

PROPONENTE



MASTER PLAN 2014-2029

AEROPORTO AMERIGO VESPUCCI FIRENZE

STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE



sede di CARRARA

Via Frassina, 21
54033 CARRARA (MS)
Tel. 0585.855624
Fax 0585.855617

sede di FIRENZE

Via di Soffiano, 15
50143 FIRENZE (FI)
Tel. 055.7399056
Fax 055.713444

RESPONSABILE PROGETTO E COORDINATORE TECNICO:
Ing. Lorenzo TENERANI

NOME ELABORATO

Approfondimenti sulle vibrazioni

CODICE ELABORATO

INT-AMB-05-REL-001

| Codice elaborato | | INT-AMB-05-REL-001 | | | | Scala | | |
|------------------|--------------------------------|--------------------|-------------|-------------|-------------|------------|-------------|---------------------|
| Rev. | Descrizione | Redatto | Data | Verificato | Data | Approvato | Data | Autorizzato |
| A | Emissione per integrazioni VIA | M. Viscardi | Agosto 2015 | M. Viscardi | Agosto 2015 | L.Tenerani | Agosto 2015 | T.A. - V. D'Arienzo |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |

INDICE

| | | |
|-------|---|----|
| 1. | PREMESSA | 2 |
| 2. | ANALISI DELL'IMPATTO DELLE VIBRAZIONI SECONDO LA UNI 9614 – FASE DI ESERCIZIO | 3 |
| 3. | ANALISI DELL'IMPATTO DELLE VIBRAZIONI SECONDO LA UNI 9614 – FASE DI CANTIERE | 8 |
| 3.1 | ASPETTI GENERALI | 8 |
| 3.2 | ANALISI DI DETTAGLIO | 8 |
| 3.2.1 | <i>Generalità</i> | 8 |
| 3.2.2 | <i>Modello di calcolo</i> | 11 |
| 3.2.3 | <i>Valutazione di impatto</i> | 12 |

ALLEGATI

STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE DOCUMENTAZIONE INTEGRATIVA IDROGEOLOGIA

1. PREMESSA

La presente relazione si pone a valle della precedente relazione SIA-AMB-05-REL-001 relativa alla valutazione preventiva dell'impatto vibrazionale che il futuro esercizio del nuovo aeroporto potrà avere sugli edifici limitrofi, ed alla successiva richiesta di integrazioni che rendeva necessario un più dettagliato approfondimento relativo agli effetti sulla popolazione (disturbo) in attuazione della norma UNI 9614.

L'area di insediamento umano che desta le maggiori attenzioni è ovviamente quella del Polo Scientifico e Tecnologico di Sesto Fiorentino a cui si è già fatto riferimento nella precedente relazione SIA-AMB-05-REL-001.



Figura 1. Polo Scientifico e Tecnologico di Sesto Fiorentino. Fronte meridionale dell'attuale insediamento

2. ANALISI DELL'IMPATTO DELLE VIBRAZIONI SECONDO LA UNI 9614 – FASE DI ESERCIZIO

La tematica, anche se forse in modo non del tutto esaustivo, è stata già affrontata, nella indicata relazione SIA-AMB-05-REL-001, anche in termini di valutazione di eventuale disturbo alla popolazione.

Infatti, i dati (che vengono integralmente riportati in Allegato 1 sia in forma tabellare che di grafici), oltre che essere presentati adoperando i parametri descrittivi che la norma UNI9916 impone per la valutazione del danno agli edifici (velocità di picco della vibrazione) sono presentati anche in termini di Livello di accelerazione delle vibrazioni, che la norma UNI 9614 indica come parametro descrittore per la valutazione del disturbo alle persone.

4.1. Accelerazione della vibrazione

Le vibrazioni di livello costante vanno caratterizzate misurando il valore efficace (r.m.s.) dell'accelerazione o il corrispondente livello; il valore dell'accelerazione viene espresso in m/s^2 , il livello dell'accelerazione in dB. Il livello dell'accelerazione (L) è definito dalla relazione:

$$L = 20 \log (a/a_0) \quad [1]$$

dove: a è il valore efficace dell'accelerazione;

$a_0 = 10^{-6} m/s^2$ è il valore efficace dell'accelerazione di riferimento.

Se guardiamo ai valori misurati durante le operazioni di decollo ed atterraggio presso l'attuale aeroporto, appare evidente che già a soli 120 metri dalla pista, sono praticamente tutti inferiori ai 80 dB per quelle verticali e 90 dB per quelle orizzontali (**senza filtraggio**).

Praticamente, se confrontati con il diagramma relativo alla soglia di percezione di seguito riportata, possiamo affermare che **già a 120 metri, le vibrazioni sono impercettibili. E questa è la sensazione che si è avuta durante l'esecuzione delle prove, dove effettivamente, la percezione delle vibrazioni è stata sempre strumentale.**

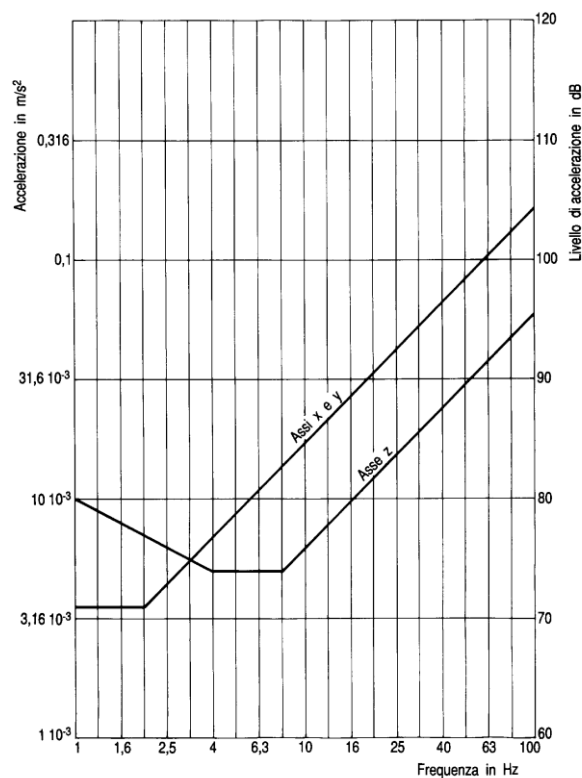


Figura 2. Uni 9614 – Curve di soglia di percezione delle vibrazioni

E questo è spiegabile con il contenuto in frequenza dei segnali, che come si vede hanno componenti principali a frequenze abbastanza elevate (si riportano in basso due esempi estratti dal documento).

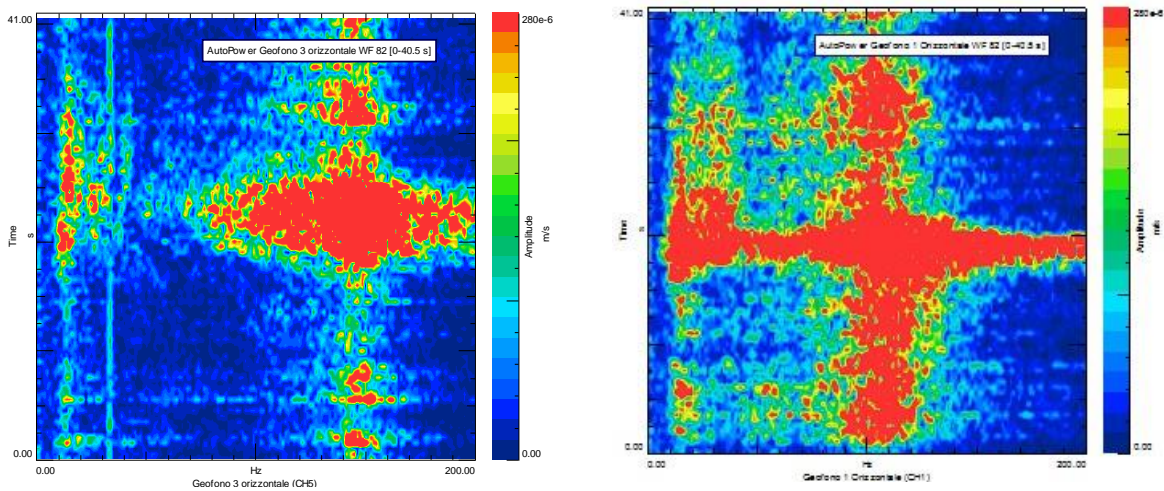


Figura 3. Uni 9614 – Esempi di sonogramma acquisiti

Volendo però seguire la procedura indicata dalla norma, la stessa prescrive che il segnale di vibrazione debba essere prima filtrato in frequenza (per assecondare la capacità di percezione del corpo umano alle differenti componenti spettrali ed in relazione agli assi di riferimento) e poi deve esserne calcolato il livello in dB che deve essere confrontato con rispettivi valori limite (cfr. da Norma UNI: *“Dato che gli effetti prodotti dalle vibrazioni sono differenti a seconda della frequenza delle accelerazioni, vanno impiegati dei filtri che ponderano le accelerazioni a seconda del loro effetto sul soggetto esposto”*).

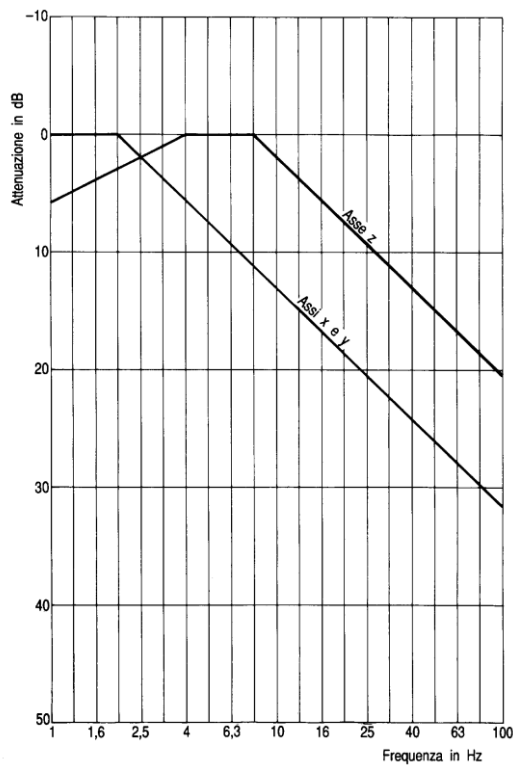


Figura 4. Uni 9614 – Filtri di ponderazione

Come si osserva dal diagramma precedente, i filtri di ponderazione conducono ad una riduzione del livello percepito rispetto a quello misurato (a meno di un ristrettissimo intervallo in frequenza dove i valori risulterebbero uguali). Un po' in similitudine a quanto accade per l'orecchio umano quando, per assecondarne la fisiologia e le capacità uditive, il valore fisico misurato (L_p (dB)) viene filtrato e si arriva a determinare il dB(A) che rappresenta il descrittore per i confronti con i limiti normativi.

Il Livello di Vibrazione così ottenuto deve quindi essere confrontato con i limiti "suggeriti" dalla norma stessa, che vengono di seguito riportati.

Prospetto II – Valori e livelli limite delle accelerazioni complessive ponderate in frequenza validi per l'asse z

| | a m/s ² | L dB |
|---------------------|-----------------------|---------|
| aree critiche | 5,0 10 ⁻³ | 74 |
| abitazioni (notte) | 7,0 10 ⁻³ | 77 |
| abitazioni (giorno) | 10,0 10 ⁻³ | 80 |
| uffici | 20,0 10 ⁻³ | 86 |
| fabbriche | 40,0 10 ⁻³ | 92 |

Prospetto III – Valori e livelli limite delle accelerazioni complessive ponderate in frequenza validi per gli assi x e y

| | a m/s ² | L dB |
|---------------------|-----------------------|---------|
| aree critiche | 3,6 10 ⁻³ | 71 |
| abitazioni (notte) | 5,0 10 ⁻³ | 74 |
| abitazioni (giorno) | 7,2 10 ⁻³ | 77 |
| uffici | 14,4 10 ⁻³ | 83 |
| fabbriche | 28,8 10 ⁻³ | 89 |

Inoltre, nel caso di vibrazioni a livello non costante, il calcolo del Livello deve riferirsi all'intera durata del fenomeno (Livello Equivalente) e non al valore di picco.

Un'ulteriore "correzione" deve tenere in conto del carattere di impulsività della vibrazione stessa; in tale caso, comunque, tale correzione non si applica in virtù del numero di eventi previsti nella giornata.

Di seguito, alcuni estratti dalla norma.

A 2. Misura e valutazione delle vibrazioni di livello non costante

Le vibrazioni di livello non costante possono essere misurate rilevando, in un intervallo di tempo rappresentativo, l'accelerazione equivalente ($a_{w,eq}$) o il livello equivalente dell'accelerazione ($L_{w,eq}$) così definiti:

$$a_{w,eq} = \left[(1/T) \int_0^T [a_w(t)]^2 dt \right]^{0,5} \tag{4}$$

$$L_{w,eq} = 10 \log \left[(1/T) \int_0^T [a_w(t)/a_0]^2 dt \right] \tag{5}$$

dove: $a_w(t)$ è l'accelerazione complessiva ponderata in frequenza espressa in m/s^2 ;

T è la durata del rilievo espresso in secondi;

$a_0 = 10^{-6} m/s^2$ è l'accelerazione di riferimento.

Per la valutazione del disturbo, i valori dell'accelerazione equivalente ponderata in frequenza o i corrispondenti livelli possono essere confrontati con i limiti riportati nei prospetti II e III.

A 3. Misura e valutazione delle vibrazioni impulsive

Le vibrazioni impulsive possono essere rilevate misurando il valore di picco dell'accelerazione complessiva ponderata in frequenza; tale valore va moltiplicato per il fattore 0,71 per stimare il corrispondente valore efficace (nel caso si sia rilevato il livello di picco, questo va diminuito di 3 dB).

Per la valutazione del disturbo, il valore efficace dell'accelerazione, determinato come sopra indicato, va confrontato con i limiti riportati nel prospetto V.

Tali limiti vanno adottati se il numero N di eventi impulsivi giornalieri non è maggiore di 3. Nel caso si manifestino più di 3 eventi impulsivi giornalieri, i valori limite fissati per le abitazioni (di giorno), per gli uffici e le fabbriche vanno diminuiti in base al numero di eventi e alla loro durata, moltiplicandoli per un fattore correttivo (F); nessuna riduzione va applicata per le aree critiche e le abitazioni (di notte). Nel caso di impulsi di durata minore di 1 s, si pone $F = 1,7 N^{-0,5}$; nel caso di impulsi di durata maggiore di 1 s, si pone $F = 1,7 N^{-0,5} t^{-k}$, con $k = 1,22$ per pavimenti di calcestruzzo e $k = 0,32$ per pavimenti di legno.

Qualora i limiti così calcolati risultassero minori dei limiti previsti per le vibrazioni di livello costante dovranno essere adottati come limiti questi ultimi valori.

Prospetto V — Valori limite delle accelerazioni complessive ponderate in frequenza validi per le vibrazioni impulsive

| | asse z m/s ² | assi x e y m/s ² |
|---------------------|----------------------------|--------------------------------|
| aree critiche | 5,0 10 ⁻³ | 3,6 10 ⁻³ |
| abitazioni (notte) | 7,0 10 ⁻³ | 5,0 10 ⁻³ |
| abitazioni (giorno) | 0,30 | 0,22 |
| uffici e fabbriche | 0,64 | 0,46 |

Al fine di una più precisa valutazione dei livelli di Vibrazione secondo la UNI 9614, si è quindi proceduto ad una post-analisi dei dati che ha previsto prima il filtraggio dei dati secondo le curve di riferimento distinte per asse verticale ed orizzontale, e poi il calcolo del livello in dB.

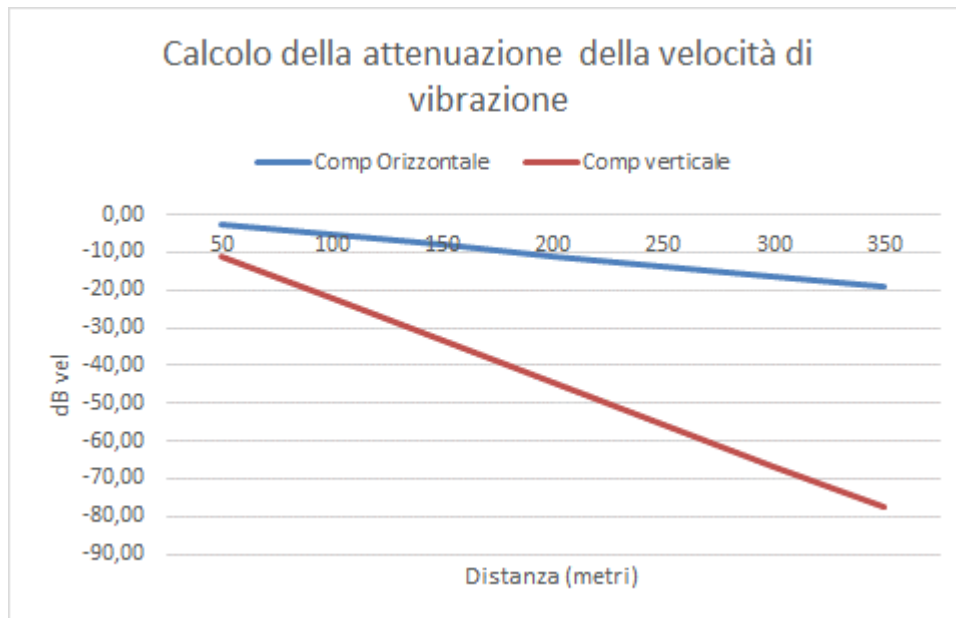
Tale operazione è stata eseguita con l'ausilio del modulo dedicato alla "Human Body Vibration" del software Test Lab Rel 11.B. I risultati di tali elaborazioni per i principali eventi di decollo ed atterraggio vengono riportati in Allegato 2 alla presente.

Dall'analisi degli stessi si può verificare che i livelli filtrati risultano sempre inferiori ai 55 dB, e quindi ben lontani dal valore minimo di attenzione che la norma fissa a 74 dB.

Ovviamente il punto di valutazione, delle vibrazioni reali sarebbe a distanza ben maggiore per cui c'è da attendersi una ulteriore riduzione dei valori.

Dai dati riportati nelle tabelle di pag. 41 e 42 della relazione SIA-AMB-05-REL-001 appare evidente che si riscontra (se il terreno fosse tutto uguale a quello dell'attuale sedime aeroportuale) una attenuazione/metro di circa 0,2 dB. Valore ottenuto come semplice media delle attenuazioni calcolate sulla base dei dati rilevati.

Questo valore, che tra l'altro è in linea con alcuni dati ritrovati in bibliografia, porta a concludere che alla distanza minima del confine del Polo (250 metri) i dati rilevati a 120 metri, andrebbero ulteriormente scalati di 25/26 dB.



Una ulteriore attenuazione interviene nella fascia di terreno che separa il confine del Polo dall'edificio più prossimo; tale fascia si estende per circa 100 metri ed è caratterizzata da attenuazioni ancora più marcate, come si è posto in evidenza nella relazione SIA-AMB-05-REL-001.

I relativi dati vengono nuovamente riportati in Allegato 3 alla presente.

3. ANALISI DELL'IMPATTO DELLE VIBRAZIONI SECONDO LA UNI 9614 – FASE DI CANTIERE

3.1 ASPETTI GENERALI

Osservazioni analoghe possono essere effettuate relativamente alle vibrazioni indotte durante la fase di cantierizzazione. Come evidenziato nell'ambito della precedente relazione SIA-AMB-05-REL-001, dal punto di vista della quantificazione energetica che le stesse generalmente possono indurre, studi presenti in bibliografia ed attività di monitoraggio precedentemente condotte in condizioni simili, limitano ad un livello di picco massimo di circa 10 mm/sec il livello di vibrazione misurato ad 1 metro dalla sorgente.

Osservando i valori di attenuazione misurati nell'area di riferimento (questa volta proprio sui terreni come attualmente configurati) si può osservare che per eccitazioni abbastanza analoghe (si osservi il sensore di Trigger posto proprio ad un metro dalla sorgente) comunque già a 40-50 metri si ha un completo decadimento della vibrazione, e dunque una impercettibilità della sollecitazione.

Non avendo ovviamente a disposizione allo stato attuale i reali spettri di vibrazione indotti dalle macchine durante le reali condizioni di esercizio, né le caratteristiche strutturali di dettaglio dei potenziali soggetti ricevitori, si ritiene che l'ampiezza del potenziale areale di impatto, sopra identificata al più in un raggio di 50 metri dalla sorgente, possa ritenersi adeguata ai fini della presente valutazione di impatto.

A tal riguardo si segnala che le lavorazioni e le opere di cantierizzazione dell'intero Master Plan aeroportuale prevedono la possibilità di esecuzione di lavori entro il suddetto areale di impatto rispetto a ricettori potenzialmente esposti solo in occasione della realizzazione della duna in terra di protezione acustica del Polo Scientifico. Le lavorazioni previste si potranno spingere, in tal caso, a distanze di circa 20-30 metri dal fronte edificato, ma saranno costituite esclusivamente dall'impiego di un escavatore e camion per il posizionamento della terra e, pertanto, non si ha motivo di ritenere eccessivo il relativo impatto vibrometrico, peraltro contenuto entro un periodo di soli 2 mesi.

3.2 ANALISI DI DETTAGLIO

3.2.1 Generalità

Si provvederà di seguito ad analizzare il prevedibile impatto vibrometrico in corrispondenza delle due aree di cantiere potenzialmente più critiche, non tanto per la tipologia di lavorazione prevista, quanto per la presenza di ricettori in loro prossimità.

Si tratta, in particolare, della fase di infissione delle palancole prevista in corrispondenza della deviazione del Fosso Reale (in prossimità del Polo Scientifico-CERM e dell'impresa Baxter) e della fase di realizzazione della duna in terra prevista a protezione acustica dell'intero fronte meridionale del Polo Scientifico di Sesto Fiorentino.

Come accennato, le lavorazioni non risultano di per sé caratterizzate da alcuna criticità ambientale, ma il particolare contesto insediativo presente al contorno ne rende auspicabile il relativo approfondimento.

La caratterizzazione viene effettuata in termini di valore medio efficace (*RMS*) della velocità (in mm/s) per valutare gli effetti delle vibrazioni sugli edifici, e l'accelerazione (in mm/s²) per valutare la percezione umana. È tuttavia agevole convertire i valori di velocità *v* nei corrispondenti valori di accelerazione *a*, nota la frequenza *f*, tramite la relazione:

$$v = \frac{a}{2 \cdot \pi \cdot f}$$

Convenzionalmente, in analogia con le analisi del rumore, sia i valori di velocità sia quelli di accelerazione vengono valutati sulla scala dei dB, tramite le relazioni:

$$L_{acc} = 20 \cdot \lg \left[\frac{a}{a_0} \right] \qquad L_{vel} = 20 \cdot \lg \left[\frac{v}{v_0} \right]$$

in cui compaiono i valori di riferimento $a_0 = 0.001 \text{ mm/s}^2$ e $v_0 = 1 \cdot 10^{-6} \text{ mm/s}$.

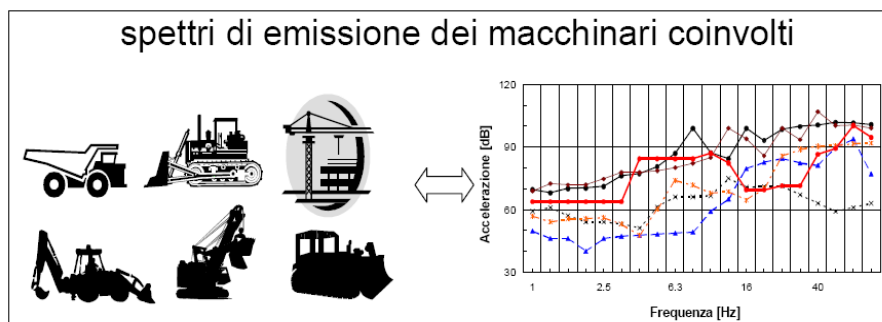
Il fenomeno con cui un prefissato livello di vibrazioni imposto sul terreno si propaga nelle aree circostanti è correlato, come già diffusamente descritto, alla natura del terreno, alla frequenza del segnale, e alla distanza fra il punto di eccitazione e quello di valutazione dell'effetto.

Il metodo previsionale dei livelli di vibrazione ha impiegato congiuntamente misure sperimentali e simulazioni numeriche. A partire dagli spettri di emissione del modello di macchina operatrice previsto dal progetto (dati di letteratura) sono state eseguite delle simulazioni numeriche volte a definire l'effetto combinato di tali macchinari in corrispondenza di ricettori (persone o edifici) posti nell'intorno dell'areale di lavorazione. La valutazione dei livelli vibrazionali indotti ai ricettori ha pertanto richiesto la definizione di:

- uno spettro di emissione rappresentativo della variazione in frequenza dell'accelerazione indotta nel terreno ad una distanza di riferimento (problema sorgente);
- una funzione di trasferimento che esprima, al variare della frequenza, il rapporto tra l'ampiezza di vibrazione al piede del ricettore in condizioni di campo libero e l'ampiezza dello spettro di accelerazione alla sorgente per ciascun transito (problema di propagazione);
- una legge di combinazione degli spettri di accelerazione indotti al ricettore in condizioni di campo libero dai macchinari presenti nei vari scenari di progetto ipotizzati;
- confronto con i livelli di riferimento in condizioni di campo libero.

In dettaglio si illustrano i passi seguiti nell'elaborazione:

- la valutazione dei livelli vibrazionali è stata condotta a fronte dell'acquisizione degli spettri di emissione dei fenomeni considerati (mezzi di cantiere), utilizzando sia dati bibliografici che rilievi strumentali disponibili. Gli spettri impiegati sono riferiti a misure eseguite ad una distanza nota dalla sorgente vibratoria, e sono afferenti alla sola componente verticale.



- Dagli spettri delle sorgenti si ottiene il livello di accelerazione non ponderato a distanze crescenti dalla sorgente mediante una legge di propagazione. Nel caso di sorgenti superficiali, ad esempio, si precisa che l'espressione con cui si esprime l'accelerazione ad una certa distanza d è basata sulla seguente formulazione:

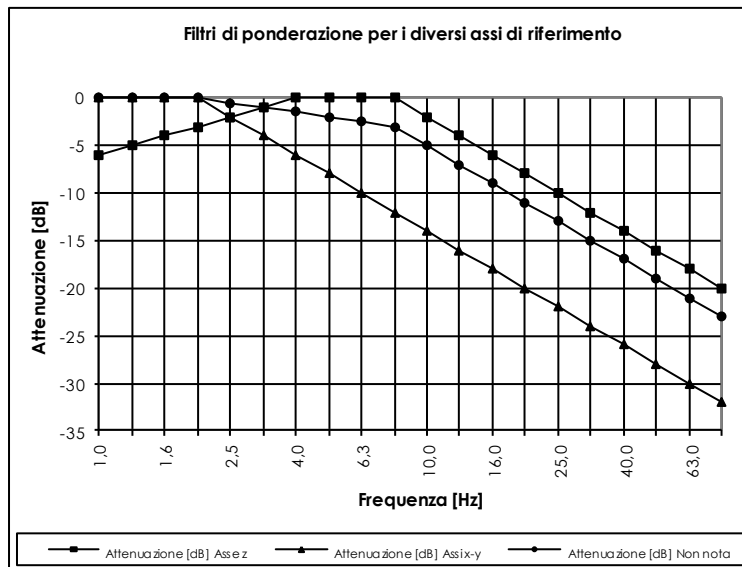
$$a(d, f) = a(d_0, f) \cdot \left(\frac{d_0}{d} \right)^n \cdot e^{-2\pi \cdot f \cdot (\eta/c) \cdot (d-d_0)}$$

- I livelli complessivi di accelerazione non pesati a distanze crescenti dalla sorgente corrispondenti agli

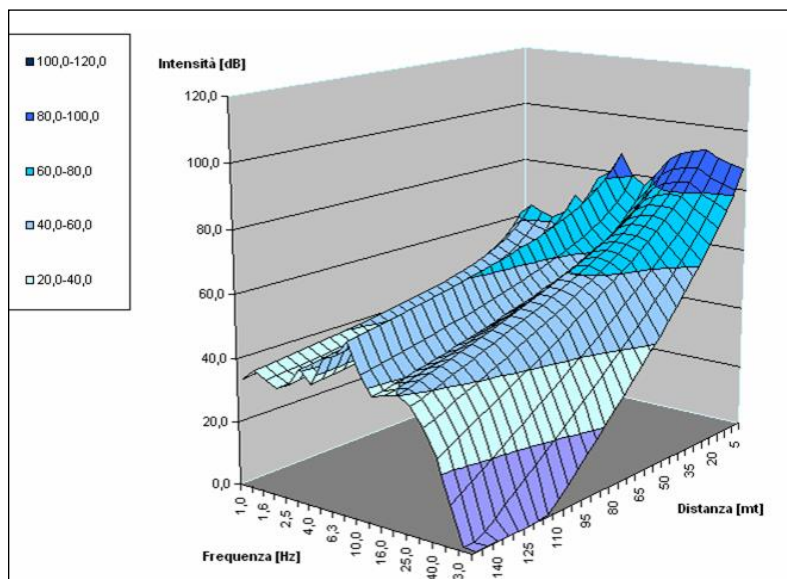
scenari analizzati sono dati dalla combinazione, frequenza per frequenza, degli spettri di vibrazione relativi alle singole macchine previste. Come legge di combinazione degli spettri stata adottata la regola *SRSS* (*Square-Root-of-the-Sum-of-the-Squares*) che consiste nell'eseguire la radice quadrata della somma dei quadrati delle ordinate spettrali relative alle singole macchine. Per ciascuna frequenza si è quindi ottenuto quindi un valore complessivo non pesato di tutte le macchine attive ($A_{TOT,f}$) sotto forma di matrice:

$$A_{TOT,f} = \sqrt{A_1(f,d)^2 + A_2(f,d)^2 + \dots + A_N(f,d)^2} \text{ (SRSS)}$$

- Relativamente allo scenario modellizzato, è stata applicata alla matrice citata la curva di attenuazione definita per postura non nota (o asse generico) dalla UNI 9614.

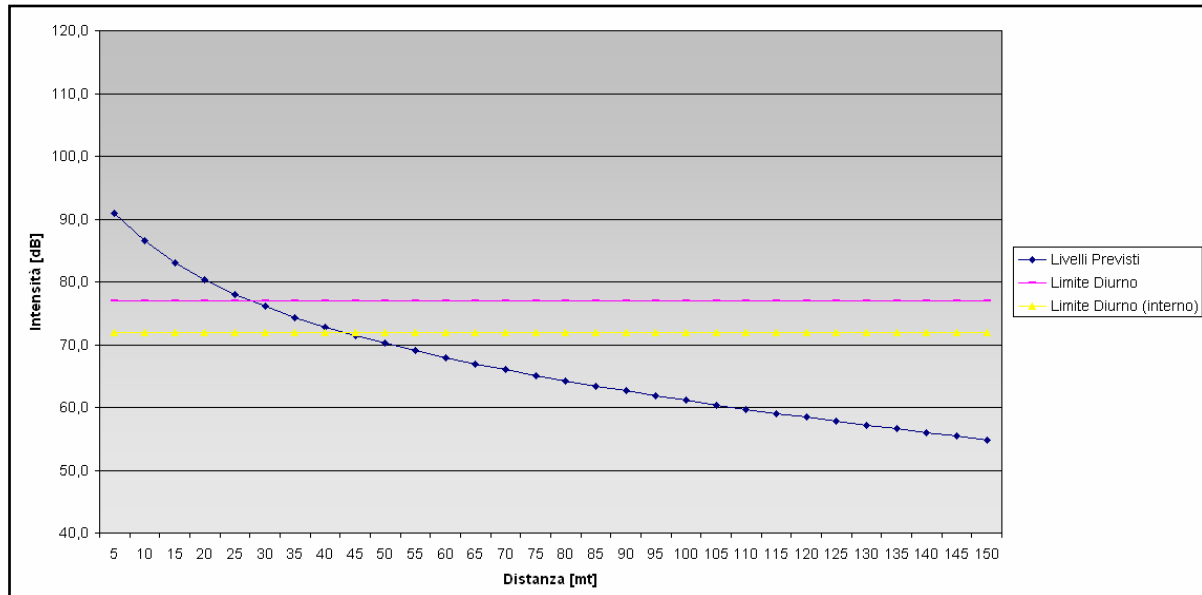


- Si è quindi ottenuta la matrice dei livelli ponderati di accelerazione complessiva per singola frequenza e distanza, con cui è stato possibile realizzare specifici grafici di propagazione.



- Il livello totale di accelerazione ponderata in funzione della distanza $L_{a,w,d}$ è stato ottenuto sommando tutti i corrispondente valori per frequenza $A_{TOT,f}$ espresso in dB pesati. Il numero ottenuto è rappresentativo dell'accelerazione complessiva ponderata su asse Z ad una determinata

distanza. Ripetendo questa operazione per una griglia di distanze si è ottenuto il profilo di attenuazione dell'accelerazione ponderata e complessiva di tutti le sorgenti su asse Z.



- Ai fini del confronto con i livelli di riferimento della norma UNI 9614, si stabilisce di prendere in esame il valore massimo fra i valori di accelerazione ponderata misurati lungo i tre assi. Poiché nella pressoché totale generalità dei casi, questo porta a considerare l'accelerazione misurata in senso verticale, come richiesto dalla UNI 11048, si valuteranno i livelli di accelerazione ponderata “per asse generico” lungo l'asse Z con la tabella dei valori di riferimento originariamente stabilita per gli assi XY.

