

FESN – Friuli Experimental Seismic Network

Riccardo Rossi: **Sensore Elettrolitico a Massa Fluida – FMES**

Progetto: Dave Nelson - USA

Realizzazione: IV3NQS Riccardo Rossi – IW3QHN Paolo Coccolo – IV3GKA Alberto Turco – FESN - Italy

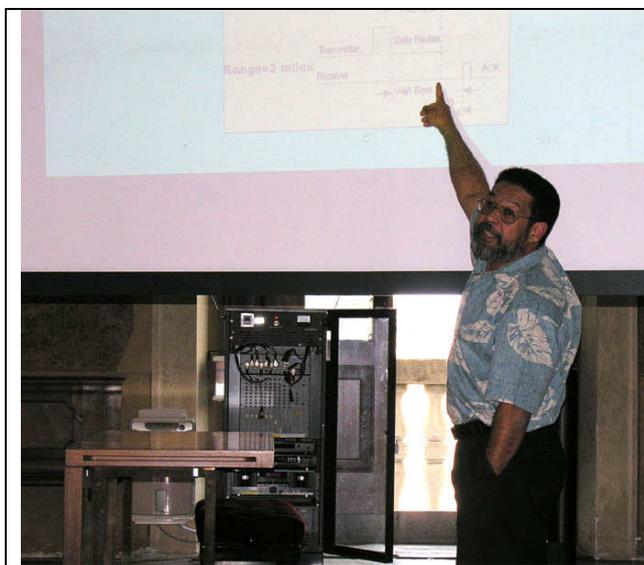
Abstract

Si tratta di un sensore sismico orizzontale ideato inizialmente in Unione Sovietica e successivamente rivisitato e modificato da Dave Nelson – ingegnere americano collaboratore della Nasa. Il principio di funzionamento è quello dei vasi comunicanti: una massa d'acqua posizionata in un circuito chiuso avente forma simile ad una "U", sollecitata da movimenti sismici orizzontali del terreno, oscilla lungo i due bracci verticali. Un segnale elettrico costante iniettato mediante due elettrodi immersi nel liquido, viene alterato in ampiezza dalle oscillazioni del liquido, in risposta, dal circuito elettrico si produce un segnale variabile in funzione delle oscillazioni del terreno.

Storia del sensore

Il sensore ad acqua denominato FMES (Fluid Mass Electrolytic Sensor – Sensore Elettrolitico a Massa Fluida) è stato ideato e realizzato sulla base dell'esperienza maturata negli USA dall'ing. Dave Nelson e proposto in Italia nell'ambito di un convegno amatoriale organizzato dal Gruppo Comunale di Protezione Civile di Pozzuolo del Friuli nel maggio 2006 presso il Castello di Udine. A proporre la propria versione di tale progetto è stato il sig. Angel Rodriguez, titolare di una personale rete di rilevamento sismico sita in Panama, dotata appunto di alcuni sensori di tale tipo.

A seguito della presentazione, la FESN (Friuli Experimental Seismic Network – Rete Sismica Sperimentale del Friuli), già da allora integrata nell'ambito della squadra comunale di protezione civile di Pozzuolo del Friuli, grazie alla specifica approvazione ottenuta dalla Direzione Regionale della Protezione Civile, ha deciso di sperimentare una propria realizzazione, ottenendo, tramite il sig. Rodriguez, la possibilità di confrontare le proprie esperienze direttamente con il progettista. Il sensore è stato presentato anche nell'ambito della trascorsa sessione del GNGTS tenutasi a Roma nel 2007.



Durante il Convegno del maggio 2006, il sig. Angel Rodriguez, presenta la sua versione del FMES.

A seguito di importanti scambi di idee con lo stesso Dave Nelson, via e-mail, è stato possibile modificare la struttura del sensore rendendone più semplice la realizzazione grazie ad un'idea proposta da IV3GKA Alberto Turco, radioamatore facente parte del gruppo FESN. La versione italiana del layout del circuito stampato è stata messa a punto da IW3QHN Paolo Coccolo, radioamatore e professionista esperto di circuiti radio elettronici, mentre la restante costruzione elettronica e meccanica, leggermente modificate rispetto al progetto originale, è opera del sottoscritto. La realizzazione italiana è stata ottimizzata per il mondo amatoriale, ma anche nell'ottica di un utilizzo didattico esportabile nelle scuole e negli istituti professionali.

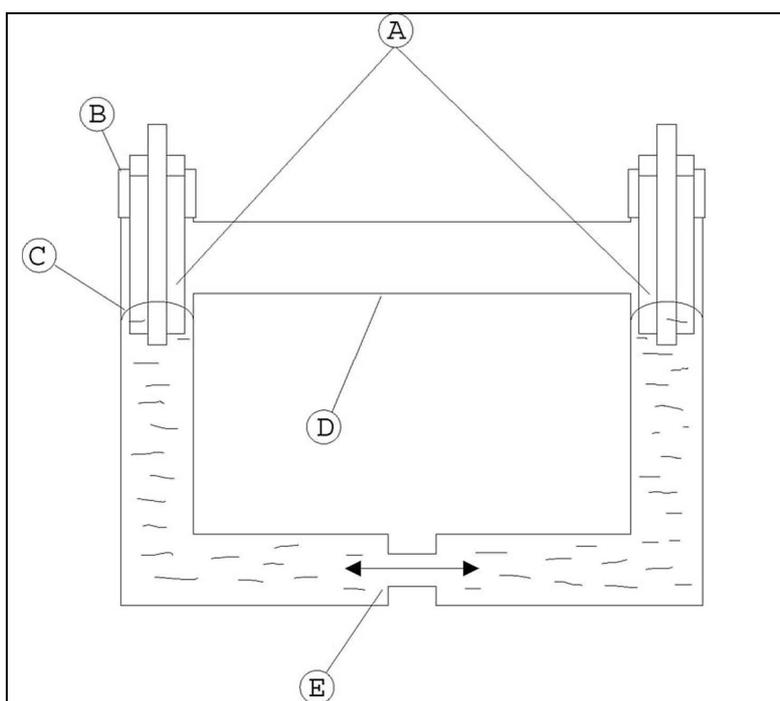


Immagine del prototipo durante la fase di realizzazione.

