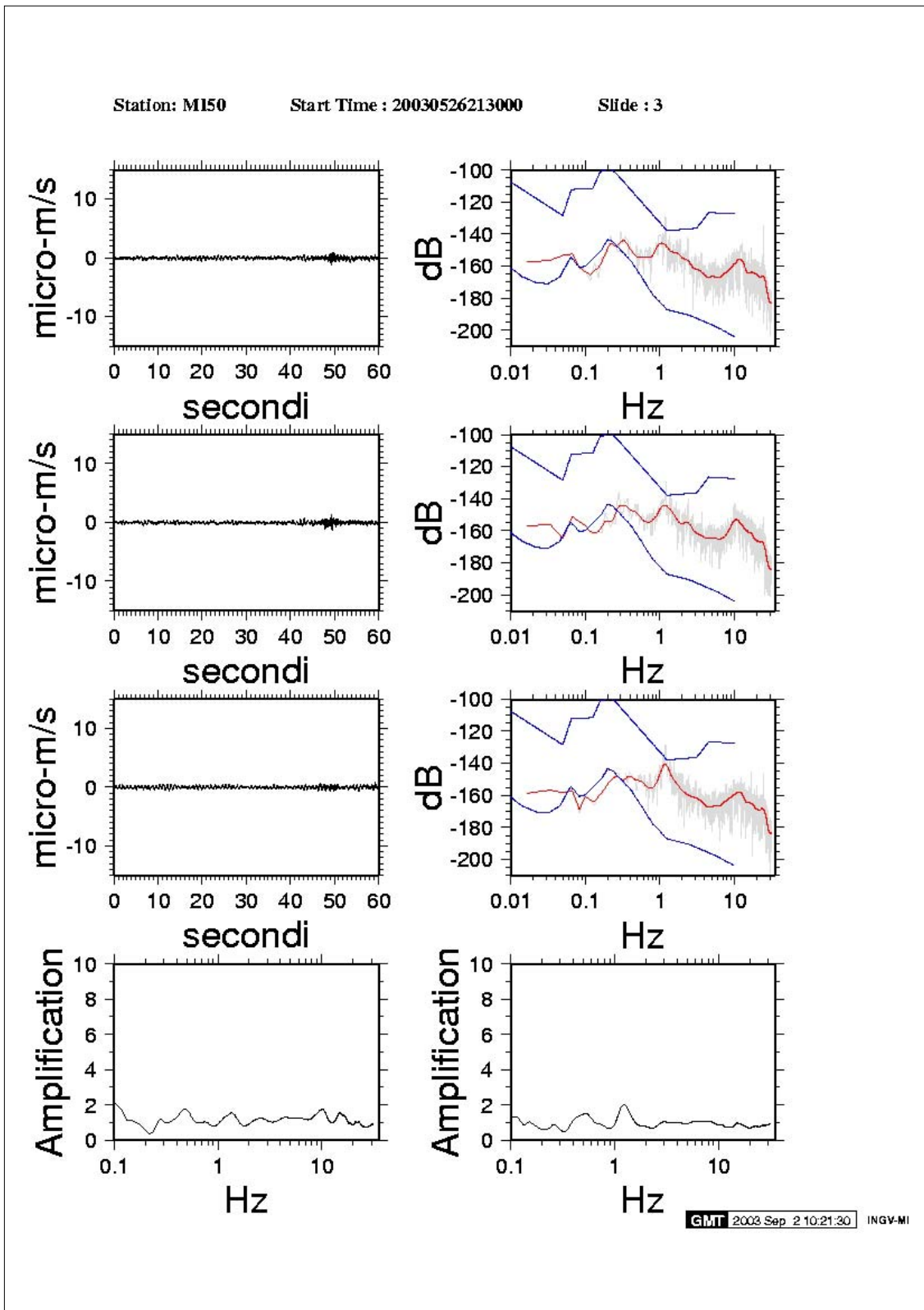


Figura 5 Analisi spettrale per la stazione “MI50” su tracce di noise registrato alle 21:30 GMT.

#### 4. Variazione temporale delle condizioni di noise

Una volta verificata la correttezza dell'installazione della stazione, è importante monitorare la rumorosità del sito per periodi temporali estesi, con lo scopo di individuare disturbi sia di lungo periodo (settimane, mesi), sia occasionali ma provenienti da una sorgente di rumore persistente sul territorio. A tale scopo è stata utilizzata una procedura di monitoraggio intesa a valutare la variazione del noise nel tempo, come confronto diretto dello scarto tra il limite superiore di Peterson e le ordinate spettrali calcolate. In pratica, è stata considerata la banda di frequenza 0.1 – 10 Hz e per ogni frequenza è stata calcolata la differenza tra l'ampiezza del limite superiore di riferimento e l'ampiezza spettrale calcolata.

In Figura 6 è rappresentato il risultato grafico del monitoraggio per la stazione "MI50". Nell'esempio sono stati monitorati i giorni giuliani dal 121 al 148 (dal 1/05/03 al 28/05/03).

I riquadri sono relativi alle tre componenti come indicato a fianco; in ascissa si trovano i giorni giuliani analizzati, mentre in ordinata sono rappresentate le frequenze. Ciascuna barra verticale è relativa ad una singola registrazione, effettuata in uno dei quattro orari giornalieri elencati precedentemente; quindi ogni quattro barre si ha il passaggio al giorno successivo.

Il giudizio sulla qualità viene sinteticamente rappresentato per classi, espresse in intervalli di decibel, alle quali è stato associato un colore per dare un impatto visivo immediato all'operatore. Nella Tabella 2 sono indicati i colori, le classi e i giudizi abbinati.

Colore	Differenza tra spettro calcolato e limite superiore (dB)	Giudizio di qualità
Blu	> 50	Ottimo
Verde	6 - 50	Buono
Giallo	0 - 6	Sufficiente
Rosso	< 0	Pessimo

**Tabella 2** Colori, classi e giudizi relativi al monitoraggio spettrale delle stazioni.

Dai riquadri in Figura 8 si evince come per l'intera durata del periodo monitorato non sono apparse oscillazioni rilevanti del livello di rumore sulle tre componenti, persistendo livelli ottimi-buoni in tutta la banda di frequenza. Si osserva solamente un lieve aumento del noise (aree gialle) nell'intervallo di frequenza 1-2 Hz per i giorni giuliani 131, 141 e 142, il quale si rivela temporaneo, essendo riassorbito successivamente.

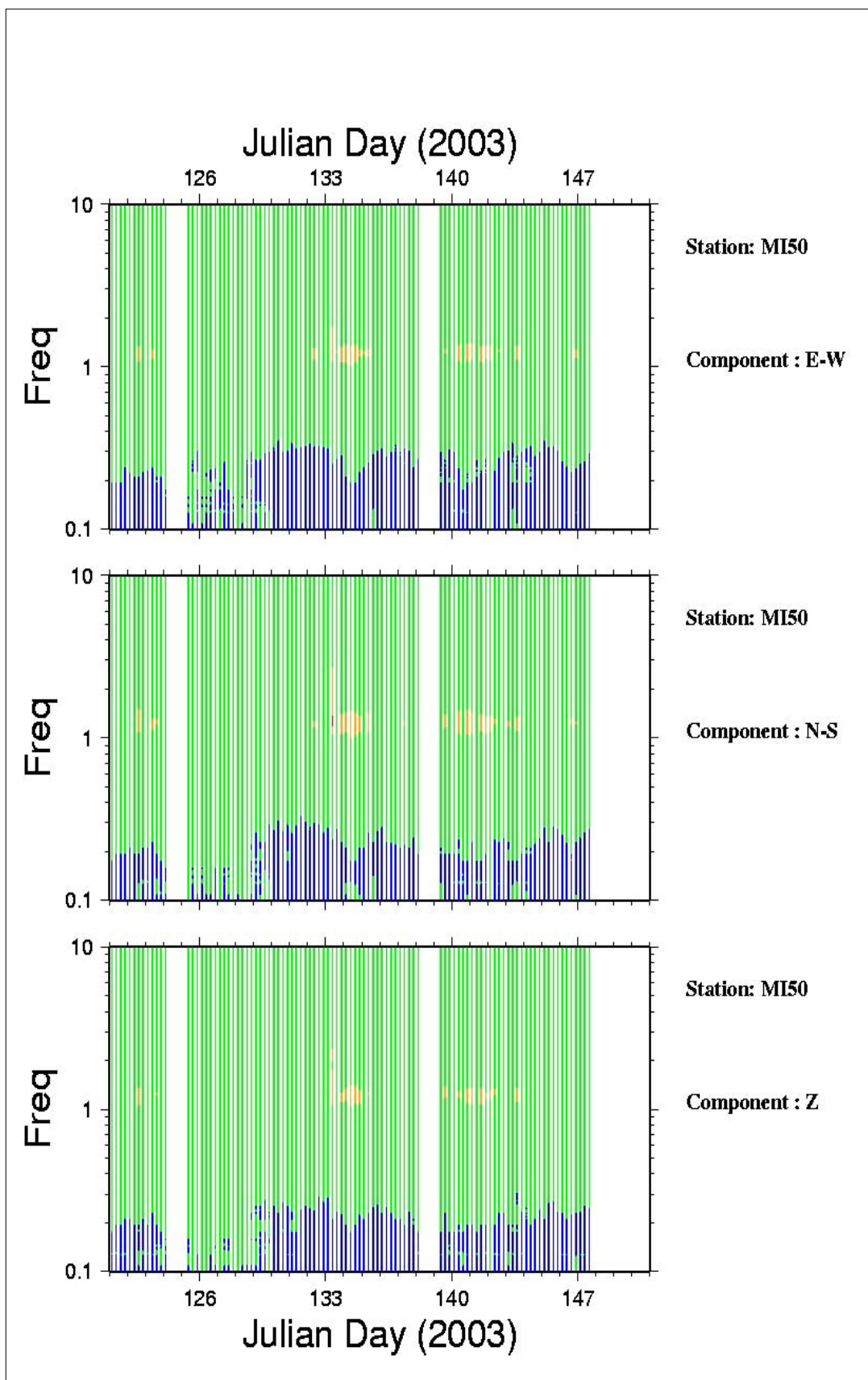


Figura 6 Monitoraggio spettrale della stazione “MI50”.



