

theremino
•the•real•modular•in-out•

Sistema theremino

App. Theremino Geo

Scale di sensibilità per accelerometri MEMS e Geofoni

Acceleration		magnit. Richter	ADC 24 bit	Theremino		MMA7631 8 Euro	LIS344ALH 12 Euro	Geophone GeoSpace LP 4.5 Hz	Event type
G or Volt	uG or uV			ADC 16 bit	0 to 1000				
33	-	9							
10	-	8							
3.300	-	7	16 M	65000	1000	Max	Max	Max	
1.000	-	6	5 M	22000	330.0				Strong mot. max
0.330	-	5	1.6 M	6500	100.0				
0.100	-	4	500000	2200	33.00				
0.033	-	3	160000	650	10.00				
0.010	-	2	50000	220	3.300				
0.0033	3300	1	16000	65	1.000	Min			
0.0010	1000	0	5000	22	0.330	Noise			Strong mot. min
-	330	-1	1600	6	0.100		Min		Tremors max
-	100	-2	500	2	0.033		Noise		Tremors normal
-	33	-3	160						
-	10	-4	50						Tremors min
-	3.3	-5	16						
-	1	-6	5					Min	
	0.33	-7	1.6					Noise	Tremors noise

Le colonne con dati "G", "Richter" e "Event Type" presuppongono che il rapporto tra Volt e accelerazione sia approssimativamente 1 Volt per ogni G

In giallo la dinamica approssimativa degli ADC del sistema Theremino che non sono veri ADC a 16 bit ma solo dei 12 .. 14 bit a seconda della banda passante. (arriverebbero a 16 bit limitando la banda passante a circa 2 Hz, ma sarebbe troppo poca per queste applicazioni)

Nelle ultime due righe "noise" si riferisce a un LMC6482 (1 uV p.p.) e a un MAX4477 (0.13 uV p.p.)

Attività definite "strong motion"

- Range variabile tra 0.001 G e 1 G
- Gran parte della energia tra 0.05 Hz e 25 Hz

Per i "Tremori" si devono considerare i valori seguenti:

- Passaggio veicoli: 500 uG
- Normali tremori: 100 uG
- Rumore max.: 10 uG
- Banda passante tra 1 Hz e 200 Hz

Operazionali adatti per amplificare i Geofoni

Device	Noise (1) (nV/sqHz)		Noise (1) 0.1to10Hz (V p. p.)	Input bias current	Input offset voltage	Supply 3.3 Volt	Notes	Euro (approx)
	10Hz	1KHz						
MAX4477		4.5	0.26 uV	1 pA	350 uV	YES	Differential - Rail to Rail	2 (soic)
LT6014		9.5	0.20 uV	100 pA	50 uV	YES	Differential - Rail to Rail	3 (soic)
LT1368	30	29	0.40 uV	20 nA	150 uV	YES	Differential - Rail to Rail	8
TS922	28	9	0.5 uV ?	50 nA	2 mV	YES	Differential - Rail to Rail	1.5
MCP6022	60	8.7	2.9 uV	100 pA	1 mV	YES	Differential - Rail to Rail	1.5
LMC6482	200	45	2 uV	20 fA	2 mV	YES	Differential - Rail to Rail	1.5
INA122	110	60	2 uV	40 nA	250 uV	YES	Instrumentation	8

(1) Noise con alimentazione a 3.3 Volt e ingressi a 1.65 Volt

The LT6014C are guaranteed to meet the specified performance from 0°C to 70°C and are designed, characterized and expected to meet specified performance from -40°C to 85°C but is not tested or QA sampled at these temperatures. The LT6014I are guaranteed to meet specified performance from -40°C to 85°C.

LMAX4477ASA+	Farnell 1550527	2 x 2.69 Euro
LT6014CS8#PBF	Farnell 1330748	10 x 2.70 Euro
LT6014IS8#PBF	Farnell 1663584	10 x 2.69 Euro (non disponibile)

Amplificatori per strumentazione o differenziali

Tra gli amplificatori per strumentazione gli unici adatti sono AD622, INA128 e INA125 ma tutti e tre hanno difetti che li rendono molto scomodi da usare. Non si possono alimentare con 3.3 Volt. Anche se apparentemente l'INA125 potrebbe lavorare a 3.3 Volt la sua escursione di uscita sarebbe solo di un volt perché non è un Rail-To-Rail. Inoltre lo INA125 è molto grande (16 pin).

L'INA122 potrebbe funzionare a 3.3 Volt ma ha un rumore molto alto. E infine gli amplificatori per strumentazione costano molto.

Dato che non si deve amplificare la continua e non avendo necessità di una alta reiezione al modo comune è meglio usare operazionali differenziali classici (non da strumentazione).

Amplificatori selezionati

Le caratteristiche cui fare attenzione sono un basso rumore di tensione e l'uscita Rail to Rail.

