

Convenzione Protezione Civile - INGV 2004-2006 - Progetto sismologico S3

Coordinatori: M. Mucciarelli, F. Pacor

Dipartimento GDL (Geofisica della Litosfera) dell'OGS di Trieste

gruppo di ricerca **SITAR** (Sismologia Ingegneristica e Tecniche Applicate al Rischio)

M. Bobbio, L. Sirovich, F. Pettenati

Esperimento di modellazione della risposta sismica del sito accelerometrico di Tomba di Buja (Friuli)

Serie temporali velocimetriche ed accelerometriche di eventi deboli
distribuite fra gli operatori del Progetto

[per l'accessibilità via FTP, vedere direttamente la Sezione 8]

INDICE

1. Origine delle registrazioni ed introduzione all'esperimento
 - 1.1. Siti di registrazione
 - 1.2. Descrizione degli strumenti
2. Restituzione delle registrazioni ed analisi dei dati
3. Selezione dei dati
4. Scelta del tipo di trattamento
5. Analisi di pre-elaborazione
 - 5.1 Test nel dominio del tempo
 - 5.2 Test nel dominio della frequenza
 - 5.3 Valutazione dei risultati di pre-elaborazione
6. Analisi di conversione
7. Elaborazione
8. Accessibilità di dati, documenti e codice
9. Bibliografia

Appendice 1

Appendice 2

1 - Origine delle registrazioni e introduzione all'esperimento

Fra il maggio 1996 ed il dicembre 1997, su incarico dell'allora Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti e con il coordinamento dell'OGS, l'istituto ISMES di Bergamo rioccupò esattamente i due siti accelerometrici ENEA-ENEL di Tomba di Buja e di San Rocco (Friuli) per effettuare una serie di registrazioni di eventi locali ed a distanze intermedie. In più, a Tomba di Buja, venne anche collocata una terna velocimetrica in fondo ad uno dei pozzi già utilizzati dall'ENEL per effettuare misure cross-hole, alla base della copertura alluvionale a circa 50 m di profondità. Scopo principale della campagna di acquisizione finanziata da GNDT era la registrazione *simultanea* di eventi locali, ed a distanze intermedie, da parte di tutte le nove componenti strumentali.

La disponibilità delle accelerometrie ENEA-ENEL (strumenti SMA-1 in superficie a Tomba di Buja ed a San rocco) dei forti eventi del settembre 1976, nonché delle presenti serie, pertinenti ad eventi molto deboli, rende possibile ai vari gruppi di ricerca del Progetto S3 di effettuare un esperimento di modellazione per determinare la risposta dei terreni in campo elastico ed anelastico.

1.1. Siti di registrazione

I dati ottenuti dall'ISMES nel '96-'97 a San Rocco (in superficie, una terna di strumenti) e Tomba di Buja (in superficie ed a fondo pozzo, quindi due terne) sono costituiti da serie temporali velocimetriche a tre componenti (all'epoca, non erano disponibili strumenti accelerometrici a guadagno adeguato anche a segnali molto deboli); compatibilmente con le tecnologie dell'epoca, l'ISMES digitalizzò le velocimetrie con il digitalizzatore PRAXS 10 System (a 24 bit dichiarati).

La stazione di San Rocco (v. freccetta rossa in fig. 1) si trova in superficie su calcari massicci (di Piattaforma Carbonatica) affioranti in corrispondenza dell'impiantito di un piccolo edificio adiacente la chiesa situata nel paese di San Rocco (UD). Quindi, a rigore, non può venire considerata una stazione free-field, benché si trovi in condizioni non molto dissimili.

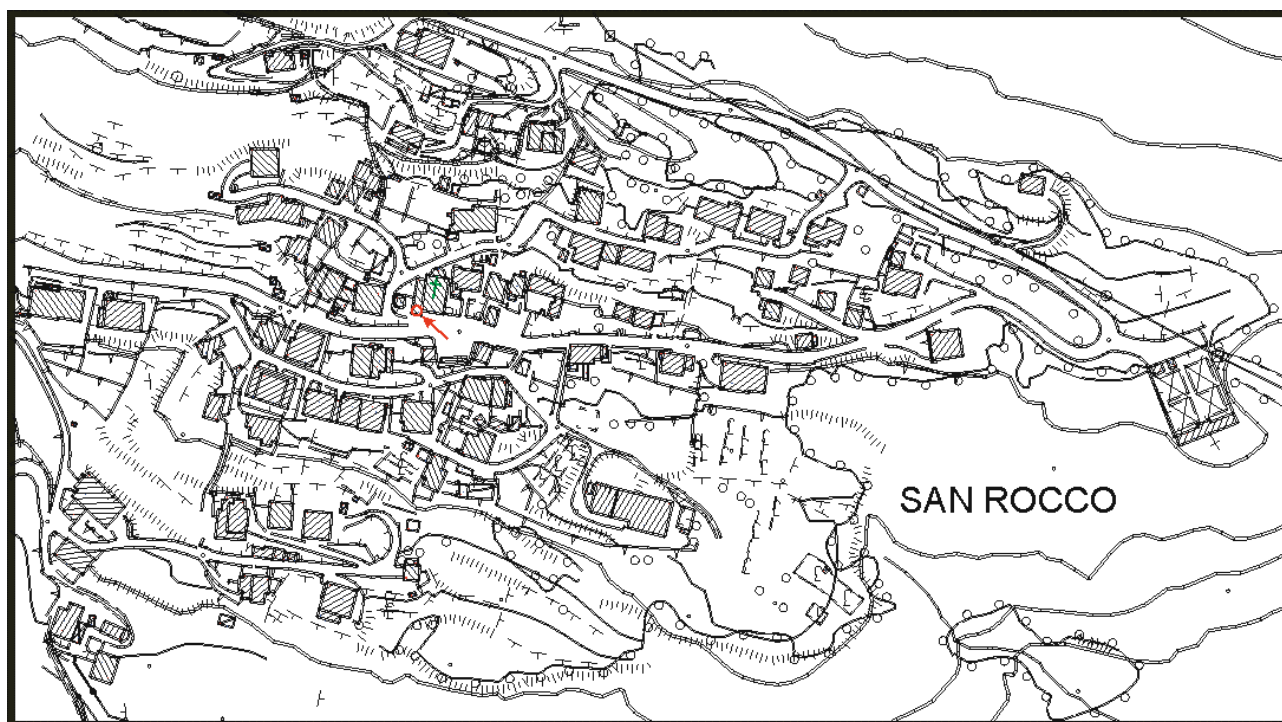


Fig. 1. Ubicazione del sito accelerometrico ENEA-ENEL di San Rocco, che registrò le scosse forti del settembre del 1976 (v. qualche spettro in Chiaruttini et al., 1979).

La seconda e la terza terna di nuove registrazioni sono costituite da due triplette nel sito ENEA-ENEL di Tomba di Buja (UD), una in testa foro su terreno alluvionale e l'altra, come detto, a fondo foro nello stesso sito. La lunghezza della sonda velocimetrica utilizzata dall'ISMES a fondo foro era di 72 cm ed il suo fondello era stato posizionato di poco entro il substrato roccioso, alla profondità di 47,57 metri sino al 9 ottobre 1996. In seguito a difficoltà tecniche di spostamento dell'apparecchiatura (che alla fine ne causarono la perdita, con ostruzione del pozzo), dopo tale data la sonda risultò piazzata a 44,07 metri dal piano di campagna (vedi l'ubicazione sulla Carta Tecnica Regionale in scala originaria 1:5000 in fig. 2, e la stratigrafia cross-hole ENEA-ENEL in fig. 3).

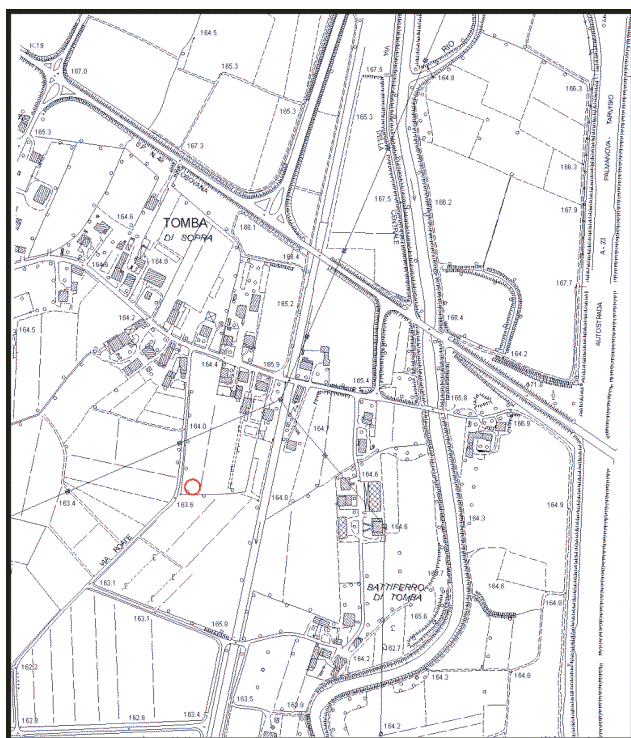


Fig. 2. Uubicazione (cerchietto) del sito accelerometrico ENEA-ENEL di Tomba di Buja, che registrò le scosse forti del settembre del 1976.

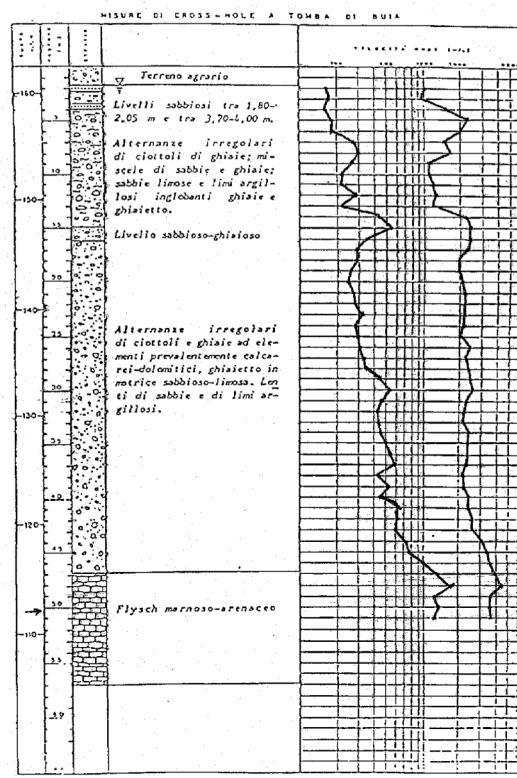


Fig. 3. Stratigrafia e profilo cross-hole ENEA-ENEL già disponibile per il sito accelerometrico di Tomba di Buja (nella forma grafica originale).

1.2. Descrizione degli strumenti

Per tutte le stazioni l'ISMES utilizzò trasduttori sismometrici della ditta Mark; per "S. Rocco superficie" e "Tomba Buja superficie" furono utilizzati sensori triassiali modello L-4-3D, mentre per "Tomba Buja fondo pozzo" tre sensori monocomponente modello L22D.

Per tutte le 9 componenti sono disponibili (ad eventuale richiesta) le curve di taratura dell'ISMES; si conosce quindi la curva di risposta dei sensori grazie a curve di calibrazione (ampiezza e fase) eseguite nel laboratorio di taratura dell'ISMES stessa; ognuna è stata tracciata in un intervallo di 2 decenni, comprese fra 1 e 100 Hz.

L'ISMES campionò le serie velocimetriche a passo regolare (0.008 o 0.0035 s, equivalenti a 125.0 o 285.714264 Hz) registrandole e restituendole in tensione.

2 - Restituzione delle registrazioni ed Analisi dei dati

Le registrazioni fornite dall'ISMES sono elencate in Tabella 1 (Sezione 3; le mascherine grigie marcano registrazioni simultanee dello stesso evento). I dati vennero restituiti dall'ISMES su CD con saltuari filtraggi (vedi le sigle “*fl*” e “*nf*”, rispettivamente “filtrato” e “non filtrato”, nella Tabella 2, sempre della seguente Sezione 3); erano stati acquisiti con diverse frequenze di campionamento (125 e circa 286 Hz), ed i filtraggi erano stati eseguiti dall'ISMES “per eliminare off-set residuo”.

La Tabella 1 va letta su tre colonne, con le date progressive nel formato /aa/mm/gg/ [la riga tratteggiata segna il passaggio 1996-1997]. Essa elenca i titoli delle directory utilizzate nel CD dell'ISMES. Le directory “S. Rocco” contengono un massimo di tre componenti, quelle “Tomba di B.” (Buja) un massimo di sei (le tre in superficie e le tre a fondo pozzo). Gli spazi bianchi equivalgono a registrazioni non effettuate causa guasti etc..

Fra le registrazioni simultanee evidenziate in grigio, sono state scelte le migliori e più complete; e da esse sono state selezionate quelle ora diffuse fra gli operatori del Progetto.

S. Rocco	Tomba di B.	S. Rocco	Tomba di B.	S. Rocco	Tomba di B.
	9600000B	960911			970218
960517			960915		970308
960518			960922		970317
960520		960925			970318
960520A		960927	960927		970401
960522		960927A			970402
960523			961002	970417	
960523A		961004	961004		970421
960523B		961009	961009		970422
960524		961015	961015	970611	
960525		961015A	961015A	970617	
960527			961015B	970620	
960528		961016	961016	970625	
960529			961016A	970628	
960601		961018		970630	970630
960610		961021		970630A	
960614		961021A		970705	970705
960615		961031		970705A	
960617		961031A		970712	
960617A		961103		970714	970714
960619		961104		970716	
960621		961104A		970718	
960622		961105			970721
960624		961108		970722	
960628			961114	970722A	
960630			961115	970726	
960701		961118		970727	970727
960707		961118A		970727A	970727A
960709		961119		970728	
960711		961119A		970730	970730
960711A		961119B		970731	
960713		961120		970802	970802
960715		961122			970804
960715A		961130			970810
960716			961206		970811
960717			961207		970902
960717A			961210		970904
960718			961211		970907
960719			961214		970915
960720			961221		971023
960722			961222	971024	
960725	960725		961222A	971025	
960730	960730		961222B	971026	
960803			961223	971026A	
960905		-----	-----	971028	971028
960906			970104	971028A	
960906A		970105		971028B	
960906B		970118		971031	
960906C		970118A		971031A	
960906D		970118B		971108	971108
960907		970119		971109	971109
960907A			970215	971109A	971109A
960909			970217	971130	971130

Tabella 1.

3 - Selezione dei dati

Dopo aver visualizzato tutte le serie temporali che avessero la doppia registrazione a San Rocco ed a Tomba di Buja (come sopra evidenziato) sono state scartate le registrazioni degli eventi di cattiva qualità od incomplete nelle componenti. Sono risultati alla fine selezionati i seguenti 6 eventi, provvisoriamente individuati in Tabella 2 attraverso alcune determinazioni disponibile da parte di cataloghi facilmente accessibili [come d'uso, *Ml* corrisponde a Magnitudo locale, ed *Md* a Magnitudo da durata; i nomi delle località indicate sono quelle prossime all'epicentro]: (nell'ordine, la Tabella 2 elenca: data, ora [DCF], eventuale filtraggio, frequenza di campionamento – F.C.).

<i>San Rocco</i>				<i>Tomba di Buja</i>				
Data	Ora	filtro	F.C.		Data	Ora	filtro	F.C.
961015	11 56 34	<i>fl</i>	286		961015A	11 56 35	<i>fl</i>	286
970714	06 24 19	<i>fl</i>	286		970714	06 24 21	<i>nf</i>	125
970727A	15 06 49	<i>fl</i>	286		970727A	15 06 49	<i>nf</i>	125
970730	23 57 19	<i>fl</i>	286		970730	15 06 49	<i>nf</i>	125
970802	06 49 31	<i>nf</i>	286		970802	06 49 30	<i>nf</i>	286
971109	10 58 10	<i>nf</i>	286		971109	10 58 10	<i>nf</i>	286

Tabella 2.

I sei eventi sono stati identificati come segue:

Data	ora (GMT)	Latitudine	Longitudine	Località	Magnitudo
15 ottobre 1996	09:56	44.763	10.605	Rimini	<i>Ml</i> 5.1 [MedNet]
14 luglio 1997	04:24	46.381	13.000	Tolmezzo	<i>Md</i> 3.4 [GNDT]
27 luglio 1997	13:06	46.364	12.915	Villa Santina	<i>Md</i> 2.7 [GNDT]
30 luglio 1997	21:57	46.271	13.039	Trasagis	<i>Md</i> 2.5 [GNDT]
02 agosto 1997	04:49	46.098	13.688	Stregna	<i>Md</i> 3.2 [GNDT]
09 novembre 1997	09:58	46.150	13.132	Lusevera	<i>Md</i> 2.4 [OGS]

Tabella 3.

4 – Scelta del tipo di trattamento

Va premesso che, usualmente, si ha a che fare con serie accelerometriche da correggere ed integrare, ed infatti la maggior parte dei codici di uso corrente è stato concepito a questo scopo. Abbiamo quindi testato i seguenti noti programmi di elaborazione per dati sismologici, con l'ottica di:

- a) comprendere quali potessero essere le loro potenzialità nel trattamento dei segnali velocimetrici, al fine di ricavare accelerazioni (ma anche spostamenti);
- b) rendere disponibile una procedura di calcolo anche agli altri operatori del Progetto.