3.2.2 Modello di calcolo

Rammentando come, parlando della trasmissione di vibrazioni nel terreno, si debba distinguere tra tre tipi principali di onde che trasportano energia vibrazionale (onde di compressione (onda P), onde di taglio (onda S) e onde di superficie (orizzontali, onde R, e verticali, onde L), si precisa che l'espressione con cui si esprime l'accelerazione ad una certa distanza d , per tutti tre i tipi di onde considerati (P, S, R), è basata sulla seguente formulazione:

$$a(d, f) = a(d_0, f) \cdot \left(\frac{d_0}{d}\right)^n \cdot e^{-2\pi \cdot f \cdot (\eta/c) \cdot (d-d_0)}$$

dove η è il fattore di perdita del terreno, c la velocità di propagazione in m/s, f la frequenza in Hz, d la distanza in m, e d_0 la distanza di riferimento a cui è noto lo spettro di emissione, qui assunta pari a 8 metri. L'esponente n varia a seconda del tipo di onda e di sorgente di vibrazioni. Ai fini dell'analisi dei livelli massimi, si è preceduto prendendo a riferimento una sorgente concentrata, fissando l'esponente n a 0.5 per le onde di superficie (predominanti in caso di sorgente posta in superficie), e 1 per le onde di volume (predominanti in caso di sorgente profonda).

| Tipo di sorgente | Onda | Strato | <i>n</i> |
|-------------------|------------|------------|----------|
| Linea | Superficie | Superficie | 0 |
| | Volume | Superficie | 1.0 |
| Punto | Rayleigh | Superficie | 0.5 |
| | Volume | Superficie | 2.0 |
| Linea Sotterranea | Volume | Profondo | 0.5 |
| Punto Sotteraneo | Volume | Profondo | 1.0 |

La visibile dipendenza del termine esponenziale alla frequenza, rende la propagazione delle alte frequenze sensibilmente inferiore a quella delle basse frequenze.

Il rapporto η/c (indicato anche come ρ) dipende infine dal particolare tipo di terreno considerato, o meglio dalle sue caratteristiche elastiche (riassunte nei paragrafi seguenti), ed assume valori elevati nel caso di terreno coltivato soffice, mentre assume valori molto modesti nel caso di pavimentazioni rigide.

Sulla base di numerosi studi ed ricerche (rif. Amick and Gendreau, Rudder, Jones & Stokes Associates), è stato possibile negli anni giungere ad una correlazione per via sperimentale tra il fattore di smorzamento (η/c o ρ) e le caratteristiche litologiche del terreno.

Si riporta in particolare una tabella che associa alla tipologia di terreno i valori usuali del coefficiente di attenuazione ed il relativo fattore di smorzamento.

| Classe | Descrizione del materiale | Coefficiente di attenuazione | ρ |
|--------|---|------------------------------|---------------------------------------|
| I | Cedevole o tenero (terreno che può essere scavato facilmente) | 0.003-0.01 | $2 \times 10^{-4} - 6 \times 10^{-4}$ |
| II | Consolidato (terreno che può essere scavato utilizzando una pala) | 0.001-0.003 | $6 \times 10^{-5} - 2 \times 10^{-4}$ |
| III | Duro (terreno che non può essere scavato con una pala ma necessità di un piccone) | 0.0001-0.001 | $6 \times 10^{-6} - 6 \times 10^{-5}$ |
| IV | Duro consolidato (terreno che scavato difficilmente utilizzando un martello) | <0.0001 | $<6 \times 10^{-6}$ |

Il modello semplificato di propagazione illustrato tiene in considerazione i soli fenomeni previsti in un terreno supposto omogeneo ed isotropo, nel caso si abbia propagazione in presenza di edifici dalla struttura complessa, collegati al terreno mediante sistemi di fondazione, è evidente che i livelli di accelerazione riscontrabili all'interno risultino "filtrati" dalla funzione di trasferimento del sistema costituito dalla struttura edilizia.

3.2.3 Valutazione di impatto

Con riferimento alle vigenti normative, le attività di cantiere possono essere definite come sorgenti di vibrazione intermittente. Lo studio di seguito riportato si riferisce alle fasi di cantiere e alle lavorazioni potenzialmente più impattanti in termini di fenomeni vibratorii e di esposizione dei ricettori, così come precedentemente definito.

Si rammenta come l'impatto vibrazionale nelle simulazioni numeriche sia stato valutato in termini di livello ponderato globale di accelerazione $L_{w,z}$, in campo libero (definito in unità dB secondo la normativa UNI 9614 per asse generico), per consentire un confronto con i valori di riferimento per il disturbo alle persone.

Analizzando le principali sorgenti previste in funzione delle attività lavorative, si conviene come esse siano sostanzialmente raggruppabili in macchine operatrici e in mezzi adibiti al trasporto, ma se le prime hanno una distribuzione spaziale abbastanza prevedibile e delimitata, i secondi si distribuiscono lungo i percorsi che collegano fra loro le varie aree di cantiere o quelli esterni a dette aree di cantiere.

Gli scenari in esame sono stati definiti avendo come prima finalità quella di fornire risultati sufficientemente cautelativi. La valutazione dei livelli vibrazionali è stata condotta a fronte dell’acquisizione degli spettri di emissione dei macchinari di cantiere sopra citati, utilizzando dati bibliografici. Gli spettri impiegati sono riferiti a misure eseguite ad una distanza di circa 5m dalla sorgente vibratoria, e sono afferenti alla sola componente verticale.

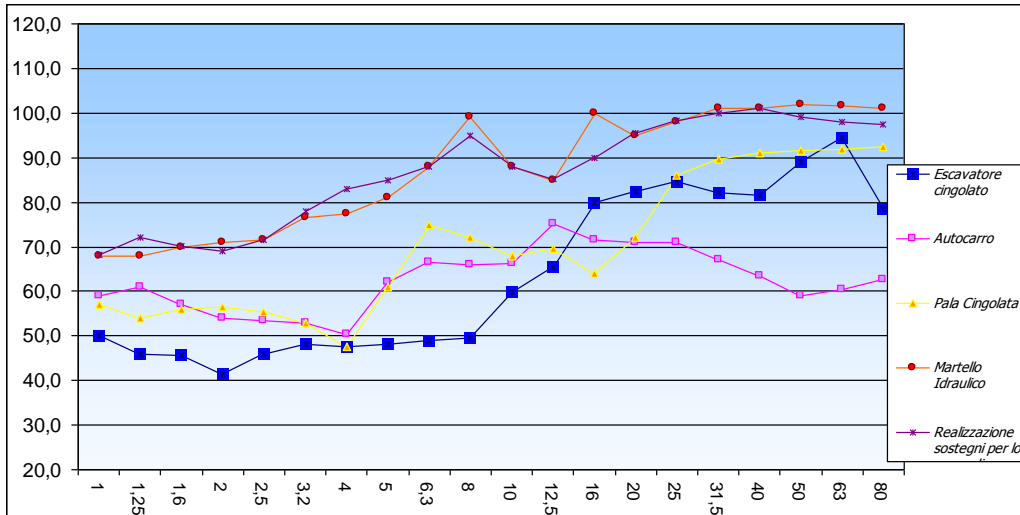


Figura 5. Spettri di sorgente dei macchinari da cantiere, misurati a distanza nota dalla sorgente

Il calcolo del livello di vibrazione in condizioni di campo libero, è stato definito nell’intorno del cantiere con una risoluzione di circa 5 m nelle due direzioni orizzontali, ottenendo delle griglie che sono state successivamente utilizzate con un programma di interpolazione per ottenere delle mappature isolivello. Di seguito la mappatura per la fase di infissione delle palancole.

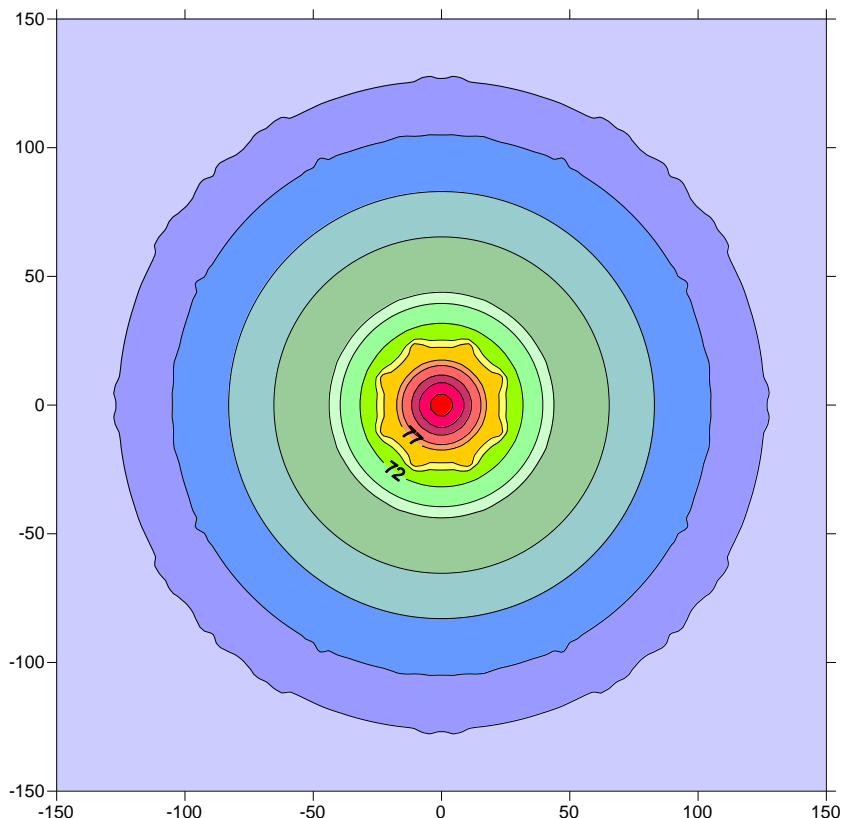


Figura 6. Livelli di accelerazione ponderata complessiva in dB stimati durante la fase di infissione delle palancole

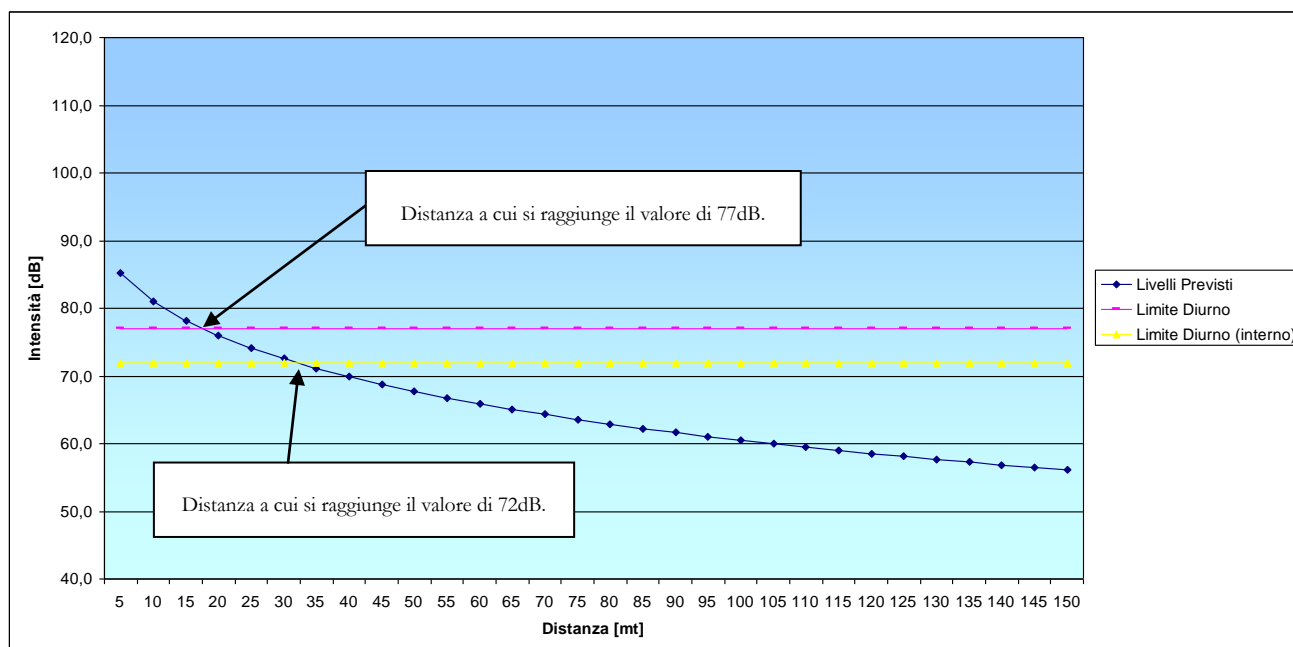
Dall'analisi delle mappe isolivello si nota come, anche a fronte di livelli di emissione vibrazionale talvolta elevati in prossimità delle singole sorgenti, corrispondano comunque sempre decadimenti dei valori previsti sotto i 70 dB a distanze stimabili in circa 35-40 metri dal punto di emissione.

Dall'analisi della legge di variazione spaziale del valore complessivo ponderato dell'accelerazione per le attività individuate in precedenza, si osserva come nelle operazioni di infissione delle palancole il livello di riferimento di 77 dB viene raggiunto a circa 15 metri di distanza dalla sorgente. Ciò comporta, pertanto, che a distanze maggiori i livelli vibrometrici possono essere ragionevolmente assunti inferiori a detto limite indicativo.

Anche considerando un valore di riferimento "ridotto" pari a 72 dB, corrispondente a un limite più cautelativo introdotto al solo fine di tenere in considerazione anche possibili effetti di amplificazione prodotti dagli edifici, assunti a vantaggio di sicurezza pari a 5 dB, lo stesso viene raggiunto ad una distanza di 30 metri dalla sorgente.

Infine, anche assumendo i limiti indicati per le cosiddette "aree critiche" (ai sensi della Norma UNI "per aree critiche si intendono le camere operatorie ospedaliere, i laboratori, i locali in cui si svolgono lavori manuali delicati, ecc. Ai fini della presente norma, le aree critiche sono considerate tali solo negli intervalli di tempo in cui le operazioni in dette aree sono in corso. Negli altri intervalli di tempo tali aree possono essere assimilate alle abitazioni qualora vi sia il consenso da parte di coloro che vi lavorano e qualora le vibrazioni siano preannunciate. Alle abitazioni possono essere assimilati i reparti di degenza ospedaliere, i locali pubblici, ecc."), si riscontra come i valori di 74 e 71 dB vengono raggiunti a distanze rispettivamente di circa 20 e 33 metri dalla sorgente. L'assunzione di considerare il fabbricato del Polo Scientifico alla stregua di "area critica" risulta, tuttavia, eccessivamente cautelativa in quanto l'edificio in esame corrisponde al Plesso Didattico, difficilmente assimilabile a strutture ospedaliere o laboratori di ricerca con sofisticata strumentazione.

Le ampiezze dell'areale di potenziale impatto vibrometrico correlato alla lavorazione in esame risultano, in conclusione, comprese entro una distanza di circa 30 metri dalla sorgente. Considerato che il Plesso Didattico del Polo Scientifico si colloca a distanza di circa 120 metri e che il ricettore residenziale più vicino si trova a circa 100 metri di distanza, si riscontrano elevati e sufficienti margini di sicurezza (3-4 volte) tali da ritenere non significativo detto fattore di impatto.



Livelli di accelerazione complessiva in dB stimati durante la fase di infissione delle palancole

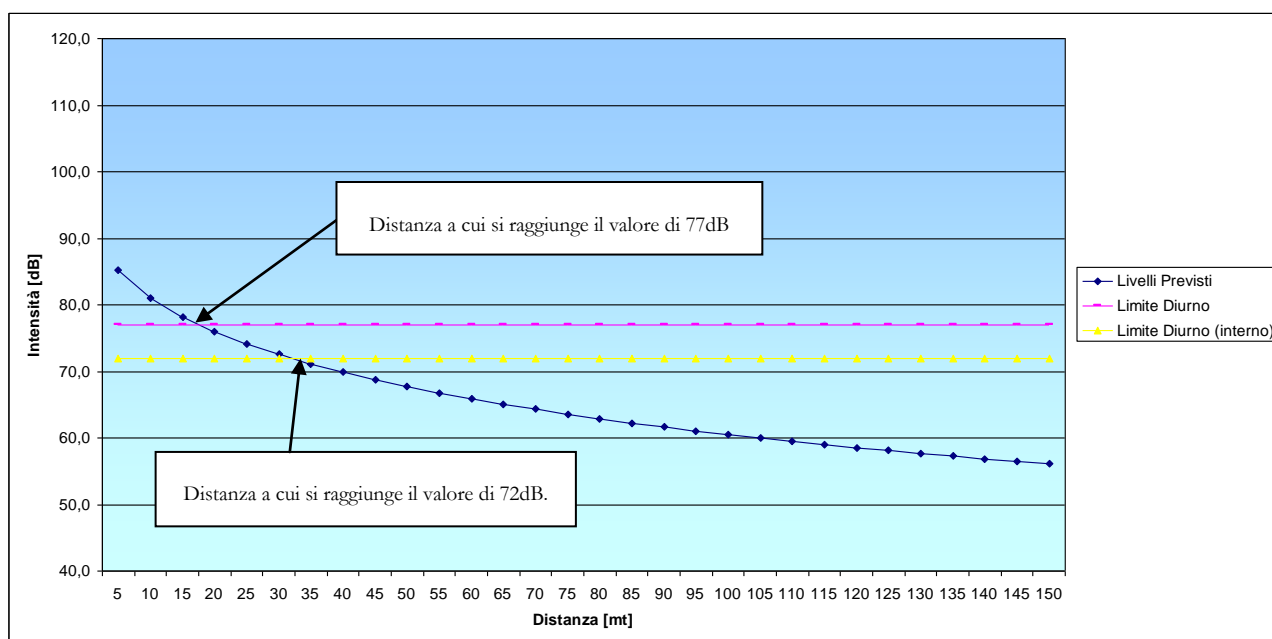
Dall'analisi della legge di variazione spaziale del valore complessivo ponderato dell'accelerazione per le attività individuate in precedenza, si osserva come le operazioni di movimentazione delle terre necessarie per la realizzazione della duna antirumore in terra prevista in corrispondenza del fronte meridionale del Polo Scientifico il livello di riferimento di 77 dB viene raggiunto a circa 13 metri di distanza dalla sorgente. Ciò comporta, pertanto,

che a distanze maggiori i livelli vibrometrici possono essere ragionevolmente assunti inferiori a detto limite indicativo. Anche considerando il valore di riferimento “ridotto” pari a 72 dB, lo stesso viene raggiunto ad una distanza di 30 metri dalla sorgente.

Le ampiezze dell’areale di potenziale impatto vibrometrico correlato alla lavorazione in esame risultano, in conclusione, comprese al più entro una distanza di circa 13-30 metri dalla sorgente. La distanza con il fabbricato potenzialmente più esposto (Plesso Didattico) risulta pari a 35 metri.

La distanza con l’edificio del LENS risulta, invece, pari a circa 100 metri, per cui anche considerando lo stesso quale “area critica”, i relativi valori di riferimento di 74 e 71 dB risulterebbero raggiunti a distanze rispettivamente di 22 e 34 metri, ovvero sensibilmente inferiori (circa 3-4 volte) rispetto alla reale distanza.

Non sussistono, pertanto, potenziali criticità di impatto vibrometrico correlato a detta lavorazione.



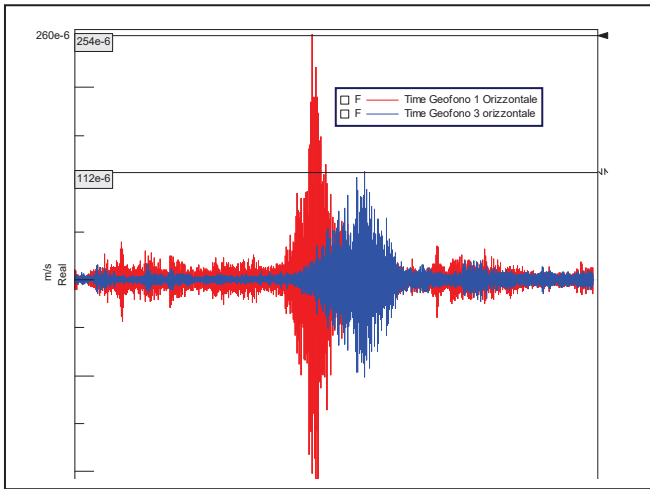
Livelli di accelerazione complessiva in dB stimati durante la fase di realizzazione della duna antirumore in terra

Da ultimo, considerato il fatto che le elaborazioni sopra riportate hanno preso in esame i potenziali casi (lavorazioni) teoricamente più critici in virtù della tipologia di macchine operatrici coinvolte, nonché della distanza e della tipologia di ricettore esposto, e che le stesse hanno riscontrato l’assenza di impatti significativi, si ritiene che l’intera fase di cantierizzazione delle opere di Master Plan aeroportuale possa ritenersi priva di significativi impatti vibrometrici.

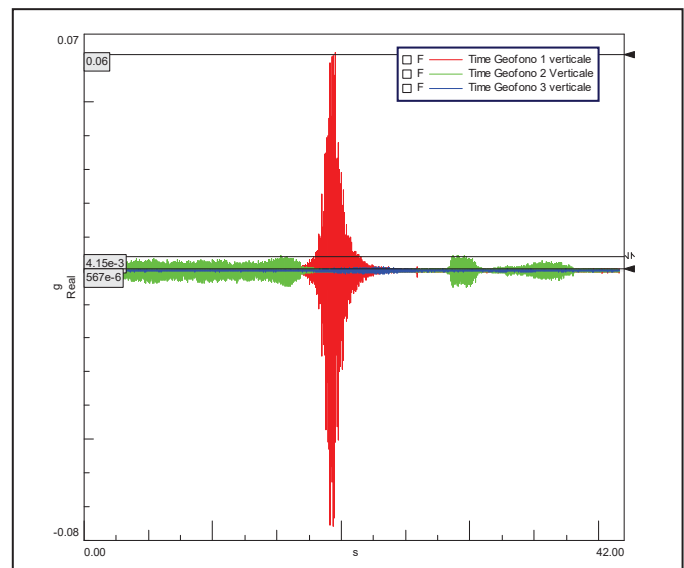
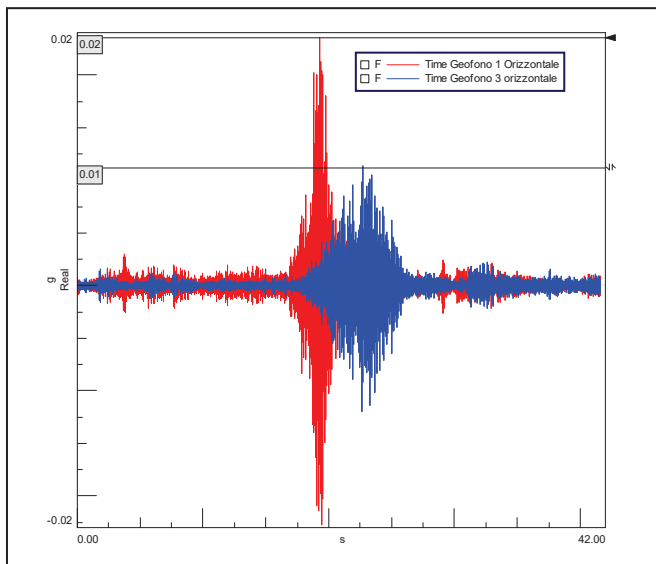
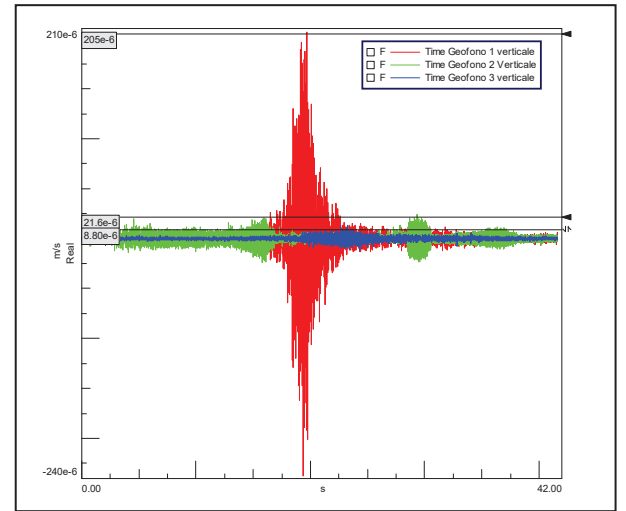
ALLEGATO 1

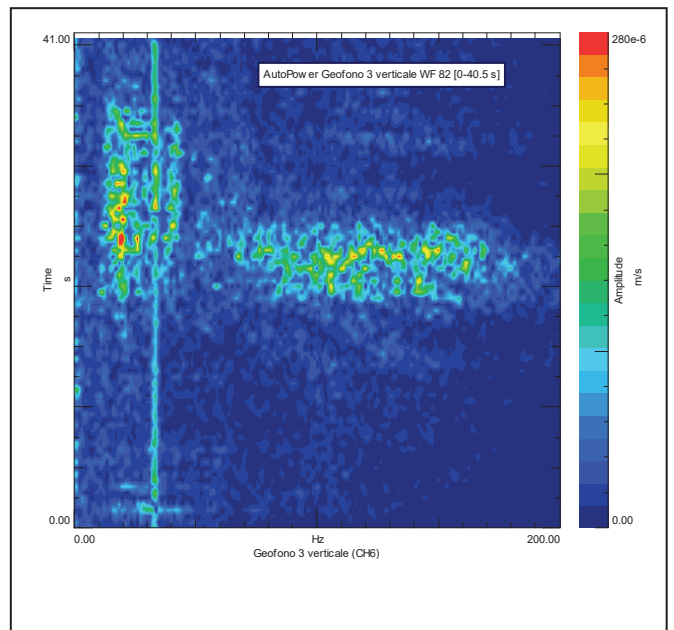
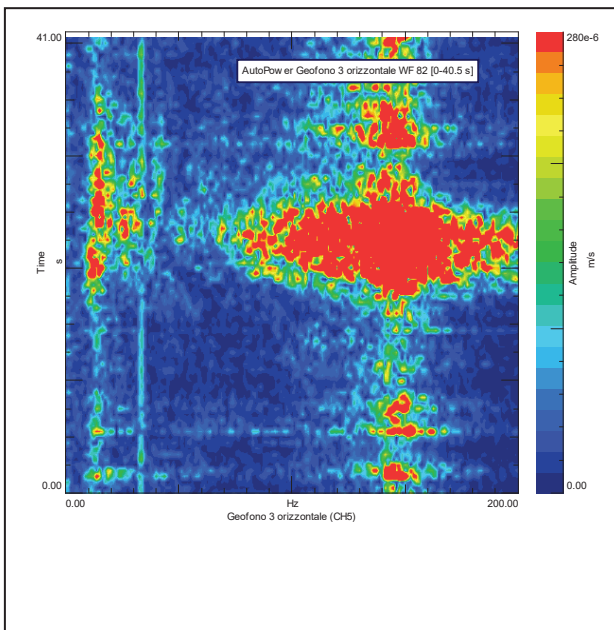
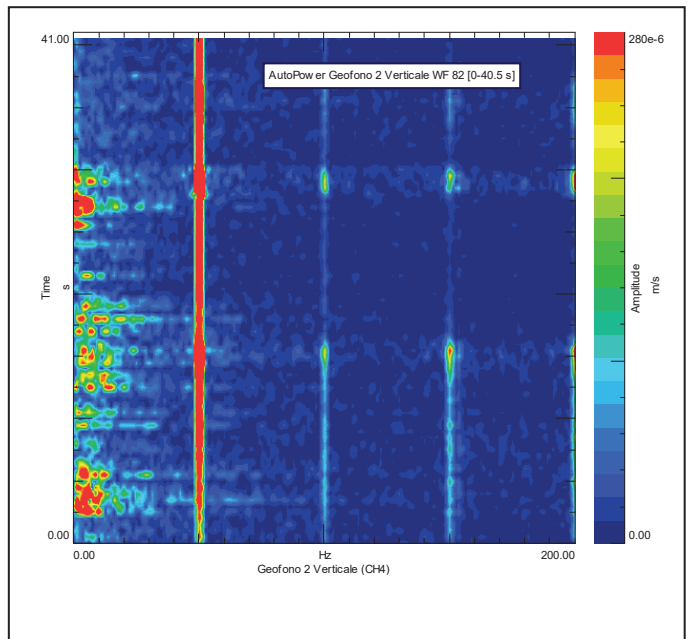
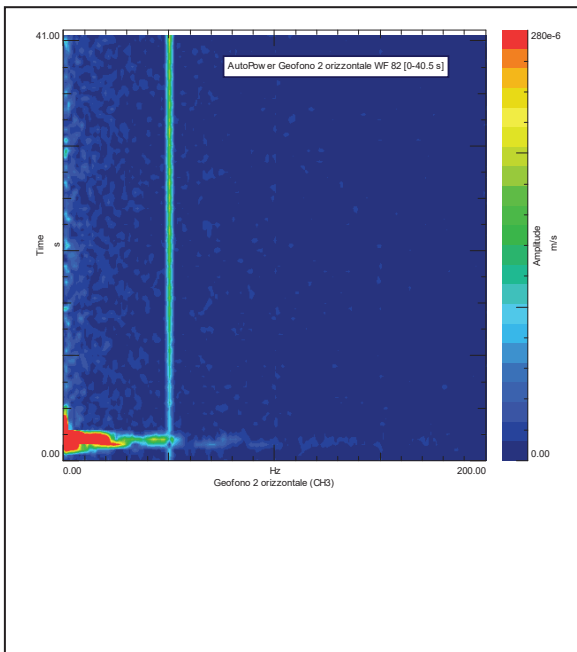
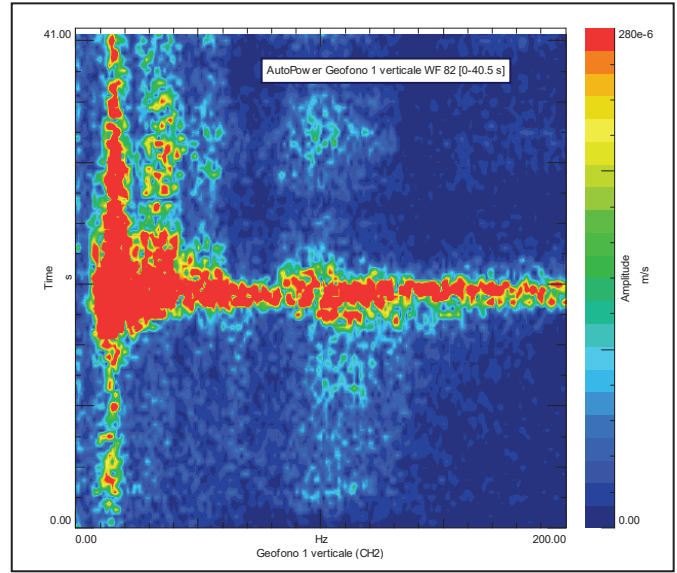
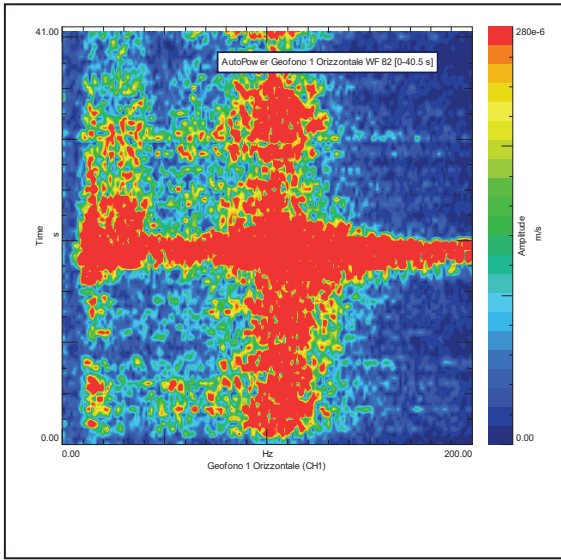
Dati acquisiti durante le operazioni dell'attuale aeroporto