I migliori appaiono lo LMC6482, lo MCP6022 (DIL e SOIC) o con rumore ancora minore, LT6014 e MAX4477 (solo SOIC)

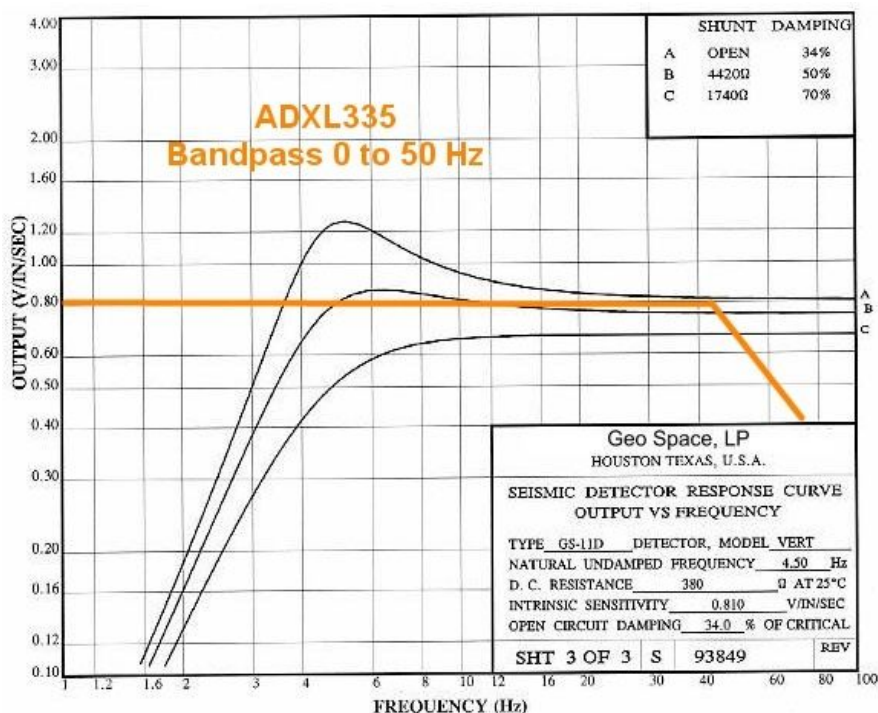
Attenzione ai TS922 e LT1368 che hanno una corrente di Bias molto alta per cui vanno provati.

In ogni caso vanno tutti provati in pratica prima di scegliere il migliore.

Banda passante dei MEMS e dei geofoni

Una comparazione alla buona fa vedere che nella zona di interesse per la sismografia (da 1 Hz a 30 Hz) la banda passante dei sensori ADXL335 è molto migliore di quella dei geofoni.

Inoltre per fornire i tre segnali ortogonali di uscita dello ADXL335 ci vorrebbero tre geofoni con un costo totale anche 100 volte maggiore



La banda passante di un ADXL335 si estende dalla continua (0 Hz) fino a 550 Hz sostituendo i condensatori. Con i condensatori standard da 100 nF la banda passante è 50 Hz, ottima per l'uso sismometrico, con 10 nF diventa circa 500 Hz, con 220 nF diventa 20 Hz.

I MEMS hanno un livello di rumore circa 300 volte (50 dB) maggiore dei geofoni per cui si possono usare solo per applicazioni "strong motion" e "active seismic".

I MEMS misurano l'accelerazione e normalmente danno circa 1 Volt per ogni G (9.8 m/s/s)

I geofoni misurano la velocità e normalmente danno circa 30 Volt per m/s (da 28 a 200 V/m/s)

La banda passante di interesse va nella maggioranza dei casi da 0.5 Hz a 100 Hz (0.5 a 50)

Risoluzione spaziale a seconda della banda passante.

50 / Hz = metri di risoluzione

50 / 20 Hz = 2.5 metri

50 / 50 Hz = 1 metri

Dimensione dello spazio interno ai geofoni

Ovale 45 mm 60 mm - buchi 20 mm 45 mm

Diametro geofoni 25 mm

Informazioni sui geofoni

Un geofono di buone caratteristiche dal costo ragionevole (circa 30 Euro) è il PS-4.5B di Sunfull (<http://www.sunfull.com>)

Il PS-4.5B ha un diametro di 3,2 cm

Main Specifications(20°C)

