

Rapporti tecnici

INGV

Test-box per accelerometro
Episensor FBA ES-T

209



Direttore

Enzo Boschi

Editorial Board

Raffaele Azzaro (CT)

Sara Barsotti (PI)

Mario Castellano (NA)

Viviana Castelli (BO)

Rosa Anna Corsaro (CT)

Luigi Cucci (RM1)

Mauro Di Vito (NA)

Marcello Liotta (PA)

Simona Masina (BO)

Mario Mattia (CT)

Nicola Pagliuca (RM1)

Umberto Sciacca (RM1)

Salvatore Stramondo (CNT)

Andrea Tertulliani - Editor in Chief (RM1)

Aldo Winkler (RM2)

Gaetano Zonno (MI)

Segreteria di Redazione

Francesca Di Stefano - coordinatore

Tel. +39 06 51860068

Fax +39 06 36915617

Rossella Celi

Tel. +39 06 51860055

Fax +39 06 36915617

redazionecen@ingv.it



Rapporti tecnici

INGV

TEST-BOX PER ACCELEROMETRO EPISENSOR FBA ES-T

Augusto Bucci, Sandro Rao

INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Centro Nazionale Terremoti)

2009

Indice

Introduzione.....	5
1. Procedura di calibrazione.....	6
2. Considerazioni sui segnali generati.....	9
3. Sviluppi futuri.....	10
Appendice A – Programma in <i>picbasic</i>	12
Appendice B – Foglio calibrazione del Quanterra Q730.....	13
Appendice C – Foglio calibrazione Episensor.....	14
Bibliografia.....	16
Ringraziamenti	16

Introduzione

Il sensore accelerometrico Episensor FBA ES-T prodotto dalla *Kinematics* può essere installato agevolmente su qualsiasi tipo di acquisitore sismico. Se accoppiato con il digitalizzatore di tipo *Altus*, sia esternamente che internamente al medesimo, dal momento che è previsto nel suo *case* un alloggiamento per tale accelerometro, l'utente potrà disporre di una serie di *utility* da utilizzare per effettuare svariati tipi di calibrazioni sull'accelerometro.

Tralasciando la generazione di particolari forme d'onda di calibrazione, opzione possibile per l'*Altus* grazie ad un convertitore DAC a 16 bit montato *on-board*, è possibile eseguire un test funzionale dell'Episensor attraverso la generazione di opportuni segnali da inviare alla bobina di calibrazione del sensore. Tuttavia l'utente che si trova ad installare un FBA con un altro tipo di acquisitore potrebbe non disporre di alcun mezzo per effettuare un rapido test sulla corretta installazione del sensore e quindi si potrebbe verificare in seguito una polarità errata o una risposta alle sollecitazioni non corretta.

Per evitare di trovarsi in queste condizioni si è pensato di estrapolare la funzione di test funzionale dell'*Altus* e di riprodurla con un opportuno *test-box* a basso costo dotato di un piccolo microprocessore a 8 *bit*. Il costo della componentistica utilizzata risulta estremamente basso essendo dell'ordine di 60 euro circa. Il sistema è stato realizzato con la massima accuratezza dal punto di vista elettrico onde evitare fastidiosi *loop* di massa o pericolose congiunzioni tra masse di sistemi diversi.