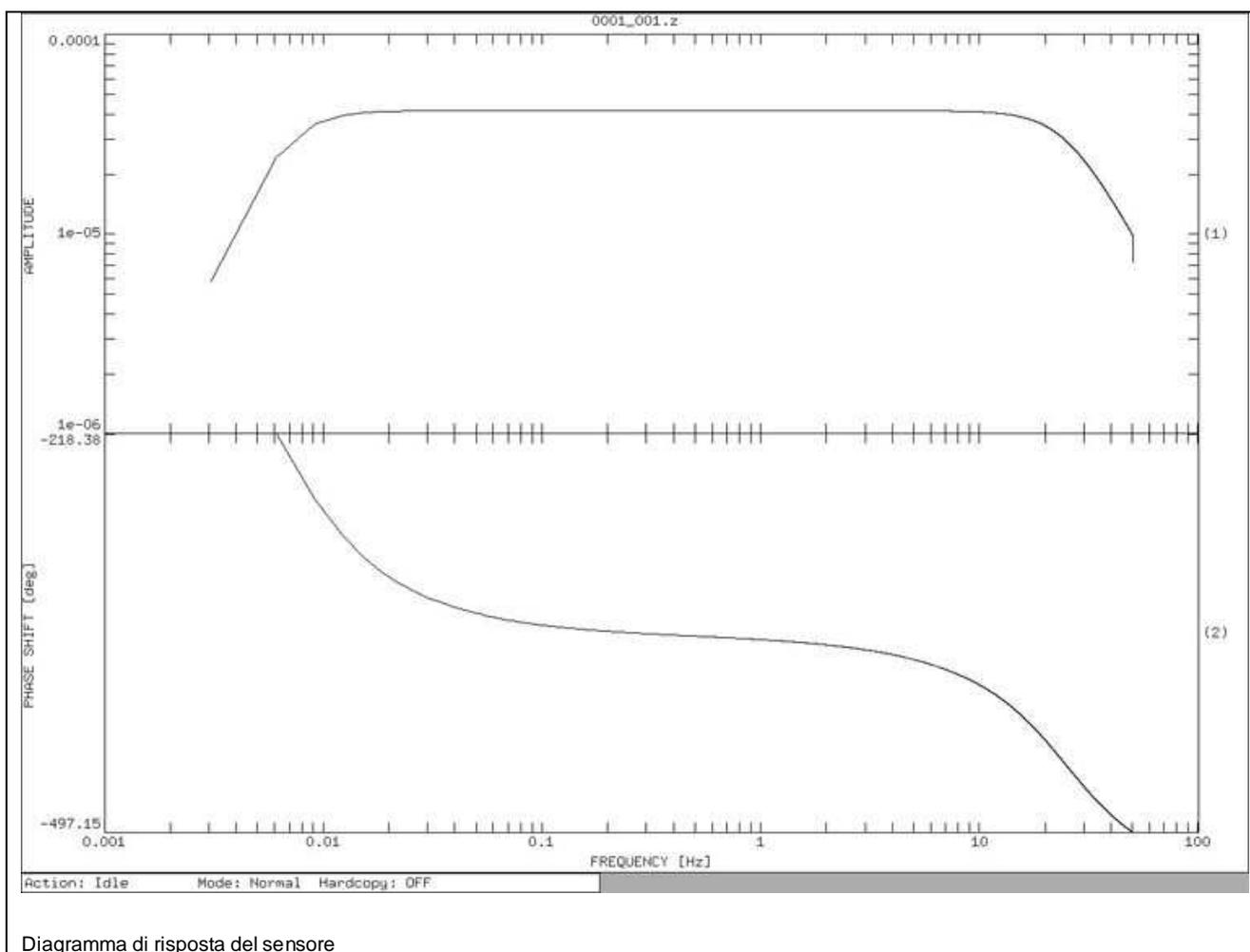
Principio di funzionamento

Il fluido, composto per il 50% da acqua distillata e per il restante 50% da liquido anticongelante (alcool glicole e additivo antischiuma), è posto all'interno di un circuito chiuso a forma simile ad una "U" completato da un tubo che collega i due bracci verticali avente funzione di compensatore di pressione. Il liquido, sollecitato da movimenti sismici orizzontali del terreno, si muove lungo i due bracci verticali inversamente l'uno rispetto all'altro, traducendo un movimento orizzontale in uno verticale. In corrispondenza degli estremi dei due bracci verticali sono inseriti due elettrodi realizzati con filo di acciaio inossidabile, che "pescano" all'interno del liquido.

Completa la realizzazione del sensore un rubinetto con apertura variabile, avente funzione di frenaggio, posizionato al centro del tubo orizzontale percorso dal liquido, che permette la verifica di funzionamento del sensore in diverse condizioni di lavoro.



- A: Celle capacimetriche
- B: Estremi del circuito ad U
- C: Livello del liquido
- D: Compensatore di pressione
- E: Strozzatura di frenaggio