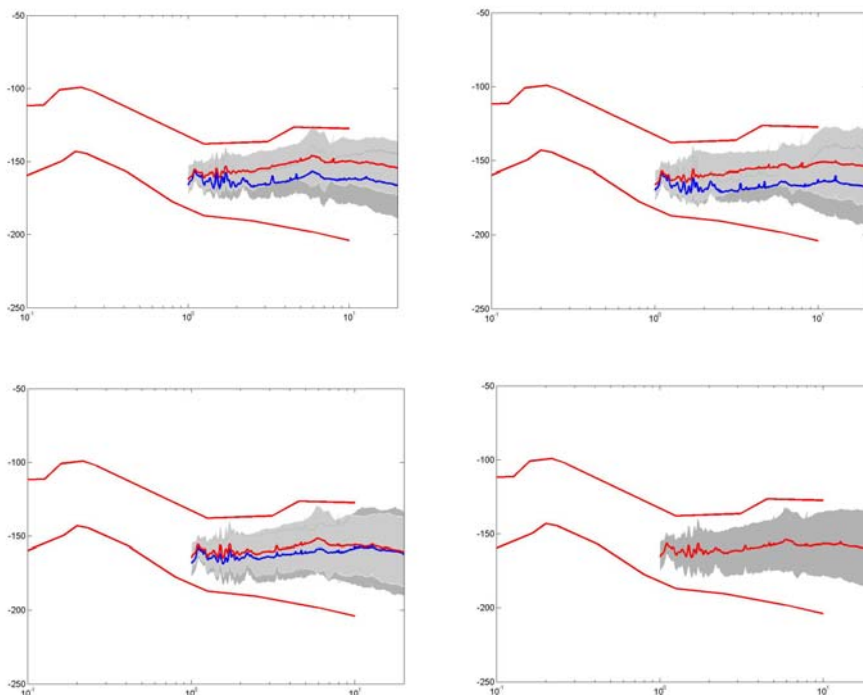
## 5. Livelli medi del noise ambientale

Una volta raccolte tutte le analisi dal corto al lungo periodo temporale, vengono riassunte le caratteristiche del noise ambientale al sito attraverso le medie delle ordinate spettrali.

In particolare vengono accorpate le informazioni in quattro modelli:

- valori medi relativi alle componenti orizzontali diurni e notturni;
- valori medi relativi alla componente verticale diurni e notturni;
- valori medi totali delle componenti orizzontali e verticali;
- valori medi totali.

In questo modo vengono sintetizzate le caratteristiche del noise ambientale attraverso l'espressione media dell'influenza dell'attività antropica sul sito analizzato, particolarmente evidente nei primi due tipi di analisi. Il terzo modello di analisi mette in evidenza eventuali amplificazioni sulle componenti del moto, dando un'idea di quello che risulterebbe da un rapporto spettrale ma mantenendo l'informazione del livello del noise. Infine viene restituito il livello medio totale al sito, il quale incorpora in un'unica informazione la variabilità del noise (Figura 9).



**Figura 9.** A: livelli medi del noise sulle componenti orizzontali (blu = notte; rosso = giorno); B: livelli medi del noise relativo alla componente verticale (blu = notte; rosso = giorno); C: livelli medi del noise totali delle componenti orizzontali (rosso) e verticale (blu); D: livello medio totale del noise.  
Le aree grige rappresentano l'area che contiene i valori di noise medi  $\pm 2$  deviazioni standard.  
In ascissa le frequenze (Hz) e in ordinate i valori di PSD (db/Hz).

In Figura 10 vengono presentati i livelli medi totali del noise ambientale nei siti analizzati nel corso del 2003.

I livelli medi giacciono in tutti i siti al di sotto della curva superiore di riferimento, con una certa variabilità dipendente dal contesto territoriale in cui è stata posta ogni stazione sismica. Le stazioni in aree montane e relativamente isolate (ad esempio MI50, BAG2, MAL2) registrano livelli medi minori rispetto ad altre stazioni collocate nelle vicinanze di aree urbane maggiori delle colline prospicienti alle Prealpi o agli Appennini (ad esempio MI55, MI61, SARE, SARD). Il caso peggiore si riscontra, come atteso, al sito SONC, in località Soncino: il livello medio di noise raggiunge il limite superiore di riferimento, mentre la variabilità data dalle deviazioni standard va anche oltre tale limite. Il sito SONC si trova all'interno del territorio della pianura Padana, in un'area omogeneamente circondata da sorgenti di disturbo antropiche; rispetto ad uno dei siti migliori montani, il livello di noise è in media superiore di circa 20 db/Hz, valore pari a 10 volte in ampiezza il rapporto segnale/rumore. Dovendo installare una stazione sismica in un sito con tali caratteristiche e richiedendo una buona capacità di deteazione di eventi sismici, risulta necessario valutare l'ipotesi di installazioni in pozzo per poter abbattere il livello di noise superficiale.

La variabilità dei livelli di noise vista in Figura 10, dà un'idea di quale sia la situazione generale nell'area centrale del Nord Italia.

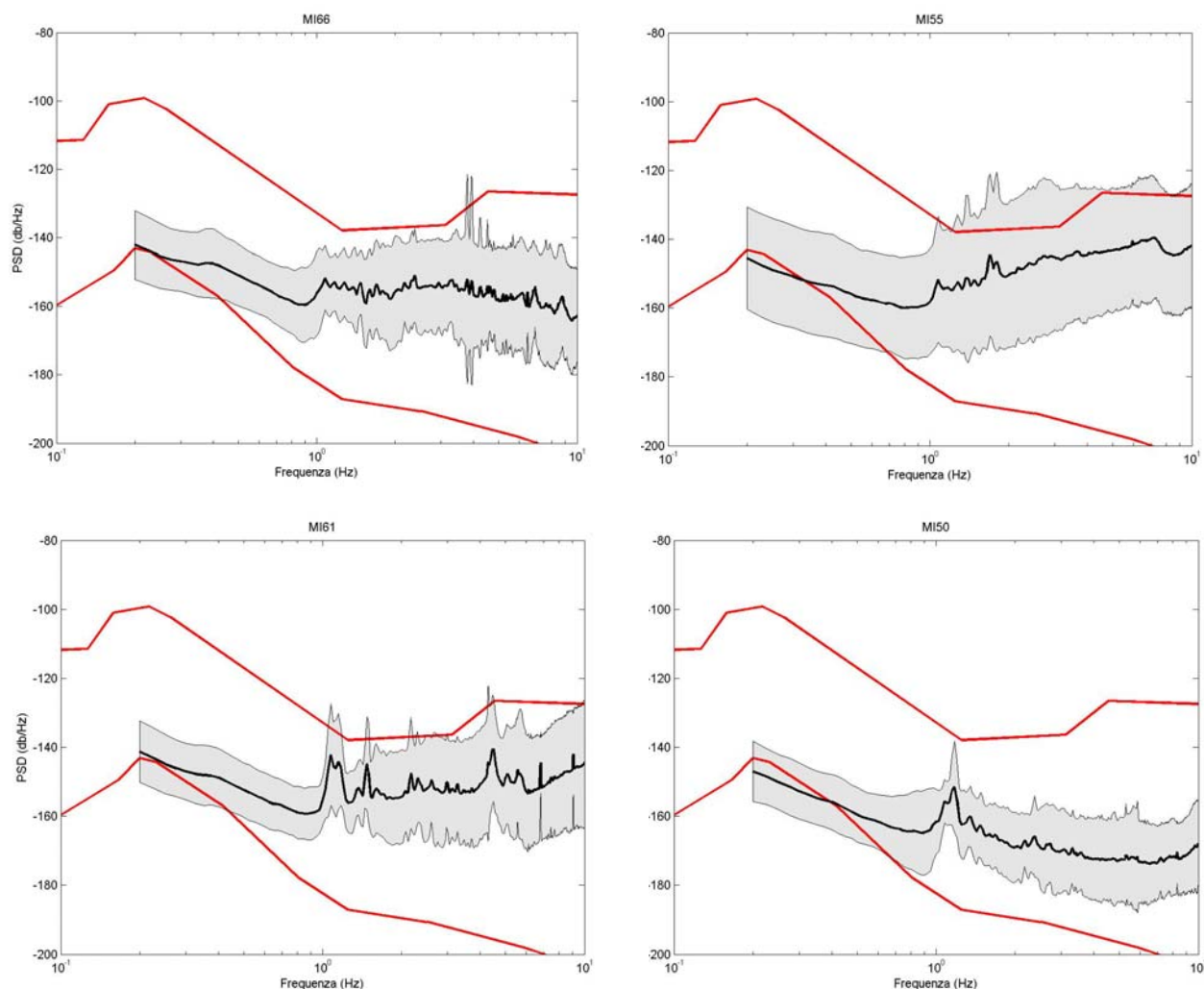


Figura 10. (continua)

