



**Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia**  
**Sezione di Napoli**  
**Osservatorio Vesuviano**

**Interfaccia elettronica per la  
calibrazione remota di sismometri**

**S. Guardato<sup>(a)</sup>, M. Capello<sup>(a)</sup>, C. Martino<sup>(b)</sup>**

<sup>(a)</sup> I.N.G.V. - Osservatorio Vesuviano - Napoli

<sup>(b)</sup> A.M.R.A. *scarl* - Napoli

Open File Report n. 8, 2007  
[www.ov.ingv.it](http://www.ov.ingv.it)

Author : <b>Sergio Guardato</b>	<b>Interfaccia elettronica per la calibrazione remota di sismometri</b>	Ver.: <b>V. 2.0</b>
Telephone : <b>+39/081.242.03.36</b>		Date: 20/9/2007



# Indice

<i>Indice delle figure e tabelle</i> .....	4
Sommario .....	5
Introduzione .....	6
Principio di funzionamento .....	9
Descrizione funzionale .....	10
Sezione alimentazioni .....	13
Buffer per i segnali di comando .....	18
Generatore di corrente costante .....	19
Generatore di tensione costante .....	22
Buffer per la terna di sensori passivi .....	24
Indicatori di stato .....	28
Regolazioni .....	29
Descrizione delle morsettiere su PCB .....	30
Verifiche funzionali .....	34
Analisi dei consumi .....	42
<i>Bibliografia</i> .....	44
<i>Allegati</i> .....	44

## Indice delle figure e tabelle

Figura 1: Posizione e architettura delle stazioni sismiche CRdC-AMRA.....	7
Figura 2: schema a blocchi del modulo.....	10
Figura 3: integrato LM7805.....	13
Figura 4: caratteristiche tipiche del LM7805.....	14
Figura 5: regolatore di tensione fissa.....	14
Figura 6: LM2941-caduta di tensione tra ingresso ed uscita.....	15
Figura 7: regolatore di tensione variabile.....	16
Figura 8: package, schema logico e funzionale (un solo <i>gate</i> ) del MC14106.....	17
Figura 9: caratteristica di trasferimento ed applicazione tipica del MC14106.....	17
Figura 10: schema funzionale e logico (un solo <i>gate</i> ) per l'HEF4050.....	18
Figura 11: LM317 – <i>Power Follower</i> .....	19
Figura 12: LM317 (TO-220).....	20
Figura 13: limitatore di corrente.....	21
Figura 14: caratteristiche tipiche del LM317.....	21
Figura 15: LM317 – <i>linear voltage regulator</i> .....	22
Figura 16: AD8553.....	25
Figura 17: caratteristiche di rumore del AD8553.....	25
Figura 18: applicazione circuitale tipica per l'AD8553.....	26
Figura 19: caratteristiche tipiche dell'AD8553.....	27
Figura 20: foto dei led e dei resistori di smorzamento.....	28
Figura 21: vista dei trimmer accessibili sul lato del box della scheda.....	29
Figura 22: vista globale della scheda di interfaccia.....	30
Figura 23: connettori BNC dedicati al monitoraggio dei segnali d'uscita della scheda.....	33
Figura 24: test setup (1).....	36
Figura 25: confronto visivo tra le risposte di due sensori passivi acquisiti in.....	37
Figura 26: dettaglio della figura precedente analizzando parte dei segnali.....	37
Figura 27: come in figura 21 con lo stesso tipo di acquisitore ma con impedenza di ingresso pari a 25k $\Omega$ .....	38
Figura 28: analisi della figura precedente.....	38
Figura 29: test setup (2).....	39
Figura 30: risposta al segnale di calibrazione per una coppia di sensori passivi.....	40
Figura 31: dettaglio della figura precedente.....	40
Figura 32: FFT della coppia di segnali acquisiti da altrettanti sensori passivi (dettaglio da 0.1 a 20Hz).....	40
Figura 33: curva di calibrazione in risposta dalla terna accelerometrica (CMG-5T Guralp).....	41
Figura 34: sovrapposizione delle risposte.....	41
Figura 35: dettaglio delle risposte.....	41
Figura 36: figura che mostra le differenti risposte in ampiezza per la terna accelerometrica.....	41
Figura 37: la scheda alloggiata nell'apposito contenitore.....	43

\* \* \* \* \*

Tabella 1: caratteristiche dinamiche del HEF4050.....	18
Tabella 2: indicatori di stato.....	28
Tabella 3: trimmer per regolazioni resistenza di smorzamento critico.....	29
Tabella 4: trimmer per regolazioni corrente di calibrazione sensori.....	29
Tabella 5: descrizione della morsettiera.....	32
Tabella 6: descrizione dei connettori BNC.....	33
Tabella 7: consumi energetici.....	42

## Sommario

In questo rapporto tecnico viene descritto un sistema elettronico, che rende possibile la calibrazione remota di sensori sismici passivi, muniti di apposita bobina di calibrazione, ed attivi collegati ad un qualunque acquisitore dati digitale dotato di una porta d'uscita a stati logici programmabile e di due linee digitali di controllo.

La calibrazione diventa attiva attraverso un comando inviato da remoto, utilizzando la connessione via rete Ethernet dell'acquisitore, e l'operatore può decidere sia quando iniziare la calibrazione che il numero di impulsi di calibrazione da trasmettere, controllando oltre allo smorzamento ed alla polarità del segnale, anche la curva di risposta di tutta la catena di acquisizione.

La gran parte degli acquisitori moderni è in grado di eseguire la calibrazione in maniera automatica, ma la corrente erogata al sensore raramente è in grado di calibrare più componenti (o più sensori) contemporaneamente. Il sistema descritto in questo rapporto oltre a consentire la calibrazione di tre o più componenti contemporaneamente, consente anche una facile determinazione e regolazione del valore della resistenza di smorzamento critico per i sismometri di tipo passivo.

## Introduzione

La calibrazione di un sensore sismico è una procedura estremamente delicata ed importante, da effettuarsi sia in laboratorio prima dell'installazione che direttamente sul sito, e consente di verificare la corrispondenza dei parametri misurati sperimentalmente con quelli forniti dalla casa costruttrice, oltre ad accertarne il corretto funzionamento nonché di verificarne la stabilità nel tempo dei parametri che lo caratterizzano. La calibrazione può essere eseguita sia per il solo sismometro che per l'intera catena strumentale. Quest'ultimo caso è indispensabile per conoscere la relazione che lega l'ampiezza misurata in *counts* dei segnali acquisiti al reale movimento del suolo.

Il controllo frequente della funzione di trasferimento (curva di risposta di tutta la catena strumentale) che caratterizza una stazione sismica, rende utile avere un dispositivo il quale, in modo automatico, inserisca un opportuno segnale campione nel sensore per poterne rilevare eventuali variazioni di funzionamento. Questo strumento deve rispondere ad alcuni requisiti per rendere l'operazione di calibrazione efficace: deve essere gestibile da remoto (attivabile attraverso un segnale di trigger), deve prevedere una durata dell'impulso variabile, e l'ampiezza del segnale deve essere regolabile in funzione della tipologia del sensore sismico sotto esame.

Nel presente rapporto è descritto un sistema elettronico realizzato per la determinazione della curva di risposta della strumentazione sismica in via di installazione nell'Appennino Campano-Lucano da parte del Centro Regionale di Competenza - Analisi e Monitoraggio del Rischio Ambientale (CRdC-AMRA), attualmente AMRA *scarl*. Tale rete sismica copre un'area di circa 100x70 km ed è composta da 28 stazioni e 6 centri di controllo locale (**Local Control Center**) di interconnessione, strutturati in una architettura a *cluster* (Figura 1). Due LCC della rete sono essi stessi delle stazioni sismiche.

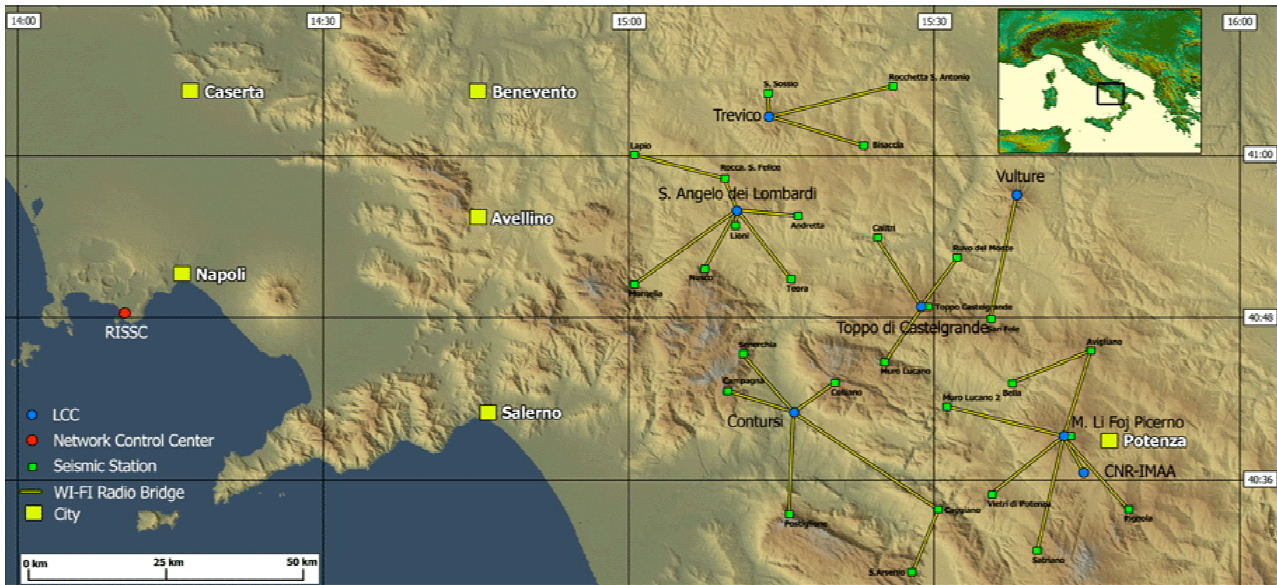


Figura 1: Posizione e architettura delle stazioni sismiche CRdC-AMRA.

Ogni stazione sismica è alloggiata in una area di 6x4 metri recintata, all'interno della quale è posto un prefabbricato (*shelter*) di 2x2x2m. Su un basamento di cemento armato del volume di  $1m^3$  sono ancorati due sensori sismici (un accelerometro ed un velocimetro) a tre componenti per complessivi sei canali di acquisizione. 25 stazioni sono equipaggiate con l'accelerometro triassiale *Guralp*<sup>®</sup> CMG-5T<sup>1</sup> ed una terna di velocimetri a corto periodo ( $T_0 = 1s$ ) S-13J<sup>2</sup> della *Geotech Instruments*<sup>®</sup>. Le cinque stazioni rimanenti sono provviste dello stesso accelerometro ma con il velocimetro triassiale *broad-band* Trillium-40<sup>3</sup> della *Nanometrics*<sup>®</sup> (banda 0.033÷50Hz).

I moderni standard di qualità sui dati acquisiti dalle Reti Sismiche Permanenti, richiedono la verifica costante del corretto funzionamento della strumentazione (si rimanda alla bibliografia elencata alla fine del presente documento). Tali esigenze hanno richiesto la progettazione e la realizzazione di una scheda di interfaccia elettronica, da integrarsi nelle stazioni sismiche, in grado di eseguire calibrazioni remote rapide in modalità automatica e con una frequenza programmabile.

<sup>1</sup> <http://www.guralp.com/documents>

<sup>2</sup> <http://www.geoinstr.com/s-13j.htm>

<sup>3</sup> <http://www.nanometrics.ca>

In breve, il principio si basa sull'invio, ad una o più bobine di calibrazione dei sensori, di un impulso di corrente (o di un qualsiasi altro tipo di segnale campione) tale da produrre ai capi della/e bobina/e di raccolta del segnale trasdotto, una tensione di ampiezza nota.

Il dispositivo descritto in questo rapporto include, inoltre, un sistema che consente di modificare la resistenza di smorzamento critico dei sismometri senza intervenire con alcuna manovra invasiva sugli stessi. Infine, è possibile calibrare in tensione anche una terna di componenti di un qualunque sensore attivo.



## Principio di funzionamento

Il sistema elettronico automatico di calibrazione (per le bobine di taratura dei trasduttori sismici passivi, e per gli ingressi corrispondenti per quelli attivi) e di smorzamento (per le sole bobine di segnale dei sensori passivi), si presta ad essere d'impiego generale in attività di ricerca di interesse sismico.

Per smorzare opportunamente il segnale d'uscita del sismometro passivo, collegato ad un ingresso dell'acquisitore (che presenta un'impedenza d'ingresso di valore finito), senza ripercussioni sulla dinamica di uscita del sensore, interveniamo inserendo in parallelo all'uscita del sensore stesso un resistore di valore opportuno. Quest'ultimo però dipende fortemente dall'impedenza di ingresso dell'acquisitore, in quanto quest'altra resistenza viene vista in parallelo ad esso. E' comunque possibile 'isolare' il problema inserendo, tra l'uscita del sismometro passivo (a valle del resistore esterno di smorzamento critico) e l'acquisitore, un INA (*INstrumentation Amplifier*) montato come *buffer* adattatore di impedenza (con guadagno unitario) caratterizzato dall'avere un bassissimo rumore ed una banda passante adeguata agli scopi.