- A319 VERSO MONTAGNA 10,05
orizzontale

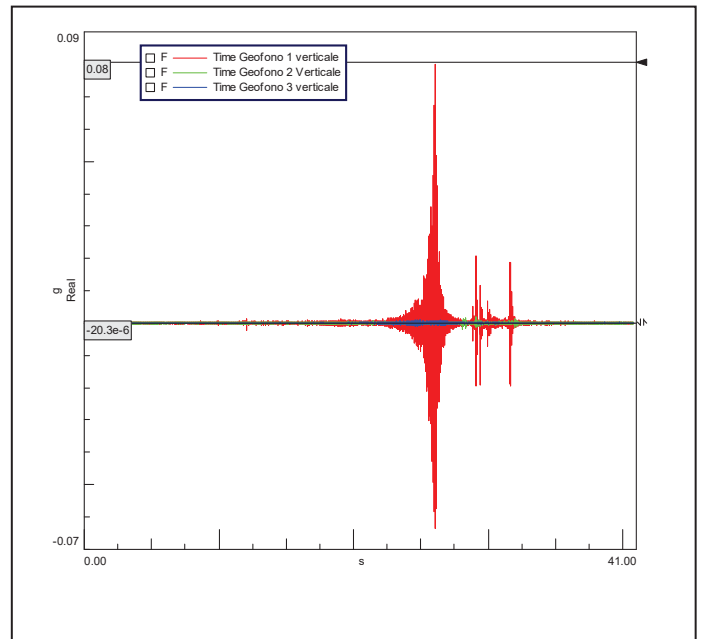
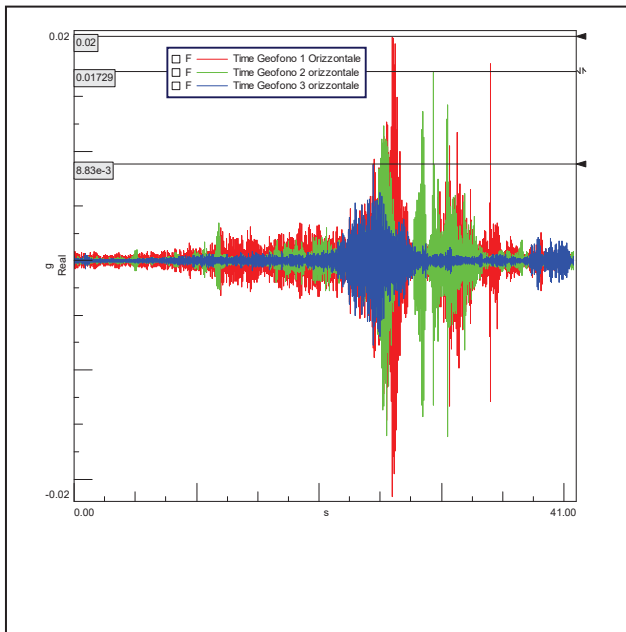
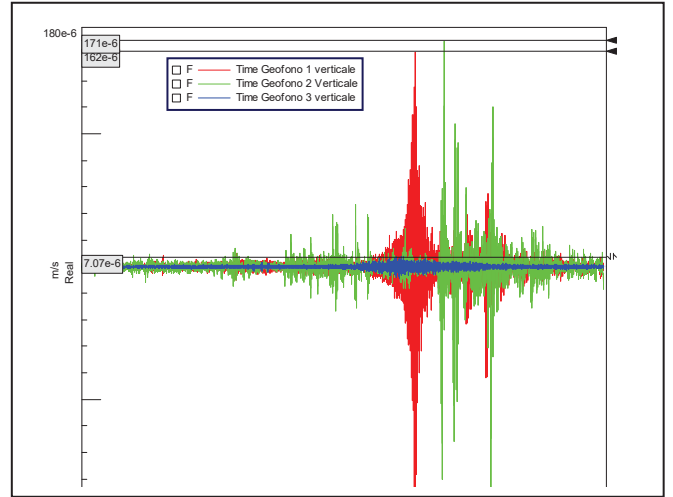
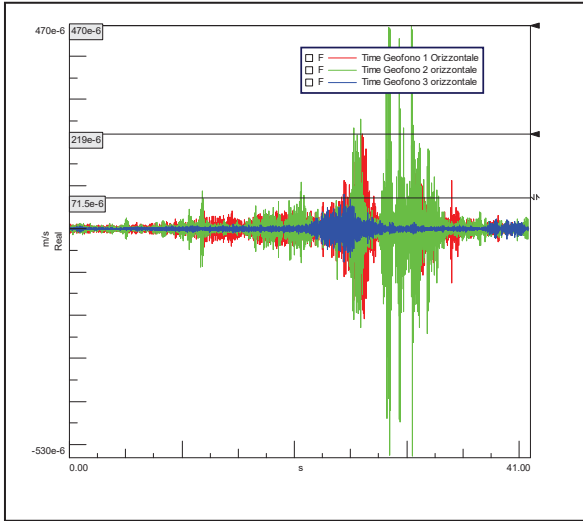


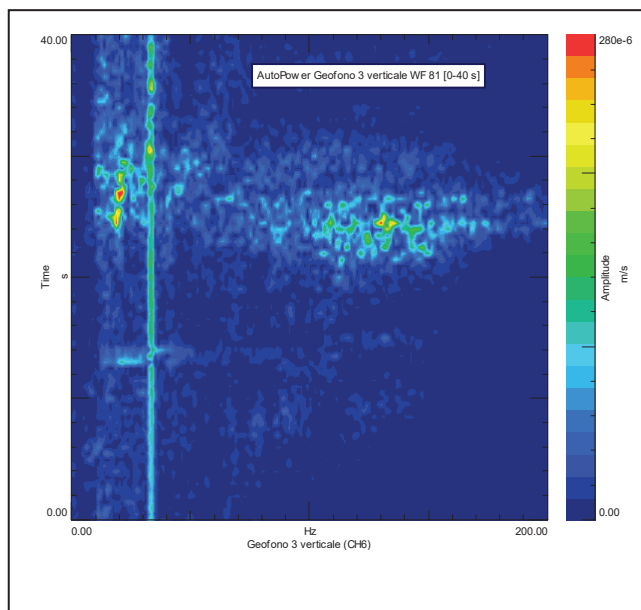
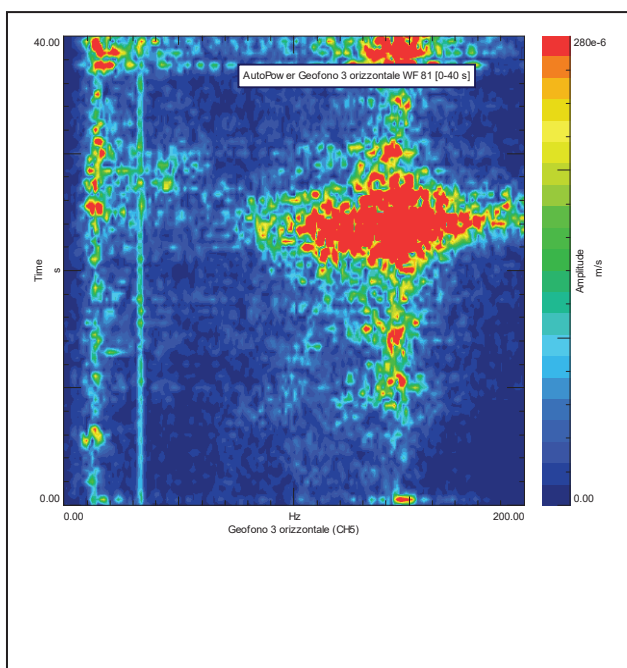
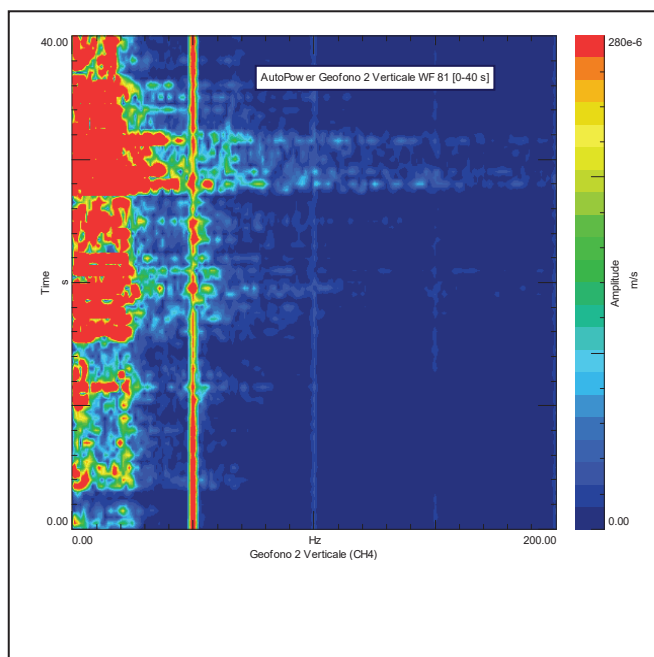
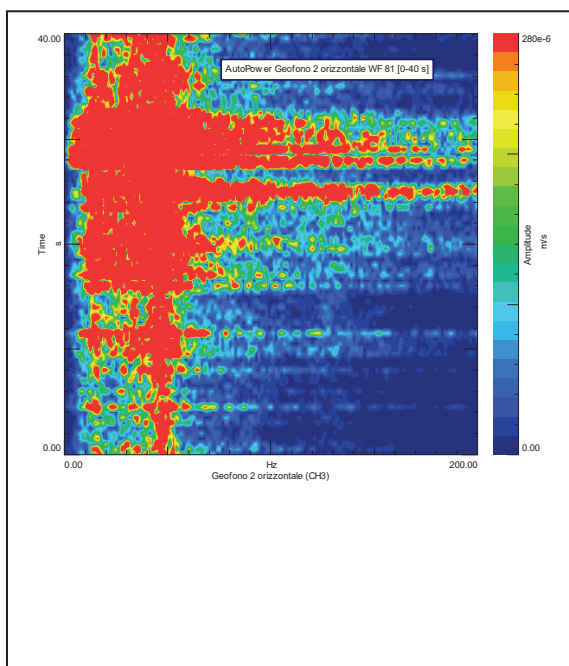
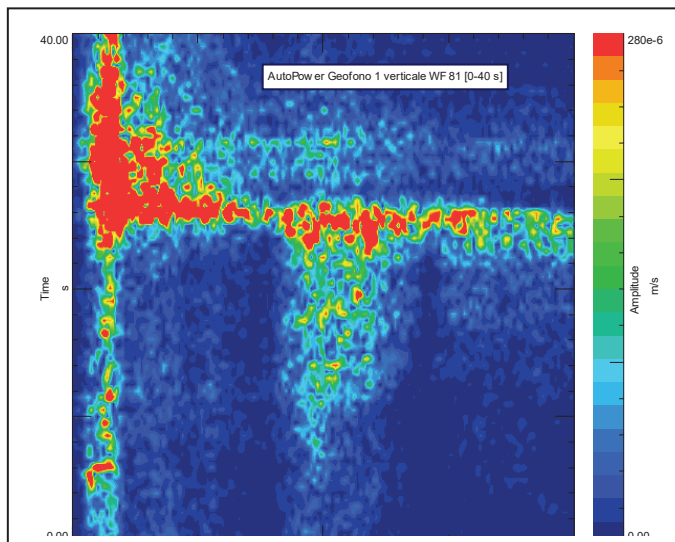
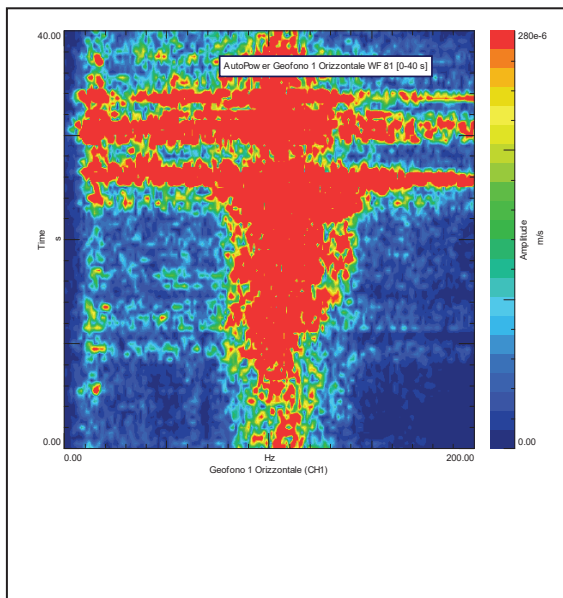
verticale



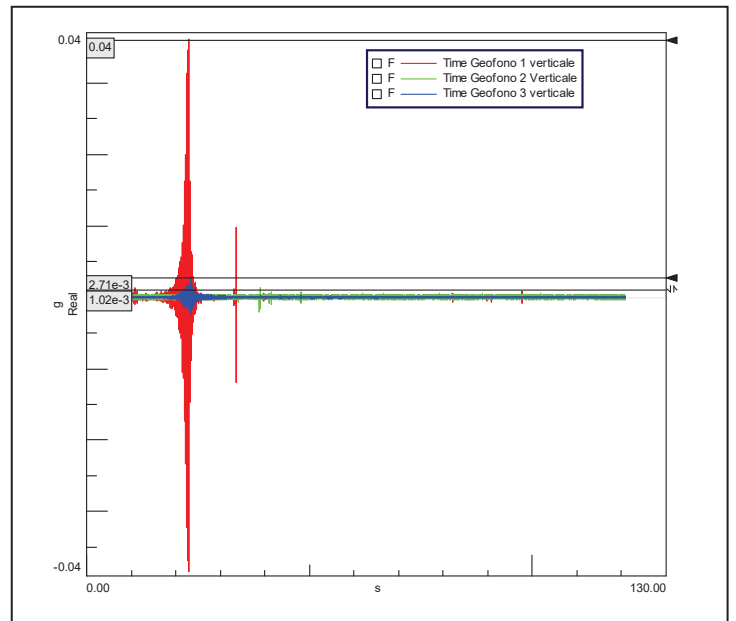
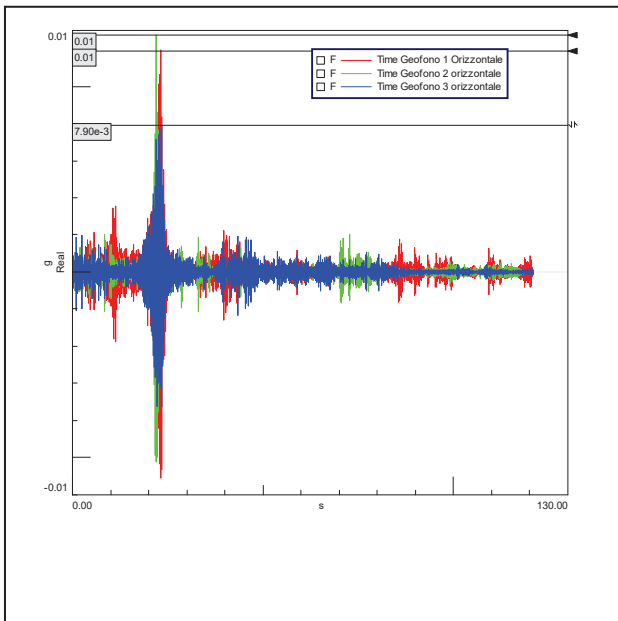
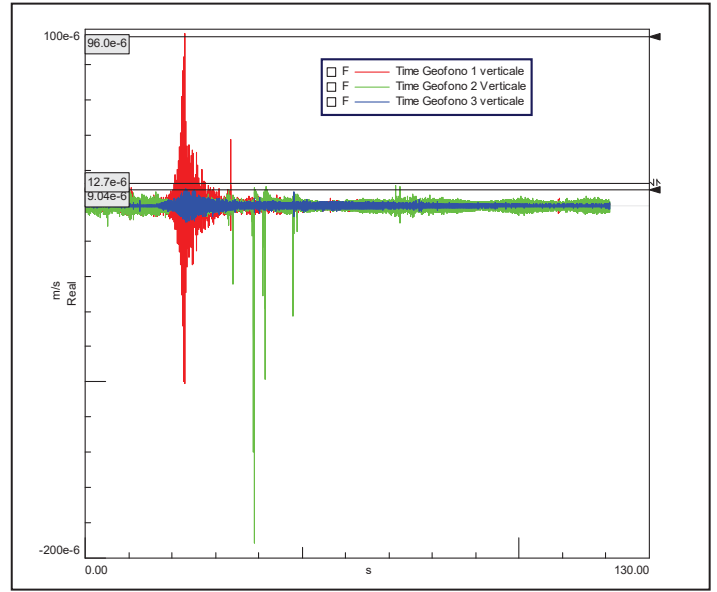
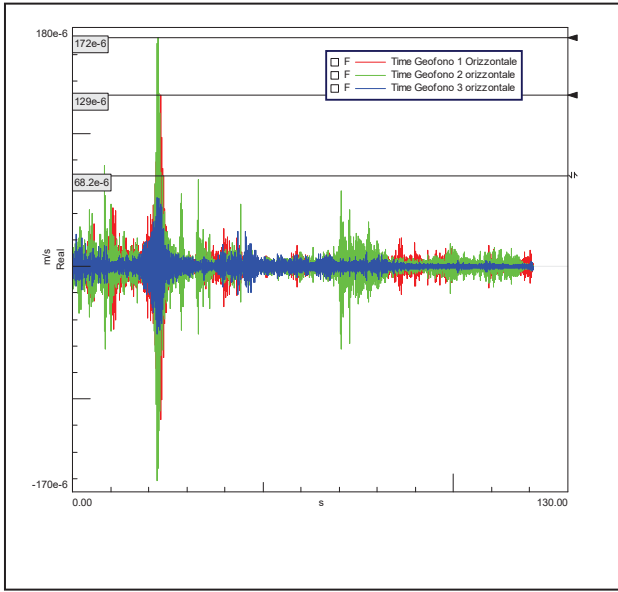


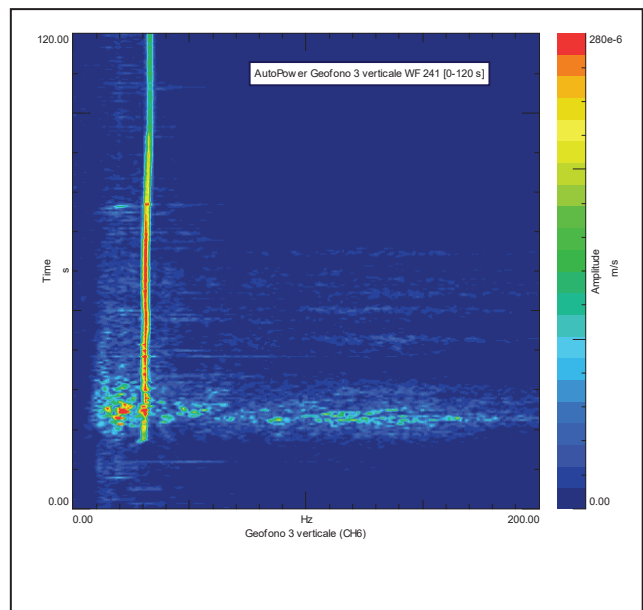
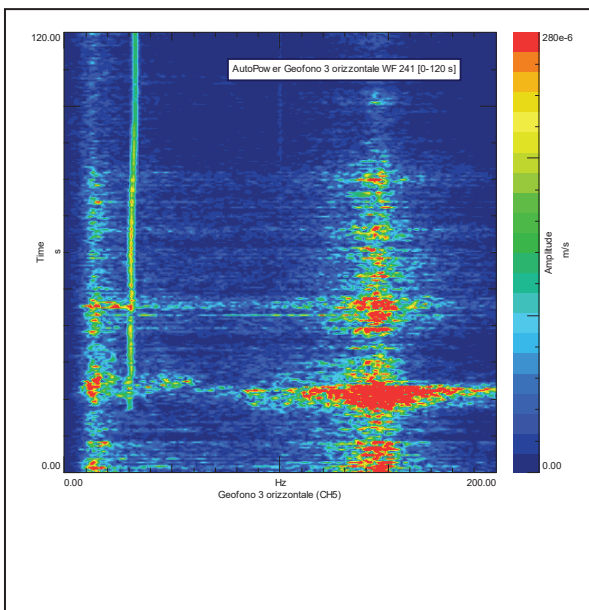
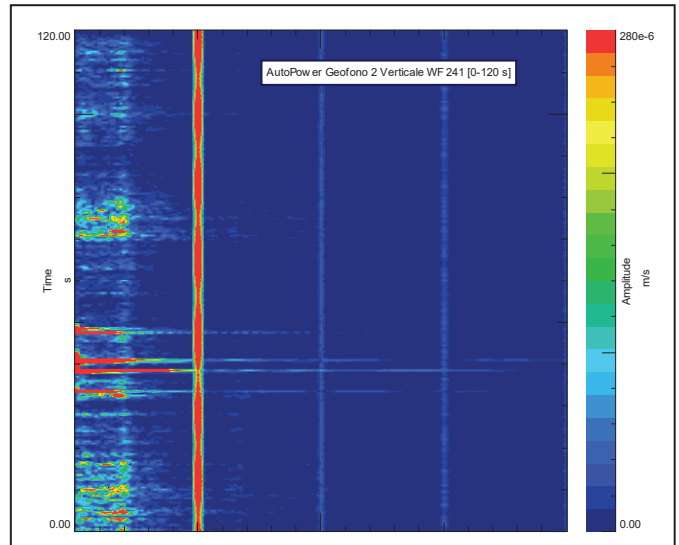
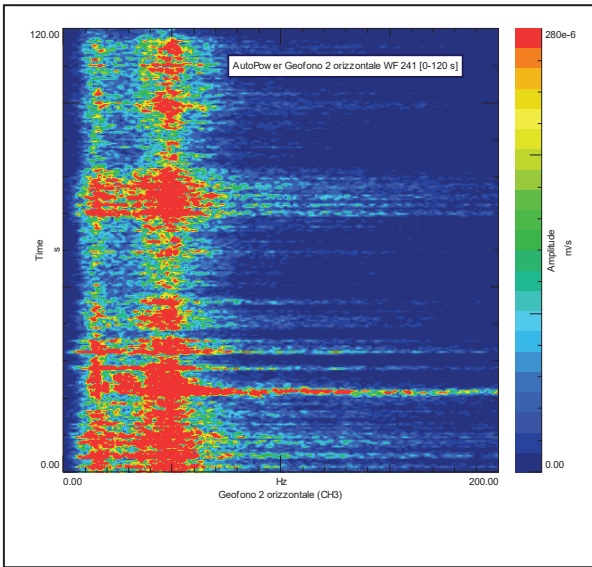
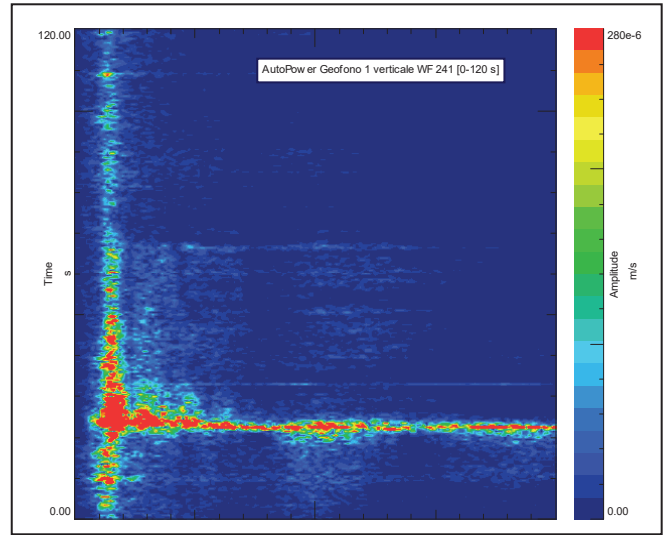
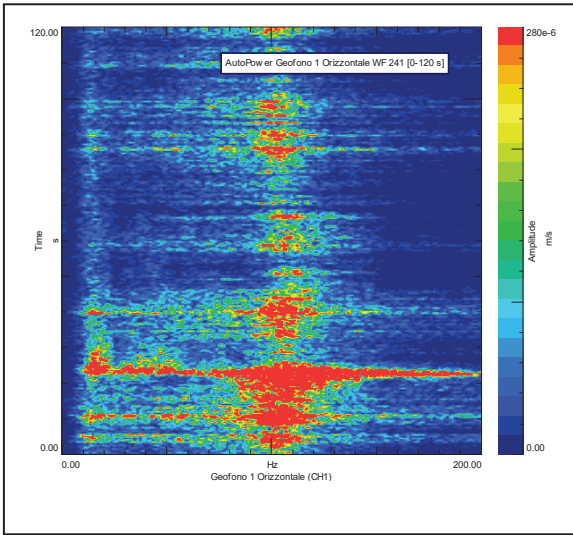
- A319 ALITALIA 10,45



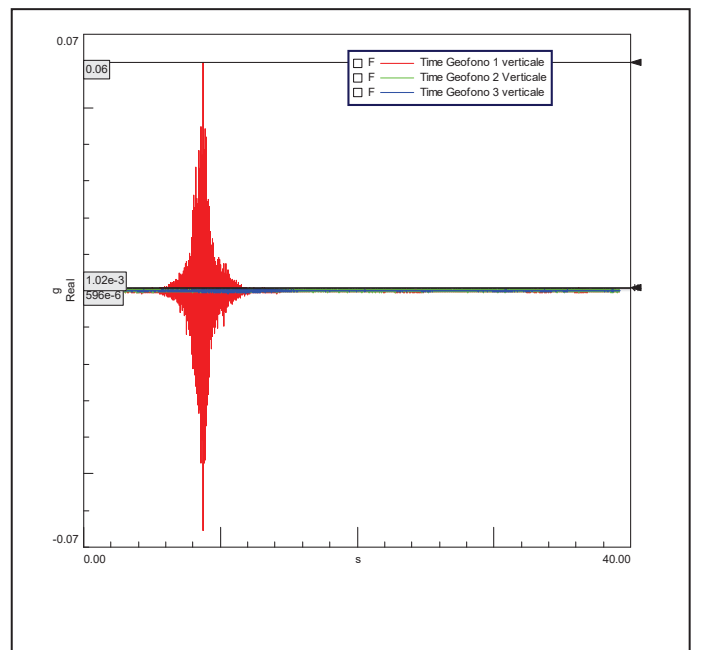
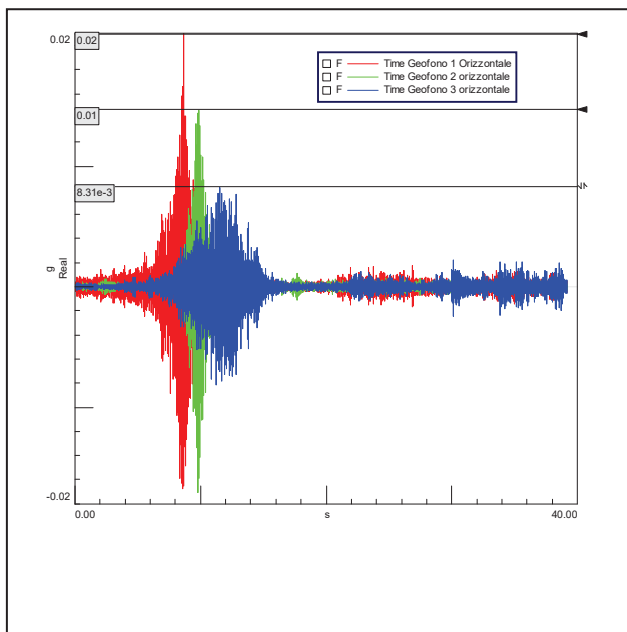
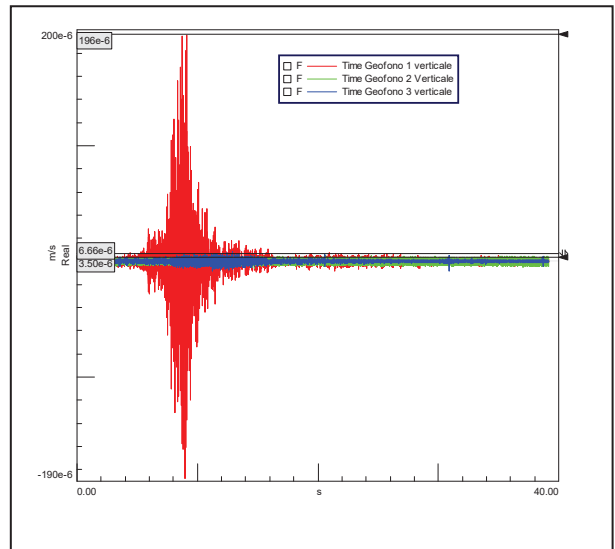
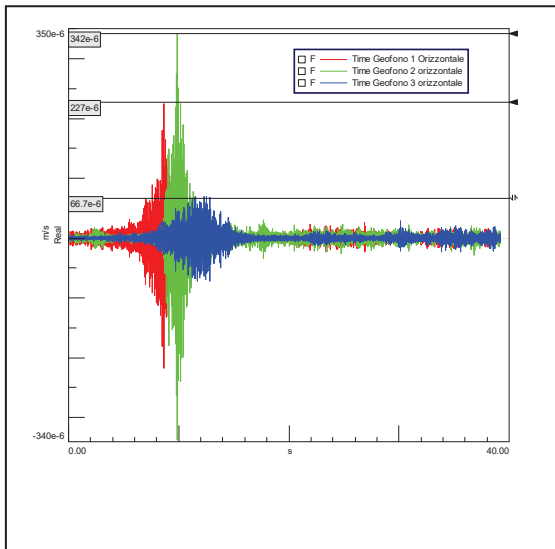


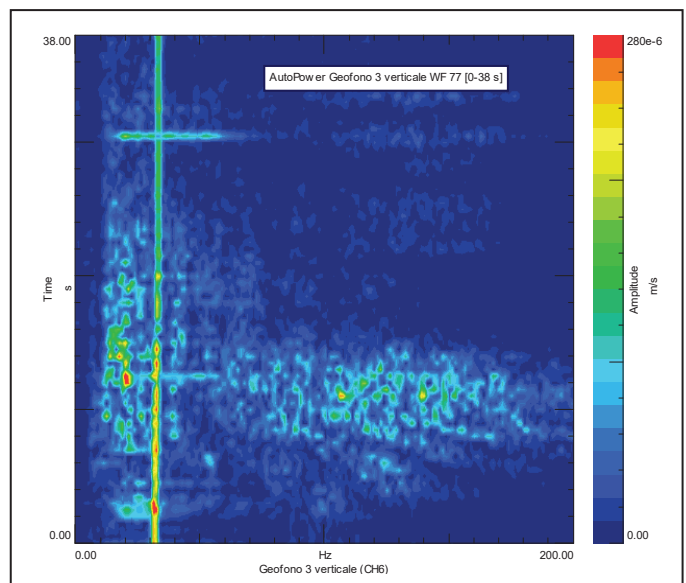
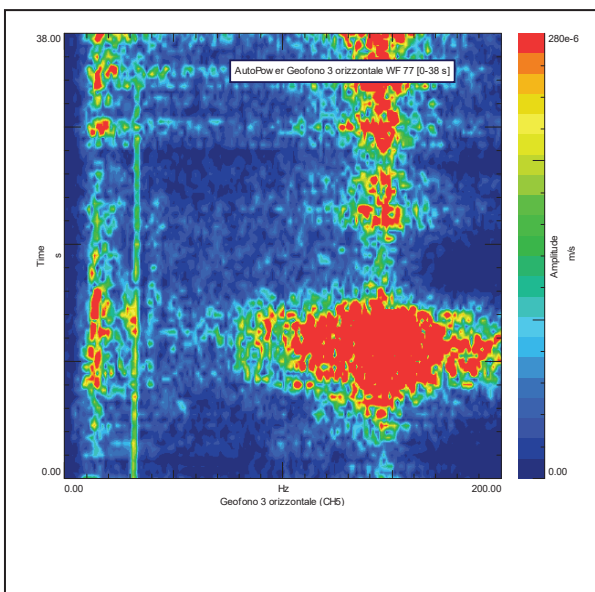
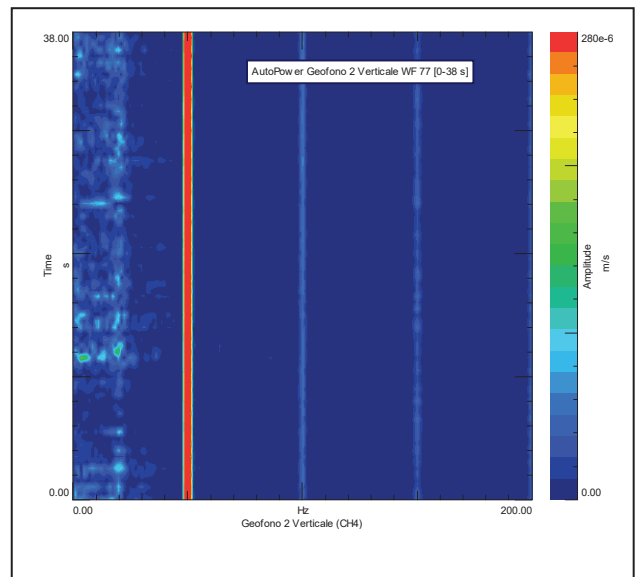
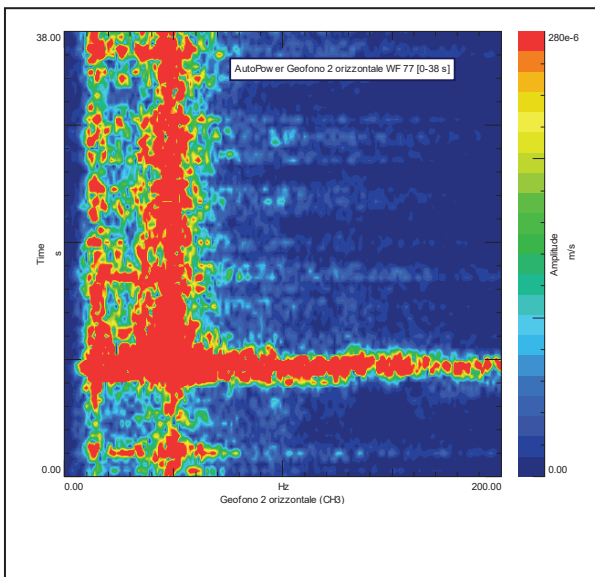
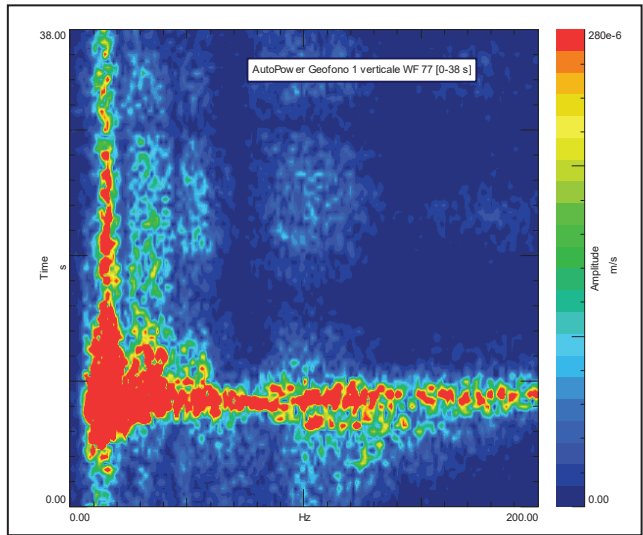
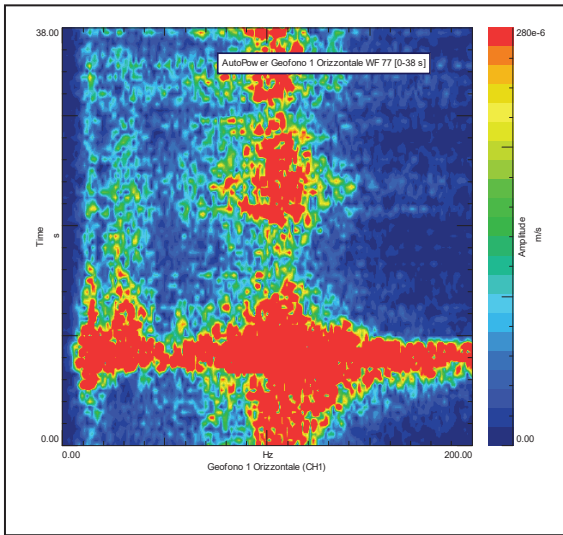
● A319 ALITALIA 12,10