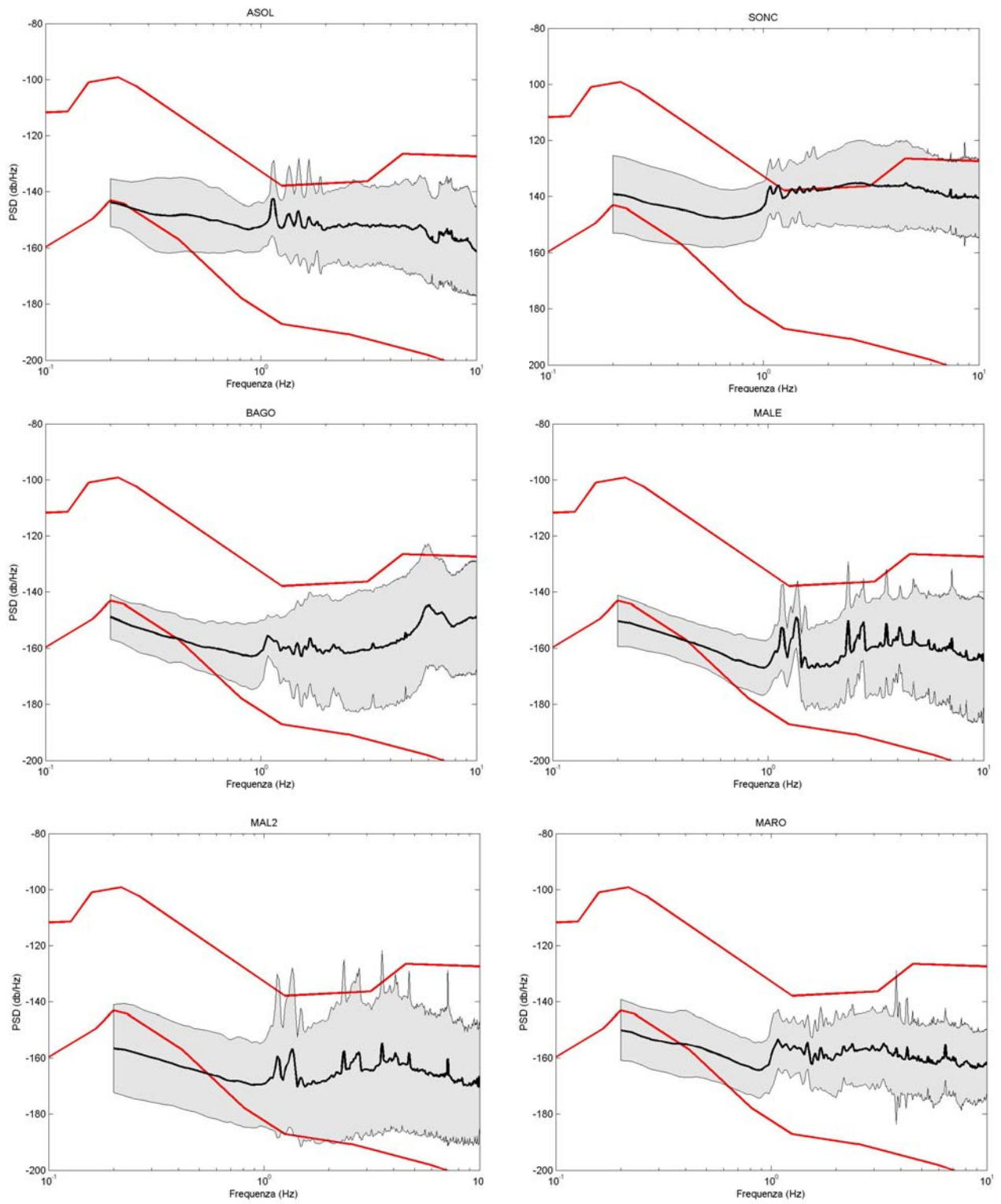
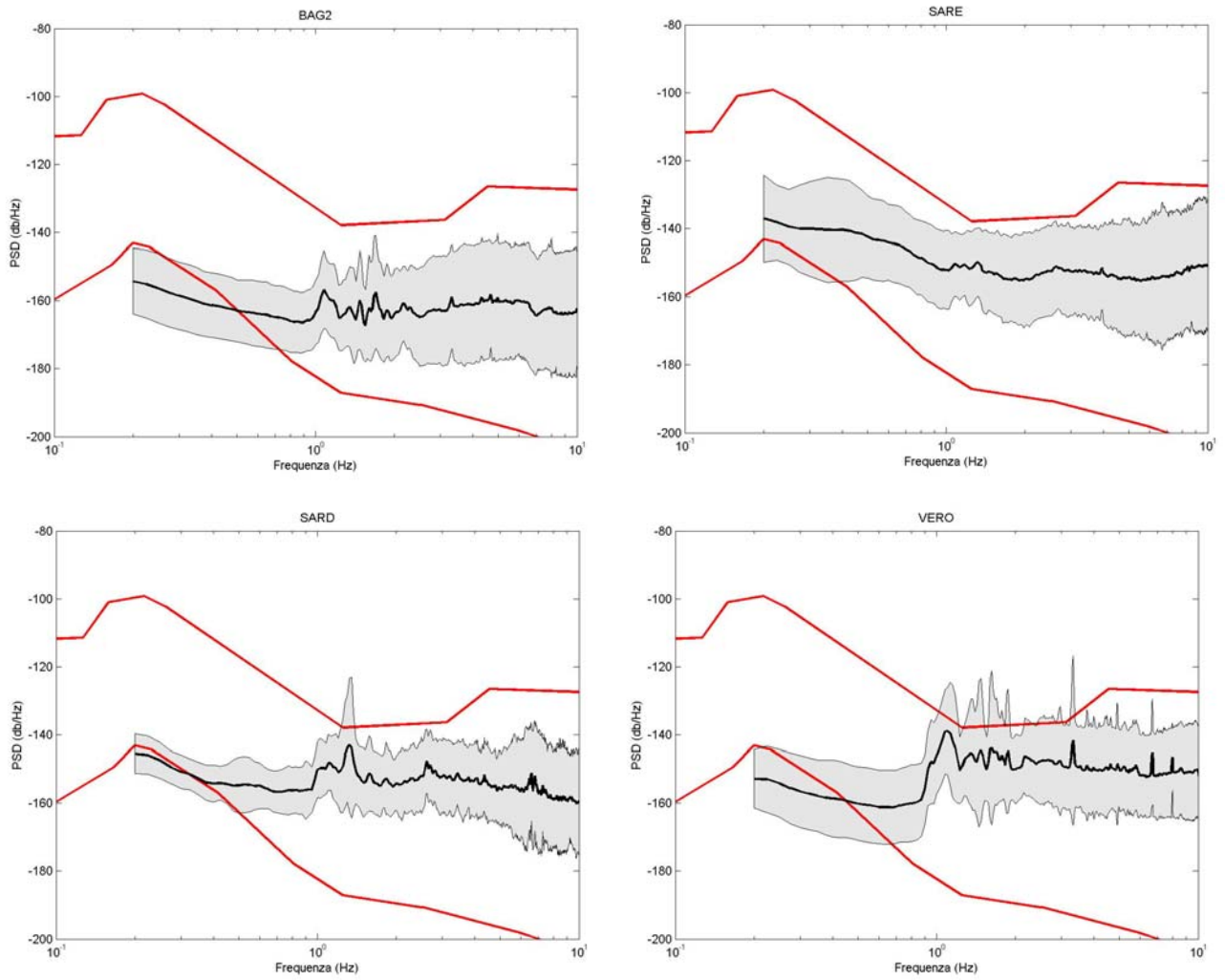


Figura 10. (continua)



**Figura 10. Livelli medi di noise  $\pm 2$  deviazioni standard nei siti monitorati nel corso del 2003.**

## **6. Esempio di controllo da remoto per la corretta installazione della strumentazione**

La procedura descritta nel paragrafo 3, oltre ad essere finalizzata allo studio della caratterizzazione di un sito atto ad ospitare una stazione sismica, si è dimostrata utile per risolvere alcuni problemi tecnici durante le fasi di installazione delle stazioni sismiche.