Ed è ciò che è stato specificamente progettato avendo scelto un opportuno INA con banda passante compresa tra 0.01 e 100Hz e densità spettrale di rumore in tensione molto bassa pari a circa  $1.5\mu V/\sqrt{Hz}@Gain=1$  su tutta la banda di frequenze d'interesse.

Il progetto del modulo elettronico oggetto del presente rapporto, si presenta con due funzionalità operative: da un lato esso esegue la taratura sul campo della resistenza di smorzamento critico per una terna di sensori passivi, e dall'altro genera in maniera automatica, completamente gestibile in modalità remota attraverso un qualunque acquisitore dati dotato di interfaccia Ethernet, i segnali di calibrazione sia per i sensori passivi che per un sensore attivo triassiale.

La scheda di interfaccia può essere alimentata con una tensione continua compresa tra 12 e 18Vdc.

La calibrazione dei sensori si effettua mediante l'ausilio di un qualunque *datalogger* in grado di inviare un segnale a gradino, o ad onda quadra o sinusoidale, alla scheda elettronica (al pin denominato **CALIB**, presente sulla morsettiera che sarà descritta più avanti in questo documento), avendo inoltre cura di mantenere contemporaneamente ad un livello di tensione alto (>0.8V rispetto a massa) il pin **ENABLE** della morsettiera per tutta la durata dell'operazione di calibrazione.



antidisturbo e di disaccoppiamento per la tensione della batteria ed un fusibile di protezione autoripristinante per eventuali sovraccarichi di corrente, con l'aggiunta di una protezione contro accidentali inversioni di polarità dell'alimentazione.

Da questo blocco è prelevata una tensione di alimentazione che viene stabilizzata da un regolatore integrato (usato per alimentare i tre INA ed altri dispositivi a valle dei sensori passivi), ed un'altra tensione che alimenta opportuni buffer di comando, posti in attesa del segnale di abilitazione denominato ENABLE prelevato dall'acquisitore dati.

Durante questa fase il modulo è nello stato di stand-by, indicato dall'accensione del solo diodo led di segnalazione denominato BAT., presente sul pannello frontale del box plastico contenente la scheda elettronica. Il consumo di corrente corrispondente è di circa  $10\text{mA}@13.6\text{V}$  ( $136\text{mW}$ ). In queste condizioni è possibile acquisire i segnali sismici, in modalità differenziale, provenienti dal sensore attivo e dalla terna di sensori passivi. Solo questi ultimi tre segnali, prima di essere inviati al datalogger, vengono fatti transitare per altrettanti blocchi indipendenti per la regolazione della resistenza di smorzamento critico dei trasduttori, cosa che avviene agendo su altrettanti trimmer resistivi multigiro del valore di  $10\text{k}\Omega$  posti sul pannello frontale della scatola contenente la scheda di interfaccia.

E' anche possibile osservare la risposta in tempo reale della terna corrispondente ai soli sensori passivi prelevando questi segnali da altrettanti appositi connettori BNC presenti sul pannello posteriore del box contenente la scheda. Contemporaneamente, le tre coppie differenziali di segnale vengono inviate agli INA e poi all'acquisitore dati per il processamento degli stessi.

Un livello di tensione, in logica di tipo TTL o CMOS con durata variabile, in uscita dal datalogger, deve poter essere inviato al pin denominato ENABLE della morsettiera montata sulla scheda, descritta più avanti. Questo, se a livello alto, abilita un buffer CMOS per l'uscita (a bassa impedenza) del segnale di trigger, opportunamente traslato a  $+5\text{V}$ , che può essere prelevato da un connettore BNC, anch'esso presente sul pannello posteriore del box plastico contenente la scheda di interfaccia (denominato Trigger\_Mon). La sua transizione da livello logico basso ( $0,2\text{V}$  circa) a livello logico alto rappresenta l'avvio della calibrazione dei sensori, e può essere osservata con l'ausilio di un oscilloscopio o di una scheda di acquisizione collegabile ad un comune PC. In questa fase, e fino a che il segnale inviato al pin ENABLE rimane invariato, l'uscita Trigger\_Mon resta anch'essa a livello logico alto ( $+5\text{V}$ ). La transizione inversa di questo livello logico rappresenta l'arresto della calibrazione.

Lo stesso livello di segnale bufferizzato viene usato sia per abilitare alla calibrazione il sensore attivo attraverso il livello di tensione di circa +5V uscente dalla scheda denominato **CAL\_ENABLE** (il segnale resta attivo alto per tutta la durata dell'operazione di calibrazione), sia per fare commutare uno switch elettronico che porta un regolatore LDO (*Low DropOut regulator*) fuori dalla condizione di shutdown alimentando, di conseguenza, tutta la parte restante dell'elettronica del modulo. In tale fase anche il diodo led denominato ON è acceso segnalando lo stato di funzionamento attivo dell'interfaccia. Si noti, che per ragioni pratiche, sulla morsettiera è disponibile in uscita anche il livello di tensione denominato **\CAL\_ENABLE** attivo basso (complementare a CAL\_ENABLE), utile per quei sensori attivi che vengono abilitati alla calibrazione solo con un livello di tensione basso anziché alto.

Per effettuare l'operazione di calibrazione dei sensori è necessario poter inviare un segnale, ad opera dell'acquisitore dati, al pin della morsettiera denominato CALIB; esso deve essere un segnale di tipo logico TTL o CMOS con durata variabile e programmabile via software.

Questo segnale, a sua volta bufferizzato, attiva un blocco utilizzato per segnalare, attraverso il flash del diodo led denominato CAL., che il modulo si trova ad effettuare una calibrazione dei sensori.

Lo stesso segnale bufferizzato fa commutare uno switch elettronico che attiva sia un generatore di corrente costante che un generatore di tensione costante, presettabili per mezzo di due trimmer resistivi multigiro indipendenti (denominati **Iout** e **Vout**), di cui quest'ultimo viene usato per calibrare le componenti del sensore attivo, e l'altro per le bobine di calibrazione (collegate in serie tra loro) dei trasduttori elettromagnetici dei sensori passivi.

Nelle pagine successive segue una descrizione dettagliata di ogni singolo blocco funzionale del modulo con l'analisi dei componenti, dei circuiti integrati e delle tecniche di progetto adottate.

## Sezione alimentazioni

La tensione di alimentazione del modulo (12÷18Vdc) può essere prelevata da una batteria esterna.

La scheda di interfaccia prevede un primo stadio di filtraggio dell'alimentazione ed un fusibile autoripristinante con l'aggiunta di una protezione contro accidentali inversioni di polarità della batteria. Da questo blocco viene prelevata una tensione di alimentazione stabilizzata mediante l'utilizzo di un regolatore lineare integrato siglato LM7805 della National Semiconductor® nel package TO-92 visibile in figura.

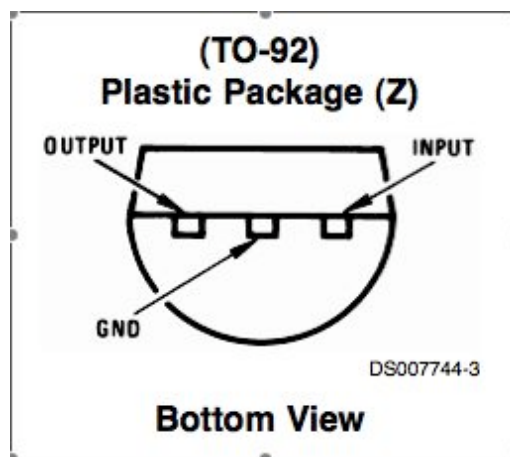


Figura 3: integrato LM7805.

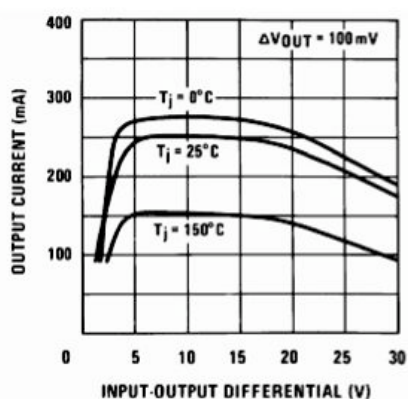
Si tratta di un classico regolatore integrato a tre terminali che, alimentato con una tensione minima di 7V in ingresso, è capace di fornire in uscita un livello di tensione continua e stabilizzata pari a 5.0V, con una corrente massima erogabile di 100mA.

Tra le altre proprietà dell'integrato figurano:

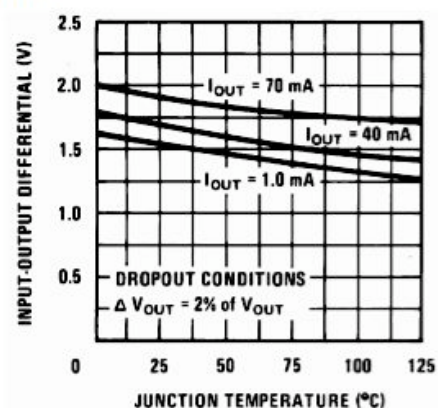
- protezione interna contro le sovratemperature;
- protezione interna contro i cortocircuiti;
- tolleranza della tensione di uscita di  $\pm 5\%$ ;
- $\Delta V_o = 7\text{mV} @ I_o = 5\text{mA}$ .

Altre caratteristiche tipiche vengono mostrate nelle figure seguenti.

### Peak Output Current



### Dropout Voltage



### Ripple Rejection

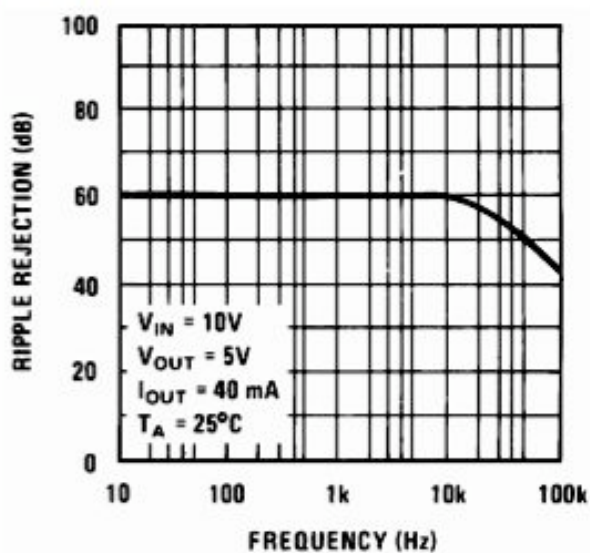


Figura 4: caratteristiche tipiche del LM7805.

La configurazione circuitale adottata è quella tipica con tensione d'uscita fissa come visibile in Figura 5.

### Fixed Output Regulator

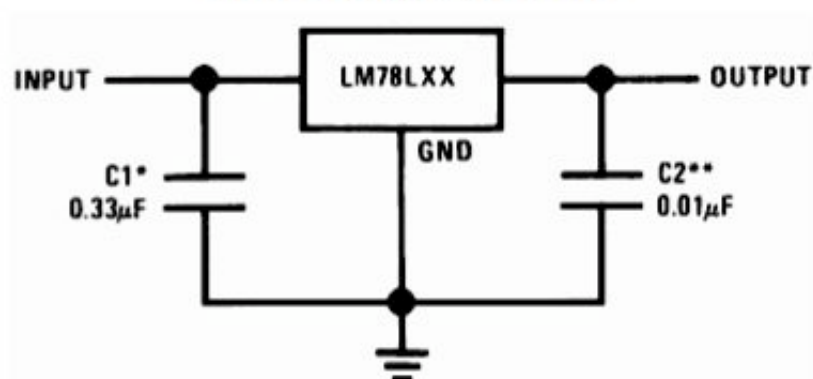


Figura 5: regolatore di tensione fissa.

dove  $C_1$  e  $C_2$  sono delle capacità al tantalio utilizzate per il filtraggio di eventuali *ripple* presenti sulle tensioni di ingresso e di uscita del circuito stabilizzatore.

Il regolatore LM7805 è usato per alimentare i tre INA ed altri dispositivi a valle dei sensori passivi.

Un altro regolatore integrato lineare, denominato LM2941C (National Semiconductor®) nel package plastico-metallico TO-220, ma con bassissimo valore di tensione di *dropout*, con uscita regolabile e pin di shutdown, viene utilizzato per alimentare tutta la parte restante della scheda.

Nella Figura 6 è mostrata la curva caratteristica della tensione di *dropout* (caduta di tensione tra ingresso ed uscita del dispositivo) in funzione della corrente di uscita nel carico.

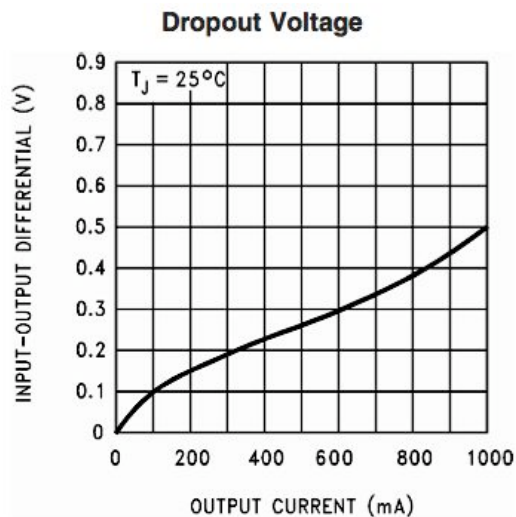


Figura 6: LM2941-caduta di tensione tra ingresso ed uscita.