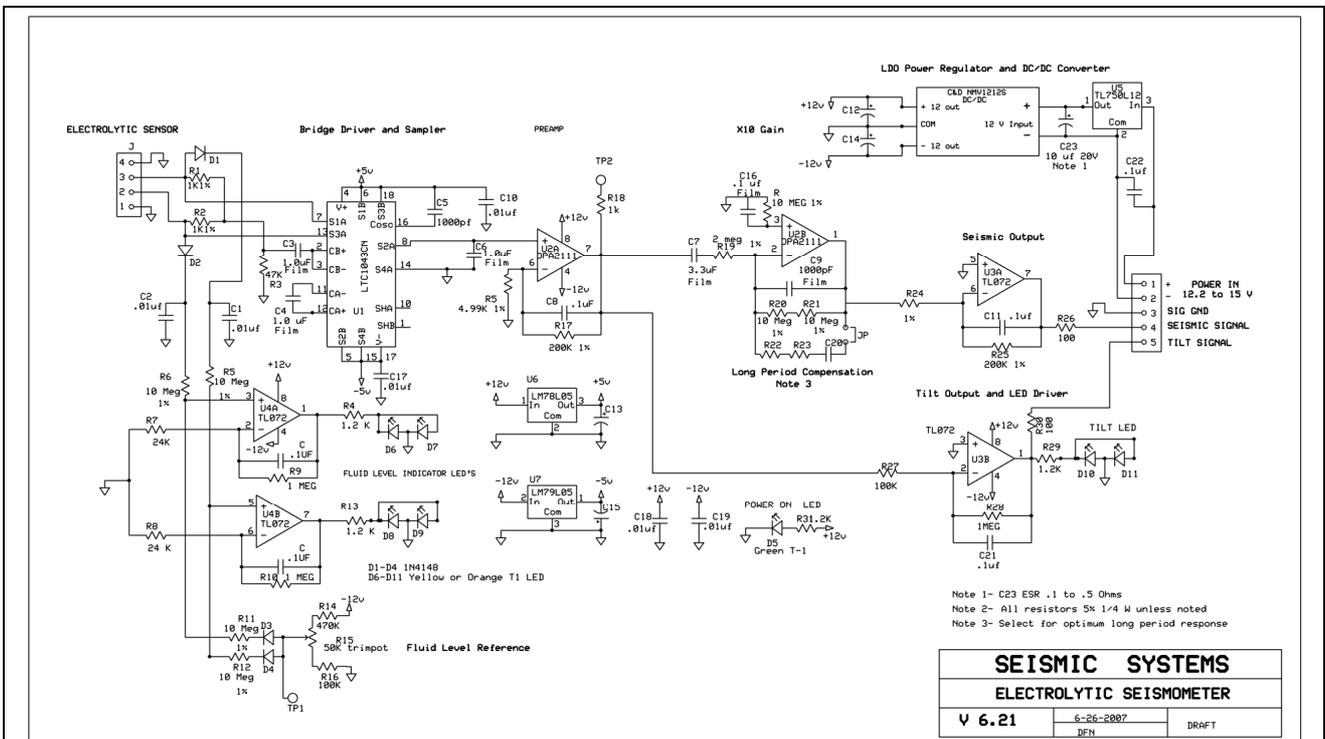
Circuito elettrico

Visto più propriamente dal punto di vista elettrico, il circuito, peraltro di semplice realizzazione è realizzabile con un limitato numero di componenti. L'integrato principale, un capacimetro a comparazione, genera una corrente alternata a onda quadra che viene iniettata in uno dei due fili metallici che compongono un elettrodo. A seconda del livello del liquido, e quindi della capacità del condensatore formato dai due fili metallici aventi funzione di armatura e del dielettrico costituito, appunto, dal liquido, l'onda quadra si riduce o aumenta in ampiezza. Un aumento dell'ampiezza dell'onda quadra generata dall'integrato su uno dei due bracci, corrisponde ad una riduzione sul braccio opposto. Tali differenze di livello elettrico, vengono interpretate dall'integrato e restituite sotto forma di un segnale elettrico variabile in tensione, il quale viene successivamente filtrato e amplificato da ulteriori stadi formati da amplificatori operazionali.

Un circuito accessorio, estrae una piccola quantità della corrente alternata presente su entrambi i bracci e la rettifica in corrente continua tramite dei diodi, permettendo così la comparazione con un ulteriore amplificatore operazionale, il quale tramite l'accensione o lo spegnimento di due spie rivela l'eventuale stato di tilt (inclinazione) del sensore.

Un ulteriore operazionale confronta il segnale derivante dalle due celle capacimetriche con una tensione di riferimento variabile a piacere dall'utilizzatore. Il risultato di tale confronto, evidenziato dall'accensione/spegnimento di altre quattro spie (due per ogni cella) permette di verificare il livello del liquido presente all'interno del circuito segnalando eventuali insufficienze o eccessi di fluido.

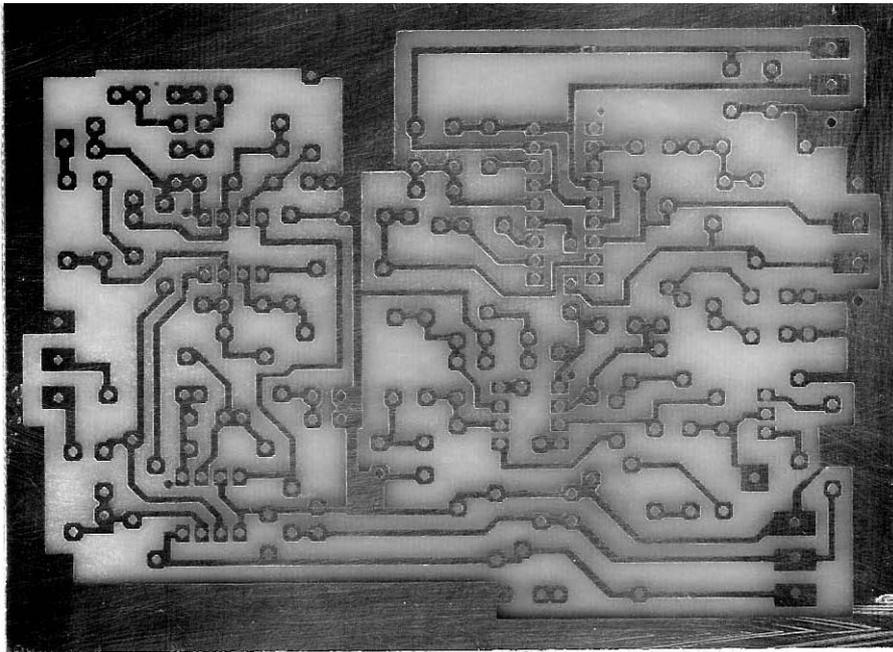
Le spie di controllo, importanti per un corretto funzionamento, sono estremamente sensibili alle variazioni di inclinazione e livello, mostrando in tal modo qualsiasi ipotetica anomalia di funzionamento.



Schema elettrico

Attenzione: i diodi D3 e D4 sono disegnati invertiti a causa di un refuso – tenerne conto in fase di montaggio.

Circuito stampato



Basetta montaggio componenti, lato rame, dimensione reale (Versione realizzata da Paolo Coccolo IW3QH).

