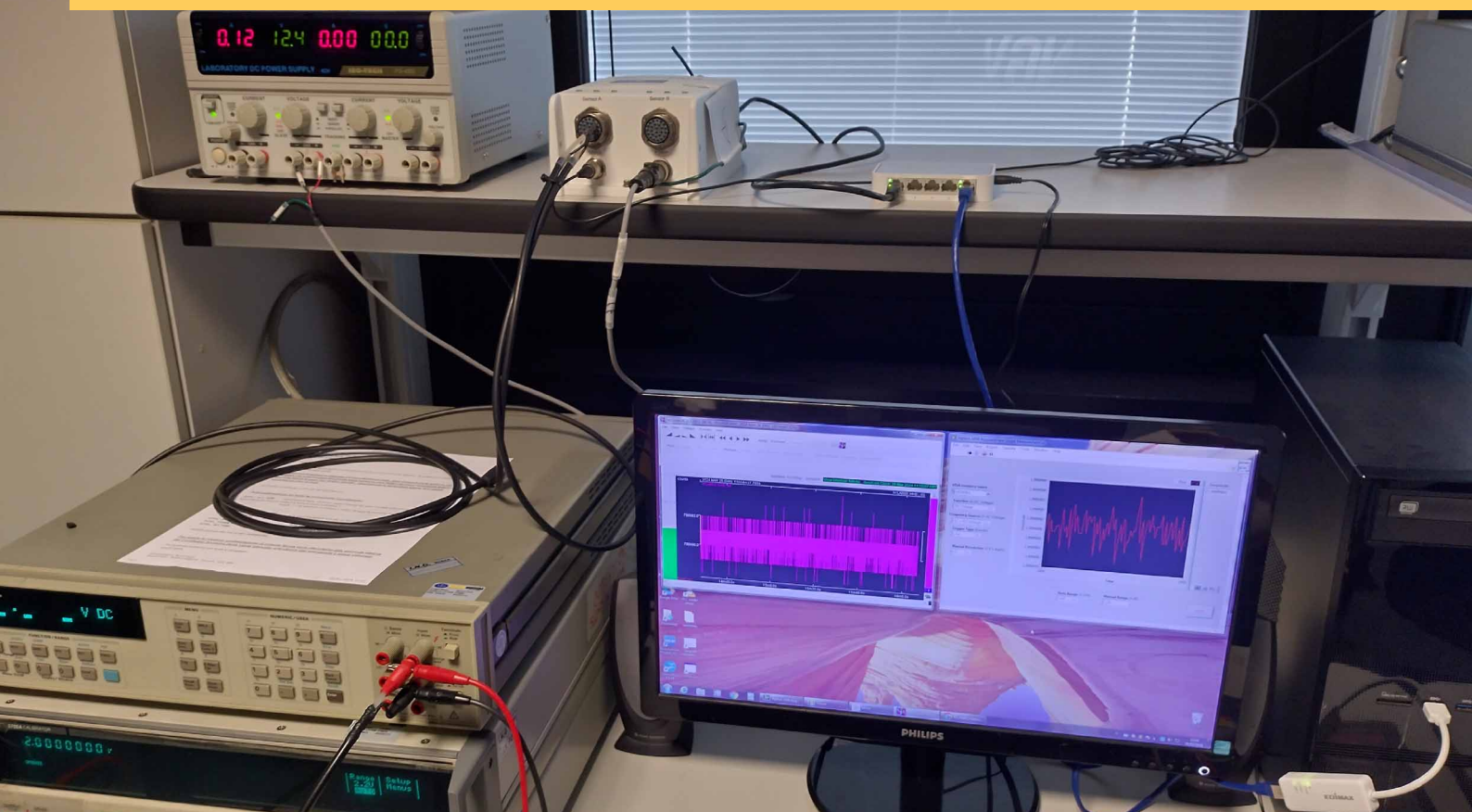




RAPPORTI TECNICI INGV

Misura della risoluzione di un
acquisitore sismico



ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA

493



Direttore Responsabile

Daniela VERSACE

Editor in Chief

Milena MORETTI (editorinchief.collane-editoriali@ingv.it)

Editorial Board

Laura ALFONSI (laura.alfonsi@ingv.it)
Christian BIGNAMI (christian.bignami@ingv.it)
Simona CARANNANTE (simona.carannante@ingv.it)
Viviana CASTELLI (viviana.castelli@ingv.it)
Luca COCCHI (luca.cocchi@ingv.it)
Luigi CUCCI (luigi.cucci@ingv.it)
Lorenzo CUGLIARI (lorenzo.cugliari@ingv.it)
Alessia DI CAPRIO (alessia.dicaprio@ingv.it)
Roberto DI MARTINO (roberto.dimartino@ingv.it)
Domenico DI MAURO (domenico.dimauro@ingv.it)
Domenico DORONZO (domenico.doronzio@ingv.it)
Filippo GRECO (filippo.greco@ingv.it)
Alessandro IAROCCI (alessandro.iarocci@ingv.it)
Mario MATTIA (mario.mattia@ingv.it)
Daniele MELINI (daniele.melini@ingv.it)
Anna NARDI (anna.nardi@ingv.it)
Lucia NARDONE (lucia.nardone@ingv.it)
Marco OLIVIERI (marco.olivieri@ingv.it)
Pierangelo ROMANO (pierangelo.romano@ingv.it)
Maurizio SOLDANI (maurizio.soldani@ingv.it)
Sara STOPPONI (sara.stopponi@ingv.it)
Umberto TAMMARO (umberto.tammaro@ingv.it)
Andrea TERTULLIANI (andrea.tertulliani@ingv.it)
Stefano URBINI (stefano.urbini@ingv.it)

Ufficio Editoriale

Francesca DI STEFANO Coordinatore - Segreteria di Redazione

Produzione e grafica-redazionale

Barbara ANGIONI
Massimiliano CASCONI
Francesca DI STEFANO
Patrizia PANTANI

REGISTRAZIONE AL TRIBUNALE DI ROMA N.174 | 2014, 23 LUGLIO

© 2014 INGV Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia | Rappresentante legale: Carlo DOGLIONI

Sede: Via di Vigna Murata, 605 | Roma



ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA

RAPPORTI TECNICI INGV

Misura della risoluzione di un acquisitore sismico

Resolution measurement of a seismic digitizer

Paolo Strappaveccia*, Sandro Rao, Leonardo Salvaterra, Massimo Perfetti

INGV | Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Osservatorio Nazionale Terremoti

**Corresponding author*

Accettato 17 gennaio 2025 | Accepted 17 January 2025

Come citare | How to cite Strappaveccia P., Rao S., Salvaterra L., Perfetti M., (2025). Misura della risoluzione di un acquisitore sismico. Rapp. Tec. INGV, 493: 1-40, <https://doi.org/10.13127/rpt/493>

In copertina | Banco di misura per lo studio della risoluzione di un acquisitore sismico | Cover | Measurement bench for studying the resolution of a seismic datalogger

493

INDICE

Riassunto	7
<i>Abstract</i>	7
Introduzione	7
1. Setup sperimentale	8
1.1 Formati utilizzati per il salvataggio dei dati	9
1.2 Modalità di acquisizione e salvataggio dei dati	9
2. Taratura e calibrazione degli strumenti	10
3. Determinazione dell'incertezza composta	11
3.1 L'incertezza composta nella misura delle tensioni e dei conteggi	12
4. Risoluzione in bit	13
5. Descrizione delle prove sperimentali e discussione dei risultati	13
6. Conclusioni	15
Bibliografia	16
Sitografia	16
Appendice	17

Riassunto

La risoluzione di un acquisitore sismico è un parametro di grande interesse nella sismologia sperimentale, perché incide sulla qualità dei dati registrati e dipende direttamente dalla componentistica utilizzata nello strumento, in particolare gli ADC. Nel presente lavoro è stato progettato e allestito un banco di misura basato su strumentazione ad elevate prestazioni, al fine di misurare con grande accuratezza questo importante parametro, in accordo con la normativa vigente sulla determinazione dell'incertezza di misura. Il banco di misura si è rivelato utile sia per verificare i valori di risoluzione dichiarati dal costruttore del digitalizzatore nel *datasheet*, sia per confrontare i diversi acquisitori in commercio. Un'altra interessante applicazione è la verifica della linearità nella risposta dei convertitori a segnali applicati nei diversi *input range* settati.

A causa delle caratteristiche tecniche degli strumenti di misura utilizzati, per la comunicazione con il PC è stato impiegato un *bus* specifico di tipo parallelo a 8 bit denominato GPIB (*General Purpose Interface Bus*), che ancora oggi rappresenta un'ottima soluzione - nonché uno *standard* (IEEE-488) - per applicazioni in ambito *Test & Measurement*. Il *software* applicativo per controllare la suddetta strumentazione è stato realizzato in codice G (LabVIEW).

L'acquisitore sismico testato in questo lavoro è stato il Nanometrics Centaur CTR4-6S e tutte le misure di risoluzione ricavate sono risultate in perfetto accordo con i valori forniti dal produttore.

Abstract

The resolution of a seismic data acquisition system is one of the most interesting parameters in experimental seismology because it affects the quality of the recorded data and is directly dependent on the components used in the instrument, in particular ADCs. In the present work, a measuring bench based on high-performance instrumentation was designed and set up in order to measure this important parameter with great accuracy, in accordance with current regulations on the determination of measurement uncertainty. The measurement bench proved to be useful both for verifying the resolution values indicated by the digitizer manufacturer in the datasheet, and for comparing the different seismic digitizers on the market. Another interesting application is the verification of linearity in the response of converters to signals applied in different input ranges. Due to the technical characteristics of the measuring instruments used, a specific 8-bit parallel type bus called GPIB (General Purpose Interface Bus) was used for communication with the PC, which still represents an excellent solution - as well as a standard (IEEE-488) - for applications in the Test & Measurement field. The application software to control the aforementioned instrumentation was realised in G code (LabVIEW). The seismic digitizer tested in this work was the Nanometrics Centaur CTR4-6S and all resolution measurements obtained were in perfect agreement with the values provided by the manufacturer.

Keywords Acquisitori sismici; Registratori; Caratterizzazione acquisitori | Seismic recorders; Bit weight; DC accuracy

Introduzione

La risoluzione di un acquisitore sismico, espressa in V/count, è la minima tensione che può essere risolta dallo strumento e dipende dalla qualità del suo convertitore analogico-digitale (ADC). In

letteratura viene indicata anche mediante il termine “*bit-weight*”, poiché corrisponde alla minima ampiezza del segnale in ingresso all’acquisitore necessaria per far commutare il *bit* meno significativo (LSB) nel segnale digitale codificato dall’ADC in esame. Per procedere alla determinazione sperimentale della risoluzione in laboratorio, abbiamo generato, mediante una sorgente ad altissima precisione (calibratore Fluke5700A), dei segnali di tensione continua, sia positivi che negativi, di ampiezza pari al 10% del valore di fondo scala impostato per il canale del digitalizzatore in esame; questi segnali sono stati simultaneamente misurati tramite l’acquisitore sismico (convertiti in conteggi digitali) e un multimetro di precisione a 8+1/2 *digit* (DMM HP3458A), al fine di utilizzarli per calcolare sperimentalmente la risoluzione attraverso la seguente formula [SAND2018-11442]:

$$Ris = \frac{V_{pos} - V_{neg}}{C_{pos} - C_{neg}} \quad (1)$$

dove V_{pos} e V_{neg} sono state misurate mediante il multimetro digitale, e C_{pos} e C_{neg} sono i relativi conteggi prodotti dal digitalizzatore. Abbiamo quindi eseguito, per ciascuno dei sei canali analogici d’ingresso impostati a un determinato guadagno, due coppie di misurazioni di 100 s ciascuna.

1. Setup sperimentale

Lo schema che mostra il collegamento dei dispositivi è illustrato in Figura 1 [SAND2018-11442]; mentre in Figura 2 è mostrato il banco di misura completo allestito per le misure sperimentali. L’acquisitore sismico analizzato per il nostro esperimento è stato il Nanometrics Centaur CTR4-6S [Nanometrics, 2019], collegato al *PC desktop* mediante una *LAN* dedicata e alimentato attraverso un alimentatore da banco a quattro uscite Iso-Tech mod. IPS 4303, impostato a 12 Vdc.

Figura 1 Schema di collegamento tra il digitalizzatore, la sorgente di tensione e il multimetro digitale.

Figure 1 Connection diagram between the digitizer, the signal source and the digital multimeter.

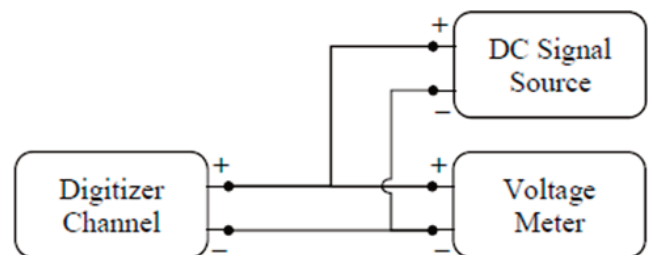
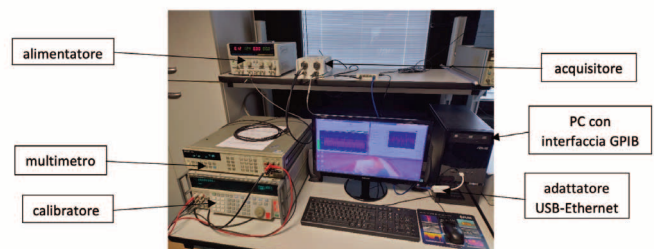


Figura 2 Banco di misura per lo studio della risoluzione di un acquisitore sismico.

Figure 2 Measurement bench for studying the resolution of a seismic datalogger.



Non è stato invece possibile connettere il multimetro HP e il calibratore Fluke al PC mediante la suddetta LAN in quanto dotati della sola interfaccia GPIB. Abbiamo pertanto aggiunto al computer una interfaccia PCI-GPIB della *National Instruments* ed installato l’ambiente di sviluppo grafico LabVIEW al fine di creare un’applicazione – mostrata in Figura 3 – capace di comunicare

con entrambi gli strumenti, nonché di visualizzare e salvare i dati provenienti dal DMM in un formato opportuno.

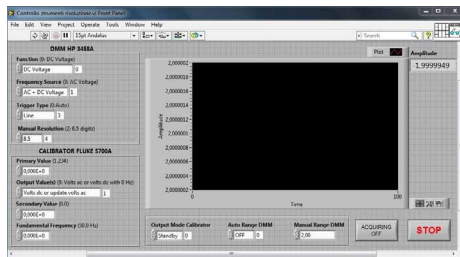
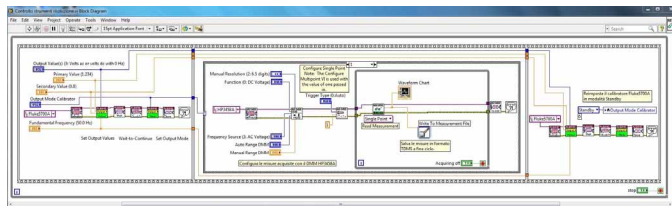


Figura 3 Applicazione LabVIEW per la comunicazione con il DMM HP3458A e il calibratore Fluke 5700A.

Figure 3 LabVIEW application for communication with the HP3458A DMM and the Fluke 5700A calibrator.



1.1 Formati utilizzati per il salvataggio dei dati

Il VI Express “Write To Measurement File” inserito nel diagramma LabVIEW (illustrato in Figura 3) è stato impostato per salvare i dati provenienti dal multimetro digitale in formato binario TDMS (*Technical Data Management Streaming*), un particolare tipo di formato usato negli ambienti *software* (come ad es. LabVIEW e MATLAB) per la simulazione e la misurazione di grandezze fisiche. I file TDMS contengono anche dei metadati, cioè informazioni descrittive, che comprendono la procedura, il dispositivo di prova, le informazioni del sensore e l'autore. Nel caso dello *streaming* di dati generati dal multimetro HP3458A a 8+1/2 digit, questo formato è l'unico che consente di salvare i dati con il numero massimo di cifre decimali consentito dallo strumento. Una volta generato, il file TDMS può essere aperto mediante un qualsiasi foglio di calcolo (*Microsoft Excel* o *OpenOffice Calc*) previa installazione nel *computer* del relativo *add-on*. Nel caso dell'acquisitore sismico, i file salvati contenenti i conteggi relativi alle tensioni applicate ai diversi ingressi analogici hanno il formato *standard* miniSEED, convenzionalmente usato da tutti i produttori di sistemi di acquisizione dati in uso nella sismologia sperimentale.

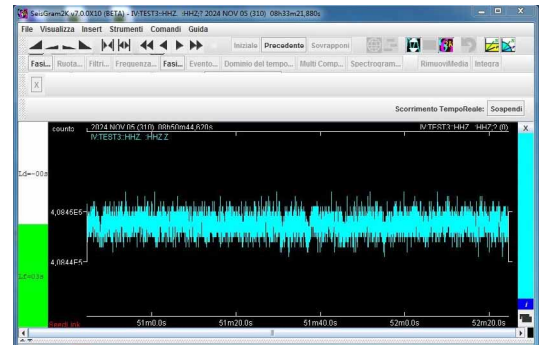
1.2 Modalità di acquisizione e salvataggio dei dati

Abbiamo eseguito sessioni di acquisizioni di tensioni continue e di conteggi digitali della durata di cinque minuti ciascuna. Le tensioni, misurate mediante il multimetro digitale, sono state acquisite (e salvate) dal *computer* mediante il *bus* GPIB ad una frequenza di circa 1,5 Hz. I conteggi prodotti dall'acquisitore sono stati invece inviati al PC per essere visualizzati in *real-time* attraverso l'applicativo SeisGram2K [Lomax et al., 2014], mentre il salvataggio è stato eseguito direttamente dall'acquisitore sismico nella sua memoria di massa ad una frequenza di 100 Hz. La corrispondenza temporale delle misure di tensione e delle relative misure di conteggi era garantita dal ricevitore GNSS, integrato nell'acquisitore, e dalla connessione a *Internet* del *computer* (mediante protocollo NTP). Per ognuna delle sessioni di misura abbiamo infine estratto ed elaborato i dati corrispondenti a intervalli di 100 s con il medesimo tempo iniziale, ottenendo complessivamente 10^4 misurazioni di conteggi e circa 150 misurazioni di tensione perfettamente correlate nel tempo. Più in dettaglio, le tensioni sono state ricavate dal file *Excel* generato da LabVIEW durante l'acquisizione e i conteggi digitali, presenti nella memoria del digitalizzatore in formato miniSEED, sono stati visualizzati e

convertiti dal programma SeisGram2K in formato ASCII per poter essere salvati in Excel. In Figura 4 è illustrata una finestra dell'applicativo SeisGram2K.