1. Procedura di calibrazione

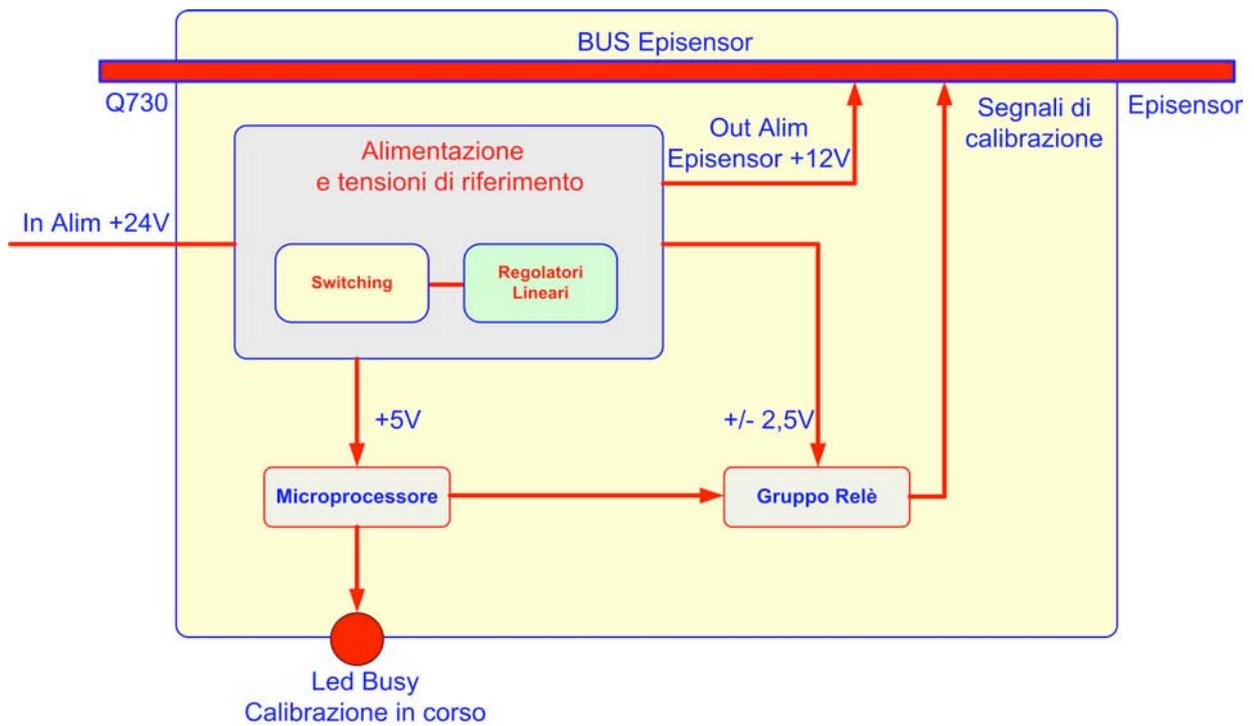
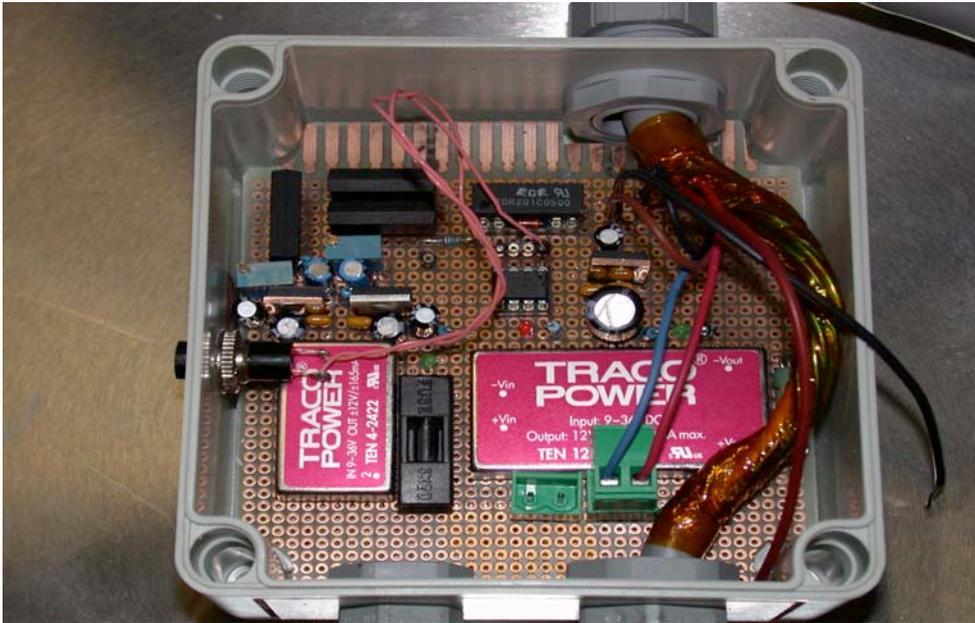


Figura 1. Modello prototipale del test-box, e suo schema a blocchi.

Nella figura 1 sono visibili rispettivamente il prototipo realizzato nei laboratori dell'INGV di Roma ed il suo schema funzionale a blocchi. La funzione fondamentale del *test-box* è quella di produrre una serie di segnali che applicati sulla bobina di calibrazione del sensore Episensor, diano luogo ad una calibrazione del medesimo.

Il cavo che collega l'acquisitore al sensore (BUS Episensor) entra nel *test-box*; al suo interno solo le linee di alimentazione e calibrazione vengono interrotte per essere pilotate in uscita, verso l'episensor con dei segnali prodotti localmente. Tutte le altre linee (come ad esempio i canali sismici) sono passanti. Il *test-box*, infatti, oltre alla calibrazione provvede anche alla creazione della tensione di alimentazione per l'accelerometro.

I segnali di calibrazione vengono prodotti da un gruppo di quattro relè pilotati da un piccolo microprocessore (microcontrollore ad 8 bit) tre dei quali possiedono un terminale in comune, collegato direttamente al pin di calibrazione come si può osservare dallo schema elettrico riportato in figura 5.

Nella fase di progettazione circuitale del *test-box* si è tenuto conto del suo ruolo nell'ambito dello scenario di installazione di una stazione sismica tipo Mednet. Come si può vedere dalla figura 2 la tipologia di tale stazione prevede l'impiego di un acquisitore a 24 bit Quanterra (es il Q730) a 6 canali, di un velocimetro *very-broad-band* (VBB) STS-2 e di un accelerometro Episensor.