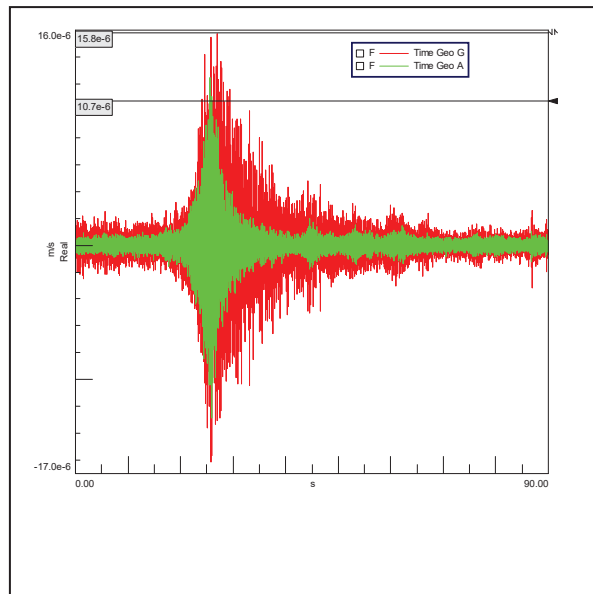


● AIR DOLOMITI 13,35

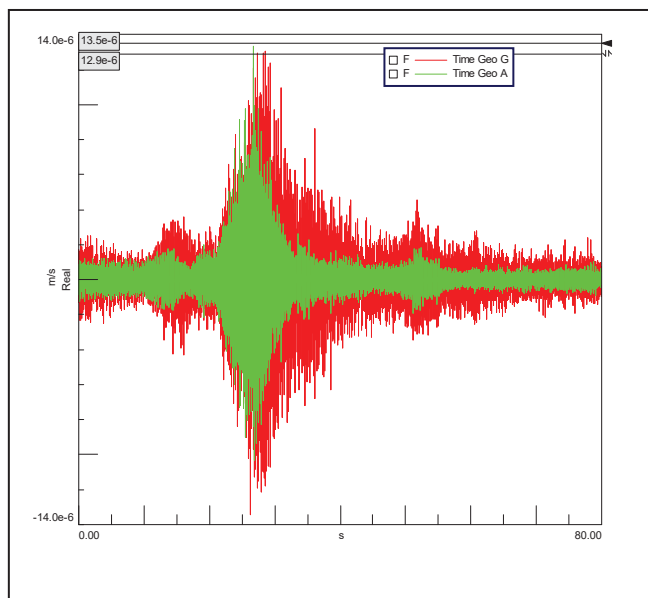




- Airfrance A318 13,58 (GEOFONI G-A)



- KLM 13,15 (GEOFONI G-A)



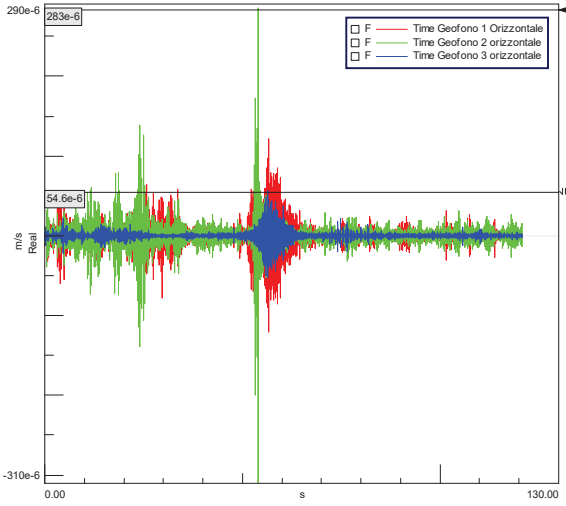
ATTERRAGI

| VOLO | VELOCITA' ORIZZONTALE (m/s) | | | ACCELERAZIONE ORIZZONTALE (g) | | | VELOCITA' VERTICALE (m/s) | | | ACCELERAZIONE VERTICALE (g) | | |
|------------------------------|--------------------------------|------------------|------------------|-------------------------------------|--------------|--------------|------------------------------|--------------|--------------|--------------------------------|--------------|--------------|
| | G1 | G2 | G3 | G1 | G2 | G3 | G1 | G2 | G3 | G1 | G2 | G3 |
| A138 Air France 12,00 | 121 e^{-6} | 284 e^{-6} | 55.8 e^{-6} | 0.01 | $9.55e^{-3}$ | $5.85e^{-3}$ | 124 e^{-6} | $18.0e^{-6}$ | $12.2e^{-6}$ | 0.02 | $550e^{-6}$ | $1.62e^{-3}$ |
| KLM 11,50 | 58.4 e^{-6} | 104 e^{-6} | 27.7 e^{-6} | 4.63 e^{-3} | $4.18e^{-3}$ | $3.08e^{-3}$ | 25.5 e^{-6} | $20.5e^{-6}$ | $10.0e^{-6}$ | 6.62 e^{-3} | $24.3e^{-6}$ | $379e^{-6}$ |
| AIR DOLOMITI 16,10 | 34.6 e^{-6} | 53.8 e^{-6} | 37.2 e^{-6} | 3.09 e^{-3} | $2.53e^{-3}$ | $2.53e^{-3}$ | 9.34 e^{-3} | $483e^{-6}$ | $824e^{-6}$ | 9.25 e^{-3} | $701e^{-6}$ | $526e^{-6}$ |
| AIR FRANCE 15,10 | 114 e^{-6} | 365 e^{-6} | 49.6 e^{-6} | 0.01 | $9.07e^{-3}$ | $5.12e^{-3}$ | 302 e^{-6} | $24.7e^{-6}$ | $5.55e^{-6}$ | 0.07 | $6.55e^{-3}$ | $1.38e^{-3}$ |
| BRITISH 14,20 | 57.9 e^{-6} | 113 e^{-6} | 54.4 e^{-6} | 5.17 e^{-3} | $3.89e^{-3}$ | $6.59e^{-3}$ | 110 e^{-6} | $20.7e^{-6}$ | $12.3e^{-6}$ | 6.09 e^{-3} | $1.40e^{-3}$ | $1.27e^{-3}$ |
| CITY JET 12,40 | 81.6 e^{-6} | 210 e^{-6} | 40.0 e^{-6} | 7.75 e^{-3} | $7.17e^{-3}$ | $4.15e^{-3}$ | 79.1 e^{-6} | $33.3e^{-6}$ | $5.72e^{-6}$ | 0.01 | $445e^{-6}$ | $210e^{-6}$ |
| E95 AIR DOLOMITI 12,38 | 57.6 e^{-6} | 132 e^{-6} | 13.3 e^{-6} | 4.12 e^{-3} | $3.39e^{-3}$ | $1.55e^{-3}$ | 86.9 e^{-6} | $8.06e^{-6}$ | $18.6e^{-6}$ | 9.71 e^{-3} | $465e^{-6}$ | $465e^{-6}$ |
| ETHIAD 13,00 | 33.8 e^{-6} | 59.1 e^{-6} | 10.7 e^{-6} | 3.84 e^{-3} | $3.10e^{-3}$ | $1.29e^{-3}$ | 44.2 e^{-6} | $2.47e^{-6}$ | $3.21e^{-6}$ | 0.02 | $641e^{-6}$ | $155e^{-6}$ |
| ETHIAD 13,15 | 22.4 e^{-6} | 94.7 e^{-6} | 6.75 e^{-6} | 2.13 e^{-3} | $2.65e^{-3}$ | $824e^{-6}$ | 18.0 e^{-6} | $10.0e^{-6}$ | $2.85e^{-6}$ | 5.26 e^{-3} | $586e^{-6}$ | $75.4e^{-6}$ |
| LUFTANSA 13,50 | 29.1 e^{-6} | 76.3 e^{-6} | 15.7 e^{-6} | 2.66 e^{-3} | $3.33e^{-3}$ | $1.58e^{-3}$ | 23.3 e^{-6} | $8.04e^{-6}$ | $10.1e^{-6}$ | 8.98 e^{-3} | $586e^{-6}$ | $75.4e^{-6}$ |
| SWISS 14,05 | 89.3 e^{-6} | 327 e^{-6} | 59.4 e^{-6} | 5.81 e^{-3} | $8.88e^{-3}$ | $5.09e^{-3}$ | 123 e^{-6} | $15.3e^{-6}$ | $13.2e^{-6}$ | 6.25 e^{-3} | $567e^{-6}$ | $567e^{-6}$ |

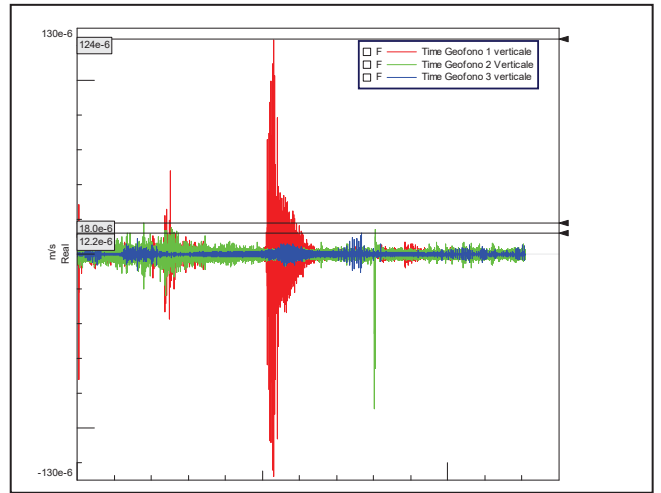
- **ATTERRAGGIO A 318 AIR FRANCE 12,00**

ORIZZONTALI

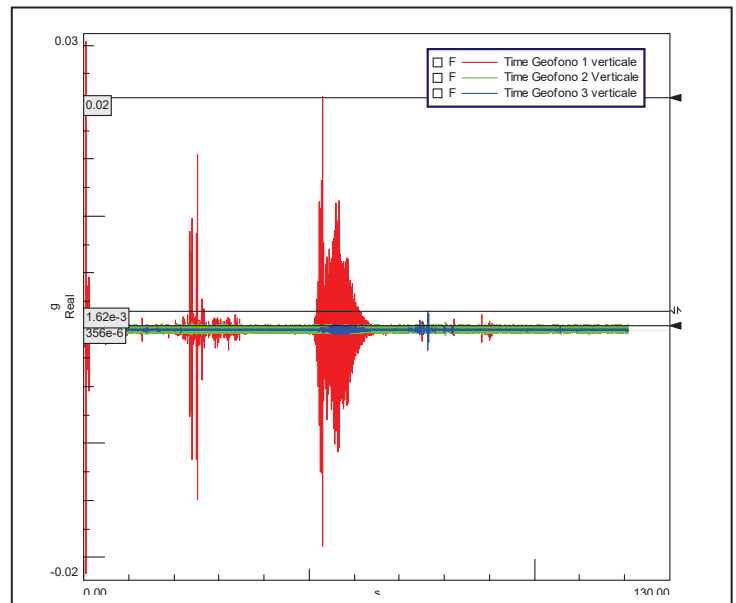
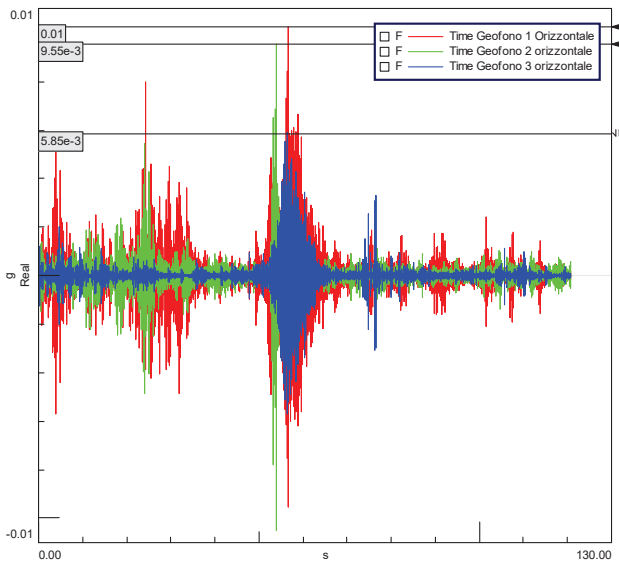
velocità

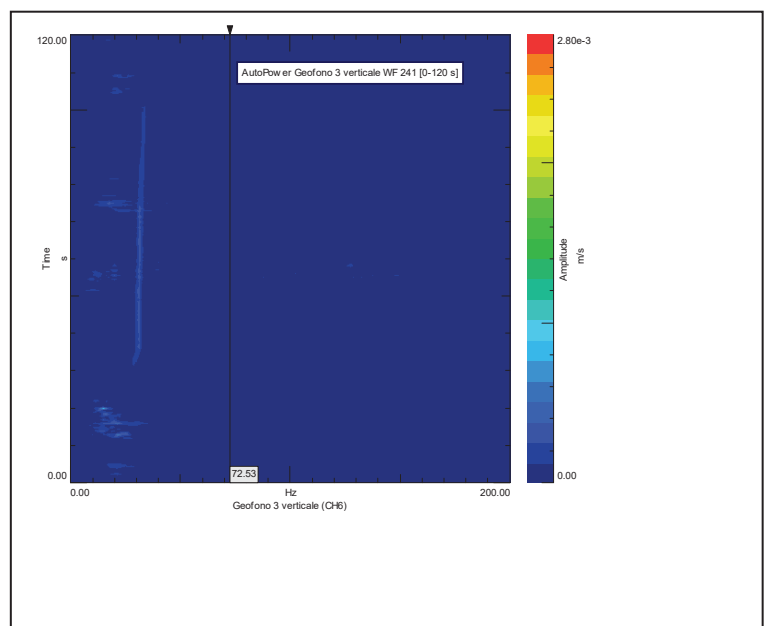
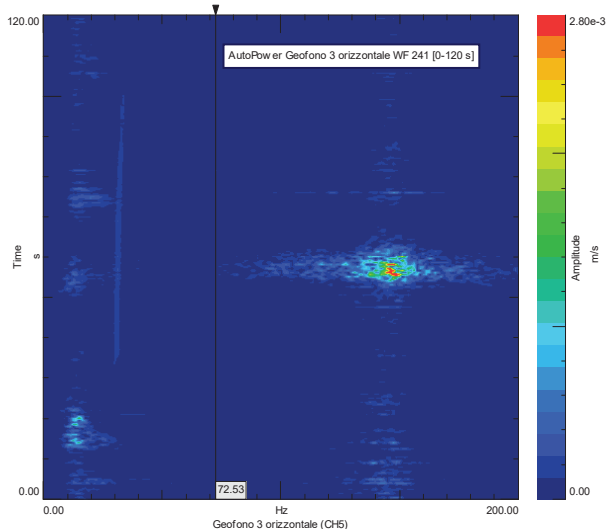
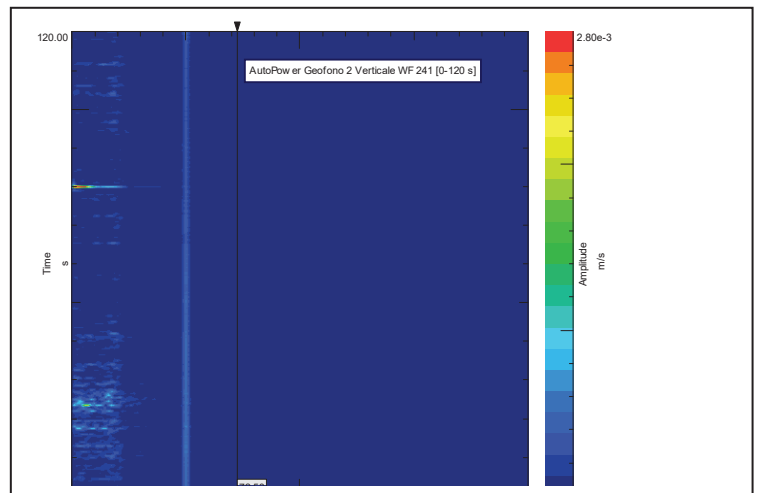
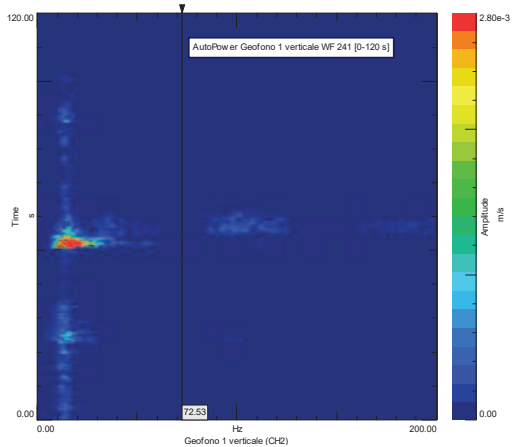
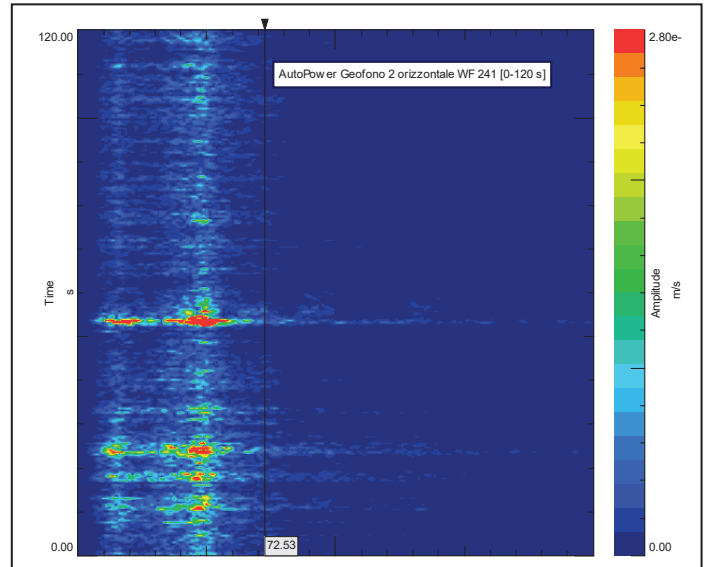
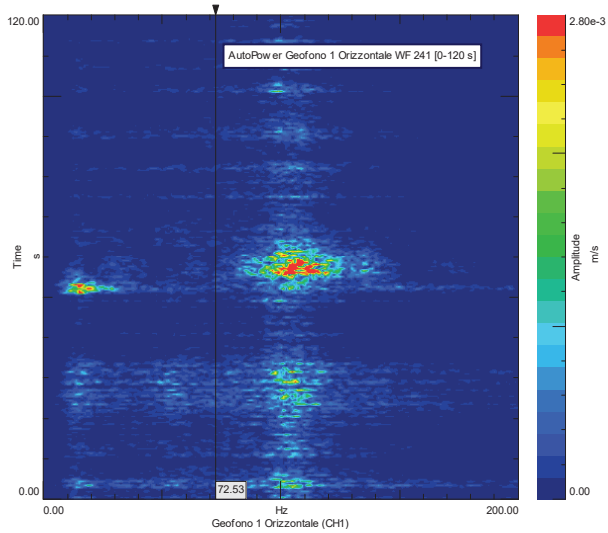


VERTICALI

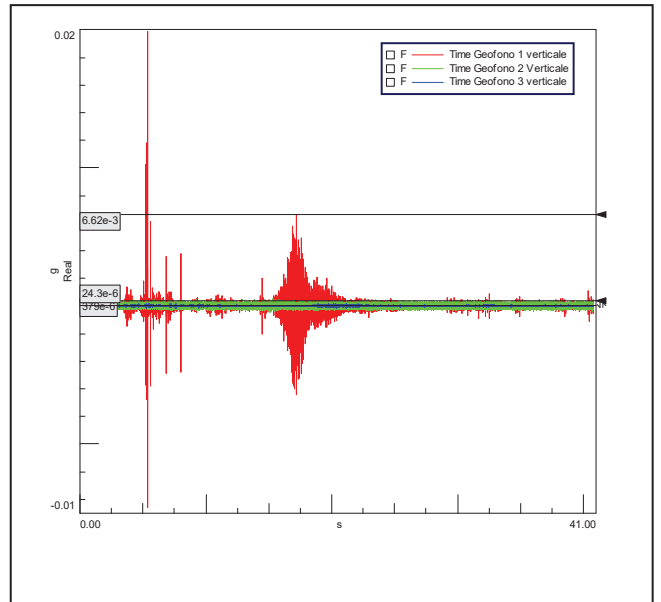
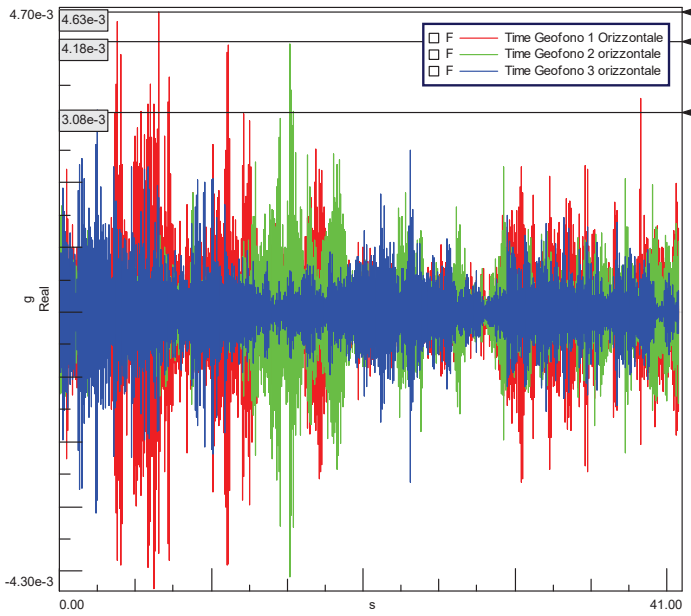
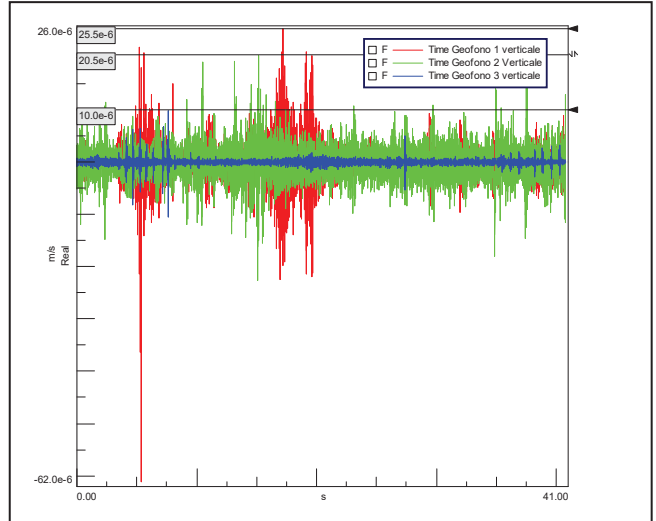
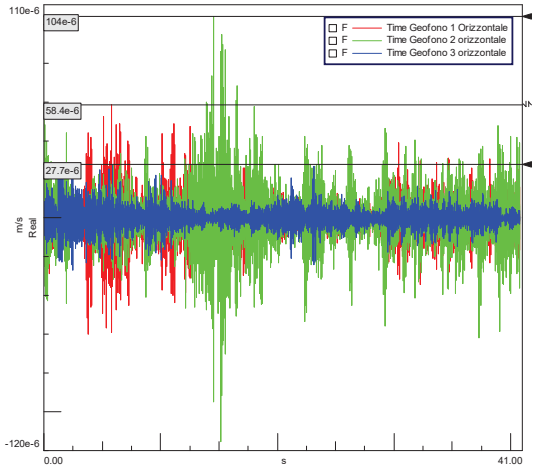


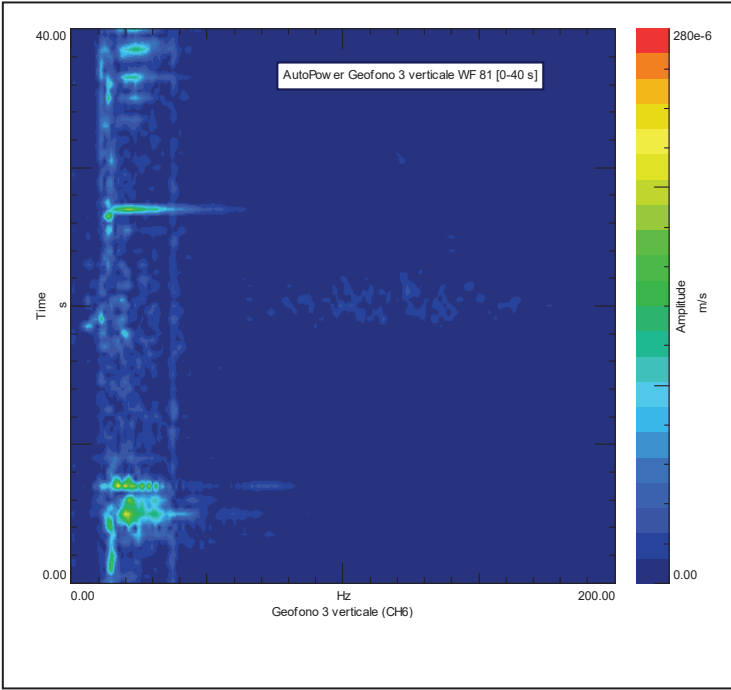
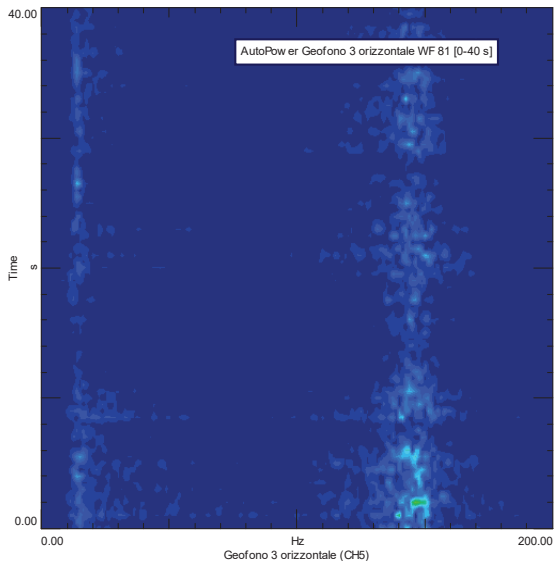
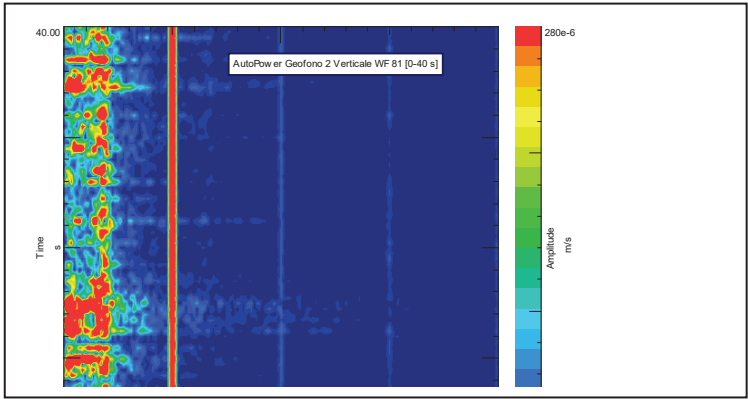
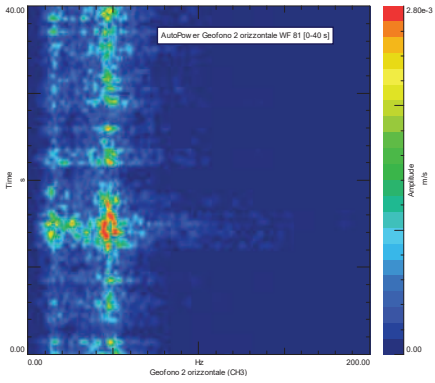
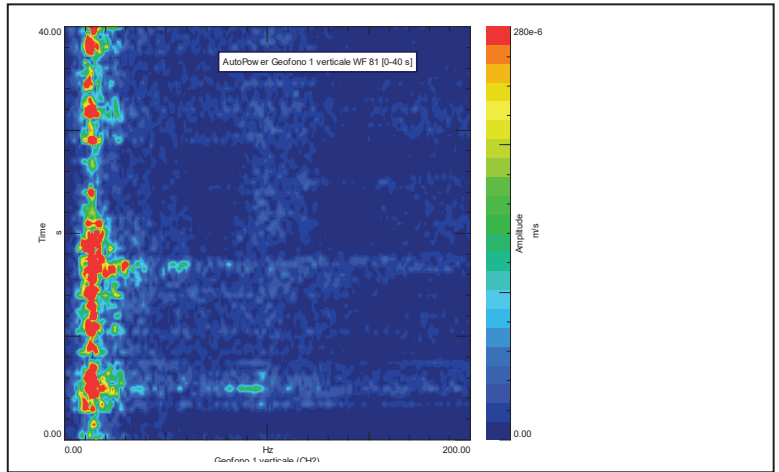
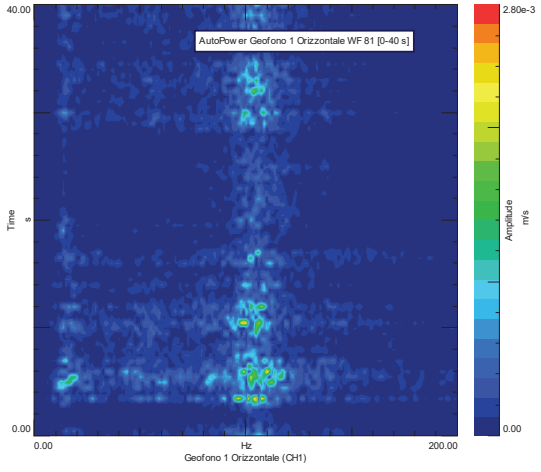
accelerazione