BAP:	vecchio codice nato per il trattamento di serie strong motion all'interno dell'USGS; correzione strumentale con equazione differenziale del second'ordine; piuttosto arcaico (ultima versione: 1995); comprende una serie di programmi sotto MSDOS con grafica molto scarna.
BasCo:	nuovo programmi di Paolucci et al., del Politecnico di Milano, realizzato utilizzando il codice proprietario MathLab; necessiterebbe di conversione per chi non fosse in possesso di MathLab. BasCo esegue la correzione della linea base dei velocigrammi ottenuti per segmenti. Accetta in input soltanto serie temporali in accelerazione, in formato ASCII. Dopo valutazione da parte di S5, è lo standard adottato da quel Progetto (che è principalmente interessato al trattamento di accelerogrammi per ottenere serie in spostamento).
Degtra:	(di Mario Ordaz, autore anche di Crisis per l'hazard); il programma legge serie temporali strong motion in formato arbitrario (con l'opzione ASCII) e permette integrazioni e derivazioni, spettro di Fourier e di risposta, filtraggio, correzione linea base ed altro; non esegue la correzione della curva di risposta dello strumento e non accetta più di 16.386 campioni.
JPITSA:	è un codice piuttosto "pesante" in linguaggio Java (l'originale PITSA girava solo su UNIX/Linux); accetta 4 formati binari (non l'ASCII), integra, deriva, filtra, ecc.; non calcola spettri di risposta.
Live Seis:	in linguaggio Java (come Jpitsa) gira sotto un browser e sembra molto lento.
PITSA:	vedi Jpitsa
SAC:	gira solo su Linux/Sun; c'è solo l'eseguibile (un interprete con riga di comando senza GUI). Integra, deriva, filtra, ecc., ma ha una visualizzazione grafica molto scarna.
SeismoSignal:	programma "standalone" (Windows), molto buono ma non deriva, accetta dati in formato ASCII libero con maschera di input, pare veloce, realizza filtri, grafici vari; non esegue correzione strumentale ed accetta in input soltanto accelerogrammi.
Seisgram2k:	è interpiattaforma (sempre in linguaggio Java); sembra abbastanza veloce (rispetto agli altri) ma limitato. Integra, deriva, filtra, rimuove il valore medio, accetta 12 formati fra cui quelli SAC e ASCII; non esegue altre operazioni (es. spettri di risposta o correzione della curva di risposta dello strumento).

In sintesi, i programmi dotati delle migliori caratteristiche, ai fini del Progetto, sarebbero SeismoSignal, BasCo e Degtra. Sfortunatamente però, il terzo non è in grado di gestire un numero di campioni superiore a 16.386 (mentre alcune serie ISMES-GNDT, registrate a San Rocco e Tomba di Buja, superano i 50.000 campioni), e gli altri due non sono in grado di accettare in ingresso dati in velocità (ma solo in accelerazione). Nessun programma commerciale appare insomma in grado di trattare serie temporali sia velocimetriche che accelerometriche e di fornire tutte le prestazioni richieste.

Al momento, i più versatili ci sono sembrati SeismoSignal e BasCo, che necessitano entrambi delle seguenti pre-elaborazioni:

- Conversione da tensione (V) a velocità (m/sec)
- Derivazione (nel dominio del tempo) per ottenere l'accelerazione (m/sec^2)

5 - Analisi di pre-elaborazione

I due trasduttori triassiali usati in superficie a S. Rocco ed a Tomba di Buja presentano una frequenza di taglio inferiore (-3 dB) pari a 1 Hz (limite della prova di taratura, il che non permette la misura della pendenza), con risposta piatta sino a 100 Hz.

La frequenza di taglio superiore dei trasduttori orizzontali a fondo pozzo è di oltre 100 Hz (e quindi il limite superiore in frequenza finisce per venir dettato, come da teorema di Nyqvist, dalla frequenza di campionamento). La loro frequenza di taglio inferiore (-3 dB) è attorno al valore approssimato di 2.5 Hz, con una pendenza di circa 12 dB per ottava.

Pur con la stessa frequenza di taglio, il trasduttore verticale sembra presentare una pendenza addirittura maggiore (approssimativamente 18-19 dB per ottava) sempre in bassa frequenza.

Ai tre trasduttori in pozzo sarebbe quindi possibile applicare una correzione strumentale per allinearli ai precedenti sino alla medesima frequenza di taglio inferiore (1 Hz); la possibilità di estrapolare la risposta di tutti i trasduttori leggermente al sotto di 1 Hz è dubbia per l'alto rischio di inserire artefatti in bassa frequenza.

Mentre alcune elaborazioni come la conversione tensione/velocità e la derivazione (per ottenere l'accelerazione) rispettivamente devono e possono essere fatte nel dominio del tempo, l'operazione di correzione strumentale deve avvenire nel dominio della frequenza. Anche l'operazione di derivazione può avvenire nel dominio della frequenza, salvo alcuni problemi quali l'introduzione di rumore nella parte alta dello spettro ed altri. Infine, considerando la necessità di minimizzare gli errori dovuti alle tecniche di elaborazione digitale, abbiamo ritenuto utile adottare la seguente procedura:

1. Conversione tensione/velocità
2. Trasformata (DFT, discrete Fourier transform)
3. Correzione strumentale
4. Filtraggio passa alto (per es. 1.0 Hz o meno)
5. Derivazione
6. Filtraggio passa basso (per es. 30 Hz)
7. Antitrasformata (IFT inverse Fourier transform)

Ovviamente, data la frequenza di taglio inferiore pari a 1 Hz, la correzione strumentale (punto 3) ed il successivo filtraggio (punto 4) potrebbero non venire applicati alle componenti delle stazioni in superficie a S. Rocco e a Tomba di Buja.

Allo scopo di verificare le potenzialità e le qualità elaborative impiegabili, prima di operare sono stati eseguiti alcuni test, sia nel dominio del tempo che della frequenza. Partendo da una serie temporale in velocità (ancora senza conversione tensione-velocità), la si è derivata con vari metodi e/o correzioni. Poi, queste serie elaborate sono state inserite in SeismoSignal che le ha riconvertite (re-integrandole) nuovamente in velocità; la nuova serie così ottenuta è stata confrontata successivamente con quella di partenza.

Il file di test è una delle registrazioni, acquisite per l'esperimento. Come per altre registrazioni, solo in sede di derivazione è emerso che la registrazione velocimetrica conteneva uno *spike* (di probabile origine elettronica) di piccola ampiezza, che ovviamente produceva lo stesso disturbo particolarmente evidente nel campo della accelerazione. Si è quindi proceduto a correggere il velocigramma originale, interpolando il campione.

5.1. Test nel dominio del tempo

Come indicato nel test di derivazione nel dominio del tempo (Fig. 4), il primo grafico rappresenta la registrazione corretta dal disturbo elettronico. Il secondo è la sua derivata (accelerazione) nel dominio del tempo con l'operatore di Lagrange su tre punti; il terzo è la sua

(re)integrazione effettuata con il codice SeismoSignal corretta con il valore dell'accelerazione di gravità ($g=9.806$). La quarta serie mostra la differenza terza-meno-prima in vera scala, e la quinta la stessa differenza, ma molto ingrandita.

Come si può notare, l'ordine di grandezza degli errori è molto esiguo con un picco massimo pari a circa 0.0004 Volt (0.7%).

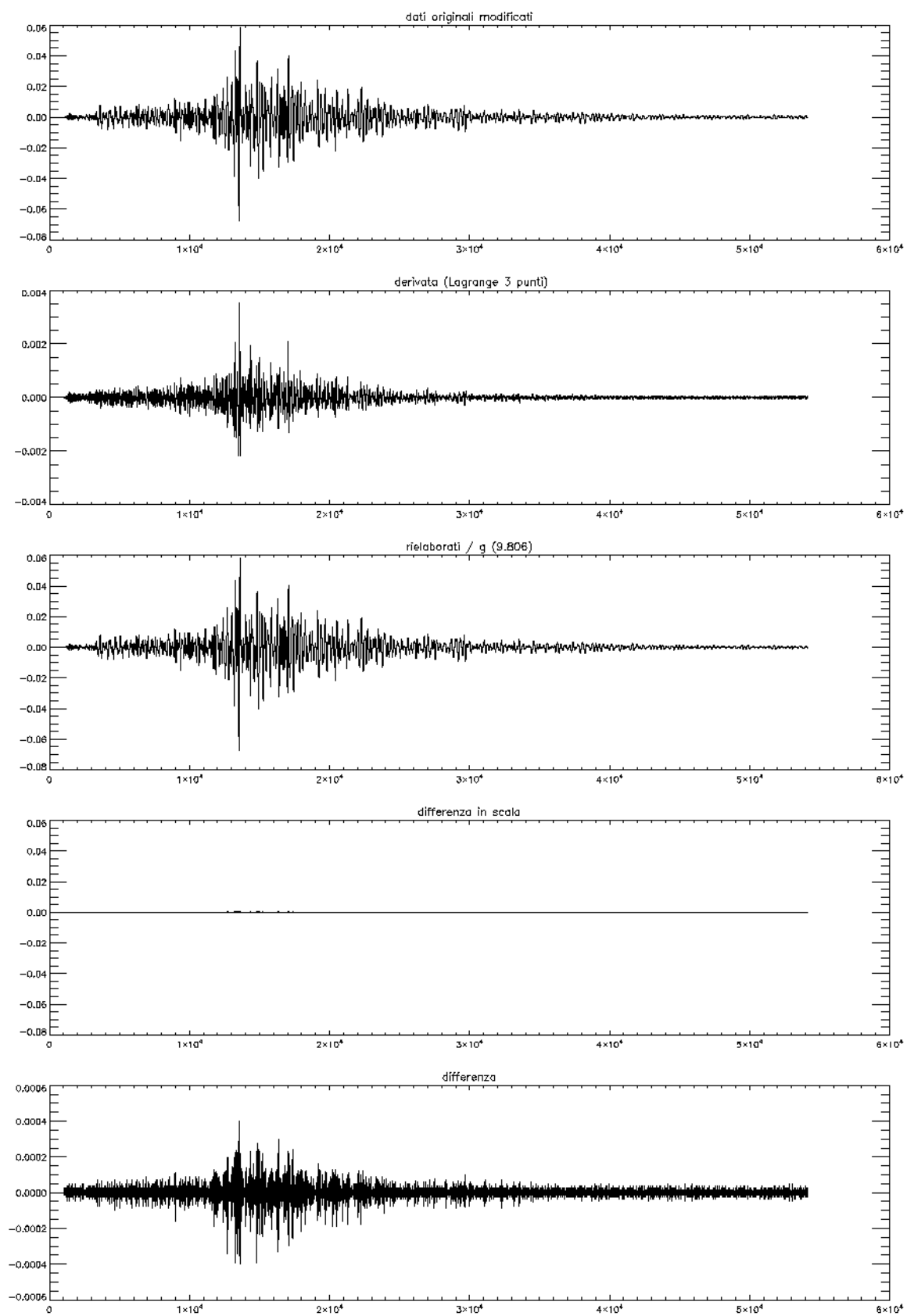


Fig. 4. Test di elaborazione nel dominio del tempo (ampiezze in Volt).

5.2 Test nel dominio della frequenza

Come prima cosa, sono state testate alcune routine (algoritmo FFT – Fast Fourier Transform) di uno dei software da noi utilizzati (IDL – Interactive Data Language di RSI).

Come visibile nella figura 5, gli stessi dati della prova nel dominio del tempo (primo grafico in alto) sono stati elaborati con un algoritmo di DFT (Direct Fourier Transform) e quindi rappresentati (secondo grafico) nel dominio della frequenza; successivamente, senza elaborazione alcuna, è stato applicato d'algoritmo inverso (IFT – Inverse Fourier Transform) ottenendo il terzo grafico.

Come per il test precedente, è stata eseguita la differenza dei campioni che è stata rappresentata sia in vera scala (quarto grafico) che ingrandito (quinto grafico).

Come è possibile notare, l'errore introdotto da questa metodologia è assolutamente trascurabile essendo pari a circa $1 \cdot 10^{-18}$.

Si è quindi provveduto ad eseguire un'elaborazione di prova nel dominio della frequenza, derivando con programma *ad hoc* ed integrando con il programma commerciale, analizzando i dati con la stessa metodologia dei test precedenti (di Fig. 4); tale prova è visibile in figura 6. Vi si può notare con chiarezza che l'errore assoluto è minore, approssimativamente dimezzato rispetto alla Fig. 4, ma il quinto grafico della figura 6 ci ha richiamati ad un'analisi ulteriore. Osservando tale serie, si nota infatti che viene a crearsi un off-set negativo pari a circa $6 \cdot 10^{-5}$ (nella scala dei dati); ingrandendo il primo tratto della serie, è però chiaramente visibile (vedi Fig. 7) che a questo off-set ci si arriva con un impulso seguito da uno smorzamento armonico: questo fenomeno è tipicamente dovuto alla metodologia dell'elaborazione nel dominio della frequenza.

Per cercare di superare questo effetto spurio, sono stati realizzati successivi test anche con serie pretrattate mediante eliminazione dei trend. Purtroppo, come visibile nell'esempio di figura 8, il tentativo non ha portato ad alcun miglioramento.

5.3 Valutazione dei risultati di pre-elaborazione

La Tabella 4 riassume il confronto fra tutte le tecniche testate (“corretto” sta per depurato dallo spike mediante interpolazione). Per il calcolo della correlazione e della covarianza fra registrazione originale e velocigramma riottenuto dopo derivazione ed integrazione, la serie di riferimento è sempre quella registrata (corretta dello spike, o non corretta). Le serie derivate in vario modo sono state tutte integrate con SeismoSignal (da cui la necessità di dividere per “g”; vedi terzo grafico dell Fig. 8).

Test	Tecnica di derivazione	correlazione	covarianza
1a	Derivazione di Lagrange (3 punti) dati non corretti	0,99999350	4,0634946 e-5
1b	Derivazione di Lagrange (dati corretti)	0,99999567	4,0659933 e-5
2a	Derivazione nel dominio della frequenza	0,99999712	4,0643808 e-5
2b	Deriv. nel dominio della frequenza (dati corretti)	0,99999814	4,0643828 e-5
3a	Deriv. nel dominio della frequenza (dati detrended)	0,99999717	4,1226647 e-5
3b	Deriv. nel dom. della freq. (dati corretti e detrended)	0,99999848	4,9208867 e-5

Tabella 4

Per tutto quanto sopra è stato deciso di eseguire un'elaborazione minima (le sole conversione e derivazione nel dominio del tempo con formula di Lagrange a 3 punti) restituendo comunque le 3 serie (tensione, velocità ed accelerazione) affinché ogni utilizzatore possa rielaborare i dati con diverse metodologie a propria discrezione.