In Figura 11 sono raffigurate le analisi messe a punto nel sito MAL2 (Figura 1); in tale occasione una squadra di operatori si trovava sul posto per installare una stazione a quota 2030 m s.l.m., sito raggiungibile tramite funivia. Appena comunicata l'avvenuta installazione dello strumento, un operatore posto nel laboratorio di acquisizione dati di Milano, ha scaricato una porzione di segnale, successivamente elaborato come si osserva in Figura 11a. Una rapida osservazione indicava un guasto del canale orizzontale EW. La squadra esterna, disponendo di un secondo sensore, ha operato la sostituzione dello stesso. In Figura 11b è rappresentata l'analisi del segnale ottenuto con il sensore di riserva: il risultato appare praticamente equivalente. A questo punto si è provveduto alla sostituzione del cavo del sensore accoppiato al primo sensore. Ripetendo ulteriormente le analisi con il cavo del sensore sostituito, in Figura 11c è possibile notare come sia stato risolto il problema tecnico.

Nello stesso giorno, poiché ad alcune centinaia di metri dal sito "MAL2" è presente un impianto di risalita dotato di binario a cremagliera adibito al trasporto di persone, ed essendo ancora presente sul campo la squadra di operatori, è stato eseguito un ulteriore studio di caratterizzazione del sito (Figura 12). In Figura 12a è rappresentato il risultato dell'analisi per condizioni standard di livello di noise; in Figura 12b è stato analizzato un segnale di noise per una finestra di tempo nella quale era attivo l'impianto di risalita; come si può vedere il rapporto spettrale non presenta significative differenze per le due situazioni analizzate, mentre gli spettri per frequenze maggiori a 7 Hz evidenziano un notevole aumento della densità di ampiezza, pur rimanendo all'interno di valori accettabili.

Con un unico intervento di installazione ed un'analisi speditiva è stato disegnato un quadro preliminare completo delle condizioni al sito; è stato possibile correggere i difetti tecnici ed installare correttamente la strumentazione, con conseguente risparmio di tempo e costi di intervento.

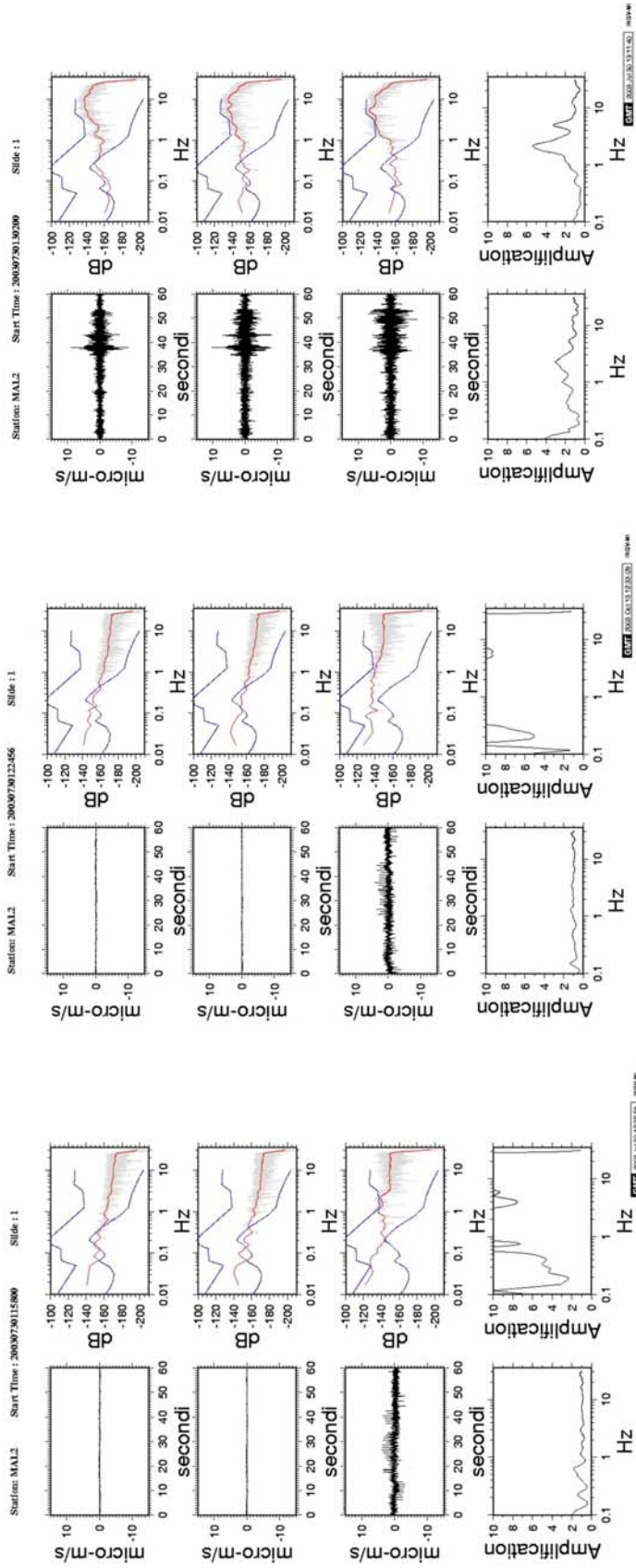
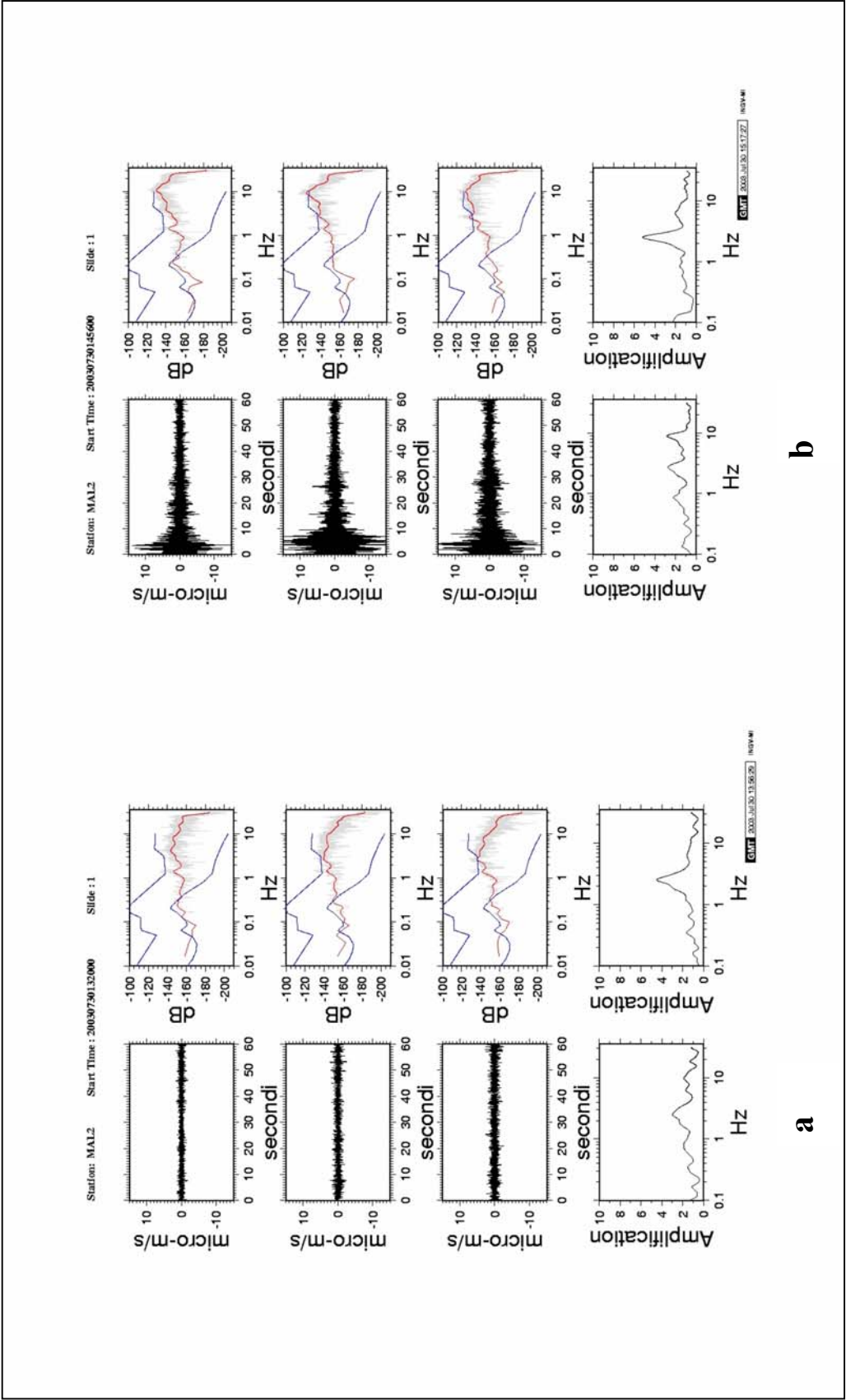


Figura 11. Risoluzione del problema tecnico occorso durante l'installazione della stazione MAL2





**a**

**b**

Figura 12. Valutazione del disturbo proveniente da sorgente meccanica nei pressi del sito di "MAL2"

## 7. Esempio di monitoraggio delle condizioni ambientali al sito

Nel periodo dal 12/03/2003 al 12/05/2003 è stata installata una stazione sismica nel Comune di Bagolino (sigla “BAGO”); preliminarmente, la strumentazione è stata posta nei locali non utilizzati e chiusi al pubblico del Municipio di Bagolino (Figura 13), non essendo disponibile in quel momento altro sito sul territorio comunale. Osservando la Figura 15 appare evidente il livello di noise non accettabile, dovuto sia al posizionamento del sensore in un edificio, sia al disturbo antropico diurno; si percepisce un miglioramento nelle ore notturne, anche se il livello di disturbo rimane inaccettabile nella banda 1–4 Hz. Dal 12/05/03 è stato ottenuto il permesso di posizionare la strumentazione direttamente sul bedrock nella camera d'aria delle fondazioni di un edificio scolastico del Comune (Figura 14) (stazione “BAG2”).