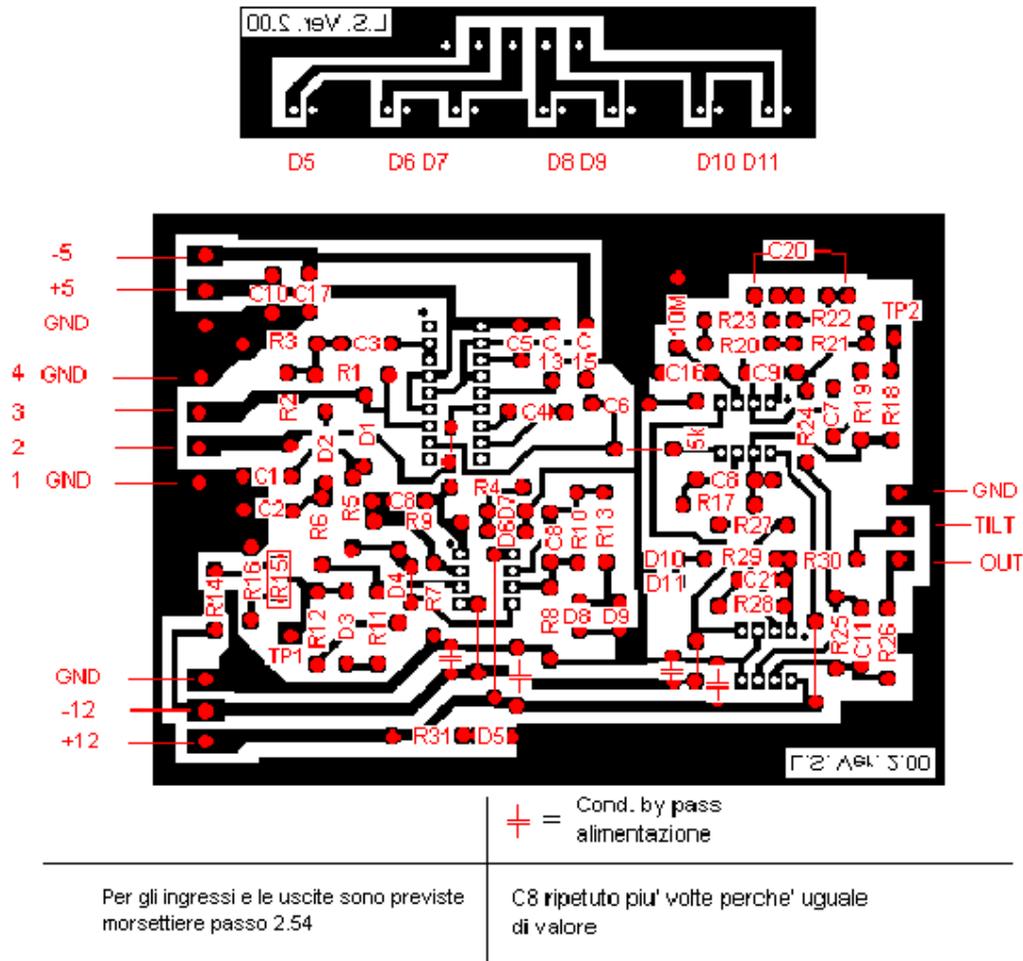
Lista dei componenti elettronici

R 1 – 1K 1%	C 1 – 0.1 uF
R 2 - 1K 1%	C 2 – 0.1 uF
R 3 – 47 K	C 3 – 1.0 uF Film
R 4 – 1.2 K	C 4 - 1.0 uF Film
R 5 – 10 M (su OPA 2111 R 5 4.99 K 1%)	C 5 – 1000 pF
R 6 – 10 M	C 6 - 1.0 uF Film
R 7 – 24 K	C 7 – 3.3 uF
R 8 – 24 K	C 8 – 0.1 uF
R 9 – 1 M	C 9 – 1000 pF
R 10 – 1 M	C 10 – 0.1 uF
R 11 – 10 M 1%	C 11 – 0.1 uF
R 12 – 10 M 1%	C 12 – Alimentazione – Circuito esterno
R 13 – 1.2 K	C 13 – Alimentazione – Circuito esterno
R 14 – 470 K	C 14 – Alimentazione – Circuito esterno
R 15 – 50 K trimmer	C 15 – Alimentazione – Circuito esterno
R 16 – 100 K	C 16 - 1.0 uF Film
R 17 – 200 K 1%	C 17 – 0.1 uF
R 18 1 K	C – 0.1 uF
R 19 – 2 M 1%	C 18 – 0.1 uF – Alimentazione - Circuito esterno
R 20 – 10 M 1%	C 19 – 0.1 uF – Alimentazione - Circuito esterno
R 21 – 10 M 1%	C 20 - da definire (filtro passa basso)
R22 – da definire (filtro passa basso)	C 21 – 0.1 uF
R 23 – da definire (filtro passa basso)	C 22 – 0.1 uF – Alimentazione - Circuito esterno
R 24 - 10 K 1%	C 23 – 10 uF – Alimentazione - Circuito esterno
R 25 – 200 K 1%	U 1 – LTC 1043 CN
R 26 – 100 Ohm	U 2 – OPA 2111
R 27 – 100 K	U 3 – TL 072
R 28 - 1 M	U 4 – TL 072
R 29 - 1.2 K	U 5 – TL 750L12 - Alimentazione - Circuito esterno
D 1 – D 4 – 1N4148	U 6 – 78L05
D 6 – D 11 – Led Gialli	U 7 – 79L05

Nota bene: i componenti relativi all'alimentazione, nella versione italiana sono stati inseriti in un circuito a parte non compreso nella basetta principale.

Posizionamento componenti sul circuito stampato

RIFERIMENTO Ver. 6.21 del 6.26.2007



Costruzione del sensore

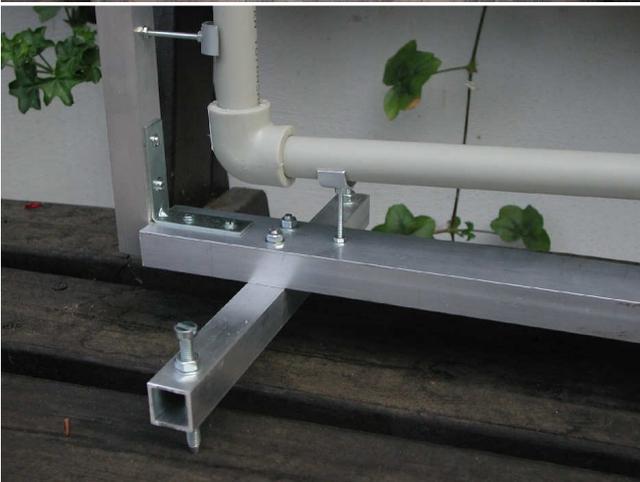
La parte meccanica del sensore, nella versione italiana è stata realizzata con delle tubazioni plastiche per impianti elettrici del diametro di mm. 20 esterno e di mm. 12 di diametro interno. Il freno è stato ottenuto con un rubinetto per irrigazione, mentre gli elettrodi sono stati ottenuti con del filo di acciaio inossidabile del diametro di mm. 1,00. La lunghezza dei tubi può variare tra i 20 e i 100 cm., mentre è preferibile non superare il diametro interno indicato causa la diminuzione di sensibilità. La versione italiana è stata realizzata con dimensioni di circa 60 cm.

Gli elettrodi sono differentemente immersi nel liquido: il polo connesso a massa è immerso per circa 8 mm, mentre il polo caldo è immerso per circa 2 mm. E' possibile diminuire l'immersione degli elettrodi fino ad un limite di 0,6 mm per il polo caldo e 3 mm per il polo freddo. Pur migliorando la sensibilità però questa condizione potrebbe compromettere il funzionamento del sensore in caso di diminuzione del livello per evaporazione del liquido.

Sul tappo, il polo di massa è posizionato vicino alla parete interna della tubazione, mentre il polo caldo è posizionato nel centro.



Visione d'insieme del sensore completo.



Particolare della struttura di sostegno realizzata con tubazioni in alluminio



Dettaglio del rubinetto frenante.

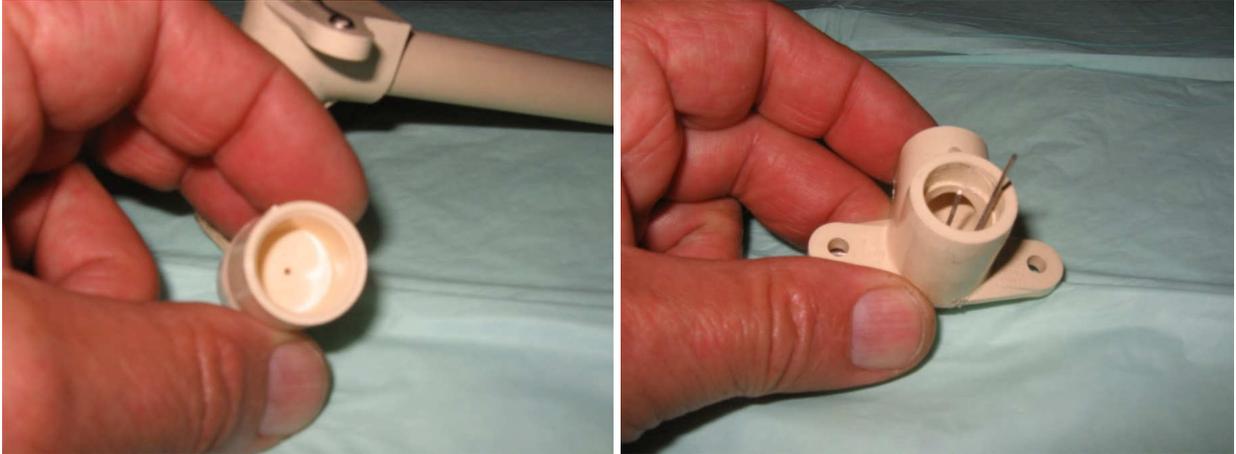
Elettrodi nella versione italiana

Nella versione italiana, su suggerimento di IV3GKA Alberto, gli elettrodi di conversione del segnale sono stati modificati, sostituendo la versione coassiale con due elettrodi formati da fili in acciaio inox dello spessore di 1 mm.

Con questa configurazione si semplifica notevolmente la costruzione del sensore, tuttavia per un ottimale funzionamento dello stesso è indispensabile seguire le seguenti modalità di realizzazione:

- L'elettrodo connesso a massa deve essere posizionato nei pressi del bordo interno del tubo;

- L'elettrodo connesso al segnale deve essere posizionato al centro;
- La lunghezza di pescaggio dell'elettrodo connesso a massa può essere compreso tra 2 e 8 mm;
- La lunghezza di pescaggio dell'elettrodo connesso al segnale può essere compresa tra 0.6 e 2 mm;
- L'autore ha comunicato che i migliori risultati si ottengono con la lunghezza minore degli elettrodi;
- La versione italiana ha comunque fornito ottimi risultati con le lunghezze massime sopracitate;
- I due elettrodi devono essere perfettamente paralleli e bloccati da un distanziatore;
- E' preferibile che l'intera struttura sia ermetica al fine di limitare la manutenzione;
- La vite di regolazione del tilt (inclinazione) può essere realizzata con una vite max 3/4 mm di diametro;



Dettaglio del tappo su cui vengono montati gli elettrodi.