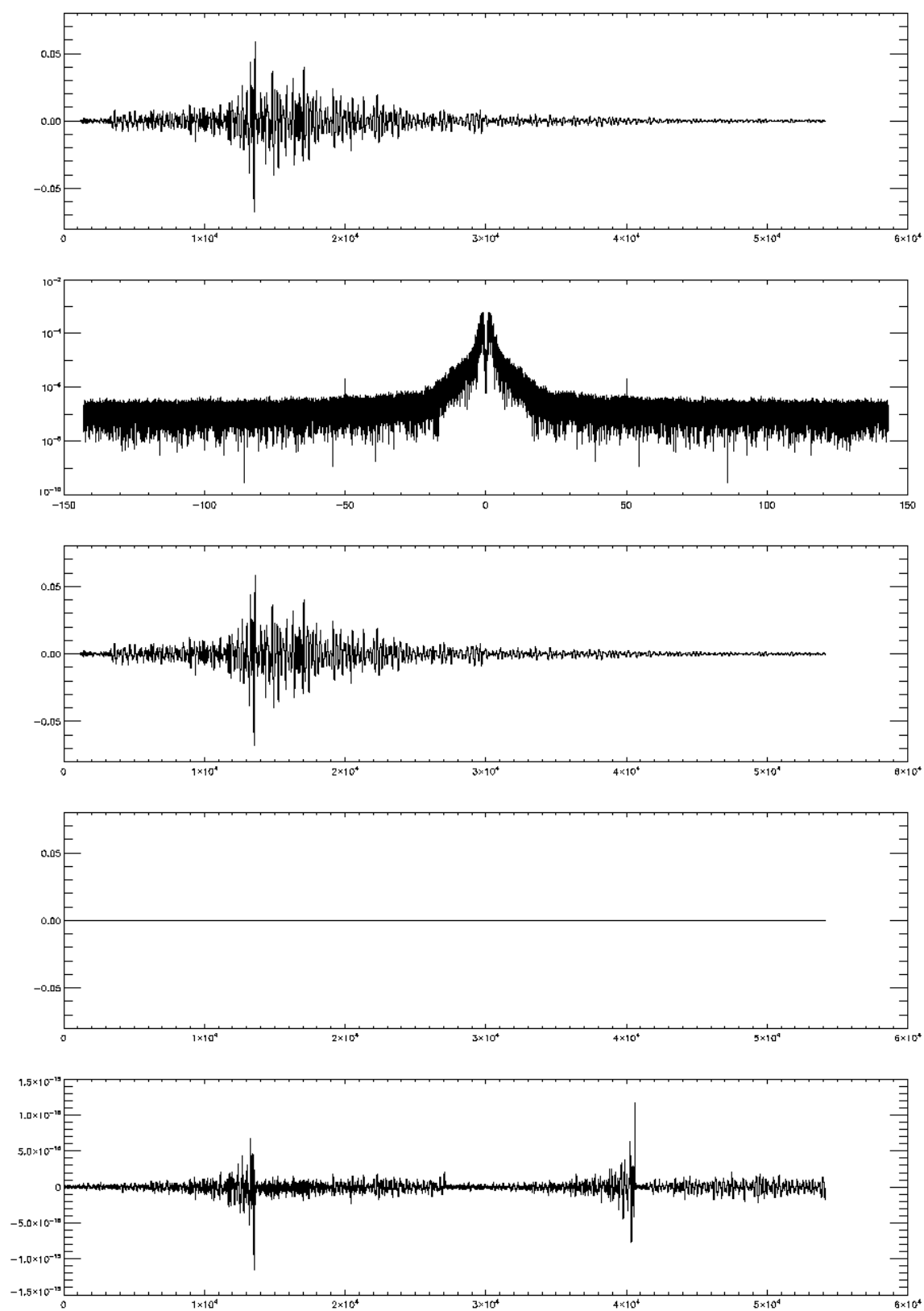


Fig. 5. Test della FFT

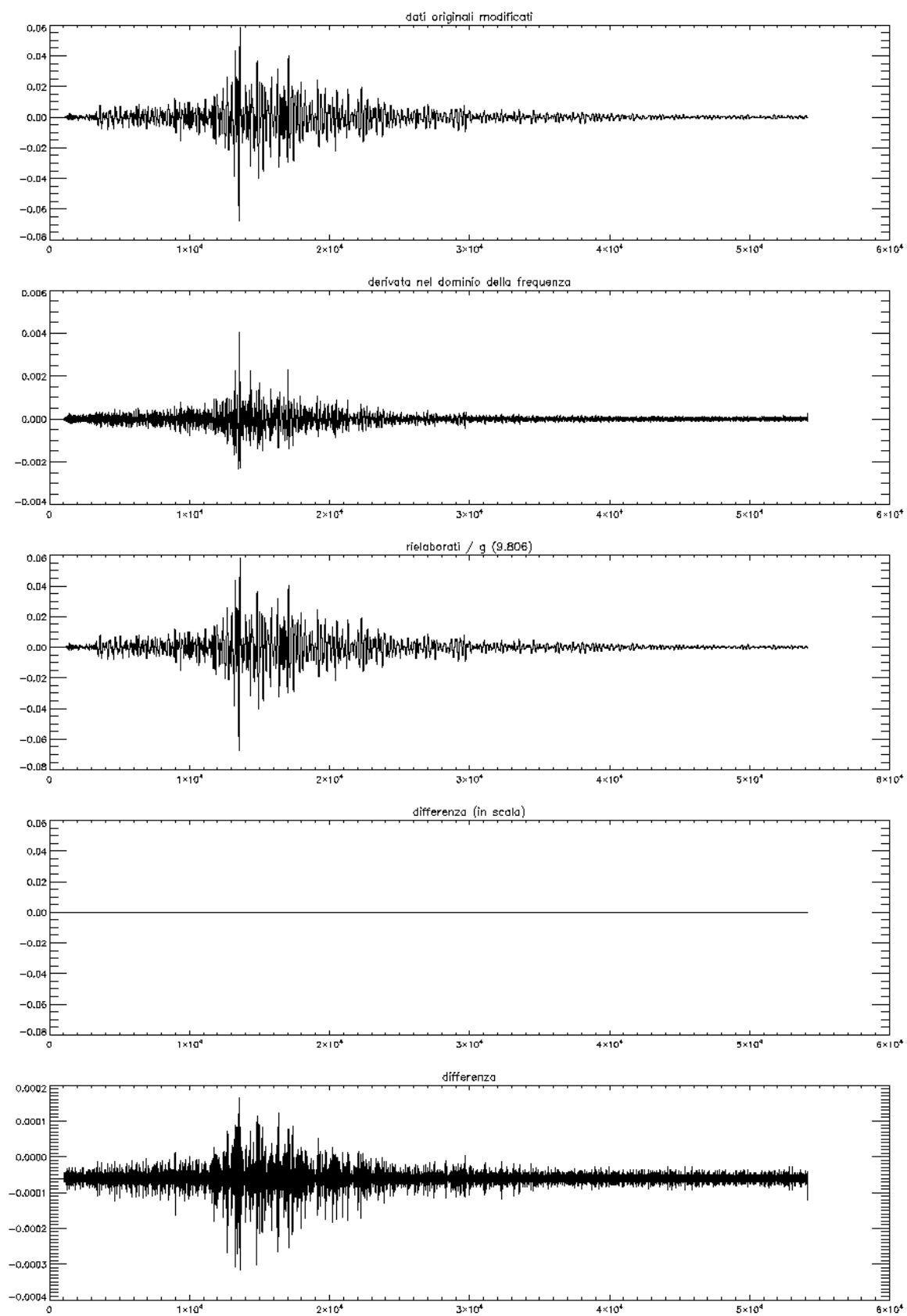


Fig. 6. Test nel dominio della frequenza

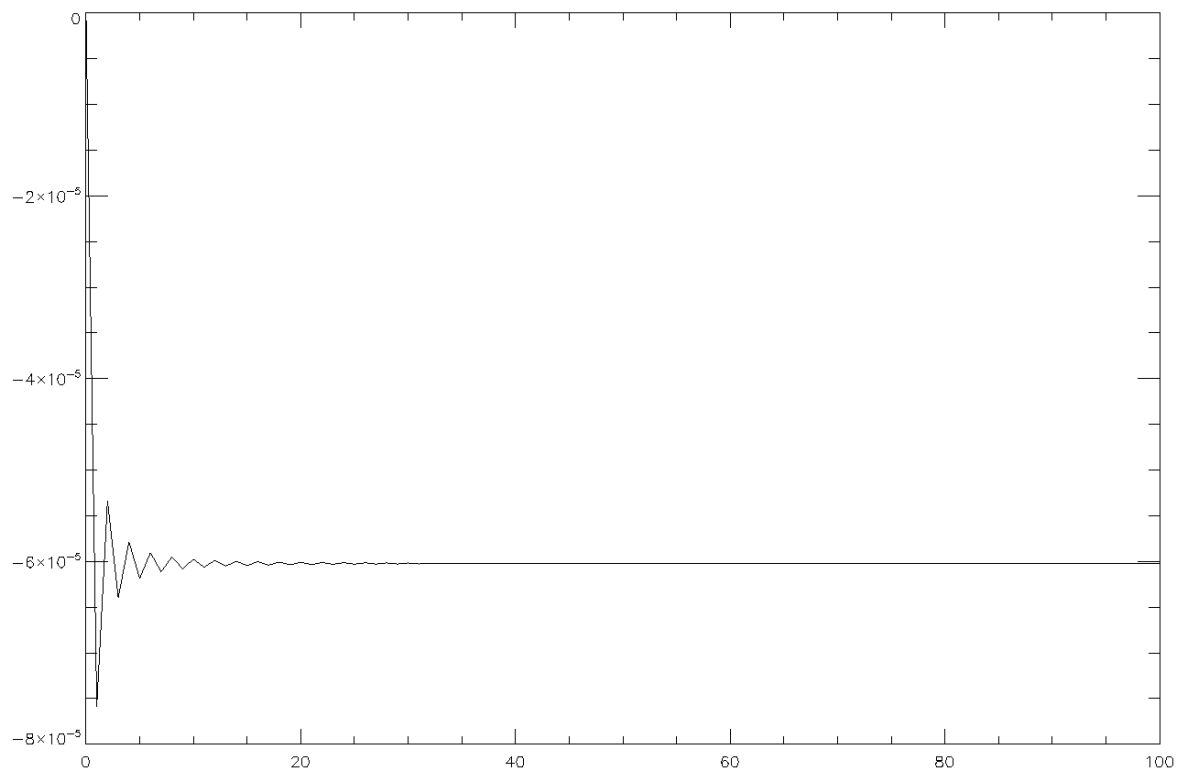


Fig. 7. Ingrandimento dell'asse verticale del quinto grafico della fig. 6.: effetto spurio prodotto dalla derivazione nel dominio della frequenza.

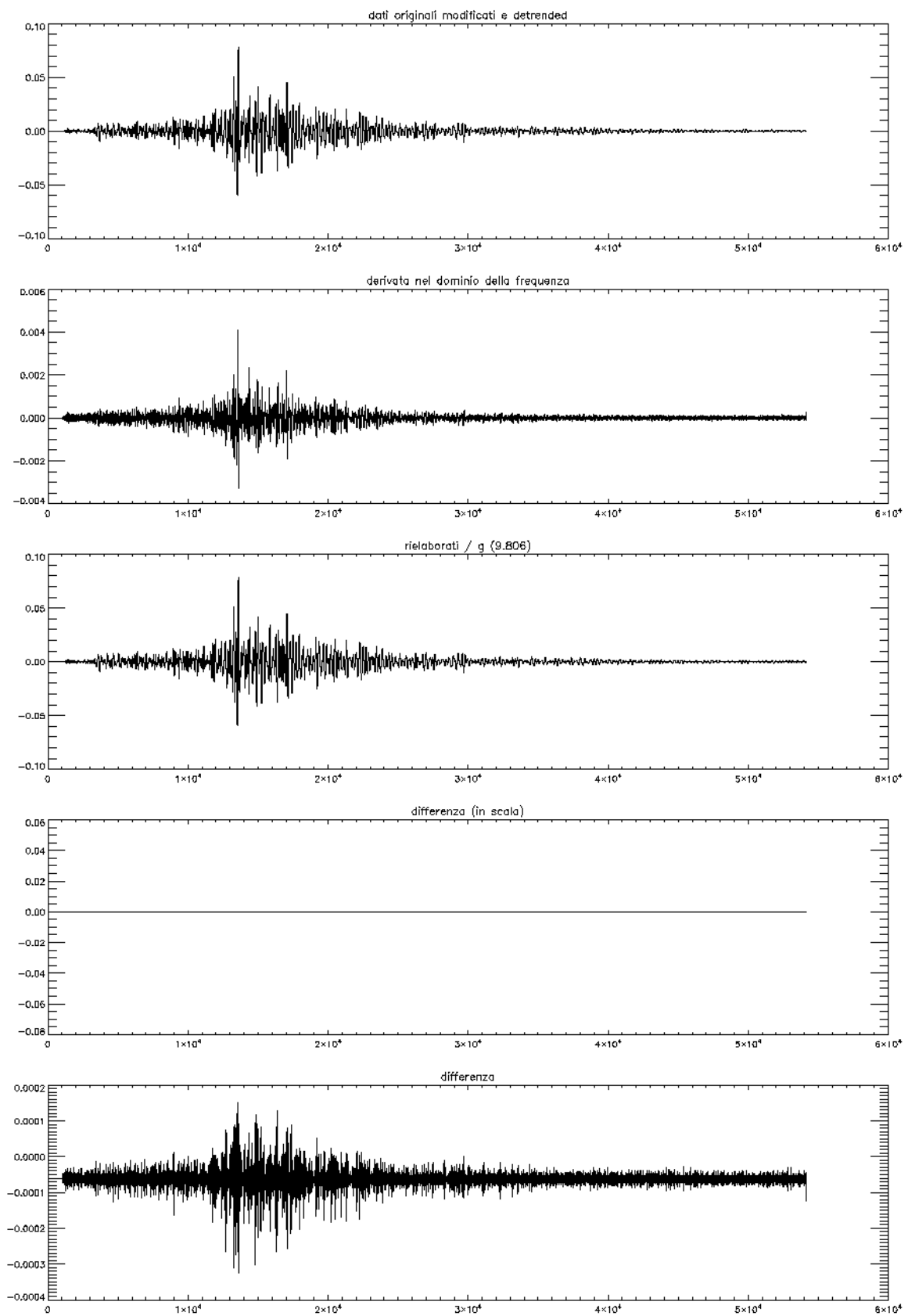


Fig. 8. Test nel dominio della frequenza con i dati trattati.

6 – Analisi di Conversione

Scelta la metodologia di lavoro ed in quale dominio realizzare l'operazione di integrazione, si passa ad analizzare i dati disponibili per la conversione da tensione a velocità; i parametri di conversione necessari sono espressi nella seguente formula:

$$\text{Velocità} = (\text{Tensione} / \text{Fattore_di_Amplificazione}) \cdot \text{Costante_di_Trasduzione}$$

I fattori di amplificazione impostati nelle apparecchiature elettroniche di acquisizione sono riscontrabili (secondo le indicazioni fornite dal responsabile ISMES) nell'Appendice 1, mentre le costanti di traduzione (come dai certificati di taratura citati) sono riassunti nella seguente tabella 5:

Posizione	strumento	Numero di Serie	Componente	Coefficiente
Superficie	Mark L-4-3D	399	Verticale	168.6
Superficie	Mark L-4-3D	399	Orizz. N/S	167.9
Superficie	Mark L-4-3D	399	Orizz. E/O	163.9
Superficie	Mark L-4-3D	451	Verticale	172.6
Superficie	Mark L-4-3D	451	Orizz. N/S	161.7
Superficie	Mark L-4-3D	451	Orizz. E/O	173.1
Tomba-b	Mark L22D	1574	Verticale	96.29
Tomba-b	Mark L22D	1575	Orizzontale	96.53
Tomba-b	Mark L22D	1576	Orizzontale	97.74

Tabella 5: sensibilità (verificate a 10 Hz, 5 mm/sec) ricavate dai certificati del laboratorio di taratura dell'ISMES.

Purtroppo, i tecnici ISMES non hanno riferito, né lasciato scritto (in testi e/o inseriti nelle testate dei files di acquisizione) quali siano stati i numeri di matricola degli strumenti utilizzati nelle componenti superficiali; quindi, non siamo ancora riusciti ad associare con certezza le curve di calibrazione ai relativi trasduttori posti in superficie. Fortunatamente, però, le differenze non sono grandi

A tutt'oggi, le indeterminazioni rimaste sono: quale dei due trasduttori triassiali Mark L-4-3D sia stato posto a San Rocco e quale a Tomba, nonché quale dei due sensori monocomponente orizzontale, a fondo pozzo nel sito di Tomba di Buja, sia stato utilizzato per la componente N-S e quale per la relativa E-O.

Tenendo conto invece che sono palesemente identificabili i canali verticali, e considerando le piccole differenze dei coefficienti di calibrazione, sono state adottate le funzioni di trasferimento (ottenute con il calcolo dei valori medi per le componenti orizzontali) inserite nella tabella 6.

Stazione	Costante	Errore percentuale massimo (%)
Tomba-b/Verticale	96.29	0.0
Tomba-b/Orizzontali	97.135	0.62
Superficie/Verticali	170.6	1.17
Superficie/Orrizzontali	167.4	3.4

Tabella 6.

7 - Elaborazione dei dati

Il programma ConVel.pro converte le serie registrate da ISMES da tensione a velocità e - per derivazione con formula di Lagrange a 3 punti - ad accelerazione. ConVel.pro legge i dati (in formato ASCII) all'interno della struttura delle directories in modo "batch" per ogni evento (6 eventi = 6 "run"), restituendo dei files ASCII con 5 righe di intestazione come nell'esempio seguente:

```
Tomba di Buja/Fondo pozzo/Nord-sud
15 ott 1996 09:56 GMT (44.763/10.605 - Rimini - Ml 5.1[MedNet])
15/96/15 11:56:35 DCF      267esimo campione
      0.00350000 passo(sec)      50667 campioni
mm/sec
      0.00000000
      0.00000000
      0.00000000
      0.00000000
      0.00000000
      0.00000000
      0.00000000
      0.00000000
      0.00000000
      0.00000000
      ...
      ...
      ...
```

La prima riga identifica il sensore (posizione e componente), la seconda identifica l'evento sismico; la terza riga ripete la data e l'ora in formato DCF (per l'indeterminazione espressa a fine dell'Appendice 1) ed indica a quale campione della serie corrisponda l'istante 0 (zero); la quarta riga contiene il passo di campionamento ed il numero totale dei campioni, mentre la quinta indica l'unità di misura dei campioni che vanno a seguire (essa distingue quindi dall'interno i files di velocità da quelli di accelerazione, oltre che dal nome esterno).

Contemporaneamente all'elaborazione, per ogni evento sismico, il programma può essere abilitato a generare (sullo schermo o su file) dei grafici per il controllo visivo dell'elaborazione stessa; questi files in formato PostScript (chiamati "Vel+Acc.ps") sono stati acclusi nella restituzione e contengono ciascuno 9 pagine, ognuna delle quali riporta la coppia di grafici Velocità+Accelerazione per ognuna delle componenti.

Alla fine delle elaborazioni, è stato eseguito ulteriormente un programma per il controllo sinottico delle 9 componenti (per verificare che siano contemporanee), tramite la graficazione di tutte e tre le grandezze: "Tensione.ps", "Velocità.ps" ed "Accelerazione.ps". Tali grafici sono acclusi alla presente relazione (all'Appendice 2) ed i relativi files vengono contestualmente resi disponibili agli Operatori del Progetto S3 via FTP.