Parameter\Mode	PS-4.5B	PS-10B	PS-14B	PS-28B	PS-35B	PS-40B	PS-60A	PS-100A
Natural Frequency	4.5±10%	10±5%	14±5%	28±5%	35±5%	40±5%	60±5%	100±5%
Coil Resistance	375±5%	375±5%	375±5%	390±5%	560±5%	548±5%	940±5%	1084±5%
Sensitivity	28.8±5%	28.8±5%	28.8±5%	30.0±5%	32.5±5%	32.5±5%	55±5%	39±5%
Sensitivity With Shunt Resistor		22.8±5%	18.2±5%	28.5±5%				
Damping	0.60±5%	0.271±5%	0.20±5%	0.60±5%	0.60±5%	0.615±5%	0.65±5%	0.42±5%
Damping With Shunt Resistor		0.60±5%	0.60±5%	0.632±5%				
Distortion	≤0.2	≤0.2	≤0.2	≤0.2	≤0.2	≤0.2	≤0.2	≤0.2
Max.Motion	4	2	2	1.8	1.8	1.8	1	1
Moving Mass	11.3	11.3	11.3	10.1	9.3	9.3	11.5	7.6
Dimensions	25.4×36	25.4×32	25.4×32	25.4×32	25.4×32	25.4×32	27.5×34	27.5×34
Temperature Range	-40--+70	-40--+70	-40--+70	-40--+70	-40--+70	-40--+70	-40--+70	-40--+70
Warranty Period	3	3	3	3	3	3	3	3
Case Type	VM Underwater Case; VM Marsh Case; VS Well Case; VHL Land 3Component Case; VLM Land and Underwater Case;							

Con i nostri sistemi l'impedenza importa poco, per due motivi:

- il nostro ingresso è ad altissima impedenza e accetta tutto
- usiamo fili cortissimi che non captano disturbi

Dato che non abbiamo il problema dei fili lunghi nel nostro caso sarebbe molto meglio usare geofoni con impedenza molto alta (se si trovano)

Se, ad esempio, invece dei soliti 350 ohm fossero da 3500 ohm guadagneremmo ben 20 dB di rumore a parità di amplificatore operazionale usato. Sarebbe quindi possibile usare anche operazionali peggiori e ottenere lo stesso un rumore molto basso.

Quindi sempre meglio scegliere geofoni con la impedenza più alta possibile

Concorrenti

tromino

cavi

Test dei sensori

Valori rilevati da un accelerometro ADXL335

	Asse X	Asse Y	Asse Z
Massimo (1G)	593.8	598.5	604.7
Centro (0G)	492.0	497.5	505.8
Minimo (-1G)	391.2	396.6	406.9
Punti per G	101.3	100.9	98.9
Rumore picco-picco con banda passante 50Hz	0.60	0.50	0.80
Rumore picco-picco con banda passante 1Hz	0.03	0.03	0.05

I valori sono nello standard thereminico (da 0 a 1000)

I test effettuati su tre ADXL335 hanno dato risultati molto simili tra loro.

Pertanto il sensore appare quasi perfettamente tarato. Sono 100 punti thereminici per G con precisione migliore del +/- 2%

Una precisione migliore del 5% potrebbe essere sufficiente per un sismografo ma aggiungeremo comunque una taratura fine nel programma Theremino_Geo.

Considerando che si tratta di valori picco-picco il rumore RMS e' anche inferiore a quello dichiarato nel data-sheet quindi l'alimentazione è a posto e non contribuisce al rumore. Dato che il segnale utile sarà la somma geometrica dei tre assi mentre il rumore si somma in misura inferiore direi, come prima approssimazione, di usare i valori dei data-sheet per gli assi X e Y in tutte le stime.

Caratteristiche di rumore degli accelerometri MEMS

Per le caratteristiche consultare questa pagina:

<http://www.theremino.com/hardware/inputs/accelerometers>

Un contenitore per il sensore del sismografo

Qui si vede come montare il sensore in un contenitore a basso costo (circa 1 Euro) della Polycase (spediscono velocemente e costano poco)

Il modello usato è un TF-2309TX: <http://www.polycase.com/tf-2309tx> ma ci sono molti modelli, anche più piccoli.

Il fondo chiude bene e i due fori sono utili per fissarlo al terreno. I cinque fili arancioni sono in silicone molto morbido e servono per disaccoppiare meccanicamente il sensore. Il sensore è incollato in modo non rigido con pattafix, tutto il resto con colla a caldo.

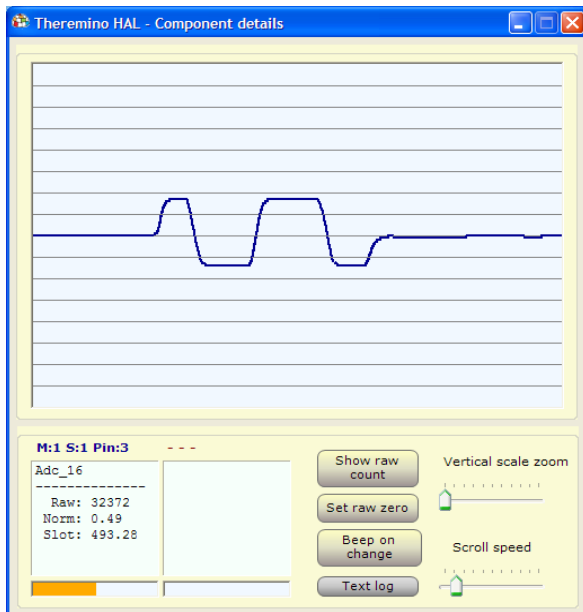


Prime prove

Sensore collegato a tre ingressi Adc16 di un Theremino Master.