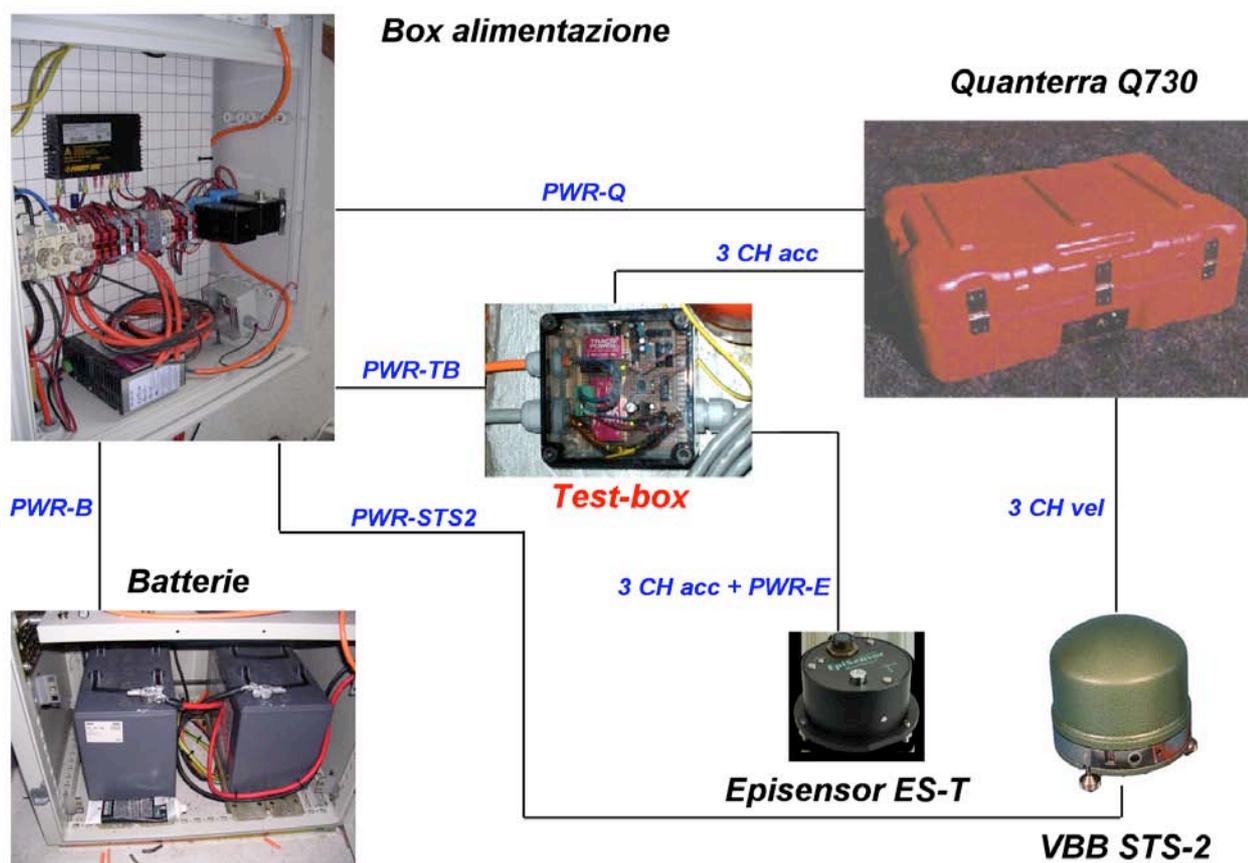


Figura 2. Schema a blocchi di una stazione Mednet. PWR-B = alimentazione batterie a 24V, PWR-Q alimentazione Quanterra Q730 12V, PWR-TB = alimentazione test-box 12V, PWR-STS2 = alimentazione sensore VBB STS-2, PWR-E = alimentazione accelerometro Episensor, 3 CH acc = canali sismici accelerometrici, 3 CH vel = canali sismici velocimetrici. Le masse di tutti i sistemi sono separate.

Il sistema di batterie è concepito per erogare una tensione in tampone di 24V che viene poi trasformata e distribuita da un box di alimentazione costituito principalmente da *switching* di potenza e sistemi di fusibili. In base al sistema di alimentazione comunemente impiegato si è deciso di operare una separazione galvanica delle masse del test-box e dell'acquisitore Quanterra.

La procedura di calibrazione come riportata nel manuale dell'Episensor è la seguente:

- | | |
|---|----------------|
| 1. Applicare 0V sul pin di calibrazione (CAL) | relè K1 |
| 2. Portare il pin CCE a +12V | relè K4 |
| 3. Aspettare 2 secondi | |
| 4. Applicare +2.5V per 2 secondi sul pin CAL | relè K2 |
| 5. Applicare -2.5V per 2 secondi sul pin CAL | relè K3 |
| 6. Portare il pin CAL a 0V | relè K1 |
| 7. Applicare 0V sul pin CCE | relè K4 |

In neretto viene indicato il nome del relè che attua il passaggio del segnale (vedi schema elettrico riportato nella figura 5).

In figura 3 è mostrato uno schema semplificato del principio di funzionamento del sensore ES-T e la relativa parte di calibrazione è evidenziata da un riquadro rosso; focalizzando l'attenzione sul riquadro si capisce la funzione del segnale CCE (*Calibration Coil Enable*) che sostanzialmente abilita il passaggio dell'impulso di calibrazione proveniente dalla linea CAL.