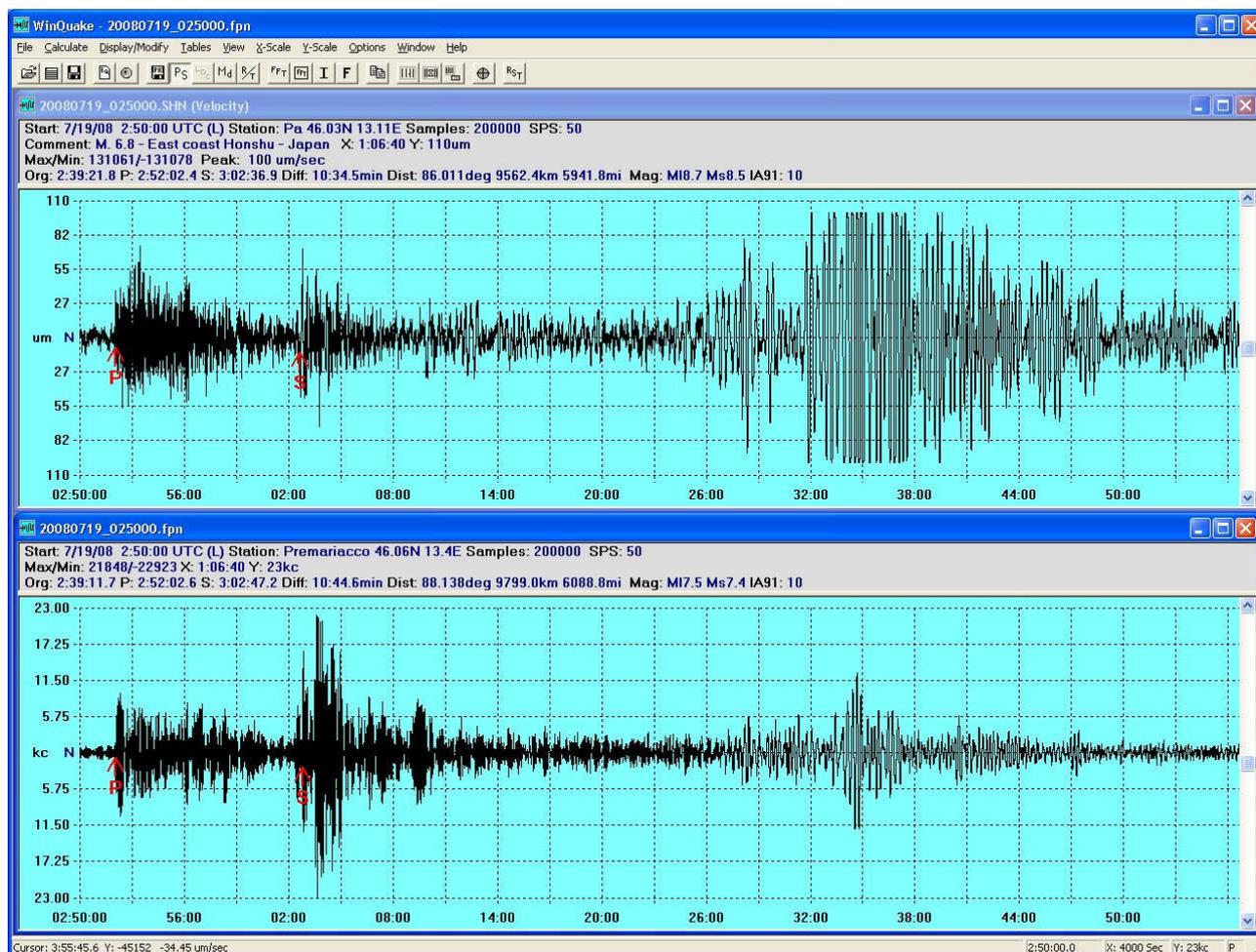
Dettaglio di montaggio degli elettrodi realizzati con filo di acciaio inox.



Primi risultati

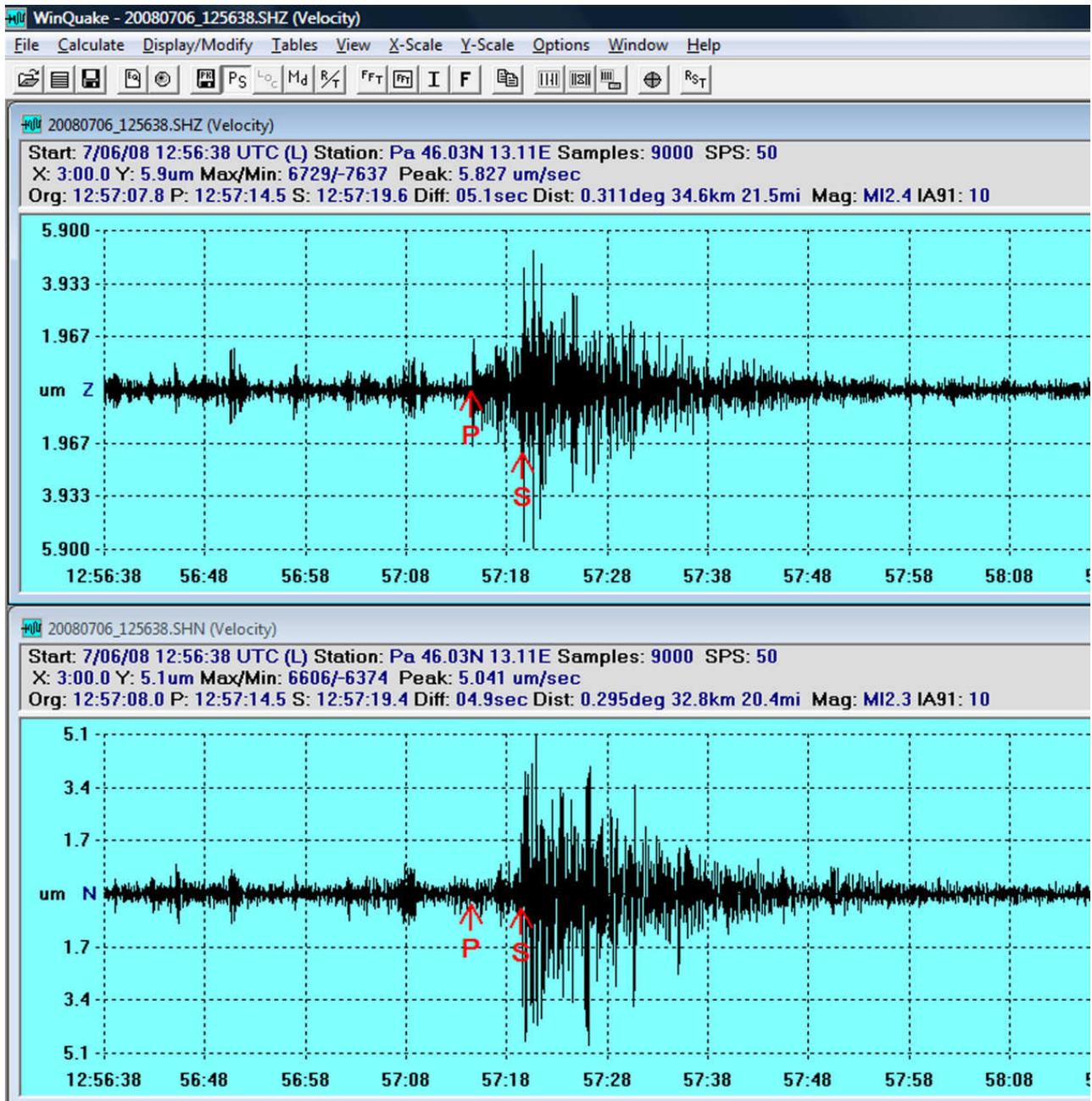
Il sensore, nella sua versione iniziale, è stato messo in funzione nei primi giorni del mese di giugno 2008. E' stato così possibile verificare immediatamente il comportamento grazie agli eventi della Grecia di quel periodo. Ulteriori piccole modifiche, soprattutto elettroniche, hanno portato alla realizzazione attuale, che è perfettamente compatibile con altri sensori elettronici basati su un'uscita a tensione variabile tra +/- 12 V.