Figura 4 Una finestra dell'applicativo SeisGram2K.

Figure 4 A window of the SeisGram2K program.



2. Taratura e calibrazione degli strumenti

Gli strumenti sopra descritti (Fluke 5700A con s/n 7590602 e HP 3458A con s/n 2823A01918), prima di essere utilizzati nel banco di misura illustrato nel paragrafo precedente, sono stati opportunamente calibrati e tarati in un centro accreditato. L'operazione di calibrazione di uno strumento (o messa a punto, in inglese *adjustment*) consiste nel ridurre, per quanto possibile, l'errore di misura. La taratura, invece, è un procedimento volto a definire le caratteristiche metrologiche di uno strumento di misura attraverso il confronto con uno strumento di riferimento, denominato campione, al fine di stabilire la sua precisione.

L'operazione di calibrazione si è resa necessaria in particolare per il multimetro digitale che inizialmente risultava del tutto inutilizzabile per i nostri scopi in quanto produceva un errore di circa l'1% rispetto al valore aspettato. Per ovviare a ciò e procedere anche alla taratura degli strumenti ci siamo rivolti alla ditta ARO srl (valutata dall'ente nazionale ACCREDIA e dall'ente internazionale RINA ed accreditata LAT046, ovvero conforme ai requisiti della norma UNI CEI EN ISO/IEC17025:2018 che stabilisce i requisiti generali per la competenza dei laboratori di prova e taratura) - partner Fluke - che in data 12/07/2023 e in data 13/07/2023 ha emesso i certificati di taratura LAT 046 375875 e LAT 046 375886, rispettivamente per il calibratore multifunzione ed il multimetro.

In Figura 5 e in Figura 6 sono illustrati degli estratti dei suddetti certificati di taratura emessi dalla ditta ARO srl.

Figura 5 Estratto del certificato di taratura emesso per il Fluke 5700A.

Figure 5 Extract of the calibration certificate issued for the Fluke 5700A.



AROCAL
Strada Industriale di Monza
Via Trento e Trieste, 112
20126 (MI) 20126 (MI) Italy
Tel. +39 039 2744500
info@arocal.it
www.arocal.it

ACCREDIA

Member degli Accordi di Misura
Measurement of EA, ILAC and ILAC
Mutual Recognition Agreements

Centro di Taratura LAT 046
Calibration Centre
Laboratorio Accreditato di Taratura
Accredited Calibration Laboratory



AROCAL
Strada Industriale di Monza
Via Trento e Trieste, 112
20126 (MI) 20126 (MI) Italy
Tel. +39 039 2744500
info@arocal.it
www.arocal.it

ACCREDIA

Member degli Accordi di Misura
Measurement of EA, ILAC and ILAC
Mutual Recognition Agreements

Centro di Taratura LAT 046
Calibration Centre
Laboratorio Accreditato di Taratura
Accredited Calibration Laboratory

Centro di Taratura LAT 046
Calibration Centre
Laboratorio Accreditato di Taratura
Accredited Calibration Laboratory

ACCREDIA

Member degli Accordi di Misura
Measurement of EA, ILAC and ILAC
Mutual Recognition Agreements

CERTIFICATO DI TARATURA LAT 046 375875
Certificate of Calibration

LAT 046
Member degli Accordi di Misura
Measurement of EA, ILAC and ILAC
Mutual Recognition Agreements

CERTIFICATO DI TARATURA LAT 046 375875
Certificate of Calibration

Page 1 of 1
Page 1 of 1

2023/07/12

ISTITUTO NAZIONALE DI GEOMETRIA E VULCANOLOGIA
Via S. Maria Maddalena, 102
00187 Roma (RM)

ISTITUTO NAZIONALE DI GEOMETRIA E VULCANOLOGIA
Via S. Maria Maddalena, 102
00187 Roma (RM)

ISTITUTO NAZIONALE DI GEOMETRIA E VULCANOLOGIA
Via S. Maria Maddalena, 102
00187 Roma (RM)

ISTITUTO NAZIONALE DI GEOMETRIA E VULCANOLOGIA
Via S. Maria Maddalena, 102
00187 Roma (RM)

ISTITUTO NAZIONALE DI GEOMETRIA E VULCANOLOGIA
Via S. Maria Maddalena, 102
00187 Roma (RM)

ISTITUTO NAZIONALE DI GEOMETRIA E VULCANOLOGIA
Via S. Maria Maddalena, 102
00187 Roma (RM)

ISTITUTO NAZIONALE DI GEOMETRIA E VULCANOLOGIA
Via S. Maria Maddalena, 102
00187 Roma (RM)

ISTITUTO NAZIONALE DI GEOMETRIA E VULCANOLOGIA
Via S. Maria Maddalena, 102
00187 Roma (RM)

ISTITUTO NAZIONALE DI GEOMETRIA E VULCANOLOGIA
Via S. Maria Maddalena, 102
00187 Roma (RM)

ISTITUTO NAZIONALE DI GEOMETRIA E VULCANOLOGIA
Via S. Maria Maddalena, 102
00187 Roma (RM)

ISTITUTO NAZIONALE DI GEOMETRIA E VULCANOLOGIA
Via S. Maria Maddalena, 102
00187 Roma (RM)

ISTITUTO NAZIONALE DI GEOMETRIA E VULCANOLOGIA
Via S. Maria Maddalena, 102
00187 Roma (RM)

ISTITUTO NAZIONALE DI GEOMETRIA E VULCANOLOGIA
Via S. Maria Maddalena, 102
00187 Roma (RM)

ISTITUTO NAZIONALE DI GEOMETRIA E VULCANOLOGIA
Via S. Maria Maddalena, 102
00187 Roma (RM)

ISTITUTO NAZIONALE DI GEOMETRIA E VULCANOLOGIA
Via S. Maria Maddalena, 102
00187 Roma (RM)

ISTITUTO NAZIONALE DI GEOMETRIA E VULCANOLOGIA
Via S. Maria Maddalena, 102
00187 Roma (RM)

ISTITUTO NAZIONALE DI GEOMETRIA E VULCANOLOGIA
Via S. Maria Maddalena, 102
00187 Roma (RM)

ISTITUTO NAZIONALE DI GEOMETRIA E VULCANOLOGIA
Via S. Maria Maddalena, 102
00187 Roma (RM)

ISTITUTO NAZIONALE DI GEOMETRIA E VULCANOLOGIA
Via S. Maria Maddalena, 102
00187 Roma (RM)

ISTITUTO NAZIONALE DI GEOMETRIA E VULCANOLOGIA
Via S. Maria Maddalena, 102
00187 Roma (RM)

ISTITUTO NAZIONALE DI GEOMETRIA E VULCANOLOGIA
Via S. Maria Maddalena, 102
00187 Roma (RM)

ISTITUTO NAZIONALE DI GEOMETRIA E VULCANOLOGIA
Via S. Maria Maddalena, 102
00187 Roma (RM)

ISTITUTO NAZIONALE DI GEOMETRIA E VULCANOLOGIA
Via S. Maria Maddalena, 102
00187 Roma (RM)

ISTITUTO NAZIONALE DI GEOMETRIA E VULCANOLOGIA
Via S. Maria Maddalena, 102
00187 Roma (RM)

ISTITUTO NAZIONALE DI GEOMETRIA E VULCANOLOGIA
Via S. Maria Maddalena, 102
00187 Roma (RM)

ISTITUTO NAZIONALE DI GEOMETRIA E VULCANOLOGIA
Via S. Maria Maddalena, 102
00187 Roma (RM)

ISTITUTO NAZIONALE DI GEOMETRIA E VULCANOLOGIA
Via S. Maria Maddalena, 102
00187 Roma (RM)

ISTITUTO NAZIONALE DI GEOMETRIA E VULCANOLOGIA
Via S. Maria Maddalena, 102
00187 Roma (RM)

ISTITUTO NAZIONALE DI GEOMETRIA E VULCANOLOGIA
Via S. Maria Maddalena, 102
00187 Roma (RM)

ISTITUTO NAZIONALE DI GEOMETRIA E VULCANOLOGIA
Via S. Maria Maddalena, 102
00187 Roma (RM)

ISTITUTO NAZIONALE DI GEOMETRIA E VULCANOLOGIA
Via S. Maria Maddalena, 102
00187 Roma (RM)

ISTITUTO NAZIONALE DI GEOMETRIA E VULCANOLOGIA
Via S. Maria Maddalena, 102
00187 Roma (RM)

ISTITUTO NAZIONALE DI GEOMETRIA E VULCANOLOGIA
Via S. Maria Maddalena, 102
00187 Roma (RM)

ISTITUTO NAZIONALE DI GEOMETRIA E VULCANOLOGIA
Via S. Maria Maddalena, 102
00187 Roma (RM)

ISTITUTO NAZIONALE DI GEOMETRIA E VULCANOLOGIA
Via S. Maria Maddalena, 102
00187 Roma (RM)

ISTITUTO NAZIONALE DI GEOMETRIA E VULCANOLOGIA
Via S. Maria Maddalena, 102
00187 Roma (RM)

ISTITUTO NAZIONALE DI GEOMETRIA E VULCANOLOGIA
Via S. Maria Maddalena, 102
00187 Roma (RM)

ISTITUTO NAZIONALE DI GEOMETRIA E VULCANOLOGIA
Via S. Maria Maddalena, 102
00187 Roma (RM)

ISTITUTO NAZIONALE DI GEOMETRIA E VULCANOLOGIA
Via S. Maria Maddalena, 102
00187 Roma (RM)

ISTITUTO NAZIONALE DI GEOMETRIA E VULCANOLOGIA
Via S. Maria Maddalena, 102
00187 Roma (RM)

ISTITUTO NAZIONALE DI GEOMETRIA E VULCANOLOGIA
Via S. Maria Maddalena, 102
00187 Roma (RM)

ISTITUTO NAZIONALE DI GEOMETRIA E VULCANOLOGIA
Via S. Maria Maddalena, 102
00187 Roma (RM)

ISTITUTO NAZIONALE DI GEOMETRIA E VULCANOLOGIA
Via S. Maria Maddalena, 102
00187 Roma (RM)

ISTITUTO NAZIONALE DI GEOMETRIA E VULCANOLOGIA
Via S. Maria Maddalena, 102
00187 Roma (RM)

ISTITUTO NAZIONALE DI GEOMETRIA E VULCANOLOGIA
Via S. Maria Maddalena, 102
00187 Roma (RM)

ISTITUTO NAZIONALE DI GEOMETRIA E VULCANOLOGIA
Via S. Maria Maddalena, 102
00187 Roma (RM)

ISTITUTO NAZIONALE DI GEOMETRIA E VULCANOLOGIA
Via S. Maria Maddalena, 102
00187 Roma (RM)

ISTITUTO NAZIONALE DI GEOMETRIA E VULCANOLOGIA
Via S. Maria Maddalena, 102
00187 Roma (RM)

ISTITUTO NAZIONALE DI GEOMETRIA E VULCANOLOGIA
Via S. Maria Maddalena, 102
00187 Roma (RM)

ISTITUTO NAZIONALE DI GEOMETRIA E VULCANOLOGIA
Via S. Maria Maddalena, 102
00187 Roma (RM)

ISTITUTO NAZIONALE DI GEOMETRIA E VULCANOLOGIA
Via S. Maria Maddalena, 102
00187 Roma (RM)

ISTITUTO NAZIONALE DI GEOMETRIA E VULCANOLOGIA
Via S. Maria Maddalena, 102
00187 Roma (RM)

ISTITUTO NAZIONALE DI GEOMETRIA E VULCANOLOGIA
Via S. Maria Maddalena, 102
00187 Roma (RM)

ISTITUTO NAZIONALE DI GEOMETRIA E VULCANOLOGIA
Via S. Maria Maddalena, 102
00187 Roma (RM)

ISTITUTO NAZIONALE DI GEOMETRIA E VULCANOLOGIA
Via S. Maria Maddalena, 102
00187 Roma (RM)

ISTITUTO NAZIONALE DI GEOMETRIA E VULCANOLOGIA
Via S. Maria Maddalena, 102
00187 Roma (RM)

ISTITUTO NAZIONALE DI GEOMETRIA E VULCANOLOGIA
Via S. Maria Maddalena, 102
00187 Roma (RM)

ISTITUTO NAZIONALE DI GEOMETRIA E VULCANOLOGIA
Via S. Maria Maddalena, 102
00187 Roma (RM)

ISTITUTO NAZIONALE DI GEOMETRIA E VULCANOLOGIA
Via S. Maria Maddalena, 102
00187 Roma (RM)

ISTITUTO NAZIONALE DI GEOMETRIA E VULCANOLOGIA
Via S. Maria Maddalena, 102
00187 Roma (RM)

ISTITUTO NAZIONALE DI GEOMETRIA E VULCANOLOGIA
Via S. Maria Maddalena, 102
00187 Roma (RM)

ISTITUTO NAZIONALE DI GEOMETRIA E VULCANOLOGIA
Via S. Maria Maddalena, 102
00187 Roma (RM)

ISTITUTO NAZIONALE DI GEOMETRIA E VULCANOLOGIA
Via S. Maria Maddalena, 102
00187 Roma (RM)

ISTITUTO NAZIONALE DI GEOMETRIA E VULCANOLOGIA
Via S. Maria Maddalena, 102
00187 Roma (RM)

ISTITUTO NAZIONALE DI GEOMETRIA E VULCANOLOGIA
Via S. Maria Maddalena, 102
00187 Roma (RM)

ISTITUTO NAZIONALE DI GEOMETRIA E VULCANOLOGIA
Via S. Maria Maddalena, 102
00187 Roma (RM)

ISTITUTO NAZIONALE DI GEOMETRIA E VULCANOLOGIA
Via S. Maria Maddalena, 102
00187 Roma (RM)

ISTITUTO NAZIONALE DI GEOMETRIA E VULCANOLOGIA
Via S. Maria Maddalena, 102
00187 Roma (RM)

ISTITUTO NAZIONALE DI GEOMETRIA E VULCANOLOGIA
Via S. Maria Maddalena, 102
00187 Roma (RM)

ISTITUTO NAZIONALE DI GEOMETRIA E VULCANOLOGIA
Via S. Maria Maddalena, 102
00187 Roma (RM)

ISTITUTO NAZIONALE DI GEOMETRIA E VULCANOLOGIA
Via S. Maria Maddalena, 102
00187 Roma (RM)

ISTITUTO NAZIONALE DI GEOMETRIA E VULCANOLOGIA
Via S. Maria Maddalena, 102
00187 Roma (RM)

ISTITUTO NAZIONALE DI GEOMETRIA E VULCANOLOGIA
Via S. Maria Maddalena, 102
00187 Roma (RM)

ISTITUTO NAZIONALE DI GEOMETRIA E VULCANOLOGIA
Via S. Maria Maddalena, 102
00187 Roma (RM)

ISTITUTO NAZIONALE DI GEOMETRIA E VULCANOLOGIA
Via S. Maria Maddalena, 102
00187 Roma (RM)

ISTITUTO NAZIONALE DI GEOMETRIA E VULCANOLOGIA
Via S. Maria Maddalena, 102
00187 Roma (RM)

ISTITUTO NAZIONALE DI GEOMETRIA E VULCANOLOGIA
Via S. Maria Maddalena, 102
00187 Roma (RM)

ISTITUTO NAZIONALE DI GEOMETRIA E VULCANOLOGIA
Via S. Maria Maddalena, 102
00187 Roma (RM)

ISTITUTO NAZIONALE DI GEOMETRIA E VULCANOLOGIA
Via S. Maria Maddalena, 102
00187 Roma (RM)

ISTITUTO NAZIONALE DI GEOMETRIA E VULCANOLOGIA
Via S. Maria Maddalena, 102
00187 Roma (RM)

ISTITUTO NAZIONALE DI GEOMETRIA E VULCANOLOGIA
Via S. Maria Maddalena, 102
00187 Roma (RM)

ISTITUTO NAZIONALE DI GEOMETRIA E VULCANOLOGIA
Via S. Maria Maddalena, 102
00187 Roma (RM)

ISTITUTO NAZIONALE DI GEOMETRIA E VULCANOLOGIA
Via S. Maria Maddalena, 102
00187 Roma (RM)

ISTITUTO NAZIONALE DI GEOMETRIA E VULCANOLOGIA
Via S. Maria Maddalena, 102
00187 Roma (RM)

ISTITUTO NAZIONALE DI GEOMETRIA E VULCANOLOGIA
Via S. Maria Maddalena, 102
00187 Roma (RM)

ISTITUTO NAZIONALE DI GEOMETRIA E VULCANOLOGIA
Via S. Maria Maddalena, 102
00187 Roma (RM)

ISTITUTO NAZIONALE DI GEOMETRIA E VULCANOLOGIA
Via S. Maria Maddalena, 102
00187 Roma (RM)

ISTITUTO NAZIONALE DI GEOMETRIA E VULCANOLOGIA
Via S. Maria Maddalena, 102
00187 Roma (RM)

ISTITUTO NAZIONALE DI GEOMETRIA E VULCANOLOGIA
Via S. Maria Maddalena, 102
00187 Roma (RM)

ISTITUTO NAZIONALE DI GEOMETRIA E VULCANOLOGIA
Via S. Maria Maddalena, 102
00187 Roma (RM)

ISTITUTO NAZIONALE DI GEOMETRIA E VULCANOLOGIA
Via S. Maria Maddalena, 102
00187 Roma (RM)

ISTITUTO NAZIONALE DI GEOMETRIA E VULCANOLOGIA
Via S. Maria Maddalena, 102
00187 Roma (RM)

ISTITUTO NAZIONALE DI GEOMETRIA E VULCANOLOGIA
Via S. Maria Maddalena, 102
00187 Roma (RM)

ISTITUTO NAZIONALE DI GEOMETRIA E VULCANOLOGIA
Via S. Maria Maddalena, 102
00187 Roma (RM)

ISTITUTO NAZIONALE DI GEOMETRIA E VULCANOLOGIA
Via S. Maria Maddalena, 102
00187 Roma (RM)

ISTITUTO NAZIONALE DI GEOMETRIA E VULCANOLOGIA
Via S. Maria Maddalena, 102
00187 Roma (RM)

ISTITUTO NAZIONALE DI GEOMETRIA E VULCANOLOGIA
Via S. Maria

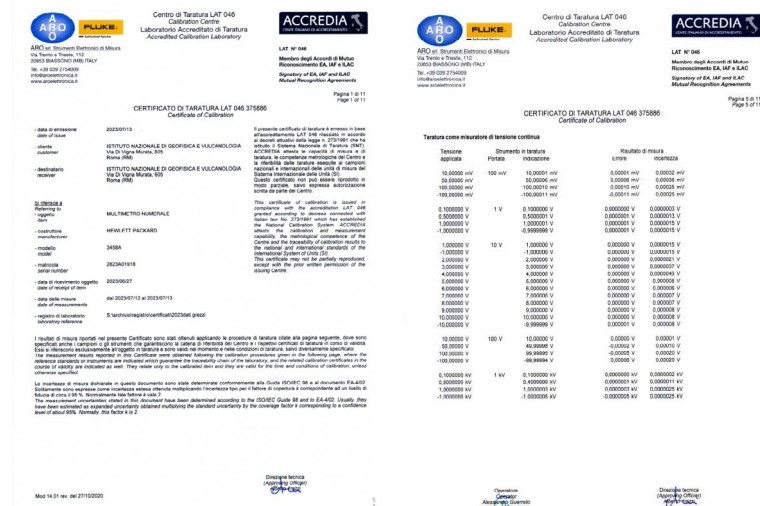


Figura 6 Estratto del certificato di taratura emesso per l'HP 3458A.