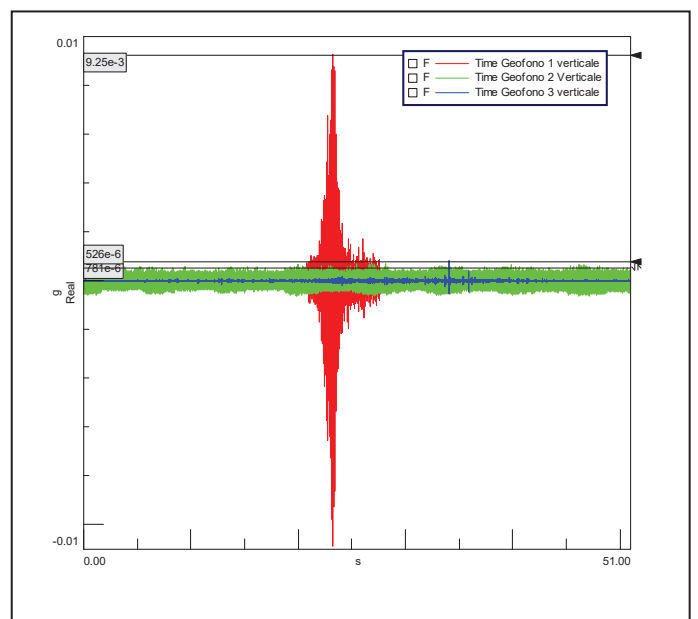
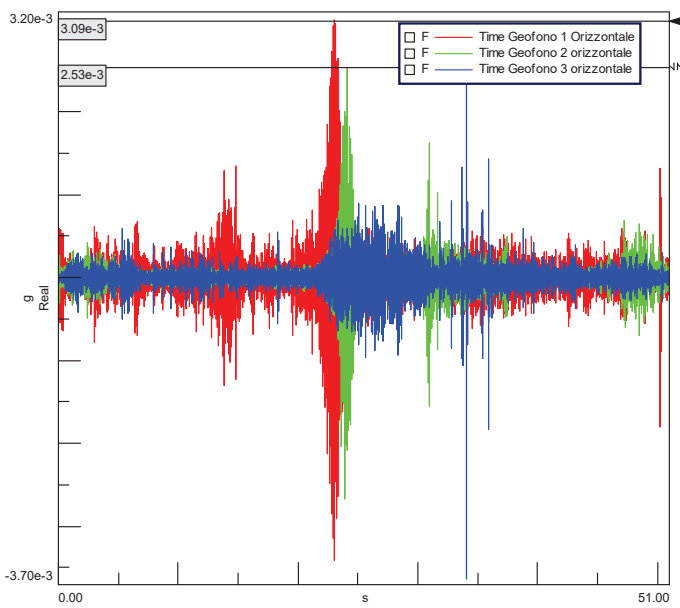
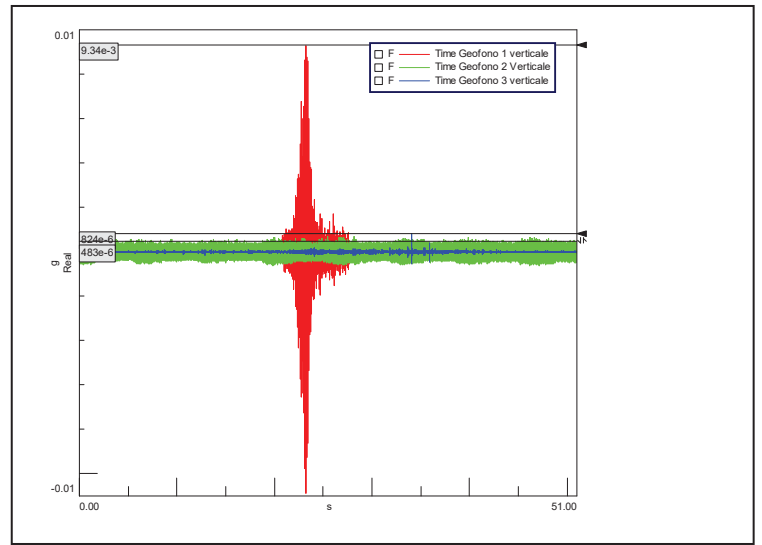
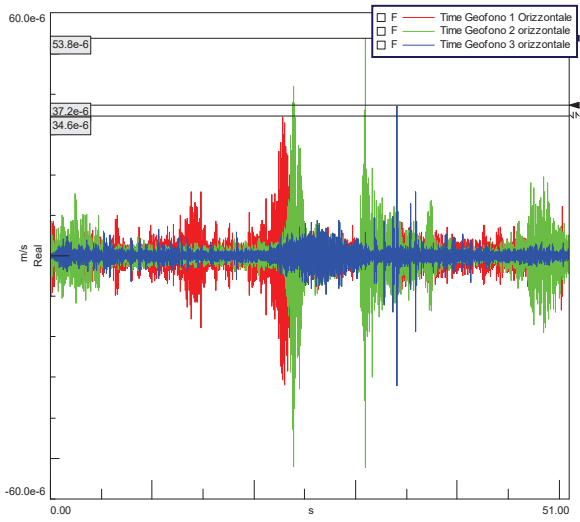


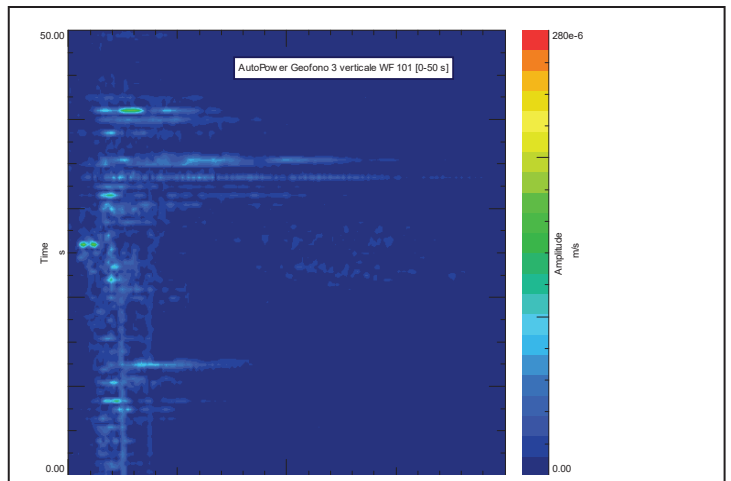
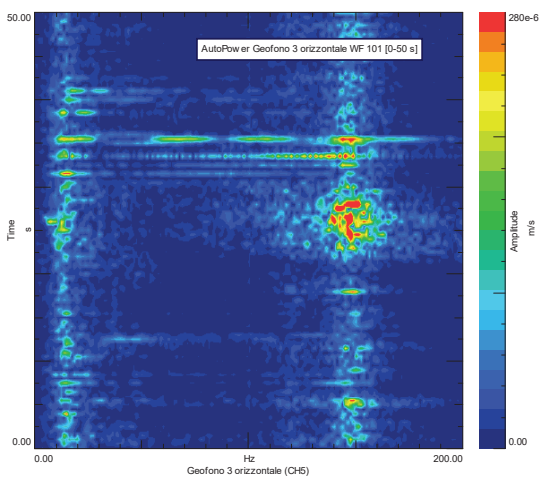
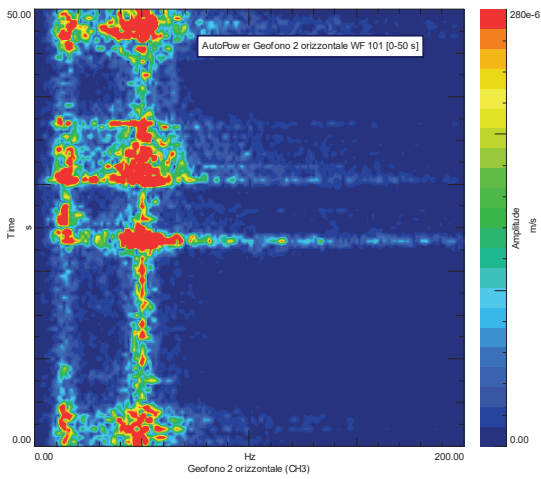
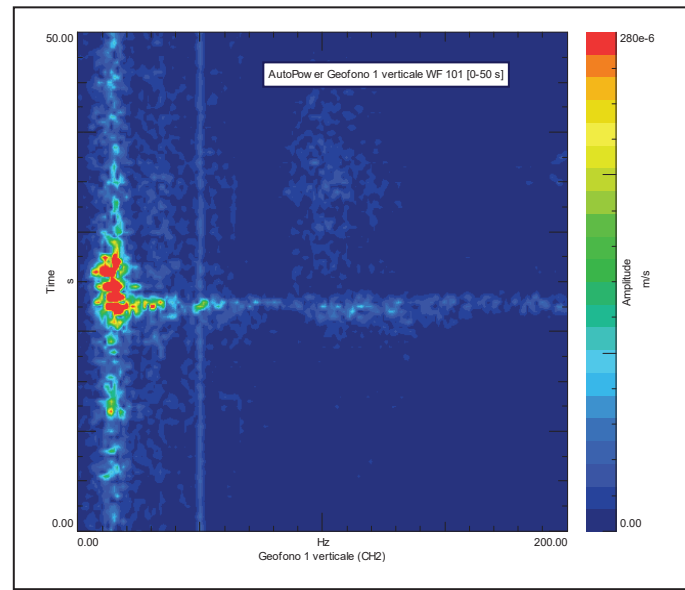
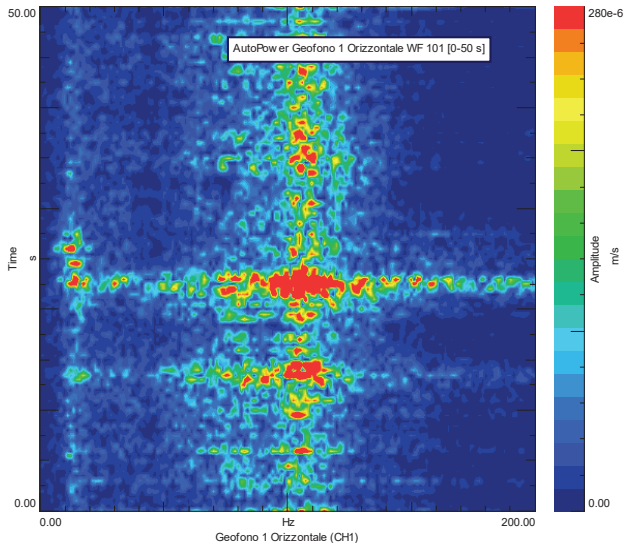
● KLM 11,50



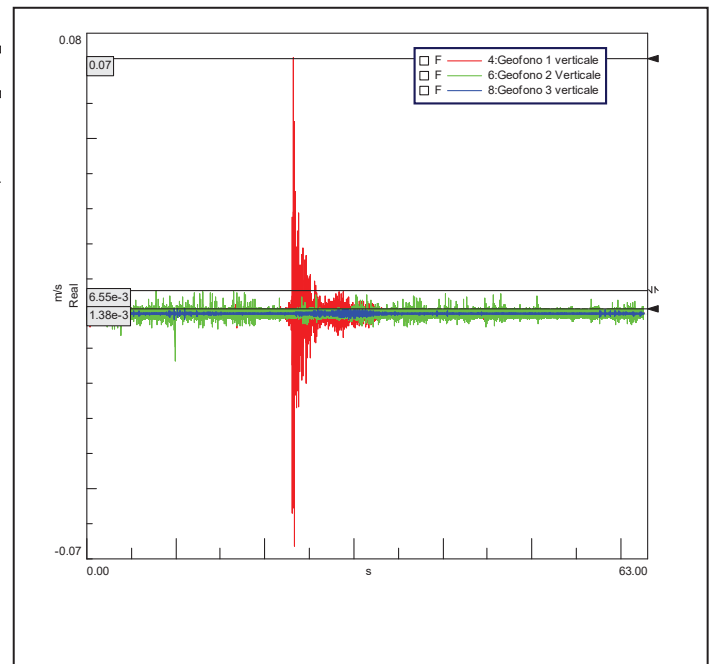
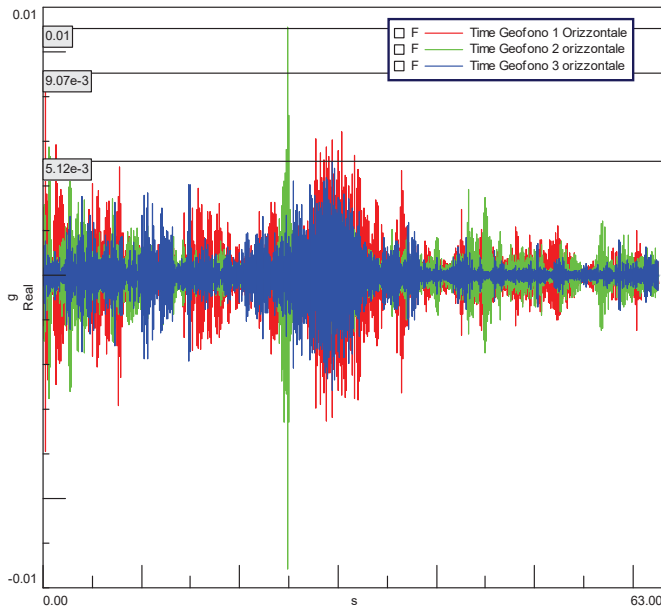
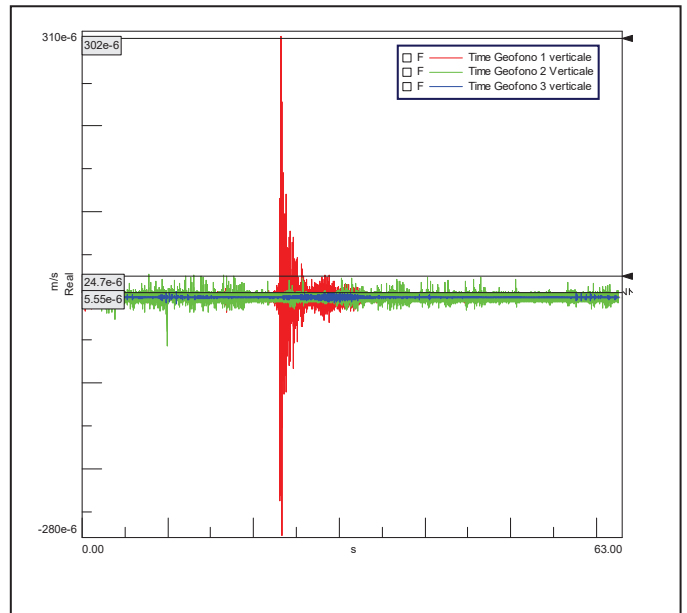
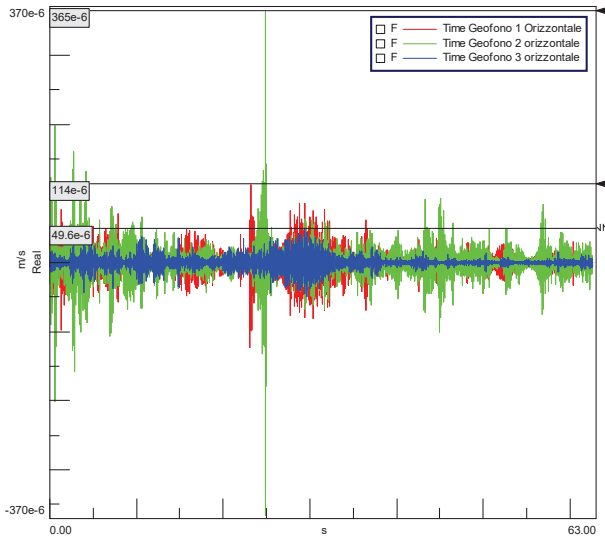


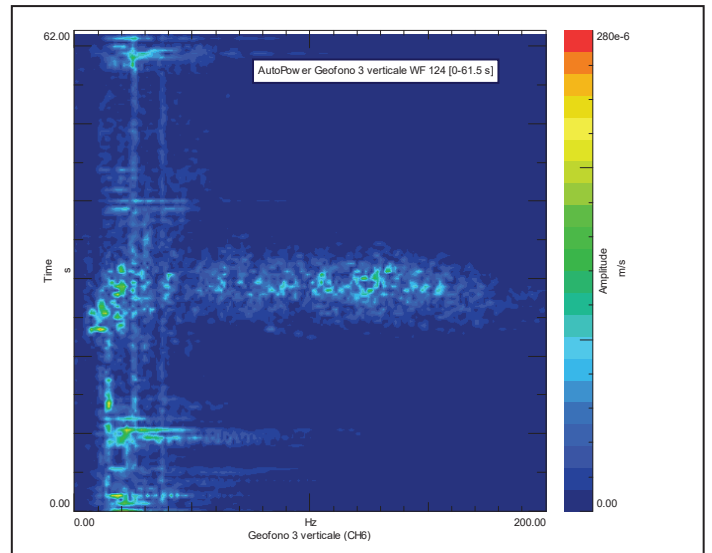
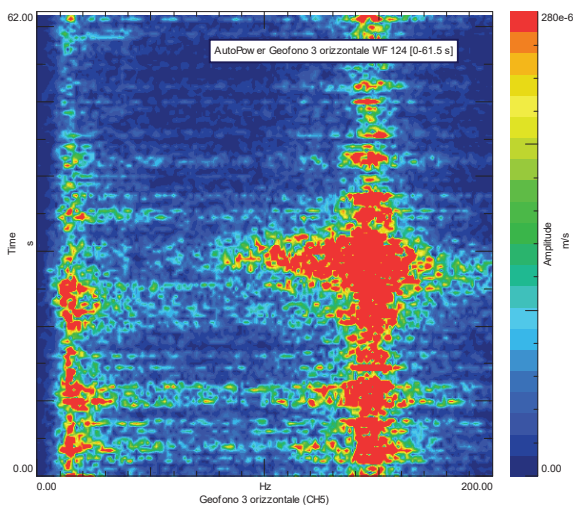
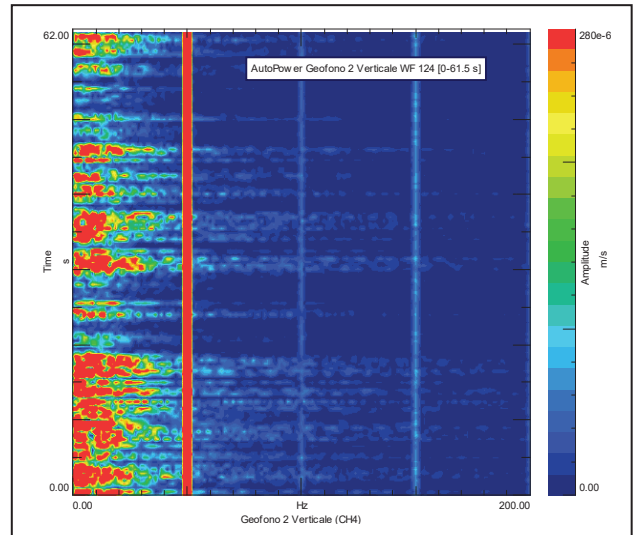
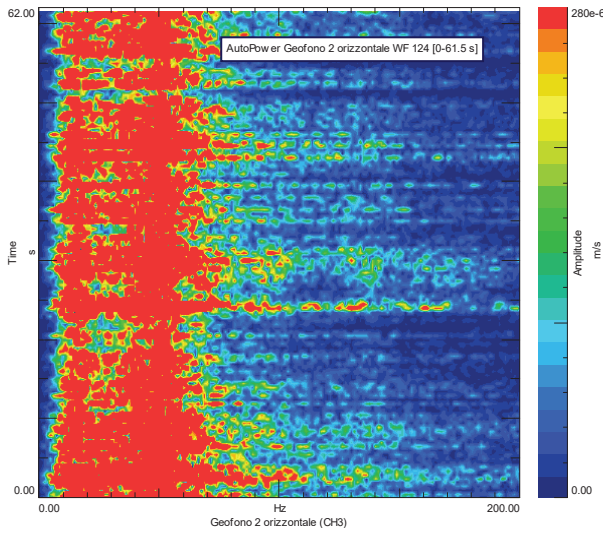
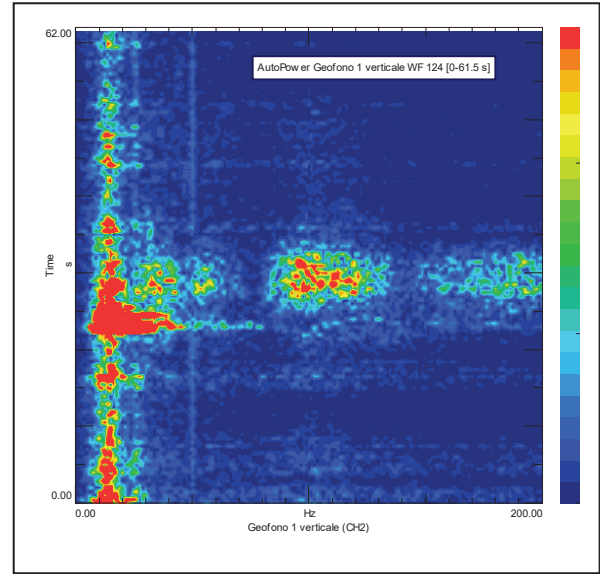
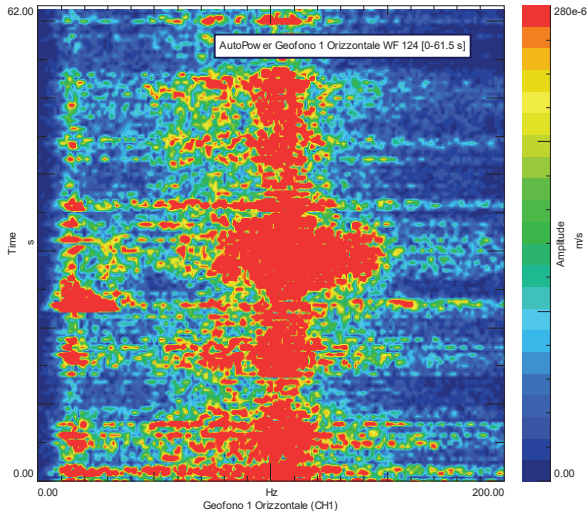
● AIR DOLOMITI 16,10



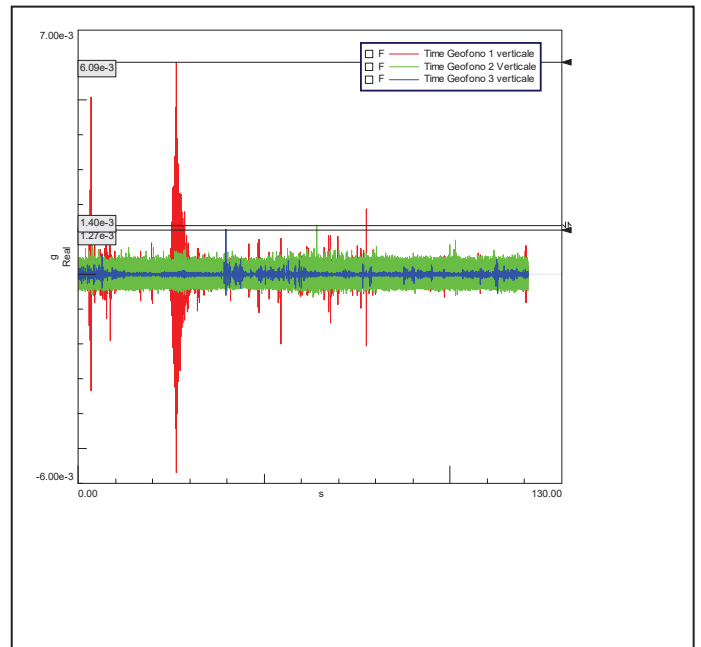
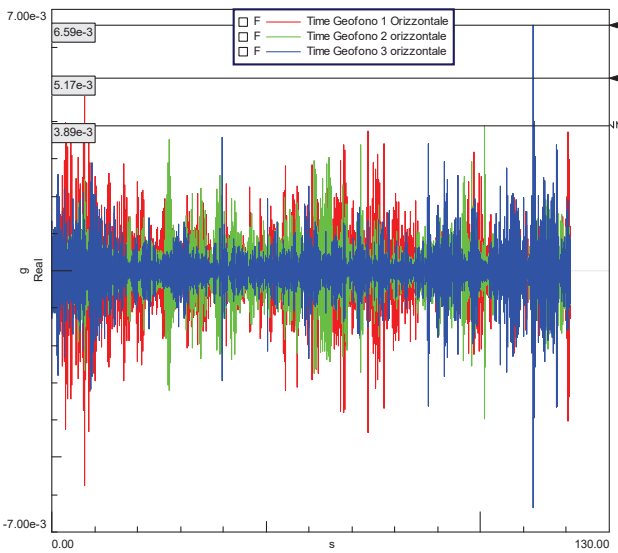
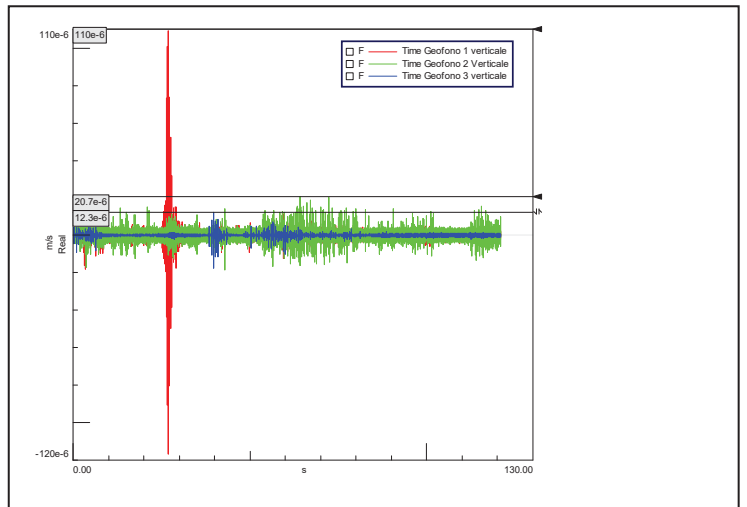
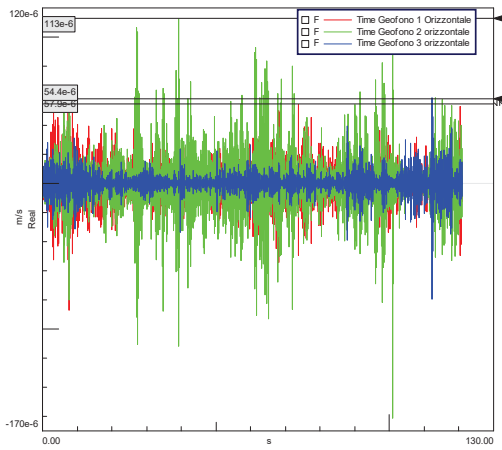


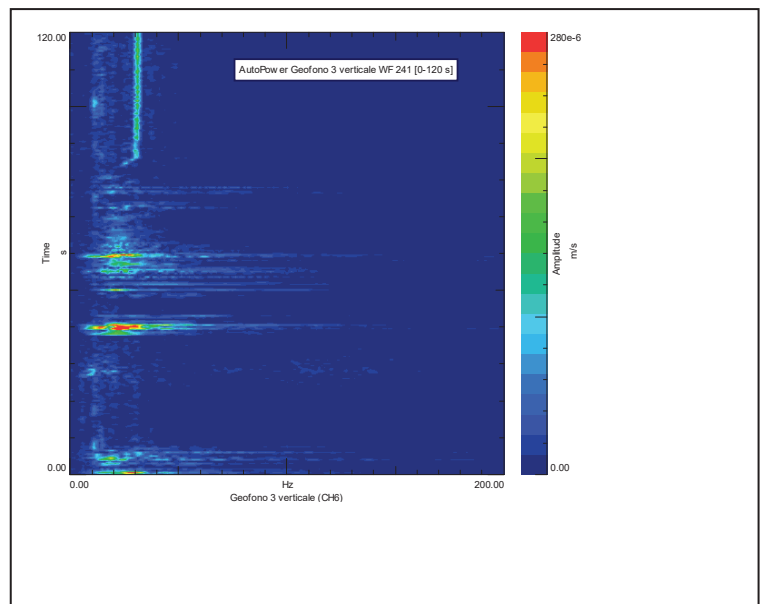
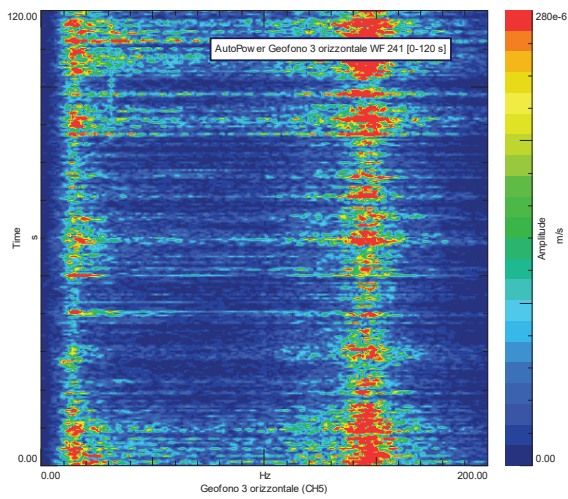
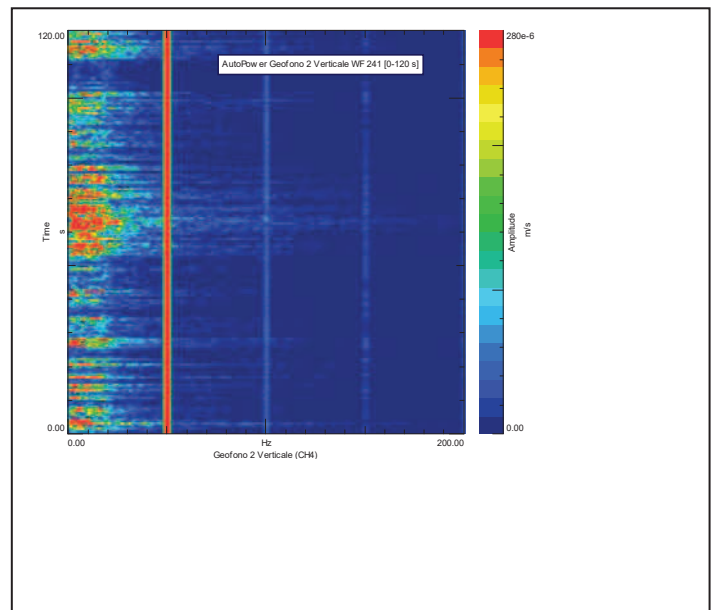
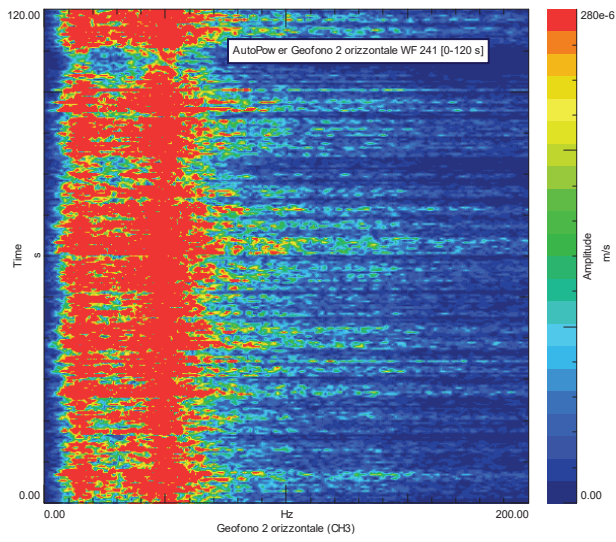
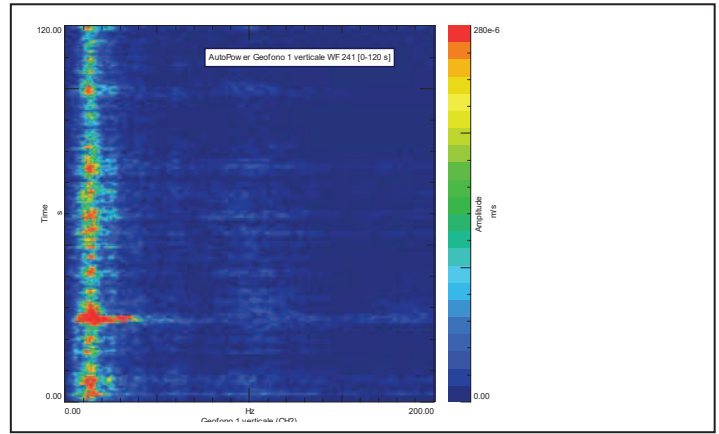
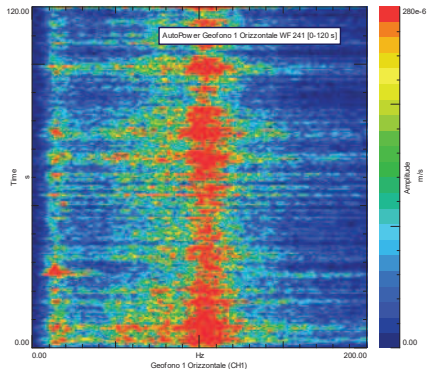
● AIR FRANCE 15,10



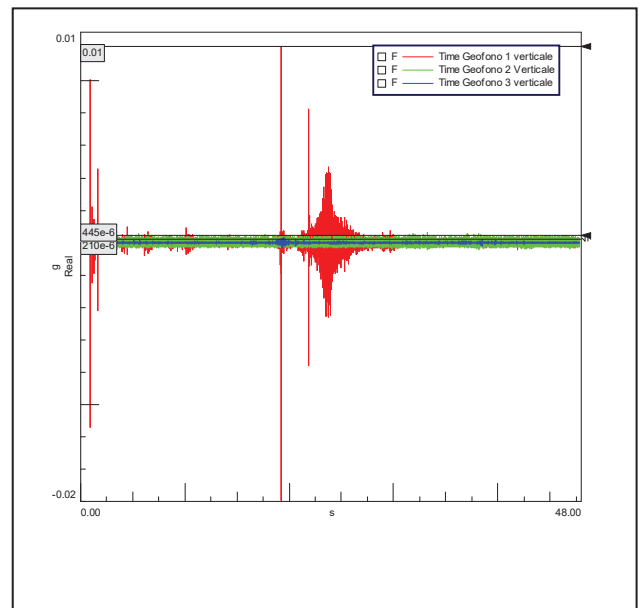
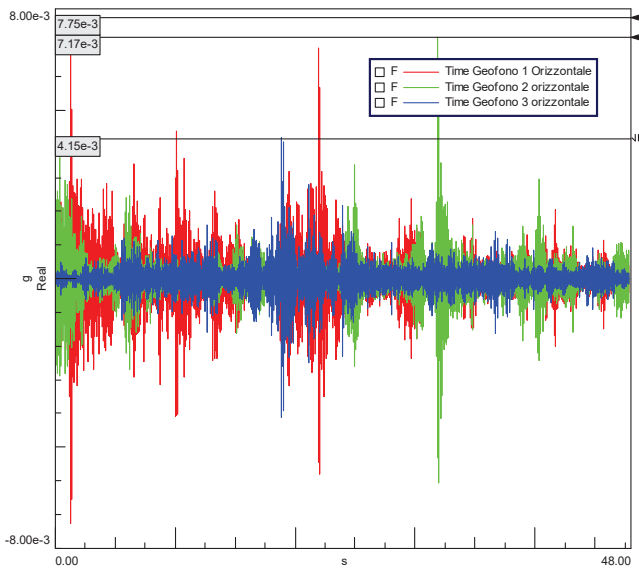
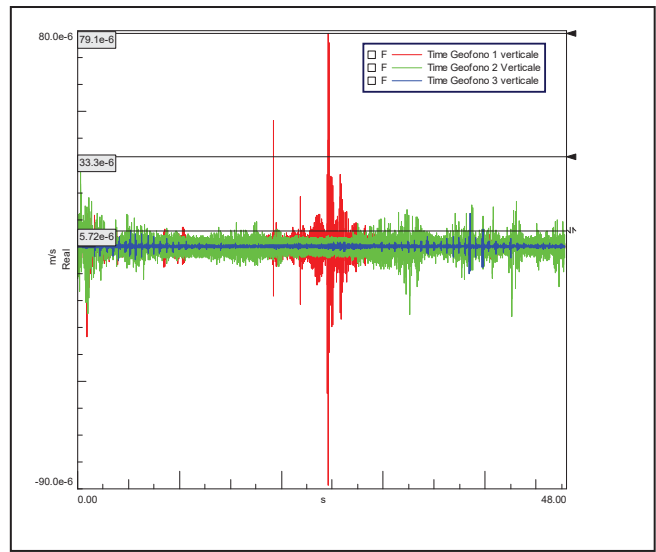
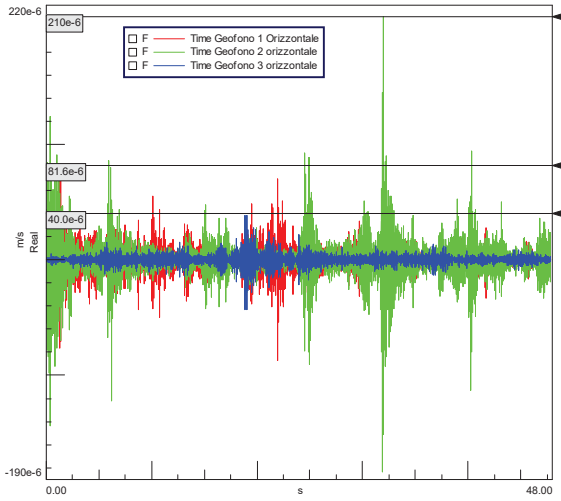