Le immagini che seguono mostrano la capacità del sensore di restituire una risposta del tipo a "banda larga". In sensore infatti è in grado di rilevare sia eventi locali (previa filtratura del segnale di fondo a lunga frequenza) sia telesismi, fornendo tracciati con un'ottima evidenziazione delle fasi dell'evento. Lo strumento è in grado di visualizzare ottimamente anche le onde lunghe di superficie al pari di altri sensori amatoriali caratterizzati da masse dell'ordine di 15 e 20 Kg. Inoltre si è constatata l'assenza di oscillazioni parassite (effetto pendolo) sulla frequenza di risonanza tipiche dei sensori a pendolo o Lehman non efficientemente frenati, solitamente utilizzati dal nostro gruppo.



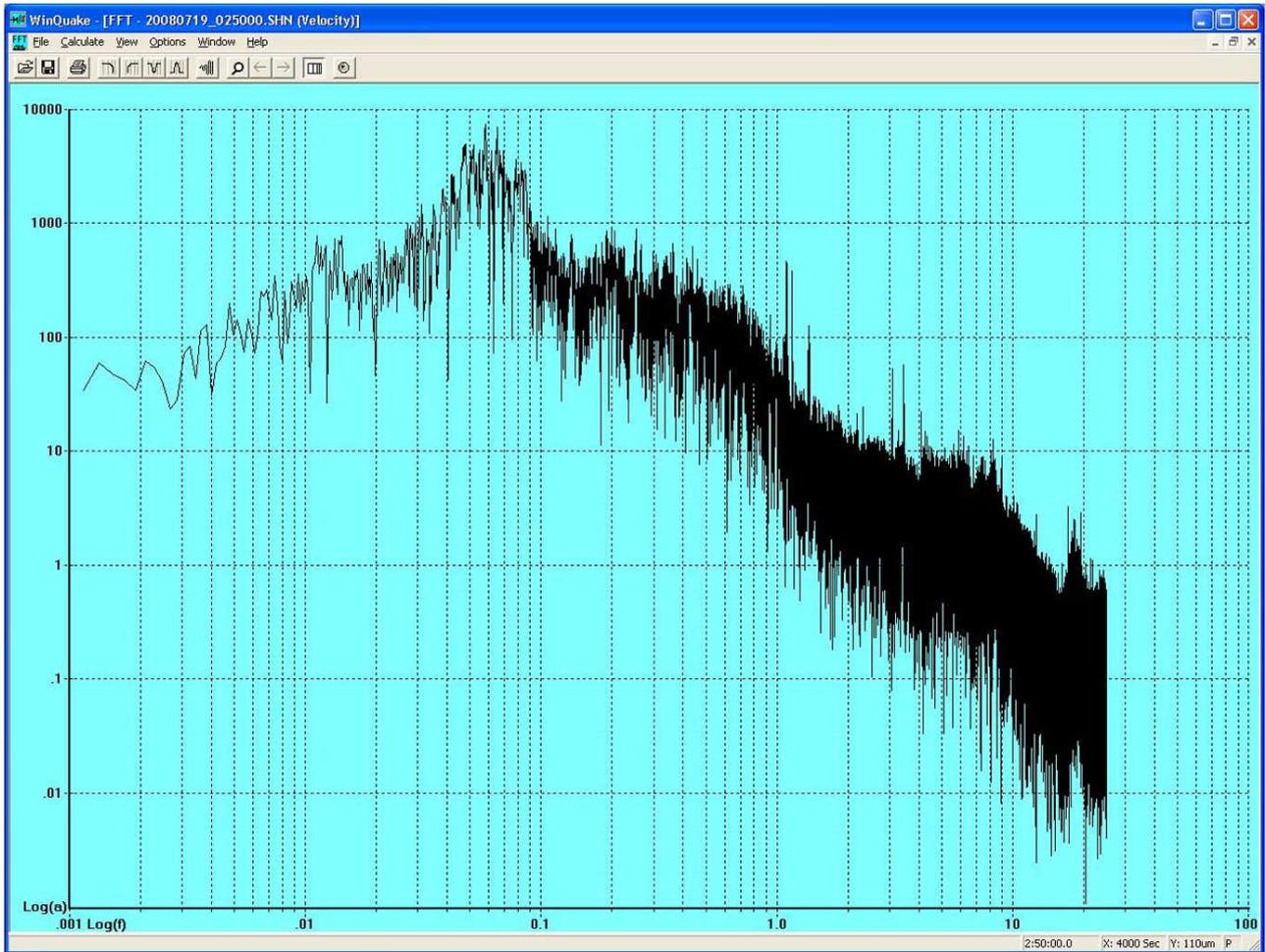
Evento di Magnitudo 6.8 avvenuto in Giappone (Honshu) il 19 luglio 2008.

Il tracciato in alto è relativo al sensore FMES, stazione di Pasion di Prato durata della rilevazione 60 min., il tracciato in basso è riferito allo stesso evento rilevato a Premariacco con sensore Lehman.



Evento di Magnitudo 2.3 avvenuto in Friuli (Stregna) il 06 luglio 2008.

Il tracciato in alto è relativo al sensore FMES, stazione di Pasián di Prato, (filtrato passa alto 3 Hz.) il tracciato in basso è riferito allo stesso evento rilevato a Premariacco con sensore Geofono.



Spettro del tracciato dell'evento avvenuto del Giappone - East Coast Honshu M. 6.8 del 19/07/08 relativo alla stazione di Pasion di Prato, sensore FMES - Canale Nord-Sud;