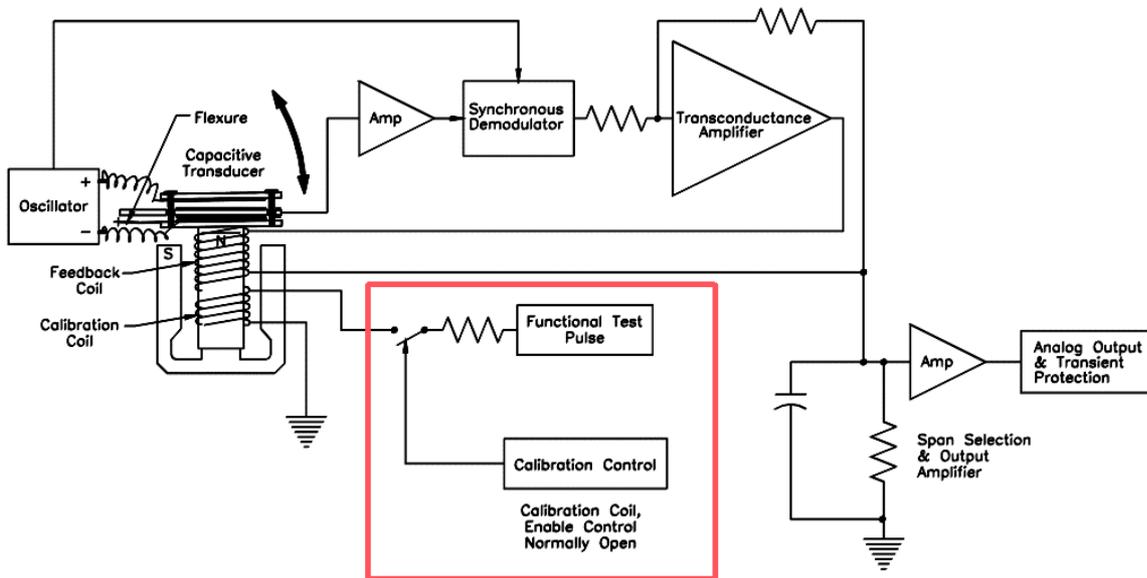


Figura 3. Schema di funzionamento semplificato di un sensore Episensor. La parte racchiusa nel riquadro rosso riguarda la calibrazione del sensore.

Il pin CCE, se portato a 12V, provvede ad abilitare la linea di calibrazione verso la rispettiva bobina, al contrario, se posto a 0V, isola dall'esterno la linea di calibrazione. Quindi durante il normale funzionamento del sensore le linee di calibrazione (tre, ossia una per componente) sono dei circuiti aperti al fine di evitare effetti di rumore o di cross-talk tra i vari canali del sensore. Quindi se CCE si trova a +12V e nello stesso intervallo di tempo viene applicata una tensione sulla linea di calibrazione si indurrà sull'accelerometro una risposta di circa 0.05g per volt applicato. Il valore esatto è riportato all'interno del foglio di calibrazione che deve necessariamente accompagnare sempre ogni sensore, sotto la voce *Cal-Coil Sensitivity* (per tre canali ad esempio si hanno i seguenti valori 0.0596 g/V - 0.0585 g/V - 0.0598 g/V).

Lo schema circuitale dell'apparato è riportato nella figura 5. Per ottenere le varie tensioni sono stati impiegati 2 *switching* della Traco Power in grado di accettare tensioni in ingresso tra 9V e 36V e generare in uscita le tensioni +12 V e +12V/-12V. All'uscita del primo *switching* è stato montato un integrato LM 7805 (regolatore lineare di tensione) per ottenere i 5V necessari per l'alimentazione del microprocessore PIC 12F675 che dovrà generare i comandi per il gruppo di

quattro relè impiegati per smistare le varie tensioni sui giusti pin; inoltre tale *switching* genera i 12V per l'alimentazione dell'Episensor.

Il secondo *switching* invece produrrà con l'ausilio di una coppia di regolatori lineari a tensione di uscita regolabile, ossia gli LM 317 ed LM 337, i +2.5V/-2.5V di calibrazione. Le masse del sistema di acquisizione, del *test-box* e dell'Episensor risultano separate galvanicamente per evitare i rumori indotti dai vari circuiti digitali sulla parte analogica.

La calibrazione inizia azionando un pulsante che provvederà ad avviarne le varie fasi. Durante la generazione dei segnali un *led* rosso rimarrà acceso (*led* di *busy*) indicando all'operatore di non eseguire altre operazioni sull'Episensor. Come sempre in questi casi, occorre avere l'accortezza di evitare bruschi movimenti nelle immediate vicinanze delle strumentazione durante l'esecuzione della calibrazione.

2. Considerazioni sui segnali generati

In figura 4 sono riportate le tre componenti acquisite da un Quanterra Q730 collegato con l'Episensor. Il primo segnale è quello in tensione in uscita dal *test-box* e collegato alla linea CAL del sensore.