Ovviamente, nell'Appendice 2 si constata che, a meno del cambio di unità dimensionale dovuto alla conversione, i grafici in tensione sono sovrapponibili a quelli in velocità.

Riguardo alla completezza, il secondo evento manca di una componente così come il terzo ed il quinto; il sesto manca di tutte le componenti di una stazione. Si tratta mal funzionamenti delle apparecchiature.

8 - Accessibilità di dati, documenti e codice

Tutti i files (dati e grafici) citati sono stati resi disponibili tramite “download” con connessione FTP:

[omesso]

In alternativa clickare il link sottostante, oppure inserirlo come URL nel browser:

[omesso]

Nella directory principale si trova copia di questo stesso documento in formato .pdf ed una copia del programma usato per l’elaborazione; inoltre vi sono 6 directories, una per ogni evento elaborato.

Ognuna di queste directories, che portano il nome corrispondente alla data dell’evento, contiene:

1. 3 sub-directories con i dati originali suddivise per sito (SRocco, Tomba-a, Tomba-b) corrispondenti rispettivamente ai siti di San Rocco, Tomba di Buja in superficie e Tomba di Buja in pozzo; ognuna contiene tre files di dati e tre files di intestazione; i nomi dei files corrispondono ancora alla data dell’evento; il primo carattere dell’estensione distingue i dati dalle headers (lettera A o H) ed il secondo carattere corrisponde alla componente (0=verticale, 1=NS, 2=EO)
2. 18 files di dati (come descritti nei precedenti capitoli): 9 files di velocità e 9 di accelerazione dal nome assolutamente intuitivo.
3. un file chiamato Vel+Acc.pdf che contiene 18 grafici in nove pagine, illustranti le 9 coppie di velocità ed accelerazione per ogni componente.

Quanto ai files grafici corrispondenti alle nove componenti per ogni grandezza (tensione, velocità, accelerazione), essi sono nell’Appendice 2 di questa relazione.

In considerazione della relativa incompletezza delle registrazioni dei sei eventi selezionati, ed anche perché a fini di ricerca potrebbe risultare utile ai colleghi poter disporre di registrazioni effettuate in un sito anche non in sincronia con un altro sito, l’intero set di dati ISMES (formato .zip) è stato inserito nella directory principale.

9 - Bibliografia

Chiaruttini C., Crosilla F., Siro L., 1979. Some maximized acceleration analyses of the 1976 Friuli earthquakes. *Boll. Geof. Teor. Appl.*, XXI, 81, 37-51.

Commissione Enea-Enel (1985). Raccolta di informazioni sulle postazioni accelerometriche del Friuli. Roma, giugno 1985. A cura di: A. Fontanive, V. Gorelli, L. Zonetti.

APPENDICE 1

Il seguente file READ.ME (sotto riportato testualmente, in caratteri corsivi) proviene dalla directory radice del CD dell'ISMES (in cui era stato inserito dal dott. F. Moia)

Nota Bene: per il momento – ai fini dell'esperimento S3 – non forniamo le registrazioni del rumore.

NOTE INFORMALI PER LA DECODIFICA DEI FILES

[autore: F. Moia, ISMES]

Il CD contiene le registrazioni relative a Tomba di Buja e S.Rocco in formato ascii.

Tale formato riporta in modo sequenziale il valore dei singoli campioni che sono espressi in Volt. il CD contiene due dir principali:

- segnali*
- rumore [qui non fornito, vedi sopra]*

DIR segnali

Questa dir è suddivisa in due sotto-dir nominate rispettivamente Srocco e Tomba suddivise a loro volta in una serie di sotto-dir nominate aammgg (anno mese giorno) e contengono i files ascii dei segnali registrati. Nel caso di più registrazioni relative allo stesso giorno la sotto dir diventa aammgga, aammgggb, aammgggc etc.

Il time code fino alla data del 9 ottobre 96 è relativo al GPS mentre successivamente è relativo al DCF.

SROCCO

I files riportati in ciascuna sotto dir possono essere così nominati:

<i>*.001</i>	<i>*.a0</i>	<i>*.h0</i>	<i>componente verticale</i>
<i>*.002</i>	<i>*.a1</i>	<i>*.h1</i>	<i>componente orizzontale nord-sud (longitudinale)</i>
<i>*.003</i>	<i>*.a2</i>	<i>*.h2</i>	<i>componente orizzontale est-ovest (trasversale)</i>

*In ciascuna sotto-dir possono essere riportati i files *.00* o *.a* che riportano i valori in volt del segnale digitale ed i file s *.h* così detti files header facilmente decodificabili e che riportano alcune informazioni sui parametri di acquisizione e tempo.*

Per quanto riguarda la voce amplificazione il parametro riportato nei files header non sempre è corretto ed il valore di amplificazione utilizzato durante tutto il periodo da maggio96 a dicembre 97 è sempre stato uguale a 1 (uno). Per quanto riguarda la costante del sensore i valori riportati sono indicativi e per convertire in velocità i valori di tensione bisogna fare riferimento ai certificati di taratura dei sensori già in Vostro possesso.

*I file *.00* sono i segnali filtrati per eliminare off-set residuo, quelli *.a* non sono filtrati. I file *.00* contengono come prima linea un commento privo di significato.*

La frequenza di campionamento è riportata sui files header.

TOMBA

I files riportati in ciascuna sotto-dir possono essere così nominati:

<i>*.001</i>	<i>*.a0</i>	<i>*.h0</i>	<i>componente verticale sismometro superficiale</i>
<i>*.002</i>	<i>*.a1</i>	<i>*.h1</i>	<i>componente orizzontale nord-sud (longitudinale) sism. superficiale</i>

*.003	*.a2	*.h2	componente orizzontale est-ovest (trasversale) sism. superf.
*.004	*.a3	*.h3	componente verticale sismometro in pozzo
*.005	*.a4	*.h4	componente orizzontale nord sud (longitudinale) sismometro in pozzo
*.006	*.a5	*.h5	componente orizzontale est-ovest (trasversale) sismometro in pozzo

Con riferimento a quanto esposto sopra il fattore di amplificazione utilizzato a Tomba è uguale a quattro (quattro).

Il sismometro da pozzo è stato installato inizialmente alla profondità di 45.57 metri dal piano campagna (misura riferita alla parte inferiore della sonda lunga 72 cm) fino al 9 ottobre 1996. Successivamente la profondità del sismometro è di 44.07 metri dal piano campagna.

RUMORE

sotto la DIR rumore vengono riportate delle sotto dir aammgg (event. seguite da a,b,c) alcune registrazioni contemporanee sia a Tomba che a S.rocco del rumore della zona. Ciascuna registrazione si riferisce a circa 1 ora e sono state effettuate rispettivamente:

-il 24/10/97 ore 02, 10, 21, 23 e successivamente il

-26/10, 27/10, 28/10 e 31/10 sempre alle 2 di notte.

Lo schema dei collegamenti è lo stesso utilizzato sopra e per Tomba di Buja è riportato solamente il rumore della stazione superficiale in quanto quella in pozzo manifestava degli evidenti malfunzionamenti.

Il fattore di amplificazione utilizzato in entrambi i siti è 1 (uno).

Tali informazioni non potevano considerarsi sufficienti ed altre furono richieste via E-mail allo stesso responsabile che fornì le seguenti ulteriori informazioni:

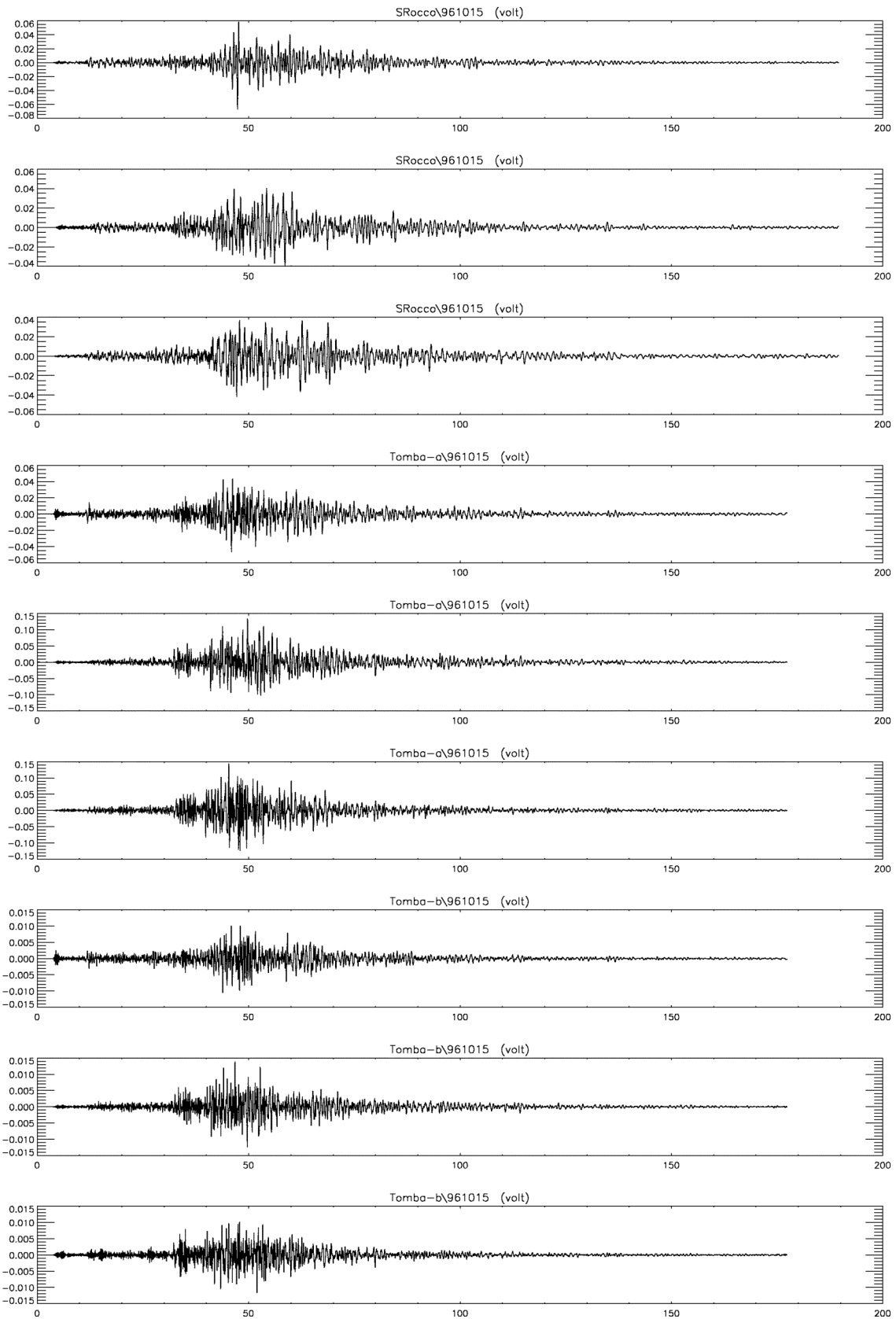
Nei files delle header è riportato data, ora, minuti e secondi che si riferiscono al campione indicato nelle header stesse come campione riferimento temporale.

Per quanto riguarda i codici orari il time code è riferito al GPS solo per il periodo iniziale di funzionamento e fino al 31/07/96. Successivamente è sempre usato come riferimento il DCF.

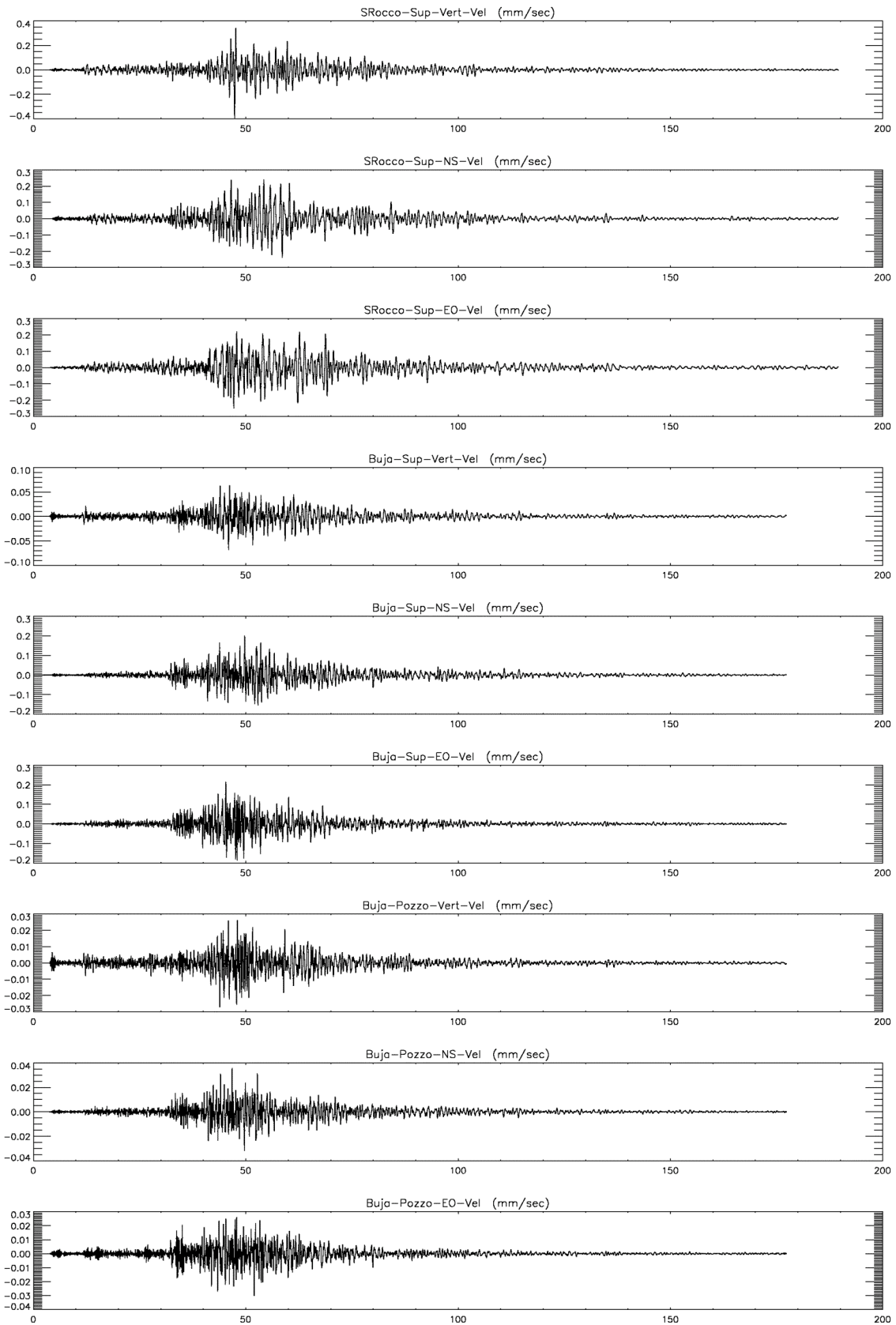
Come ti ho scritto nelle note e detto anche per telefono nella fase iniziale a S. Rocco può non esserci perfetto sincronismo con il GPS in quanto il segnale veniva ed è disturbato tutt'ora dal ponte radio presente e questo ci aveva indotto a modificare il codice orario di riferimento.

Il codice DCF è avanti di 1 ora rispetto a GMT e non capisco il problema dell'ora legale. Tieni comunque presente che alcuni tecnici sia ISMES che di univ. e ENEL mi hanno riferito che durante il 1997 quelli che trasmettono il DCF hanno fatto delle cose turche con differenze anche di 2 ore rispetto a GMT. Noi questo lo abbiamo notato in Sicilia con le reti sull'Etna e nel siracusano. Non ho però elementi tangibili e riscontri sicuri ma credo sia opportuno che tu lo sappia.