Figure 6 Extract of the calibration certificate issued for the HP 3458A.

3. Determinazione dell'incertezza composta

Per il calcolo dell'incertezza composta nelle misurazioni della risoluzione, abbiamo tenuto conto del fatto che quest'ultima è una funzione di quattro variabili (V_{pos} , V_{neg} , C_{pos} , C_{neg}), ciascuna con la propria incertezza composta calcolata considerando le incertezze di categoria A e di categoria B, come descritto nella norma CEI UNI 70098-3:2016 e nel paragrafo 3.1. Abbiamo, pertanto, ritenuto opportuno calcolare dapprima tali incertezze, al fine di semplificare notevolmente il calcolo finale dell'incertezza sulla misura della risoluzione. Diversamente avremmo dovuto affrontare lo studio, non banale, di una funzione di quattro funzioni composte. Sempre per la richiamata norma CEI UNI, nel caso in cui il misurando y sia una funzione di n grandezze variabili, cioè $y=f(x_1, x_2, \dots, x_n)$, tra di loro indipendenti, si può dimostrare che la varianza composta $u_c^2(y)$ è data da:

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^N \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 u^2(x_i) \quad (2)$$

Se poniamo:

$$\begin{cases} V_{pos} = x_1 \\ V_{neg} = x_2 \\ C_{pos} = x_3 \\ C_{neg} = x_4 \end{cases}$$

e sviluppiamo la (2) in modo da calcolare le derivate parziali nei valori medi $\bar{x}_i$ delle grandezze misurate, si ottiene, per l'incertezza composta:

$$u_c(y) = \sqrt{\frac{u^2(x_1)}{(\bar{x}_3 - \bar{x}_4)^2} + \frac{u^2(x_2)}{(\bar{x}_3 - \bar{x}_4)^2} + \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2)^2}{(\bar{x}_3 - \bar{x}_4)^4} u^2(x_3) + \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2)^2}{(\bar{x}_3 - \bar{x}_4)^4} u^2(x_4)} \quad (3)$$

Il radicando della (3) è una somma di quattro termini, ciascuno costituito dall'incertezza composta di ciascuna grandezza misurata presente nella (1), moltiplicata per il suo peso ottenuto dal termine contenente nella (2) le derivate parziali.

3.1 L'incertezza composta nella misura delle tensioni e dei conteggi

La (2) può anche essere utilizzata per ciascuna delle quattro grandezze che compaiono nella (1), purché sia correttamente definita l'espressione della funzione f che deve tener conto delle due diverse categorie di incertezze, A e B, come sopra descritto. Poiché in ognuna delle misurazioni di queste grandezze x_i si deve tener conto di un fattore correttivo Δx_i relativo alle caratteristiche dello strumento di misura, la f assumerà la forma $x_i' = x_i + \Delta x_i$ e la (2) si riduce alla somma delle varianze di categoria A e categoria B, dove - lo ricordiamo - *le prime sono ricavabili attraverso l'elaborazione statistica di un campione di n osservazioni ripetute nelle stesse condizioni sperimentali, mentre le seconde sono ricavabili attraverso informazioni disponibili a priori e indipendenti dalle osservazioni sperimentali* [Strappaveccia, 2023] e [UNI, 2018].

Nel caso della misura di ciascuna delle quattro grandezze x_i che rientrano nella (1), la varianza di categoria A è la varianza della media calcolata sul campione di n misurazioni.

Quindi, una volta calcolato il valor medio $\bar{x}_i$ e la varianza sperimentale data dalla formula:

$$s^2(x_i) = \frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n (x_{ik} - \bar{x}_i)^2 \quad (4)$$

la varianza di categoria A si ottiene dividendo quest'ultima per n , visto che a tutti gli effetti quantifica quanto bene $\bar{x}_i$ stimi il valore atteso del misurando (varianza sperimentale della media $s^2(\bar{x}_i)$) [UNI, 2018], e di seguito sarà indicata con **Var(Cat.A)**.

Il calcolo delle varianze di categoria B risulta invece diverso a seconda che si tratti di misurazioni di tensioni o di conteggi. In particolare è il fattore correttivo Δx_i che risulta diverso nei due casi. Nel caso delle misure di tensione ottenute mediante il multimetro digitale, Δx_i dipende dall'accuratezza dichiarata dal costruttore dello strumento ($Acc(V)$). Assumendo che $Acc(V)$ rappresenti il limite simmetrico di una correzione additiva ΔV da aggiungere a qualunque valore di lettura V , e in particolare al valor medio di V (nel caso di un campione di n misurazioni), avente valor medio nullo e probabilità di giacere indifferentemente in qualunque punto nell'intorno definito dal limite $Acc(V)$, trattandosi di distribuzione di probabilità uniforme nell'intervallo $(V - Acc(V), V + Acc(V))$, la varianza sarà pari a $Acc(V)^2/3$ [Gupta, 2012].

Quest'ultima rappresenta la varianza di categoria B e sarà di seguito indicata con **Var(Cat.B)**. La tabella in Figura 7 consente di ricavare per le misure di tensione continua l'accuratezza $Acc(V)$, entro un anno dalla taratura dello strumento e dopo aver eseguito la procedura di autocalibrazione (ACAL), purché le misure siano effettuate all'interno di un ambiente con temperatura $t = (T_{cal} \pm 5)^\circ C$.

Si noti che l'accuratezza ricavata mediante la tabella in Figura 7 dipende solamente dalle caratteristiche del multimetro indicate dal costruttore; parliamo pertanto di un'accuratezza relativa. Per ricavare invece quella assoluta, bisogna considerare le caratteristiche dello strumento utilizzato nel laboratorio di taratura.

Figura 7 Tabella ricavata dal datasheet del multimetro, utile per determinare l'incertezza di categoria B.

Figure 7 Table obtained by the multimeter datasheet and useful for determining category B uncertainty.

1/DC Voltage

DC Voltage

Range	Full Scale	Maximum Resolution	Input Impedance	Temperature Coefficient (ppm of Reading + ppm of Range) / °C	
				Without ACAL ¹	With ACAL ²
100 mV	120.00000	10 nV	> 10 GΩ	1.2 ± 1	0.15 ± 1
1 V	120000000	10 nV	> 10 GΩ	1.2 ± 0.1	0.15 ± 0.1
10 V	120000000	100 nV	> 10 GΩ	0.5 ± 0.01	0.15 ± 0.01
100 V	12000000	1 μV	10 MΩ ± 1%	2 ± 0.4	0.15 ± 0.1
1000 V	10500000	10 μV	10 MΩ ± 1%	2 ± 0.04	0.15 ± 0.01

Accuracy ³ (ppm of Reading + ppm of Range)				
Range	24 Hour ⁴	90 Day ⁵	1 Year ⁶	2 Year ⁷
100 mV	2.5 ± 5	5.0 ± 10	9 ± 10	14 ± 20
1 V	1.5 ± 0.5	4.6 ± 1	8 ± 1	14 ± 2
10 V	0.5 ± 0.05	4.1 ± 0.2	8 ± 0.2	14 ± 0.5
100 V	2.5 ± 0.3	6.0 ± 0.3	10 ± 0.3	14 ± 0.5
1000 V ⁸	2.5 ± 0.1	6.0 ± 0.1	10 ± 0.1	14 ± 0.5

¹ Additional error from Tcal ± 1°C without ACAL.

² Additional error from Tcal ± 5°C.

³ Specifications are for PRESET, NPLC 100.

⁴ For fixed range and Tcal ± 1°C. Valid over full range. For 24 hour accuracy without fixed range, add 0.05 ppm of Range to 1 V, and 5 ppm of Range to 10 V specifications.

⁵ Specifications for 90 day, 1 year and 2 year are within 24 hours and ± 1°C of last ACAL. Tcal ± 5°C.

For High stability (Option 002) subtract 1.5 ppm of Reading from 90 day, and 4 ppm of Reading from 1 or 2 year accuracy.

Add 2 ppm of reading additional error for NPLC factory traceability at 10 V dc to US NBS. Traceability error is the absolute error relative to National Standards associated with the source of last external calibration.

⁶ Add 10 ppm X (Vol / 1000) ± additional error for inputs > 100 V.

Questa si ottiene aggiungendo all'accuratezza relativa l'incertezza sulla misura indicata nel certificato di taratura mostrato in Figura 6. Illustriamo qui di seguito un esempio di tale calcolo. Dopo aver effettuato sul DMM HP3458A (in equilibrio termico da almeno otto ore), un'operazione di autocalibrazione, con il laboratorio ad una temperatura di 25 °C [Keysight, 2016], si effettuano n misurazioni di tensione con valor medio pari a 1,99998621 V, e con il fondoscala dello strumento impostato a 10 V. Se il nostro multimetro digitale è stato tarato e calibrato meno di un anno fa, l'accuratezza assoluta sarà pari a (cfr. tabella in Figura 7):

$$Acc(V) = 8 \text{ ppm} \cdot Lettura + 0,2 \text{ ppm} \cdot Fondoscala + Incertezza \text{ cert. di taratura.}$$

e sostituendo i valori:

$$Acc(V) = 0,000008 \cdot 1,99998621 \text{ V} + 0,0000002 \cdot 10 \text{ V} + 0,0000021 \text{ V} \cong 0,00002 \text{ V}$$

Come fattore correttivo $Acc(C)$ da usare nelle misure dei conteggi si può considerare il mezzo count dovuto all'errore di quantizzazione degli ADC (considerati ideali). Ipotizzando anche in questo caso che la distribuzione di probabilità per le n misure di conteggi sia uniforme nell'intervallo $(C-Acc(C), C+Acc(C))$ con $Acc(C)=1/2 \text{ count}$, la varianza di categoria B sarà pari a $1/12 \text{ count}^2$ [Havskov, 2016].

Una volta note $Var(cat.A)$ e $Var(cat.B)$ per ognuna delle quattro misure delle grandezze x_i , l'incertezza composta per ciascuna di esse si ottiene dalla seguente formula:

$$Inc.comp = \sqrt{Var(cat.A) + Var(cat.B)} \quad (5)$$

4. Risoluzione in bit

Il valore della risoluzione ottenuto mediante la (1) può essere utilizzato per calcolare la corrispettiva risoluzione espressa in *bit*, attraverso la nota formula per un ADC ideale a n bit:

$$Ris = \frac{V_{pp}}{2^n} \quad (6)$$

Dalla (6) si ricava infatti:

$$n = \frac{\ln\left(\frac{V_{pp}}{Ris}\right)}{\ln 2} \quad (7)$$

Se nella (7) si considera V_{pp} costante, n risulta essere funzione della sola variabile Ris ($n=f(Ris)$). Pertanto, nella determinazione dell'incertezza sulla risoluzione in *bit* n ($Inc.n$), la (2) si riduce alla seguente formula [Hughes et al., 2010]:

$$Inc.n = \frac{Inc.Ris}{\ln 2 Ris} \quad (8)$$

5. Descrizione delle prove sperimentali e discussione dei risultati

La descrizione e i risultati delle trentasei serie di prove sperimentali effettuate per misurare i valori delle tensioni e dei conteggi - positivi e negativi - per ognuno dei sei canali di ingresso impostati con i diversi guadagni possibili per il Centaur mod. CTR4-6S in esame, contrassegnato con il s/n 007426, sono riportate in Appendice.

Tutte le prove sono state eseguite in un laboratorio ad una temperatura di circa 23 °C, con gli strumenti accesi da almeno otto ore. Per ognuna di esse si sono ricavati due *file Excel* di dati temporizzati (uno per le tensioni e un altro per i conteggi) che sono stati successivamente importati su un altro foglio *Excel* per il calcolo della risoluzione e della relativa incertezza composta, come da normativa UNI CEI 70098-3:2016. Ciò ha permesso di misurare con grande accuratezza i valori della risoluzione per l'acquisitore in esame, riportati nelle Tabelle 1 e 2.

	Gain 1x	Gain 2x	Gain 4x
Canale A1	(2,49973 ± 0,00001) µV/count (23,931817 ± 0,000006) bit	(1,249859 ± 0,000006) µV/count (23,931732 ± 0,000007) bit	(0,624917 ± 0,000003) µV/count (23,931759 ± 0,000003) bit
Canale A2	(2,49986 ± 0,00001) µV/count (23,931649 ± 0,000006) bit	(1,249923 ± 0,000006) µV/count (23,931658 ± 0,000007) bit	(0,624952 ± 0,000003) µV/count (23,931759 ± 0,000003) bit
Canale A3	(2,49993 ± 0,00001) µV/count (23,931608 ± 0,000006) bit	(1,249800 ± 0,000006) µV/count (23,931799 ± 0,000007) bit	(0,624964 ± 0,000003) µV/count (23,931799 ± 0,000003) bit
Canale B1	(2,49963 ± 0,00001) µV/count (23,931783 ± 0,000006) bit	(1,249812 ± 0,000006) µV/count (23,931786 ± 0,000007) bit	(0,624899 ± 0,000003) µV/count (23,931803 ± 0,000003) bit
Canale B2	(2,49969 ± 0,00001) µV/count (23,931748 ± 0,000006) bit	(1,249754 ± 0,000006) µV/count (23,931771 ± 0,000007) bit	(0,624908 ± 0,000003) µV/count (23,931781 ± 0,000003) bit
Canale B3	(2,49954 ± 0,00001) µV/count (23,931837 ± 0,000006) bit	(1,249754 ± 0,000006) µV/count (23,931853 ± 0,000007) bit	(0,624876 ± 0,000003) µV/count (23,931854 ± 0,000003) bit
Nominale	2,5 µV/count	1,25 µV/count	0,625 µV/count
Massima differenza	0,018%	0,020%	0,020%

Tabella 1 Riepilogo delle misure della risoluzione ottenute per ognuno dei sei canali settati ai guadagni 1x, 2x e 4x.
Table 1 Summary of resolution measurements obtained for each of the six channels set at gains 1x, 2x and 4x.

	Gain 10x	Gain 20x	Gain 40x
Canale A1	(0,249990 ± 0,000001) µV/count (23,931627 ± 0,000009) bit	(0,124984 ± 0,000001) µV/count (23,93176 ± 0,00001) bit	(62,5 ± 0,2) nV/count (23,932 ± 0,004) bit
Canale A2	(0,250010 ± 0,000001) µV/count (23,931511 ± 0,000009) bit	(0,124998 ± 0,000001) µV/count (23,93159 ± 0,00001) bit	(62,5 ± 0,2) nV/count (23,932 ± 0,004) bit
Canale A3	(0,250016 ± 0,000001) µV/count (23,931608 ± 0,000006) bit	(0,125006 ± 0,000001) µV/count (23,93150 ± 0,00001) bit	(62,5 ± 0,2) nV/count (23,932 ± 0,004) bit
Canale B1	(0,249996 ± 0,000001) µV/count (23,931593 ± 0,000009) bit	(0,124981 ± 0,000001) µV/count (23,93179 ± 0,00001) bit	(62,5 ± 0,2) nV/count (23,932 ± 0,004) bit
Canale B2	(0,249992 ± 0,000001) µV/count (23,931616 ± 0,000009) bit	(0,124993 ± 0,000001) µV/count (23,93165 ± 0,00001) bit	(62,5 ± 0,2) nV/count (23,932 ± 0,004) bit
Canale B3	(0,249966 ± 0,000001) µV/count (23,931764 ± 0,000009) bit	(0,124972 ± 0,000001) µV/count (23,93189 ± 0,00001) bit	(62,5 ± 0,2) nV/count (23,932 ± 0,004) bit
Nominale	0,25 µV/count	0,125 µV/count	62,5 nV/count
Massima differenza	0,014%	0,022%	Praticamente coincidenti con il valore nominale

Tabella 2 Riepilogo delle misure della risoluzione ottenute per ognuno dei sei canali settati ai guadagni 10x, 20x e 40x.
Table 2 Summary of resolution measurements obtained for each of the six channels set at gains 10x, 20x and 40x.

Si noti come praticamente tutte le misure di risoluzione ottenute siano prossime ai valori nominali forniti dalla Nanometrics (in Figura 8 inseriti nella riga “Nominal”) e a quelli misurati nei

laboratori Sandia durante un test eseguito su due digitalizzatori Centaur, canale per canale e per tutti i guadagni (Figura 8) [SAND2018-11442]. Nel nostro test, la massima differenza – dell'ordine dello 0,02% - tra il valore dichiarato e quello misurato, si è verificata per il canale B3 per tutti i guadagni, ad eccezione di quello corrispondente a 40x ($1V_{pp}$), dove è risultata coincidente con il valore nominale di 62,5 nV/count, come riscontrato anche per gli altri canali impostati allo stesso modo. Ciò è dovuto all'elevato contributo, nel calcolo dell'incertezza composta per la misura delle tensioni, dell'accuratezza del multimetro, che in questo caso risulta inferiore di circa due ordini di grandezza.

Table 10 DC Accuracy Bit-weight: Centaur 5001						
	Gain 1x	Gain 2x	Gain 4x	Gain 10x	Gain 20x	Gain 40x
Voltage	1.9876 V	0.99273 V	0.49646 V	0.19860 V	99.274 mV	49.654 mV
Z - 40 Hz	2.4996 uV/cnt	1.2499 uV/cnt	0.62491 uV/cnt	0.24996 uV/cnt	0.12499 uV/cnt	62.497 nV/cnt
N - 40 Hz	2.4996 uV/cnt	1.2499 uV/cnt	0.62491 uV/cnt	0.24997 uV/cnt	0.12499 uV/cnt	62.498 nV/cnt
E - 40 Hz	2.4995 uV/cnt	1.2498 uV/cnt	0.62490 uV/cnt	0.24996 uV/cnt	0.12498 uV/cnt	62.496 nV/cnt
Z - 100 Hz	2.4996 uV/cnt	1.2499 uV/cnt	0.62491 uV/cnt	0.24996 uV/cnt	0.12499 uV/cnt	62.497 nV/cnt
N - 100 Hz	2.4996 uV/cnt	1.2499 uV/cnt	0.62491 uV/cnt	0.24997 uV/cnt	0.12499 uV/cnt	62.498 nV/cnt
E - 100 Hz	2.4995 uV/cnt	1.2498 uV/cnt	0.62490 uV/cnt	0.24996 uV/cnt	0.12498 uV/cnt	62.496 nV/cnt
Nominal	2.5000 uV/cnt	1.2500 uV/cnt	0.62500 uV/cnt	0.25000 uV/cnt	0.12500 uV/cnt	62.500 nV/cnt
Maximum Difference	0.020%	0.016%	0.016%	0.016%	0.016%	0.006%

Figura 8 Misure della risoluzione di un Centaur ottenute nei laboratori Sandia.
Figure 8 Centaur resolution measurements obtained in Sandia laboratories.