La banda passante non e' limitata in basso ma si estende fino a zero, per cui se si ribalta il sensore il conteggio passa da 400 a 600 e poi sta fermo a 600 (circa) se lo si ribalta nuovamente torna a 400 e poi sta fermo a 400 (circa)

In assenza di accelerazioni la tensione è quasi esattamente metà della alimentazione per cui il valore (in standard thereminico 0..1000), su tutti e tre gli assi, è: 500 ± 5



Questa immagine mostra sei fasi:

- 1) su un fianco
- 2) girato sottosopra
- 3) girato dritto
- 4) girato sottosopra
- 5) girato dritto
- 6) tenuto a mano su un fianco (non perfettamente fermo perché lo tenavamo in mano)

Data la banda passante fino a zero diventa facilissimo tarare con il +1G / -1G fornito gratuitamente dalla terra!

Per un ulteriore caso fortunato dovuto alla nostra alimentazione a 3.3 Volt e alla scelta di avere uno standard thereminico da 0 a 1000, una accelerazione di 1G corrisponde quasi esattamente a 100 punti, facilitando quindi tutti i conti "a mente"

La banda passante praticamente piatta da 0 Hz fino a 50 Hz è quanto di meglio si può desiderare per un sismografo.

Costruire noi il sensore completo ?

Dato che comprandolo da Robot Italy costa molto e che il chip invece costa molto meno, se ci saranno molte richieste si potrebbe pensare di fare noi uno stampato e comprendere anche il regolatore a 3.3 Volt vicino al sensore con tre vantaggi:

- eliminazione completa del rumore di alimentazione
- possibilità di alimentarlo da 3.9 fino a 6.5 Volt e quindi meno rischi di errori
- compatibilità con le connessioni dei pin theremino-standard (GND / 5 Volt / Signal)

Considerazioni varie sui MEMS

Utilizzare accelerometri e, mediante operazioni di integrazione, ricavare le misure delle velocità e degli spostamenti.

Il segnale è meno bello di quello generato dai geofoni in quanto l'accelerazione è la derivata della velocità data dai geofoni.

Integrando il segnale si può ottenere un buon segnale come quello ottenuto da un velocimetro.

Gli **accelerometri per misure di accelerazione statica** sono in grado di rilevare dalle accelerazioni continue e statiche (grandezza d'ingresso con frequenza a 0 Hz) fino ad accelerazioni che variano con frequenze basse (normalmente fino a 500 Hz). Questa caratteristica è tipica degli accelerometri realizzati con il principio estensimetrico, LVDT o capacitivi. Esempi d'applicazione per questi strumenti sono misure d'accelerazione gravitazionale, d'accelerazione centrifuga, di un veicolo in movimento, nella guida inerziale.

Gli **accelerometri per misure di accelerazione dinamica** sono dei dispositivi che non sono in grado di rilevare accelerazioni statiche (ad esempio l'accelerazione gravitazionale), ma sono in grado di rilevare le accelerazioni che variano nel tempo, ad esempio quelle generate da oggetti che vibrano o quelle che si generano negli urti. La banda passante di questi strumenti può andare da qualche Hz a 50 kHz. Tipici accelerometri di questo tipo sono quelli realizzati con tecnologia piezoelettrica.

Aspetti tecnici preliminari

Il sistema Theremino prevede sempre la presenza di un PC (o un eeeBox) in modo da poter disporre di tutta la potenza di calcolo e la facilità di gestione di un vero sistema operativo, scrivere velocemente applicazioni per il filtraggio e la visualizzazione dei dati, inviare i dati via Internet ed eventualmente anche poter gestire da lontano il tutto.

Anche il Theremino_Master (così come Arduino) può essere programmato per un funzionamento stand-alone, come si legge nel secondo e terzo capitolo della pagina: <http://www.theremino.com/introduction>

Ma la programmazione di un firmware adeguato potrebbe richiedere mesi e le possibilità di effettuare filtraggi efficaci sarebbero molto ridotte a causa della limitata potenza di calcolo a disposizione.

Buffer circolare

Il buffer circolare è un metodo per memorizzare di continuo i dati e contemporaneamente eliminare i più antichi. In pratica ogni volta che si aggiunge un dato in testa si toglie un dato vecchio dato in coda.

I file (campionando a 100 Hz) dovrebbero essere lunghi dai 100 ai 500 Mega al giorno, a seconda di come preferiremo scrivere le informazioni, per cui in un mese si occuperanno dai 3 ai 15 GigaByte

Infine, in caso di eventi significativi, l'utente dovrebbe poter decidere di conservare un giorno o un gruppo di giorni spostandoli fuori dalla zona che viene cancellata automaticamente.