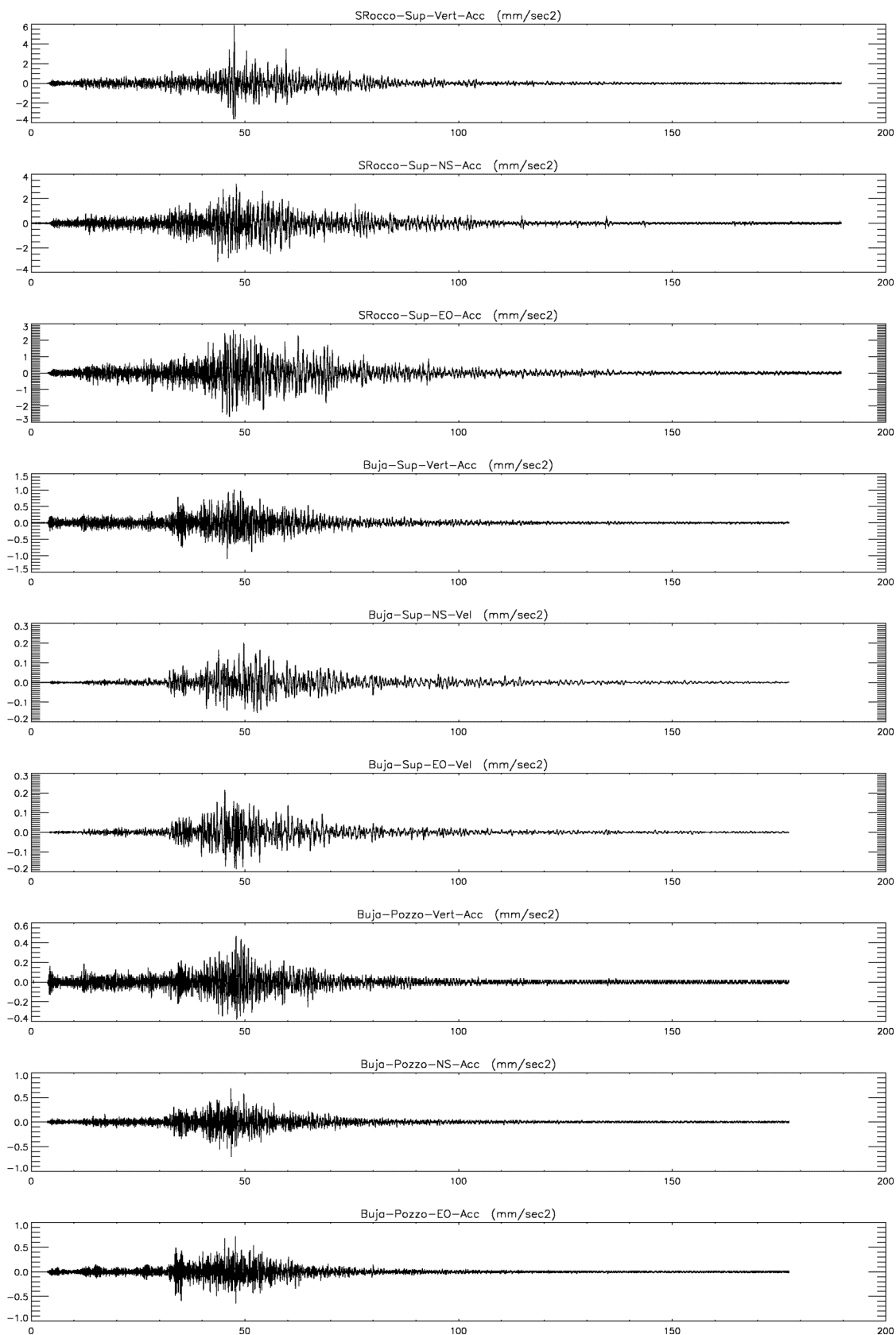
APPENDICE 2



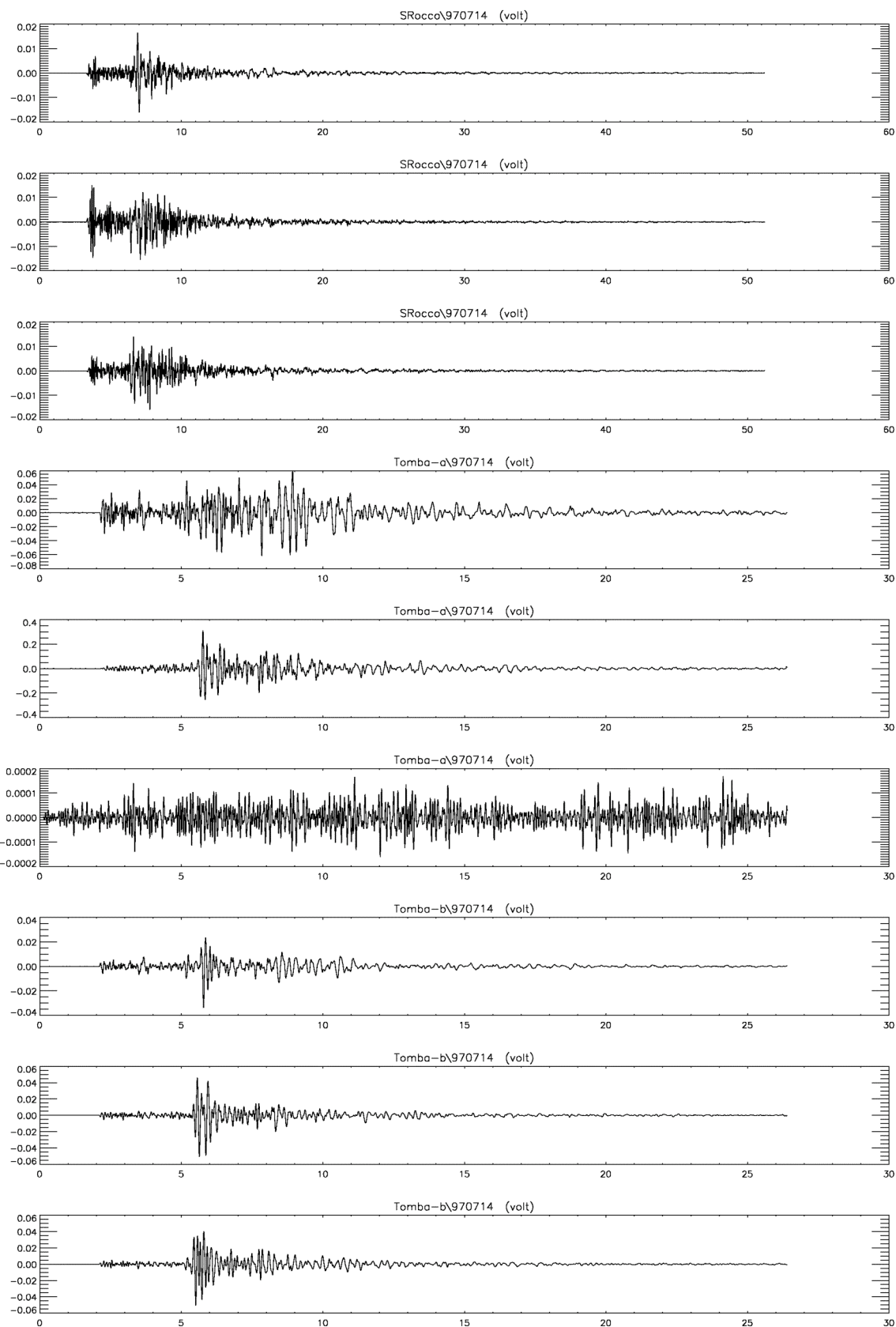
15 ottobre 1996	09:56	44.763	10.605	Rimini	Ml 5.1 [MedNet]
-----------------	-------	--------	--------	--------	-----------------



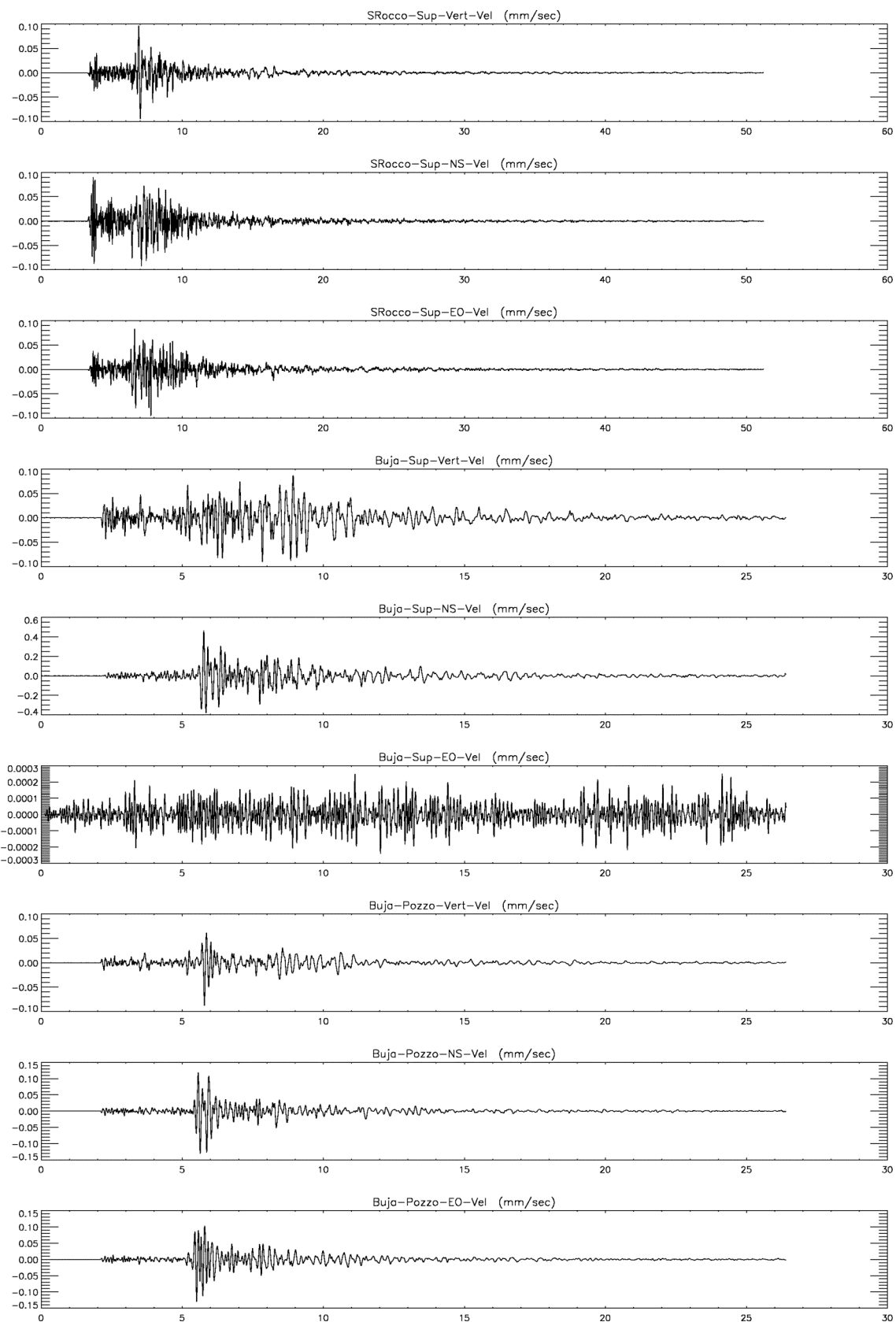
15 ottobre 1996	09:56	44.763	10.605	Rimini	Ml 5.1 [MedNet]
-----------------	-------	--------	--------	--------	-----------------