I laboratori Sandia (*Sandia National Laboratories*) sono centri di ricerca e sviluppo degli Stati Uniti gestiti dal governo federale attraverso il Dipartimento dell'Energia (DOE). Fondati nel 1949, hanno sede principale ad Albuquerque, in New Mexico, e un secondo sito a Livermore, in California. Sono noti per il loro contributo alla sicurezza nazionale, con un focus su: armi nucleari (progettazione, manutenzione e gestione sicura dell'arsenale nucleare statunitense); ricerca scientifica e ingegneristica (sviluppo di tecnologie avanzate in settori come la sicurezza informatica, le energie rinnovabili, i materiali avanzati e la difesa); collaborazioni industriali (*partnership* con industrie private per innovazioni tecnologiche e trasferimento di conoscenze). Sono riconosciuti come uno dei centri di ricerca più avanzati al mondo per la loro capacità di affrontare sfide complesse e interdisciplinari.

6. Conclusioni

La risoluzione di un acquisitore sismico è uno dei parametri di maggior interesse tra quelli riportati nel *datasheet* dello strumento. In questo lavoro è stato progettato un banco di misura basato su strumentazione professionale al fine di misurare con grande accuratezza questo importante parametro. Per verificarne l'efficacia e il funzionamento sono state eseguite delle misurazioni su uno degli acquisitori più usati nelle reti di monitoraggio sismico dei maggiori istituti di ricerca del settore. I risultati ottenuti sono in linea con i valori dichiarati dal costruttore e con quelli ricavati nei laboratori Sandia.

Oltre alla misura della risoluzione del particolare digitalizzatore analizzato in questo lavoro, il banco di misura descritto è servito per verificare l'esattezza dei conteggi prodotti dagli ADC presenti in diversi acquisitori sismici in uso presso il nostro Istituto e, nel caso di una serie di prove con varie tensioni applicate ai terminali di ingresso, si presta perfettamente ad una verifica della linearità nella risposta dei digitalizzatori impostati a diversi guadagni. Tali operazioni potrebbero in effetti far parte di un protocollo operativo da adottare come uno *standard* per testare efficacemente e velocemente i dispositivi durante il loro collaudo (sempre obbligatorio per legge), o per verificare se hanno mantenuto nel tempo una risposta lineare nella conversione analogico-digitale. Con una taratura (ed eventualmente una calibrazione) periodica degli strumenti utilizzati, e usando tutte le raccomandazioni indicate sui manuali in merito alle operazioni preliminari da eseguire prima di iniziare qualunque sessione di misurazioni, è possibile

utilizzare il banco di misura per tarare i digitalizzatori in modo accurato ed efficace, senza ricorrere pertanto a centri esterni specializzati in questi servizi.

Bibliografia

- Fluke, (2005). *5700A/5720A Series II. Multifunction Calibrator*. Operators Manual: 1-336.
- Gupta S.V., (2012). *Measurement Uncertainties, Physical Parameters and Calibrations of Instruments*. Springer: 1-342.
- Havskov J., Alguacil G., (2016). *Instrumentation in Earthquake Seismology*. (Second Edition). Springer: 141-142.
- HP, (1988). *HP 3458A Multimeter*. Assembly Level Repair Manual: 1-92.
- HP, (1988). *HP 2458A Multimeter, Operating, Programming, and Configuration Manual*. Hewlett-Packard Company, 1988: 3-1, 3-16
- Hughes I.G., Thomas P.A. Hase, (2010). *Measurements and their Uncertainties*. Oxford, 153: 1-39.
- Lomax A., Denton P., Berenguer J.-L., (2014). *SeisGram 2K-School Users Guide*. NERA, 18.
- Merchant B.J., Slad G., (2018). *Nanometrics Centaur Digitizer Evaluation*. SANDIA REPORT, SAND2018-11442: 1-186. <https://doi.org/10.2172/1481600>
- Nanometrics, (2019). *Centaur*. User Guide: 1-206.
- Strappaveccia P., Rao S., (2023). *Misura della potenza elettrica assorbita da diverse stazioni sismiche*. Rapp. Tec. INGV, 460: 1-28. <https://doi.org/10.13127/rpt/460>
- UNI, (2018). *Incertezza di Misura – Parte 3: Guida all'incertezza di misura*. Norma Italiana CEI UNI 70098-3:2016, 128.

Sitografia

- LabVIEW Tutorial, <https://learn.ni.com/learn/article/labview-tutorial>
- GPIB Instrument Control Tutorial,
<https://knowledge.ni.com/KnowledgeArticleDetails?id=kA03q000000x2YDCAY&l=it-IT>
- PCI-GPIB Instrument Control Device, <https://www.ni.com/docs/en-US/bundle/pci-gpib-getting-started/page/overview.html>
- Nanometrics Centaur, <https://nanometrics.ca/instrumentation/products/digitizers/centaur>
- miniSEE, <https://docs.fdsn.org/projects/miniseed3/en/latest/>

APPENDICE

Gain 1xCondizioni sperimentali:

- Settaggio Centaur: Gain 1x (40 V_{pp}) – Sample Rate=100 S/s;
- Settaggio calibratore Fluke 5700A: controllo da remoto – modalità DC Volt in autorange con V_{fs} = 2,2V;
- Settaggio multimetro HP 3458A: controllo da remoto – Risoluzione: 8+1/2 digit – modalità DC Volt in manual range con V_{fs} = 10 V;
- Temperatura ambiente pari a circa 23°C.

Canale A1Prima prova con V_{cal.} = 2 V:

$$\begin{aligned}
 V_{pos} &= 1,999992243 \text{ V} - \text{Var}(\text{cat.A}) = 7,27938\text{E-}16 \text{ V}^2 - \text{Var}(\text{cat.B}) = 1,34669\text{E-}10 \text{ V}^2 \\
 \text{Inc.comp.} &= \text{sqr}(\text{Var}(\text{cat.A}) + \text{Var}(\text{cat.B})) = 1,16047\text{E-}05 \text{ V} \\
 C_{pos} &= 799414 \text{ count} - \text{Var}(\text{cat.A}) = 6,32028\text{E-}05 \text{ count}^2 - \text{Var}(\text{cat.B}) = 0,083333 \text{ count}^2 \\
 \text{Inc.comp.} &= \text{sqr}(\text{Var}(\text{cat.A}) + \text{Var}(\text{cat.B})) = 0,288785 \text{ count}
 \end{aligned}$$

Seconda prova con V_{cal.} = -2 V:

$$\begin{aligned}
 V_{neg} &= -1,999992313 \text{ V} - \text{Var}(\text{cat.A}) = 4,31526\text{E-}16 \text{ V}^2 - \text{Var}(\text{cat.B}) = 1,34669\text{E-}10 \text{ V}^2 \\
 \text{Inc.comp.} &= \text{sqr}(\text{Var}(\text{cat.A}) + \text{Var}(\text{cat.B})) = 1,16047\text{E-}05 \text{ V} \\
 C_{neg} &= -800750 \text{ count} - \text{Var}(\text{cat.A}) = 6,34401\text{E-}05 \text{ count}^2 - \text{Var}(\text{cat.B}) = 0,083333 \text{ count}^2 \\
 \text{Inc.comp.} &= \text{sqr}(\text{Var}(\text{cat.A}) + \text{Var}(\text{cat.B})) = 0,288785 \text{ count}
 \end{aligned}$$

Risoluzione:

Applicando la (1) e la (3) si ha rispettivamente:

$$\text{Ris.} = 2,499734\text{E-}06 \text{ V/count} \text{ e } \text{Inc.comp.} = 1,0276\text{E-}11 \text{ V/count}$$

$$\text{Ris} = (2,49973 \pm 0,00001) \mu\text{V/count}$$

corrispondente ad una risoluzione in bit equivalenti pari a:

$$n = (23,931817 \pm 0,000006) \text{ bit}$$

Canale A2Prima prova con V_{cal.} = 2 V:

$$\begin{aligned}
 V_{pos} &= 1,999992481 \text{ V} - \text{Var}(\text{cat.A}) = 4,82202\text{E-}16 \text{ V}^2 - \text{Var}(\text{cat.B}) = 1,34669\text{E-}10 \text{ V}^2 \\
 \text{Inc.comp.} &= \text{sqr}(\text{Var}(\text{cat.A}) + \text{Var}(\text{cat.B})) = 1,16047\text{E-}05 \text{ V} \\
 C_{pos} &= 800007 \text{ count} - \text{Var}(\text{cat.A}) = 6,26433\text{E-}05 \text{ count}^2 - \text{Var}(\text{cat.B}) = 0,083333 \text{ count}^2 \\
 \text{Inc.comp.} &= \text{sqr}(\text{Var}(\text{cat.A}) + \text{Var}(\text{cat.B})) = 0,288784 \text{ count}
 \end{aligned}$$

Seconda prova con V_{cal.} = -2 V:

$$\begin{aligned}
 V_{neg} &= -1,99999293 \text{ V} - \text{Var}(\text{cat.A}) = 4,21374\text{E-}16 \text{ V}^2 - \text{Var}(\text{cat.B}) = 1,34669\text{E-}10 \text{ V}^2 \\
 \text{Inc.comp.} &= \text{sqr}(\text{Var}(\text{cat.A}) + \text{Var}(\text{cat.B})) = 1,16047\text{E-}05 \text{ V} \\
 C_{neg} &= -800077 \text{ count} - \text{Var}(\text{cat.A}) = 6,40303\text{E-}05 \text{ count}^2 - \text{Var}(\text{cat.B}) = 0,083333 \text{ count}^2 \\
 \text{Inc.comp.} &= \text{sqr}(\text{Var}(\text{cat.A}) + \text{Var}(\text{cat.B})) = 0,288786 \text{ count}
 \end{aligned}$$

Risoluzione:

Applicando la (1) e la (3) si ha rispettivamente:

$$\underline{Ris. = 2,499860E-06 \text{ V/count e } Inc.comp. = 1,0277E-11 \text{ V/count}}$$

$$Ris = (2,49986 \pm 0,00001) \mu\text{V/count}$$

corrispondente ad una risoluzione in bit equivalenti pari a:

$$\underline{n = (23,931649 \pm 0,000006) \text{ bit}}$$

Canale A3

Prima prova con $V_{cal.} = 2 \text{ V}$:

$$V_{pos} = 1,999987367 \text{ V} - Var(cat.A) = 5,06469E-16 \text{ V}^2 - Var(cat.B) = 1,34669E-10 \text{ V}^2$$

$$Inc.comp. = \text{sqr}(Var(cat.A) + Var(cat.B)) = 1,16047E-05 \text{ V}$$

$$C_{pos} = 800038 \text{ count} - Var(cat.A) = 7,73223E-05 \text{ count}^2 - Var(cat.B) = 0,083333 \text{ count}^2$$

$$Inc.comp. = \text{sqr}(Var(cat.A) + Var(cat.B)) = 0,288809 \text{ count}$$

Seconda prova con $V_{cal.} = -2 \text{ V}$:

$$V_{neg} = -1,999979011 \text{ V} - Var(cat.A) = 1,59104E-15 \text{ V}^2 - Var(cat.B) = 1,34668E-10 \text{ V}^2$$

$$Inc.comp. = \text{sqr}(Var(cat.A) + Var(cat.B)) = 1,16047E-05 \text{ V}$$

$$C_{neg} = -799992 \text{ count} - Var(cat.A) = 6,39158E-05 \text{ count}^2 - Var(cat.B) = 0,083333 \text{ count}^2$$

$$Inc.comp. = \text{sqr}(Var(cat.A) + Var(cat.B)) = 0,288786 \text{ count}$$

Risoluzione:

Applicando la (1) e la (3) si ha rispettivamente:

$$\underline{Ris. = 2,499932E-06 \text{ V/count e } Inc.comp. = 1,02768E-11 \text{ V/count}}$$

$$Ris = (2,49993 \pm 0,00001) \mu\text{V/count}$$

corrispondente ad una risoluzione in bit equivalenti pari a:

$$\underline{n = (23,931608 \pm 0,000006) \text{ bit}}$$

Canale B1

Prima prova con $V_{cal.} = 2 \text{ V}$:

$$V_{pos} = 1,99999252 \text{ V} - Var(cat.A) = 7,36551E-05 \text{ V}^2 - Var(cat.B) = 1,34669E-10 \text{ V}^2$$

$$Inc.comp. = \text{sqr}(Var(cat.A) + Var(cat.B)) = 1,16047E-05 \text{ V}$$

$$C_{pos} = 800060 \text{ count} - Var(cat.A) = 6,32028E-05 \text{ count}^2 - Var(cat.B) = 0,083333 \text{ count}^2$$

$$Inc.comp. = \text{sqr}(Var(cat.A) + Var(cat.B)) = 0,288803 \text{ count}$$

Seconda prova con $V_{cal.} = -2 \text{ V}$:

$$V_{neg} = -1,999993098 \text{ V} - Var(cat.A) = 3,74458E-16 \text{ V}^2 - Var(cat.B) = 1,34669E-10 \text{ V}^2$$

$$Inc.comp. = \text{sqr}(Var(cat.A) + Var(cat.B)) = 1,16047E-05 \text{ V}$$

$$C_{neg} = -800173 \text{ count} - Var(cat.A) = 6,07438E-05 \text{ count}^2 - Var(cat.B) = 0,083333 \text{ count}^2$$

$$Inc.comp. = \text{sqr}(Var(cat.A) + Var(cat.B)) = 0,288780 \text{ count}$$

Risoluzione:

Applicando la (1) e la (3) si ha rispettivamente:

$$\underline{Ris. = 2,499628E-06 \text{ V/count e } Inc.comp. = 1,02756E-11 \text{ V/count}}$$

$$Ris = (2,49963 \pm 0,00001) \mu V/count$$

corrispondente ad una risoluzione in bit equivalenti pari a:

$$n = (23,931783 \pm 0,000006) \text{ bit}$$

Canale B2

Prima prova con $V_{cal.} = 2 \text{ V}$:

$$V_{pos} = 1,99999067 \text{ V} - Var(cat.A) = 5,5157E-16 \text{ V}^2 - Var(cat.B) = 1,34669E-10 \text{ V}^2$$

$$Inc.comp. = \sqrt{Var(cat.A) + Var(cat.B)} = 1,16047E-05 \text{ V}$$

$$C_{pos} = 800018 \text{ count} - Var(cat.A) = 6,2465E-05 \text{ count}^2 - Var(cat.B) = 0,083333 \text{ count}^2$$

$$Inc.comp. = \sqrt{Var(cat.A) + Var(cat.B)} = 0,288783 \text{ count}$$

Seconda prova con $V_{cal.} = -2 \text{ V}$:

$$V_{neg} = -1,999993063 \text{ V} - Var(cat.A) = 4,77091E-16 \text{ V}^2 - Var(cat.B) = 1,34669E-10 \text{ V}^2$$

$$Inc.comp. = \sqrt{Var(cat.A) + Var(cat.B)} = 1,16047E-05 \text{ V}$$

$$C_{neg} = -800175 \text{ count} - Var(cat.A) = 6,55572E-05 \text{ count}^2 - Var(cat.B) = 0,083333 \text{ count}^2$$

$$Inc.comp. = \sqrt{Var(cat.A) + Var(cat.B)} = 0,288789 \text{ count}$$

Risoluzione:

Applicando la (1) e la (3) si ha rispettivamente:

$$\underline{Ris. = 2,499689E-06 \text{ V/count e } Inc.comp. = 1,02758E-11 \text{ V/count}}$$

$$Ris = (2,49969 \pm 0,00001) \mu V/count$$

corrispondente ad una risoluzione in bit equivalenti pari a:

$$n = (23,931748 \pm 0,000006) \text{ bit}$$

Canale B3

Prima prova con $V_{cal.} = 2 \text{ V}$:

$$V_{pos} = 1,99999322 \text{ V} - Var(cat.A) = 5,38112E-16 \text{ V}^2 - Var(cat.B) = 1,34669E-10 \text{ V}^2$$

$$Inc.comp. = \sqrt{Var(cat.A) + Var(cat.B)} = 1,16047E-05 \text{ V}$$

$$C_{pos} = 799764 \text{ count} - Var(cat.A) = 5,78779E-05 \text{ count}^2 - Var(cat.B) = 0,083333 \text{ count}^2$$

$$Inc.comp. = \sqrt{Var(cat.A) + Var(cat.B)} = 0,288775 \text{ count}$$

Seconda prova con $V_{cal.} = -2 \text{ V}$:

$$V_{neg} = -1,999993831 \text{ V} - Var(cat.A) = 3,71531E-16 \text{ V}^2 - Var(cat.B) = 1,34669E-10 \text{ V}^2$$

$$Inc.comp. = \sqrt{Var(cat.A) + Var(cat.B)} = 1,16047E-05 \text{ V}$$

$$C_{neg} = -800528 \text{ count} - Var(cat.A) = 5,98104E-05 \text{ count}^2 - Var(cat.B) = 0,083333 \text{ count}^2$$

$$Inc.comp. = \sqrt{Var(cat.A) + Var(cat.B)} = 0,288779 \text{ count}$$

Risoluzione:

Applicando la (1) e la (3) si ha rispettivamente:

$Ris. = 2,499535E-06 \text{ V/count}$ e $Inc.comp. = 1,02752E-11 \text{ V/count}$

$$Ris = (2,49954 \pm 0,00001) \mu\text{V/count}$$

corrispondente ad una risoluzione in bit equivalenti pari a:

$$n = (23,931837 \pm 0,000006) \text{ bit}$$

Gain 2x

Condizioni sperimentali:

- Settaggio Centaur: Gain 2x (20 V_{pp}) – Sample Rate=100 S/s;
- Settaggio calibratore Fluke 5700A: controllo da remoto – modalità DC Volt in autorange con V_{fs} = 2,2V;
- Settaggio multimetro HP 3458A: controllo da remoto – Risoluzione: 8+1/2 digit – modalità DC Volt in manual range con V_{fs} = 10 V;
- Temperatura ambiente pari a circa 23°C.