Tra le funzionalità salienti del circuito integrato possiamo evidenziare le seguenti:

- tensione di uscita regolabile da 5V a 20V;
- tensione di *dropout* di circa 150mV @  $I_o = 200\text{mA}$ ;
- protezione interna contro le inversioni di polarità;
- limitatore interno di corrente;
- corrente di riposo (shutdown) di 10mA;
- switch  $\overline{ON}/OFF$  compatibile con livelli di tensione TTL e CMOS;
- $\Delta V_o = 8\text{mV/V}$ .

La configurazione circuitale adottata per il suo funzionamento è quella mostrata in Figura 7:

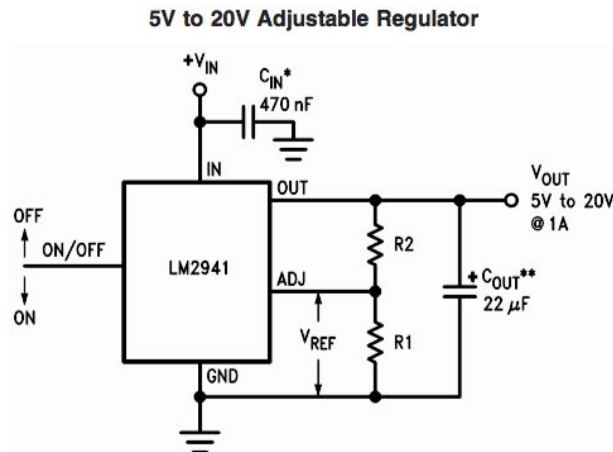


Figura 7: regolatore di tensione variabile.

dove la tensione di uscita  $V_{OUT}$  dipende dal partitore di tensione formato dai due resistori, denominati  $R_1$  ed  $R_2$ , secondo la relazione:

$$V_{OUT} = V_{REF} \cdot \left( \frac{R_1 + R_2}{R_1} \right)$$

con:

$$V_{REF} = 1.275V (typ.) .$$

Sono stati scelti resistori metallici con tolleranze dell'1% con i seguenti valori:

$$R_1 = 1.2k\Omega$$

$$R_2 = 9.1k\Omega$$

quest'ultima con in serie un trimmer resistivo da  $2k\Omega$  per consentire una migliore regolazione fine della tensione di uscita, ottenendo per essa un valore pari a circa 12.0V continui e stabilizzati.

Questa tensione viene utilizzata anche per alimentare un circuito oscillante utilizzato per fare lampeggiare il diodo led denominato CAL. durante l'operazione di calibrazione dei sensori. Quest'ultimo circuito è stato realizzato utilizzando un chip di tipo CMOS (siglato MC14106) della On Semiconductor® ed alimentato a 12V.



Si tratta di un circuito integrato contenente sei *trigger* di Schmitt. In figura 8 sono mostrate alcune delle sue caratteristiche salienti.

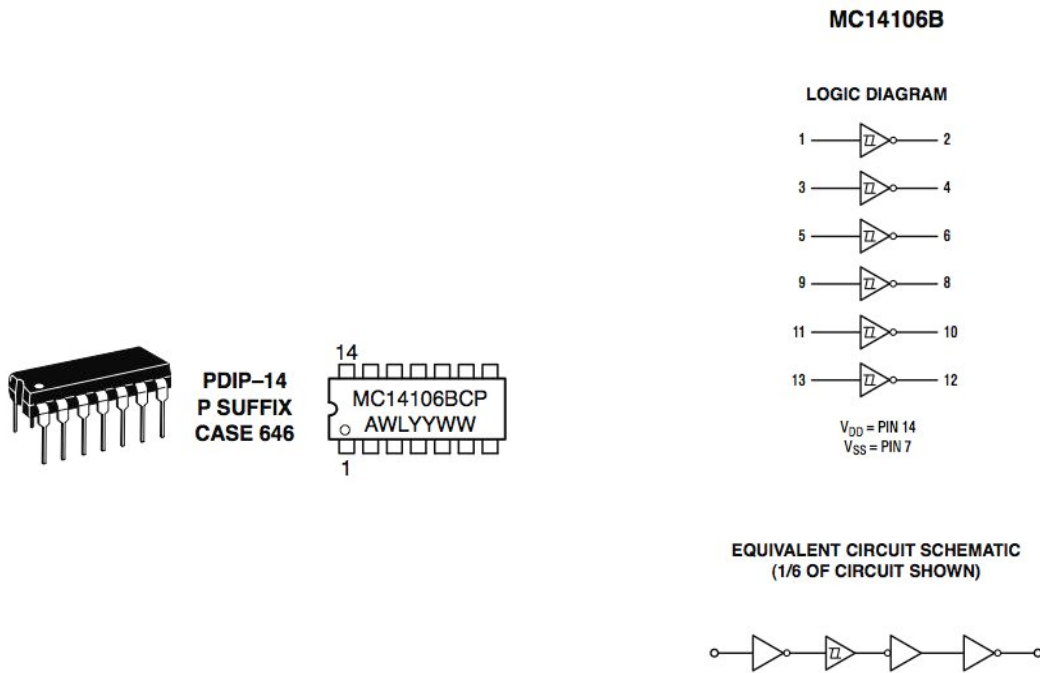


Figura 8: package, schema logico e funzionale (un solo gate) del MC14106.

Per far lampeggiare il diodo led si sono sfruttati alcuni dei sei trigger di Schmitt reazionandoli con circuiti RC di valori opportuni come mostrato nella figura 9, ottenendo alla fine un circuito oscillatore a rilassamento, basato su multivibratore monostabile, con frequenza di oscillazione pari a circa 2-4Hz, la cui attività segnala all'utente che è in atto un'operazione di calibrazione dei sensori.

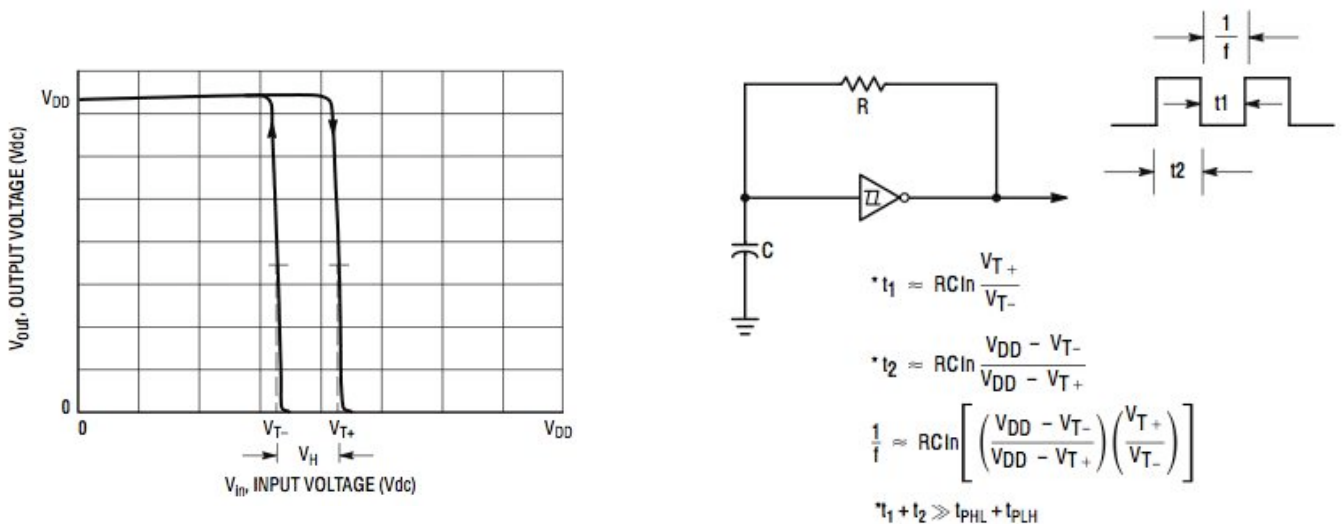


Figura 9: caratteristica di trasferimento ed applicazione tipica del MC14106.

## Buffer per i segnali di comando

Per bufferizzare i segnali di calibrazione e di comando in ingresso al modulo (CALIB ed ENABLE) prelevati dall'acquisitore dati, ed il segnale di uscita CAL\_ENABLE - opportunamente traslato a 5V - da inviare al sensore attivo per consentire la calibrazione dello stesso, è stato usato un comune circuito integrato CMOS; si tratta dell'HEF4050 che contiene sei *buffer* non invertenti con livelli di tensione CMOS ed alimentato a 12V (vedi Figura 10).

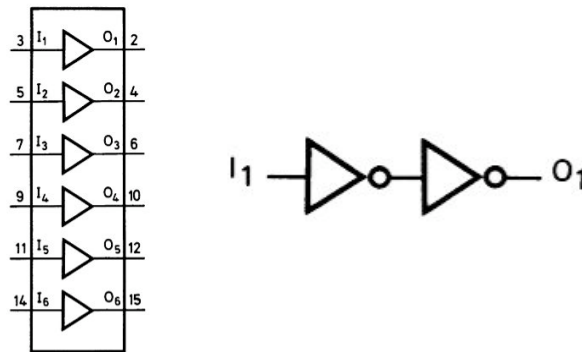


Figura 10: schema funzionale e logico (un solo gate) per l'HEF4050.

Nella Tabella 1 sono contenute le informazioni riguardo ai tempi di transizione ed ai ritardi di propagazione dei segnali logici per tale dispositivo.

	$V_{DD}$ V	SYMBOL	TYP.	MAX.	
Propagation delays $I_n$ $O_n$ HIGH to LOW	5	$t_{PHL}$	35	70	ns
	10		20	35	ns
	15		15	30	ns
LOW to HIGH	5	$t_{PLH}$	55	110	ns
	10		25	55	ns
	15		20	40	ns
Output transition times HIGH to LOW	5	$t_{THL}$	25	50	ns
	10		10	20	ns
	15		7	14	ns
LOW to HIGH	5	$t_{TLH}$	60	120	ns
	10		30	60	ns
	15		20	40	ns

Tabella 1: caratteristiche dinamiche del HEF4050.

Per l'implementazione hardware pratica dei circuiti sin ora descritti si faccia riferimento allo schema elettrico allegato denominato RISSC01.

## Generatore di corrente costante

Il generatore di corrente costante, presettabile per mezzo di un trimmer multigiro, viene usato per la calibrazione delle bobine dei trasduttori elettromagnetici dei sensori passivi. A tal proposito è utile ricordare che l'interfaccia in questione si occupa di realizzare internamente un circuito serie per le tre bobine di calibrazione di una terna di sensori.

Il generatore è stato ottenuto progettando un opportuno circuito booster di corrente con l'ausilio di un transistor di potenza fatto lavorare in commutazione, pilotato da un BJT di impiego generale, in congiunzione con un circuito che utilizza un classico regolatore lineare integrato a tre terminali.

Nella figura 11 viene mostrata la configurazione schematica di base adottata.

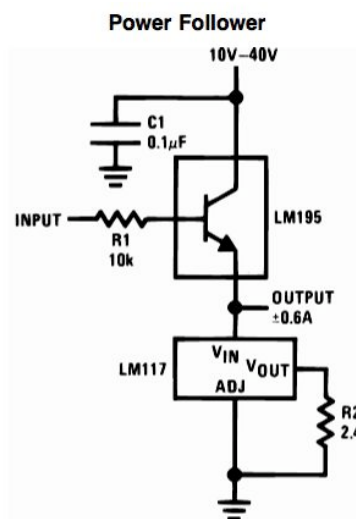


Figura 11: LM317 – Power Follower.

Il transistor utilizzato è un Darlington di potenza di tipo PNP (BD234) nel package metallico TO-126, in grado di erogare da solo una corrente massima di 2A. Con un opportuno segnale periodico di comando, proveniente dall'acquisitore dati dopo un'opportuna fase di bufferizzazione, esso lavora comportandosi come un interruttore analogico fornendo tensione all'ingresso della coppia di regolatori integrati dello stesso tipo.

Quest'ultimo è un comune regolatore integrato denominato LM317T della National Semiconductor® nel package plastico-metallico TO-220, montato in configurazione di generatore di corrente costante di precisione come visibile in figura 12.

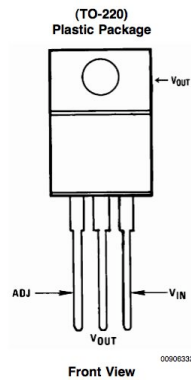


Figura 11: LM317 (TO-220).

Il regolatore è caratterizzato dall'aver un'impedenza d'uscita pressoché nulla, pertanto la corrente d'uscita nel carico, indipendentemente dalla sua impedenza, è costante. Questa viene a dipendere solo dal resistore montato nella catena di reazione del regolatore secondo la formula:

$$I_{out} = \frac{V_{REF}}{R_1}$$

dove:

$$V_{REF} = 1.25V(typ.)$$

è la tensione (costante) presente tra i pin  $V_{OUT}$  ed  $ADJ$  dell'integrato.

Scegliendo quindi per  $R_1$  un trimmer resistivo multigiro (20 turns) da  $100\Omega$  (1W) con in serie un resistore di potenza da  $1\Omega$  (1W), si può ottenere in uscita una corrente costante e limitata che può essere regolata finemente in un range che va da 12mA ad 1,2A.