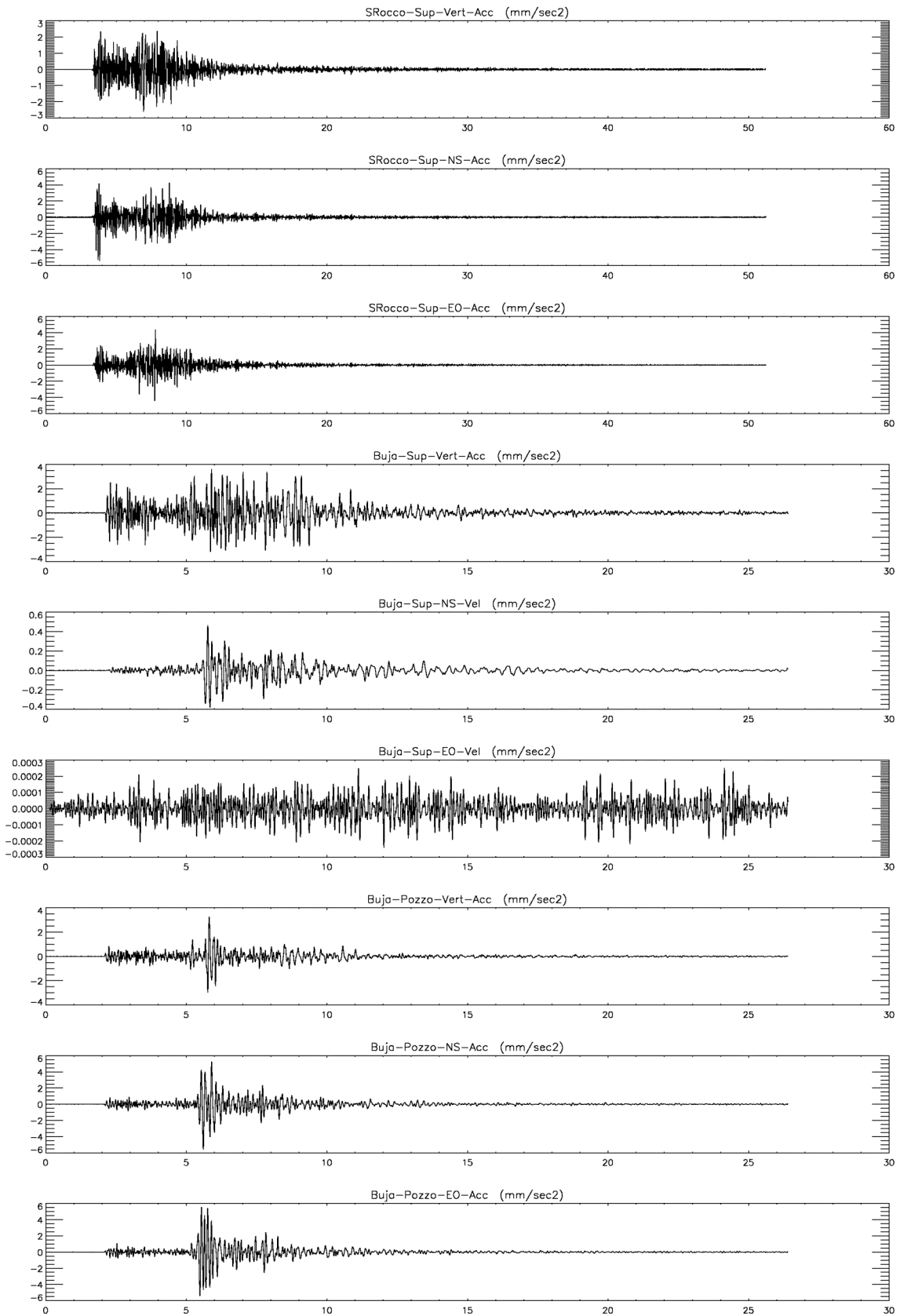


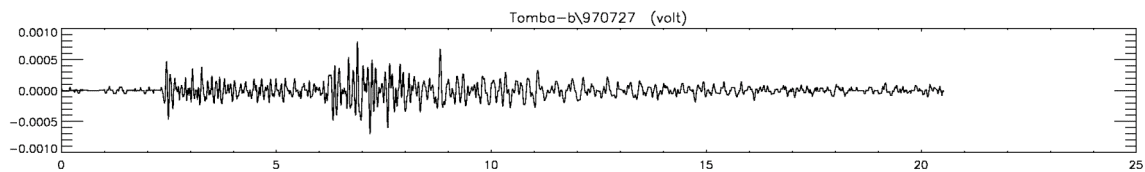
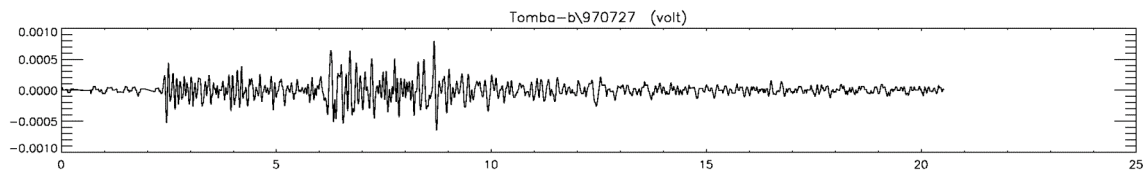
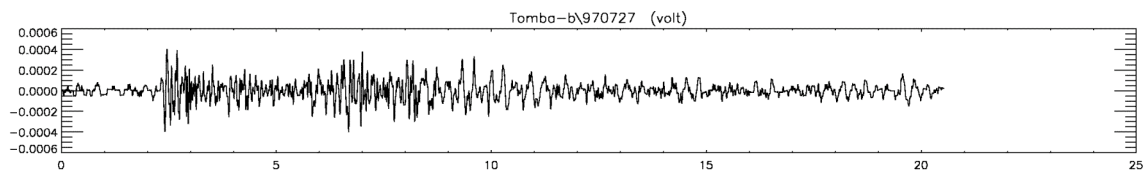
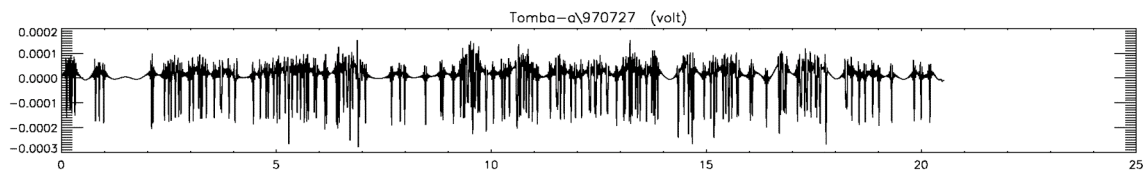
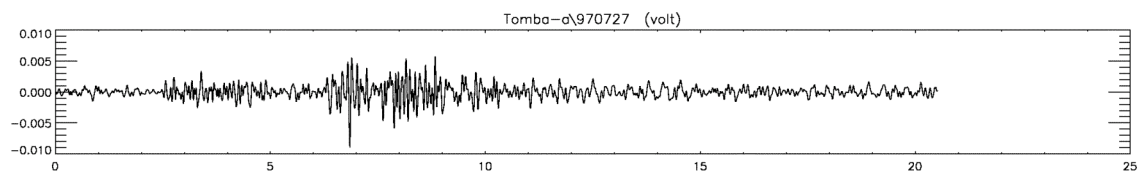
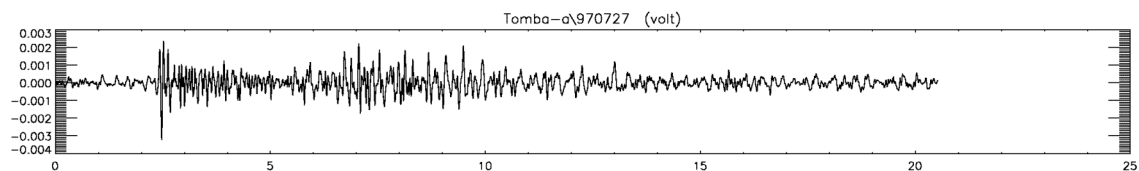
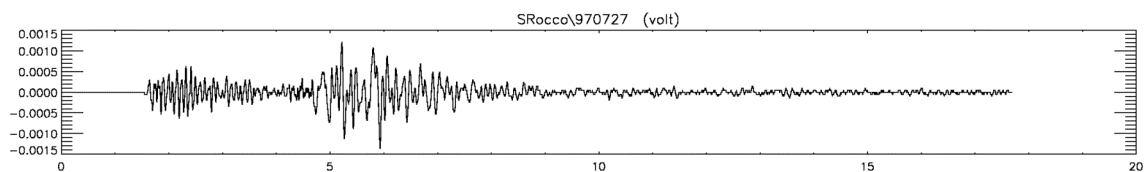
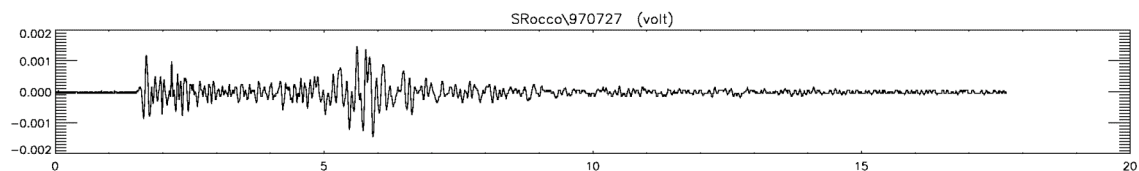
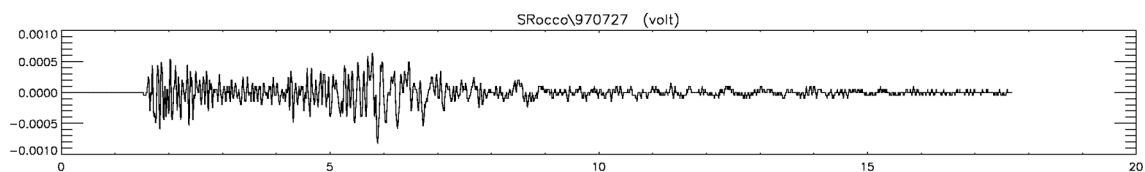
15 ottobre 1996	09:56	44.763	10.605	Rimini	Ml 5.1 [MedNet]
-----------------	-------	--------	--------	--------	-----------------



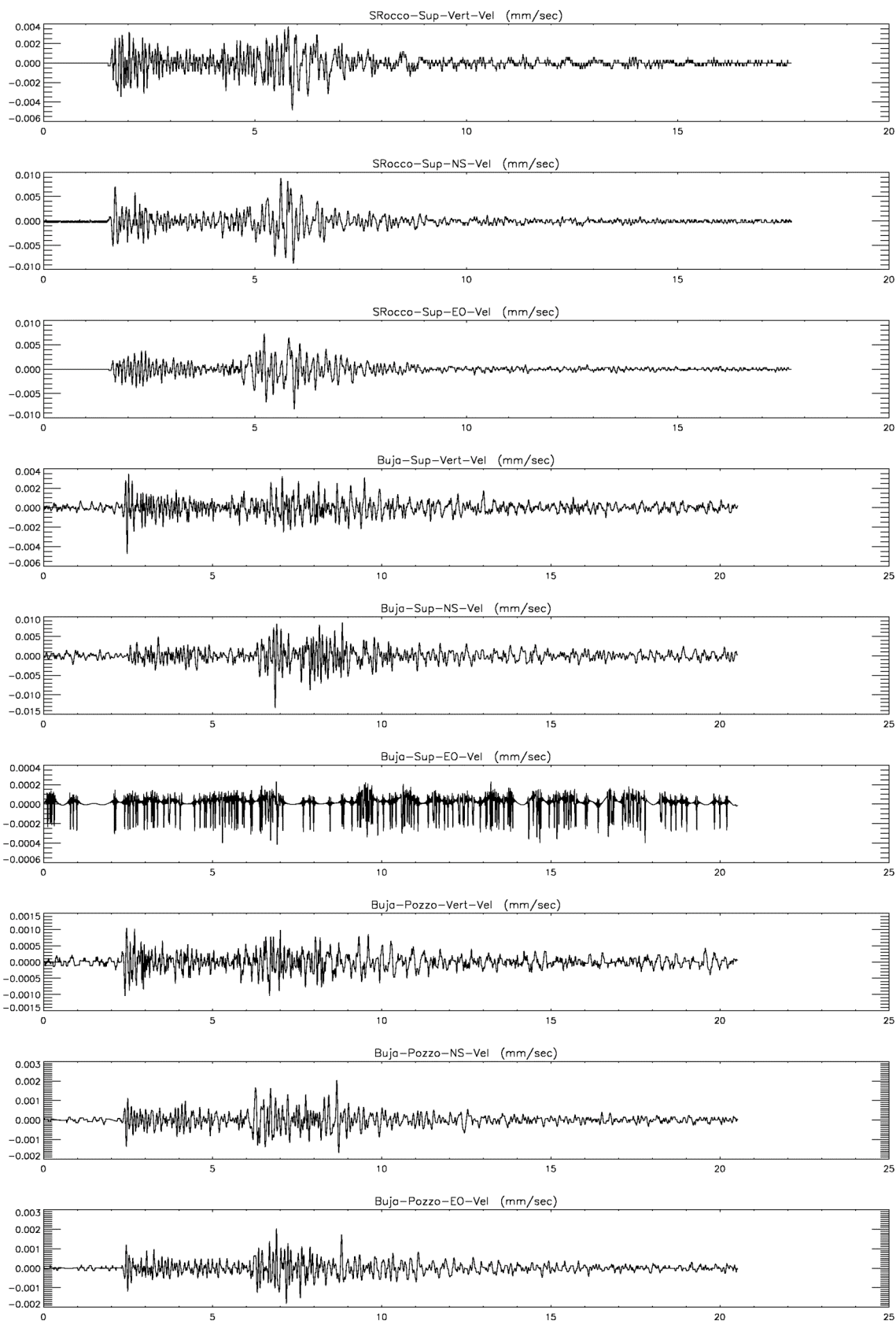
14 luglio 1997	04:24	46.381	13.000	Tolmezzo	Md 3.4 [GNDT]
----------------	-------	--------	--------	----------	---------------



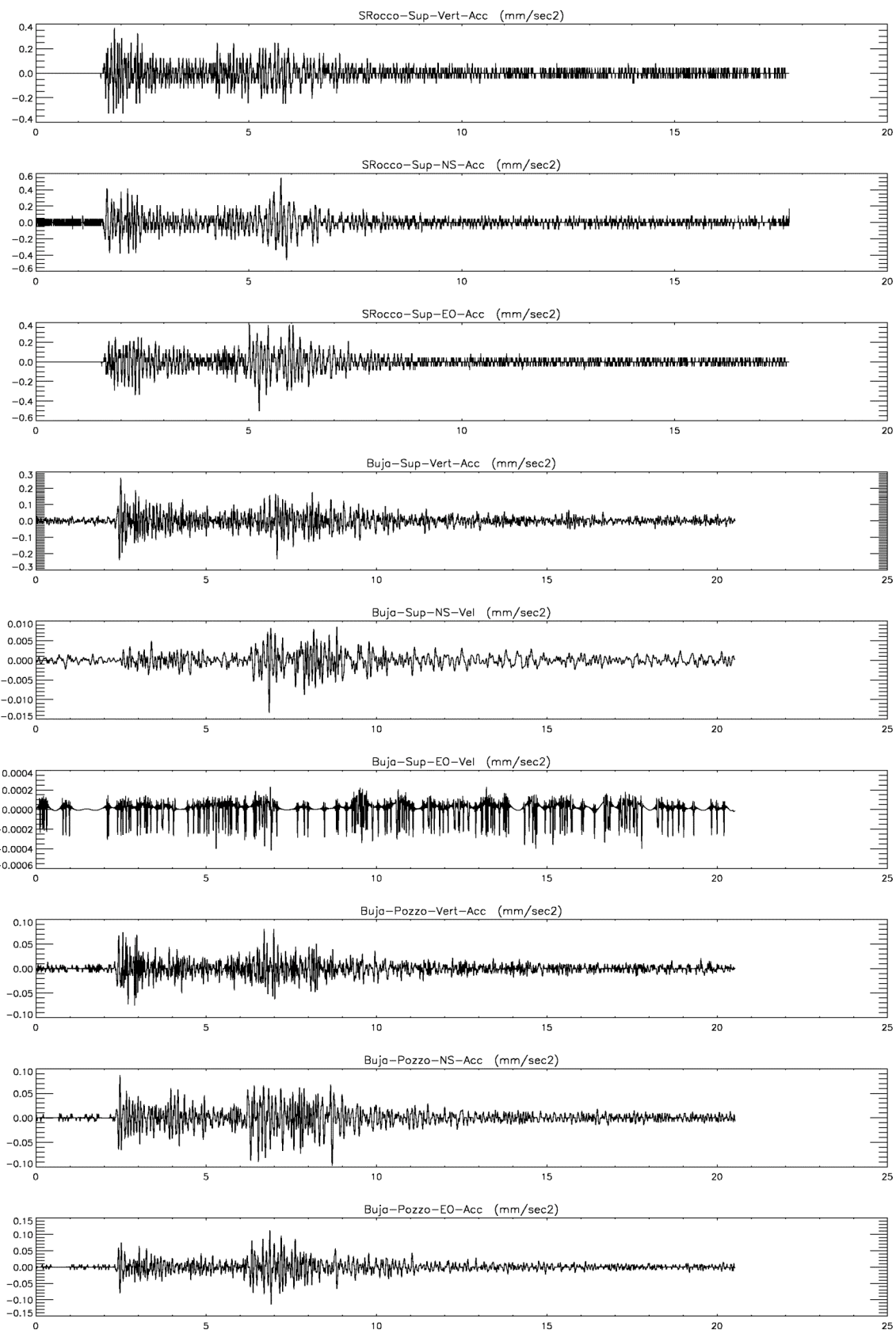




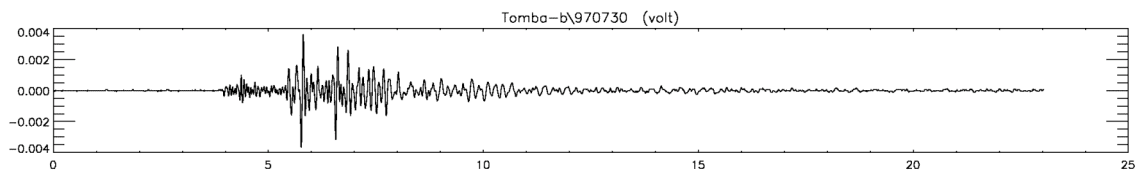
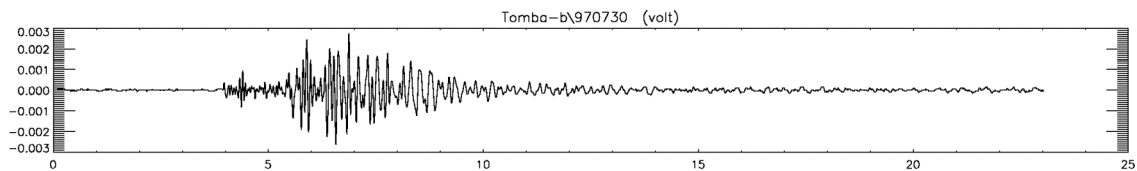
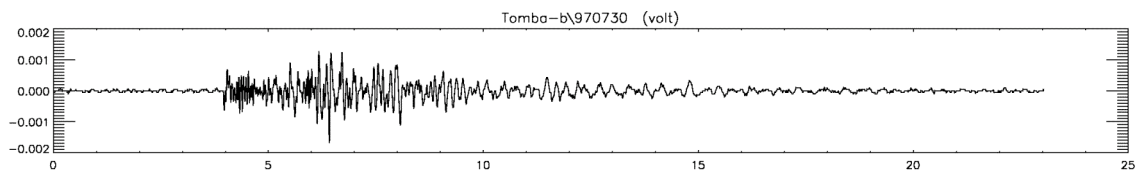
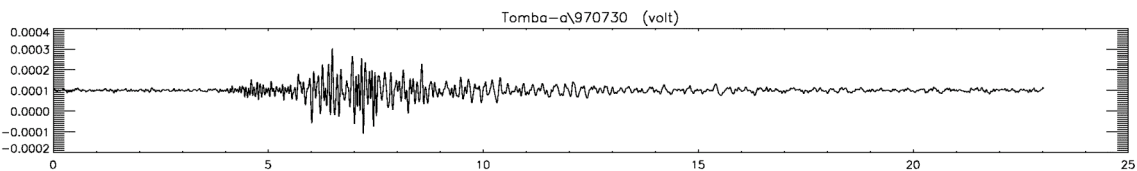
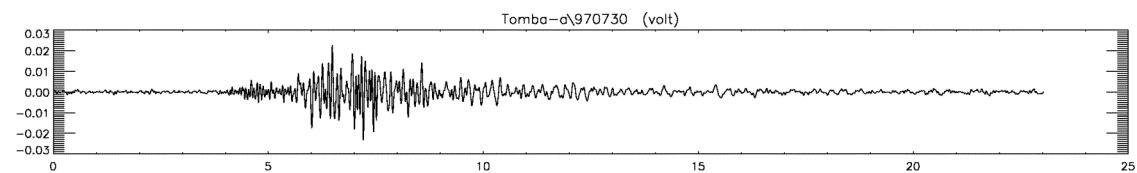
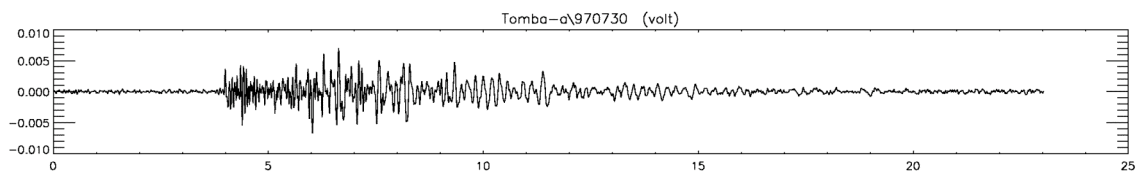
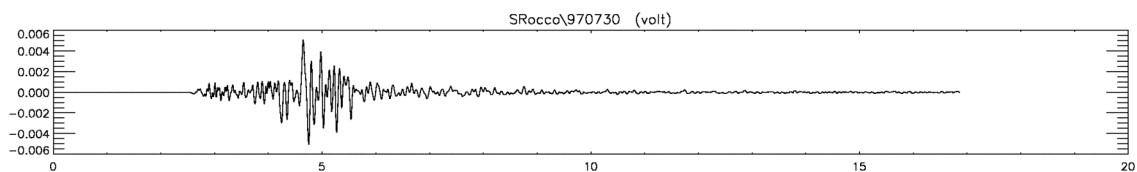
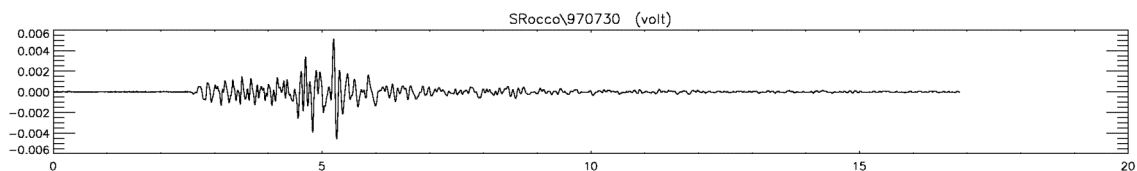
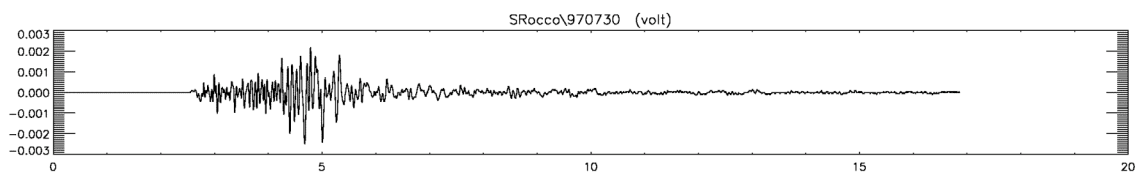
27 luglio 1997	13:06	46.364	12.915	Villa Santina	Md 2.7 [GNDT]
----------------	-------	--------	--------	---------------	---------------