Analisi per il programma ThereminoGeo

Assi X, Y e Z

- Campionamento a 100 Hz
- Ricostruzione dello zero con un filtro FIR a circa 0.01 Hz (100 secondi)
- Limitazione della banda passante con filtro IIR da 20 campioni ($100 / 20 = 5$ Hz)
- Nessuna integrazione per ottenere la accelerazione in "m/s/s" (metri al secondo per secondo)
- Opzionale - Integrazione con filtro FIR 1/100 per ottenere la velocita' in "m/s" (metri al secondo)
- Opzionale - Seconda integrazione con filtro FIR 1/100 per ottenere lo spostamento in "m" (metri)

Quarto asse (modulo)

- Ricostruzione del modulo del movimento a partire dai 3 assi - $\text{Modulo} = \text{Sqr} (X * X + Y * Y + Z * Z)$
- Calcolo dei parametri STA e LTA per il trigger degli eventi.

- Visualizzazione

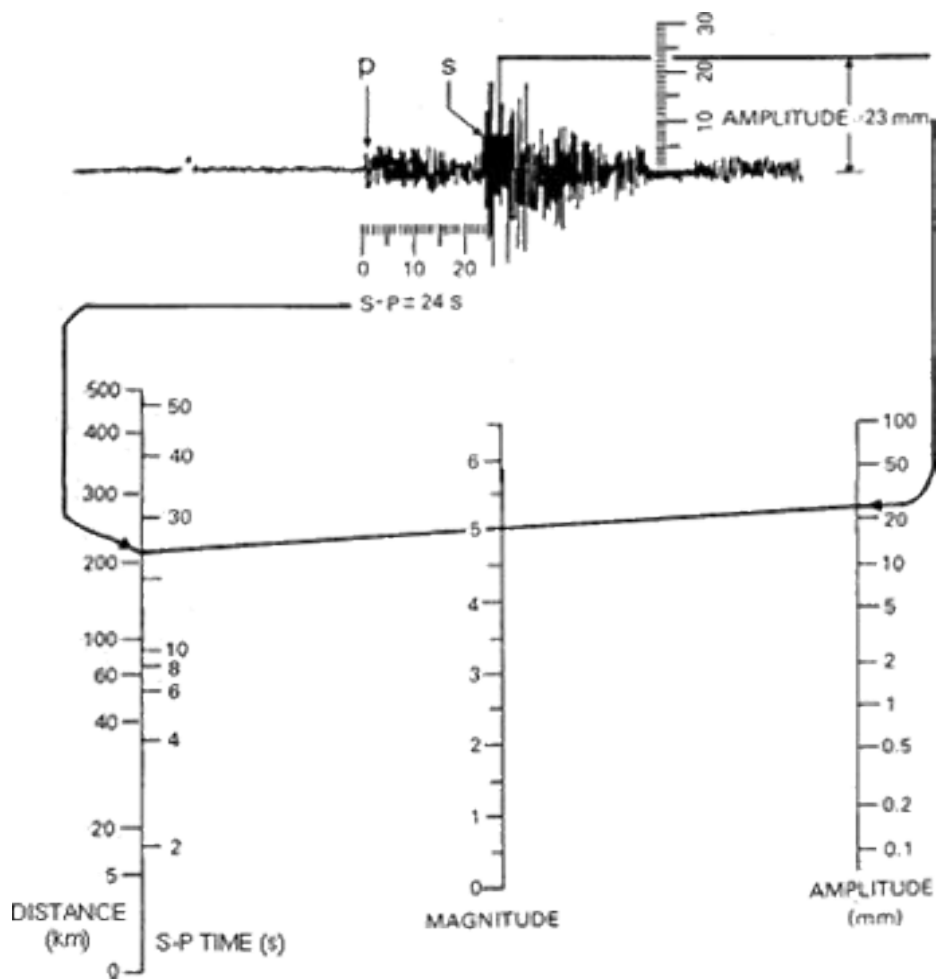
- Memorizzazione in buffer circolare e visualizzazione continua con Helicord zoommabile

Magnitude empirical formulae

http://en.wikipedia.org/wiki/Richter_magnitude_scale

MS	Earthquakes per year
8.5 - 8.9	0.3
8.0 - 8.4	1.1
7.5 - 7.9	3.1
7.0 - 7.4	15
6.5 - 6.9	56
6.0 - 6.4	210

This table is based on data for a recent 47 year period. Perhaps the rates of earthquake occurrence are highly variable and some other time period could give quite different results.

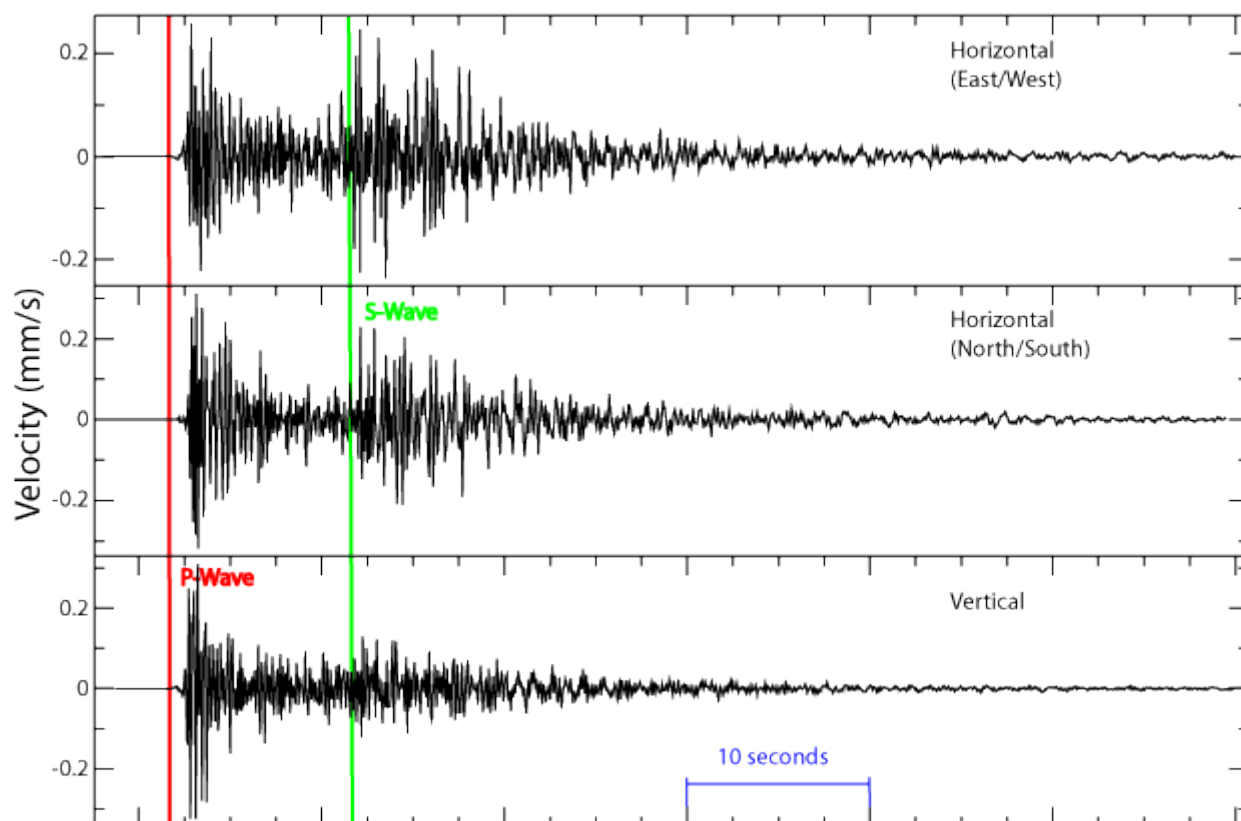


Velocità delle onde sismiche

Le Onde P sono onde compressionali, dette anche onde longitudinali o onde primarie. Queste sono simili alle onde acustiche e corrispondono a compressioni e rarefazioni del mezzo in cui viaggiano; al loro passaggio le particelle del materiale attraversato compiono un moto oscillatorio nella direzione di propagazione dell'onda. Sono le più veloci, fra le onde generate da un terremoto, e dunque le prime avvertite ad una stazione sismica, da cui il nome di Onda P (Primaria). La velocità dell'onda è determinata dall'equazione:

Le Onde S o onde trasversali sono onde che provocano nel materiale attraversato oscillazioni perpendicolari alla loro direzione di propagazione. Si può immaginare come le onde che si propagano lungo una corda di lunghezza finita, che viene fatta oscillare muovendone le due estremità.

La velocità di propagazione di queste onde dipende sia dal tipo di onda che dal mezzo di propagazione, ma risulta comunque sempre massima per le Onde P. Ad esempio, nel granito la velocità di propagazione delle Onde P è di circa 5,5 km/s, quella delle Onde S è 3,0 km/s, mentre nell'acqua la velocità delle onde P è circa di 1,5 km/s. Le onde S, come abbiamo già visto non si possono invece propagare nei mezzi fluidi.



Files PSN

Una volta individuato l'evento lo si salva a partire da qualche minuto prima dell'onda "P" fino alla fine dell'evento (da qualche minuto a circa mezz'ora di durata totale)

I parametri che si devono scrivere nei file PSN sono i seguenti:

```
HeaderID PSNTYPE4
VarHdrLen 365
StartDate 2012/5/29
StartTime 7:10:13
StartNanoSec 0
StartTimeOfs 0
SampleRate 5
SampleCount 13500
Flags 0
TimeRefType GPS
TimRefStatus L
SampleType 2
SampleComp 0
CompIncident 0
CompAzimuth 0
CompOrient Z
SensorType 3
Latitude 38,001
Longitude -87,5146
Elevation 166
Name TD4
CompName BHZ
Network PSN
Sensitivity 0
MagnitCorr 0
AD_Bits 16
Minimum -1,028499365
Maximum 1,043219447
Mean 0
FileCRC 20553
```

```
SensorLocString = 1      ' NULL terminated
SensorInfoString = 2     ' NULL terminated - e.g. Lehman, 4.5 hz geophone etc
CommentString = 3        ' NULL terminated
EventInfoStruct = 4      ' More then one event can be stored by saving multiple type 4 blocks
PhasePickStruct = 5      '
SampleFiltering = 6      '
DataloggerIdString = 7   '
IntSensorLocString = 8   ' International Sensor Location String stored in International Text
                          structure.
IntSensorInfoString = 9  ' International Sensor Information String stored in International Text
                          structure
IntCommentString = 10    ' International Comment String stored in International Text structure
SensorAmpToDStruct = 11  ' Sensor Output Voltage, Amplifier Gain and A/D Input Voltage information
PolesAndZeros = 12      ' Poles and Zeros informations stored in a PolesAndZeros structure
```

Il formato PSN

Formato dei files PSN

<http://www.seismicnet.com/psnformat4.html>

<http://www.seismicnet.com/info/format.txt>

Programmi per visualizzare i file PSN (per ora abbiamo trovato solo WinQuake)

<http://www.seismicnet.com/software.html#WinQuake>

Questo WinQuake non è OpenSource (costa 30 euro oppure zero per le scuole)

- Dura 30 giorni (poi perde alcune funzioni)
- E' abbastanza ben fatto
- Ha tutti i filtraggi possibili
- Ha la FFT
- Trova da solo i punti importanti (onde P e S e altri punti)

Per ora si consiglia di usare WinQuake in seguito potremmo rifarlo, migliorarlo o rifare so le sue parti migliori aggiungendo magari la visualizzazione del movimento sui tre assi.

Per ora l'app ThereminoGEO si limita a leggere e scrivere i file PSN che sono usabili nelle reti di sensori in internet e sono visualizzabili e analizzabili con WinQuake

Filtraggio dei dati

I file PSN sono tutti filtrati

Vengono filtrati dal costruttore del sensore nel modo più adatto al suo sensore altrimenti si dovrebbero inviare agli utilizzatori informazioni complete su come è fatto il sensore e infine tutti gli utilizzatori dei file dovrebbero filtrare i dati, ristudiando, per ogni file, il giusto filtraggio a seconda delle particolarità del sensore.

In pratica un buon file PSN dovrebbe essere abbastanza standard cioè:

- in metri al secondo (velocità)
- filtrato in alto a circa 3 Hz (e non più di 5 Hz)
- filtrato in basso a circa 0.05 Hz in modo da eliminare la deriva dallo zero

Ecco alcuni esempi di come sono filtrati i PSN

File 070204.210000.remzx.psn

```
-----  
SampFiltering  
Butterworth Order 2 LowPass dblpass-no lag Corner Period:1s  
Sensor Period:4.32s   Sensor Q:0.8   Filtered Period:32s  
Butterorth Order 2 HighPass backward Corner Period:32s
```

File NORTHERN ITALY 120520.021251.td4a.psn

```
-----  
SampFiltering (asse VERTICALE)  
IIR Filter BW LP Freq: 3 Hz   Poles: 2  
IIR Filter BW HP Freq: 0.01 Hz Poles: 2  
IIR Filter BW LP Freq: 0.03 Hz Poles: 3  
IIR Filter BW HP Freq: 0.1 Hz Poles: 3  
-----
```

```
SampFiltering (asse X)  
IIR Filter BW LP Freq: 3 Hz   Poles: 2  
IIR Filter BW LP Freq: 0.03 Hz Poles: 3  
IIR Filter BW HP Freq: 0.1 Hz Poles: 3
```

Reti di sismografi

L'uso di file PSN permette di partecipare alle attività di molte reti mondiali, in Italia la rete principale è la I.E.S.N. (Italian Experimental Seismic Network)

<http://www.iesn.it/>

<http://www.iesn.it/index.php/le-stazioni-di-rilevamento/il-book-delle-stazioni.html>

Molto interessante anche la "Rete Sismometrica del Friuli-Venezia Giulia" che fornisce molte informazioni interessanti sul sito:

<http://www.crs.ogs.trieste.it/>

Esistono anche altre reti italiane (INGV / ISIDe) ma, per quanto pagate con il denaro pubblico tengono tutto per loro e non pubblicano i file di dati, non si riesce nemmeno a capire che formati di file usano.

Stiamo sviluppando l'applicazione Theremino_Geo in collaborazione con Stefano Parodi del Laboratorio Geotecnologico Emiliano

Coordinated Universal Time (UTC)

is the primary [time standard](#) by which the world regulates clocks and time.