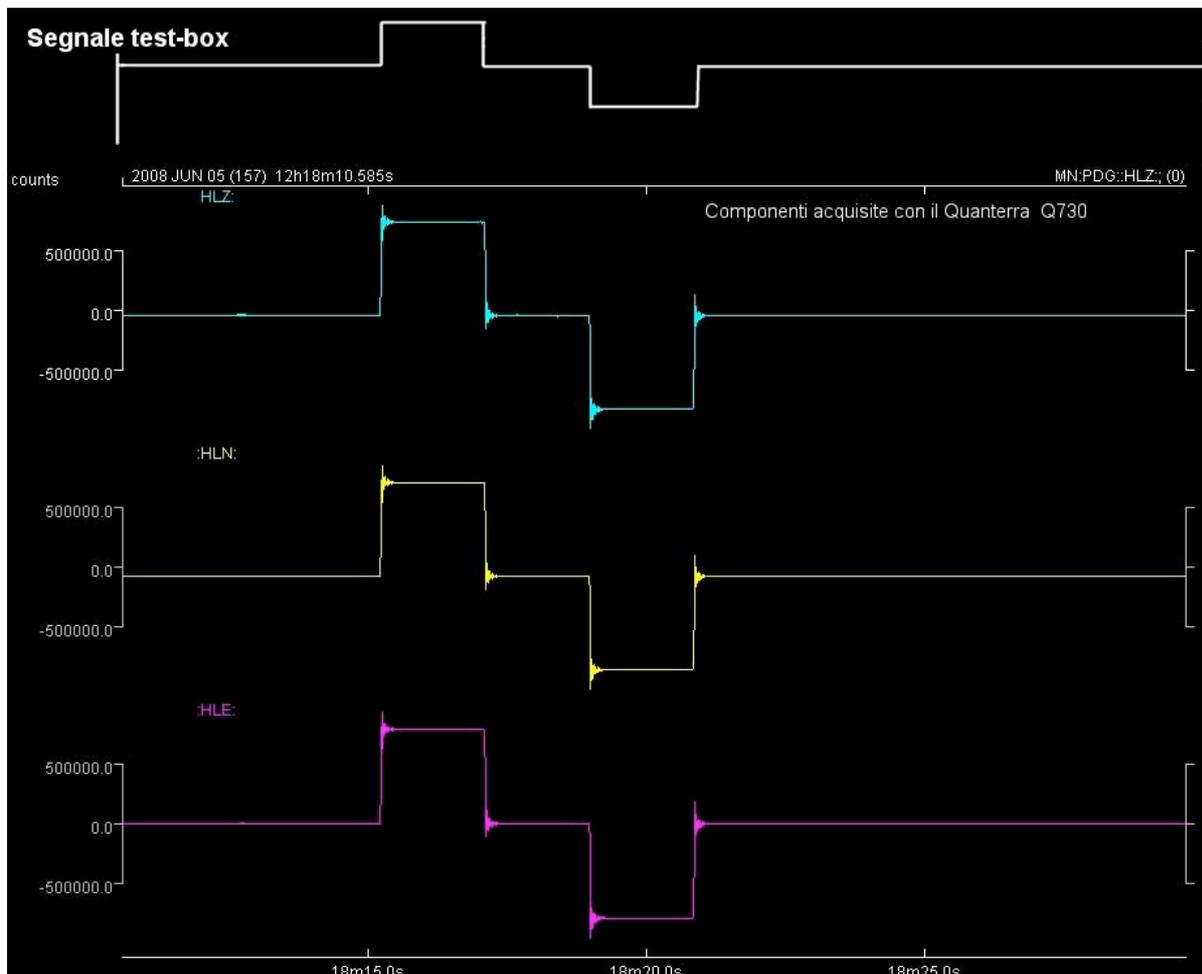


Figura 4. Andamento del segnale generato dal test-box e relativi segnali del sensore Episensor.

A questo punto, conoscendo la sensibilità dei tre canali dell'acquisitore è possibile attraverso i counts prodotti, risalire al valore in tensione della risposta dell'accelerometro all'impulso generato dal test-box sulla bobina di calibrazione.

Sul foglio di calibrazione del Q730, relativamente al canale Z troviamo che 1 volt corrisponde a 514624 counts per cui ricaviamo la sensibilità del canale eseguendo l'inverso di tale valore che corrisponde a 1,94 microV/counts.

Concentrandoci sempre sul canale Z la tensione ricavata dal segnale acquisito che chiameremo V_z , è di circa 1,5 volts infatti:

$$V_z = \text{counts totali} \times \text{sensibilità CHz} = 776369 \times 1.94 \text{ microV/counts} = 1,506 \text{ V}$$

questo, essendo la sensibilità dell'Episensor impostata a 10V/g, corrisponde ad una accelerazione (**a**) indotta di :

$$a = 1.506 \text{ V} / 10 \text{ V/g} = \underline{0.1506 \text{ g}}$$

Quindi avendo alimentato la bobina di calibrazione con un impulso di 2.5 V e sapendo dal foglio di calibrazione che per tale bobina (componente Z) il valore di sensibilità è 0.0598 g/V, possiamo asserire di aver indotto sul sensore l'equivalente di uno stimolo meccanico da 0.150 g in pieno accordo con quello ricavato per via indiretta dall'acquisizione del segnale prodotto.

La quasi coincidenza dei due valori per il canale in questione ci garantisce il corretto funzionamento del sensore Episensor e della corsa della massa, infatti in caso contrario ci si potrebbe trovare in presenza di malfunzionamenti o elettronici o meccanici, come ad esempio l'ossidazione delle molle applicate alle masse con successiva perdita di elasticità e conseguente risposta erronea alle sollecitazioni. Inoltre il test risulta utile al momento dell'installazione del sensore, per una verifica veloce della corretta polarità dei segnali.

Nell'appendice B e C vengono riportati le schede di calibrazione dei canali di acquisizione del Quanterra Q730 e del sensore Episensor FBA ES-T.

Questo prototipo è attualmente installato nella stazione sismica di Podgorica (sigla PDG) nel Montenegro e facente parte della rete Mednet.