“BAG2” presenta una situazione nettamente migliore (Figura 16, monitoraggio mese di luglio 2003); si può osservare come il livello di noise sia sempre accettabile, nonostante la componente orizzontale NS abbia un livello di noise leggermente superiore intorno ai 3 Hz. Essendo stato effettuato il monitoraggio nel mese di luglio, non è identificabile il disturbo derivante dalla destinazione d'uso dell'edificio in cui è posta la stazione. Da tali analisi sembrerebbe comunque che il sito è localizzato in una zona potenzialmente idonea per acquisire dati sismici.

Nelle Figure 13 e 14 sono raffigurate le analisi delle curve di Peterson ed i rapporti spettrali relativi ad un giorno lavorativo, mentre nelle Figure 15 e 16 si ha la situazione di un giorno festivo sempre nei quattro orari rappresentativi del giorno. In questo modo è valutabile l'interferenza delle attività antropiche che si svolgono nell'edificio in questione.

Nel giorno lavorativo (Figure 17 e 18) è sensibile la variazione delle ordinate spettrali dalle ore diurne a quelle notturne, soprattutto per frequenze maggiori di 4 Hz. Per tali frequenze, infatti, si può osservare come gli spettri relativi alle finestre delle 3:30 e 21:30 decadano in ampiezza; mentre per le finestre 9:30 e 15:30, si osserva un aumento della densità di ampiezza. Nel giorno festivo (Figure 19 e 20) non si notano variazioni rilevanti, rafforzando ulteriormente l'ipotesi di sito tranquillo. Questa ulteriore verifica indica che il disturbo antropico diurno infrasettimanale è accettabile e non supera il limite superiore di Peterson; inoltre non si osservano amplificazioni sulle componenti orizzontali.

Per valutare qualitativamente la persistenza del disturbo antropico diurno è sufficiente visualizzare il canale di monitor in cui si visualizza il segnale decimato della componente verticale della stazione. Come esempio in Figura 21 è riportata una finestra temporale comprendente due giorni lavorativi successivi a due giorni festivi. Si nota come il disturbo maggiore sia relativo ad un periodo di circa 15 – 20 minuti, ripetuto ogni mattina intorno alle 09.00 (GMT) e correlato alla breve interruzione dell'attività scolastica.

L'analisi appena descritta evidenzia come lo spostamento della strumentazione dai locali del



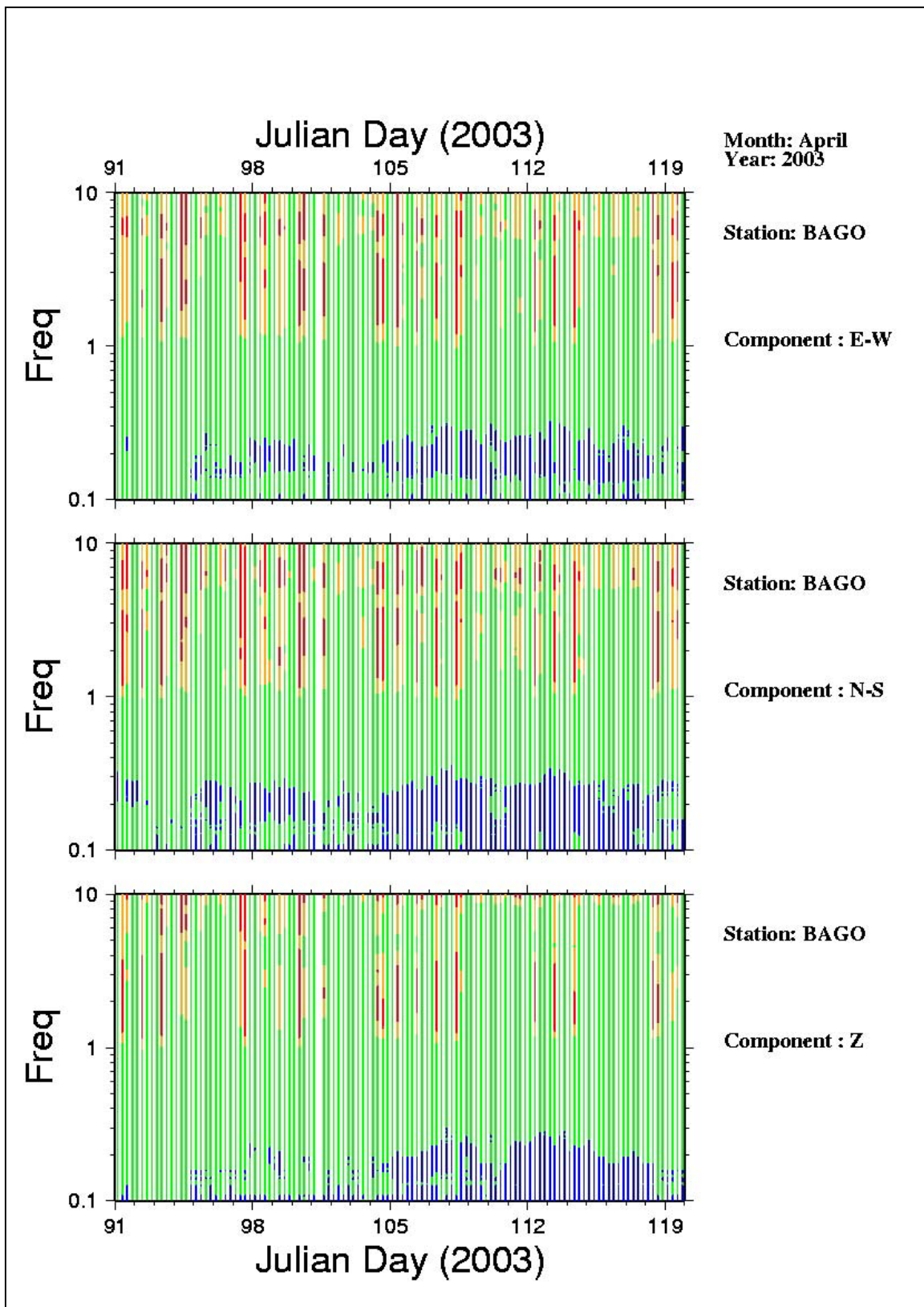
Municipio alla scuola comunale abbia portato un notevole miglioramento del livello di noise registrato dalla stazione. Le elaborazioni compiute per la valutazione delle condizioni di sito hanno restituito una chiara indicazione delle operazioni da effettuare e delle possibilità di trovare, nella zona di installazione, una locazione idonea alla registrazione di eventi sismici. Come sempre, infatti, occorre cercare il miglior compromesso tra problemi logistici e qualità di un sito. Quindi i brevi intervalli di aumento del disturbo riscontrati a “BAG2” non comportano la necessità di un ulteriore spostamento della stazione, in quanto il sito risulta custodito e fornito di alimentazione elettrica da rete.