Canale A1

Prima prova con V_{cal.} = 1 V:

$$V_{pos} = 0,999991866 \text{ V} - Var(cat.A) = 5,01624E-14 \text{ V}^2 - Var(cat.B) = 4,40828E-11 \text{ V}^2$$

$$Inc.comp. = \text{sqr}(Var(cat.A) + Var(cat.B)) = 6,64327E-06 \text{ V}$$

$$C_{pos} = 799408 \text{ count} - Var(cat.A) = 6,77681E-05 \text{ count}^2 - Var(cat.B) = 0,083333 \text{ count}^2$$

$$Inc.comp. = \text{sqr}(Var(cat.A) + Var(cat.B)) = 0,288793 \text{ count}$$

Seconda prova con V_{cal.} = -1 V:

$$V_{neg} = -0,999996799 \text{ V} - Var(cat.A) = 3,77698E-16 \text{ V}^2 - Var(cat.B) = 4,40831E-11 \text{ V}^2$$

$$Inc.comp. = \text{sqr}(Var(cat.A) + Var(cat.B)) = 6,63954E-06 \text{ V}$$

$$C_{neg} = -800763 \text{ count} - Var(cat.A) = 1,10245E-04 \text{ count}^2 - Var(cat.B) = 0,083333 \text{ count}^2$$

$$Inc.comp. = \text{sqr}(Var(cat.A) + Var(cat.B)) = 0,288866 \text{ count}$$

Risoluzione:

Applicando la (1) e la (3) si ha rispettivamente:

$Ris. = 1,249859E-06 \text{ V/count}$ e $Inc.comp. = 5,87826E-12 \text{ V/count}$

$$Ris = (1,249859 \pm 0,000006) \mu\text{V/count}$$

corrispondente ad una risoluzione in bit equivalenti pari a:

$$n = (23,931732 \pm 0,000007) \text{ bit}$$

Canale A2

Prima prova con V_{cal.} = 1 V:

$$V_{pos} = 0,999996741 \text{ V} - Var(cat.A) = 5,54971E-16 \text{ V}^2 - Var(cat.B) = 4,40831E-11 \text{ V}^2$$

$$Inc.comp. = \text{sqr}(Var(cat.A) + Var(cat.B)) = 6,63955E-06 \text{ V}$$

$$C_{pos} = 800008 \text{ count} - Var(cat.A) = 5,88211E-05 \text{ count}^2 - Var(cat.B) = 0,083333 \text{ count}^2$$

$$Inc.comp. = \text{sqr}(Var(cat.A) + Var(cat.B)) = 0,288777 \text{ count}$$

Seconda prova con $V_{cal.} = -1$ V:

$$\begin{aligned}
 V_{neg} &= -0,999996471 \text{ V} - \text{Var}(\text{cat.A}) = 3,47254\text{E-}16 \text{ V}^2 - \text{Var}(\text{cat.B}) = 4,40831\text{E-}11 \text{ V}^2 \\
 \text{Inc.comp.} &= \text{sqr}(\text{Var}(\text{cat.A}) + \text{Var}(\text{cat.B})) = 6,63954\text{E-}06 \text{ V} \\
 C_{neg} &= -800086 \text{ count} - \text{Var}(\text{cat.A}) = 6,04653\text{E-}05 \text{ count}^2 - \text{Var}(\text{cat.B}) = 0,083333 \text{ count}^2 \\
 \text{Inc.comp.} &= \text{sqr}(\text{Var}(\text{cat.A}) + \text{Var}(\text{cat.B})) = 0,288780 \text{ count}
 \end{aligned}$$

Risoluzione:

Applicando la (1) e la (3) si ha rispettivamente:

$$\text{Ris.} = 1,249923\text{E-}06 \text{ V/count} \text{ e } \text{Inc.comp.} = 5,87691\text{E-}12 \text{ V/count}$$

$$\text{Ris} = (1,249923 \pm 0,000006) \mu\text{V/count}$$

corrispondente ad una risoluzione in bit equivalenti pari a:

$$n = (23,931658 \pm 0,000007) \text{ bit}$$

Canale A3Prima prova con $V_{cal.} = 1$ V:

$$\begin{aligned}
 V_{pos} &= 0,999995886 \text{ V} - \text{Var}(\text{cat.A}) = 4,54841\text{E-}16 \text{ V}^2 - \text{Var}(\text{cat.B}) = 4,40831\text{E-}11 \text{ V}^2 \\
 \text{Inc.comp.} &= \text{sqr}(\text{Var}(\text{cat.A}) + \text{Var}(\text{cat.B})) = 6,63954\text{E-}06 \text{ V} \\
 C_{pos} &= 800065 \text{ count} - \text{Var}(\text{cat.A}) = 6,03549\text{E-}05 \text{ count}^2 - \text{Var}(\text{cat.B}) = 0,083333 \text{ count}^2 \\
 \text{Inc.comp.} &= \text{sqr}(\text{Var}(\text{cat.A}) + \text{Var}(\text{cat.B})) = 0,288780 \text{ count}
 \end{aligned}$$

Seconda prova con $V_{cal.} = -1$ V:

$$\begin{aligned}
 V_{neg} &= -0,999996523 \text{ V} - \text{Var}(\text{cat.A}) = 3,62076\text{E-}16 \text{ V}^2 - \text{Var}(\text{cat.B}) = 4,40831\text{E-}11 \text{ V}^2 \\
 \text{Inc.comp.} &= \text{sqr}(\text{Var}(\text{cat.A}) + \text{Var}(\text{cat.B})) = 6,63954\text{E-}06 \text{ V} \\
 C_{neg} &= -800185 \text{ count} - \text{Var}(\text{cat.A}) = 5,69702\text{E-}05 \text{ count}^2 - \text{Var}(\text{cat.B}) = 0,083333 \text{ count}^2 \\
 \text{Inc.comp.} &= \text{sqr}(\text{Var}(\text{cat.A}) + \text{Var}(\text{cat.B})) = 0,288774 \text{ count}
 \end{aligned}$$

Risoluzione:

Applicando la (1) e la (3) si ha rispettivamente:

$$\text{Ris.} = 1,249800\text{E-}06 \text{ V/count} \text{ e } \text{Inc.comp.} = 5,87633\text{E-}12 \text{ V/count}$$

$$\text{Ris} = (1,249800 \pm 0,000006) \mu\text{V/count}$$

corrispondente ad una risoluzione in bit equivalenti pari a:

$$n = (23,931799 \pm 0,000007) \text{ bit}$$

Canale B1Prima prova con $V_{cal.} = 1$ V:

$$\begin{aligned}
 V_{pos} &= 0,999998003 \text{ V} - \text{Var}(\text{cat.A}) = 6,43784\text{E-}16 \text{ V}^2 - \text{Var}(\text{cat.B}) = 4,40832\text{E-}11 \text{ V}^2 \\
 \text{Inc.comp.} &= \text{sqr}(\text{Var}(\text{cat.A}) + \text{Var}(\text{cat.B})) = 6,63957\text{E-}06 \text{ V} \\
 C_{pos} &= 800065 \text{ count} - \text{Var}(\text{cat.A}) = 5,81786\text{E-}05 \text{ count}^2 - \text{Var}(\text{cat.B}) = 0,083333 \text{ count}^2 \\
 \text{Inc.comp.} &= \text{sqr}(\text{Var}(\text{cat.A}) + \text{Var}(\text{cat.B})) = 0,288776 \text{ count}
 \end{aligned}$$

Seconda prova con $V_{cal.} = -1$ V:

$$\begin{aligned}V_{neg} &= -0,999999074 \text{ V} - \text{Var}(\text{cat.A}) = 3,49217\text{E-}16 \text{ V}^2 - \text{Var}(\text{cat.B}) = 4,40833\text{E-}11 \text{ V}^2 \\ \text{Inc.comp.} &= \text{sqr}(\text{Var}(\text{cat.A}) + \text{Var}(\text{cat.B})) = 6,63954\text{E-}06 \text{ V} \\ C_{neg} &= -800173 \text{ count} - \text{Var}(\text{cat.A}) = 5,9373\text{E-}05 \text{ count}^2 - \text{Var}(\text{cat.B}) = 0,083333 \text{ count}^2 \\ \text{Inc.comp.} &= \text{sqr}(\text{Var}(\text{cat.A}) + \text{Var}(\text{cat.B})) = 0,288778 \text{ count}\end{aligned}$$

Risoluzione:

Applicando la (1) e la (3) si ha rispettivamente:

$$\text{Ris.} = 1,249812\text{E-}06 \text{ V/count} \text{ e } \text{Inc.comp.} = 5,87638\text{E-}12 \text{ V/count}$$

$$\text{Ris} = (1,249812 \pm 0,000006) \mu\text{V/count}$$

corrispondente ad una risoluzione in bit equivalenti pari a:

$$n = (23,931786 \pm 0,000007) \text{ bit}$$

Canale B2

Prima prova con $V_{cal.} = 1$ V:

$$\begin{aligned}V_{pos} &= 0,999995461 \text{ V} - \text{Var}(\text{cat.A}) = 5,82492\text{E-}16 \text{ V}^2 - \text{Var}(\text{cat.B}) = 4,40831\text{E-}11 \text{ V}^2 \\ \text{Inc.comp.} &= \text{sqr}(\text{Var}(\text{cat.A}) + \text{Var}(\text{cat.B})) = 6,63955\text{E-}06 \text{ V} \\ C_{pos} &= 800039 \text{ count} - \text{Var}(\text{cat.A}) = 1,29969\text{E-}04 \text{ count}^2 - \text{Var}(\text{cat.B}) = 0,083333 \text{ count}^2 \\ \text{Inc.comp.} &= \text{sqr}(\text{Var}(\text{cat.A}) + \text{Var}(\text{cat.B})) = 0,288900 \text{ count}\end{aligned}$$

Seconda prova con $V_{cal.} = -1$ V:

$$\begin{aligned}V_{neg} &= -0,99999749 \text{ V} - \text{Var}(\text{cat.A}) = 3,45806\text{E-}16 \text{ V}^2 - \text{Var}(\text{cat.B}) = 4,40832\text{E-}11 \text{ V}^2 \\ \text{Inc.comp.} &= \text{sqr}(\text{Var}(\text{cat.A}) + \text{Var}(\text{cat.B})) = 6,63954\text{E-}06 \text{ V} \\ C_{neg} &= -800180 \text{ count} - \text{Var}(\text{cat.A}) = 6,24167\text{E-}05 \text{ count}^2 - \text{Var}(\text{cat.B}) = 0,083333 \text{ count}^2 \\ \text{Inc.comp.} &= \text{sqr}(\text{Var}(\text{cat.A}) + \text{Var}(\text{cat.B})) = 0,288783 \text{ count}\end{aligned}$$

Risoluzione:

Applicando la (1) e la (3) si ha rispettivamente:

$$\text{Ris.} = 1,249824\text{E-}06 \text{ V/count} \text{ e } \text{Inc.comp.} = 5,87645\text{E-}12 \text{ V/count}$$

$$\text{Ris} = (1,249824 \pm 0,000006) \mu\text{V/count}$$

corrispondente ad una risoluzione in bit equivalenti pari a:

$$n = (23,931771 \pm 0,000007) \text{ bit}$$

Canale B3

Prima prova con $V_{cal.} = 1$ V:

$$\begin{aligned}V_{pos} &= 0,999996555 \text{ V} - \text{Var}(\text{cat.A}) = 5,15377\text{E-}16 \text{ V}^2 - \text{Var}(\text{cat.B}) = 4,40831\text{E-}11 \text{ V}^2 \\ \text{Inc.comp.} &= \text{sqr}(\text{Var}(\text{cat.A}) + \text{Var}(\text{cat.B})) = 6,63955\text{E-}06 \text{ V} \\ C_{pos} &= 799793 \text{ count} - \text{Var}(\text{cat.A}) = 6,41615\text{E-}05 \text{ count}^2 - \text{Var}(\text{cat.B}) = 0,083333 \text{ count}^2 \\ \text{Inc.comp.} &= \text{sqr}(\text{Var}(\text{cat.A}) + \text{Var}(\text{cat.B})) = 0,288786 \text{ count}\end{aligned}$$

Seconda prova con $V_{cal.} = -1$ V:

$$\begin{aligned}
 V_{neg} &= -0,999997239 \text{ V} - \text{Var}(\text{cat.A}) = 3,69884E-16 \text{ V}^2 - \text{Var}(\text{cat.B}) = 4,40831E-11 \text{ V}^2 \\
 \text{Inc.comp.} &= \text{sqr}(\text{Var}(\text{cat.A}) + \text{Var}(\text{cat.B})) = 6,63954E-06 \text{ V} \\
 C_{neg} &= -800517 \text{ count} - \text{Var}(\text{cat.A}) = 6,4726E-05 \text{ count}^2 - \text{Var}(\text{cat.B}) = 0,083333 \text{ count}^2 \\
 \text{Inc.comp.} &= \text{sqr}(\text{Var}(\text{cat.A}) + \text{Var}(\text{cat.B})) = 0,288787 \text{ count}
 \end{aligned}$$

Risoluzione:

Applicando la (1) e la (3) si ha rispettivamente:

$$\text{Ris.} = 1,249754E-06 \text{ V/count e Inc.comp.} = 5,87611E-12 \text{ V/count}$$

$$\text{Ris} = (1,249754 \pm 0,000006) \mu\text{V/count}$$

corrispondente ad una risoluzione in bit equivalenti pari a:

$$n = (23,931853 \pm 0,000007) \text{ bit}$$

Gain 4xCondizioni sperimentali:

- Settaggio Centaur: Gain 4x (10 V_{pp}) – Sample Rate=100 S/s;
- Settaggio calibratore Fluke 5700A: controllo da remoto – modalità DC Volt in autorange con $V_{fs} = 2,2\text{V}$;
- Settaggio multimetro HP 3458A: controllo da remoto – Risoluzione: 8+1/2 digit – modalità DC Volt in manual range con $V_{fs} = 1$ V;
- Temperatura ambiente pari a circa 23°C.

Canale A1Prima prova con $V_{cal.} = 0,5$ V:

$$\begin{aligned}
 V_{pos} &= 0,499998657 \text{ V} - \text{Var}(\text{cat.A}) = 4,63515E-16 \text{ V}^2 - \text{Var}(\text{cat.B}) = 1,3230E-11 \text{ V}^2 \\
 \text{Inc.comp.} &= \text{sqr}(\text{Var}(\text{cat.A}) + \text{Var}(\text{cat.B})) = 3,63736E-06 \text{ V} \\
 C_{pos} &= 799438 \text{ count} - \text{Var}(\text{cat.A}) = 7,3900E-05 \text{ count}^2 - \text{Var}(\text{cat.B}) = 0,083333 \text{ count}^2 \\
 \text{Inc.comp.} &= \text{sqr}(\text{Var}(\text{cat.A}) + \text{Var}(\text{cat.B})) = 0,288803 \text{ count}
 \end{aligned}$$

Seconda prova con $V_{cal.} = -0,5$ V:

$$\begin{aligned}
 V_{neg} &= -0,499999268 \text{ V} - \text{Var}(\text{cat.A}) = 4,37853E-16 \text{ V}^2 - \text{Var}(\text{cat.B}) = 1,3230E-11 \text{ V}^2 \\
 \text{Inc.comp.} &= \text{sqr}(\text{Var}(\text{cat.A}) + \text{Var}(\text{cat.B})) = 3,63736E-06 \text{ V} \\
 C_{neg} &= -800770 \text{ count} - \text{Var}(\text{cat.A}) = 1,1186E-04 \text{ count}^2 - \text{Var}(\text{cat.B}) = 0,083333 \text{ count}^2 \\
 \text{Inc.comp.} &= \text{sqr}(\text{Var}(\text{cat.A}) + \text{Var}(\text{cat.B})) = 0,288869 \text{ count}
 \end{aligned}$$

Risoluzione:

Applicando la (1) e la (3) si ha rispettivamente:

$$\text{Ris.} = 6,249174E-07 \text{ V/count e Inc.comp.} = 3,21854E-12 \text{ V/count}$$

$$\text{Ris} = (0,624917 \pm 0,000003) \mu\text{V/count}$$

corrispondente ad una risoluzione in bit equivalenti pari a:

$$n = (23,931759 \pm 0,000007) \text{ bit}$$

Canale A2

Prima prova con $V_{cal.} = 0,5$ V:

$$V_{pos} = 0,499997881 \text{ V} - \text{Var}(\text{cat.A}) = 6,17989\text{E-}16 \text{ V}^2 - \text{Var}(\text{cat.B}) = 1,32299\text{E-}11 \text{ V}^2$$

$$\text{Inc.comp.} = \text{sqr}(\text{Var}(\text{cat.A}) + \text{Var}(\text{cat.B})) = 3,63738\text{E-}06 \text{ V}$$

$$C_{pos} = 800016 \text{ count} - \text{Var}(\text{cat.A}) = 9,29204\text{E-}05 \text{ count}^2 - \text{Var}(\text{cat.B}) = 0,083333 \text{ count}^2$$

$$\text{Inc.comp.} = \text{sqr}(\text{Var}(\text{cat.A}) + \text{Var}(\text{cat.B})) = 0,288836 \text{ count}$$

Seconda prova con $V_{cal.} = -0,5$ V:

$$V_{neg} = -0,499999221 \text{ V} - \text{Var}(\text{cat.A}) = 4,05716\text{E-}16 \text{ V}^2 - \text{Var}(\text{cat.B}) = 1,323\text{E-}11 \text{ V}^2$$

$$\text{Inc.comp.} = \text{sqr}(\text{Var}(\text{cat.A}) + \text{Var}(\text{cat.B})) = 3,63736\text{E-}06 \text{ V}$$

$$C_{neg} = -800103 \text{ count} - \text{Var}(\text{cat.A}) = 6,28139\text{E-}05 \text{ count}^2 - \text{Var}(\text{cat.B}) = 0,083333 \text{ count}^2$$

$$\text{Inc.comp.} = \text{sqr}(\text{Var}(\text{cat.A}) + \text{Var}(\text{cat.B})) = 0,288784 \text{ count}$$

Risoluzione:

Applicando la (1) e la (3) si ha rispettivamente:

$$\text{Ris.} = 6,249516\text{E-}07 \text{ V/count} \text{ e } \text{Inc.comp.} = 3,21873\text{E-}12 \text{ V/count}$$

$$\text{Ris} = (0,624952 \pm 0,000003) \mu\text{V/count}$$

corrispondente ad una risoluzione in bit equivalenti pari a:

$$n = (23,931680 \pm 0,000007) \text{ bit}$$

Canale A3

Prima prova con $V_{cal.} = 0,5$ V:

$$V_{pos} = 0,499999077 \text{ V} - \text{Var}(\text{cat.A}) = 4,40693\text{E-}16 \text{ V}^2 - \text{Var}(\text{cat.B}) = 1,323\text{E-}11 \text{ V}^2$$

$$\text{Inc.comp.} = \text{sqr}(\text{Var}(\text{cat.A}) + \text{Var}(\text{cat.B})) = 3,63736\text{E-}06 \text{ V}$$

$$C_{pos} = 800047 \text{ count} - \text{Var}(\text{cat.A}) = 1,41062\text{E-}04 \text{ count}^2 - \text{Var}(\text{cat.B}) = 0,083333 \text{ count}^2$$

$$\text{Inc.comp.} = \text{sqr}(\text{Var}(\text{cat.A}) + \text{Var}(\text{cat.B})) = 0,288919 \text{ count}$$