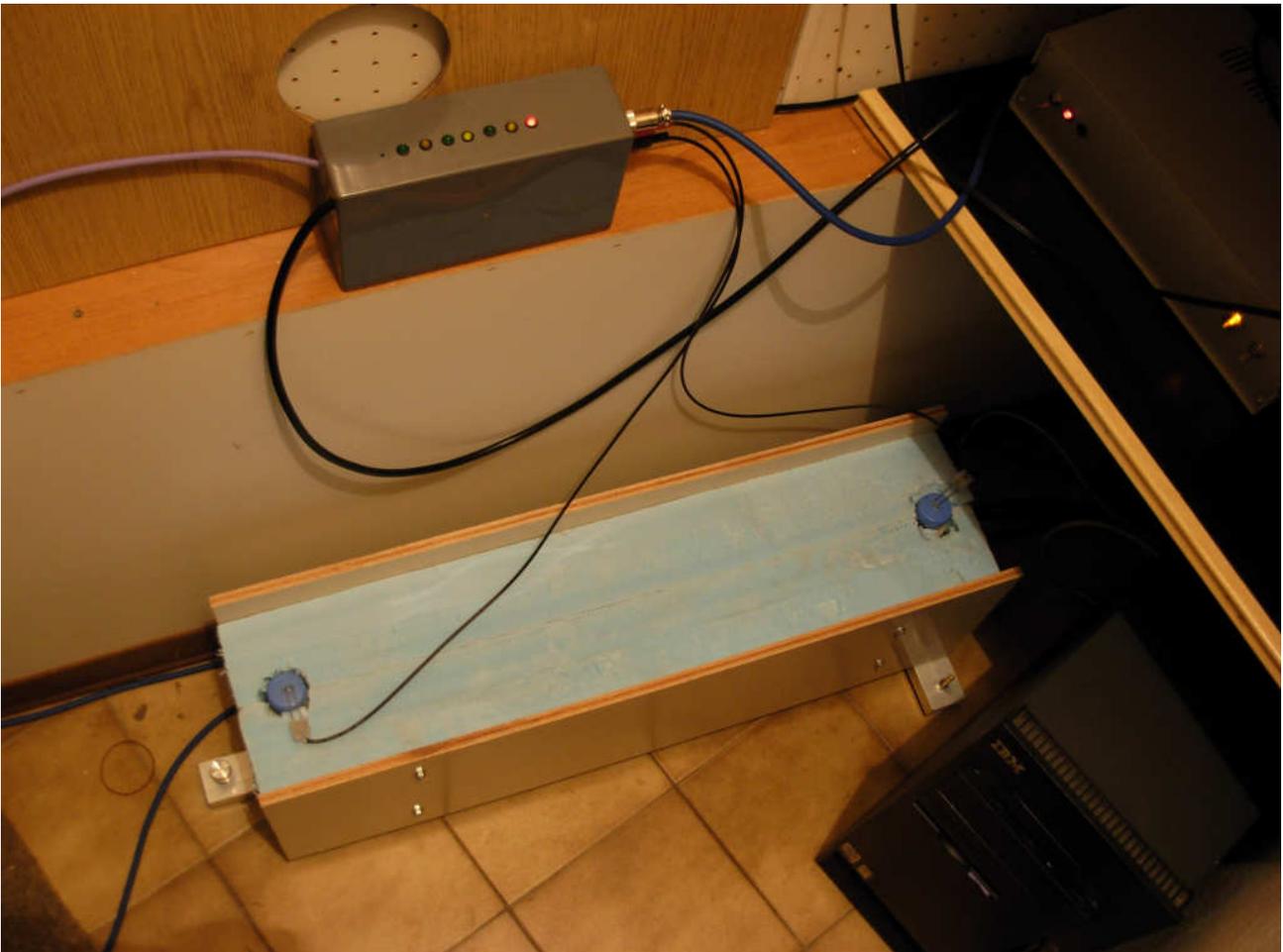
Prototipo realizzato



Immagine del sensore funzionante presso la stazione di Pasion di Prato.



Dettaglio della stazione di Pasion di Prato e del sensore con la scatola di controllo (a sinistra).



Nell'immagine qui sopra, la nuova versione interamente annegata nel polistirene. In tal modo si ottiene una buona coibentazione termica e si limita molto il rumore di fondo.

Si noti, nell'immagine, il led rosso acceso che indica l'accensione del dispositivo, i due led gialli accesi che indicano un leggero eccesso di liquido presente nei due bracci e infine i due led a sinistra spenti (verde e giallo) che in questa condizione indicano il livello dello strumento. In caso uno dei due led fosse acceso, indicherebbe l'inclinazione anomala dello strumento. Nel caso è possibile agire lentamente sulla manopolina visibile sul piede del sensore fino a che i led sono spenti. La condizione ottimale di lavoro è con tutti i led spenti (salvo naturalmente l'alimentazione).

Limiti del sensore

Anche se il circuito elettronico è stato pensato per ridurre al minimo le interazioni del sensore con la temperatura, l'attuale costruzione si è rivelata sensibile alle differenze di temperatura lungo la struttura. E' pertanto importante provvedere con appropriate coibentazioni dei tubi. E' anche utile posizionare il sensore all'interno di un locale protetto da variazioni termiche eccessive o da condizioni critiche di temperatura. L'ideale è all'interno di una piccola stanza chiusa non riscaldata o comunque con temperatura non troppo variabile.

E' necessario attendere alcuni giorni dopo il posizionamento, per permettere la stabilizzazione della struttura e la risalita di eventuali bollicine d'aria che possono causare *spikes* o altri segnali indesiderati.

E' utile verificare spesso, il tilt e lo stato del livello del liquido dello strumento. Tale condizione, è evidenziata dalle spie di riferimento.

E' anche necessario procedere alla taratura elettrica, resa possibile, nella versione italiana, da un ulteriore potenziometro in grado di limitare in ampiezza la tensione di uscita. Tale condizione è risultata necessaria per interfacciare lo strumento alle apparecchiature utilizzate dalla FESN in quanto l'eccessiva dinamica del segnale comportava spesso segnali in saturazione.

Ulteriori implementazioni e sviluppi

Il sensore può essere utilizzato (pur con molte limitazioni) anche come clinometro, essendo dotato di una buona evidenziazione dell'inclinazione. Il progetto originario prevede infatti la possibilità di applicare al posto della spia un indicatore di livello.

E' probabilmente possibile sviluppare una versione verticale dello strumento (tale ipotesi è in fase di verifica e sperimentazione, con modalità diverse sia dal gruppo di realizzazione italiana sia dallo stesso Dave Nelson). Qualora tale versione si rivelasse facilmente realizzabile, potrebbe essere possibile ottenere un sensore a banda larga verticale di ottima qualità.

La struttura attuale è migliorabile al fine di rendere la stessa più solida e rigida mantenendo comunque le sue qualità di semplice realizzazione e di costi limitatissimi.

Riferimenti:

Dave Nelson – Comunicazioni personali.

Angel Rodriguez – Comunicazioni personali.

Mauro Mariotti – Comunicazioni personali.