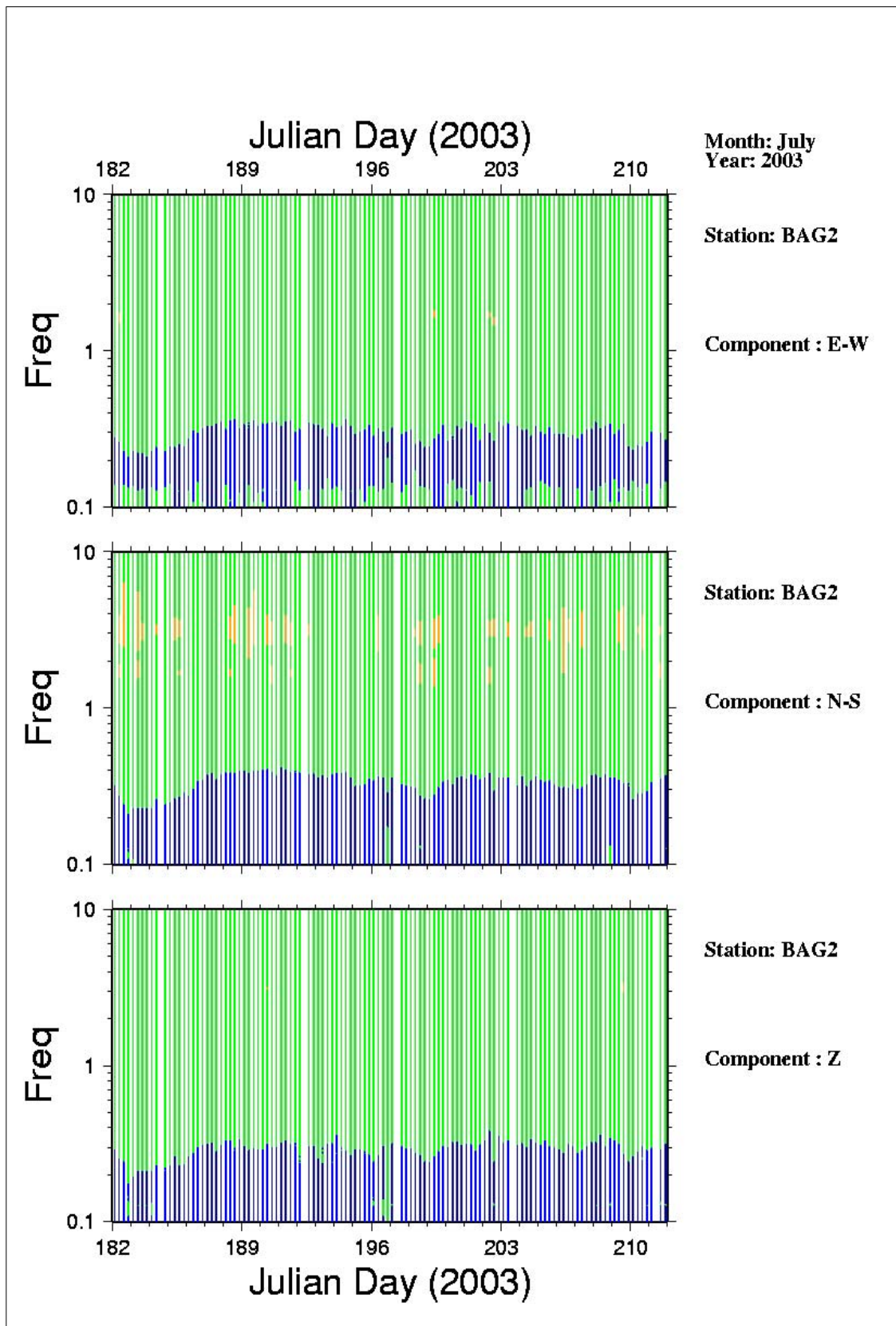
**Figura 13** Stazione “BAGO” installata nei locali del Municipio di Bagolino.



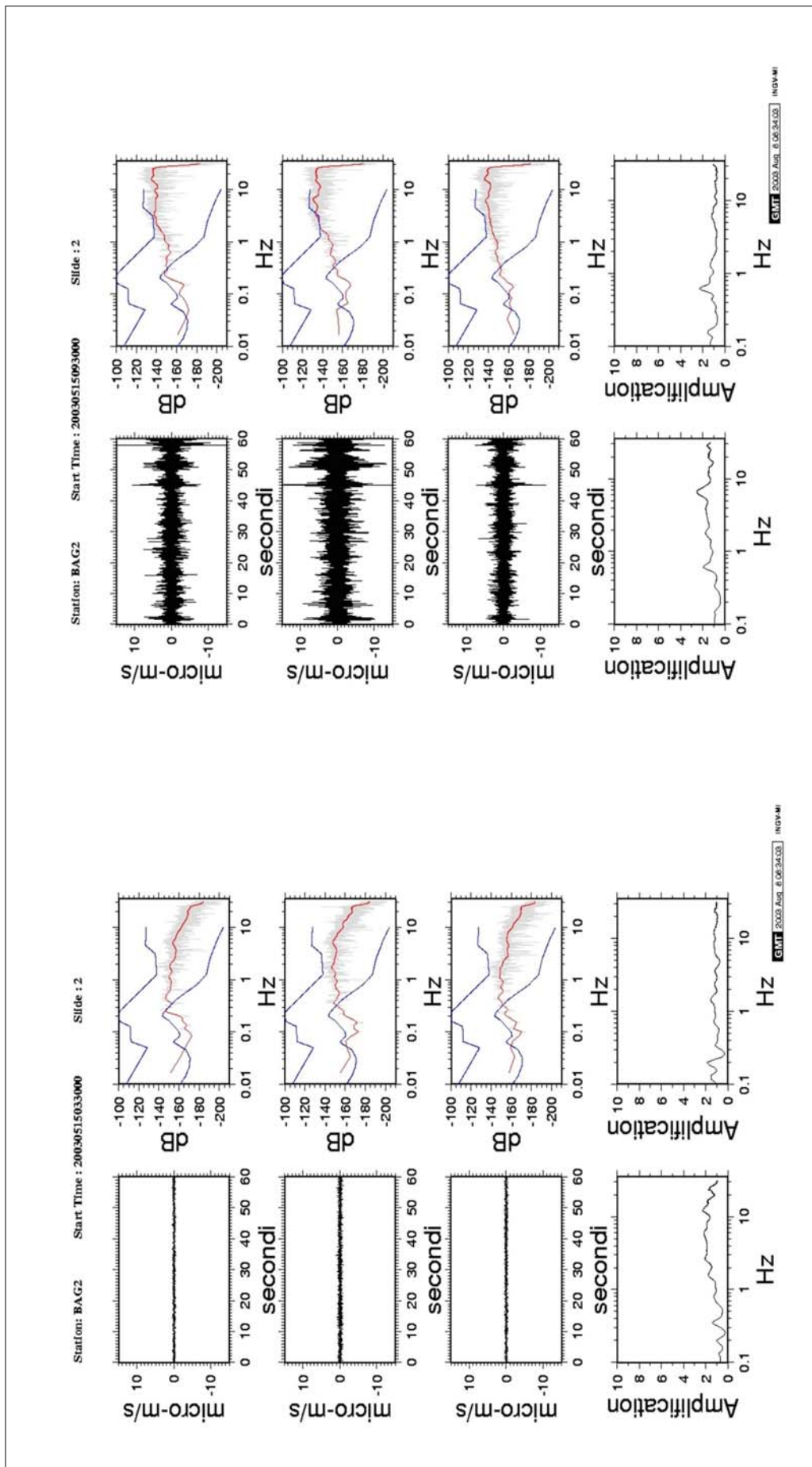
**Figura 14** Stazione “BAG2” installata sul bedrock sotto le fondazioni dell'edificio comunale delle scuole, Comune di Bagolino.



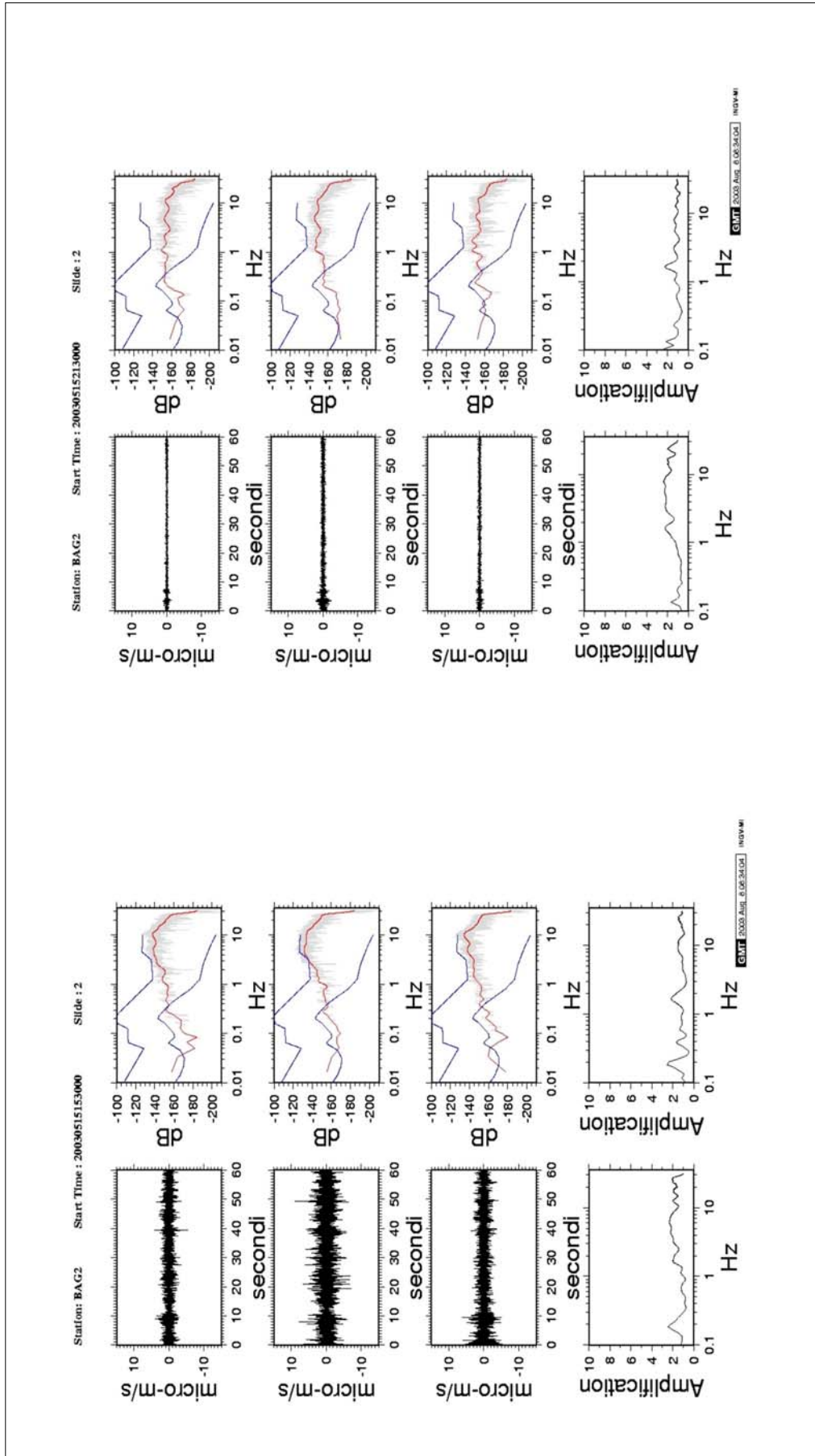
**Figura 15** Monitoraggio spettrale per la stazione BAGO del mese di Aprile del 2003.



**Figura 16** Monitoraggio spettrale per la stazione BAG2 del mese di Luglio del 2003.



**Figura 17.** Condizione dei livelli di noise in un giorno lavorativo al sito “BAG2” alle ore 03:30 (sinistra) e 09:30 (destra).



**Figura 18.** Condizione dei livelli di noise in un giorno lavorativo al sito “BAG2” alle ore 15:30 (sinistra) e 21:30 (destra).



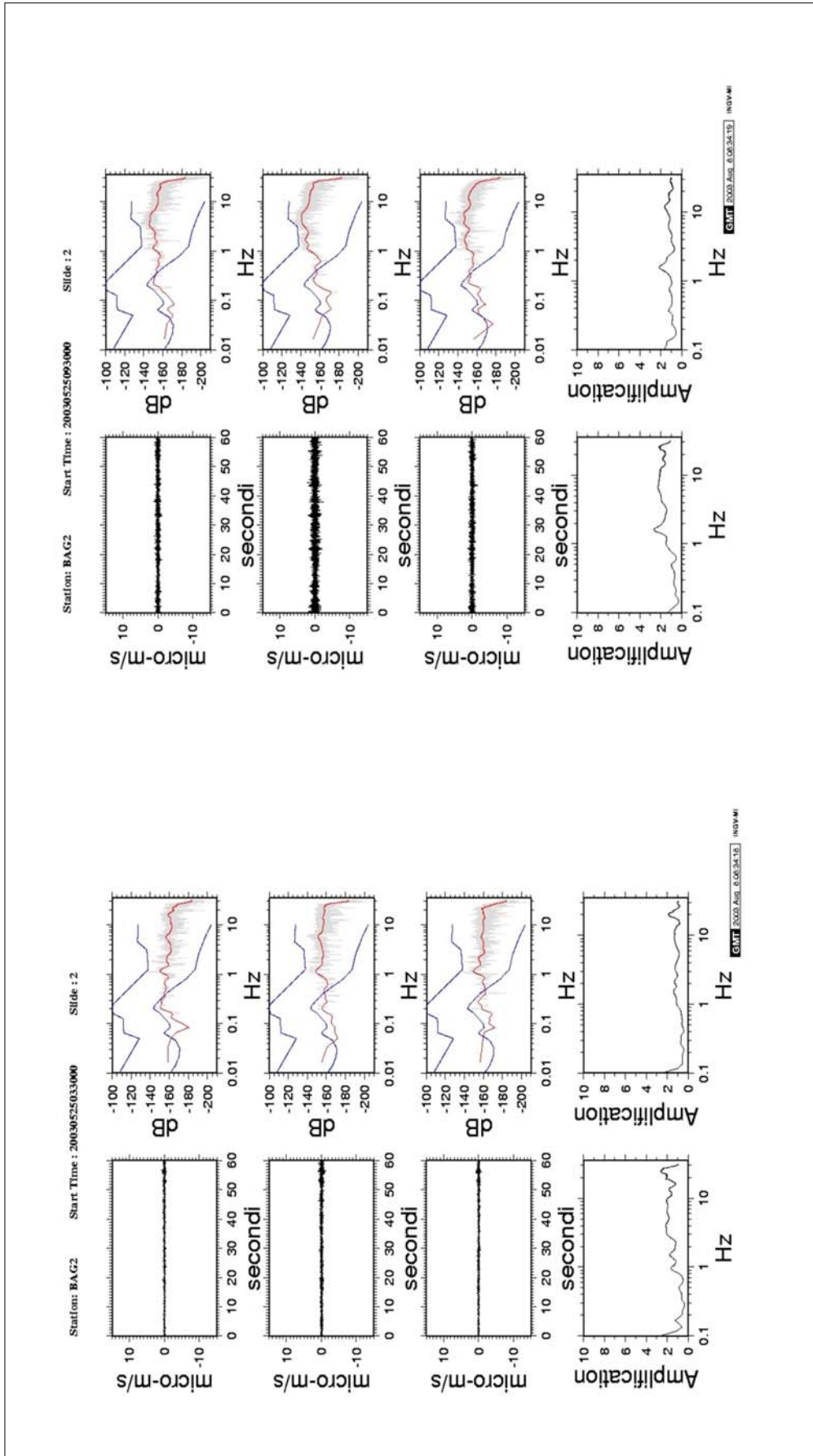
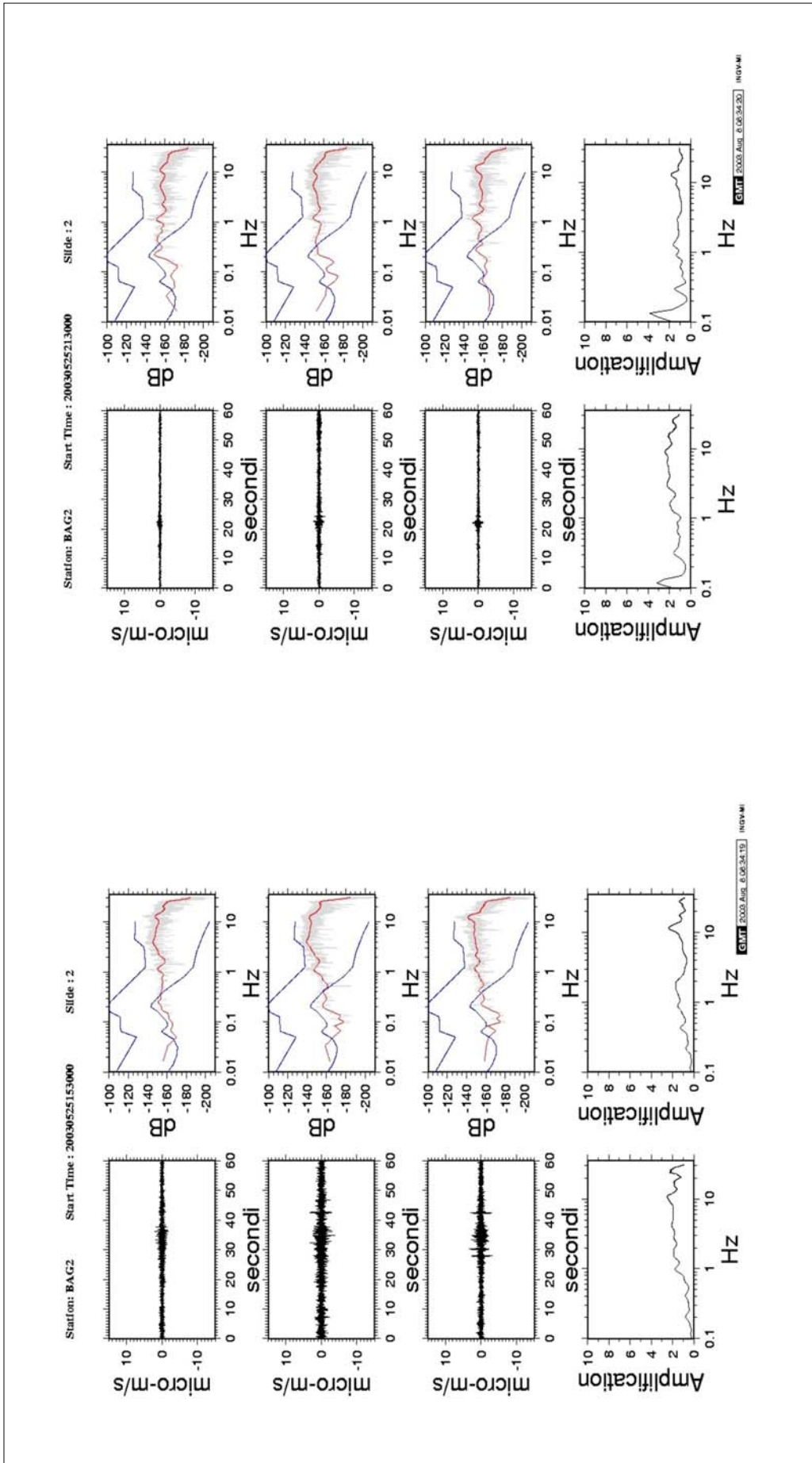


Figura 19. Condizione dei livelli di noise in un giorno festivo al sito "BAG2" alle ore 03:30 (sinistra) e 09:30 (destra).



**Figura 20.** Condizione dei livelli di noise in un giorno festivo al sito "BAG2" alle ore 15:30 (sinistra) e 21:30 (destra).