Seconda prova con $V_{cal.} = -0,5$ V:

$$V_{neg} = -0,499999125 \text{ V} - \text{Var}(\text{cat.A}) = 3,60541\text{E-}16 \text{ V}^2 - \text{Var}(\text{cat.B}) = 1,323\text{E-}11 \text{ V}^2$$

$$\text{Inc.comp.} = \text{sqr}(\text{Var}(\text{cat.A}) + \text{Var}(\text{cat.B})) = 3,63735\text{E-}06 \text{ V}$$

$$C_{neg} = -800042 \text{ count} - \text{Var}(\text{cat.A}) = 6,54555\text{E-}05 \text{ count}^2 - \text{Var}(\text{cat.B}) = 0,083333 \text{ count}^2$$

$$\text{Inc.comp.} = \text{sqr}(\text{Var}(\text{cat.A}) + \text{Var}(\text{cat.B})) = 0,288788 \text{ count}$$

Risoluzione:

Applicando la (1) e la (3) si ha rispettivamente:

$$\text{Ris.} = 6,249643\text{E-}07 \text{ V/count} \text{ e } \text{Inc.comp.} = 3,21878\text{E-}12 \text{ V/count}$$

$$\text{Ris} = (0,624964 \pm 0,000003) \mu\text{V/count}$$

corrispondente ad una risoluzione in bit equivalenti pari a:

$$n = (23,931651 \pm 0,000007) \text{ bit}$$

Canale B1

Prima prova con $V_{cal.} = 0,5 \text{ V}$:

$$\begin{aligned} V_{pos} &= 0,49999896 \text{ V} - \text{Var}(cat.A) = 6,09051E-16 \text{ V}^2 - \text{Var}(cat.B) = 1,3230E-11 \text{ V}^2 \\ Inc.comp. &= \text{sqr}(\text{Var}(cat.A) + \text{Var}(cat.B)) = 3,63739E-06 \text{ V} \\ C_{pos} &= 800057 \text{ count} - \text{Var}(cat.A) = 6,53926E-05 \text{ count}^2 - \text{Var}(cat.B) = 0,083333 \text{ count}^2 \\ Inc.comp. &= \text{sqr}(\text{Var}(cat.A) + \text{Var}(cat.B)) = 0,288788 \text{ count} \end{aligned}$$

Seconda prova con $V_{cal.} = -0,5 \text{ V}$:

$$\begin{aligned} V_{neg} &= -0,499999423 \text{ V} - \text{Var}(cat.A) = 4,76542E-16 \text{ V}^2 - \text{Var}(cat.B) = 1,3230E-11 \text{ V}^2 \\ Inc.comp. &= \text{sqr}(\text{Var}(cat.A) + \text{Var}(cat.B)) = 3,63737E-06 \text{ V} \\ C_{neg} &= -800200 \text{ count} - \text{Var}(cat.A) = 6,2926E-05 \text{ count}^2 - \text{Var}(cat.B) = 0,083333 \text{ count}^2 \\ Inc.comp. &= \text{sqr}(\text{Var}(cat.A) + \text{Var}(cat.B)) = 0,288784 \text{ count} \end{aligned}$$

Risoluzione:

Applicando la (1) e la (3) si ha rispettivamente:

$$Ris. = 6,248985E-07 \text{ V/count} \text{ e } Inc.comp. = 3,21845E-12 \text{ V/count}$$

$$Ris = (0,624899 \pm 0,000003) \mu\text{V/count}$$

corrispondente ad una risoluzione in bit equivalenti pari a:

$$n = (23,931803 \pm 0,000007) \text{ bit}$$

Canale B2

Prima prova con $V_{cal.} = 0,5 \text{ V}$:

$$\begin{aligned} V_{pos} &= 0,499998779 \text{ V} - \text{Var}(cat.A) = 4,40224E-16 \text{ V}^2 - \text{Var}(cat.B) = 1,3230E-11 \text{ V}^2 \\ Inc.comp. &= \text{sqr}(\text{Var}(cat.A) + \text{Var}(cat.B)) = 3,63736E-06 \text{ V} \\ C_{pos} &= 800031 \text{ count} - \text{Var}(cat.A) = 1,0841E-04 \text{ count}^2 - \text{Var}(cat.B) = 0,083333 \text{ count}^2 \\ Inc.comp. &= \text{sqr}(\text{Var}(cat.A) + \text{Var}(cat.B)) = 0,288863 \text{ count} \end{aligned}$$

Seconda prova con $V_{cal.} = -0,5 \text{ V}$:

$$\begin{aligned} V_{neg} &= -0,499999348 \text{ V} - \text{Var}(cat.A) = 4,28359E-16 \text{ V}^2 - \text{Var}(cat.B) = 1,3230E-11 \text{ V}^2 \\ Inc.comp. &= \text{sqr}(\text{Var}(cat.A) + \text{Var}(cat.B)) = 3,63736E-06 \text{ V} \\ C_{neg} &= -800201 \text{ count} - \text{Var}(cat.A) = 7,38138E-05 \text{ count}^2 - \text{Var}(cat.B) = 0,083333 \text{ count}^2 \\ Inc.comp. &= \text{sqr}(\text{Var}(cat.A) + \text{Var}(cat.B)) = 0,288803 \text{ count} \end{aligned}$$

Risoluzione:

Applicando la (1) e la (3) si ha rispettivamente:

$$Ris. = 6,249081E-07 \text{ V/count} \text{ e } Inc.comp. = 3,21849E-12 \text{ V/count}$$

$$Ris = (0,624908 \pm 0,000003) \mu\text{V/count}$$

corrispondente ad una risoluzione in bit equivalenti pari a:

$$n = (23,931781 \pm 0,000007) \text{ bit}$$

Canale B3

Prima prova con $V_{cal.} = 0,5 \text{ V}$:

$$V_{pos} = 0,499998786 \text{ V} - \text{Var}(\text{cat.A}) = 4,99061\text{E-}16 \text{ V}^2 - \text{Var}(\text{cat.B}) = 1,323\text{E-}11 \text{ V}^2$$

$$\text{Inc.comp.} = \text{sqr}(\text{Var}(\text{cat.A}) + \text{Var}(\text{cat.B})) = 3,63737\text{E-}06 \text{ V}$$

$$C_{pos} = 799781 \text{ count} - \text{Var}(\text{cat.A}) = 9,09995\text{E-}05 \text{ count}^2 - \text{Var}(\text{cat.B}) = 0,083333 \text{ count}^2$$

$$\text{Inc.comp.} = \text{sqr}(\text{Var}(\text{cat.A}) + \text{Var}(\text{cat.B})) = 0,288833 \text{ count}$$

Seconda prova con $V_{cal.} = -0,5 \text{ V}$:

$$V_{neg} = -0,499999209 \text{ V} - \text{Var}(\text{cat.A}) = 4,73012\text{E-}16 \text{ V}^2 - \text{Var}(\text{cat.B}) = 1,323\text{E-}11 \text{ V}^2$$

$$\text{Inc.comp.} = \text{sqr}(\text{Var}(\text{cat.A}) + \text{Var}(\text{cat.B})) = 3,63737\text{E-}06 \text{ V}$$

$$C_{neg} = -800533 \text{ count} - \text{Var}(\text{cat.A}) = 6,66823\text{E-}05 \text{ count}^2 - \text{Var}(\text{cat.B}) = 0,083333 \text{ count}^2$$

$$\text{Inc.comp.} = \text{sqr}(\text{Var}(\text{cat.A}) + \text{Var}(\text{cat.B})) = 0,288791 \text{ count}$$

Risoluzione:

Applicando la (1) e la (3) si ha rispettivamente:

$$\text{Ris.} = 6,248762\text{E-}07 \text{ V/count} \text{ e } \text{Inc.comp.} = 3,21833\text{E-}12 \text{ V/count}$$

$$\text{Ris} = (0,624876 \pm 0,000003) \mu\text{V/count}$$

corrispondente ad una risoluzione in bit equivalenti pari a:

$$n = (23,931854 \pm 0,000007) \text{ bit}$$

Gain 10x

- Condizioni sperimentali:
- Settaggio Centaur: Gain 10x (4 V_{pp}) – Sample Rate=100 S/s;
- Settaggio calibratore Fluke 5700A: controllo da remoto – modalità DC Volt in autorange con $V_{fs} = 220 \text{ mV}$;
- Settaggio multimetro HP 3458A: controllo da remoto – Risoluzione: $8+1/2$ digit – modalità DC Volt in manual range con $V_{fs} = 1 \text{ V}$;
- Temperatura ambiente pari a circa 23°C .

Canale A1

Prima prova con $V_{cal.} = 0,2 \text{ V}$:

$$V_{pos} = 0,199746931 \text{ V} - \text{Var}(\text{cat.A}) = 5,46521\text{E-}16 \text{ V}^2 - \text{Var}(\text{cat.B}) = 2,79942\text{E-}12 \text{ V}^2$$

$$\text{Inc.comp.} = \text{sqr}(\text{Var}(\text{cat.A}) + \text{Var}(\text{cat.B})) = 1,67331\text{E-}06 \text{ V}$$

$$C_{pos} = 798328 \text{ count} - \text{Var}(\text{cat.A}) = 2,9720\text{E-}04 \text{ count}^2 - \text{Var}(\text{cat.B}) = 0,083333 \text{ count}^2$$

$$\text{Inc.comp.} = \text{sqr}(\text{Var}(\text{cat.A}) + \text{Var}(\text{cat.B})) = 0,289189 \text{ count}$$

Seconda prova con $V_{cal.} = -0,2 \text{ V}$:

$$V_{neg} = -0,199750292 \text{ V} - \text{Var}(\text{cat.A}) = 3,99194\text{E-}16 \text{ V}^2 - \text{Var}(\text{cat.B}) = 2,79947\text{E-}12 \text{ V}^2$$

$$\text{Inc.comp.} = \text{sqr}(\text{Var}(\text{cat.A}) + \text{Var}(\text{cat.B})) = 1,67328\text{E-}06 \text{ V}$$

$$C_{neg} = -799726 \text{ count} - \text{Var}(\text{cat.A}) = 8,8593\text{E-}05 \text{ count}^2 - \text{Var}(\text{cat.B}) = 0,083333 \text{ count}^2$$

$$\text{Inc.comp.} = \text{sqr}(\text{Var}(\text{cat.A}) + \text{Var}(\text{cat.B})) = 0,288829 \text{ count}$$

Risoluzione:

Applicando la (1) e la (3) si ha rispettivamente:

$$\underline{Ris. = 2,499898E-07 \text{ V/count e } Inc.comp. = 1,48218E-12 \text{ V/count}}$$

$$Ris = (0,249990 \pm 0,000001) \mu\text{V/count}$$

corrispondente ad una risoluzione in bit equivalenti pari a:

$$n = (23,931627 \pm 0,000009) \text{ bit}$$

Canale A2

Prima prova con $V_{cal.} = 0,2 \text{ V}$:

$$V_{pos} = 0,19974697 \text{ V} - Var(cat.A) = 4,24283E-16 \text{ V}^2 - Var(cat.B) = 2,79942E-12 \text{ V}^2$$

$$Inc.comp. = \text{sqr}(Var(cat.A) + Var(cat.B)) = 1,67327E-06 \text{ V}$$

$$C_{pos} = 798937 \text{ count} - Var(cat.A) = 1,02972E-03 \text{ count}^2 - Var(cat.B) = 0,083333 \text{ count}^2$$

$$Inc.comp. = \text{sqr}(Var(cat.A) + Var(cat.B)) = 0,290453 \text{ count}$$

Seconda prova con $V_{cal.} = -0,2 \text{ V}$:

$$V_{neg} = -0,199750329 \text{ V} - Var(cat.A) = 3,19547E-16 \text{ V}^2 - Var(cat.B) = 2,79947E-12 \text{ V}^2$$

$$Inc.comp. = \text{sqr}(Var(cat.A) + Var(cat.B)) = 1,67326E-06 \text{ V}$$

$$C_{neg} = -798989 \text{ count} - Var(cat.A) = 8,97805E-05 \text{ count}^2 - Var(cat.B) = 0,083333 \text{ count}^2$$

$$Inc.comp. = \text{sqr}(Var(cat.A) + Var(cat.B)) = 0,288831 \text{ count}$$

Risoluzione:

Applicando la (1) e la (3) si ha rispettivamente:

$$\underline{Ris. = 2,500100E-07 \text{ V/count e } Inc.comp. = 1,48228E-12 \text{ V/count}}$$

$$Ris = (0,250010 \pm 0,000001) \mu\text{V/count}$$

corrispondente ad una risoluzione in bit equivalenti pari a:

$$n = (23,931511 \pm 0,000009) \text{ bit}$$

Canale A3

Prima prova con $V_{cal.} = 0,2 \text{ V}$:

$$V_{pos} = 0,199746984 \text{ V} - Var(cat.A) = 4,67192E-16 \text{ V}^2 - Var(cat.B) = 2,79942E-12 \text{ V}^2$$

$$Inc.comp. = \text{sqr}(Var(cat.A) + Var(cat.B)) = 1,67329E-06 \text{ V}$$

$$C_{pos} = 798994 \text{ count} - Var(cat.A) = 2,89998E-04 \text{ count}^2 - Var(cat.B) = 0,083333 \text{ count}^2$$

$$Inc.comp. = \text{sqr}(Var(cat.A) + Var(cat.B)) = 0,289177 \text{ count}$$

Seconda prova con $V_{cal.} = -0,2 \text{ V}$:

$$V_{neg} = -0,199750181 \text{ V} - Var(cat.A) = 4,54728E-16 \text{ V}^2 - Var(cat.B) = 2,79947E-12 \text{ V}^2$$

$$Inc.comp. = \text{sqr}(Var(cat.A) + Var(cat.B)) = 1,6733E-06 \text{ V}$$

$$C_{neg} = -798891 \text{ count} - Var(cat.A) = 1,32110E-04 \text{ count}^2 - Var(cat.B) = 0,083333 \text{ count}^2$$

$$Inc.comp. = \text{sqr}(Var(cat.A) + Var(cat.B)) = 0,288904 \text{ count}$$

Risoluzione:

Applicando la (1) e la (3) si ha rispettivamente:

$$\underline{Ris. = 2,500162E-07 \text{ V/count e } Inc.comp. = 1,48233E-12 \text{ V/count}}$$

$$Ris = (0,250016 \pm 0,000001) \mu\text{V/count}$$

corrispondente ad una risoluzione in bit equivalenti pari a:

$$n = (23,931475 \pm 0,000009) \text{ bit}$$

Canale B1

Prima prova con $V_{cal.} = 0,2 \text{ V}$:

$$V_{pos} = 0,199747142 \text{ V} - Var(cat.A) = 5,73927E-16 \text{ V}^2 - Var(cat.B) = 2,79942E-12 \text{ V}^2$$

$$Inc.comp. = \text{sqr}(Var(cat.A) + Var(cat.B)) = 1,67332E-06 \text{ V}$$

$$C_{pos} = 798850 \text{ count} - Var(cat.A) = 7,1158E-04 \text{ count}^2 - Var(cat.B) = 0,083333 \text{ count}^2$$

$$Inc.comp. = \text{sqr}(Var(cat.A) + Var(cat.B)) = 0,289905 \text{ count}$$

Seconda prova con $V_{cal.} = -0,2 \text{ V}$:

$$V_{neg} = -0,199750165 \text{ V} - Var(cat.A) = 4,13254E-16 \text{ V}^2 - Var(cat.B) = 2,79947E-12 \text{ V}^2$$

$$Inc.comp. = \text{sqr}(Var(cat.A) + Var(cat.B)) = 1,67329E-06 \text{ V}$$

$$C_{neg} = -799166 \text{ count} - Var(cat.A) = 8,2797E-05 \text{ count}^2 - Var(cat.B) = 0,083333 \text{ count}^2$$

$$Inc.comp. = \text{sqr}(Var(cat.A) + Var(cat.B)) = 0,288819 \text{ count}$$

Risoluzione:

Applicando la (1) e la (3) si ha rispettivamente:

$$\underline{Ris. = 2,499957E-07 \text{ V/count e } Inc.comp. = 1,48222E-12 \text{ V/count}}$$

$$Ris = (0,249996 \pm 0,000001) \mu\text{V/count}$$

corrispondente ad una risoluzione in bit equivalenti pari a:

$$n = (23,931593 \pm 0,000009) \text{ bit}$$

Canale B2

Prima prova con $V_{cal.} = 0,2 \text{ V}$:

$$V_{pos} = 0,199746905 \text{ V} - Var(cat.A) = 3,88753E-16 \text{ V}^2 - Var(cat.B) = 2,79942E-12 \text{ V}^2$$

$$Inc.comp. = \text{sqr}(Var(cat.A) + Var(cat.B)) = 1,67326E-06 \text{ V}$$

$$C_{pos} = 799015 \text{ count} - Var(cat.A) = 6,2190E-04 \text{ count}^2 - Var(cat.B) = 0,083333 \text{ count}^2$$

$$Inc.comp. = \text{sqr}(Var(cat.A) + Var(cat.B)) = 0,289750 \text{ count}$$

Seconda prova con $V_{cal.} = -0,2 \text{ V}$:

$$V_{neg} = -0,199750164 \text{ V} - Var(cat.A) = 3,33052E-16 \text{ V}^2 - Var(cat.B) = 2,79947E-12 \text{ V}^2$$

$$Inc.comp. = \text{sqr}(Var(cat.A) + Var(cat.B)) = 1,67326E-06 \text{ V}$$

$$C_{neg} = -799026 \text{ count} - Var(cat.A) = 8,97239E-05 \text{ count}^2 - Var(cat.B) = 0,083333 \text{ count}^2$$

$$Inc.comp. = \text{sqr}(Var(cat.A) + Var(cat.B)) = 0,288830 \text{ count}$$

Risoluzione:

Applicando la (1) e la (3) si ha rispettivamente:

$$\underline{Ris. = 2,499918E-07 \text{ V/count e } Inc.comp. = 1,48216E-12 \text{ V/count}}$$

$$Ris = (0,249992 \pm 0,000001) \mu\text{V/count}$$

corrispondente ad una risoluzione in bit equivalenti pari a:

$$n = (23,931616 \pm 0,000009) \text{ bit}$$

Canale B3

Prima prova con $V_{cal.} = 0,2 \text{ V}$:

$$V_{pos} = 0,199746957 \text{ V} - Var(cat.A) = 4,42246E-16 \text{ V}^2 - Var(cat.B) = 2,79942E-12 \text{ V}^2$$

$$Inc.comp. = \sqrt{Var(cat.A) + Var(cat.B)} = 1,67328E-06 \text{ V}$$

$$C_{pos} = 798600 \text{ count} - Var(cat.A) = 1,1308E-04 \text{ count}^2 - Var(cat.B) = 0,083333 \text{ count}^2$$

$$Inc.comp. = \sqrt{Var(cat.A) + Var(cat.B)} = 0,288871 \text{ count}$$

Seconda prova con $V_{cal.} = -0,2 \text{ V}$:

$$V_{neg} = -0,199750405 \text{ V} - Var(cat.A) = 3,62131E-16 \text{ V}^2 - Var(cat.B) = 2,79947E-12 \text{ V}^2$$

$$Inc.comp. = \sqrt{Var(cat.A) + Var(cat.B)} = 1,67327E-06 \text{ V}$$

$$C_{neg} = -799607 \text{ count} - Var(cat.A) = 8,5705E-05 \text{ count}^2 - Var(cat.B) = 0,083333 \text{ count}^2$$

$$Inc.comp. = \sqrt{Var(cat.A) + Var(cat.B)} = 0,288824 \text{ count}$$

Risoluzione:

Applicando la (1) e la (3) si ha rispettivamente:

$$\underline{Ris. = 2,499661E-07 \text{ V/count e } Inc.comp. = 1,48202E-12 \text{ V/count}}$$

$$Ris = (0,249966 \pm 0,000001) \mu\text{V/count}$$

corrispondente ad una risoluzione in bit equivalenti pari a:

$$n = (23,931764 \pm 0,000009) \text{ bit}$$

Gain 20x

Condizioni sperimentali:

- Settaggio Centaur: Gain 20x ($2 V_{pp}$) – Sample Rate=100 S/s;
- Settaggio calibratore Fluke 5700A: controllo da remoto – modalità DC Volt in autorange con $V_{fs} = 220 \text{ mV}$;
- Settaggio multimetro HP 3458A: controllo da remoto – Risoluzione: 8+1/2 digit – modalità DC Volt in manual range con $V_{fs} = 1 \text{ V}$;
- Temperatura ambiente pari a circa 23°C .

Canale A1

Prima prova con $V_{cal.} = 0,1 \text{ V}$:

$$V_{pos} = 0,099871937 \text{ V} - Var(cat.A) = 3,75715E-16 \text{ V}^2 - Var(cat.B) = 1,46857E-12 \text{ V}^2$$

$$Inc.comp. = \sqrt{Var(cat.A) + Var(cat.B)} = 1,2120E-06 \text{ V}$$

$$C_{pos} = 798369 \text{ count} - Var(cat.A) = 4,4349E-04 \text{ count}^2 - Var(cat.B) = 0,083333 \text{ count}^2$$

$$Inc.comp. = \sqrt{Var(cat.A) + Var(cat.B)} = 0,289442 \text{ count}$$

Seconda prova con $V_{cal.} = -0,1$ V:

$$\begin{aligned} V_{neg} &= -0,099876716 \text{ V} - \text{Var}(\text{cat.A}) = 3,81399\text{E-}16 \text{ V}^2 - \text{Var}(\text{cat.B}) = 1,46862\text{E-}12 \text{ V}^2 \\ \text{Inc.comp.} &= \text{sqr}(\text{Var}(\text{cat.A}) + \text{Var}(\text{cat.B})) = 1,21202\text{E-}06 \text{ V} \\ C_{neg} &= -799831 \text{ count} - \text{Var}(\text{cat.A}) = 2,0506\text{E-}04 \text{ count}^2 - \text{Var}(\text{cat.B}) = 0,083333 \text{ count}^2 \\ \text{Inc.comp.} &= \text{sqr}(\text{Var}(\text{cat.A}) + \text{Var}(\text{cat.B})) = 0,289030 \text{ count} \end{aligned}$$

Risoluzione:

Applicando la (1) e la (3) si ha rispettivamente:

$$\text{Ris.} = 1,249835\text{E-}07 \text{ V/count} \text{ e } \text{Inc.comp.} = 1,07296\text{E-}12 \text{ V/count}$$

$$\text{Ris} = (0,124984 \pm 0,000001) \mu\text{V/count}$$

corrispondente ad una risoluzione in bit equivalenti pari a:

$$n = (23,93176 \pm 0,00001) \text{ bit}$$

Canale A2

Prima prova con $V_{cal.} = 0,1$ V:

$$\begin{aligned} V_{pos} &= 0,099872274 \text{ V} - \text{Var}(\text{cat.A}) = 5,20964\text{E-}16 \text{ V}^2 - \text{Var}(\text{cat.B}) = 1,46857\text{E-}12 \text{ V}^2 \\ \text{Inc.comp.} &= \text{sqr}(\text{Var}(\text{cat.A}) + \text{Var}(\text{cat.B})) = 1,21206\text{E-}06 \text{ V} \\ C_{pos} &= 798987 \text{ count} - \text{Var}(\text{cat.A}) = 9,09259\text{E-}03 \text{ count}^2 - \text{Var}(\text{cat.B}) = 0,083333 \text{ count}^2 \\ \text{Inc.comp.} &= \text{sqr}(\text{Var}(\text{cat.A}) + \text{Var}(\text{cat.B})) = 0,304016 \text{ count} \end{aligned}$$

Seconda prova con $V_{cal.} = -0,1$ V:

$$\begin{aligned} V_{neg} &= -0,099877592 \text{ V} - \text{Var}(\text{cat.A}) = 6,24382\text{E-}15 \text{ V}^2 - \text{Var}(\text{cat.B}) = 1,46863\text{E-}12 \text{ V}^2 \\ \text{Inc.comp.} &= \text{sqr}(\text{Var}(\text{cat.A}) + \text{Var}(\text{cat.B})) = 1,21444\text{E-}06 \text{ V} \\ C_{neg} &= -799033 \text{ count} - \text{Var}(\text{cat.A}) = 3,54065\text{E-}04 \text{ count}^2 - \text{Var}(\text{cat.B}) = 0,083333 \text{ count}^2 \\ \text{Inc.comp.} &= \text{sqr}(\text{Var}(\text{cat.A}) + \text{Var}(\text{cat.B})) = 0,289288 \text{ count} \end{aligned}$$

Risoluzione:

Applicando la (1) e la (3) si ha rispettivamente:

$$\text{Ris.} = 1,249984\text{E-}07 \text{ V/count} \text{ e } \text{Inc.comp.} = 1,07420\text{E-}12 \text{ V/count}$$

$$\text{Ris} = (0,124998 \pm 0,000001) \mu\text{V/count}$$

corrispondente ad una risoluzione in bit equivalenti pari a:

$$n = (23,93159 \pm 0,00001) \text{ bit}$$

Canale A3

Prima prova con $V_{cal.} = 0,1$ V:

$$\begin{aligned} V_{pos} &= 0,099872432 \text{ V} - \text{Var}(\text{cat.A}) = 5,84844\text{E-}16 \text{ V}^2 - \text{Var}(\text{cat.B}) = 1,46857\text{E-}12 \text{ V}^2 \\ \text{Inc.comp.} &= \text{sqr}(\text{Var}(\text{cat.A}) + \text{Var}(\text{cat.B})) = 1,21209\text{E-}06 \text{ V} \\ C_{pos} &= 799086 \text{ count} - \text{Var}(\text{cat.A}) = 1,19055\text{E-}03 \text{ count}^2 - \text{Var}(\text{cat.B}) = 0,083333 \text{ count}^2 \\ \text{Inc.comp.} &= \text{sqr}(\text{Var}(\text{cat.A}) + \text{Var}(\text{cat.B})) = 0,290730 \text{ count} \end{aligned}$$

Seconda prova con $V_{cal.} = -0,1$ V:

$$\begin{aligned} V_{neg} &= -0,099876367 \text{ V} - \text{Var}(\text{cat.A}) = 4,07877\text{E-}16 \text{ V}^2 - \text{Var}(\text{cat.B}) = 1,46862\text{E-}12 \text{ V}^2 \\ \text{Inc.comp.} &= \text{sqr}(\text{Var}(\text{cat.A}) + \text{Var}(\text{cat.B})) = 1,21203\text{E-}06 \text{ V} \end{aligned}$$

$$C_{neg} = -798830 \text{ count} - \text{Var}(\text{cat.A}) = 1,57886E-04 \text{ count}^2 - \text{Var}(\text{cat.B}) = 0,083333 \text{ count}^2$$

$$\text{Inc.comp.} = \text{sqr}(\text{Var}(\text{cat.A}) + \text{Var}(\text{cat.B})) = 0,288948 \text{ count}$$

Risoluzione:

Applicando la (1) e la (3) si ha rispettivamente:

$$\text{Ris.} = 1,250059E-07 \text{ V/count} \text{ e } \text{Inc.comp.} = 1,0732E-12 \text{ V/count}$$

$$\text{Ris} = (0,125006 \pm 0,000001) \mu\text{V/count}$$

corrispondente ad una risoluzione in bit equivalenti pari a:

$$n = (23,93150 \pm 0,00001) \text{ bit}$$

Canale B1

Prima prova con $V_{\text{cal.}} = 0,1 \text{ V}$:

$$V_{pos} = 0,099872325 \text{ V} - \text{Var}(\text{cat.A}) = 4,68869E-16 \text{ V}^2 - \text{Var}(\text{cat.B}) = 1,46857E-12 \text{ V}^2$$

$$\text{Inc.comp.} = \text{sqr}(\text{Var}(\text{cat.A}) + \text{Var}(\text{cat.B})) = 1,21204E-06 \text{ V}$$

$$C_{pos} = 798812 \text{ count} - \text{Var}(\text{cat.A}) = 1,1663E-03 \text{ count}^2 - \text{Var}(\text{cat.B}) = 0,083333 \text{ count}^2$$

$$\text{Inc.comp.} = \text{sqr}(\text{Var}(\text{cat.A}) + \text{Var}(\text{cat.B})) = 0,290688 \text{ count}$$

Seconda prova con $V_{\text{cal.}} = -0,1 \text{ V}$:

$$V_{neg} = -0,099875935 \text{ V} - \text{Var}(\text{cat.A}) = 3,96635E-16 \text{ V}^2 - \text{Var}(\text{cat.B}) = 1,46861E-12 \text{ V}^2$$

$$\text{Inc.comp.} = \text{sqr}(\text{Var}(\text{cat.A}) + \text{Var}(\text{cat.B})) = 1,21203E-06 \text{ V}$$

$$C_{neg} = -799421 \text{ count} - \text{Var}(\text{cat.A}) = 1,9237E-04 \text{ count}^2 - \text{Var}(\text{cat.B}) = 0,083333 \text{ count}^2$$

$$\text{Inc.comp.} = \text{sqr}(\text{Var}(\text{cat.A}) + \text{Var}(\text{cat.B})) = 0,289008 \text{ count}$$

Risoluzione:

Applicando la (1) e la (3) si ha rispettivamente:

$$\text{Ris.} = 1,249807E-07 \text{ V/count} \text{ e } \text{Inc.comp.} = 1,07296E-12 \text{ V/count}$$

$$\text{Ris} = (0,124981 \pm 0,000001) \mu\text{V/count}$$

corrispondente ad una risoluzione in bit equivalenti pari a:

$$n = (23,93179 \pm 0,00001) \text{ bit}$$

Canale B2

Prima prova con $V_{\text{cal.}} = 0,1 \text{ V}$:

$$V_{pos} = 0,099872218 \text{ V} - \text{Var}(\text{cat.A}) = 4,71608E-16 \text{ V}^2 - \text{Var}(\text{cat.B}) = 1,46857E-12 \text{ V}^2$$

$$\text{Inc.comp.} = \text{sqr}(\text{Var}(\text{cat.A}) + \text{Var}(\text{cat.B})) = 1,21204E-06 \text{ V}$$

$$C_{pos} = 799172 \text{ count} - \text{Var}(\text{cat.A}) = 2,5118E-03 \text{ count}^2 - \text{Var}(\text{cat.B}) = 0,083333 \text{ count}^2$$

$$\text{Inc.comp.} = \text{sqr}(\text{Var}(\text{cat.A}) + \text{Var}(\text{cat.B})) = 0,292993 \text{ count}$$

Seconda prova con $V_{\text{cal.}} = -0,1 \text{ V}$:

$$V_{neg} = -0,099875853 \text{ V} - \text{Var}(\text{cat.A}) = 4,54461E-16 \text{ V}^2 - \text{Var}(\text{cat.B}) = 1,46861E-12 \text{ V}^2$$

$$\text{Inc.comp.} = \text{sqr}(\text{Var}(\text{cat.A}) + \text{Var}(\text{cat.B})) = 1,21205E-06 \text{ V}$$

$$C_{neg} = -798906 \text{ count} - \text{Var}(\text{cat.A}) = 2,0116E-04 \text{ count}^2 - \text{Var}(\text{cat.B}) = 0,083333 \text{ count}^2$$

$$\text{Inc.comp.} = \text{sqr}(\text{Var}(\text{cat.A}) + \text{Var}(\text{cat.B})) = 0,289023 \text{ count}$$

Risoluzione:

Applicando la (1) e la (3) si ha rispettivamente:

$$\underline{Ris. = 1,249927E-07 \text{ V/count e } Inc.comp. = 1,07308E-12 \text{ V/count}}$$

$$Ris = (0,124993 \pm 0,000001) \mu\text{V/count}$$

corrispondente ad una risoluzione in bit equivalenti pari a:

$$\underline{n = (23,93165 \pm 0,00001) \text{ bit}}$$

Canale B3

Prima prova con $V_{cal.} = 0,1 \text{ V}$:

$$V_{pos} = 0,099872066 \text{ V} - Var(cat.A) = 4,51734E-16 \text{ V}^2 - Var(cat.B) = 1,46857E-12 \text{ V}^2$$

$$Inc.comp. = \text{sqr}(Var(cat.A) + Var(cat.B)) = 1,21203E-06 \text{ V}$$

$$C_{pos} = 798468 \text{ count} - Var(cat.A) = 1,9094E-03 \text{ count}^2 - Var(cat.B) = 0,083333 \text{ count}^2$$

$$Inc.comp. = \text{sqr}(Var(cat.A) + Var(cat.B)) = 0,291964 \text{ count}$$

Seconda prova con $V_{cal.} = -0,1 \text{ V}$:

$$V_{neg} = -0,099875883 \text{ V} - Var(cat.A) = 3,94387E-16 \text{ V}^2 - Var(cat.B) = 1,46861E-12 \text{ V}^2$$

$$Inc.comp. = \text{sqr}(Var(cat.A) + Var(cat.B)) = 1,21203E-06 \text{ V}$$

$$C_{neg} = -799875 \text{ count} - Var(cat.A) = 2,4320E-04 \text{ count}^2 - Var(cat.B) = 0,083333 \text{ count}^2$$

$$Inc.comp. = \text{sqr}(Var(cat.A) + Var(cat.B)) = 0,289096 \text{ count}$$

Risoluzione:

Applicando la (1) e la (3) si ha rispettivamente:

$$\underline{Ris. = 1,249719E-07 \text{ V/count e } Inc.comp. = 1,07288E-12 \text{ V/count}}$$

$$Ris = (0,124972 \pm 0,000001) \mu\text{V/count}$$

corrispondente ad una risoluzione in bit equivalenti pari a:

$$\underline{n = (23,93189 \pm 0,00001) \text{ bit}}$$

Gain 40x

Condizioni sperimentali:

- Settaggio Centaur: Gain 40x ($1 V_{pp}$) – Sample Rate=100 S/s;
- Settaggio calibratore Fluke 5700A: controllo da remoto – modalità DC Volt in autorange con $V_{fs} = 220 \text{ mV}$;
- Settaggio multimetro HP 3458A: controllo da remoto – Risoluzione: 8+1/2 digit – modalità DC Volt in manual range con $V_{fs} = 100 \text{ mV}$;
- Temperatura ambiente pari a circa 23°C.