3. Sviluppi futuri

Il microprocessore a bordo del *test-box* anche se caratterizzato da prestazioni limitate, essendo *low-cost*, può ancora svolgere altre funzioni, prima di arrivare alla saturazione delle sue capacità. Per esempio l'avvio della calibrazione, che per il momento è affidata ad un pulsante, necessita dell'intervento di un operatore locale. Implementando un semplice protocollo su porta seriale, si potrebbe avviare la calibrazione sfruttando il normale canale di trasmissione impiegato dall'acquisitore Quanterra per la trasmissione dei dati sismici, il quale a sua volta potrebbe colloquiare localmente con il *test-box* su porta RS-232.

Tale miglioria permetterebbe a qualunque utente di verificare, quando necessario, il corretto funzionamento dell'Episensor, senza doversi fisicamente recare sul posto, con conseguente risparmio economico ed immediatezza dell'informazione. L'impiego di un microprocessore più potente, per l'implementazione di ulteriori funzioni non costituirebbe un grande sforzo economico, dal momento che oggi con pochi euro sono disponibili dei *device* a 16 o 32 bit, ma sicuramente un grande impegno da parte del costruttore per la gestione circuitale, essendo questi dispositivi disponibili per lo più in tecnologia SMD (*surface mounting device*), ben più complicata per il montaggio rispetto ad un semplice chip *through-hole* installabile su zoccolo come un qualsiasi integrato di tipo "classico". Inoltre tale difficoltà porterebbe ad un maggiore costo anche nel momento della realizzazione del circuito, da parte di una ditta specializzata, in previsione di un piccolo approvvigionamento di più pezzi. Per cui l'utilizzo di un microcontrollore dal classico *footprint* è da ritenersi la scelta più indicata, da mantenere sicuramente anche in futuro, compatibilmente con la sua fruibilità sul mercato.

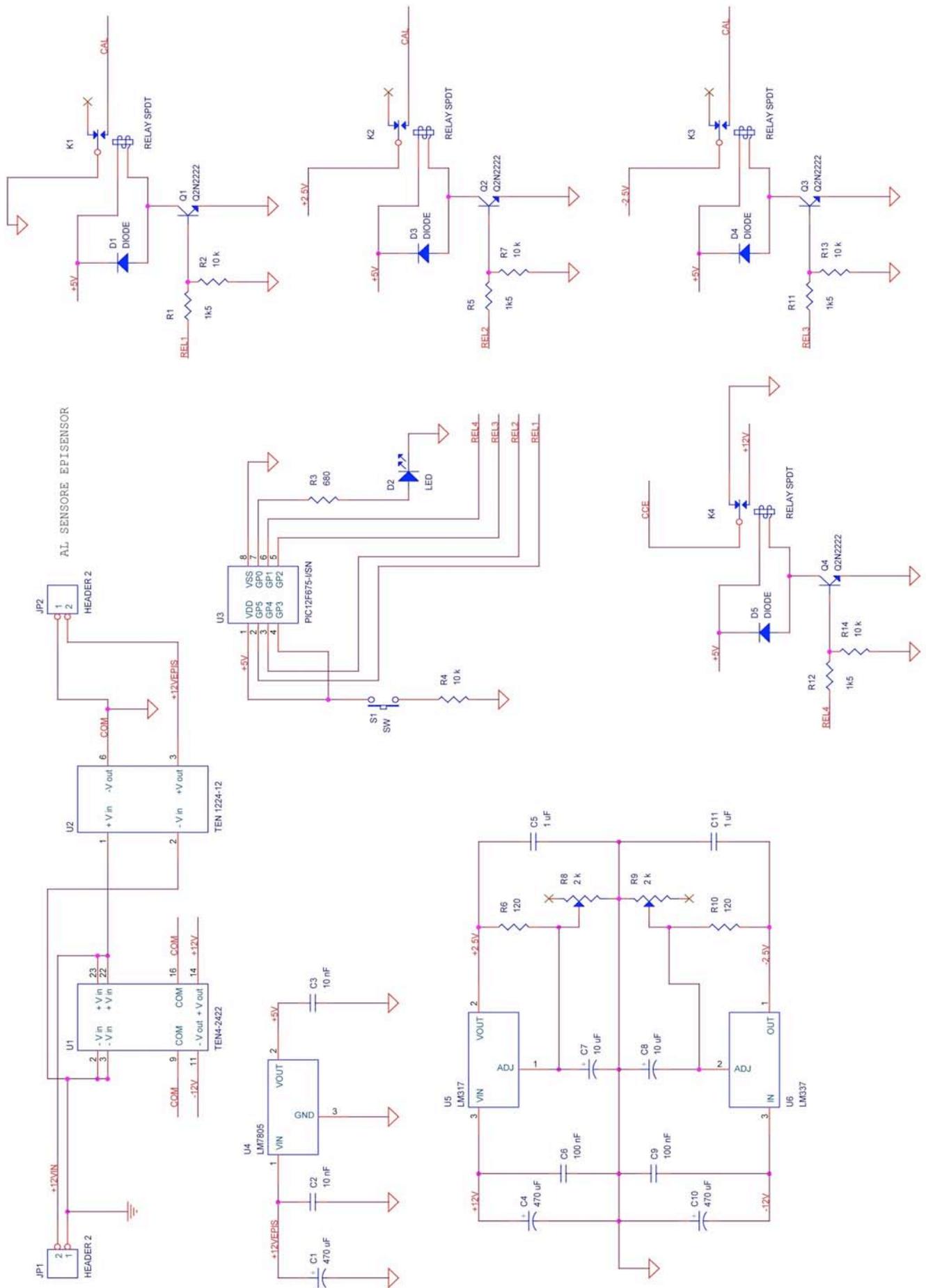


Figura 5. Schema circuitale del test-box.