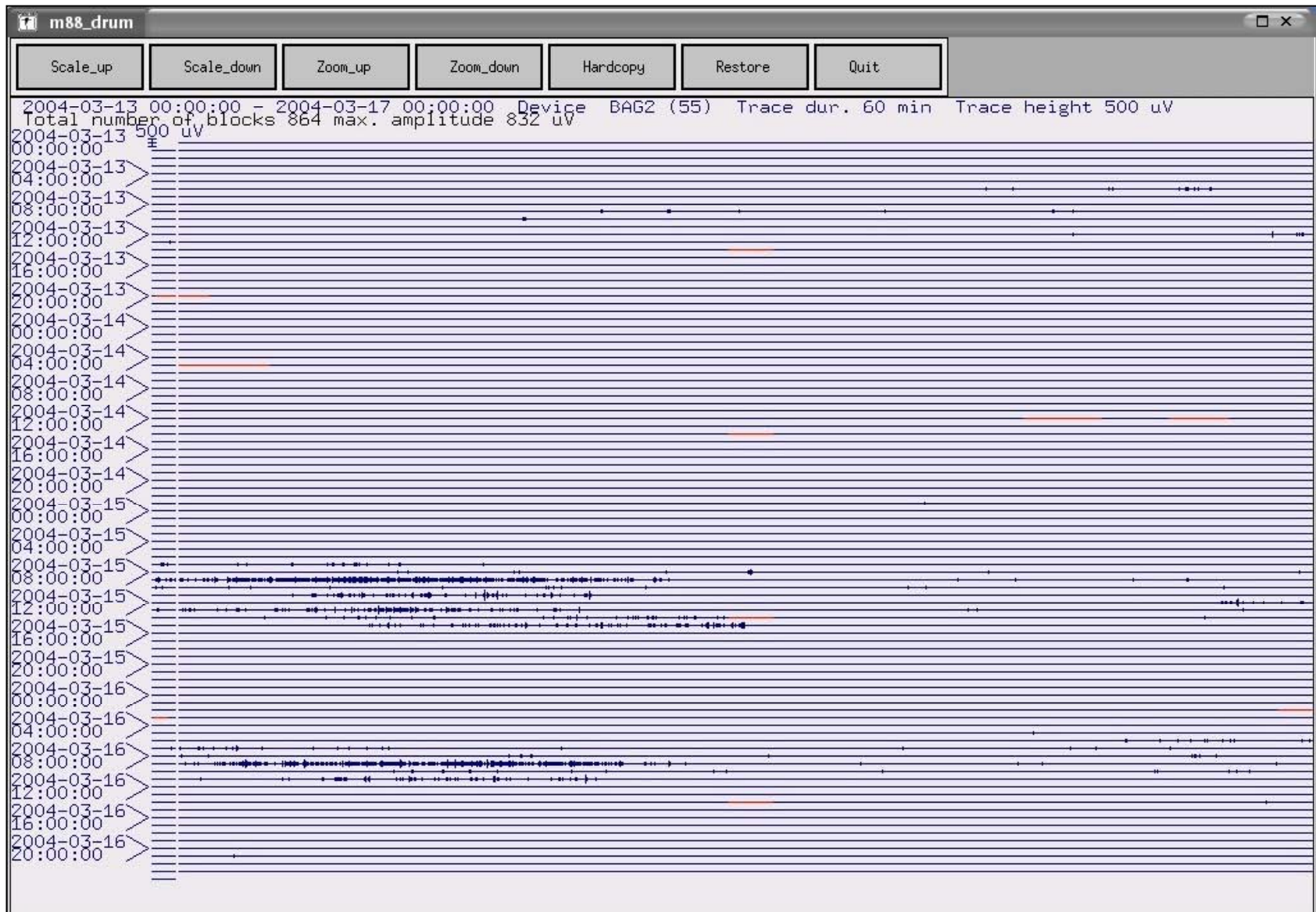


Figura 21. Visualizzazione del segnale continuo decimato alla stazione "BAG2".



## Conclusioni

L'attività di installazione di stazioni sismiche dell'INGV-MI durante il corso del 2003 si svolge lungo un'ampia porzione del territorio del Nord Italia. Questo fatto richiede un'organizzazione logistica che permetta di ottimizzare la quantità di interventi, risparmiando quanto possibile le limitate risorse umane a disposizione.

Il sistema di acquisizione (D'Alema e Marzorati, 2004) e le procedure di elaborazione implementate per analizzare rapidamente i dati in laboratorio sono elemento essenziale per il raggiungimento degli obiettivi preposti.

La possibilità di controllare l'operato delle squadre in campagna al momento dell'installazione della strumentazione è dunque un aspetto determinante per correggere eventuali anomalie riscontrate nella trasmissione dati o nel contenuto del segnale stesso; questo ha un effetto immediato sulle decisioni che possono determinare una ulteriore ricerca di un sito idoneo per le registrazioni sismiche, oppure una diversa disposizione della strumentazione, nonché eventuali sostituzioni di componenti difettose. La valutazione speditiva dei livelli di noise al sito è stata effettuata non disponendo inizialmente di strumentazione maggiormente adatta per sopralluoghi preliminari; sempre nell'ottica dell'ottimizzazione si è scelto di raggiungere una zona di interesse e stimare un possibile sito, installando da subito la strumentazione e valutando da remoto la qualità dello stesso. Nel corso del 2004 strumentazione portatile di tipo Reftek 130 ha permesso di svolgere l'attività di ricerca siti adottando una strategia differente: viene effettuato un primo sopralluogo nella zona di interesse, in cui vengono acquisiti vari segnali di microtremore, analizzati in situ tramite calcolatore portatile, e l'installazione delle stazioni MARS88-MC ha luogo dopo le valutazioni preliminari del livello del noise.

Una volta installata la strumentazione, vengono monitorate le variazioni delle condizioni del sito nel corso del tempo. Prelevando quotidianamente del rumore, viene verificato se i livelli di noise si mantengano al di sotto delle soglie di riferimento (Peterson, 1993), discriminando così quei disturbi che sono temporanei da quelli che persistono cronicamente.

La considerazione finale dell'insieme delle operazioni e procedure che vengano eseguite di routine, alla luce dei risultati ottenuti dopo oltre un anno di attività, è la possibilità di avere sempre presente e sotto controllo il quadro della situazione generale della strumentazione installata, condizione necessaria per poter sfruttare al meglio le risorse a disposizione.

I risultati ottenuti sito per sito apportano notevoli informazioni riguardo i livelli di noise presenti nell'area centrale del Nord Italia, principalmente nell'intorno dell'arco alpino; la gran parte dei siti monitorati, si trovano nelle vicinanze di centri urbani di dimensioni contenute che influenzano relativamente i livelli di noise ambientale di fondo. Questa è una situazione molto frequente in tale area dell'Italia, la quale presenta una densa presenza delle attività antropiche sparse sul territorio,

via via crescente spostandosi dall'ambiente montano a quello di pianura. In questo contesto, non è necessario trovare un sito che sia perfettamente ideale per installare una stazione sismica; piuttosto risulta fondamentale valutare e quantificare il livello di disturbo che si trova in un sito, per poi poter indagare l'effettiva possibilità di registrare eventi sismici in termini di rapporto segnale/rumore. Questo rientra negli sviluppi futuri dello studio intrapreso nel corso del 2003, sviluppi che si focalizzeranno oltre che sull'analisi del microtremore anche sull'analisi delle forme d'onda dei terremoti registrati nei siti monitorati e nella determinazione della capacità di detezione di eventi in nuovi siti potenzialmente critici, localizzati nella Pianura Padana (in situazioni tipo il caso di SONC descritto nel presente rapporto).

## Ringraziamenti

Si ringraziano Gianlorenzo Franceschina e Dino Bindi per la lettura critica ed i preziosi suggerimenti forniti che hanno permesso di migliorare una prima versione di questo lavoro; Mariano Maistrello per il contributo dato alla ricerca dei siti ed all'installazione delle stazioni sismiche.

## Bibliografia

D'Alema E., Marzorati S., 2004. *Metodologie per l'installazione e la gestione delle stazioni sismiche Mars88 Modem Control*. Rapporti tecnici dell'INGV n° 21.

D'Alema E., 2004. *Studio sulla polarità dei sensori MARK L3-3D*. Rapporto Tecnico INGV-MI

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

Lermo, J., Chavèz-Garcia, F.C., 1993. *Site effect evaluation using spectral ratios with only one station*, B.S. S.A. 83, 1574-1594.

Nakamura Y., 1989. *A method for dynamic characteristics estimations of subsurface using microtremors on the ground surface*. Quarterly Rept. RTRI, Jpn. , 30, pp. 25-33.

Nogoshi M., Igarashi T., 1970. *On the propagation characteristics estimation of subsurface using microtremors on the ground surface*, J. Seism. Soc. Japan, 23, 264-280 (in Giapponese con Abstract Inglese).

Peterson J., 1993. *Observations and Modeling of seismic background noise*. USGS Open File Report, pp. 93-322.

Trnkoczy A., 2001. *Understanding and parameter setting of STA/LTA trigger algorithm*, URL: [www.seismo.com/msop/nsop/08%20networks/IS8.1/IS8.1.html](http://www.seismo.com/msop/nsop/08%20networks/IS8.1/IS8.1.html)