Sperimentalmente è stato notato che per ogni bobina di calibrazione della terna di sensori passivi (Geotech S13-J) sono necessari circa 30mA di corrente durante la fase di calibrazione delle stesse. Pertanto in calibrazione dovranno essere necessari circa 100mA, tranquillamente erogabili dal regolatore.

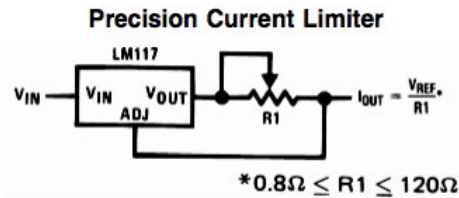


Figura 12: limitatore di corrente.

Tra le caratteristiche salienti di questo regolatore di corrente, usato per tarare le bobine di calibrazione dei sensori sismici, si evidenziano le seguenti:

- corrente di uscita massima di 1.5A;
- limitazione di corrente contro le sovratemperature;
- protezione contro i corto circuiti di uscita.

Altre caratteristiche tipiche vengono mostrate nelle figure seguenti.

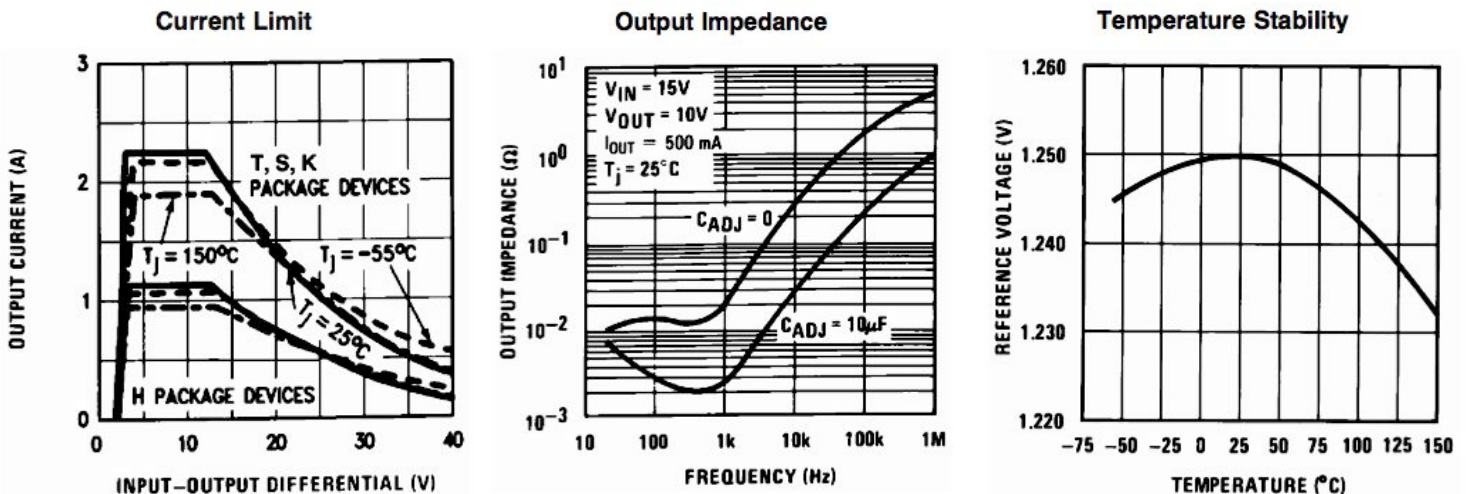


Figura 13: caratteristiche tipiche del LM317.

## Generatore di tensione costante

Il generatore di tensione costante, presettabile per mezzo di un trimmer multigiro, viene usato per la calibrazione delle tre componenti di un qualunque sensore attivo predisposto a questo tipo di operazione. Esso è stato ottenuto progettando un opportuno circuito con l'ausilio di un transistor di potenza in commutazione, pilotato da un BJT di impiego generale, in congiunzione con un circuito che utilizza un classico regolatore lineare integrato a tre terminali (lo stesso visto in precedenza).

Nella Figura 14 è mostrata la configurazione schematica di base adottata.

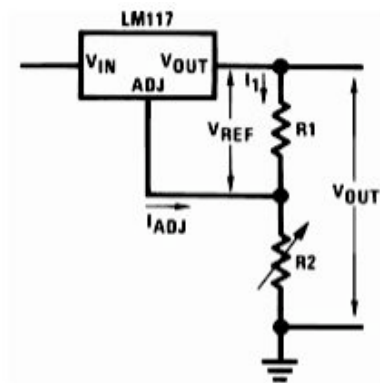


Figura 14: LM317 – linear voltage regulator.

Il regolatore di tensione fornisce in uscita una tensione che viene a dipendere solo dai due resistori montati nella catena di reazione del regolatore secondo la formula:

$$V_{out} = V_{REF} \cdot \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)$$

dove:

$$V_{REF} = 1.25V (typ.)$$

è la tensione (costante) presente tra i pin V<sub>OUT</sub> ed ADJ dell'integrato.

Scegliendo quindi per  $R_2$  un trimmer resistivo multigiro (20 *turns*) da  $10\text{k}\Omega$  e per il resistore  $R_1$  il valore di  $3.3\text{k}\Omega$ , si può ottenere in uscita una tensione che può essere regolata finemente in un range che va da  $1.25\text{V}$  a  $5.1\text{V}$ .

Sperimentalmente è stato notato che per il sensore attivo CMG-5T della Guralp la corrente necessaria è di soli  $20\text{mA}$ . Pertanto durante la fase di calibrazione dovranno essere necessari in totale circa  $120\text{mA}$ , tranquillamente erogabili dal regolatore.

Per l'implementazione hardware pratica dei circuiti qui descritti si faccia riferimento allo schema elettrico allegato denominato RISSC04.

## Buffer per la terna di sensori passivi

Particolare cura ed attenzione è stata rivolta alla scelta di questo componente elettronico che è stato montato a valle dei resistori di smorzamento, soltanto per una terna di sensori passivi.

Tenendo conto del fatto che la resistenza di smorzamento critico dei sensori dipende fortemente dall'impedenza di ingresso dell'acquisitore dati, in quanto montata in parallelo ad essa con conseguente variazione della stessa, si è deciso di isolare l'uscita del sismometro (a valle del resistore esterno di smorzamento critico) dall'ingresso dell'acquisitore, con l'utilizzo di un INA (*INstrumentation Amplifier*) di precisione. Come noto, questo circuito possiede un'impedenza d'ingresso differenziale molto elevata che non va a 'sovraccaricare' in alcun modo il segnale di uscita del sensore, ed un'impedenza d'uscita pressoché nulla in modo da potersi interfacciare con qualsiasi tipo di acquisitore senza ripercussioni alcuna sulla dinamica di uscita del sensore stesso.

Anche se il suo guadagno può essere facilmente settato (sino a x10.000) con estrema precisione, esso è stato impostato ad uno, ovvero l'INA viene ad essere usato esclusivamente come un buffer adattatore di impedenza, caratterizzato anche dall'aver un bassissimo rumore su una banda passante adeguata agli scopi, e con un CMR (*Common-Mode Rejection*)

$$CMR = 20 \cdot \log_{10} CMRR$$

elevato, dove il CMRR rappresenta il rapporto di reiezione di modo comune (pari al rapporto tra il guadagno differenziale e quello di modo comune dell'amplificatore).

Quest'ultima caratteristica peculiare è dovuta alla particolare architettura interna del circuito integrato che, per sua costruzione, presenta un meccanismo hardware di correzione automatica degli errori di offset, inclusi quelli indotti dalle variazioni dei segnali d'ingresso e quelli dovuti alle eventuali variazioni della tensione di alimentazione.

Il circuito integrato usato è un AD8553, prodotto dalla Analog Devices® nel package 10-lead MSOP, che presenta tra le caratteristiche salienti:

- basso *offset* e bassa deriva in tensione;
- correnti di polarizzazione e di *offset* d'ingresso bassissime



- (max. 2nA @  $-40^{\circ}\text{C} \leq T \leq +85^{\circ}\text{C}$ );
- elevata impedenza d'ingresso differenziale (50M $\Omega$  typ.) e di modo comune (10G $\Omega$  typ.);
  - CMR superiore ai 100dB typ. @ Gain = 1;
  - bassa deriva del guadagno con la temperatura (max. 50ppm/ $^{\circ}\text{C}$  @ Gain = 1,  $-40^{\circ}\text{C} \leq T \leq +85^{\circ}\text{C}$ );
  - corrente massima assorbita di solo 1.5mA;
  - guadagno impostabile attraverso solo due resistori esterni.

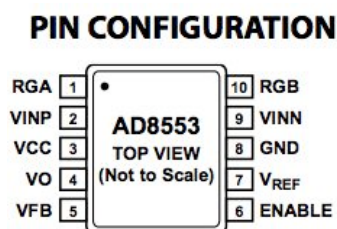


Figura 15: AD8553.

Esso presenta inoltre una tensione di rumore (picco-picco) di soli 0.7 $\mu\text{V}$  su di una banda passante compresa tra 0.01 e 10Hz, addirittura inferiore al rumore termico introdotto da un qualunque resistore nella stessa banda di frequenze e nello stesso range di temperature di esercizio.

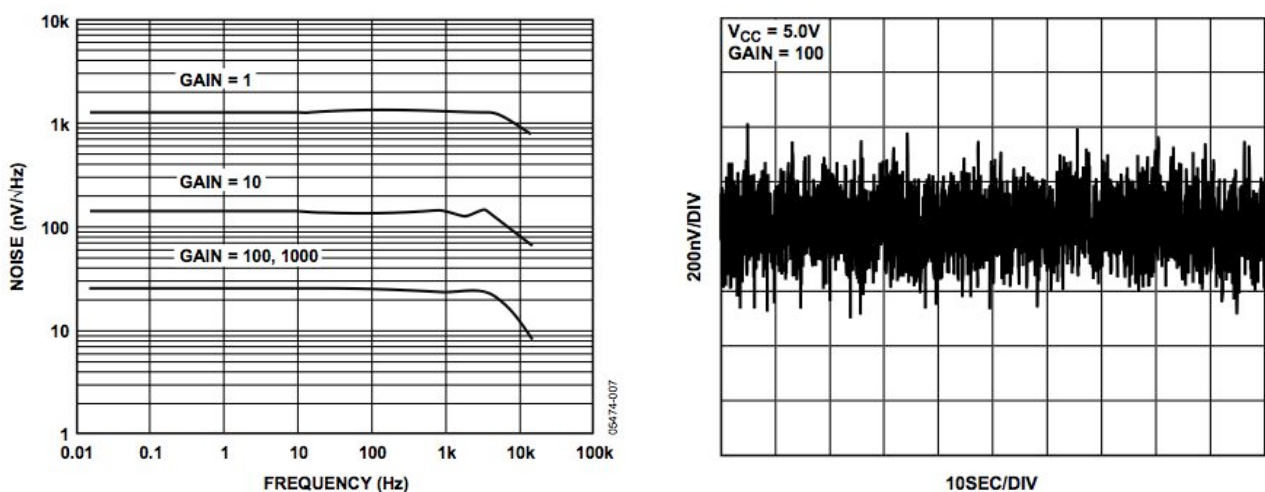


Figura 16: caratteristiche di rumore del AD8553.

In Figura 17 viene mostrata la configurazione circuitale adottata per tale amplificatore.

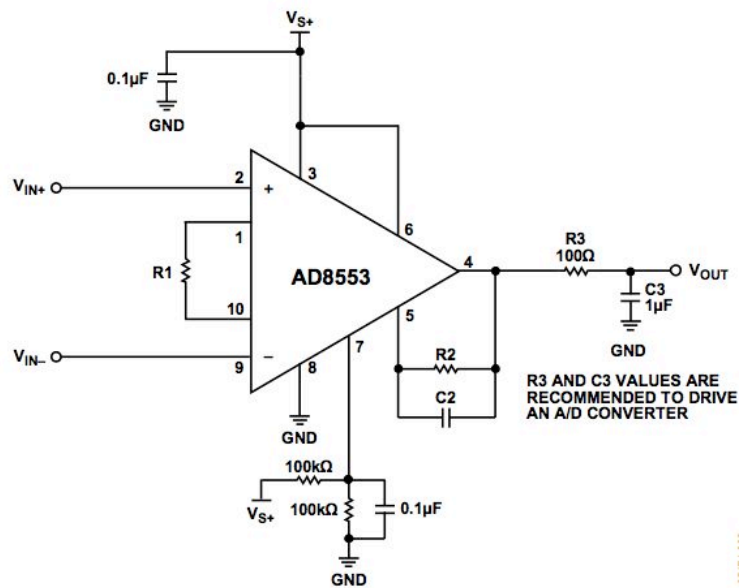


Figura 17: applicazione circuitale tipica per l'AD8553.

In particolare, l'impostazione pratica del guadagno avviene per mezzo dei due resistori esterni  $R_1$  ed  $R_2$  secondo la formula:

$$Gain = 2 \cdot \frac{R_2}{R_1}$$

Per essi sono stati impiegati tre resistori a film metallico, con tolleranza dell'1%, di valore pari a:

$$R_1 = (100 + 100)k\Omega$$

$$R_2 = 100k\Omega$$

in maniera tale da ottenere un guadagno unitario.