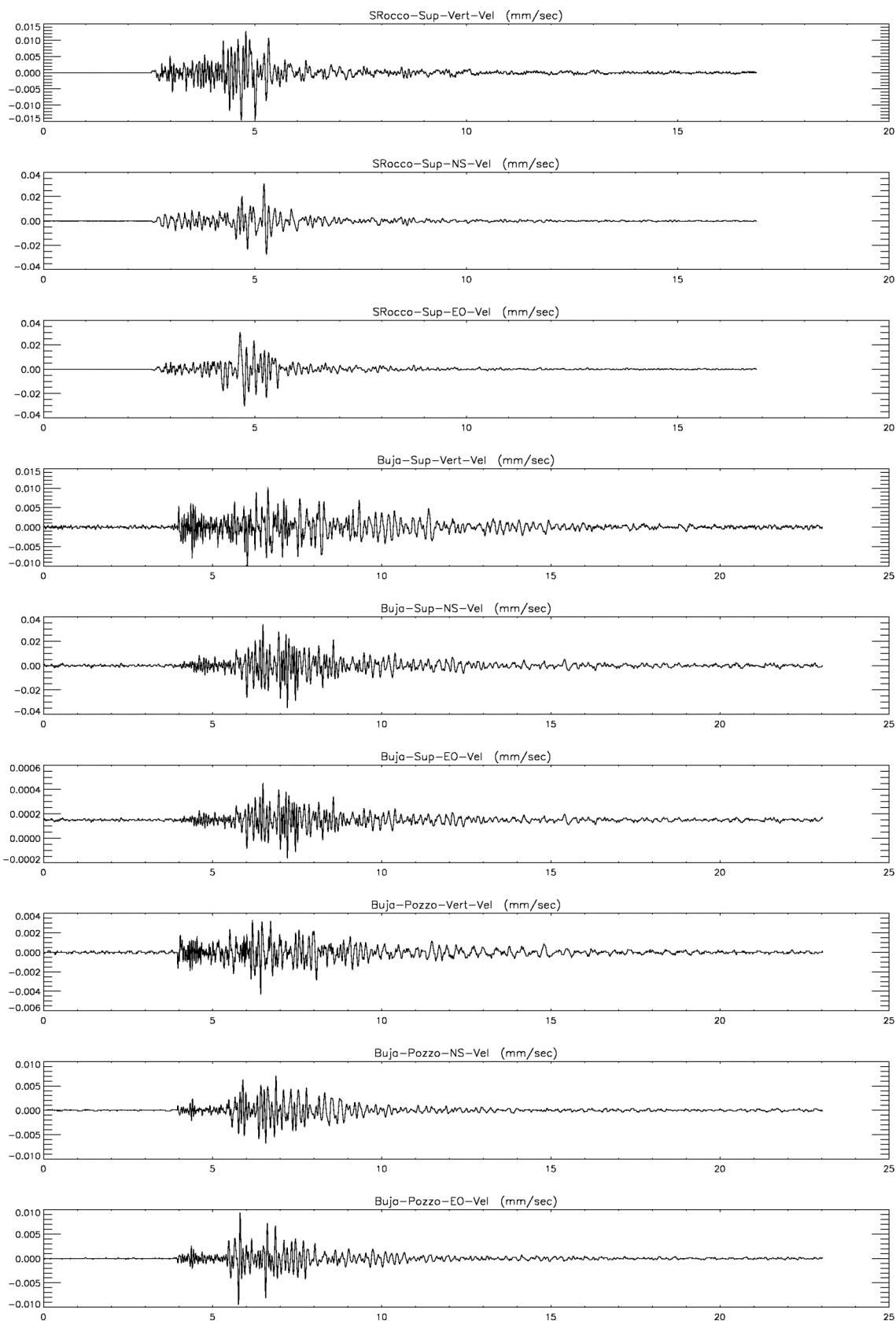


27 luglio 1997	13:06	46.364	12.915	Villa Santina	Md 2.7 [GNDT]
----------------	-------	--------	--------	---------------	---------------

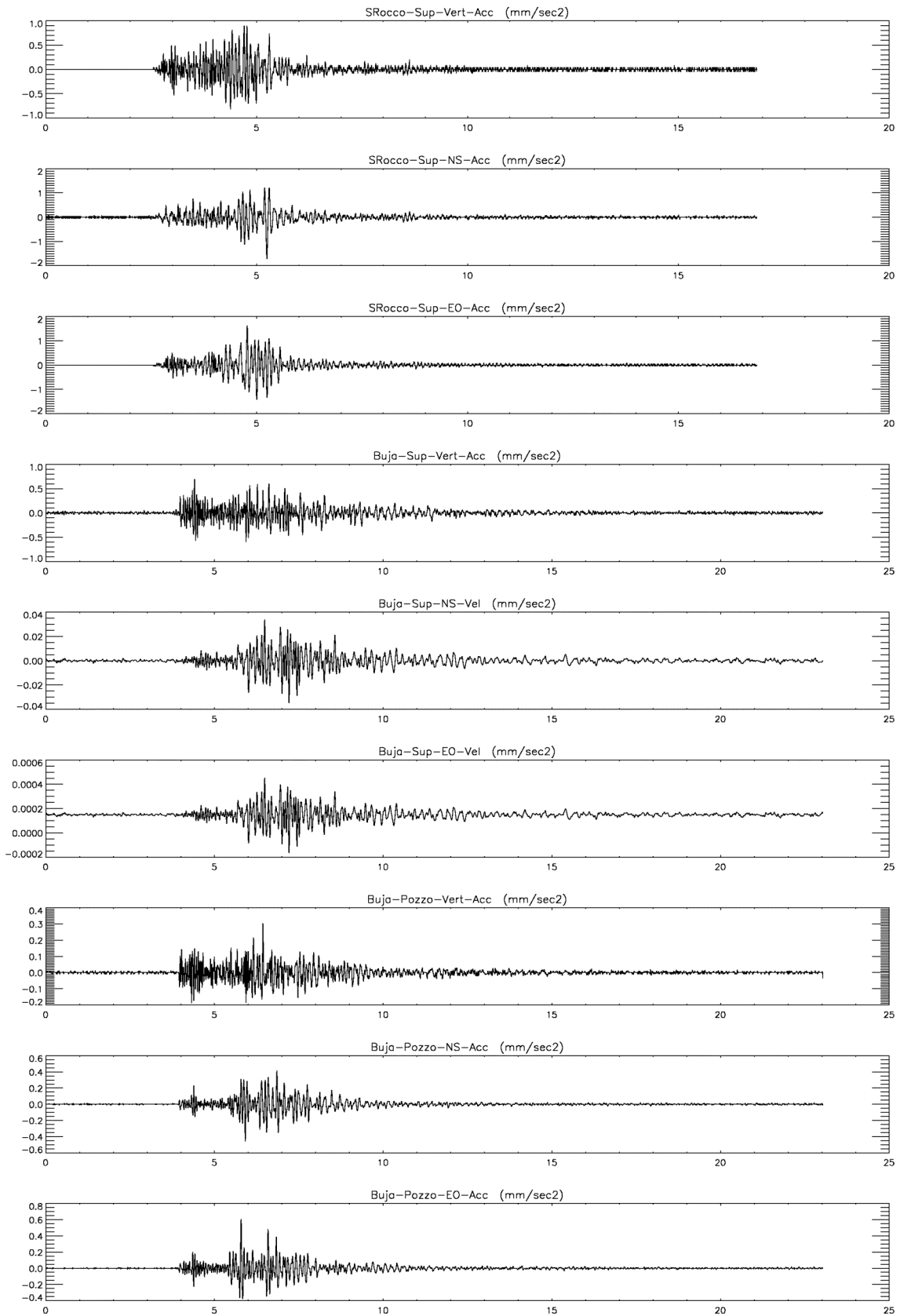


27 luglio 1997	13:06	46.364	12.915	Villa Santina	Md 2.7 [GNDT]
----------------	-------	--------	--------	---------------	---------------

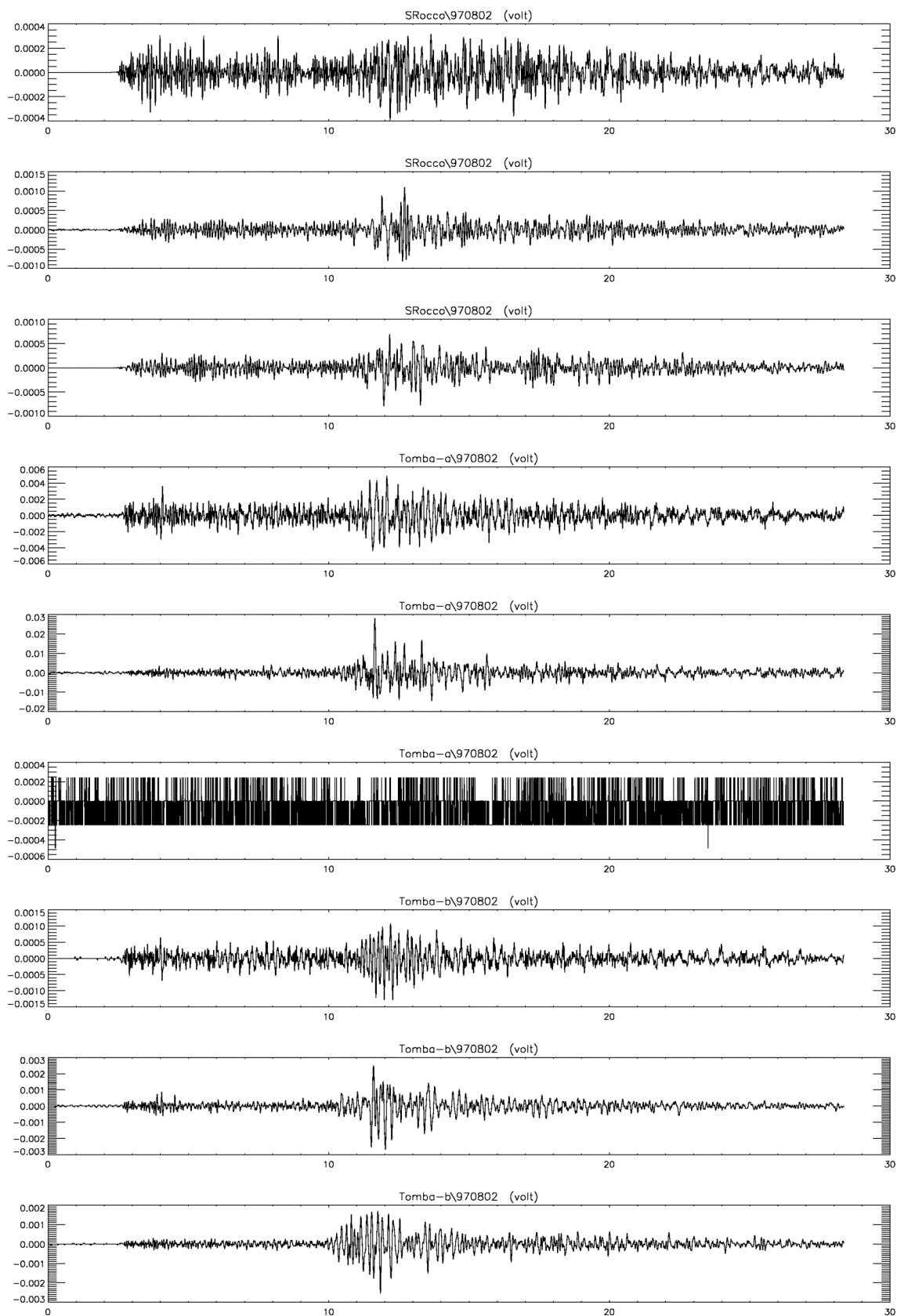




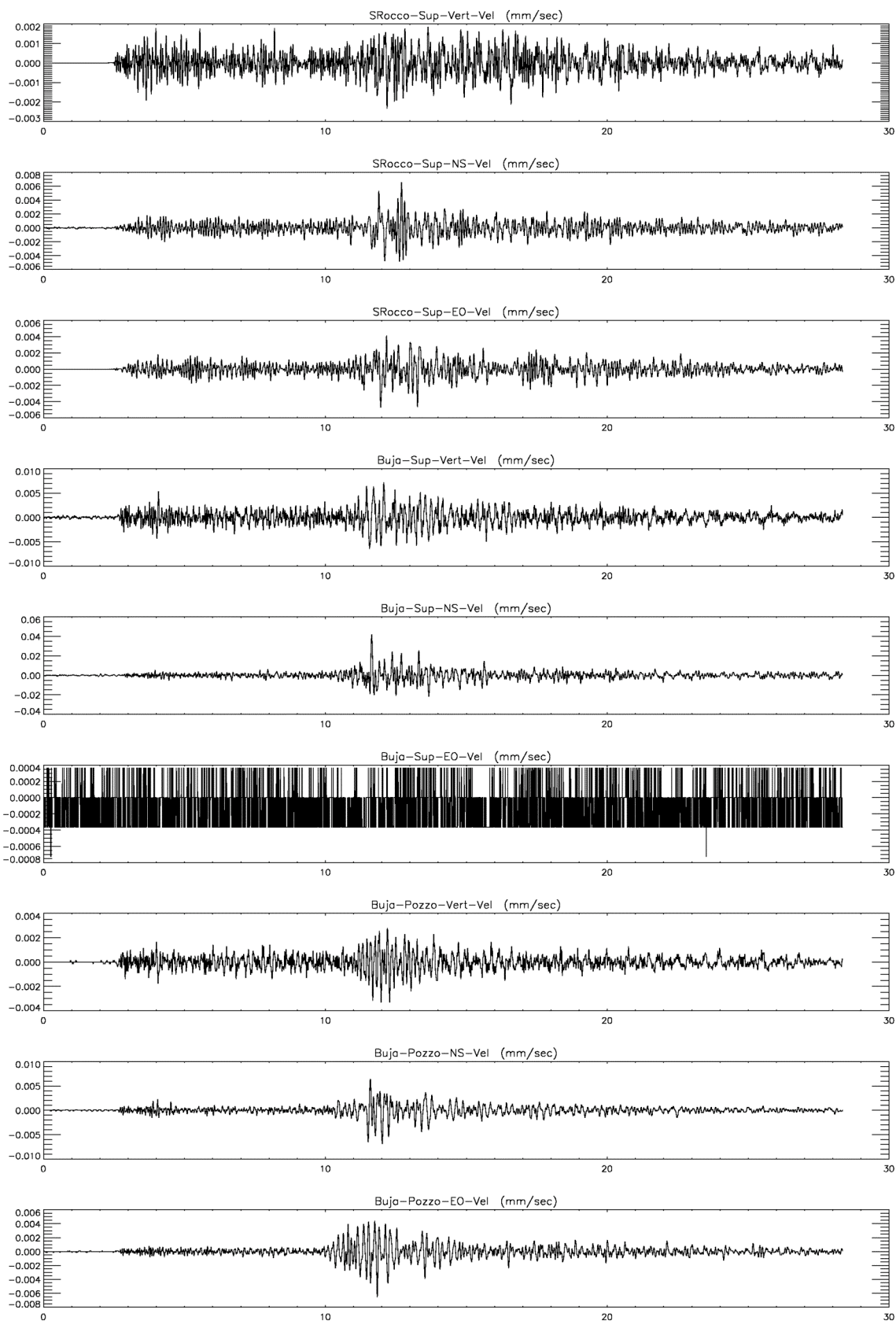
30 luglio 1997	21:57	46.271	13.039	Trasagis	Md 2.5 [GNDT]
----------------	-------	--------	--------	----------	---------------