Appendice A – Programma in *picbasic* del PIC12F675

```
' routine per il controllo calibrazione episensor

INCLUDE "modedefs.bas"

@ device PIC12F675, intrc_osc, bod_on, wdt_off, pwrt_on, mclr_off,
protect_off
'inizio dichiarazione variabili
soglia001 VAR WORD
soglia002 VAR WORD
conv_appo VAR WORD
utente    VAR BIT
sotto     VAR BIT
sopra     VAR BIT
'fine dichiarazione variabili
'inizio settaggio registri microprocessore

        CMCON=7 'COMPARATORE OFF
        ANSEL = 0 'uscite digitali
        TRISIO = 8
'fine settaggio registri microprocessore

        GPIO.5=0 'relé 1
        GPIO.4=0 'relé 2
        GPIO.2=0 'relé 3           'inizializzazione pin per il pilotaggio dei relè
        GPIO.1=0 'relé 4
        GPIO.0=0 'led busy

LOOP:

IF GPIO.3 = 0 Then 'Tale pin se posto a 0 da inizio al ciclo di calibrazione

GPIO.0=1 'led busy on
GPIO.5=1  'relè K1
Pause 10
GPIO.4=1  'relè K2
Pause 2000
GPIO.5=0
Pause 10
GPIO.2=1  'relè K3
Pause 2000
GPIO.2=0
Pause 10
GPIO.5=1
Pause 2000
GPIO.5=0
Pause 10
GPIO.1=1  'relè K4
Pause 2000
GPIO.1=0
Pause 10
GPIO.5=1
Pause 2000
GPIO.4=0
GPIO.5=0
GPIO.0=0 'led busy off
EndIF
GoTo loop
End
```

Appendice B – Foglio di calibrazione del Quanterra Q730

6/10/2004 **SYSTEM CHECKLIST AND CALIBRATION SHEET** Page 2 of 2

VALUE : Q730-6G -FD/E16 -CW SYSTEM SERIAL: 2004009 SYSTEM BARCODE :12761

420K-0 REV: B S / N : 114399

CH 2 _QAPCHP: S / N : 114338 ZERO FUNC : X
 INPUT IMPEDANCE (VOLTS / UA = OHMS) : 10 / 159.7 = 62.6 K ohms
 ((5124720) - (- 5127412)) / 20 = 512607 COUNTS / VOLT

CH 3 _QAPCHP: S / N : 114339 ZERO FUNC : X
 INPUT IMPEDANCE (VOLTS / UA = OHMS) : 10 / 159.8 = 62.6 K ohms
 ((5165045) - (- 5170304)) / 20 = 516767 COUNTS / VOLT

CH 4 _QAPCHP: S / N : 114337 ZERO FUNC : X
 INPUT IMPEDANCE (VOLTS / UA = OHMS) : 10 / 159.6 = 62.7 K ohms
 ((5256081) - (- 5259213)) / 20 = 525765 COUNTS / VOLT

QAPCAL SERIAL #: 114408 REV: B

	LOCATION	OK
MASS RECENTER OUTUT : <u>X</u>	CENB0	X
SINE test @ -12db : <u>X</u>	CENB1	X
Calibrator Temp : <u>X</u>	CENB2	X
Mass Position Inputs: MPOS0 : <u>X</u> MPOS1 : <u>X</u> MPOS2 : <u>X</u>		

420K-1 REV: B S / N : 114401

CH 6 _QAPCHP: S / N : 114341 ZERO FUNC : X
 INPUT IMPEDANCE (VOLTS / UA = OHMS) : 10 / 159.9 = 62.5 K ohms
 ((5144348) - (- 5148132)) / 20 = 514624 COUNTS / VOLT

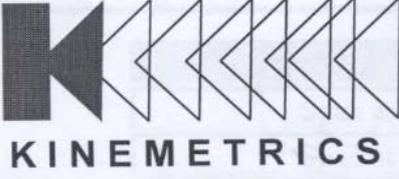
CH 7 _QAPCHP: S / N : 114342 ZERO FUNC : X
 INPUT IMPEDANCE (VOLTS / UA = OHMS) : 10 / 160 = 62.5 K ohms
 ((5172865) - (- 5175439)) / 20 = 517415 COUNTS / VOLT

CH 8 _QAPCHP: S / N : 114343 ZERO FUNC : X
 INPUT IMPEDANCE (VOLTS / UA = OHMS) : 10 / 159.9 = 62.5 K ohms
 ((5144315) - (- 5152579)) / 20 = 514845 COUNTS / VOLT

QUANTERRA INC., 325 AYER ROAD, HARVARD MA. 01451
 (978) - 772-4774 -- FAX (978) -772-4645

Figura 6. Foglio di calibrazione del Quanterra Q730. Il parametro usato per la calibrazione e sottolineato in rosso.