Questi due resistori, come i due resistori del partitore di tensione a +5V, devono essere di tipo SMD e vanno montati sulla scheda del modulo il più vicino possibile tra loro, in modo tale che le eventuali variazioni termiche che si creano su una di esse si ripercuotano, parimenti, sull'altra. In particolare, è necessario montare il resistore  $R_1$  con tracce di rame verso i pin 1 e 10 dell'INA quanto più corte possibile e tra loro simmetriche, al fine di evitare piccole cadute di tensione (con conseguente variazione del guadagno) su possibili

resistenze parassite che si dovessero creare con tracce di rame di differenti lunghezze e geometrie.

Altre caratteristiche tipiche dell'integrato AD8553 vengono mostrate nelle figure seguenti.

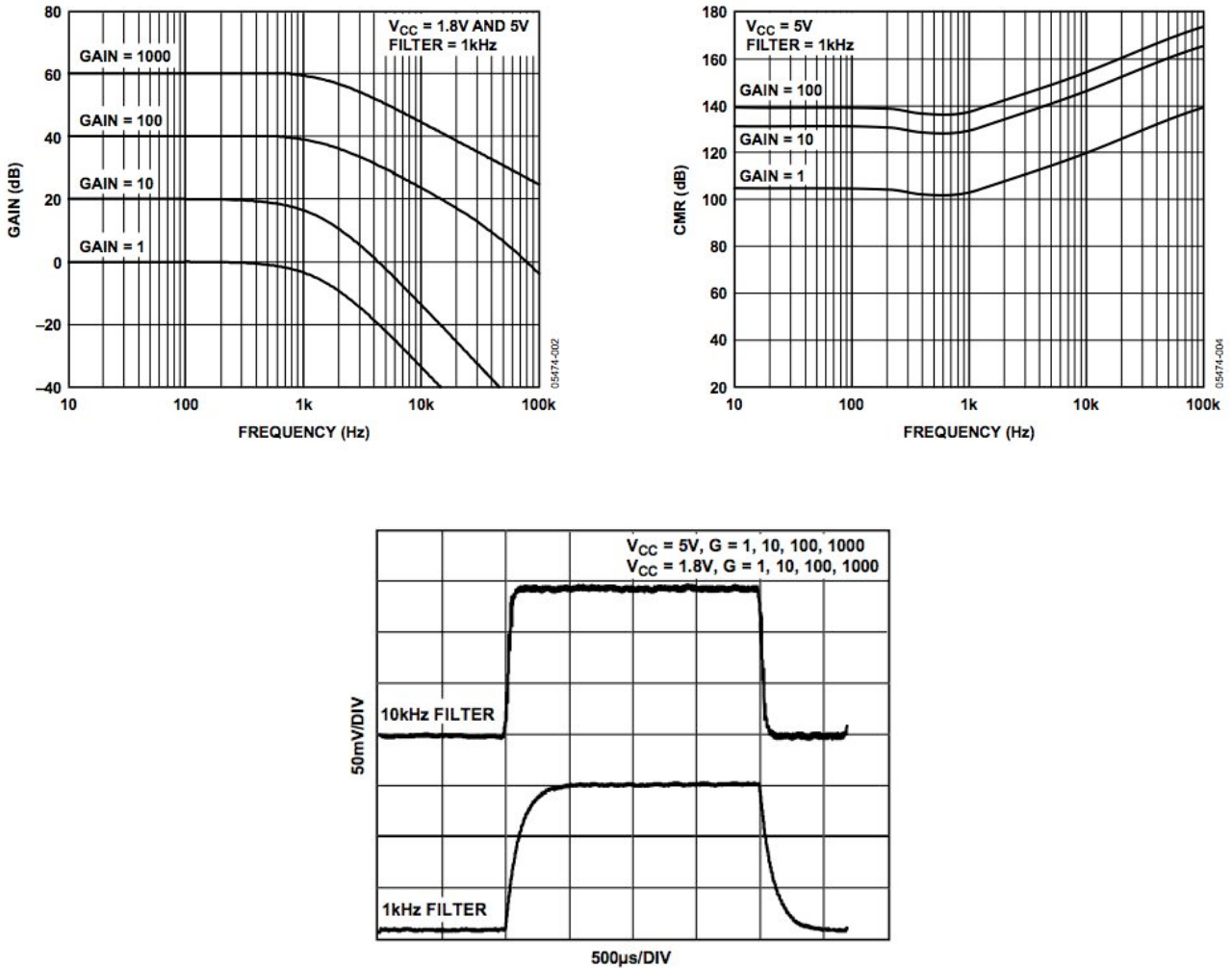


Figura 18: caratteristiche tipiche dell'AD8553.

Si noti che per la scheda di interfaccia sono stati utilizzati tre circuiti INA adottando la stessa filosofia di montaggio per altrettante coppie di segnali differenziali di uscita (per la sola terna di sensori passivi).

## Indicatori di stato

Sul pannello anteriore dell'apparecchiatura sono alloggiati tre diodi *led* dello stesso tipo a basso consumo ed elevata efficienza luminosa, di diametro pari a 5mm e di colori diversi tra loro, indicanti lo stato di funzionamento del dispositivo.

Nella Tabella 2 sono mostrate le funzionalità degli stessi per i vari stati di funzionamento del modulo.

Name	Colour	Status		
		On	Off	Flash
BAT.	red	Battery level OK	Battery Low	
ON	green	Power-On	Stand-by	
CAL.	orange			Calibration

Tabella 2: indicatori di stato.



Figura 19: foto dei led e dei resistori di smorzamento.

Il diodo led di colore rosso denominato BAT. è acceso quando la batteria da collegare al dispositivo è connessa ed il suo livello di carica è sufficiente; è spento se la batteria non è presente o se il suo livello di carica è insufficiente. Questo diodo led è normalmente acceso anche durante la fase di stand-by e le operazioni di calibrazione.

Il diodo led di alimentazione di colore verde, denominato ON, è acceso quando il dispositivo è nello stato di funzionamento normale o di stand-by. Questo diodo led è normalmente acceso anche durante le operazioni di calibrazione.

Infine, il diodo led di calibrazione di colore arancio, denominato CAL., lampeggia ad una frequenza di 2-4Hz quando è in corso un'operazione di calibrazione dei sensori.

Per l'implementazione hardware pratica dei circuiti sin qui descritti si faccia riferimento agli schemi elettrici allegati denominati RISSC01 e RISSC03.

## Regolazioni

Sono previsti tre trimmer resistivi multigiuro (20 *turns*), montati sul pannello frontale della scatola contenente la scheda di interfaccia, per la regolazione indipendente della resistenza di smorzamento critico di ogni sismometro passivo ad essa collegato (Tabella 3).

Part Value	Value ( $\Omega$ )
Rdc_1	10k
Rdc_2	10k
Rdc_3	10k

Tabella 3: trimmer per regolazioni resistenza di smorzamento critico.

Un altro trimmer resistivo multigiuro (20 *turns*, 1W) denominato Iout, consente la regolazione della corrente degli impulsi circolante nella serie delle bobine di calibrazione dei trasduttori elettromagnetici dei sensori passivi. Un ultimo trimmer resistivo multigiuro (20 *turns*) denominato Vout, permette di regolare l'ampiezza in tensione dell'impulso per la calibrazione del sensore attivo (Tabella 4).

Questi ultimi due trimmer sono alloggiati sul pannello laterale destro dell'apparecchiatura.

Part Ref.	Value ( $\Omega$ )
Iout	100
Vout	10k

Tabella 4: trimmer per la regolazione della corrente di calibrazione dei sensori.

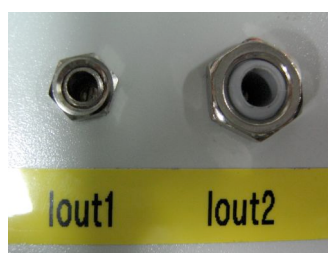


Figura 20: vista dei trimmer accessibili sul lato del box della scheda.

## Descrizione delle morsettiere su PCB

Il modulo è provvisto di morsettiere ad innesto (costituite da più connettori con passo 5mm) che sono montate sul circuito e poste su tre delle sue quattro facce (le due più lunghe ed una corta con un solo connettore a quattro vie utilizzato per l'alimentazione prelevata dalla batteria). Si accede alle morsettiere aprendo la scatola contenente la scheda di interfaccia ed avvitando sugli innesti i fili appositi.

Nella Figura 21 è possibile vedere la disposizione dei connettori su PCB con la numerazione e la denominazione dei pins descritte nella Tabella 5.

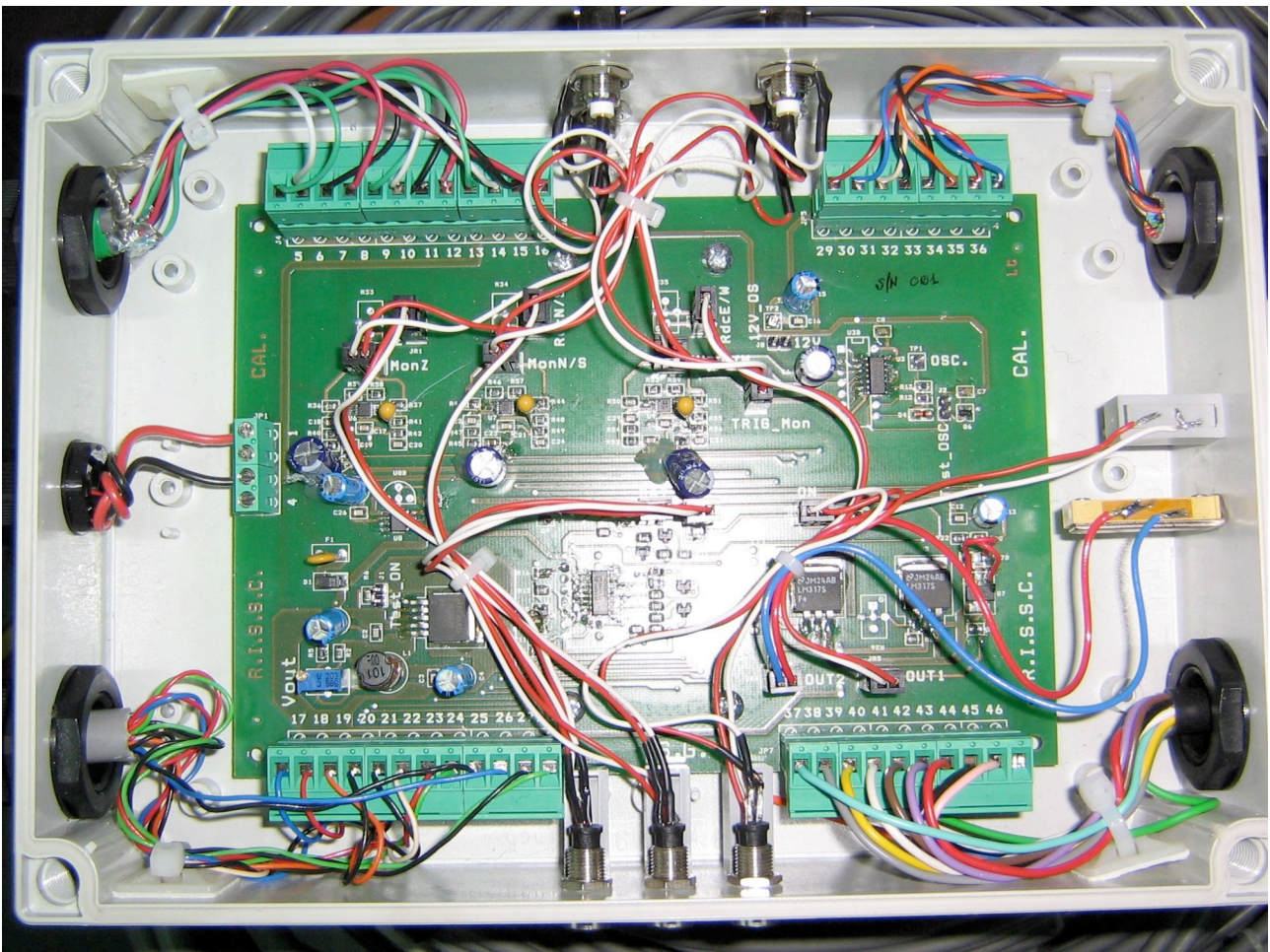


Figura 21: vista globale della scheda di interfaccia.

Le morsettiere sono suddivise per gruppi.

Il gruppo con i pin numerati da 1 a 4 è riservato alla tensione di alimentazione della scheda proveniente da una qualunque batteria a 12V.

Il gruppo con i pin numerati da 5 a 16 ospita, in tre sottogruppi, le tre coppie di segnali differenziali di uscita e le altrettante relative alle bobine di calibrazione dei sensori passivi.

Al gruppo con i pin numerati da 17 a 28 va collegato tutto quanto è necessario per controllare e gestire un qualunque sensore attivo, ovvero: la terna di segnali differenziali in ingresso, la tensione di alimentazione con il segnale di abilitazione e quello necessario ad effettuare la calibrazione del sensore.

Il gruppo con i pin numerati da 29 a 36 è composto dalla terna differenziale di uscita del sensore attivo (passante sul PCB) con l'aggiunta di una tensione di alimentazione ausiliaria ed il segnale d'ingresso per la calibrazione prelevato dall'acquisitore dati.

Infine, il gruppo con i pin numerati da 37 a 46 rende disponibile, in tre sottogruppi, le coppie di segnali differenziali d'uscita per la terna di sensori passivi. Ad essi è stato applicato uno smorzamento e poi un adattamento di impedenza. E' inoltre presente un pin prelevato dall'acquisitore dati che agisce per fornire il trigger alla calibrazione, ed un segnale di abilitazione (attivo basso) utile per quei sensori attivi che vengono abilitati alla calibrazione solo con un livello di tensione basso.

Pin	Name	Description	Notes	
1	BATT+	Battery positive terminal	+12÷18Vdc	
2	n/c		Not Connected	
3	BATT-	Battery negative terminal	GND POWER SUPPLY	
4	n/c		Not Connected	
5	CAL_COIL_1-	- Calibration Coil sensor 1	internally connected to pin 10	
6	CAL_COIL_1+	+ Calibration Coil sensor 1		
7	DATA_COIL_1-	- Data Coil sensor 1	passive sensor output signal 1-	DIFFERENTIAL INPUTS
8	DATA_COIL_1+	+ Data Coil sensor 1	passive sensor output signal 1+	
9	CAL_COIL_2-	- Calibration Coil sensor 2	internally connected to pin 14	
10	CAL_COIL_2+	+ Calibration Coil sensor 2	internally connected to pin 5	
11	DATA_COIL_2-	- Data Coil sensor 2	passive sensor output signal 2-	DIFFERENTIAL INPUTS
12	DATA_COIL_2+	+ Data Coil sensor 2	passive sensor output signal 2+	
13	CAL_COIL_3-	- Calibration Coil sensor 3	internally connected to pin GND	
14	CAL_COIL_3+	+ Calibration Coil sensor 3	internally connected to 9	
15	DATA_COIL_3-	- Data Coil sensor 3	passive sensor output signal 3-	DIFFERENTIAL INPUTS
16	DATA_COIL_3+	+ Data Coil sensor 3	passive sensor output signal 3+	
17	IN_1+	Active sensor output 1+	internally connected to pin 36	DIFFERENTIAL INPUTS
18	IN_1-	Active sensor output 1-	internally connected to pin 35	
19	IN_2+	Active sensor output 2+	internally connected to pin 34	
20	IN_2-	Active sensor output 2-	internally connected to pin 33	
21	IN_3+	Active sensor output 3+	internally connected to pin 32	
22	IN_3-	Active sensor output 3-	internally connected to pin 31	
23	+12V	+12V	Active Sensor Power Supply	
24	GND	Power ground	Active Sensor Power Ground	
25	CAL_ENABLE	Enable (active sensor)	Calibration Enable Active High (+5V)	
26	CAL_SIGNAL	Calibration signal (active sensor)	Vout variable	
27	n/c		Not Connected	
28	SIGNAL GND	Signal ground		
29	+12V	+12V	Power Supply input from DataLogger	
30	CALIB	Main Calibration Signal	output from DataLogger	
31	OUT_3-	Channel 3- signal output	outputs to DataLogger	DIFFERENTIAL OUTPUTS
32	OUT_3+	Channel 3+ signal output		DIFFERENTIAL OUTPUTS
33	OUT_2-	Channel 2- signal output		DIFFERENTIAL OUTPUTS
34	OUT_2+	Channel 2+ signal output		DIFFERENTIAL OUTPUTS
35	OUT_1-	Channel 1- signal output		DIFFERENTIAL OUTPUTS
36	OUT_1+	Channel 1+ signal output		DIFFERENTIAL OUTPUTS
37	OUT_4+	Channel 4+ signal output		DIFFERENTIAL OUTPUTS
38	OUT_4-	Channel 4- signal output		DIFFERENTIAL OUTPUTS
39	OUT_5+	Channel 5+ signal output		DIFFERENTIAL OUTPUTS
40	OUT_5-	Channel 5- signal output		DIFFERENTIAL OUTPUTS
41	OUT_6+	Channel 6+ signal output		DIFFERENTIAL OUTPUTS
42	OUT_6-	Channel 6- signal output		DIFFERENTIAL OUTPUTS
43	Power Supply	Auxiliary Power Supply		
44	GND	Power ground		
45	ENABLE	Enable voltage level (>0.8V)	output from DataLogger	
46	\CAL_ENABLE	Enable (active sensor)	Calibration Enable Active Low (0V)	

Tabella 5: descrizione della morsettiera.



La Tabella 6 presenta la descrizione sintetica dei connettori BNC montati posteriormente alla scatola contenente il modulo (visibili in Figura 22) ed utilizzabili per monitorare - con l'ausilio di un oscilloscopio o di una scheda di acquisizione - il segnale di uscita della terna di sensori passivi (prima di essere inviati agli INA, con resistore di smorzamento incluso) in congiunzione con l'uscita del trigger (a bassa impedenza) indicante che è in atto una calibrazione dei sensori.

Part Name	Description
MON_1	sensor 1 Data Coil Monitor Out
MON_2	sensor 2 Data Coil Monitor Out
MON_3	sensor 3 Data Coil Monitor Out
TRIG_MON	Trigger Out (50Ω)

Tabella 6: descrizione dei connettori BNC.

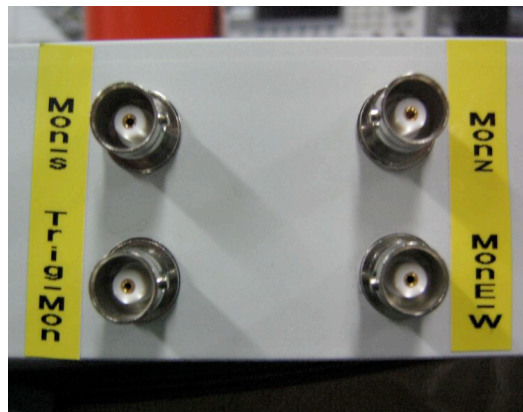


Figura 22: connettori BNC dedicati al monitoraggio dei segnali d'uscita della scheda.

Per l'implementazione hardware pratica dei circuiti sin ora descritti si faccia riferimento allo schema elettrico allegato denominato RISSC23.

## Verifiche funzionali

Per meglio caratterizzare il prodotto finale e per verificare il corretto funzionamento della scheda di interfaccia sviluppata sono stati condotti una serie di test.

L'analisi e le verifiche funzionali, nonché lo studio della risposta del sistema e l'analisi dei consumi, sono stati eseguiti in laboratorio con l'ausilio di sensori (attivi e passivi) e di un datalogger, oltre che di diversi tool software per l'estrazione e l'analisi dei dati sismici registrati.

In particolare, sono stati usati una terna di sensori velocimetrici passivi Geotech S13-J (due componenti orizzontali (E/W, N/S) ed una verticale (Z)) ed un sensore accelerometrico attivo triassiale Guralp CMG-5T. Il sistema di acquisizione dati utilizzato è un Osiris (Rev. 17,  $Z_{in} = 24.7k\Omega$ ) della Agecodagis dotato di sei canali di acquisizione con 24 bit di risoluzione su una dinamica in ingresso di  $10V_{pp}@Gain=1$  (128dB).

Le prove tecniche di collaudo sono state effettuate alimentando la scheda e l'acquisitore con una tensione continua pari a 13.6V, ed impostando il datalogger con un guadagno unitario ed una frequenza di campionamento di 125sps su tutti i canali impegnati.

Per effettuare la serie di collaudi sono stati utilizzati sempre gli stessi cavi e connettori per tutta la catena elettronica, opportunamente adattati per essere alloggiati all'interno della scheda di interfaccia.

Per procedere nei test bisogna lanciare la seguente shell Unix di comando da un terminale di un PC:

```
> ./shell_OsirisCal.sh
```

che è così composta:

```
#!/bin/sh
set -x
while [ 1 ]
do
    ./prova_Osiris.sh 60000
    sleep 70
done
```

Essa a sua volta lancia la shell denominata 'prova\_Osiris.sh' con il parametro 60000 (ms):

```
#!/bin/sh
set -x
echo masscentering stop | nc 10.37.0.33 2323
echo calibration stop | nc 10.37.0.33 2323
echo masscentering start=1,$1,periodic | nc 10.37.0.33 2323
sleep 2
echo calibration start=100,5000,periodic | nc 10.37.0.33 2323
```

dove 10.37.0.33 è l'indirizzo IP dell'acquisitore dati utilizzato e 2323 è il numero della porta TCP/IP dedicata.

Il segnale di calibrazione di prova consiste in un segnale impulsivo periodico che è stato programmato della durata di 5 secondi.

Le risposte dei sensori, sia per quanto riguarda l'acquisizione in continua che quella relativa alla calibrazione, sono state osservate con l'ausilio di un oscilloscopio digitale (DC coupling, atten. x1, 100mV/DIV, 250msec) e con l'aiuto del software di visualizzazione SeisGram e del software di analisi dati SAC.

Per visualizzare in tempo reale le tracce con SeisGram, occorre digitare il seguente comando Unix da una finestra di terminale di un PC:

```
> java -jar /usr/local/bin/SeisGram2K50.jar --seedlink "10.37.0.33:18000#AG_S0033:C00 C01 C02 C03 C04 C05#15"
```

dove 10.37.0.33 è, come di consueto, l'indirizzo IP dell'acquisitore dati, 18000 il numero della porta TCP/IP dedicata, AG il nome della Network con il protocollo SeedLink, S0033 il nome della stazione, C0x il numero del canale d'ingresso dell'acquisitore e 15 la durata, in secondi, della finestra grafica delle tracce da visualizzare.

In prima analisi è stato studiato l'effetto introdotto dall'interfaccia di calibrazione, in termini di eventuali modifiche sull'ampiezza del segnale acquisito (numero di counts) e nell'introduzione di indesiderati offset di tensione, nonché per la modifica in frequenza e fase del segnale, e di anomali sorgenti spurie di rumore. A tal fine, si è osservata dapprima la risposta dell'intera catena di acquisizione, composta da un sensore passivo (un S13-J, componente verticale), collegato in modalità differenziale alla scheda di interfaccia per la calibrazione, dalla scheda stessa (comprensiva di resistore di smorzamento) e da un canale del datalogger.

Tale risposta è stata contemporaneamente confrontata, a meno delle piccole ed inevitabili differenze costruttive del sensore (che possono variare anche con un altro sensore dello stesso tipo), con la risposta del solo sensore chiuso su un resistore di smorzamento dello stesso valore circa e collegato direttamente, in modalità differenziale, ad un canale dell'acquisitore - senza passare così per la scheda di interfaccia.

Si noti che, per consentire la calibrazione di questo sensore, è stata collegata alla scheda di interfaccia per la calibrazione solo la coppia relativa alla bobina di calibrazione del sensore stesso.

Lo schema di collegamento adottato per la misura è riportato in Figura 23:

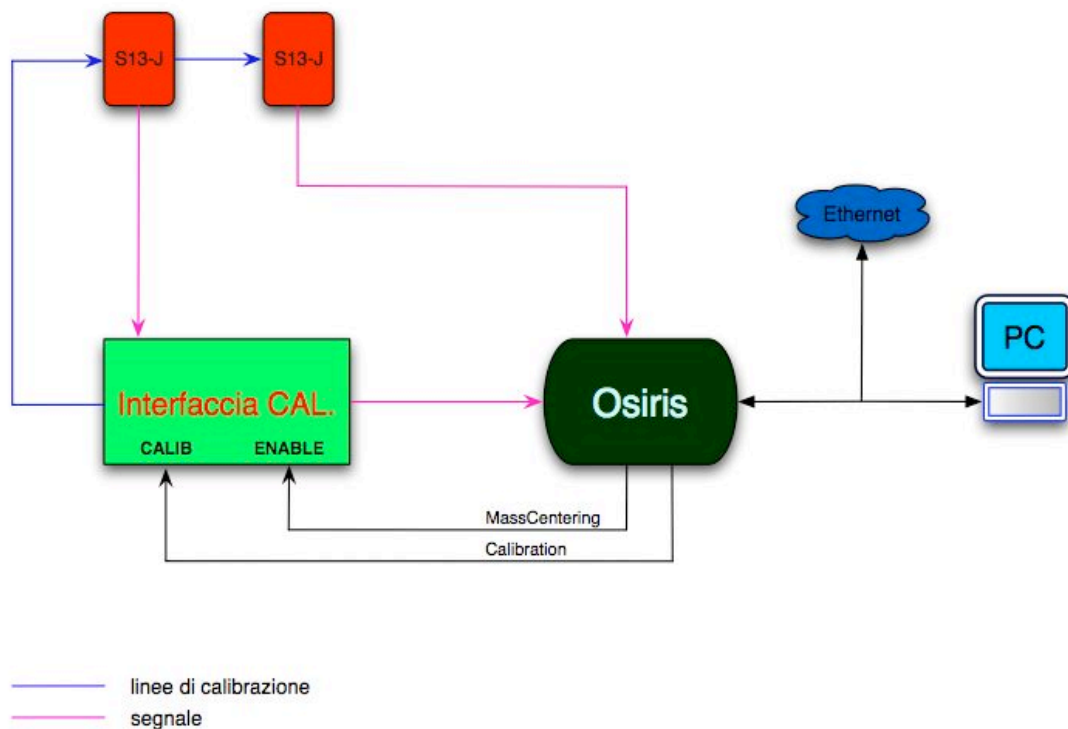


Figura 23: test setup (1).

Nelle figure successive vengono mostrate le schermate relative alle acquisizioni elaborate di questa prima fase di test. Da esse non emerge alcun effetto indesiderato introdotto dall'interfaccia, sia in termini di modifiche sull'ampiezza del segnale acquisito che nella totale assenza di offset di tensione (Figura 24 e 27). Inoltre, facendo delle opportune analisi sui segnali acquisiti, non si evince nessuno spostamento di fase del segnale, né sono visibili componenti di frequenze anomale (Figura 25 e 28). Anche il livello del rumore introdotto dalla catena elettronica è inferiore al rumore interno dell'acquisitore (3.2 bits).

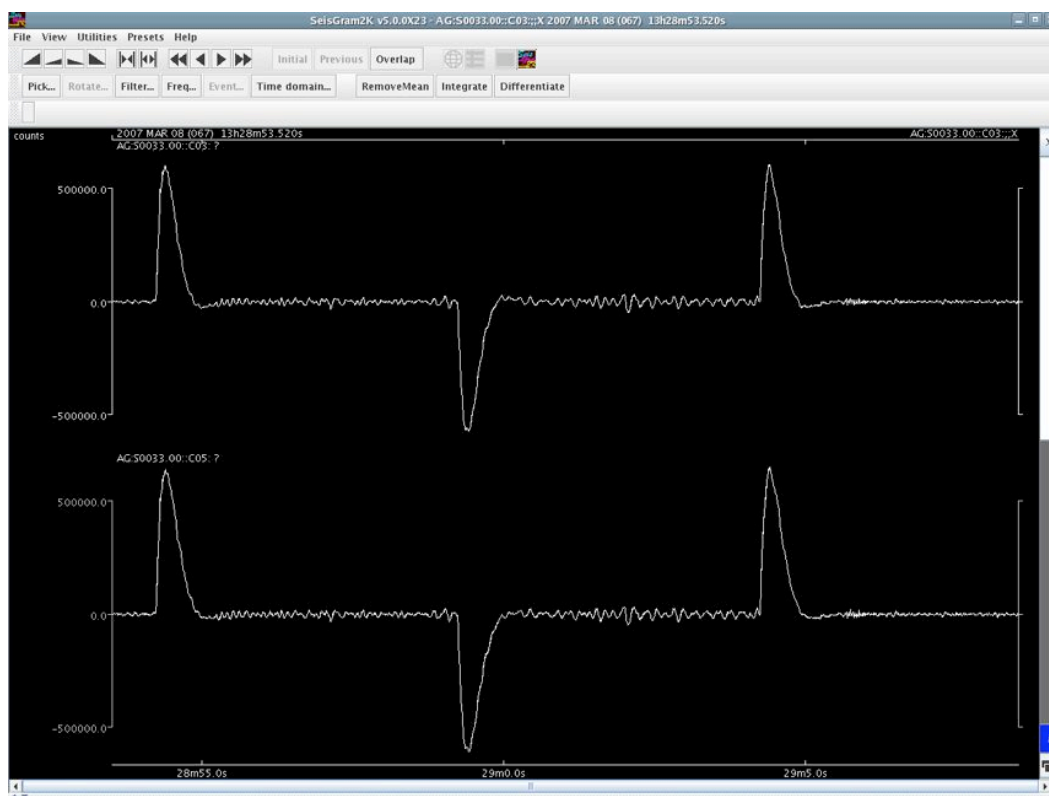


Figura 24: confronto visivo tra le risposte di due sensori passivi acquisiti in modalità di calibrazione (in alto, sensore chiuso su un resistore di smorzamento; in basso, stesso tipo di sensore chiuso anch'esso su un resistore di smorzamento e poi bufferizzato con l'INA. Impedenza di ingresso dell'acquisitore pari a 8kΩ.

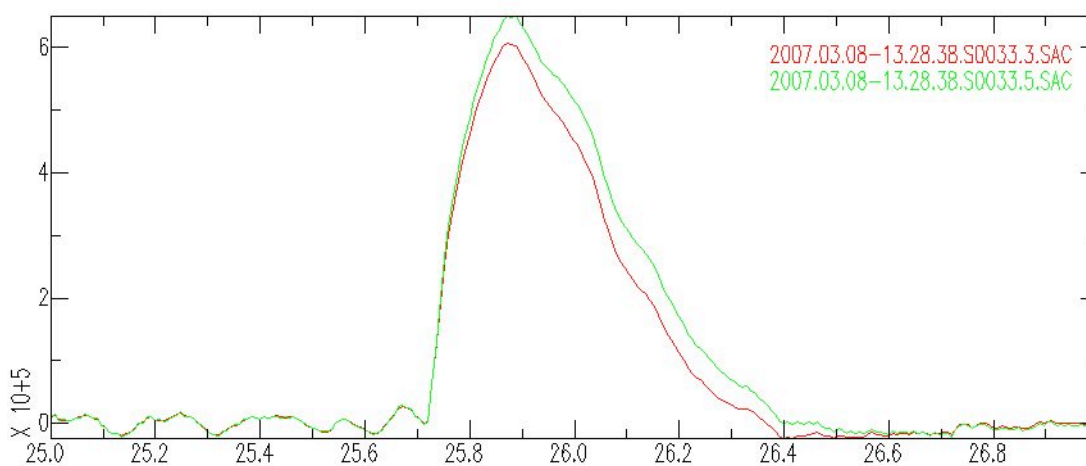


Figura 25: dettaglio della figura precedente analizzando parte dei segnali. Assenza di offset e distorsioni di fase.

E' stata anche presa in considerazione una procedura di test che mostrasse come il cambiamento dell'impedenza di ingresso dell'acquisitore si riflettesse sulla risposta del sistema. Anche qui non è possibile vedere differenze significative in merito.

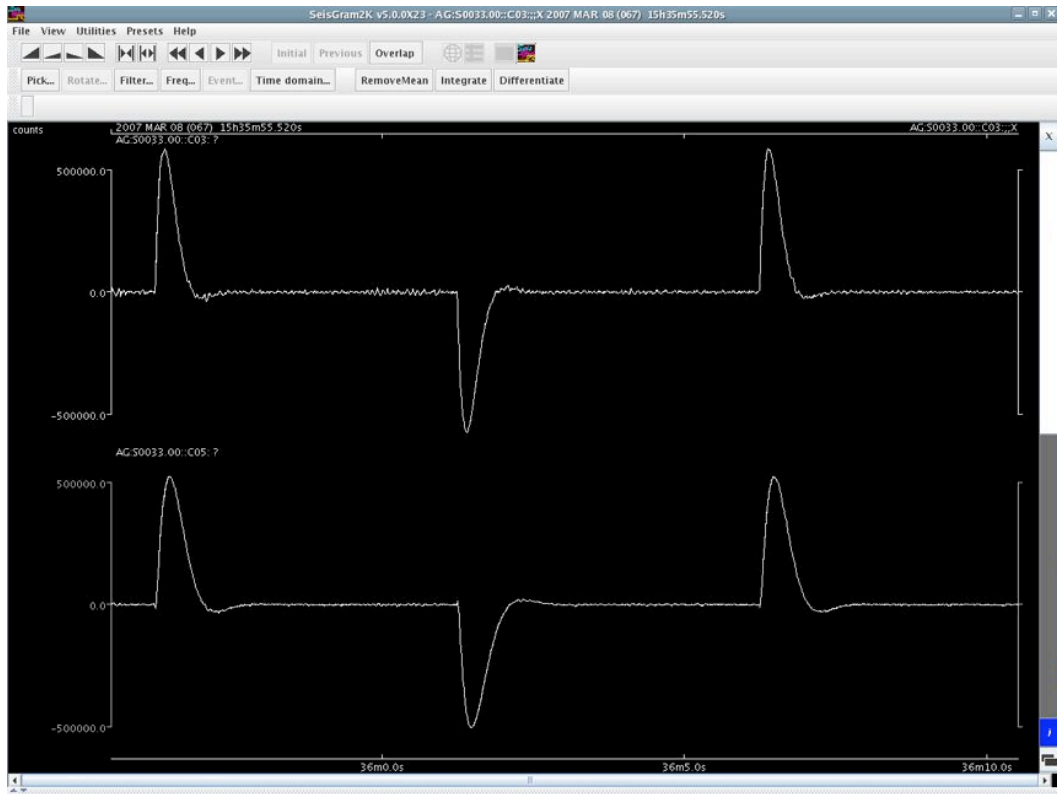


Figura 26: come in Figura 24 con lo stesso tipo di acquirente ma con impedenza di ingresso pari a 25k $\Omega$ .

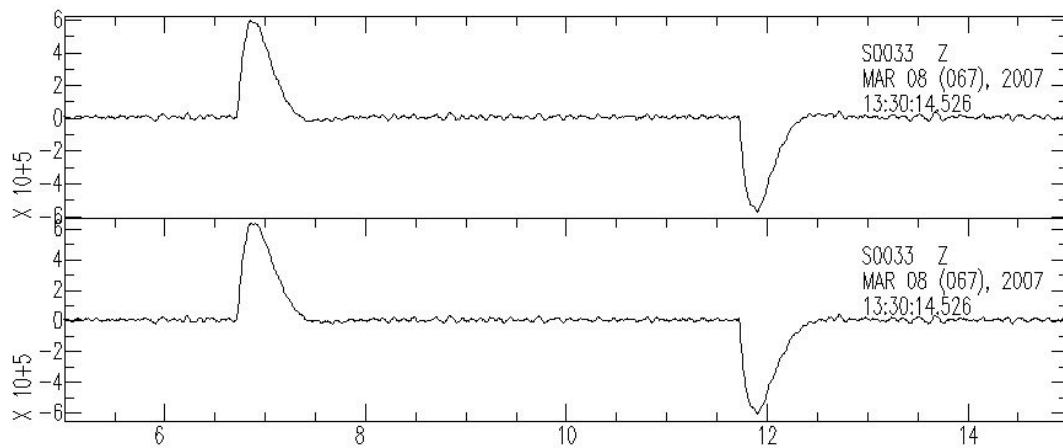


Figura 27: analisi della figura precedente.

Successivamente, le tre coppie differenziali dell'accelerometro (+/- Lacc\_N/S, +/- Lacc\_E/W e +/- Lacc\_Z) sono state collegate ai canali C0, C1 e C2, rispettivamente, dell'acquisitore dati Osiris. Si noti che il passaggio per l'interfaccia di questa terna differenziale è 'trasparente' e serve solo ai fini pratici per consentire un collegamento dell'intero cavo del sensore attivo ad un connettore di alloggiamento (infatti, per il sensore attivo non è previsto l'inserimento di nessun smorzamento tantomeno di un adattamento dei segnali d'uscita). Sugli altri tre canali dell'acquisitore (C3, C4 e C5) sono state collegate le altrettante coppie differenziali, opportunamente bufferate, dei segnali provenienti dalla terna di velocimetri S13-J (A1+, B1-, A2+, B2- e A3+, B3-), assieme a tutti i restanti collegamenti alla scheda di interfaccia necessari al controllo dei sensori (rispettando le connessioni indicate nella Tabella 5) secondo lo schema di Figura 27

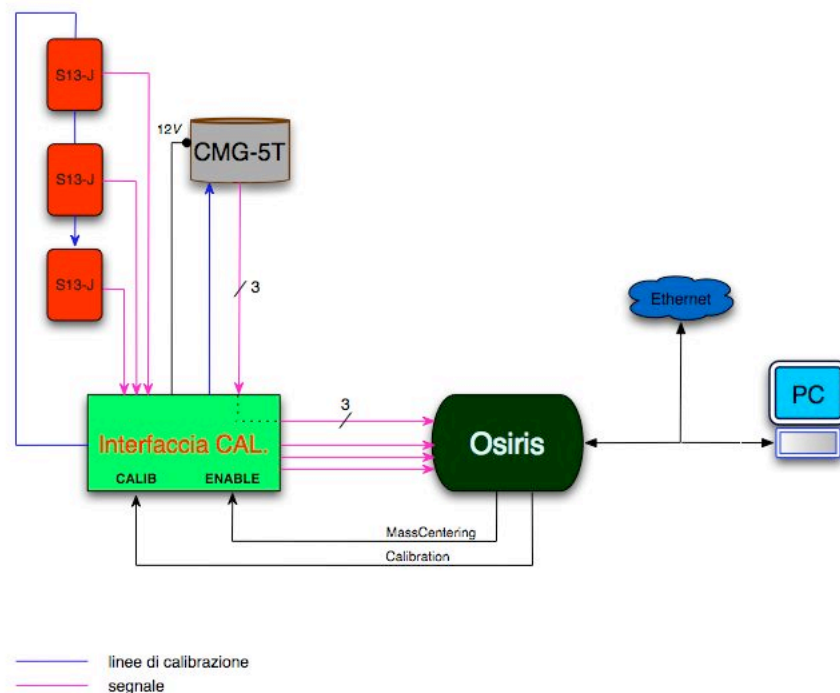


Figura 29: test setup (2).

Sono state condotte diverse misure, sia in acquisizione continua di rumore ambientale che durante la fase di calibrazione dei sensori. Dai dati acquisiti è possibile rivelare quanto visibile nelle figure Figura 28 31, dove viene mostrata anche la FFT dei segnali acquisiti per una coppia di sensori passivi (Figura 30).