Canale A1

Prima prova con $V_{cal.} = 0,05 \text{ V}$:

$$V_{pos} = 0,04993342 \text{ V} - Var(cat.A) = 5,65218E-16 \text{ V}^2 - Var(cat.B) = 4,35486E-08 \text{ V}^2$$

$$Inc.comp. = \text{sqr}(Var(cat.A) + Var(cat.B)) = 2,0868E-04 \text{ V}$$

$$C_{pos} = 798261 \text{ count} - Var(cat.A) = 1,8870E-03 \text{ count}^2 - Var(cat.B) = 0,083333 \text{ count}^2$$

$$Inc.comp. = \text{sqr}(Var(cat.A) + Var(cat.B)) = 0,291925 \text{ count}$$

Seconda prova con $V_{cal.} = -0,05$ V:

$$\begin{aligned}
 V_{neg} &= -0,04994021 \text{ V} - \text{Var}(\text{cat.A}) = 3,69412\text{E-}16 \text{ V}^2 - \text{Var}(\text{cat.B}) = 4,35486\text{E-}08 \text{ V}^2 \\
 \text{Inc.comp.} &= \text{sqr}(\text{Var}(\text{cat.A}) + \text{Var}(\text{cat.B})) = 2,0868\text{E-}04 \text{ V} \\
 C_{neg} &= -800047 \text{ count} - \text{Var}(\text{cat.A}) = 3,8094\text{E-}03 \text{ count}^2 - \text{Var}(\text{cat.B}) = 0,083333 \text{ count}^2 \\
 \text{Inc.comp.} &= \text{sqr}(\text{Var}(\text{cat.A}) + \text{Var}(\text{cat.B})) = 0,295199 \text{ count}
 \end{aligned}$$

Risoluzione:

Applicando la (1) e la (3) si ha rispettivamente:

$$\text{Ris.} = 6,248712\text{E-}08 \text{ V/count} \text{ e } \text{Inc.comp.} = 1,84647\text{E-}10 \text{ V/count}$$

$$\text{Ris} = (62,5 \pm 0,2) \text{ nV/count}$$

corrispondente ad una risoluzione in bit equivalenti pari a:

$$n = (23,932 \pm 0,004) \text{ bit}$$

Canale A2Prima prova con $V_{cal.} = 0,05$ V:

$$\begin{aligned}
 V_{pos} &= 0,049917593 \text{ V} - \text{Var}(\text{cat.A}) = 5,45048\text{E-}15 \text{ V}^2 - \text{Var}(\text{cat.B}) = 4,35485\text{E-}08 \text{ V}^2 \\
 \text{Inc.comp.} &= \text{sqr}(\text{Var}(\text{cat.A}) + \text{Var}(\text{cat.B})) = 2,08683\text{E-}04 \text{ V} \\
 C_{pos} &= 798824 \text{ count} - \text{Var}(\text{cat.A}) = 2,73792\text{E-}02 \text{ count}^2 - \text{Var}(\text{cat.B}) = 0,083333 \text{ count}^2 \\
 \text{Inc.comp.} &= \text{sqr}(\text{Var}(\text{cat.A}) + \text{Var}(\text{cat.B})) = 0,332735 \text{ count}
 \end{aligned}$$

Seconda prova con $V_{cal.} = -0,05$ V:

$$\begin{aligned}
 V_{neg} &= -0,049934028 \text{ V} - \text{Var}(\text{cat.A}) = 7,49925\text{E-}15 \text{ V}^2 - \text{Var}(\text{cat.B}) = 4,35486\text{E-}08 \text{ V}^2 \\
 \text{Inc.comp.} &= \text{sqr}(\text{Var}(\text{cat.A}) + \text{Var}(\text{cat.B})) = 2,08683\text{E-}04 \text{ V} \\
 C_{neg} &= -798936 \text{ count} - \text{Var}(\text{cat.A}) = 7,14902\text{E-}03 \text{ count}^2 - \text{Var}(\text{cat.B}) = 0,083333 \text{ count}^2 \\
 \text{Inc.comp.} &= \text{sqr}(\text{Var}(\text{cat.A}) + \text{Var}(\text{cat.B})) = 0,300803 \text{ count}
 \end{aligned}$$

Risoluzione:

Applicando la (1) e la (3) si ha rispettivamente:

$$\text{Ris.} = 6,249478\text{E-}08 \text{ V/count} \text{ e } \text{Inc.comp.} = 1,8471\text{E-}10 \text{ V/count}$$

$$\text{Ris} = (62,5 \pm 0,2) \text{ nV/count}$$

corrispondente ad una risoluzione in bit equivalenti pari a:

$$n = (23,932 \pm 0,004) \text{ bit}$$

Canale A3Prima prova con $V_{cal.} = 0,05$ V:

$$\begin{aligned}
 V_{pos} &= 0,049933993 \text{ V} - \text{Var}(\text{cat.A}) = 4,95968\text{E-}16 \text{ V}^2 - \text{Var}(\text{cat.B}) = 4,35486\text{E-}08 \text{ V}^2 \\
 \text{Inc.comp.} &= \text{sqr}(\text{Var}(\text{cat.A}) + \text{Var}(\text{cat.B})) = 2,08683\text{E-}04 \text{ V} \\
 C_{pos} &= 799218 \text{ count} - \text{Var}(\text{cat.A}) = 1,14092\text{E-}02 \text{ count}^2 - \text{Var}(\text{cat.B}) = 0,083333 \text{ count}^2 \\
 \text{Inc.comp.} &= \text{sqr}(\text{Var}(\text{cat.A}) + \text{Var}(\text{cat.B})) = 0,307803 \text{ count}
 \end{aligned}$$

Seconda prova con $V_{cal.} = -0,05$ V:

$$\begin{aligned}
 V_{neg} &= -0,049940281 \text{ V} - \text{Var}(\text{cat.A}) = 4,32262\text{E-}16 \text{ V}^2 - \text{Var}(\text{cat.B}) = 4,35486\text{E-}08 \text{ V}^2 \\
 \text{Inc.comp.} &= \text{sqr}(\text{Var}(\text{cat.A}) + \text{Var}(\text{cat.B})) = 2,08683\text{E-}04 \text{ V}
 \end{aligned}$$

$$C_{neg} = -798724 \text{ count} - \text{Var}(\text{cat.A}) = 1,83214\text{E-}03 \text{ count}^2 - \text{Var}(\text{cat.B}) = 0,083333 \text{ count}^2$$

$$\text{Inc.comp.} = \text{sqr}(\text{Var}(\text{cat.A}) + \text{Var}(\text{cat.B})) = 0,291831 \text{ count}$$

Risoluzione:

Applicando la (1) e la (3) si ha rispettivamente:

$$\text{Ris.} = 6,250181\text{E-}08 \text{ V/count} \text{ e } \text{Inc.comp.} = 1,84689\text{E-}10 \text{ V/count}$$

$$\text{Ris} = (62,5 \pm 0,2) \text{ nV/count}$$

corrispondente ad una risoluzione in bit equivalenti pari a:

$$n = (23,932 \pm 0,004) \text{ bit}$$

Canale B1

Prima prova con $V_{\text{cal.}} = 0,05 \text{ V}$:

$$V_{pos} = 0,049934261 \text{ V} - \text{Var}(\text{cat.A}) = 4,20043\text{E-}16 \text{ V}^2 - \text{Var}(\text{cat.B}) = 4,35486\text{E-}08 \text{ V}^2$$

$$\text{Inc.comp.} = \text{sqr}(\text{Var}(\text{cat.A}) + \text{Var}(\text{cat.B})) = 2,0868\text{E-}04 \text{ V}$$

$$C_{pos} = 798508 \text{ count} - \text{Var}(\text{cat.A}) = 6,3388\text{E-}04 \text{ count}^2 - \text{Var}(\text{cat.B}) = 0,083333 \text{ count}^2$$

$$\text{Inc.comp.} = \text{sqr}(\text{Var}(\text{cat.A}) + \text{Var}(\text{cat.B})) = 0,289771 \text{ count}$$

Seconda prova con $V_{\text{cal.}} = -0,05 \text{ V}$:

$$V_{neg} = -0,04994029 \text{ V} - \text{Var}(\text{cat.A}) = 3,87806\text{E-}16 \text{ V}^2 - \text{Var}(\text{cat.B}) = 4,35486\text{E-}08 \text{ V}^2$$

$$\text{Inc.comp.} = \text{sqr}(\text{Var}(\text{cat.A}) + \text{Var}(\text{cat.B})) = 2,0868\text{E-}04 \text{ V}$$

$$C_{neg} = -799707 \text{ count} - \text{Var}(\text{cat.A}) = 9,1661\text{E-}04 \text{ count}^2 - \text{Var}(\text{cat.B}) = 0,083333 \text{ count}^2$$

$$\text{Inc.comp.} = \text{sqr}(\text{Var}(\text{cat.A}) + \text{Var}(\text{cat.B})) = 0,290258 \text{ count}$$

Risoluzione:

Applicando la (1) e la (3) si ha rispettivamente:

$$\text{Ris.} = 6,249128\text{E-}08 \text{ V/count} \text{ e } \text{Inc.comp.} = 1,84657\text{E-}10 \text{ V/count}$$

$$\text{Ris} = (62,5 \pm 0,2) \text{ nV/count}$$

corrispondente ad una risoluzione in bit equivalenti pari a:

$$n = (23,932 \pm 0,004) \text{ bit}$$

Canale B2

Prima prova con $V_{\text{cal.}} = 0,05 \text{ V}$:

$$V_{pos} = 0,049933518 \text{ V} - \text{Var}(\text{cat.A}) = 1,05499\text{E-}15 \text{ V}^2 - \text{Var}(\text{cat.B}) = 4,35486\text{E-}08 \text{ V}^2$$

$$\text{Inc.comp.} = \text{sqr}(\text{Var}(\text{cat.A}) + \text{Var}(\text{cat.B})) = 2,0868\text{E-}04 \text{ V}$$

$$C_{pos} = 799329 \text{ count} - \text{Var}(\text{cat.A}) = 5,2905\text{E-}03 \text{ count}^2 - \text{Var}(\text{cat.B}) = 0,083333 \text{ count}^2$$

$$\text{Inc.comp.} = \text{sqr}(\text{Var}(\text{cat.A}) + \text{Var}(\text{cat.B})) = 0,297697 \text{ count}$$

Seconda prova con $V_{\text{cal.}} = -0,05 \text{ V}$:

$$V_{neg} = -0,049940746 \text{ V} - \text{Var}(\text{cat.A}) = 3,68964\text{E-}16 \text{ V}^2 - \text{Var}(\text{cat.B}) = 4,35486\text{E-}08 \text{ V}^2$$

$$\text{Inc.comp.} = \text{sqr}(\text{Var}(\text{cat.A}) + \text{Var}(\text{cat.B})) = 2,0868\text{E-}04 \text{ V}$$

$$C_{neg} = -798524 \text{ count} - \text{Var}(\text{cat.A}) = 8,2549\text{E-}04 \text{ count}^2 - \text{Var}(\text{cat.B}) = 0,083333 \text{ count}^2$$

$$\text{Inc.comp.} = \text{sqr}(\text{Var}(\text{cat.A}) + \text{Var}(\text{cat.B})) = 0,290101 \text{ count}$$

Risoluzione:

Applicando la (1) e la (3) si ha rispettivamente:

$$\underline{Ris. = 6,250529E-08 \text{ V/count e } Inc.comp. = 1,84699E-10 \text{ V/count}}$$

$$Ris = (62,5 \pm 0,2) \text{ nV/count}$$

corrispondente ad una risoluzione in bit equivalenti pari a:

$$\underline{n = (23,931 \pm 0,004) \text{ bit}}$$

Canale B3

Prima prova con $V_{cal.} = 0,05 \text{ V}$:

$$V_{pos} = 0,049933617 \text{ V} - Var(cat.A) = 6,5551E-16 \text{ V}^2 - Var(cat.B) = 4,35486E-08 \text{ V}^2$$

$$Inc.comp. = \sqrt{Var(cat.A) + Var(cat.B)} = 2,0868E-04 \text{ V}$$

$$C_{pos} = 798166 \text{ count} - Var(cat.A) = 1,6462E-03 \text{ count}^2 - Var(cat.B) = 0,083333 \text{ count}^2$$

$$Inc.comp. = \sqrt{Var(cat.A) + Var(cat.B)} = 0,291513 \text{ count}$$

Seconda prova con $V_{cal.} = -0,05 \text{ V}$:

$$V_{neg} = -0,049940648 \text{ V} - Var(cat.A) = 9,70763E-16 \text{ V}^2 - Var(cat.B) = 4,35486E-08 \text{ V}^2$$

$$Inc.comp. = \sqrt{Var(cat.A) + Var(cat.B)} = 2,0868E-04 \text{ V}$$

$$C_{neg} = -800200 \text{ count} - Var(cat.A) = 9,2528E-04 \text{ count}^2 - Var(cat.B) = 0,083333 \text{ count}^2$$

$$Inc.comp. = \sqrt{Var(cat.A) + Var(cat.B)} = 0,290273 \text{ count}$$

Risoluzione:

Applicando la (1) e la (3) si ha rispettivamente:

$$\underline{Ris. = 6,248521E-08 \text{ V/count e } Inc.comp. = 1,8464E-10 \text{ V/count}}$$

$$Ris = (62,5 \pm 0,2) \text{ nV/count}$$

corrispondente ad una risoluzione in bit equivalenti pari a:

$$\underline{n = (23,932 \pm 0,004)}$$

QUADERNI di GEOFISICA

ISSN 1590-2595

<https://istituto.ingv.it/it/le-collane-editoriali-ingv/quaderni-di-geofisica.html/>

I QUADERNI DI GEOFISICA (QUAD. GEOFIS.) accolgono lavori, sia in italiano che in inglese, che diano particolare risalto alla pubblicazione di dati, misure, osservazioni e loro elaborazioni anche preliminari che necessitano di rapida diffusione nella comunità scientifica nazionale ed internazionale. Per questo scopo la pubblicazione on-line è particolarmente utile e fornisce accesso immediato a tutti i possibili utenti. Un Editorial Board multidisciplinare ed un accurato processo di peer-review garantiscono i requisiti di qualità per la pubblicazione dei contributi. I QUADERNI DI GEOFISICA sono presenti in "Emerging Sources Citation Index" di Clarivate Analytics, e in "Open Access Journals" di Scopus.

QUADERNI DI GEOFISICA (QUAD. GEOFIS.) welcome contributions, in Italian and/or in English, with special emphasis on preliminary elaborations of data, measures, and observations that need rapid and widespread diffusion in the scientific community. The on-line publication is particularly useful for this purpose, and a multidisciplinary Editorial Board with an accurate peer-review process provides the quality standard for the publication of the manuscripts. QUADERNI DI GEOFISICA are present in "Emerging Sources Citation Index" of Clarivate Analytics, and in "Open Access Journals" of Scopus.

RAPPORTI TECNICI INGV

ISSN 2039-7941

<https://istituto.ingv.it/it/le-collane-editoriali-ingv/rapporti-tecnici-ingv.html/>

I RAPPORTI TECNICI INGV (RAPP. TEC. INGV) pubblicano contributi, sia in italiano che in inglese, di tipo tecnologico come manuali, software, applicazioni ed innovazioni di strumentazioni, tecniche di raccolta dati di rilevante interesse tecnico-scientifico. I RAPPORTI TECNICI INGV sono pubblicati esclusivamente on-line per garantire agli autori rapidità di diffusione e agli utenti accesso immediato ai dati pubblicati. Un Editorial Board multidisciplinare ed un accurato processo di peer-review garantiscono i requisiti di qualità per la pubblicazione dei contributi.

RAPPORTI TECNICI INGV (RAPP. TEC. INGV) publish technological contributions (in Italian and/or in English) such as manuals, software, applications and implementations of instruments, and techniques of data collection. RAPPORTI TECNICI INGV are published online to guarantee celerity of diffusion and a prompt access to published data. A multidisciplinary Editorial Board and an accurate peer-review process provide the quality standard for the publication of the contributions.

MISCELLANEA INGV

ISSN 2039-6651

https://istituto.ingv.it/it/le-collane-editoriali-ingv/miscellanea-ingv.html

MISCELLANEA INGV (MISC. INGV) favorisce la pubblicazione di contributi scientifici riguardanti le attività svolte dall'INGV. In particolare, MISCELLANEA INGV raccoglie reports di progetti scientifici, proceedings di convegni, manuali, monografie di rilevante interesse, raccolte di articoli, ecc. La pubblicazione è esclusivamente on-line, completamente gratuita e garantisce tempi rapidi e grande diffusione sul web. L'Editorial Board INGV, grazie al suo carattere multidisciplinare, assicura i requisiti di qualità per la pubblicazione dei contributi sottomessi.

MISCELLANEA INGV (MISC. INGV) favours the publication of scientific contributions regarding the main activities carried out at INGV. In particular, MISCELLANEA INGV gathers reports of scientific projects, proceedings of meetings, manuals, relevant monographs, collections of articles etc. The journal is published online to guarantee celerity of diffusion on the internet. A multidisciplinary Editorial Board and an accurate peer-review process provide the quality standard for the publication of the contributions.

Coordinamento editoriale

Francesca DI STEFANO
Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

Progetto grafico

Barbara ANGIONI
Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

Impaginazione

Barbara ANGIONI
Patrizia PANTANI
Massimiliano CASCONI
Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

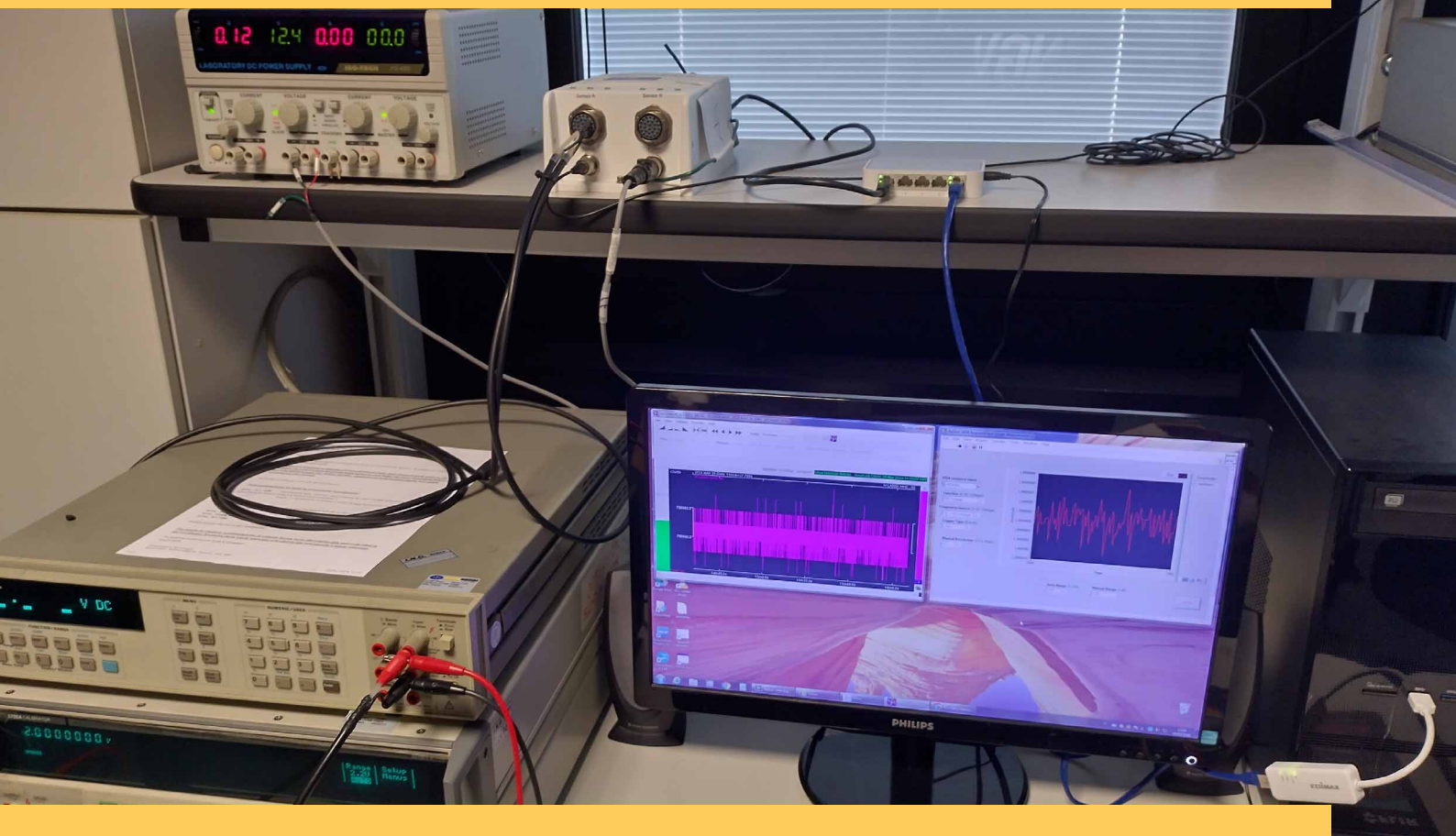
©2025

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia
Via di Vigna Murata, 605
00143 Roma
tel. +39 06518601

www.ingv.it



Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)



ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA