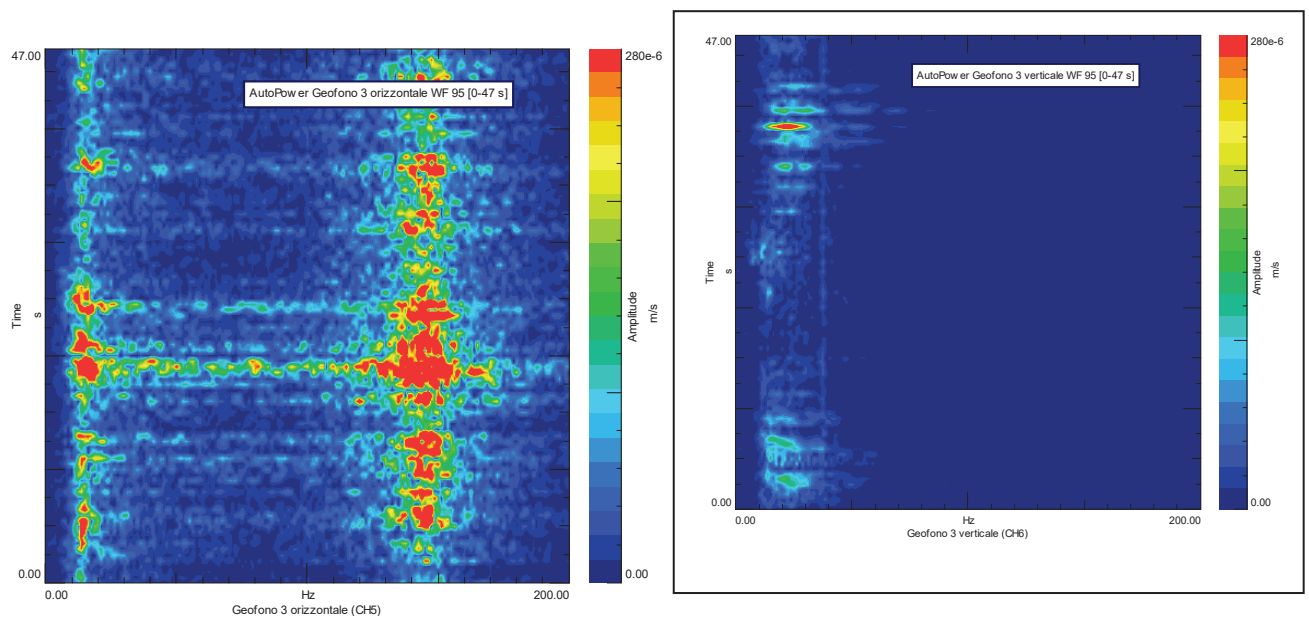
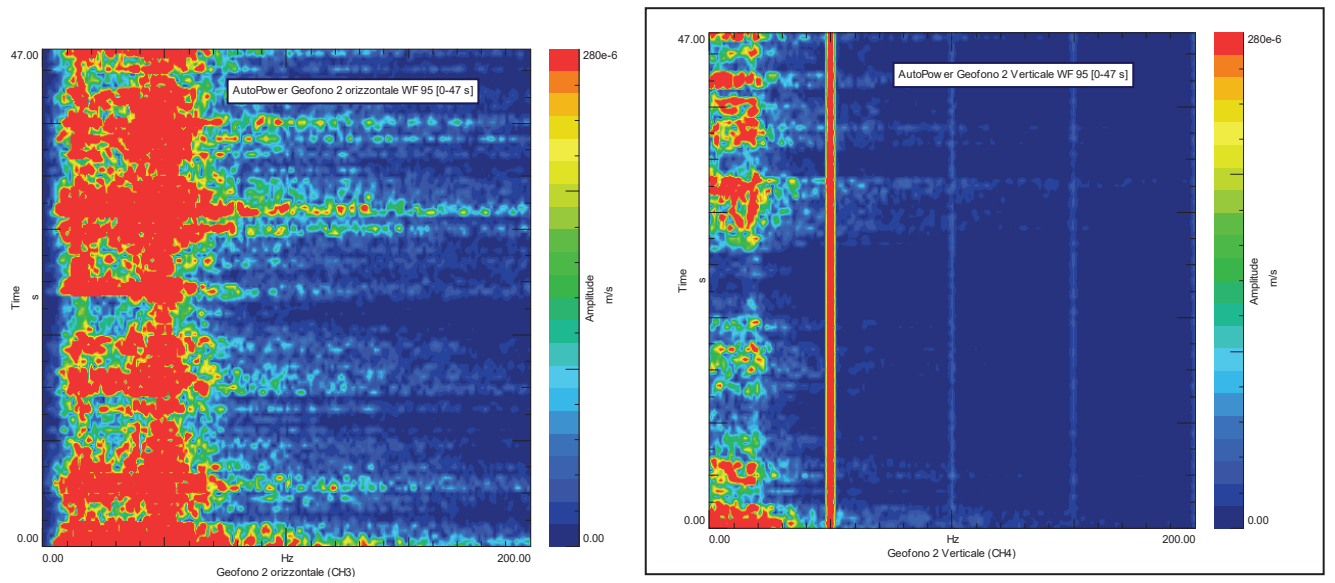
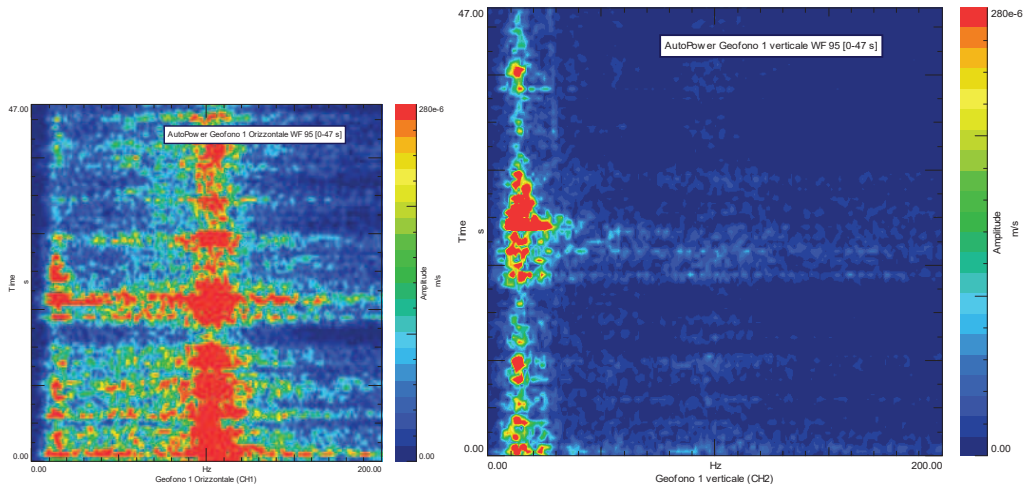
• British 14,20



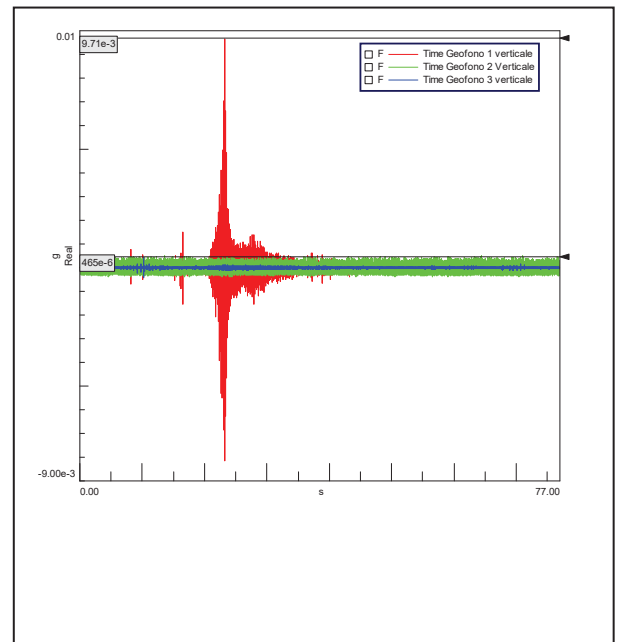
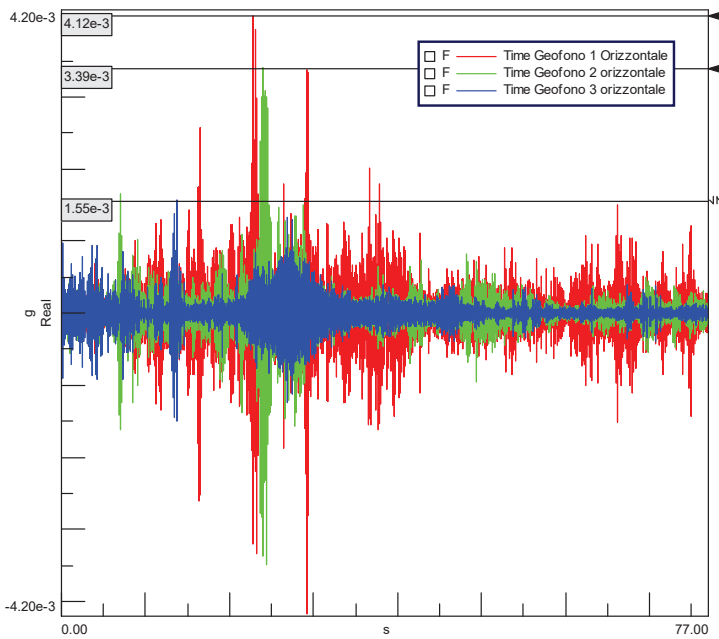
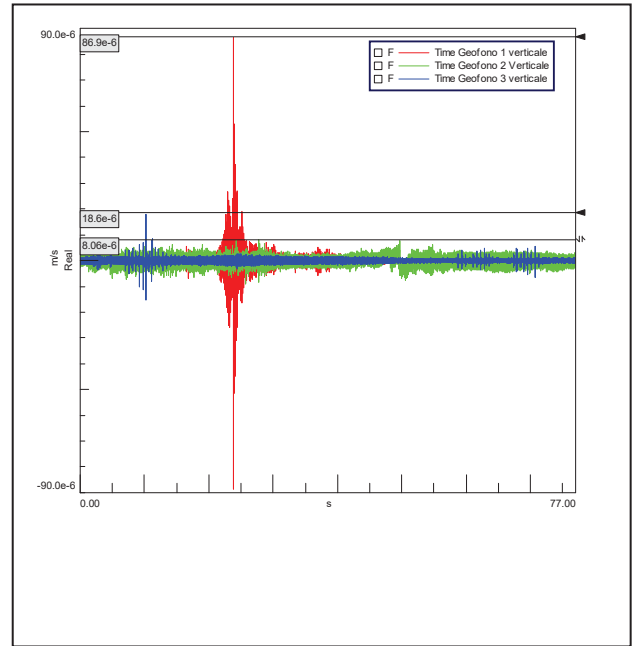
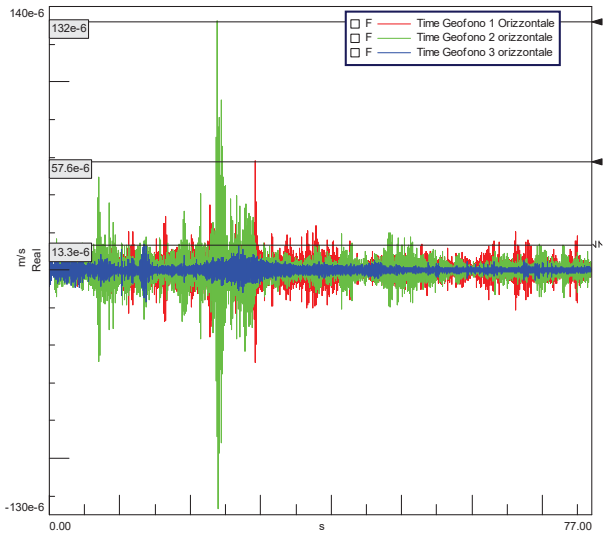


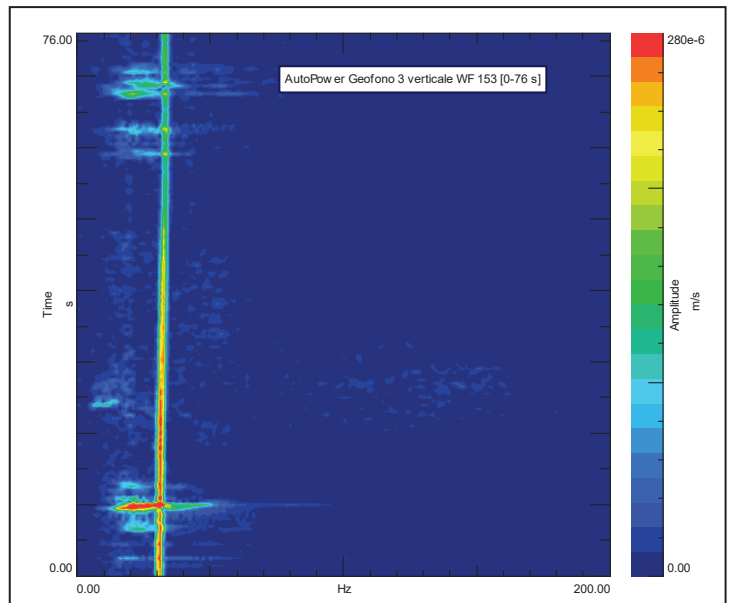
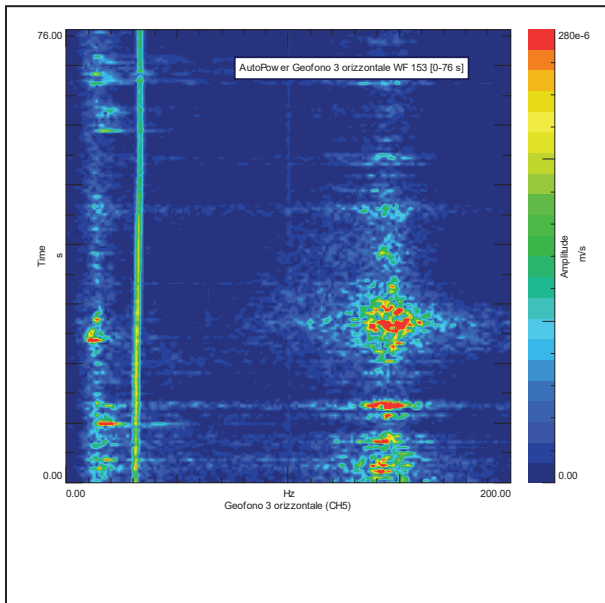
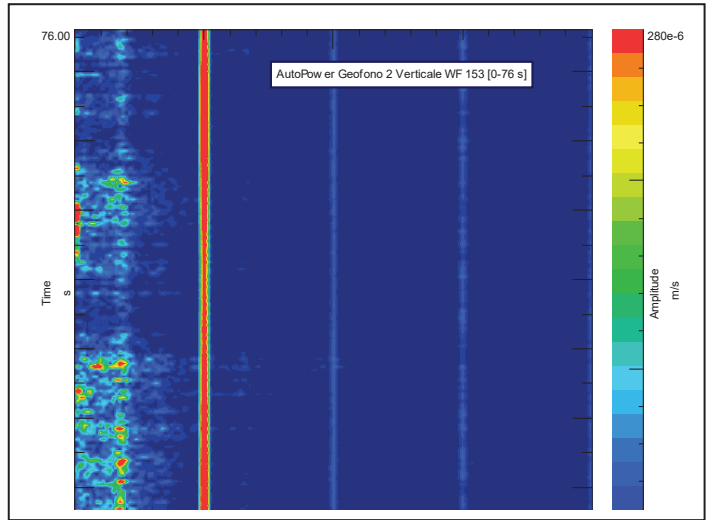
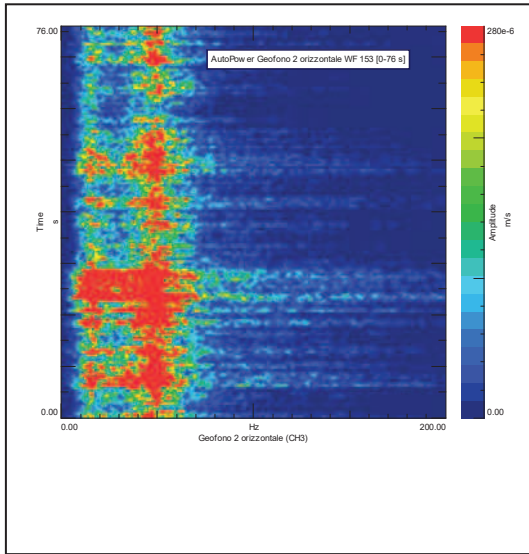
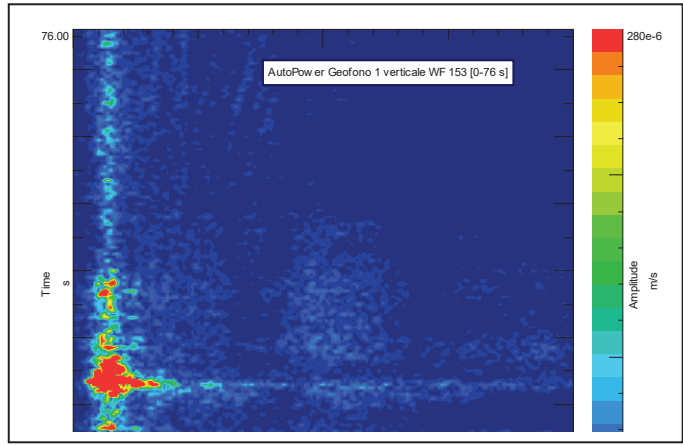
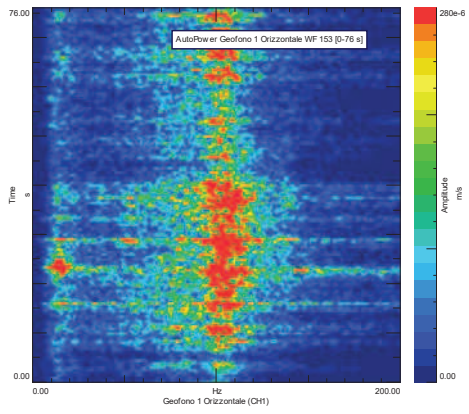
● CITY JET 12.40



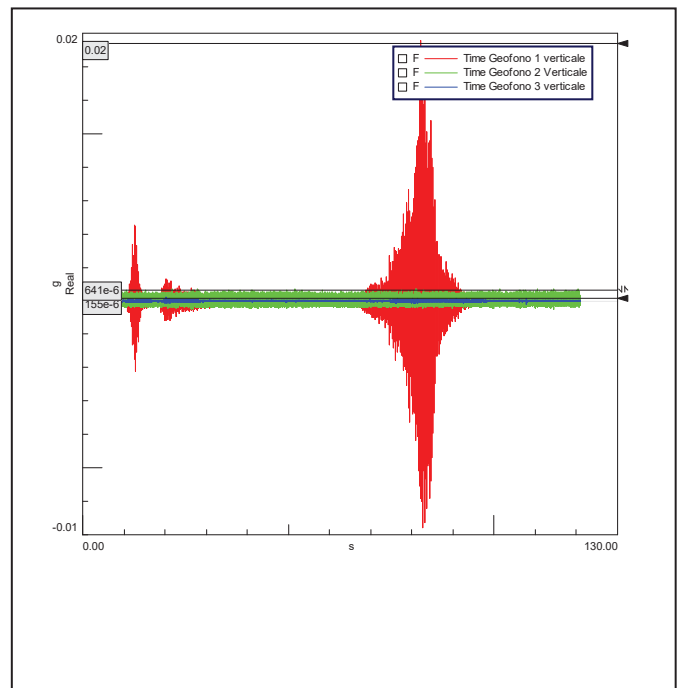
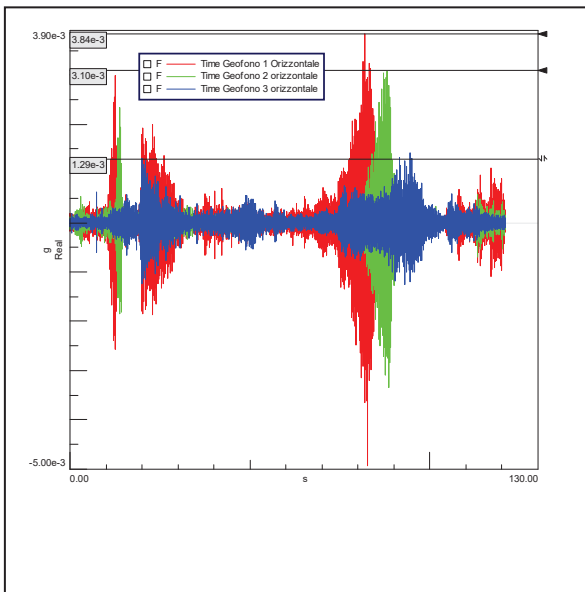
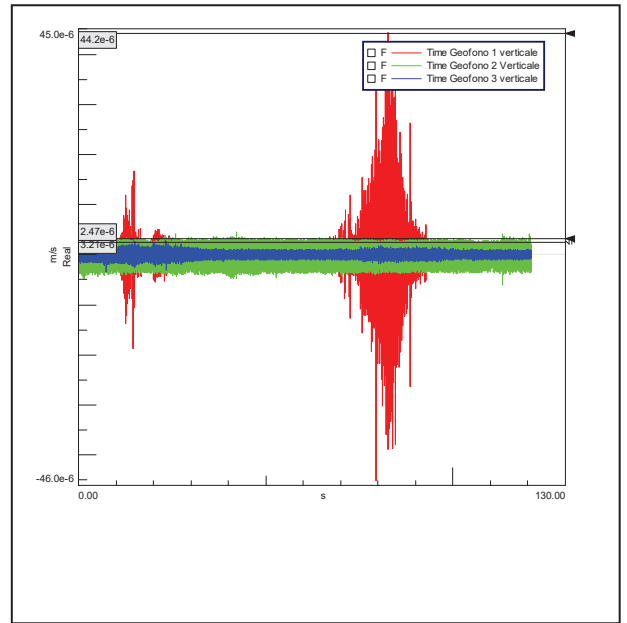
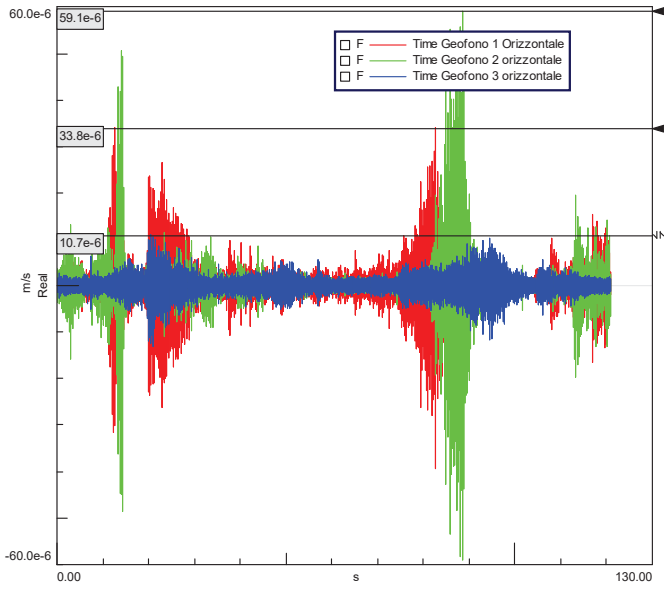


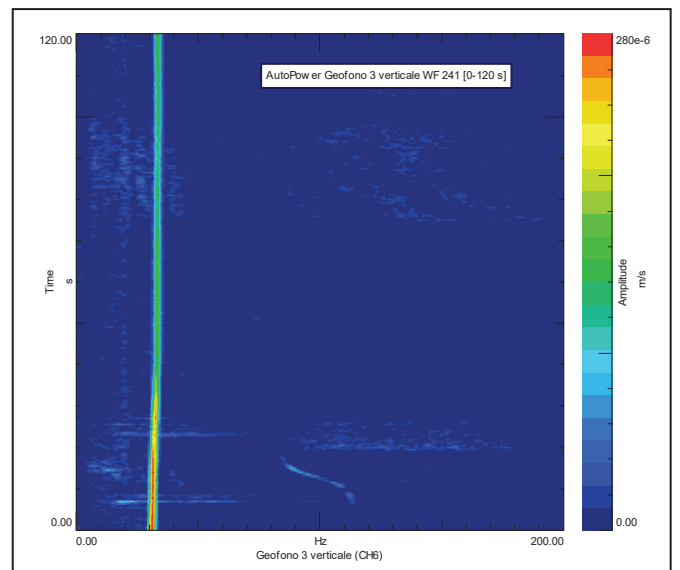
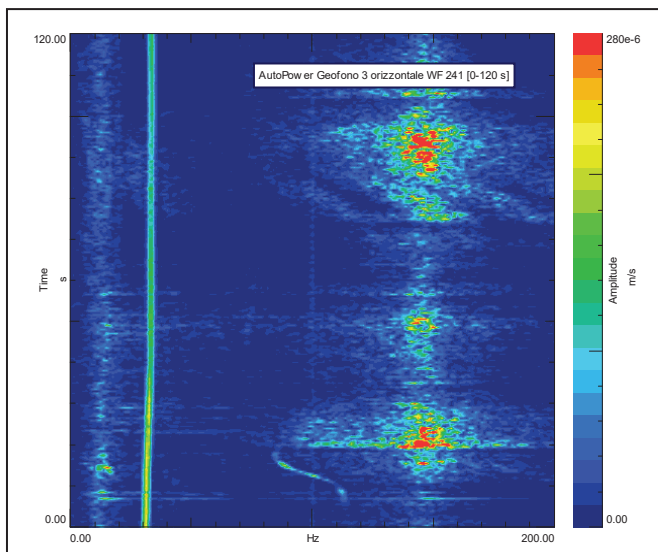
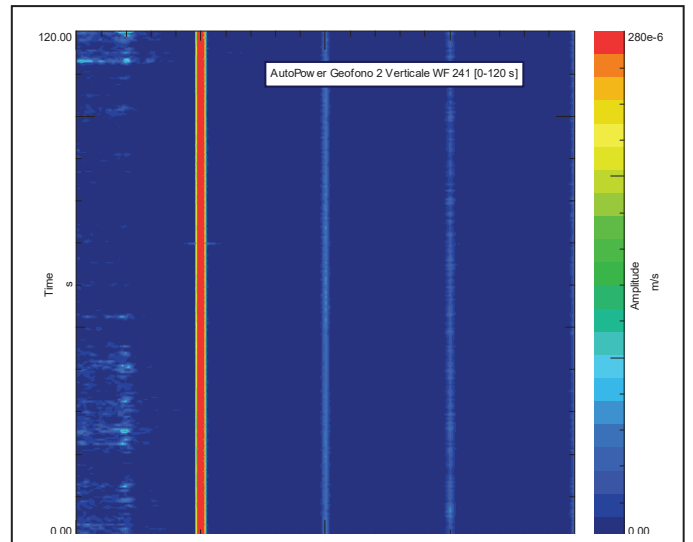
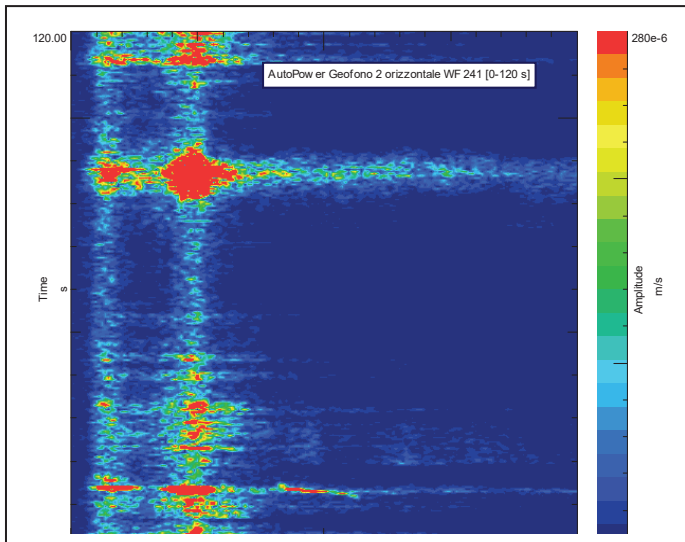
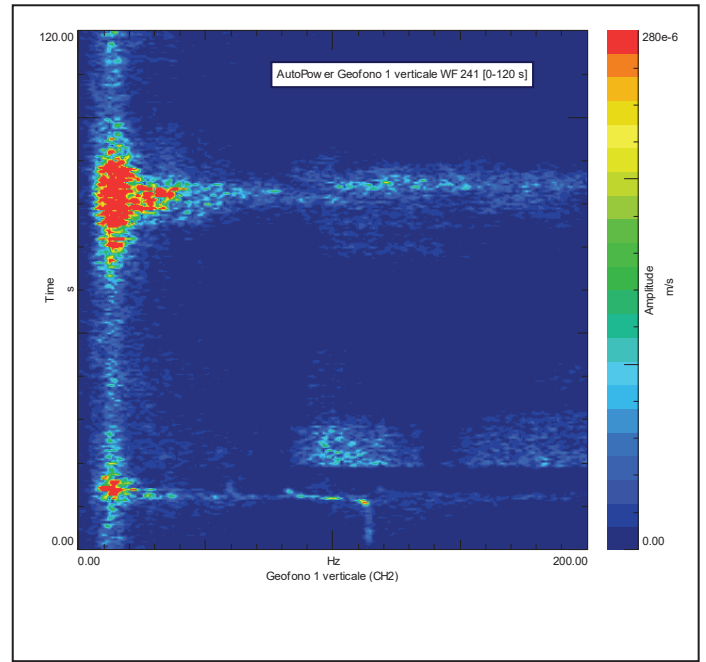
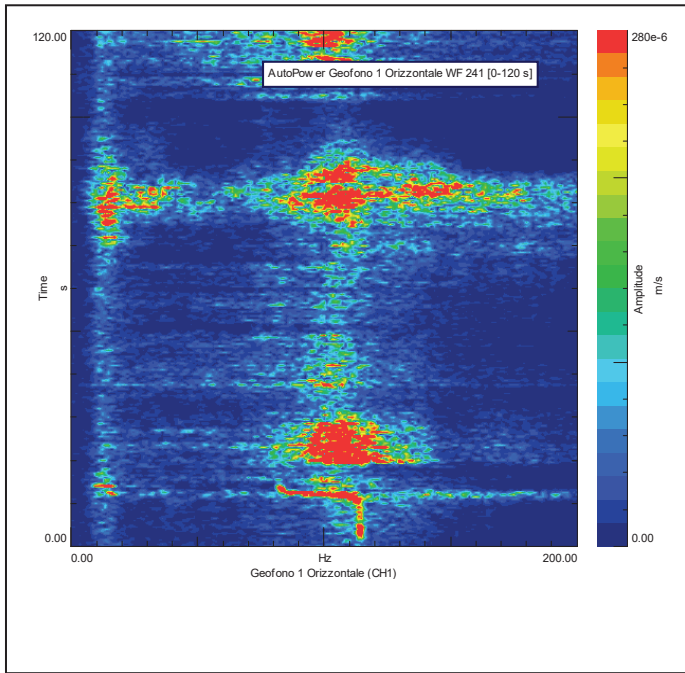
● E95 AIR DOLOMITI 12,38