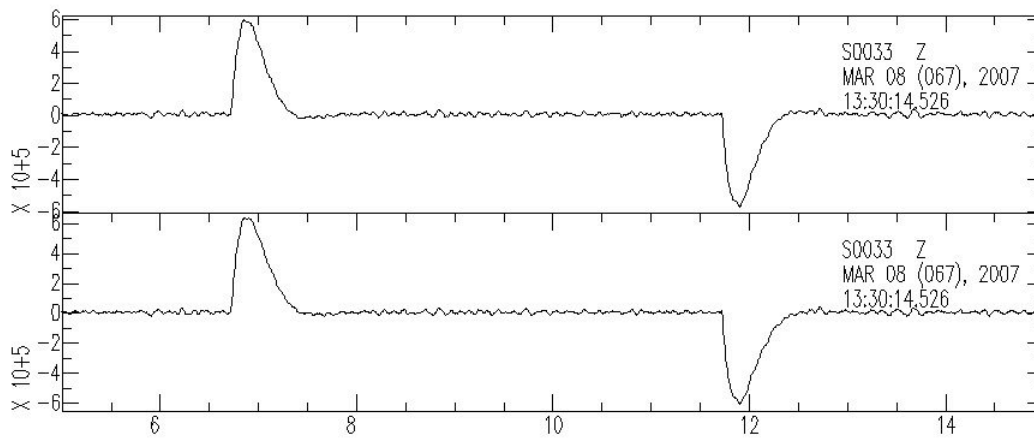


Figura 28: risposta al segnale di calibrazione per una coppia di sensori passivi.

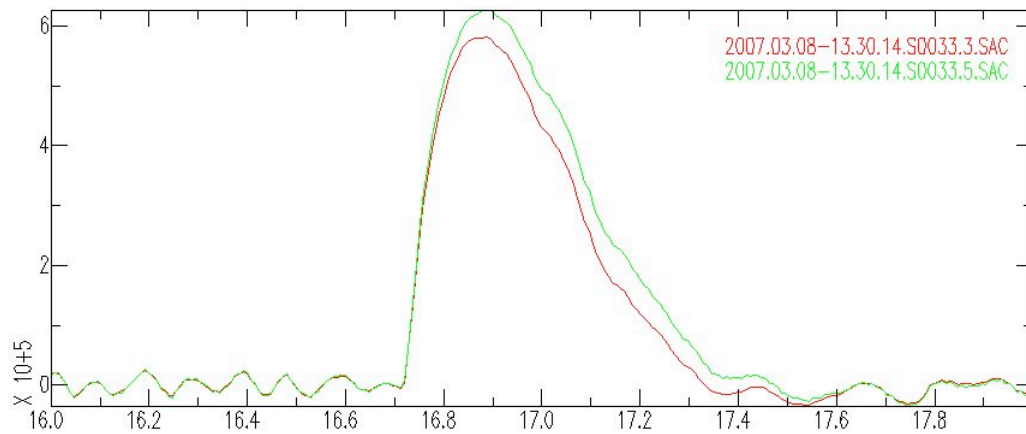


Figura 29: dettaglio della figura precedente.

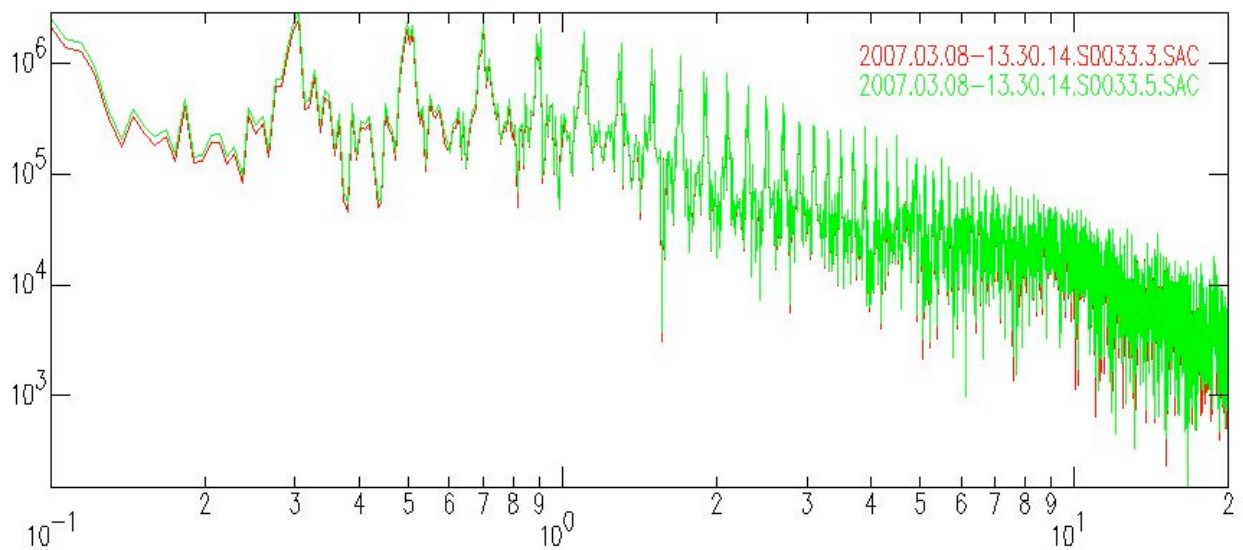


Figura 30: FFT della coppia di segnali acquisiti da altrettanti sensori passivi (dettaglio da 0.1 a 20Hz).



Per completezza, si riportano in seguito (Figura 31Figura 32Figura 32) anche le curve di calibrazione del sensore attivo utilizzato in quest'ultima fase di test. Da esse è possibile vedere che la risposta della terna dell'accelerometro è simile come forma ma con significative variazioni di counts tra le differenti componenti (in media  $8 \cdot 10^4$  counts, pari a circa  $50\text{mV}@1\text{LSB}=10\text{V}/2^{24}=596\text{nV}$ ), correzione da introdurre quando poi si passa ad analizzare l'effettivo movimento del suolo (Figura 34).

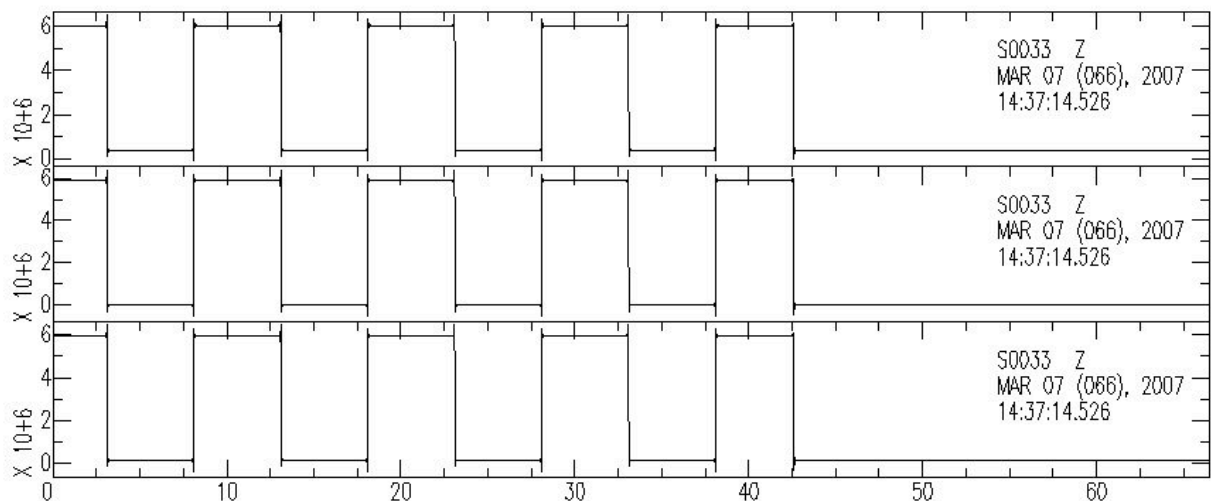


Figura 31: curva di calibrazione in risposta dalla terna accelerometrica (CMG-5T Guralp).

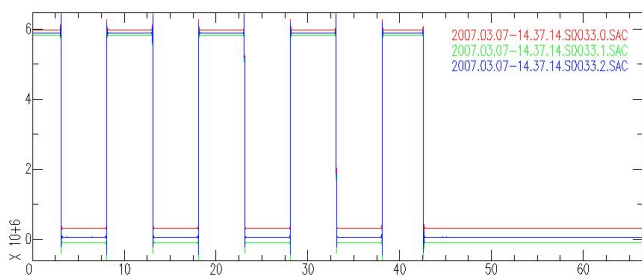


Figura 32: sovrapposizione delle risposte.

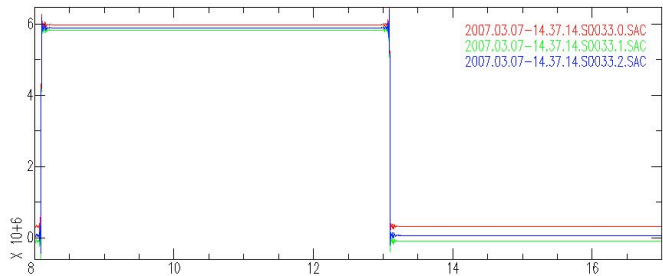


Figura 33: dettaglio delle risposte.

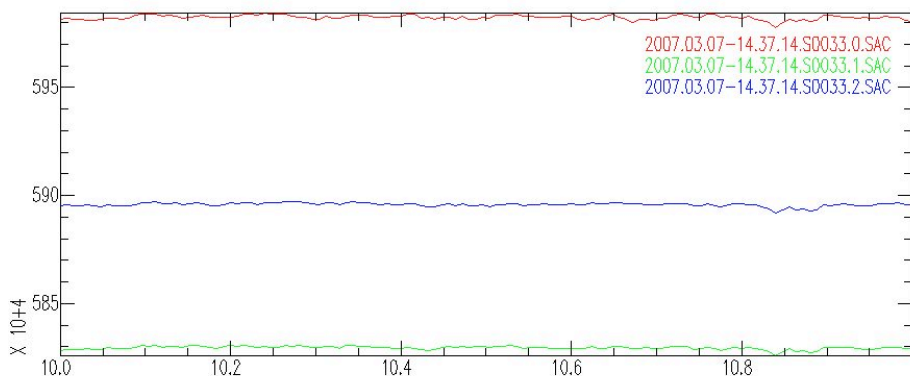


Figura 34: figura che mostra le differenti risposte in ampiezza per la terna accelerometrica.

## Analisi dei consumi

Nella tTabella 7 sono mostrati i consumi, espressi rispettivamente in mA e mW, dei singoli blocchi funzionali costituenti il modulo di interfaccia a seconda della modalità operativa di funzionamento in cui lo stesso si trova ad operare, alimentando la scheda con una tensione continua di 13.6V.

I consumi dipendono fortemente dalla corrente assorbita da ogni bobina di calibrazione e dal particolare tipo di sensore attivo. Quelli qui mostrati si riferiscono ad una terna di sensori passivi Geotech S13-J ed ad un sensore attivo Guralp CMG-5T collegati alla scheda.

Componente	Condizione operativa	Consumi	
		mA	mW
HEF4050	sempre operativi	10	136
LM7805			
INA – AD8553 (x3)			
Led BAT.			
MC14106			
Led ON	Stato ON e Stato CALIBRATION	3	41
Led CAL.	Stato CALIBRATION (flash)	3	41
LM2941	Stato ON e Stato CALIBRATION	3	41
LM317 – sensori passivi (x3)	Stato CALIBRATION	90	1224
LM317 – sensore attivo (3 comp.)		10	136
Transistors (buffer e switch x 6)	Stato ON e Stato CALIBRATION	30	410
<b>Totali</b>	Stand-by	10	136
	Stato ON	50	680
	Stato CALIBRATION (flash)	150	2.0W(max.)

Tabella 7: consumi energetici.



Figura 35: la scheda alloggiata nell'apposito contenitore.

## **Bibliografia**

Del Pezzo E. e M. Martini (1984). Sismometri a corto periodo e loro calibrazione. *Osservatorio Vesuviano Rapporto Tecnico*, 15 pp.

Chapman M.C., J.A. Snoke e G.A. Bollinger (1988). A procedure for calibrating short-period telemetered seismograph systems. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 78 (6), 2077-2088.

Del Pezzo E. (2000). Manuale tecnico per la calibrazione delle stazioni sismiche dotate di bobina di calibrazione. *Osservatorio Vesuviano Rapporto Interno*, 34 pp.

La Rocca M. (2000). Circuito per la calibrazione dei sismometri. *Osservatorio Vesuviano Open-File Report*, 8-2001, 8 pp.

Wielandt E. (2001). Seismic sensor and their calibration. In P. Borman and E. Bergmann (Eds), *New Manual of Seismological Observatory Practice*, Global Seismological Service, <http://www.seismo.com/>.

Hacskov J. e Alguacil G. (2002). *Instrumentation in earthquake seismology*

Capello M. (2003). Calibrazione automatica di stazioni sismiche dotate di sensori a corto periodo. *Osservatorio Vesuviano Open-File Report*, 1-2003, 11 pp.

## *Allegati*

Schemi elettrici (4 pagine – formato A4 e A3):

- POWER distribution – RISSC01 – Rev. C del 23/8/2006 – Size A3;
- Constant Current-Voltage Generator's – RISSC04 – Rev. C del 23/8/2006 – Size A4;
- MORSETTIERA – RISSC03 – Rev. C del 23/8/2006 – Size A3;
- Interfaccia INA2DIFF – RISSC23 – Rev. C del 23/8/2006 – Size A3.