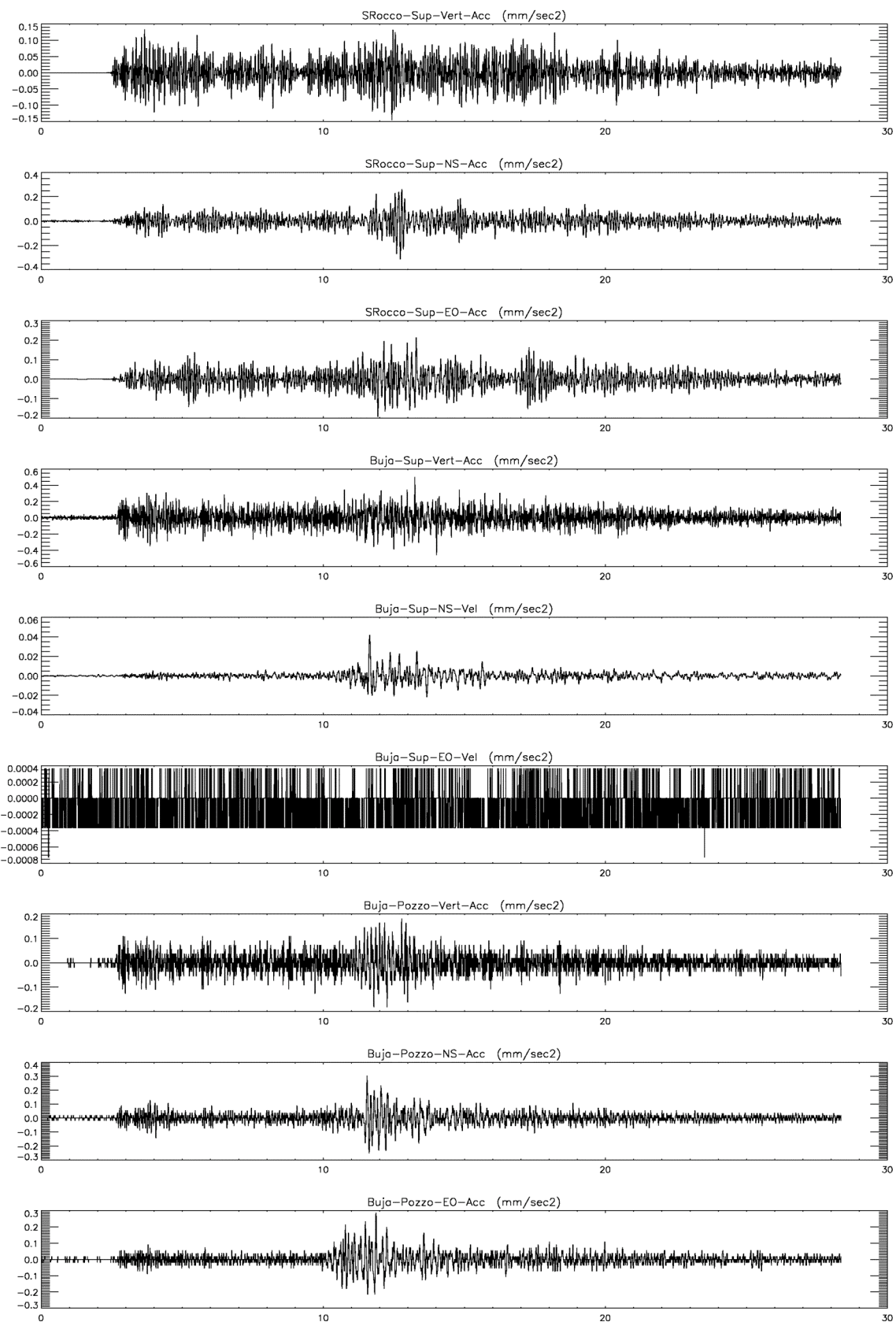
30 luglio 1997	21:57	46.271	13.039	Trasagis	Md 2.5 [GNDT]
----------------	-------	--------	--------	----------	---------------



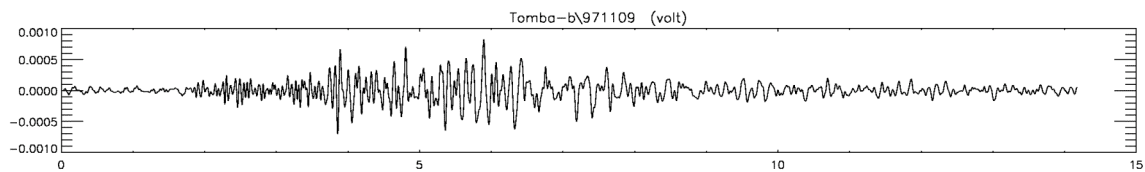
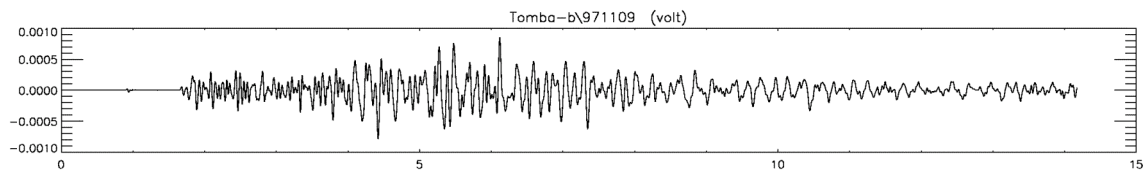
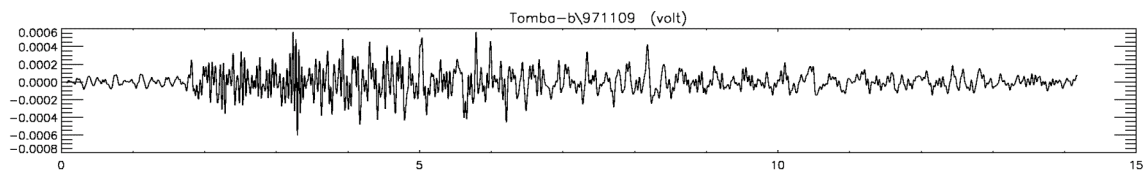
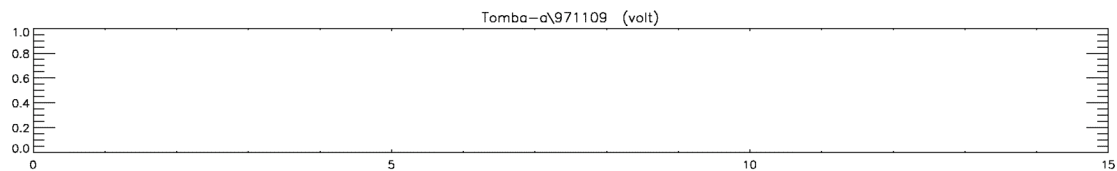
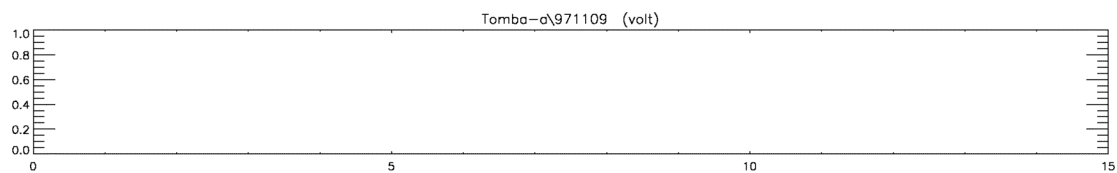
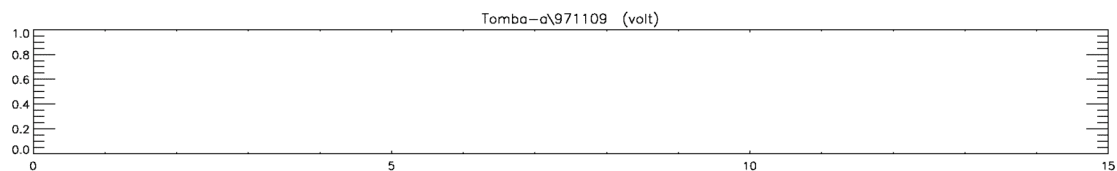
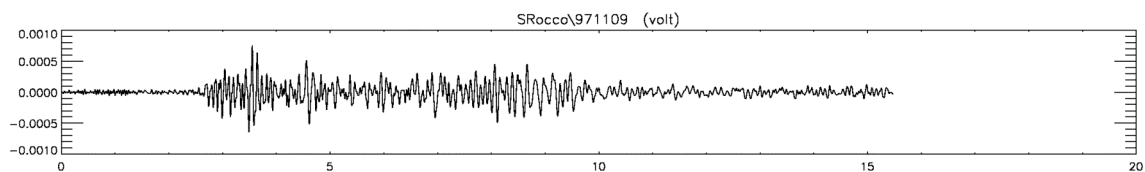
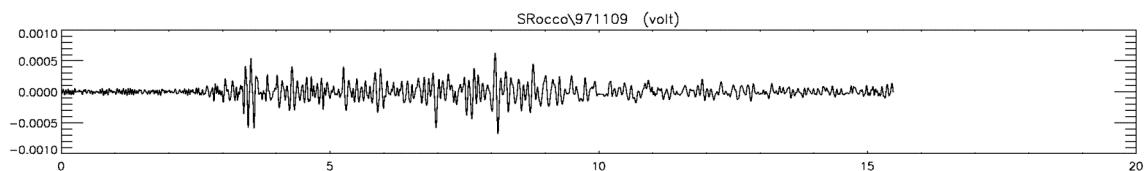
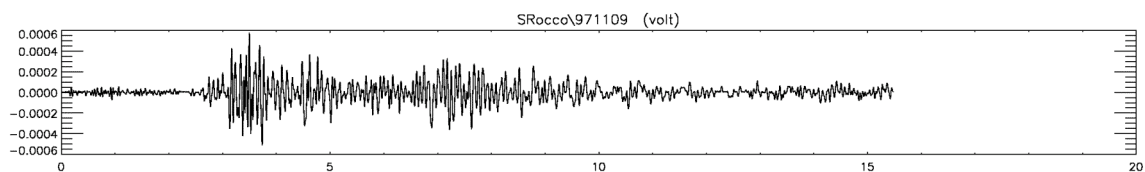
02 agosto 1997	04:49	46.098	13.688	Stregna	Md 3.2 [GNDT]
----------------	-------	--------	--------	---------	---------------



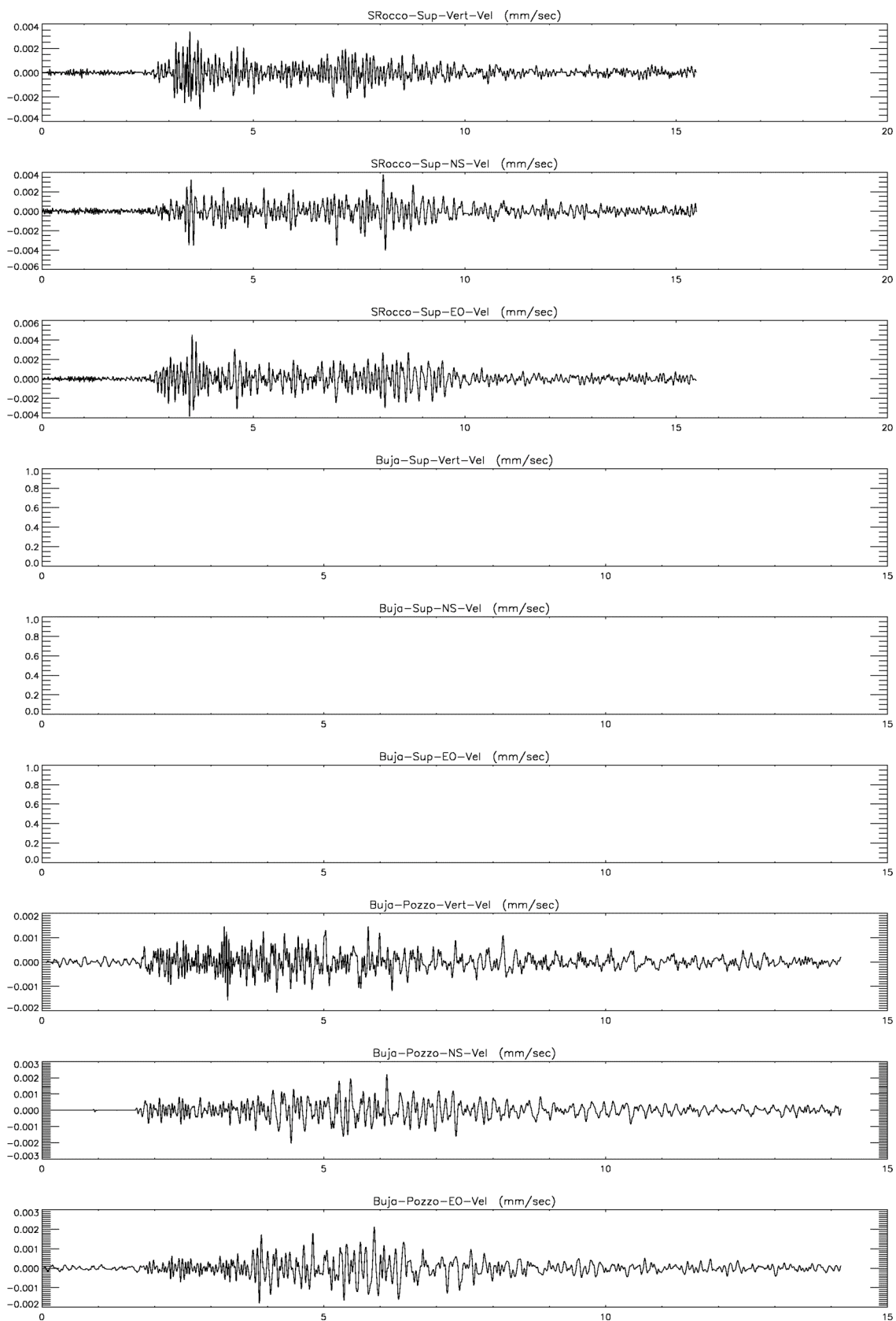
02 agosto 1997	04:49	46.098	13.688	Stregna	Md 3.2 [GNDT]
----------------	-------	--------	--------	---------	---------------



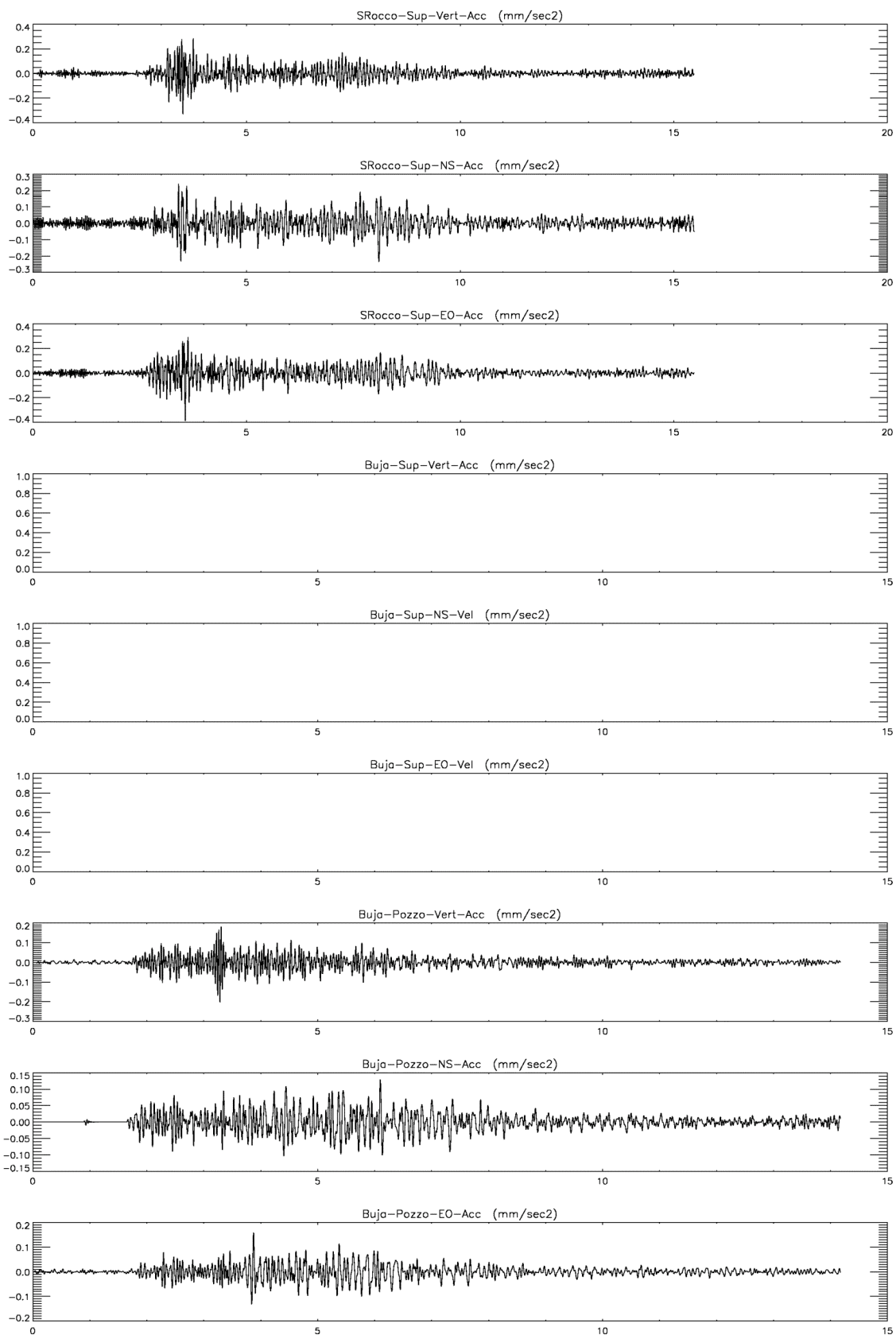
02 agosto 1997	04:49	46.098	13.688	Stregna	Md 3.2 [GNDT]
----------------	-------	--------	--------	---------	---------------



09 novembre 1997	09:58	46.150	13.132	Lusevera	Md 2.4 [OGS]
------------------	-------	--------	--------	----------	--------------



09 novembre 1997	09:58	46.150	13.132	Lusevera	Md 2.4 [OGS]
------------------	-------	--------	--------	----------	--------------



09 novembre 1997	09:58	46.150	13.132	Lusevera	Md 2.4 [OGS]
------------------	-------	--------	--------	----------	--------------