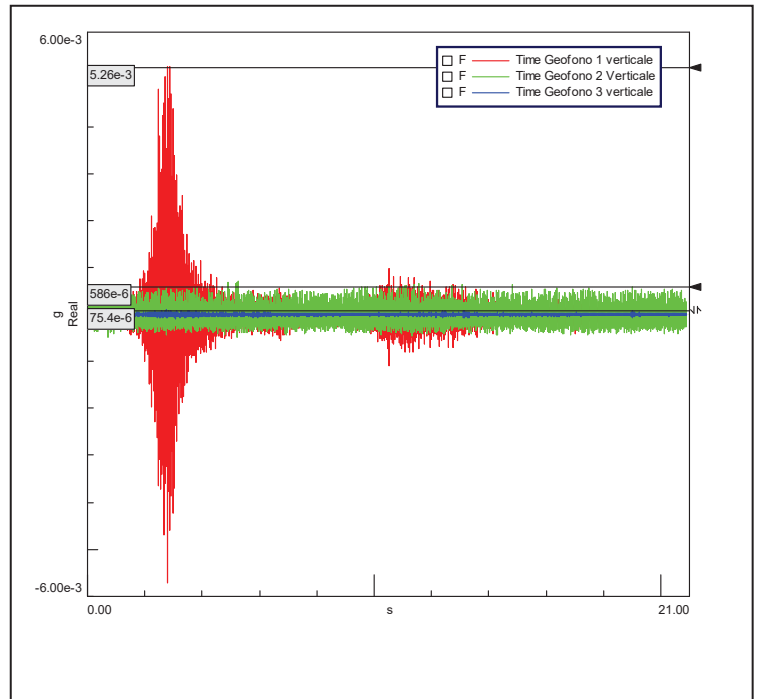
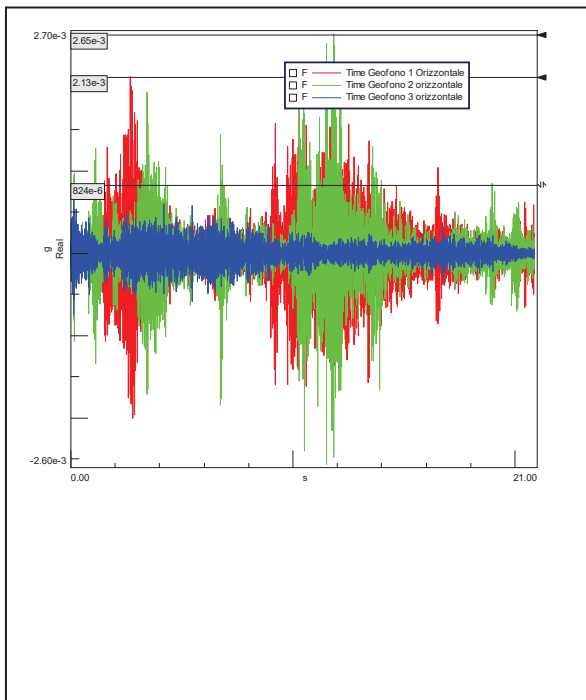
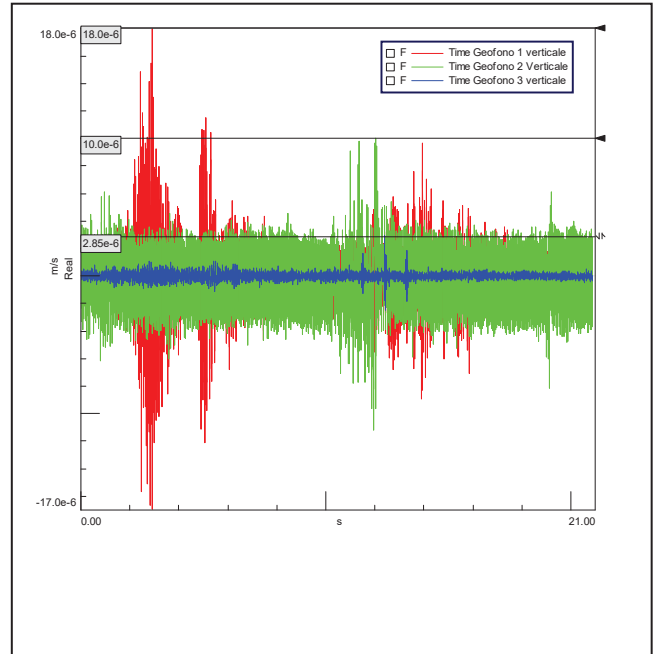
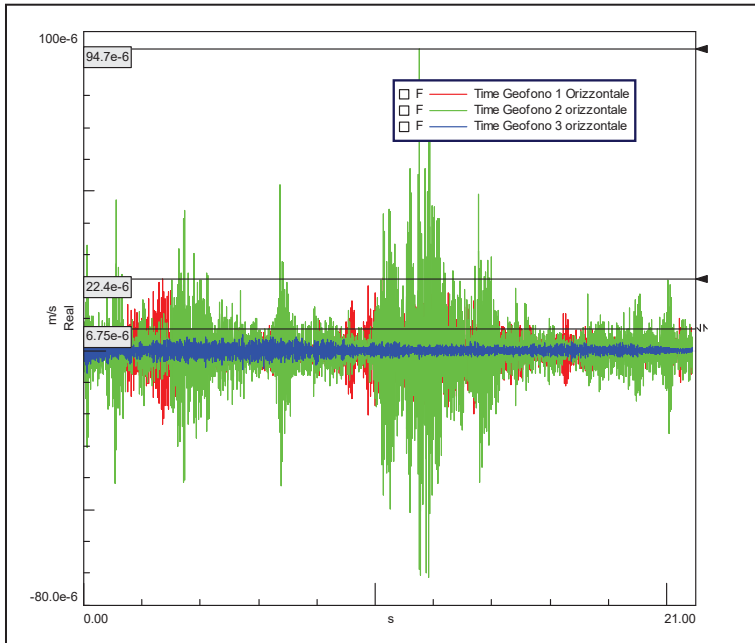


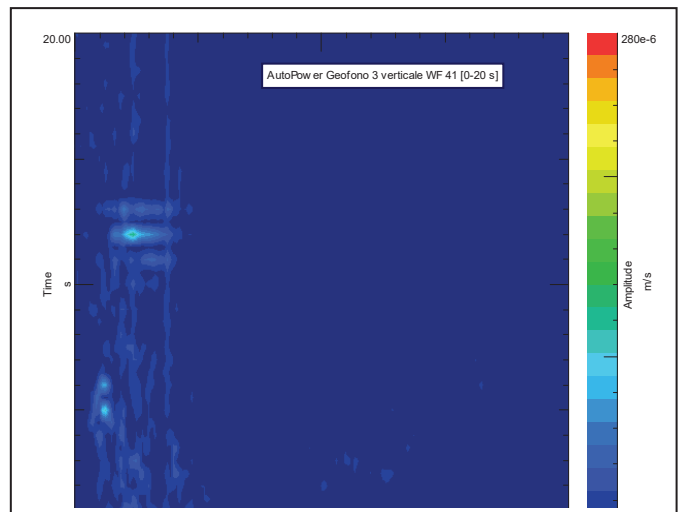
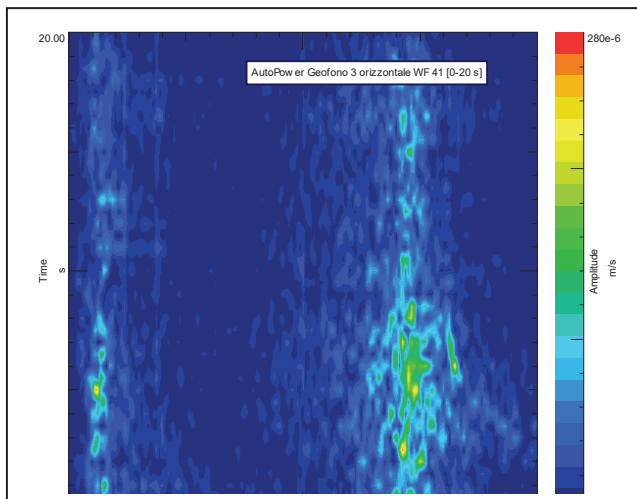
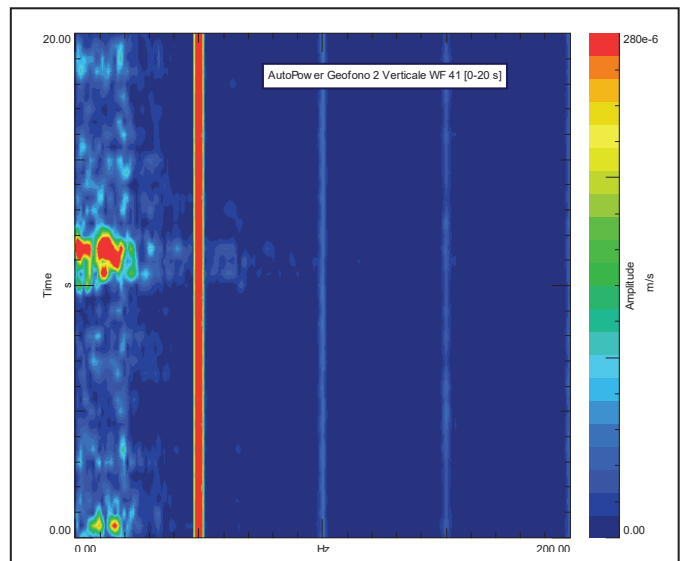
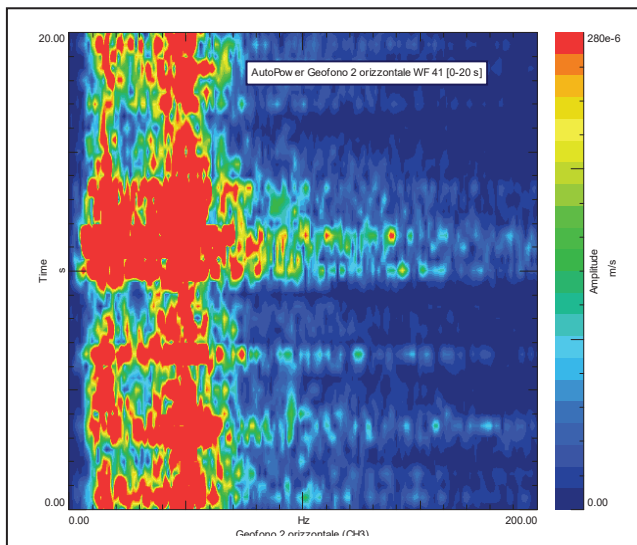
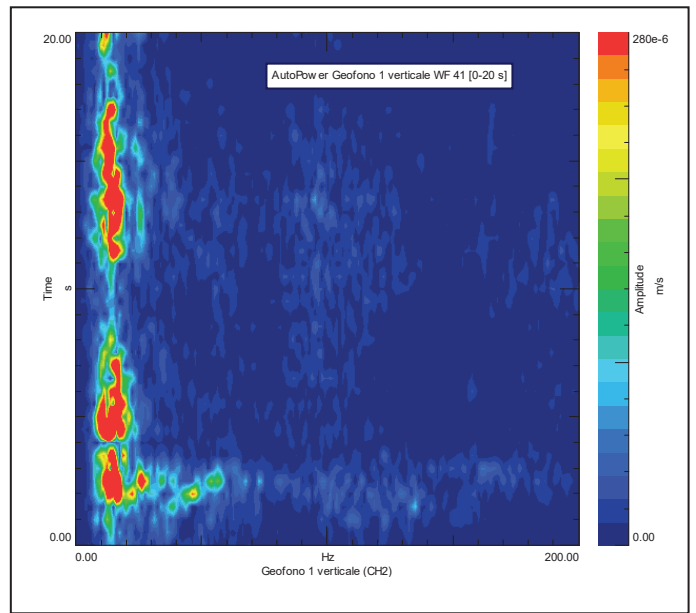
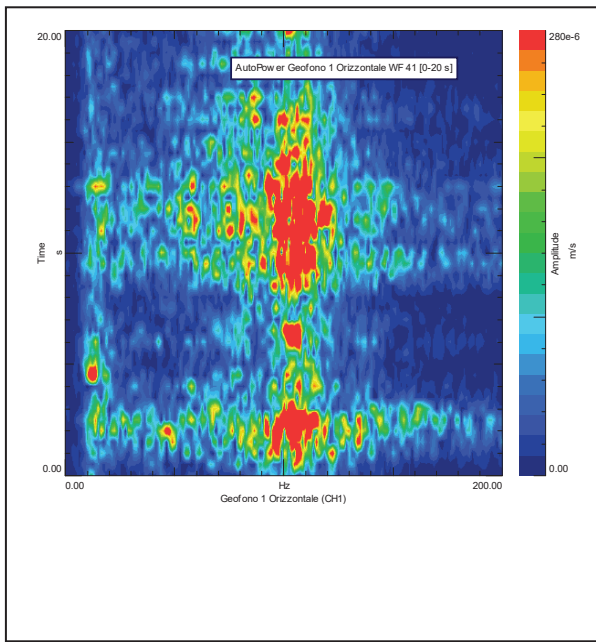
• Ethiad 13,00



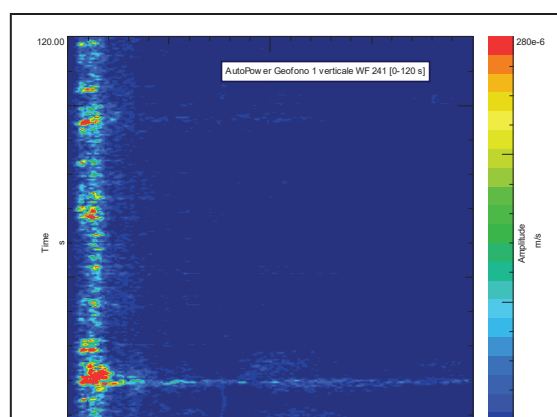
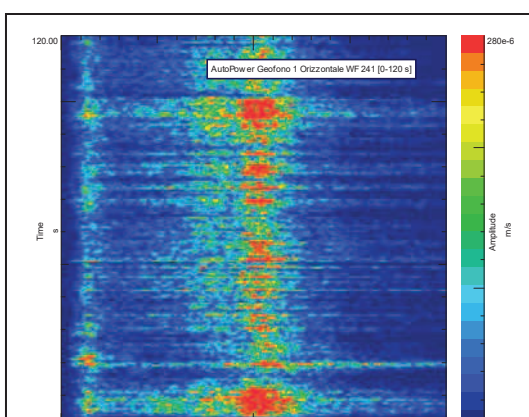
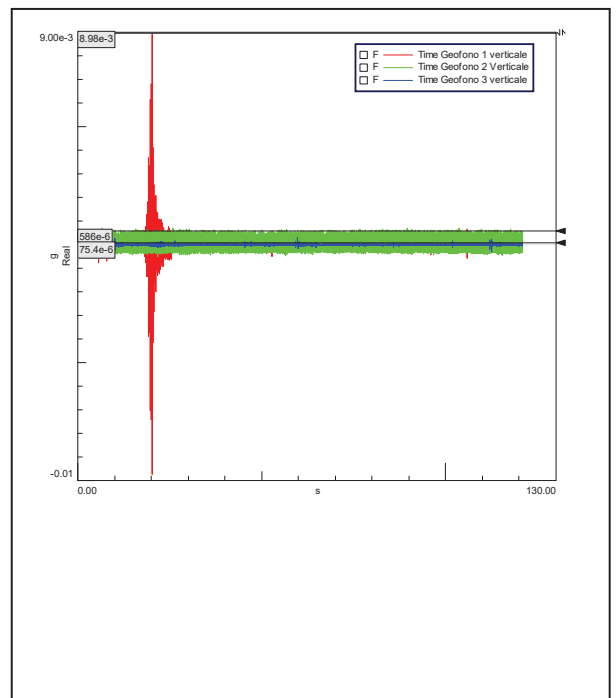
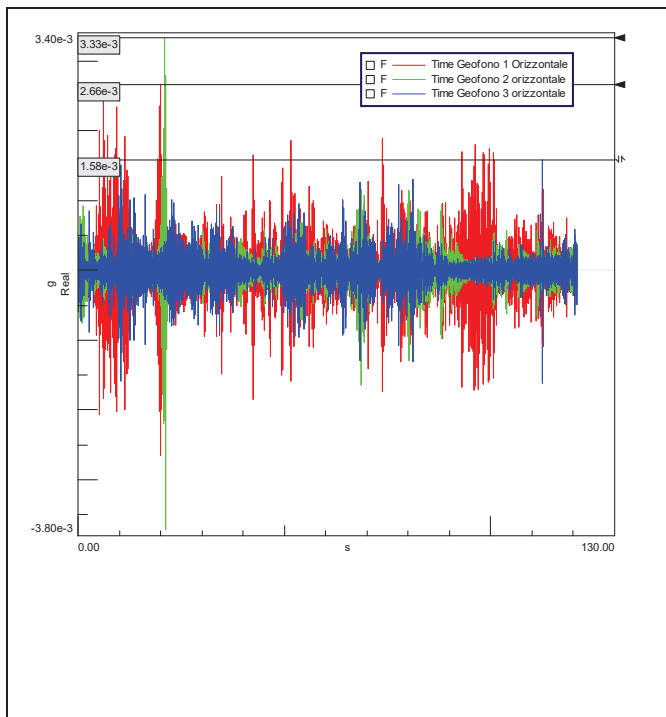
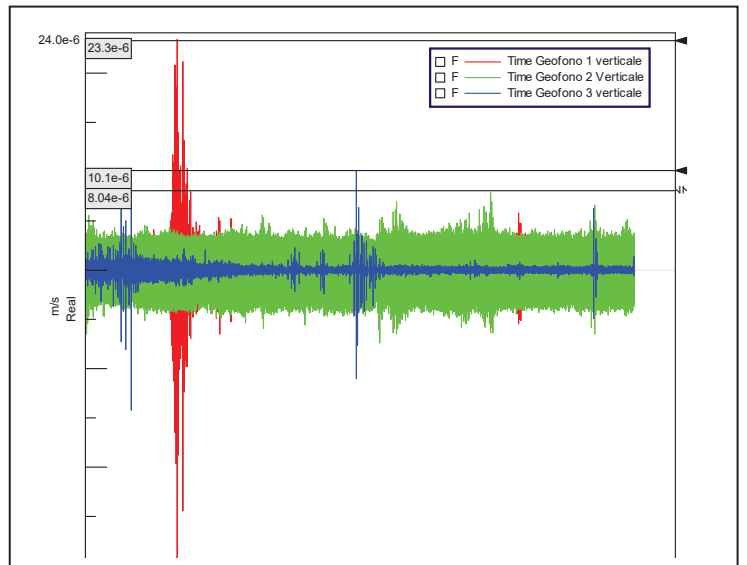
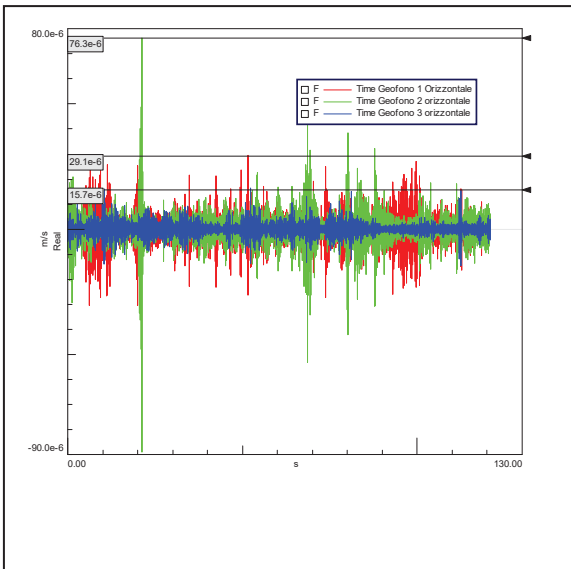


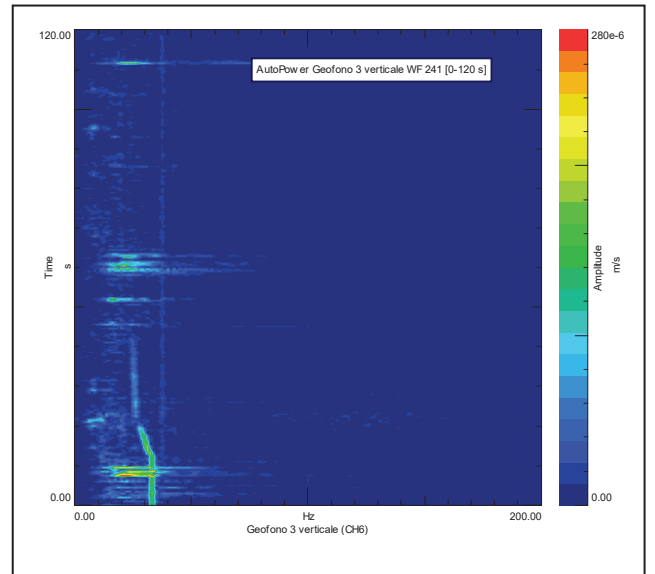
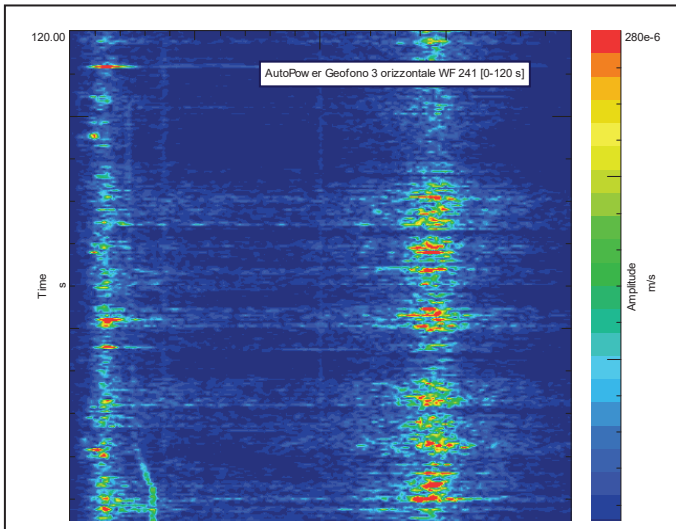
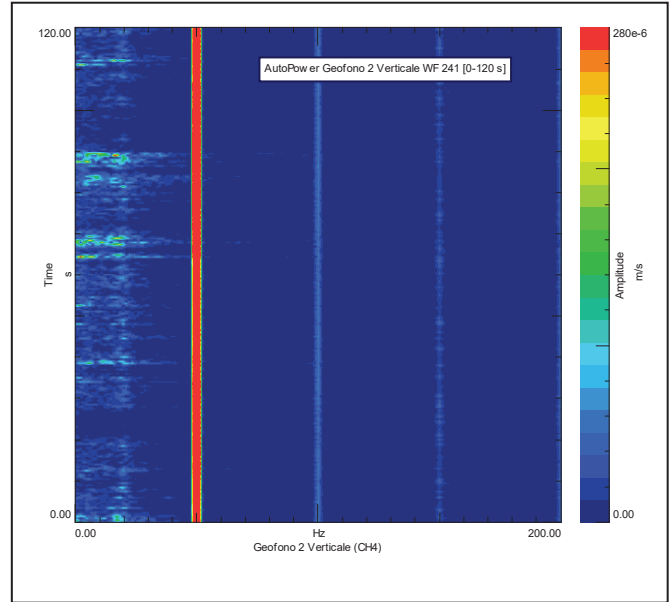
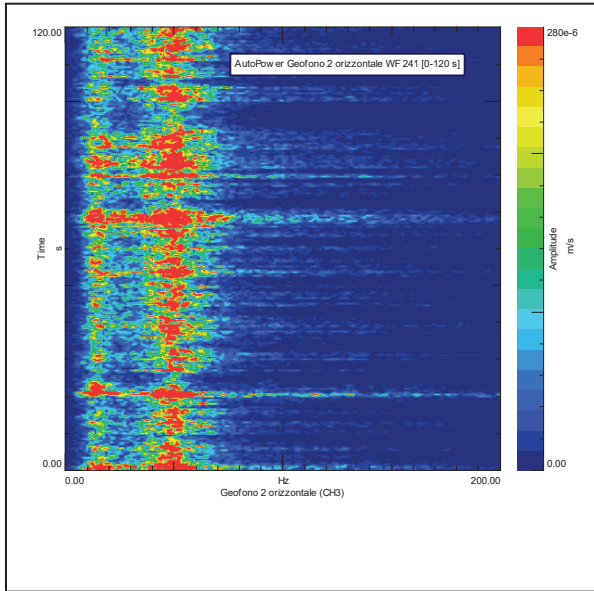
• EtHIAD 13,15



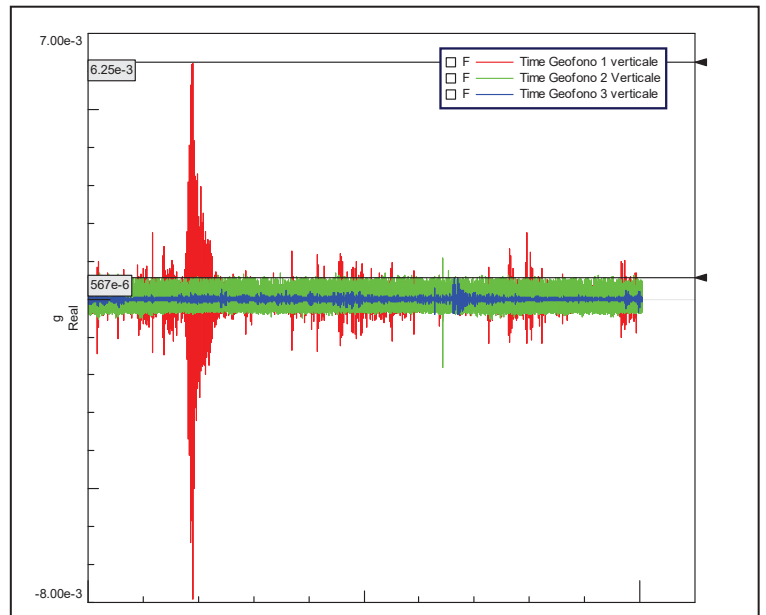
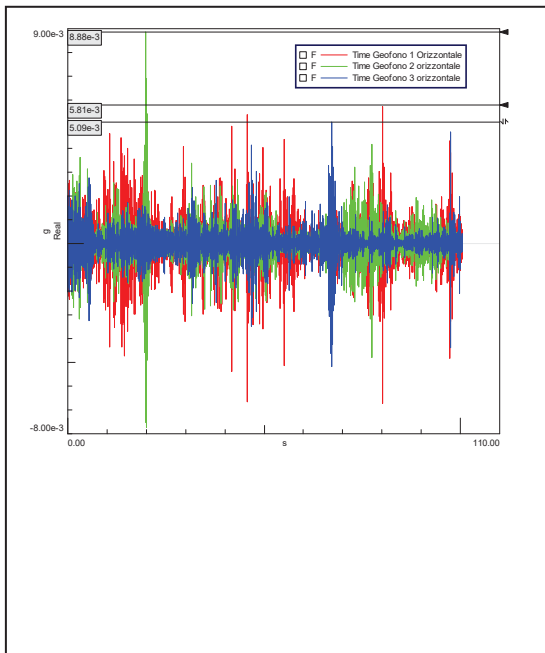
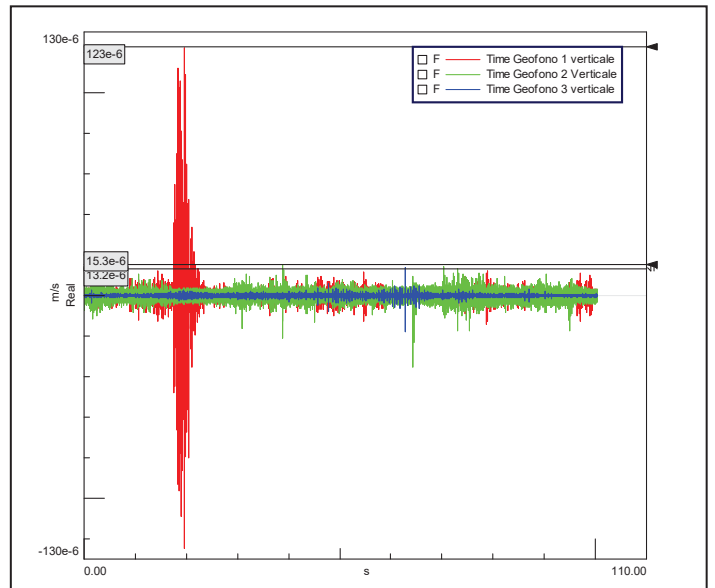
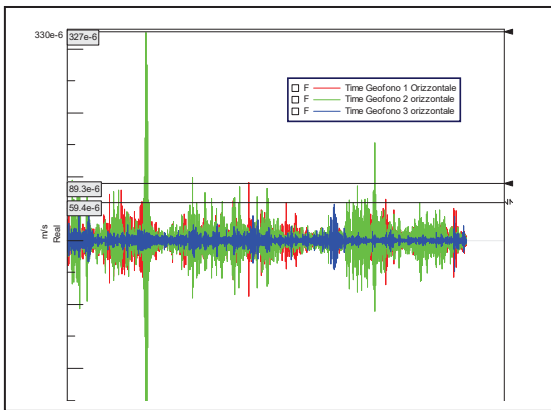


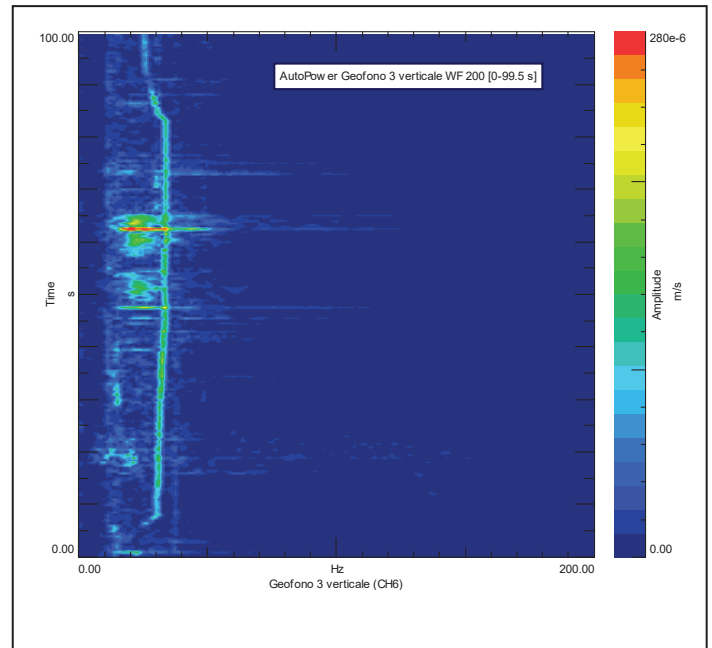
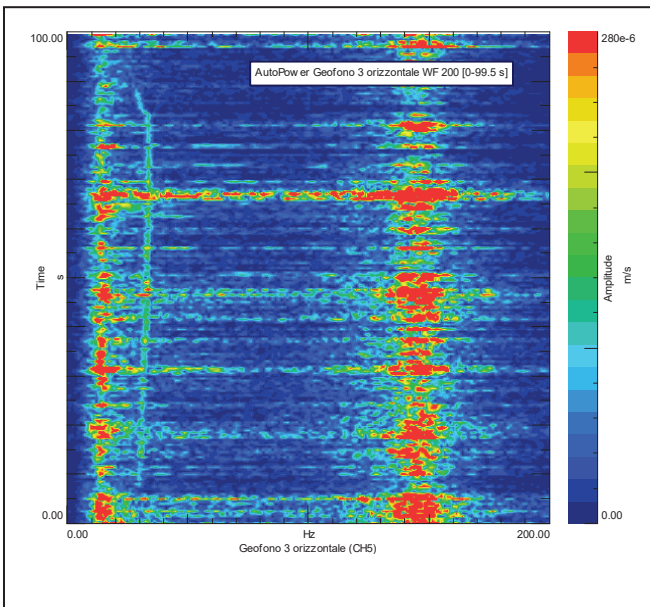
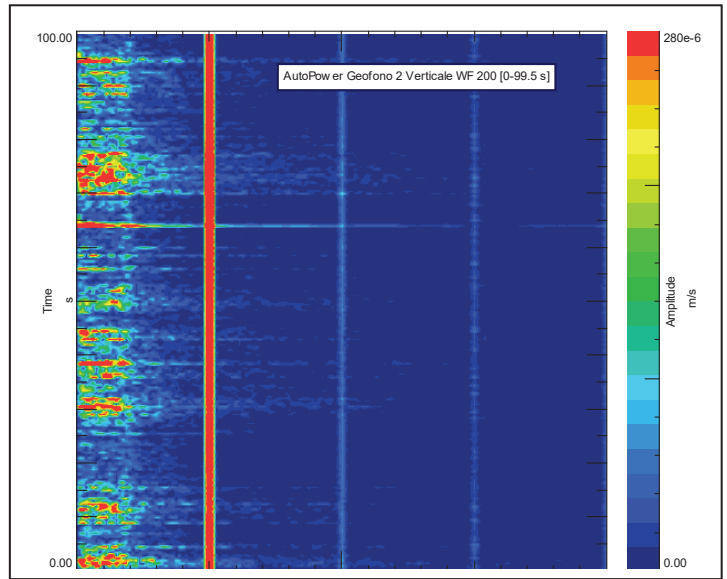
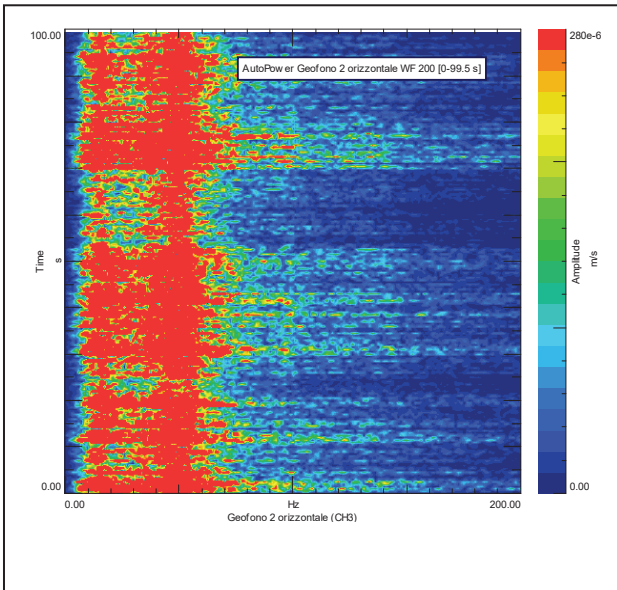
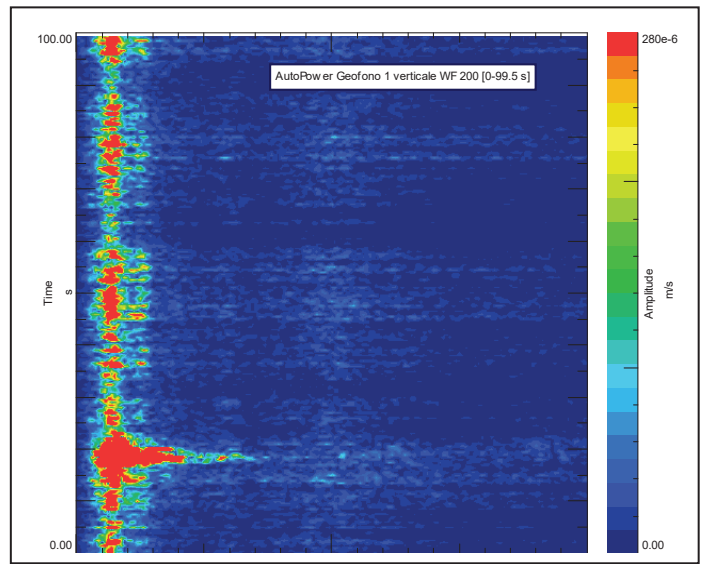
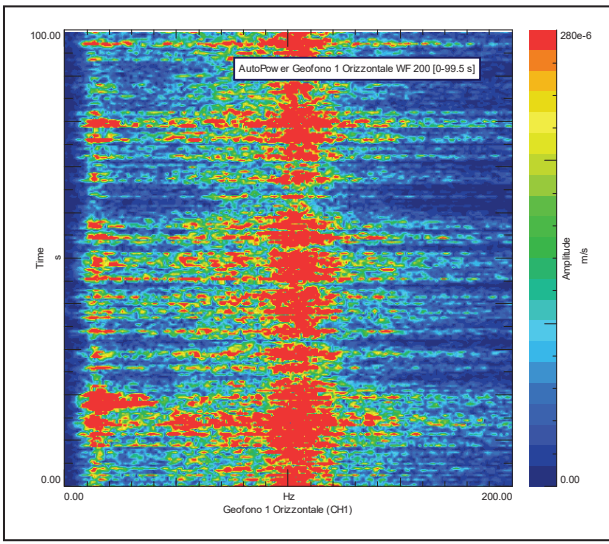
- Luftansa 13,50



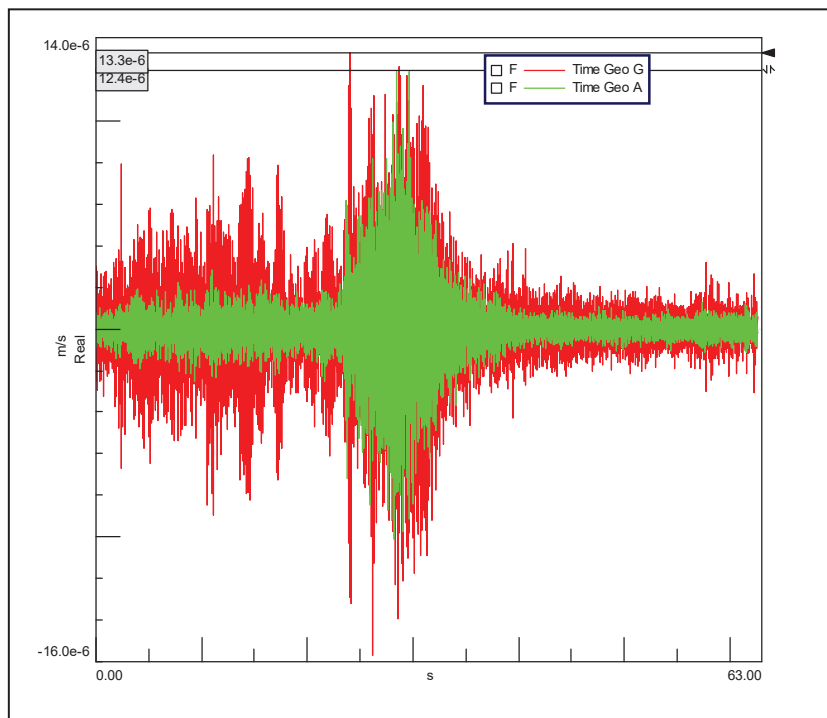


• Swiss 14,05

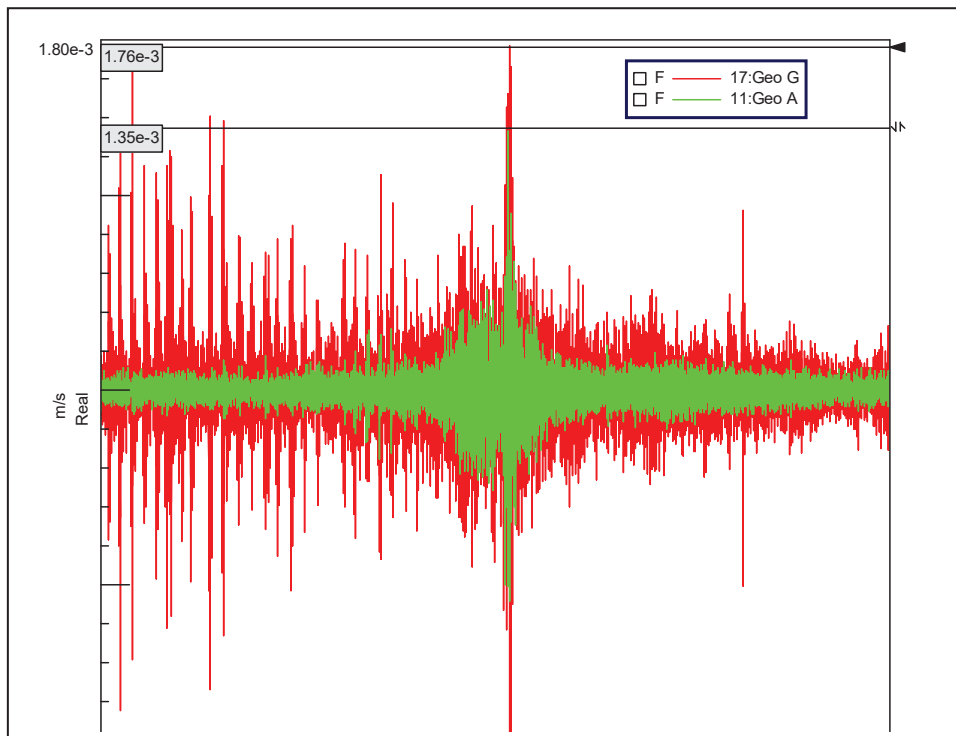




ARI FRANCE 15,10 (GEOFONI G-A)



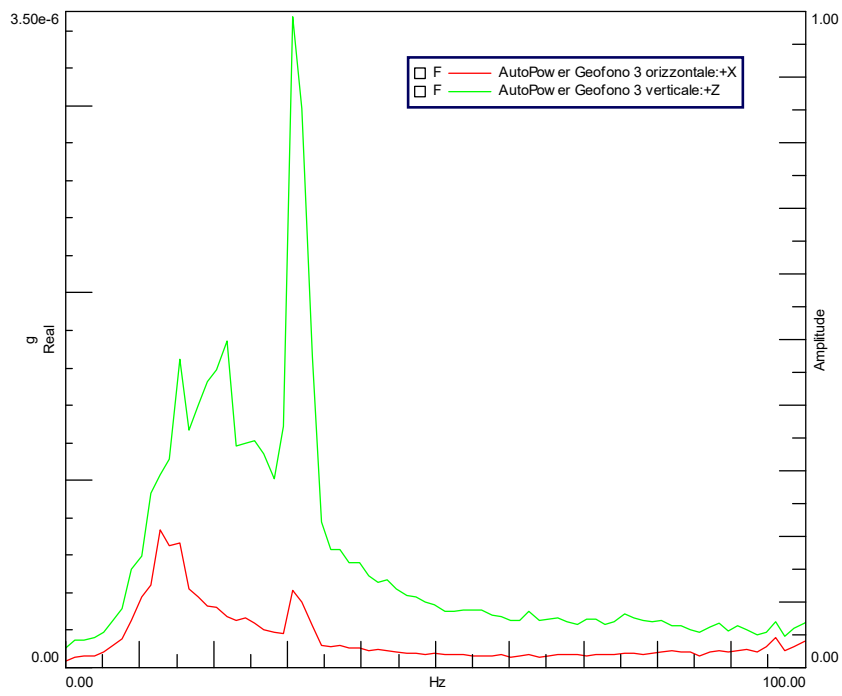
AIR DOLOMITI 16,10 (GEOFONI A-G)



ALLEGATO 2

Valutazioni dei livelli di vibrazione secondo UNI 9614

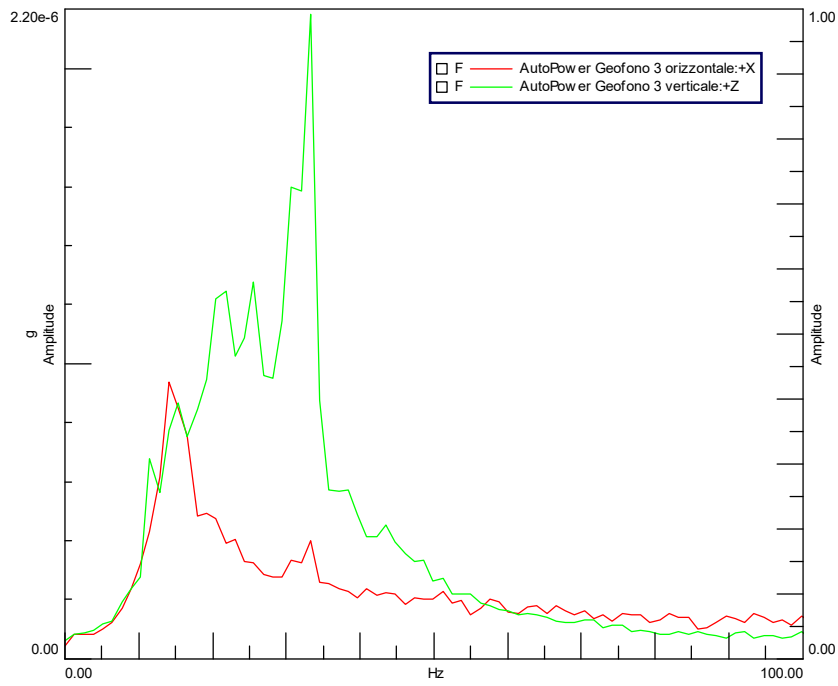
Atterraggio A318 AIR FRANCE ore 12,00



Spettro delle accelerazioni filtrate secondo UNI 9614

| | | |
|---|------|----|
| Livello delle Accelerazioni Orizzontali | 45 | dB |
| Livello delle Accelerazioni Verticali | 53,1 | dB |

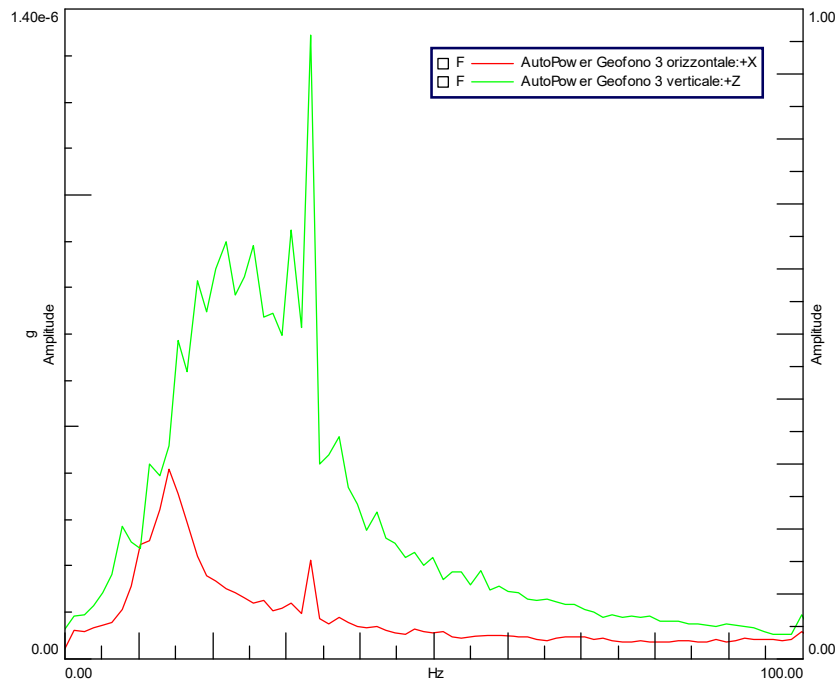
Atterraggio SWISS ore 14,05



Spettro delle accelerazioni filtrate secondo UNI 9614

| | | |
|---|------|----|
| Livello delle Accelerazioni Orizzontali | 45,2 | dB |
| Livello delle Accelerazioni Verticali | 49,9 | dB |

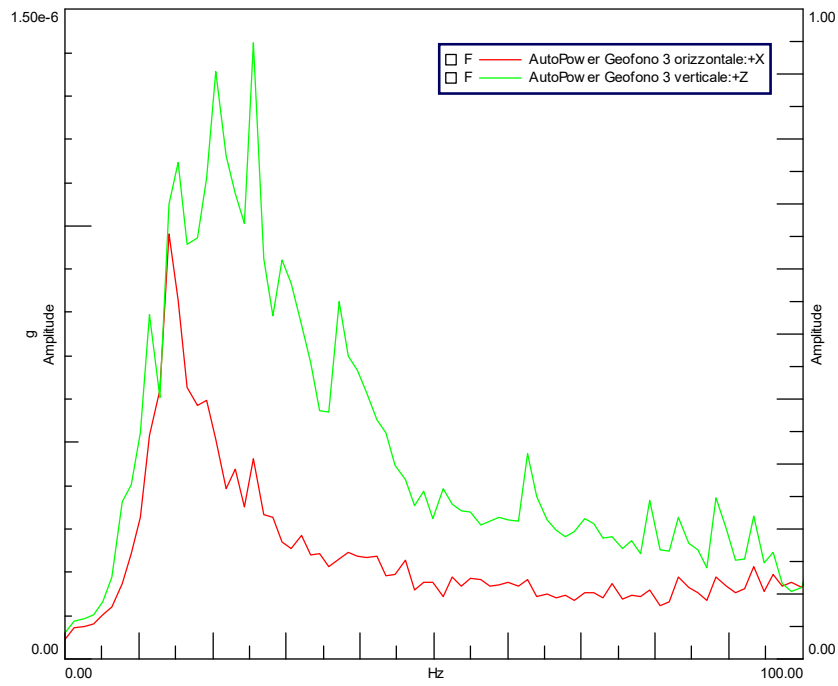
Atterraggio Luthansa ore 13,50



Spettro delle accelerazioni filtrate secondo UNI 9614

| | | |
|---|----|----|
| Livello delle Accelerazioni Orizzontali | 37 | dB |
| Livello delle Accelerazioni Verticali | 47 | dB |

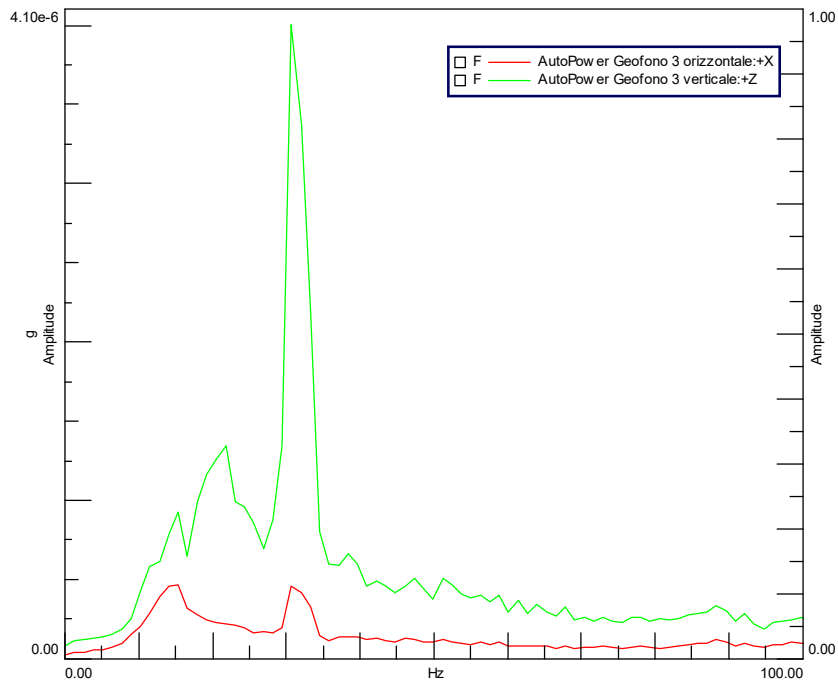
Atterraggio AIR FRANCE ore 15,10



Spettro delle accelerazioni filtrate secondo UNI 9614

| | | |
|---|------|----|
| Livello delle Accelerazioni Orizzontali | 45,5 | dB |
| Livello delle Accelerazioni Verticali | 51,5 | dB |

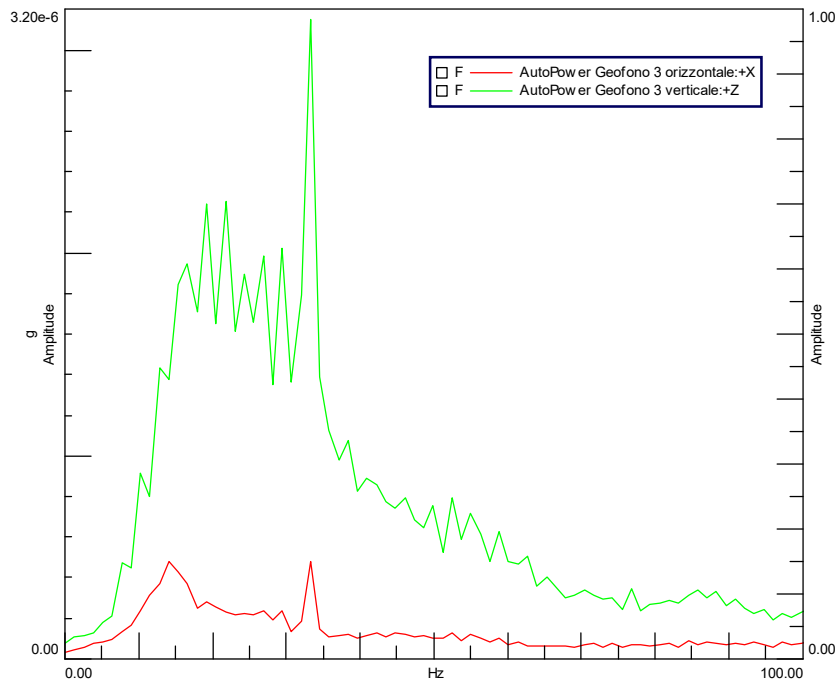
Decollo A319 ALITALIA ore 12,10



Spettro delle accelerazioni filtrate secondo UNI 9614

| | | |
|---|------|----|
| Livello delle Accelerazioni Orizzontali | 40.5 | dB |
| Livello delle Accelerazioni Verticali | 52.6 | dB |

Decollo A318 AIR FRANCE ore 13,58



Spettro delle accelerazioni filtrate secondo UNI 9614

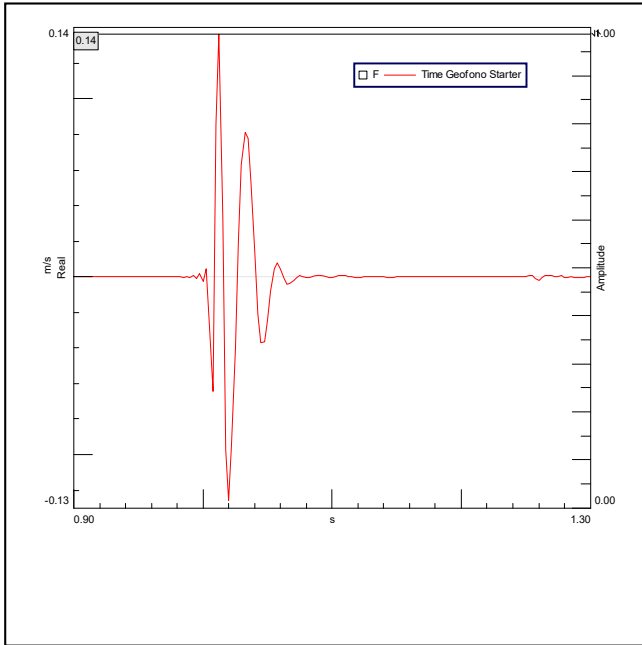
| | | |
|---|------|----|
| Livello delle Accelerazioni Orizzontali | 40.3 | dB |
| Livello delle Accelerazioni Verticali | 55.5 | dB |

ALLEGATO 3

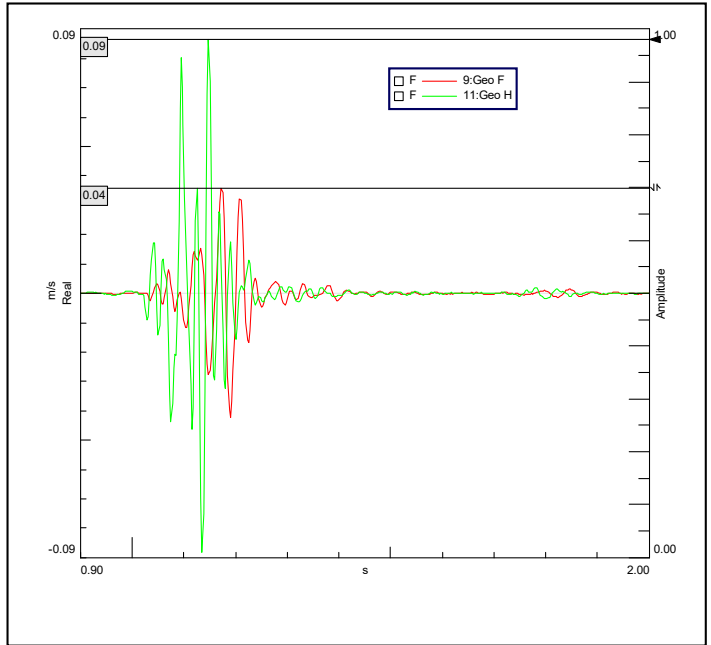
Misure di attenuazione Area del Polo

- HAMMER LATO I

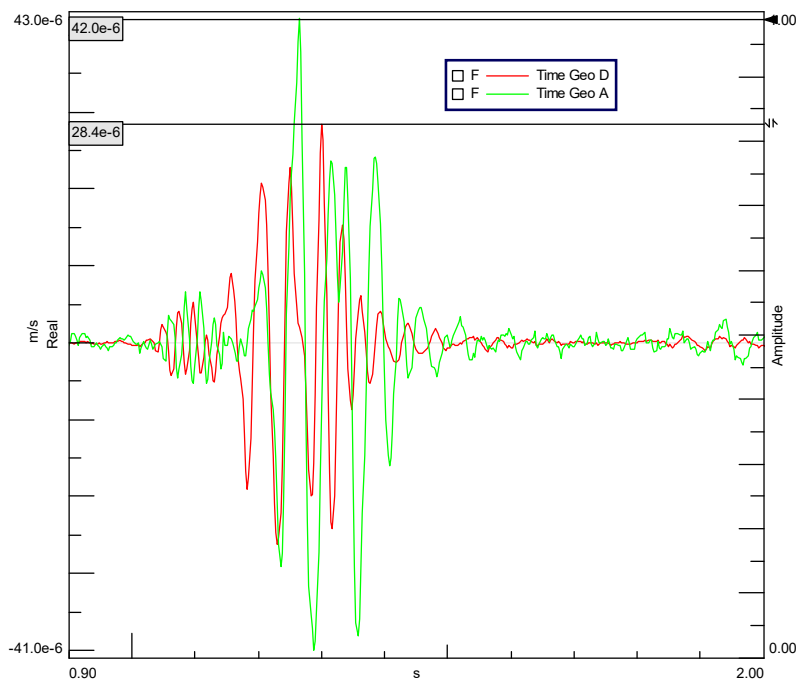
GEOFONO STARTER



GEOFONI H-F

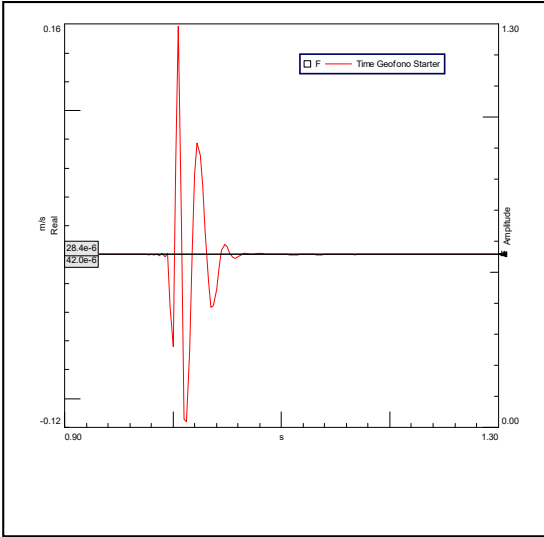


GEOFONI D-A

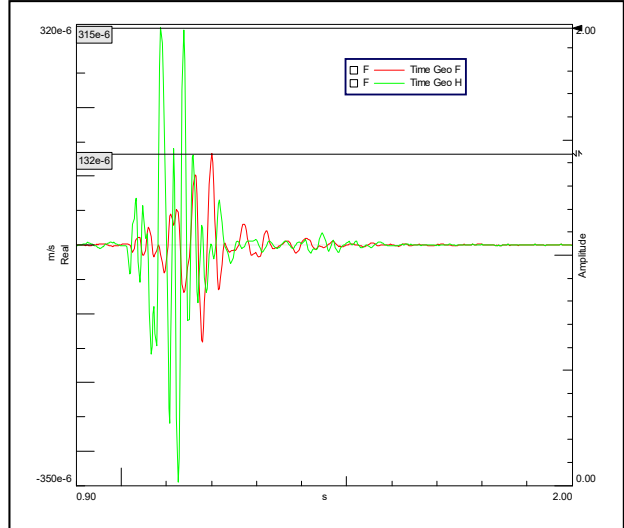


- HAMMER LATO I2

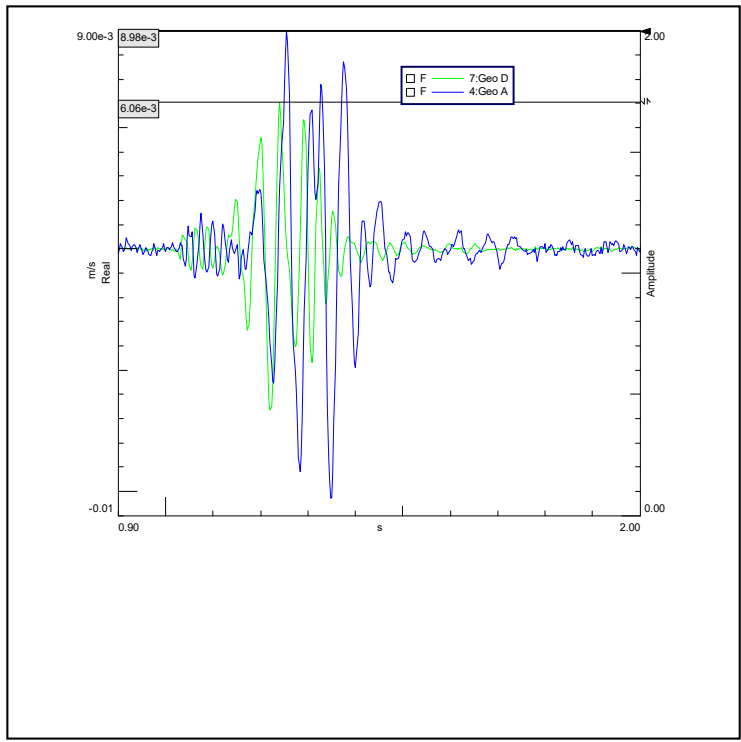
GEOFONO STARTER



GEOFONI H-F

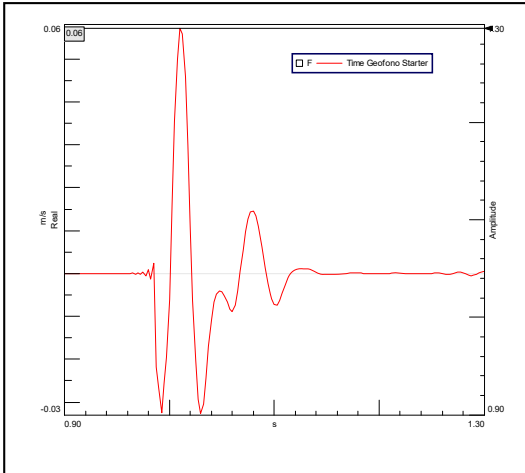


GEOFONI D-A

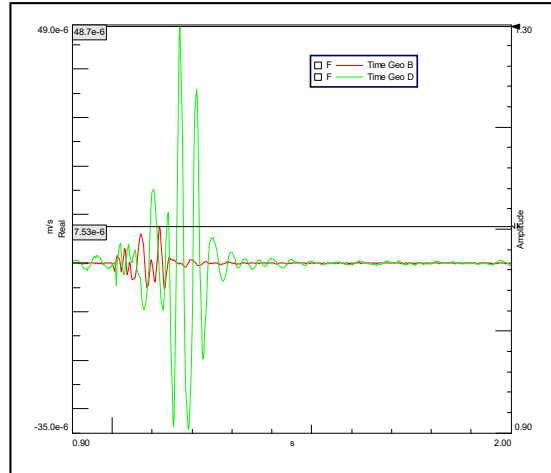


- HAMMER LATO A2

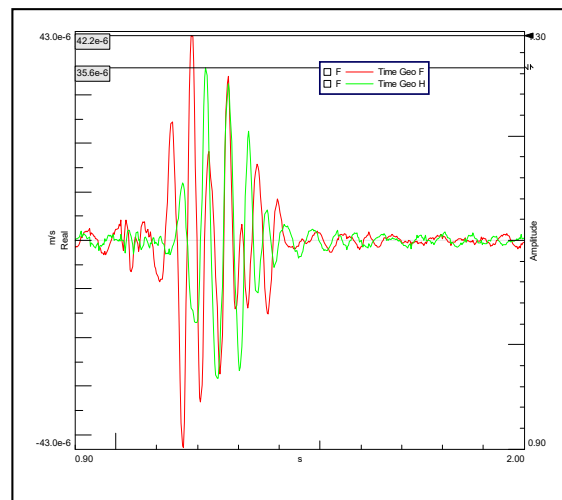
GEOFONO STARTER



GEOFONI B-D

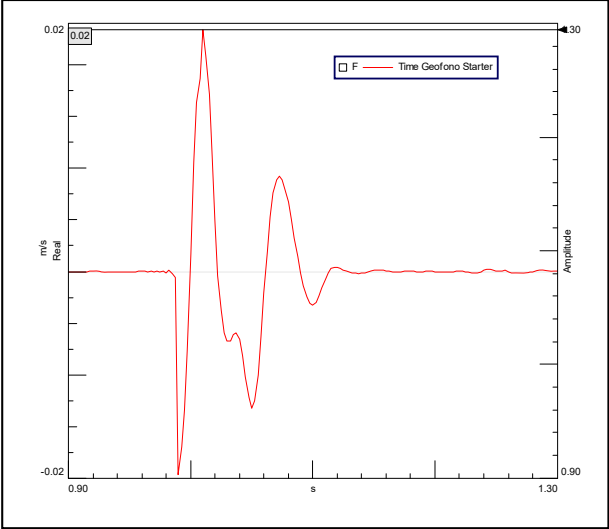


GEOFONI F-H

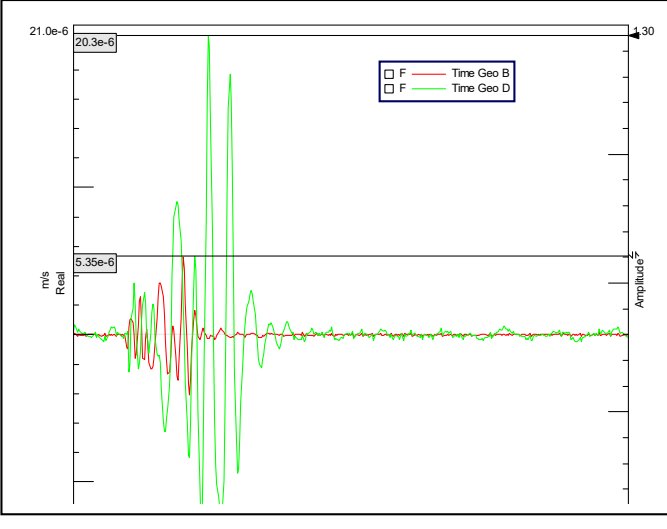


- HAMMER LATO A

GEOFONO STARTER



GEOFONO B-D



GEOFONO F-H