It is one of several closely related successors to [Greenwich Mean Time \(GMT\)](#)

Il **tempo coordinato universale**, conosciuto anche come **tempo civile** e abbreviato con l'**acronimo UTC** (compromesso tra l'[inglese](#) *Coordinated Universal Time* e il [francese](#) *Temps universel coordonné*)

Tabelle

Risoluzione (approssimativa) a seconda della banda passante

50 / Hz = metri di risoluzione

Banda passante	Risoluzione (m)
10 Hz	5
20 Hz	2.5
50 Hz	1
100 Hz	0.5
200 Hz	0.25

Frequenza (approssimativa) di risonanza di un edificio

Numero piani	Risonanza (Hz)
1	9-11
2	5-6
3	3-4
4	2-3
5	1.8-2.2
6	1.6-2.1
7	1.1-1.8
8	1.0-1.6

Sorgenti di vibrazioni

Sorgente	Campo di frequenza (Hz)
Macchine industriali	>10
Traffico stradale e ferroviario	1-10
Macchine di cantiere	10-60
Infissione di pali, caduta di magli	1-10
Esplosioni	>100
Terremoti	1-10
Vento	0.7
Moto ondoso	0.05-0.2

Velocità onde sismiche nel terreno

Terreno	Vp min (m/s)	Vp max (m/s)
Rocce molto dure	4500	6800
Granito	4000	6000
Ghiaccio	3100	4200
Calcare	2500	6000
Lava	2500	4000
Marna	2000	3500
Arenaria densa	1800	4500
Arenaria friabile	1500	2500
Argilla satura	1200	2500
Acqua	1430	1590
Sabbia bagnata	600	1800
Sabbia asciutta	500	1000
Sabbia densa	400	600
Sabbia fine e media	300	500
Terriccio	300	900
Suoli ghiaiosi e rocce tenere	375	700
Ghiaia	300	750
Areato superficiale	300	800
Aria	310	360
Terreni teneri	100	200

Frequenza di risonanza di uno strato di terreno

$$F(\text{Hz}) = V(\text{m/s}) / (H(\text{m}) * 4)$$

F = frequenza risonanza strato

V = velocità onde di taglio

H = spessore

Spessore (m)	Frequenza di risonanza (Hz)			
	100m/s	200m/s	500m/s	1000m/s
1	25	50	125	250
2	12	25	62	125
5	5	10	25	50
10	2.5	5	12	25
20	1.25	2.5	6	12.5
50	0.5	1	2.5	5
100	-	0.5	1.25	2.5
200	-	-	0.6	1.25
500	-	-	-	0.5

Spessore strati terreno in base alla frequenza di risonanza

Frequenza di risonanza (Hz)	Terreni coesivi Vo=190 a=0.20 (m)	Sabbie Vo=170 a=0.25 (m)	Terreni rimaneggiati coesivi Vo=110 a=0.40 (m)
100	0.50	0.45	0.29
95	0.52	0.47	0.31
90	0.55	0.50	0.32
85	0.59	0.53	0.34
80	0.63	0.56	0.37
75	0.67	0.60	0.39
70	0.72	0.65	0.42
65	0.78	0.70	0.46
60	0.85	0.76	0.50
55	0.93	0.84	0.55
50	1.03	0.93	0.61
45	1.1	1.0	0.7
40	1.3	1.2	0.8
35	1.6	1.4	0.9
30	1.8	1.6	1.1
25	2.2	2.0	1.3
22	2.5	2.3	1.5
21	2.6	2.4	1.6
20	2.8	2.6	1.7
19	2.9	2.7	1.8
18	3.1	2.9	2.0
17	3.3	3.1	2.1
16	3.6	3.3	2.3
15	3.8	3.6	2.4
14	4.2	3.9	2.7
13	4.5	4.2	2.9
12	5.0	4.6	3.2
11	5.5	5.1	3.6
10	6.1	5.7	4.1
9	6.9	6.5	4.7
8	7.9	7.5	5.5
7	9.2	8.8	7
6	11	11	8
5	13	13	10
4	18	18	14
3	25	25	22
2	41	42	-
1.90	44	45	-
1.80	47	49	-
1.70	50	52	-
1.60	54	57	-
1.50	59	62	-
1.40	64	67	-
1.30	70	74	-
1.20	77	82	-
1.10	86	92	-
1.00	96	104	-
0.90	110	120	-

Esempi

Ottavio deve trovare una grotta a sei metri sotto terra

La velocità delle onde sismiche nei terreni della Serra è circa **200 metri al secondo**

Quale è la frequenza del picco che ci dobbiamo attendere con uno strato di 6 metri ?

$$F(\text{Hz}) = V(\text{m/s}) / (H(\text{m}) * 4)$$

F = frequenza risonanza strato

V = velocità onde di taglio

H = spessore

$$\text{Freq} = 200 / (6 * 4) = 200 / 24 = 8,3 \text{ Hz}$$