Appendice C – Foglio di calibrazione dell'Episensor FBA ES-T



KINEMATICS

EpiSensor
FBA ES-T Calibration
Data & Configuration



Sales Order Number	270005-1	
Shipping Date	2/21/2007	
Unit Serial Number	2720	
Oscillator Board Serial Number	2961928	
Power Supply Type	+/-12V Supplies	+12V Single Supply Option
		X
Current	+12V /mA	-12V /mA
	92.01	
Sensor Output Voltage Level	2.5V	10V
		X
Standard or Low Noise Output	Standard	Low Noise
		X
Output Type	Single Ended	Differential
		X
Sensitivity	10 V/g	
Final Setup Check by	BT	
Test Date	2/20/2007	

	Serial Number	Range Set
X Axis Module	28419	2G
Y Axis Module	28420	2G
Z Axis Module	28421	2G

This data sheet reflects the factory-set configuration of this EpiSensor. If you wish to change the configuration, refer to the User Guide included with your EpiSensor. Data for the individual modules is included in the following pages.

ES-T Calibration Sheet Version 2.0

Kinematics Inc.
 222 Vista Avenue
 Pasadena
 California 91107
 USA

(626) 795 2220
 www.kinematics.com

Figura 7. Foglio di calibrazione dell'Episensor FBA ES-T.

EpiSensor Module Data Sheet

version 1.20 (3-28-2002)

Serial Number **28421**

Date: 11/13/2006

Parameter	Value	Units
Span at 1/4g	9.9992	Volts/g
Span at 1/2g	5.0011	Volts/g
Span at 1g	2.4986	Volts/g
Span at 2g	1.2504	Volts/g
Span at 4g	0.6257	Volts/g
Bandwidth (-3dB) @ 1g	196	Hz
Gain Variation at 100Hz @ 1g	-0.5	dB
Phase at 100Hz @ 1g	-59	Degrees
Non-Linearity @ 1g	323	ug/g^2
Mechanical Alignment Error	0.0373	Degrees
Cal-Coil Sensitivity	0.0598	g/Volt
Poles and Zeros	See Manual	rad/sec

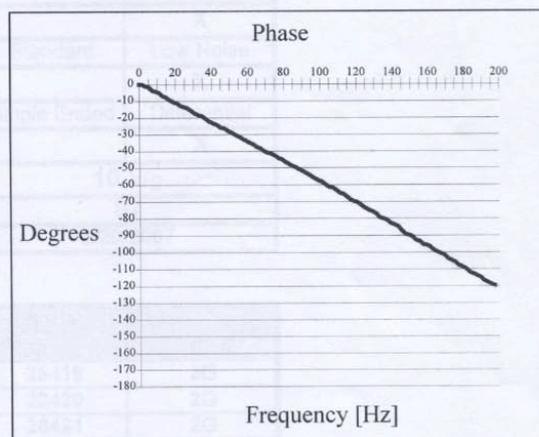
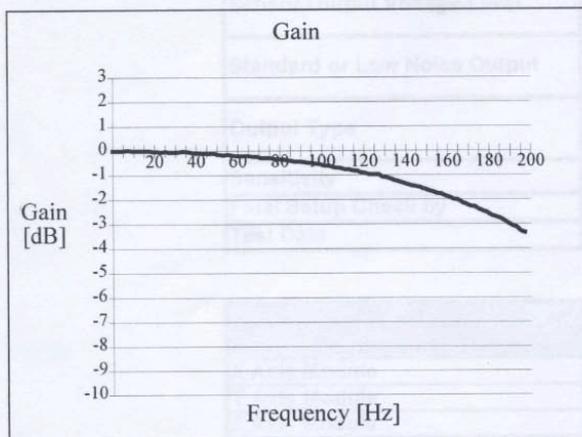


Figura 8. Foglio di calibrazione del canale Z dell'Episensor. Il numero racchiuso dal circolo rosso rappresenta il codice del canale.

Come si evince dal foglio di calibrazione (figg. 7 ed 8) ogni canale è individuato da un numero seriale. Nel nostro caso il canale impiegato per la verifica è la componente Z avente numero seriale 28421 (codice racchiuso dal circolo rosso in figura 8). Con la freccia nera si evidenzia il Cal-Coil Sensitivity che corrisponde a 0.0598 g/Volt

Bibliografia

- [1]. Episensor – Force Balance Accelerometer Model FBA ES-T, *User Guide*, Document 301900, Revision D, October 2005.
- [2]. Episensor – Force Balance Accelerometer Model FBA ES-T, *User Guide Supplemental Information*, Document 301923, July 2009.
- [3]. Altus Digital Recorder – *User Manual*, Document 302200, Revision I, April 2002.
- [4]. Picbasic Pro Compiler, microEngineering Labs, Inc., copyright 2002.
- [5]. E. Boschi, D. Giardini, A. Morelli - *Mednet, The broad-band seismic network for Mediterranean – September 10-14, 1990, CCSEM, Erice.*

Ringraziamenti

Si ringrazia il tecnico Massimo Perfetti per averci fornito la varia documentazione relativa all'acquisitore Quanterra e per la sua collaborazione nell'estrazione dei dati prodotti in fase di acquisizione.

Coordinamento editoriale e impaginazione

Centro Editoriale Nazionale | INGV

Progetto grafico e redazionale

Daniela Riposati | Laboratorio Grafica e Immagini | INGV

© 2011 INGV Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

Via di Vigna Murata, 605

00143 Roma

Tel. +39 06518601 Fax +39 065041181

<http://www.ingv.it>



Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia