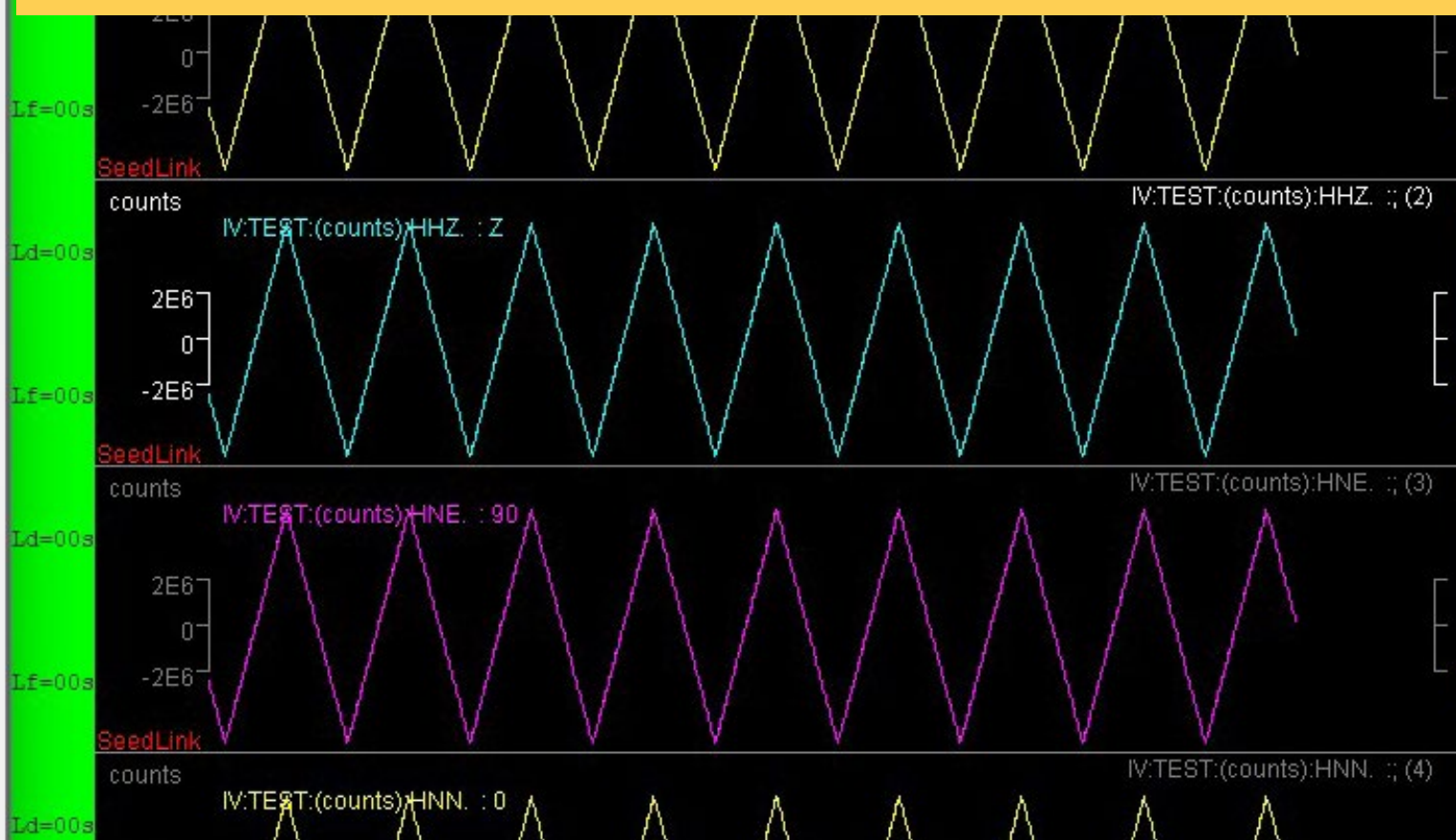




RAPPORTI TECNICI INGV

Un banco di test e collaudo
per acquisitori sismici



ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA

521

**Direttore Responsabile**

Daniela VERSACE

Editor in Chief

Milena MORETTI

Editorial Board

Laura ALFONSI

Sofia BARANELLO

Carla BARNABA

Christian BIGNAMI

Simona CARANNANTE

Maria Grazia CIACCIO

Luca COCCHI

Luigi CUCCI

Lorenzo CUGLIARI

Elisabetta D'ANASTASIO

Alessia DI CAPRIO

Roberto DI MARTINO

Domenico DI MAURO

Domenico DORONZO

Filippo GRECO

Alessandro IAROCCI

Mario MATTIA

Daniele MELINI

Anna NARDI

Lucia NARDONE

Marco OLIVIERI

Arianna PESCI

Pierangelo ROMANO

Paola SBARRA

Davide SCAFIDI

Maurizio SOLDANI

Sara STOPPONI

Umberto TAMMARO

David ZULIANI

REGISTRAZIONE AL TRIBUNALE DI ROMA N.173 | 2014, 23 LUGLIO

© INGV Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

Rappresentante legale: Presidente INGV

Sede: Via di Vigna Murata, 605 | Roma

Tutti i diritti riservati

www.ingv.it



ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA

RAPPORTI TECNICI INGV

Un banco di test e collaudo
per acquisitori sismici

*A test and validation bench
for seismic digitizers*

Paolo Strappaveccia*, Davide Piccinini, Sandro Rao

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

*Corresponding Author

Accettato 11 marzo 2026 | Accepted 11 March 2026

Come citare | How to cite Strappaveccia, P., Piccinini, D., Rao, S. (2026). Un banco di test e collaudo per acquisitori sismici. *Rapporti Tecnici INGV*, 521, 26 pp. <https://doi.org/10.13127/rpt/521>

In copertina Test di congruenza e polarità su acquisitore sismico mediante segnali multicanale generati dal banco di collaudo | Cover Congruence and polarity tests on a seismic acquisition system using multi-channel signals generated by the test bench

521

INDICE

Riassunto	7
<i>Abstract</i>	7
Introduzione	7
1. Obiettivi	8
2. Il sistema di acquisizione dati	9
3. Determinazione e valutazione dell’incertezza di misura	11
4. Setup sperimentale	12
5. Il software di controllo del CompactDAQ	13
5.1 LabVIEW: un ambiente di sviluppo grafico	13
5.2 Il punto di partenza per la nostra applicazione	14
5.3 L’applicazione “Collaudo acquisitori”	15
5.4 Il pannello di controllo	15
5.5 L’applicazione SeisGram2K	17
6. Test di funzionamento del digitalizzatore Nanometrics Centaur CTR4-6S	18
6.1 Test di congruenza e polarità dei canali	18
6.2 Test di corrispondenza dei canali, di linearità e uniformità di conversione	19
6.3 Test dei segnali di calibrazione	20
7. Conclusioni	21
Ringraziamenti	22
Bibliografia	22
Sitografia	22

Riassunto

L'esigenza di eseguire test di funzionalità e prove di collaudo sugli acquisitori sismici impiegati nella Rete Sismica Nazionale gestita dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) nasce da due necessità complementari. Da un lato è fondamentale garantire nel tempo la continuità del corretto funzionamento di tali dispositivi, dall'altro è indispensabile adottare procedure di verifica standardizzate e ottimizzate per accertare, in fase di collaudo dei nuovi strumenti, la piena corrispondenza delle principali caratteristiche prestazionali con quanto dichiarato dal costruttore.

Il presente rapporto tecnico descrive la progettazione e la realizzazione di un banco di test e collaudo basato su un sistema di acquisizione dati modulare ed espandibile, collegato a un computer tramite interfaccia USB e gestito attraverso un'applicazione sviluppata in LabVIEW (codice G). Vengono illustrate in dettaglio l'architettura hardware e la configurazione dell'elettronica utilizzata, nonché le funzionalità del software per l'interazione con il sistema, l'acquisizione dei dati e l'automazione delle procedure di verifica e validazione.

Abstract

The need to perform functional tests and acceptance checks on the seismic data loggers used in the National Seismic Network managed by the National Institute of Geophysics and Volcanology (INGV) arises from two complementary requirements. On one hand, it is essential to ensure the long-term continuity of their correct operation, on the other, it is necessary to adopt standardized and optimized verification procedures to confirm, during the acceptance phase of newly acquired instruments, the full correspondence of their key performance characteristics with those declared by the manufacturer.

This report describes the design and implementation of a modular and expandable test and validation bench based on a data acquisition system connected to a computer via USB and operated through an application developed in LabVIEW (G code). The hardware architecture and the configuration of the electronics used are described in detail, together with the software functionalities for system interaction, data acquisition, and the automation of verification and validation procedures.

Keywords Acquisitori sismici; Test; Banco di prova | Seismic digitizers; Testing; Test bench

Introduzione

Negli ultimi anni, presso l'Osservatorio Nazionale Terremoti (ONT) dell'INGV, è stato utilizzato un banco di misura specificamente progettato per lo studio della risoluzione degli acquisitori sismici configurati a differenti guadagni [Strappaveccia et al., 2025]. Sebbene tale configurazione si sia rivelata efficace per analisi metrologiche mirate, con il tempo si è mostrata poco adatta ai numerosi test di collaudo richiesti dalle attività ordinarie della Sezione. Il banco, infatti, consentiva la verifica di un solo canale per volta e risultava utilizzabile esclusivamente per segnali in corrente continua, limitando fortemente la rapidità e la completezza delle procedure di controllo funzionale.

È importante sottolineare che un banco di misura, come quello utilizzato finora, non coincide concettualmente con un banco di test e collaudo. Il primo è finalizzato all'esecuzione di misure

ad elevata accuratezza su specifici parametri, allo scopo di verificarne la conformità ai valori dichiarati nel datasheet, tipicamente accompagnate da un'analisi completa dell'incertezza di misura. Un banco di test e collaudo, al contrario, è progettato per verificare il corretto funzionamento di dispositivi complessi in modo rapido, standardizzato e riproducibile, con un livello di accuratezza metrologica adeguato ma non necessariamente superiore a quello del dispositivo in esame.

La crescente necessità di collaudare un numero elevato di acquisitori sismici ha quindi reso evidente la mancanza di uno strumento dedicato, capace di effettuare verifiche funzionali multicanale, su segnali possibilmente dinamici, riducendo sensibilmente i tempi e la complessità delle procedure. Il presente rapporto descrive la progettazione e la realizzazione di un nuovo banco di test e collaudo sviluppato per rispondere a tali esigenze.

1. Obiettivi

Al fine di verificare il corretto funzionamento di un acquisitore sismico [Havskov J., Alguacil G., 2016] è necessario disporre di un banco di test in grado di generare, con adeguata accuratezza, segnali elettrici di forma d'onda nota, caratterizzati da diverse ampiezze e frequenze. Tali segnali devono poter essere applicati ai sei canali di ingresso dell'unità in prova (UUT – *Unit Under Test*), sia in modalità simultanea su tutti i canali, sia selettivamente su un singolo ingresso alla volta. Un ulteriore obiettivo del banco di collaudo è la verifica della corretta generazione dei segnali di calibrazione prodotti dall'acquisitore, utilizzati per il test e la calibrazione dei sensori sismici compatibili. Tali segnali possono essere prelevati tramite appositi pin di uscita presenti sui connettori dedicati ai sensori e acquisiti dal sistema di test per le opportune verifiche.

La scelta dell'hardware del sistema di acquisizione dati e dell'ambiente di sviluppo software necessario alla sua configurazione deve pertanto tenere conto di una serie di requisiti comuni ai principali modelli di acquisitori sismici disponibili sul mercato. In particolare, al fine di testare correttamente i sei canali di ingresso del dispositivo, il sistema di acquisizione dati deve essere in grado di:

- generare sei segnali di tensione analogica periodici, con frequenze comprese in un intervallo di interesse per la sismologia sperimentale (ad esempio 1–10 Hz);
- coprire l'intero intervallo di ampiezze configurabili sui canali di ingresso degli acquisitori sismici (ad esempio da 1 a 40 Vpp);
- campionare e acquisire in modo sincrono i segnali di calibrazione generati dall'UUT, tipicamente organizzati in gruppi di tre canali per ciascun sensore.

L'applicazione software associata al banco di test deve consentire all'utente di selezionare, tramite un pannello di controllo intuitivo, il tipo di forma d'onda e i relativi parametri (ampiezza, frequenza) delle tensioni analogiche utilizzate per la verifica della sezione di ingresso dell'acquisitore. Le forme d'onda generate devono inoltre essere visualizzabili in tempo reale nel dominio del tempo, così da poterle confrontare direttamente con quelle acquisite e riprodotte dall'UUT.

Sul pannello di controllo deve essere inoltre disponibile un controllo per l'impostazione della risoluzione a un determinato guadagno, espressa in V/count (nota anche come *bit weight*), al fine di convertire direttamente le ampiezze delle forme d'onda impostate in unità di conteggio (*counts*). Questa funzionalità consente di velocizzare il confronto con i dati prodotti dall'acquisitore, che nella sismologia sperimentale sono comunemente espressi in tali unità.

Il test funzionale dell'acquisitore in esame può essere articolato in tre fasi principali:

1. Test di congruenza e polarità dei canali

Vengono generati sei segnali analogici di tensione aventi la stessa ampiezza, frequenza e fase, uno per ciascun canale di ingresso del digitalizzatore sismico. La corretta riproduzione simultanea dei segnali consente una verifica immediata della congruenza tra i canali; un'eventuale inversione di polarità su uno degli ingressi risulterebbe evidente dalla presenza di una forma d'onda in opposizione di fase rispetto alle altre.

2. Test di corrispondenza dei canali, linearità e uniformità di conversione

Viene generato un singolo segnale (ad esempio sinusoidale), applicato in successione a tutti e sei gli ingressi del digitalizzatore. Questa prova consente di verificare la linearità della risposta dei singoli convertitori ADC, nonché l'ampiezza del segnale convertita in *counts* sui diversi canali.

3. Test dei segnali di calibrazione

Vengono acquisiti e analizzati i segnali di calibrazione eventualmente generati dall'acquisitore, al fine di verificarne la corretta funzionalità e l'idoneità all'impiego per la calibrazione dei sensori sismici compatibili da collegare al dispositivo.

2. Il sistema di acquisizione dati

Per il sistema di acquisizione dati è stata scelta la piattaforma **CompactDAQ** [1] della *National Instruments (NI)* [2], azienda statunitense leader mondiale nelle applicazioni di strumentazione virtuale.

Il concetto di strumento virtuale nasce dall'evoluzione dei sistemi di misura tradizionali verso architetture basate su calcolatori programmabili e software dedicato. A differenza degli strumenti hardware convenzionali, caratterizzati da funzionalità fisse e definite a priori dal costruttore, uno strumento virtuale realizza le proprie funzioni di misura, controllo, elaborazione e visualizzazione principalmente tramite software, utilizzando hardware modulare e riconfigurabile per l'acquisizione e la generazione dei segnali. In un sistema di strumentazione virtuale, il personal computer o un controllore embedded costituiscono il nucleo di elaborazione, mentre i dispositivi di acquisizione dati forniscono l'interfaccia fisica con il mondo reale. Le caratteristiche operative dello strumento - quali tipologia di misura, risoluzione, modalità di trigger, algoritmi di analisi e rappresentazione dei dati - sono definite dall'applicazione software, che può essere adattata o estesa in funzione delle esigenze sperimentali senza modificare l'hardware di base.

Questo approccio consente elevata flessibilità, scalabilità e integrazione, rendendo lo strumento virtuale particolarmente adatto a contesti di ricerca scientifica, testing industriale e monitoraggio avanzato. Inoltre, l'integrazione di ambienti di sviluppo grafici, come LabVIEW, permette di implementare sistemi di misura complessi in modo intuitivo, favorendo la riproducibilità degli esperimenti e l'automazione dei processi di acquisizione e analisi dei dati.

Il CompactDAQ è un sistema modulare, portatile ed espandibile, collegabile al PC host tramite interfaccia USB o Ethernet, che consente di realizzare architetture di misura flessibili e scalabili. Esso consiste in uno chassis a più slot, all'interno del quale sono installati moduli (denominati moduli *C Series*), caratterizzati da differenti funzionalità in funzione dell'applicazione di misura. Nel caso in esame, per la generazione dei sei segnali analogici da applicare all'unità in test (UUT), è stato adottato il modulo NI-9269 [3], dotato di quattro convertitori digitale-analogico (DAC) con risoluzione di 16 bit, velocità di aggiornamento fino a 100 kS/s e intervallo di tensione di uscita pari a ± 10 V (Figura 1).

Figura 1 Il modulo NI-9269 per la generazione dei segnali analogici da applicare alla UUT.

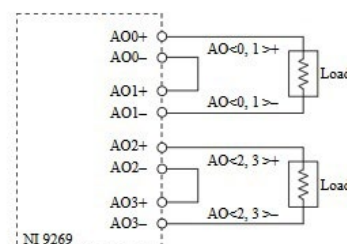
Figure 1 The NI-9269 module for generating all analog signals to be applied to the UUT.



Poiché l'intervallo di tensione disponibile su ciascun canale di uscita del modulo NI-9269 risulta pari alla metà del massimo intervallo di tensione di ingresso degli acquisitori sismici (± 20 V), i DAC sono stati collegati a due a due mediante opportuni ponticelli, secondo lo schema di collegamento riportato in Figura 2. Tale configurazione consente di ottenere, nel caso di segnali generati con caratteristiche identiche, un segnale risultante con ampiezza doppia.

Figura 2 Incremento dell'intervallo di tensione di uscita dell'NI-9269.

Figure 2 Increasing the output voltage range of the NI-9269.



In questo modo, impiegando tre moduli NI-9269, ciascuno equipaggiato con quattro DAC, è stato possibile generare sei segnali di tensione perfettamente identici e simultanei, idonei alla stimolazione degli ingressi dell'acquisitore sismico in prova.

Per l'acquisizione dei segnali di calibrazione generati dall'acquisitore sismico e inviati ai sensori compatibili (sei segnali complessivi, tre per ciascun sensore), è stato utilizzato il modulo NI-9219 [4], dotato di quattro canali di ingresso analogici universali e progettato per applicazioni di test multiuso.

Il modulo NI-9219 consente l'acquisizione di un'ampia varietà di grandezze fisiche, in quanto integra sia l'elettronica di condizionamento del segnale, sia i circuiti di alimentazione in tensione e in corrente necessari al funzionamento della maggior parte dei trasduttori (temperatura, deformazione, forza, ecc.). I quattro ingressi, ciascuno associato a un convertitore analogico-digitale (ADC) con risoluzione massima di 24 bit e frequenza di campionamento fino a 100 S/s, risultano isolati e indipendenti tra loro e rispetto alla terra fino a 250 Vrms. I range di ingresso selezionabili sono pari a ± 60 V, ± 15 V, ± 4 V, ± 1 V e ± 125 mV per la misura di tensione e ± 25 mA per la misura di corrente. Il modulo può operare in modalità ad alta risoluzione (24 bit, 2 S/s) oppure in modalità ad alta velocità (18 bit, 100 S/s), in funzione delle esigenze applicative. Il modulo NI-9219 è mostrato in Figura 3.



Figura 3 Il modulo NI-9219 per l'acquisizione dei segnali analogici per la calibrazione dei sensori.

Figure 3 The NI-9219 module for acquiring analog signals for sensor calibration.

3. Determinazione e valutazione dell'incertezza di misura

Nel presente capitolo si giustifica l'assunto progettuale secondo cui, in un banco di test e collaudo, l'elettronica di generazione dei segnali può avere caratteristiche metrologiche inferiori rispetto a quelle del dispositivo in prova, purché compatibili con le finalità del collaudo.

A titolo di esempio, si consideri di voler calcolare l'incertezza di misura relativa alla generazione di un segnale analogico di ampiezza pari a 10V. Come spiegato nel capitolo 2 questo segnale è ottenuto mediante il collegamento in serie di due convertitori DAC del modulo NI-9269, ciascuno operante nel range nominale $\pm 10V$ e configurato per fornire una tensione di uscita pari a 5V. L'incertezza di misura associata a tale configurazione è stata determinata in accordo con la norma UNI CEI 70098-3:2016 [UNI, 2018], considerando esclusivamente contributi di incertezza di categoria B, stimati sulla base delle specifiche di accuratezza dichiarate dal costruttore.

Dal datasheet del modulo NI-9269, l'accuratezza di ciascun DAC è espressa come $\pm (0,05\%$ del valore di lettura + $0,01\%$ del valore di fondo scala) [Strappaveccia P., Rao S., 2023]. Assumendo, per ciascun convertitore, un valore di lettura pari a 5V e un fondo scala pari a 10V, il limite massimo dell'errore associato alla tensione generata da ciascun DAC risulta pari a $\pm 3,5mV$. In assenza di ulteriori informazioni sulla distribuzione statistica dell'errore, tale limite è stato modellato, in conformità alla suddetta norma, come una distribuzione di probabilità rettangolare (uniforme) centrata sul valore nominale di 5V. L'incertezza associata alla tensione generata da ciascun DAC risulta pertanto pari a [Gupta, 2012]:

$$u_{DAC} = \frac{3,5 \text{ mV}}{\sqrt{3}} \approx 2,0 \text{ mV}$$

Poiché i due DAC contribuiscono in modo indipendente alla generazione del segnale complessivo e assumendo l'assenza di correlazione tra i rispettivi contributi di incertezza, l'incertezza composta associata alla tensione totale ottenuta dal collegamento in serie è stata determinata mediante combinazione quadratica delle incertezze dei singoli convertitori. Si ottiene pertanto:

$$u_V = \sqrt{u_{DAC,1}^2 + u_{DAC,2}^2} \approx 2,9 \text{ mV}$$

Rapportando tale valore alla tensione complessiva di 10V, l'incertezza relativa associata al segnale di prova risulta dell'ordine di $2,9 \times 10^{-4}$, corrispondente allo 0,03 % circa. Tale livello di incertezza risulta coerente con le finalità del banco di test e collaudo funzionale e adeguato alla verifica del corretto funzionamento degli acquisitori sismici, in accordo con i criteri della UNI CEI 70098-3:2016.

4. Setup sperimentale

Come accennato nel capitolo 2, per il controllo e la visualizzazione dei segnali analogici generati e inviati alla UUT è stato utilizzato il sistema NI CompactDAQ, gestito mediante un'applicazione sviluppata in LabVIEW [Travis J, Kring J., 2006] ed eseguita sul PC host.

Per la verifica della risposta del digitalizzatore sismico a tali segnali, anziché adottare la medesima piattaforma hardware/software basata su prodotti NI, si è scelto di utilizzare il software SeisGram2K [Lomax A., Denton P., Berenguer J., 2014] per la visualizzazione delle forme d'onda acquisite dall'acquisitore sismico. Tale scelta è motivata dalla possibilità di verificare, nell'ambito dello stesso test sull'unità in esame, il corretto funzionamento del server SeedLink e della trasmissione dati via Ethernet, impiegando un'applicazione consolidata e largamente utilizzata nella sismologia sperimentale e nel monitoraggio sismico.

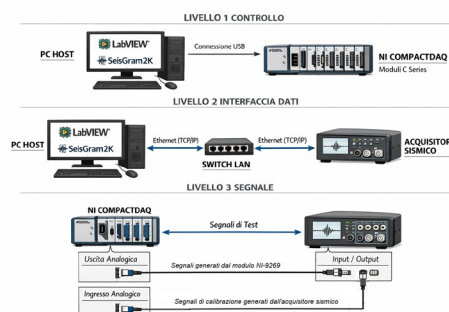
A tal fine, oltre al collegamento USB tra il PC host e il sistema CompactDAQ, è stata implementata una LAN dedicata per la connessione dello stesso PC all'acquisitore sismico. Questa configurazione consente di acquisire i segnali riprodotti dalla UUT e di confrontarli in tempo reale con i segnali di riferimento generati dal CompactDAQ.

Per la trasmissione dei segnali analogici generati dal modulo NI-9269 e iniettati nel digitalizzatore sismico, nonché per i segnali di calibrazione generati dal digitalizzatore sismico e acquisiti tramite il modulo NI-9219, sono state utilizzate coppie di cavi unipolari, collegate ai connettori dei moduli sopra descritti e del digitalizzatore sismico.

In pratica il sistema si articola su tre livelli: Controllo (PC/USB), Interfaccia Dati (PC/Ethernet) e Segnali (cavi), come illustrato in Figura 4.

Figura 4 Schema di collegamento dei dispositivi suddiviso in tre livelli (controllo, interfaccia dati e segnali).

Figure 4 Device connection diagram divided into three levels (control, data interface and signals).



In Figura 5 è raffigurata la parte del banco di test relativa al livello 3 (trasmissione dei segnali fisici tra il sistema di acquisizione dati e la UUT); si noti l'acquisitore Nanometrics Centaur CTR4-6S [7] collegato al PC host (non visibile) mediante lo switch LAN e alimentato attraverso l'alimentatore da banco a quattro uscite Iso-Tech mod. IPS 4303, impostato a 12 Vdc.

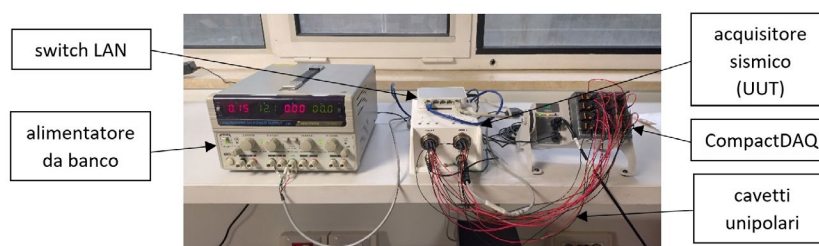


Figura 5 Parte del banco di test raffigurante l'unità da testare (UUT) e il CompactDAQ.
Figure 5 Part of the test bench showing the unit under test (UUT) and the CompactDAQ.

5. Il software di controllo del CompactDAQ

5.1 LabVIEW: un ambiente di sviluppo grafico

LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) [Essick J., 2018] [5] è un ambiente di sviluppo grafico progettato specificamente per la realizzazione di applicazioni di misura, acquisizione dati, controllo e automazione. A differenza dei linguaggi di programmazione testuali tradizionali, LabVIEW adotta un paradigma di programmazione *grafico e a flusso di dati*, nel quale l'esecuzione del codice è determinata dalla disponibilità dei dati piuttosto che da una sequenza lineare di istruzioni. L'elemento fondamentale di un'applicazione LabVIEW è il Virtual Instrument (VI), composto da due parti principali: il Front Panel e il Block Diagram. Il Front Panel rappresenta l'interfaccia utente dell'applicazione e consente di visualizzare i segnali acquisiti, impostare parametri di configurazione e controllare l'esecuzione del sistema di test. Il Block Diagram contiene invece la logica di programma, realizzata tramite nodi funzionali interconnessi da fili che rappresentano il flusso dei dati.

Una caratteristica distintiva di LabVIEW è il suo naturale supporto al parallelismo, che deriva direttamente dal modello a flusso di dati: operazioni indipendenti possono essere eseguite in parallelo senza richiedere una gestione esplicita dei thread, aspetto particolarmente vantaggioso nei sistemi di acquisizione multicanale e nei banchi di prova in tempo reale.

LabVIEW offre inoltre un'ampia integrazione con l'hardware di misura e controllo, in particolare con i sistemi di acquisizione dati di National Instruments, come i dispositivi CompactDAQ. Attraverso driver dedicati e librerie di alto livello, è possibile configurare canali di acquisizione, gestire la temporizzazione, sincronizzare segnali e accedere ai dati acquisiti con un'elevata affidabilità e ripetibilità, requisiti fondamentali nei sistemi di test e collaudo di strumentazione sismica.

Dal punto di vista architetturale, LabVIEW favorisce lo sviluppo di applicazioni modulari e scalabili, grazie al riutilizzo dei VI come sottoprogrammi e alla disponibilità di strutture di programmazione avanzate (macchine a stati, code, eventi, architetture producer-consumer). Ciò consente di realizzare software robusto, manutenibile e facilmente estendibile, in grado di adattarsi a differenti configurazioni di banco di prova e a future evoluzioni del sistema di acquisizione. Nel contesto dei banchi di test per acquisitori sismici, LabVIEW risulta particolarmente efficace per la gestione sincrona dell'acquisizione dei segnali, l'elaborazione in tempo reale, la visualizzazione dei dati e la loro archiviazione strutturata, fornendo un ambiente coerente e integrato per l'intero ciclo di collaudo.

Infine, mette a disposizione un ampio insieme di librerie e toolkit applicativi, corredati da esempi completi e funzionanti. Questa disponibilità di programmi pronti all'uso consente allo sviluppatore di partire da soluzioni già strutturate e validate, riducendo significativamente i tempi di sviluppo e facendo sì che la realizzazione di un'applicazione non avvenga praticamente mai a partire da zero. In Figura 6 è illustrato un tipico VI di LabVIEW.

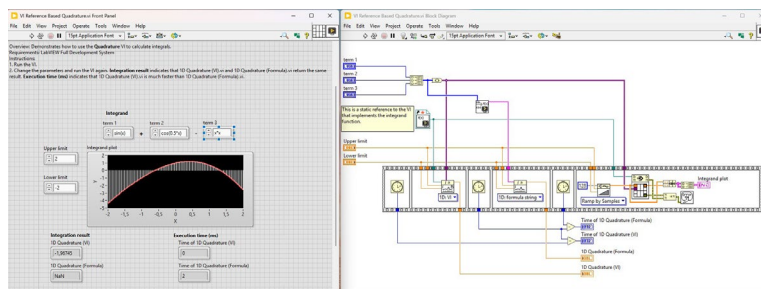


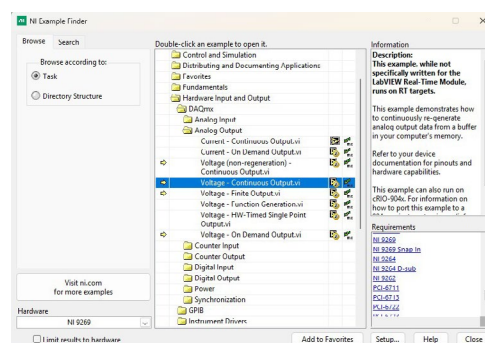
Figura 6 Un VI di LabVIEW costituito da pannello di controllo (a sinistra) e da diagramma a blocchi (a destra).
Figure 6 A LabVIEW VI consisting of the control panel (left) and the block diagram (right).

5.2 Il punto di partenza per la nostra applicazione

Per la realizzazione dell'applicazione software di controllo del sistema CompactDAQ è stata utilizzata la versione più recente di LabVIEW (vers.2025, Full Development System). Come anticipato nel paragrafo precedente, il software mette a disposizione degli sviluppatori una vasta libreria di esempi applicativi che coprono numerosi ambiti di utilizzo. A tal fine è stata effettuata una ricerca tra gli esempi disponibili mediante lo strumento dedicato *NI Example Finder*, opportunamente configurato per visualizzare esclusivamente quelli compatibili con il sistema di acquisizione dati in nostro possesso (CompactDAQ). L'attenzione si è concentrata in particolare sugli esempi relativi alla generazione di segnali analogici. In Figura 7 è riportata la configurazione dell'NI Example Finder utilizzata.

Figura 7 Il tool integrato in LabVIEW per la ricerca degli esempi in base all'applicazione da realizzare.

Figure 7 LabVIEW's built-in tool for finding examples based on the application to be implemented.



Come si vede dalla figura, il VI trovato si chiama *Voltage-Continuous Output.vi*, il cui pannello di controllo e diagramma sono riportati in rispettivamente in Figura 8 e in Figura 9.

Figura 8 Pannello di controllo del VI di esempio "Voltage-Continuous Output".

Figure 8 Control panel of the example VI "Voltage-Continuous Output".

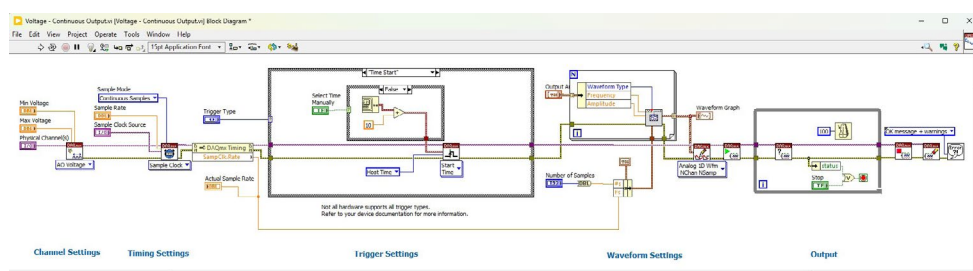
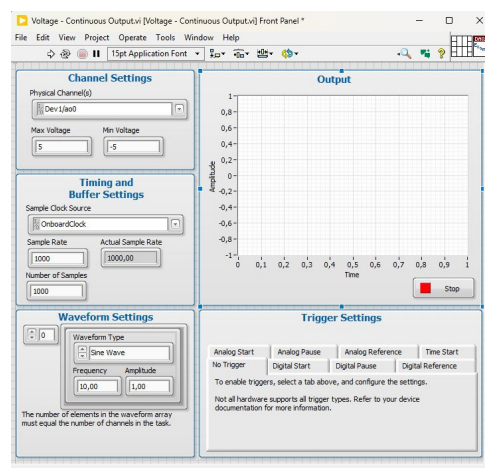


Figura 9 Diagramma a blocchi del VI di esempio "Voltage-Continuous Output".

Figure 9 Block diagram of the example VI "Voltage-Continuous Output".

5.3 L'applicazione “Collaudo acquisitori”

Il VI di partenza, ricavato come descritto nel paragrafo precedente, è stato opportunamente modificato al fine di soddisfare i requisiti previsti dalla procedura di collaudo, comune a tutti gli acquisitori sismici in uso nella Rete Sismica Nazionale e descritta nel capitolo 1.

Nelle figure 10, 11 e 12 sono riportati, rispettivamente, il pannello di controllo e il primo degli otto diagrammi a blocchi del VI sviluppato per il controllo del sistema CompactDAQ, utilizzato per la generazione e l'acquisizione dei segnali da inviare all'unità in prova e da essa acquisiti.

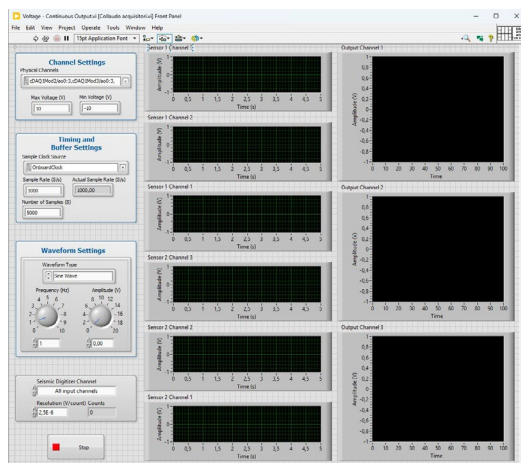


Figura 10 Pannello di controllo del VI “Collaudo acquisitori”.
Figure 10 Control panel of the VI “Collaudo acquisitori”.

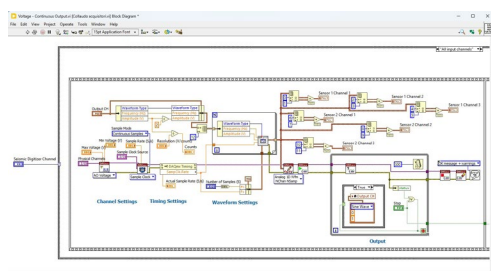


Figura 11 Prima parte del primo diagramma a blocchi del VI “Collaudo acquisitori”.
Figure 11 First part of the first block diagram of the VI “Collaudo acquisitori”.

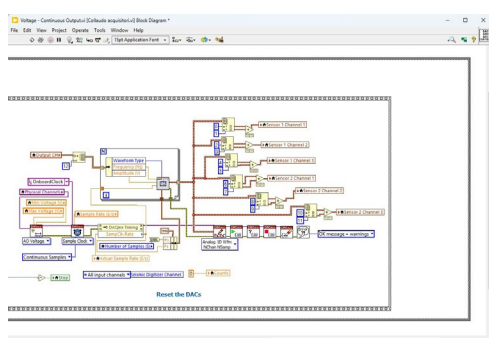


Figura 12 Seconda parte del primo diagramma a blocchi del VI “Collaudo acquisitori”.
Figure 12 Second part of the first block diagram of the VI “Collaudo acquisitori”.

5.4 Il pannello di controllo

In questo paragrafo vengono descritti i controlli presenti nel pannello di controllo dell'applicazione *Collaudo acquisitori*, con riferimento alla Figura 10.

Il gruppo di controlli denominato Channel Settings consente la selezione e la configurazione dei canali dei moduli NI-9269, attraverso i quali vengono generate le forme d'onda di prova da inviare all'acquisitore sismico oggetto del collaudo. In particolare, il controllo Physical Channels è di tipo stringa e permette di specificare i canali fisici da utilizzare, mentre Max Voltage e Min

Voltage sono controlli numerici che consentono di impostare rispettivamente i valori massimo e minimo (in volt) delle tensioni analogiche differenziali generate dai DAC integrati nei moduli. Nel gruppo di controlli denominato Timing and Buffer Settings viene invece definita, tramite il controllo Sample Source Clock, la sorgente di clock utilizzata per la temporizzazione del campionamento dei DAC. Tale sorgente è normalmente configurata in modalità OnboardClock, ossia riferita al real-time clock del CompactDAQ e quindi comune a tutti i canali di tutti i moduli installati nello chassis.

I controlli numerici Sample Rate e Number of Samples consentono di definire rispettivamente la frequenza di campionamento dei DAC e il numero di campioni nei buffer allocati in RAM per la visualizzazione delle forme d'onda dei segnali. Il primo è generalmente impostato a 1000 S/s, mentre il secondo viene configurato in modo da visualizzare nei display i segnali su un intervallo temporale scelto. Ad esempio, con un Sample Rate di 1000 S/s e un Number of Samples pari a 5000, le forme d'onda dei segnali di stimolo per il digitalizzatore sismico in esame vengono visualizzate su un intervallo di 5 s.

Nel gruppo di controlli Waveform Settings è possibile configurare il tipo di forma d'onda da applicare ai canali del digitalizzatore oggetto di test. In particolare, tramite il controllo a menu a tendina Waveform Type è possibile selezionare una delle quattro forme d'onda periodiche disponibili: sinusoidale, triangolare, quadrata e a dente di sega. Per ciascuna forma d'onda selezionata, i controlli Amplitude e Frequency consentono di impostare rispettivamente l'ampiezza, espressa in volt, e la frequenza, selezionabile nel range compreso tra 1 e 10 Hz.

L'ultima parte di controlli consente di selezionare i canali del digitalizzatore che si vogliono testare, previo collegamento opportuno (mediante i cavetti unipolari) tra i canali di uscita dei moduli NI-9269 del CompactDAQ e i canali di ingresso dell'acquisitore sismico in esame. Il collegamento tra il sistema di generazione dei segnali e il digitalizzatore sismico è realizzato utilizzando le sei uscite analogiche del sistema CompactDAQ, identificate come AO1–AO6. Ciascuna uscita è connessa a uno specifico ingresso del digitalizzatore, in modo da simulare i segnali provenienti da due sensori sismici triassiali.

In particolare, le uscite AO1, AO2 e AO3 del CompactDAQ sono collegate rispettivamente agli ingressi del Sensore 1 relativi agli assi verticale (Z), Nord–Sud (NS) ed Est–Ovest (EO), corrispondenti ai canali HHZ, HHN e HHE. Analogamente, le uscite AO4, AO5 e AO6 sono connesse agli ingressi del Sensore 2 relativi agli assi Z, NS ed EO, associati ai canali HNZ, HNN e HNE.

Tale configurazione consente di applicare segnali di test indipendenti a ciascun canale del digitalizzatore, permettendo la verifica funzionale e prestazionale del sistema di acquisizione su tutte le componenti assiali dei due sensori simulati. Come illustrato nel capitolo 3, i segnali acquisiti dal digitalizzatore sismico vengono visualizzati dal software SeisGram2K, che li identifica direttamente mediante il relativo codice di canale (HHZ, HHN, HHE, ecc.). Per quanto riguarda la connessione ai canali di uscita di ciascun modulo NI-9269, si rimanda alla Fig. 2, nella quale è riportato lo schema di collegamento dei quattro convertitori digitali-analogici (DAC). Da tale schema è possibile individuare i terminali positivo e negativo associati a ciascuno dei due canali di uscita analogica (AO).

Il controllo a menu a tendina Seismic Digitizer Channel consente di verificare il corretto funzionamento dei canali di ingresso dell'acquisitore sismico, permettendo di selezionare la visualizzazione e l'analisi simultanea di tutti i canali oppure di un singolo canale alla volta. La verifica viene effettuata mediante il confronto tra i segnali generati e visualizzati in LabVIEW e quelli acquisiti e riprodotti dall'acquisitore sismico in prova tramite il software SeisGram2K. Ai fini del confronto quantitativo delle ampiezze dei segnali generati e acquisiti, è possibile impostare la risoluzione in bit dell'acquisizione tramite l'apposito controllo Resolution. Tale impostazione consente di convertire le ampiezze espresse in volt in valori digitali (counts), coerentemente con il formato di visualizzazione adottato da SeisGram2K, che restituisce i segnali esclusivamente in counts.

Impostando il controllo Seismic Digitizer Channel a *Output channel*, è possibile acquisire i segnali di calibrazione generati dal digitalizzatore sismico mediante il modulo NI-9219 come descritto nei paragrafi 2 e 3. Tutti i segnali di stimolo destinati all'acquisitore, generati dal sistema CompactDAQ, nonché i segnali di calibrazione dei sensori, generati dall'acquisitore stesso e acquisiti dal CompactDAQ, vengono visualizzati mediante appositi display, opportunamente etichettati in funzione della tipologia di segnale e del canale di riferimento (Figura 10).

5.5 L'applicazione SeisGram2K

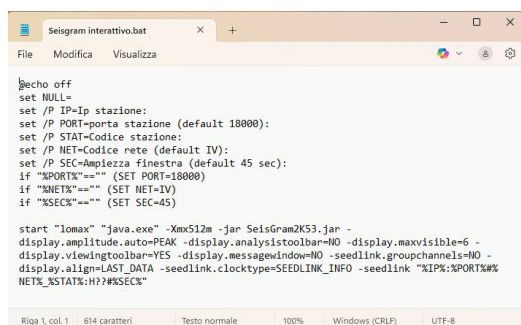
Come anticipato nel capitolo 3, per la visualizzazione delle forme d'onda riprodotte dalla UUT è stato utilizzato il software SeisGram2K [8], un'applicazione Java usata in sismologia per la visualizzazione in tempo reale dei segnali sismici (sismogrammi).

In pratica è un lettore e visualizzatore di dati in formato miniSEED [6] che, eseguito su un computer connesso via LAN all'acquisitore sismico, funge da applicazione client per lo scambio dei dati tramite protocollo SeedLink con il server in esecuzione sull'acquisitore.

Tra gli usi tipici del SeisGram2K si annoverano:

- sale di monitoraggio;
- test e debug di stazioni sismiche;
- didattica e ricerca;
- supporto a sistemi di acquisizione dati per il test e collaudo.

Per il suo utilizzo nel banco di test e collaudo, l'applicazione è stata configurata tramite un file .bat contenente le seguenti righe di comando, come mostrato nella Figura 13.



```

@echo off
set NULL=
set /P IP=Ip stazione:
set /P PORT=porta stazione (default 18000):
set /P STAT=Codice stazione:
set /P NET=Codice rete (default IV):
set /P SEC=Ampiezza finestra (default 45 sec):
if "%PORT%"==" " (set PORT=18000)
if "%NET%"==" " (set NET=IV)
if "%SEC%"==" " (set SEC=45)

start "lomag" "java.exe" -Xmx512m -jar SeisGram2K53.jar -
display.amplitude.auto=PEAK -display.analysis.toolbar=NO -display.maxvisible=6 -
display.viewingtoolbar=YES -display.messagewindow=NO -seedlink.groupchannels=NO -
display.align=LAST_DATA -seedlink.clocktype=SEEDLINK_INFO -seedlink "%IP%:%PORT%-%
NET%-STAT%:H??#SEC%"
  
```

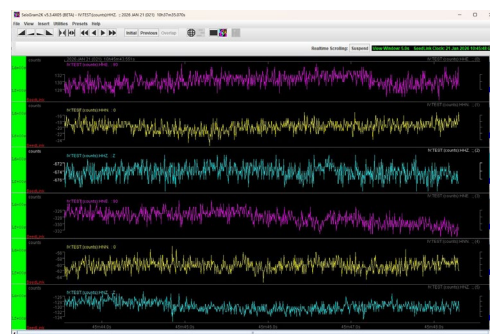
Figura 13 Script per la configurazione del SeisGram2K.

Figure 13 SeisGram2K configuration script.

All'avvio del programma, l'utente accede a un'interfaccia interattiva per la configurazione dei parametri di acquisizione. È necessario inserire l'indirizzo IP del server SeedLink (l'acquisitore sismico) e la relativa porta (predefinita solitamente sulla 18000). Vanno inoltre specificati il codice stazione e il codice rete. Per quanto riguarda l'ampiezza della finestra (espressa in secondi), si consiglia di impostare un valore uguale a quello dei sei display dedicati ai segnali del CompactDAQ, come descritto nel paragrafo precedente. Una volta terminata la configurazione il software apre la seguente finestra di visualizzazione dei segnali (Figura 14).

Figura 14 SeisGram2K avviato dopo la configurazione in modo interattivo.

Figure 14 SeisGram2K started after configuring interactively.



6. Test di funzionamento del digitalizzatore Nanometrics Centaur CTR4-6S

In questo capitolo si descrive il test di funzionamento effettuato sul digitalizzatore Nanometrics Centaur CTR4-6S [7], le cui caratteristiche principali sono di seguito illustrate:

- canali: 6 canali analogici simultanei ad alta risoluzione;
- risoluzione: convertitori Analogico-Digitale (ADC) di tipo sigma-delta a 24 bit reali;
- frequenza di Campionamento: supporta frequenze fino a 5.000 campioni al secondo (S/s);
- sincronizzazione: ricevitore GNSS integrato a 32 canali (compatibile con GPS, GLONASS, Beidou e Galileo) e supporto per protocolli NTP/PTP;
- memoria: 8 GB di memoria interna flash (espandibile fino a 256 GB) e uno slot per schede SD rimovibili fino a 256 GB;
- comunicazione: interfaccia web integrata per la configurazione, la visualizzazione delle forme d'onda in tempo reale e il monitoraggio dello stato di salute (SOH).

6.1 Test di congruenza e polarità dei canali

Come descritto nel capitolo 1, il digitalizzatore in esame viene sottoposto a uno stimolo costituito da sei segnali simultanei e tra loro identici, al fine di verificare la congruenza nella loro riproduzione e la corretta polarità delle connessioni interne. A tal fine, nel pannello di controllo vengono impostati i seguenti parametri:

- Number of Samples = 5000
- Waveform Type = Triangle Wave
- Frequency = 2 Hz
- Amplitude = 12,86 V
- Seismic Digitizer Channel = All input channel
- Resolution = 2,5E-6 (Gain = 1, 40 Vpp)

Mandando in esecuzione il VI *Collaudo Acquisitori*, la risposta della UUT (Centaur) è illustrata in Figura 15, che comprende sia la schermata del SeisGram2K che quella del pannello di controllo del suddetto VI con le impostazioni sopra descritte.

Poiché tutti i segnali riprodotti dal SeisGram2K sono perfettamente in fase, si deduce che le polarità dei terminali interni all'acquisitore in prova sono corrette.

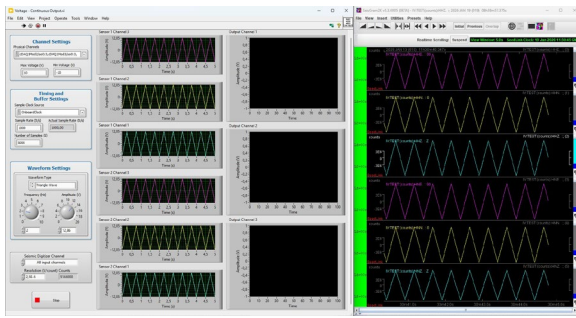


Figura 15 Test di congruenza e polarità dei canali per il Nanometrics Centaur.

Figure 15 Channels congruence and polarity test for the Nanometrics Centaur.

6.2 Test di corrispondenza dei canali, di linearità e uniformità di conversione

A titolo di esempio, la prova viene eseguita per verificare che, sul canale HNN del digitalizzatore Centaur, la forma d'onda del segnale selezionato sia riprodotta correttamente, senza distorsioni e con una corretta conversione dell'ampiezza in *counts*.

In questo caso impostiamo i seguenti parametri:

- Number of Samples = 5000
- Waveform Type = Sine Wave
- Frequency = 1 Hz
- Amplitude = 7,79 V
- Seismic Digitizer Channel = Sensor 2 Channel 2 - HNN
- Resolution = 2,5E-6 (Gain = 1, 40 Vpp)

In Figura 16 è mostrato il pannello di controllo con le impostazioni descritte per questo test, insieme alla finestra di visualizzazione del SeisGram2k con tutti i segnali riprodotti, mentre la figura successiva (Figura 17) consente di verificare, sempre mediante il SeisGram2K, la corretta riproduzione del segnale sinusoidale nonché il confronto tra il valore in counts fornito dal digitalizzatore (3116591 counts) (evidenziato in giallo insieme a quello relativo all'ampiezza negativa), con l'ampiezza teorica (3116240 counts) indicata nel pannello di controllo del VI di LabVIEW (Figura 16).

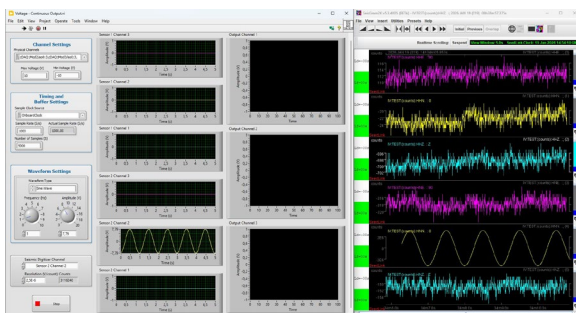


Figura 16 Test di linearità e uniformità di conversione per il canale HNN.

Figure 16 Linearity and conversion uniformity test for the HNN channel.

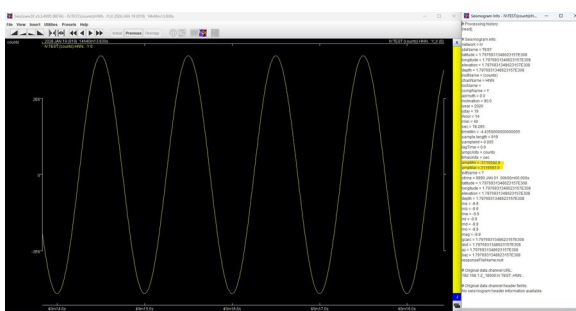


Figura 17 Test di linearità e uniformità di conversione per il canale HNN (dettaglio).

Figure 17 Linearity and conversion uniformity test for the HNN channel (detail).

La differenza di 351 counts, pari a circa 0,9 mV, rientra perfettamente nei limiti dell'incertezza di misura relativa al segnale di prova calcolata come descritto nel capitolo 3, e in questo caso di circa 2mV. Se impostiamo invece sul pannello di controllo i seguenti diversi parametri:

- Number of Samples = 5000
- Waveform Type = Sine Wave
- Frequency = 2 Hz
- Amplitude = 3,29 V
- Seismic Digitizer Channel = Sensor 1 Channel 3 - HHE
- Resolution = 1,25E-6 (Gain = 2, 20 Vpp)

Otteniamo le seguenti immagini dalle quali si deduce il perfetto funzionamento del dispositivo anche per il canale HHE, con una differenza in counts tra l'ampiezza massima misurata e quella impostata (teorica) ancora più piccola rispetto al caso precedente.

Figura 18 Test di linearità e uniformità di conversione per il canale HHE.

Figure 18 Linearity and conversion uniformity test for the HHE channel.

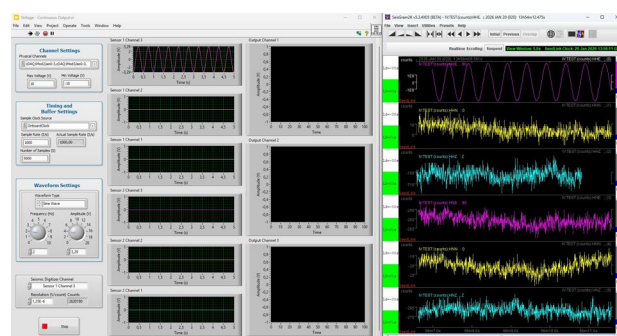
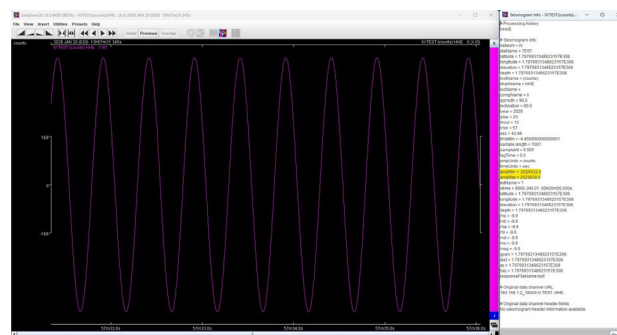


Figura 19 Test di linearità e uniformità di conversione per il canale HHE (dettaglio).

Figure 19 Linearity and conversion uniformity test for the HHE channel (detail).



6.3 Test dei segnali di calibrazione

Mediante questo test è possibile acquisire e visualizzare direttamente nel pannello di controllo dell'applicazione *Collaudo Acquisitori* i segnali di calibrazione generati dal digitalizzatore sismico, al fine di verificarne la corretta funzionalità e l'idoneità all'impiego per la calibrazione dei sensori sismici collegabili al dispositivo. A tal proposito basta configurare, nell'interfaccia web della UUT, il tool adibito alla generazione dei segnali di calibrazione e raffigurato in Figura 20.

Come si vede dalla figura, il Centaur è stato impostato per generare tre segnali sinusoidali di frequenza 1Hz, ampiezza 1V e della durata di 300s.

Mandando in esecuzione la nostra applicazione, impostata per acquisire tutti i segnali in uscita dal digitalizzatore sismico in prova, si ottengono le forme d'onda mostrate in Figura 21.

Come si può notare dalla figura, i segnali di calibrazione riprodotti sono esattamente quelli impostati mediante l'interfaccia web del Centaur.

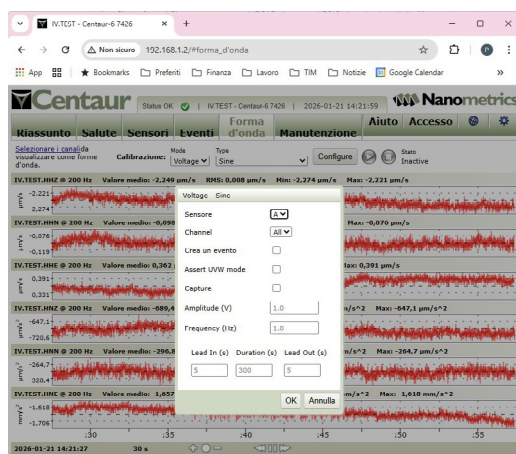


Figura 20 Configurazione del tool di generazione dei segnali di calibrazione per i sensori compatibili.

Figure 20 Configuring the calibration signal generation tool for compatible sensors.

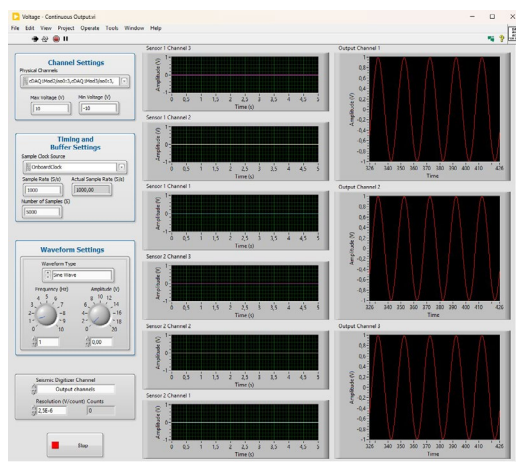


Figura 21 Visualizzazione dei segnali di calibrazione.

Figure 21 Calibration signal display.

7. Conclusioni

Tutte le prove sopra descritte hanno consentito di verificare, con un livello di accuratezza adeguato alle finalità di collaudo funzionale, che il digitalizzatore Centaur in prova riproduce fedelmente i segnali di stimolo generati mediante il sistema CompactDAQ, con ampiezze che rientrano, nei due casi analizzati, nei limiti di accuratezza dei moduli NI-9269. Le differenze osservate tra i valori teorici e quelli misurati risultano infatti pienamente compatibili con l'incertezza di misura associata al banco di test e non sono pertanto da considerarsi metrologicamente significative.

Anche l'acquisizione dei segnali di calibrazione generati dal digitalizzatore Centaur ha avuto esito positivo, evidenziando una piena coerenza tra i valori attesi e quelli misurati dal banco di test, sia in termini di ampiezza che di stabilità temporale.

Nel complesso, i risultati ottenuti confermano la corretta funzionalità dell'acquisitore sismico oggetto delle prove e dimostrano l'idoneità del banco di test e collaudo progettato a riprodurre in modo controllato, ripetibile e coerente con le specifiche operative le condizioni previste per l'utilizzo in campo. L'architettura basata su CompactDAQ, unita alla flessibilità del software di controllo e acquisizione sviluppato in ambiente LabVIEW, consente infatti di generare segnali di stimolo con caratteristiche ben definite e di analizzare in modo quantitativo la risposta degli acquisitori, riducendo sensibilmente i tempi necessari per l'esecuzione delle principali prove di funzionamento.

Il banco di test sviluppato non si limita al solo collaudo funzionale dei nuovi acquisitori, ma si presta a molteplici utilizzi aggiuntivi. In particolare, esso può essere impiegato per:

- attività di verifica periodica e ricalibrazione degli acquisitori sismici già installati, a supporto dei programmi di manutenzione;
- confronti prestazionali tra diversi modelli o configurazioni di acquisitori, valutandone il comportamento in presenza di segnali di ampiezza e frequenza controllate;
- test di robustezza e stabilità nel tempo, mediante prove di durata o cicli ripetuti di acquisizione;
- supporto alle fasi di aggiornamento firmware, permettendo di verificare l'impatto di aggiornamenti software sulle prestazioni dell'acquisitore;
- attività di formazione tecnica, fornendo uno strumento didattico per l'addestramento del personale alle procedure di test, calibrazione e diagnostica.

Alla luce di quanto emerso, il banco di test e collaudo può pertanto essere considerato uno strumento affidabile, versatile e scalabile, in grado di supportare efficacemente sia le esigenze di collaudo iniziale sia quelle di controllo e manutenzione lungo l'intero ciclo di vita degli acquisitori sismici. Eventuali estensioni future, quali l'integrazione di ulteriori canali, l'impiego di sensori di riferimento o l'automazione avanzata delle procedure di prova, potranno ulteriormente ampliarne le potenzialità applicative.

Ringraziamenti

Si ringraziano i colleghi Elio Milani e Ulderico Piccolini per aver realizzato i cavi utilizzati nel banco di misura.

Bibliografia

- Essick, J. (2018). *Hands-On Introduction to LabVIEW for Scientists and Engineers* (fourth edition). Oxford University Press: 720
- Gupta, S.V. (2012). *Measurement Uncertainties, Physical Parameters and Calibrations of Instruments*. Springer: 342
- Havskov, J., Alguacil, G. (2016). *Instrumentation in Earthquake Seismology* (second edition). Springer: 113-115
- Strappaveccia, P., Rao, S., Salvaterra, L., Perfetti, M. (2025). Misura della risoluzione di un acquisitore sismico. *Rapporti Tecnici INGV*, 493: 40 pp. <https://doi.org/10.13127/rpt/493>
- Strappaveccia, P., Rao, S. (2023). Misura della potenza elettrica assorbita da diverse stazioni sismiche, *Rapporti Tecnici INGV*, 460: 28 pp. <https://doi.org/10.13127/rpt/460>
- Travis, J., Kring J. (2006). *LabVIEW for Everyone LabVIEW: Graphical Programming Made Easy and Fun* (third edition). Prentice Hall: 981
- UNI (2018). *Incertezza di Misura – Parte 3: Guida all'incertezza di misura. Norma Italiana CEI UNI 70098-3: 2016*, 128.

Sitografia

- [1] <https://learn.ni.com/learn/article/getting-started-with-compactdaq-hardware-and-labview>
- [2] <https://www.ni.com/en.html>
- [3] <https://www.ni.com/docs/en-US/bundle/ni-9269-specs/page/specs.html>

- [4] <https://www.ni.com/docs/en-US/bundle/ni-compactrio/page/ni-9219.html>
- [5] <https://learn.ni.com/learn/article/labview-tutorial>
- [6] <https://docs.fdsn.org/projects/miniseed3/en/latest/>
- [7] <https://nanometrics.ca/instrumentation/products/digitizers/centaur>
- [8] http://alomax.free.fr/seisgram/beta/SG2K_School_Users_Guide.pdf



QUADERNI di GEOFISICA

ISSN 1590-2595

<https://collane-editoriali.ingv.it/index.php/qdg/it/index/>

QUADERNI di GEOFISICA è una rivista scientifica che pubblica dati, misurazioni e osservazioni geofisiche (anche preliminari) in italiano e inglese. L'obiettivo è una diffusione rapida e gratuita per la comunità scientifica, garantita da un processo di peer-review e da un Editorial Board multidisciplinare. La rivista è inclusa in "Emerging Sources Citation Index" di Clarivate Analytics e "Open Access Journals" di Scopus, e adotta il modello Diamond Open Access, che non prevede costi né per gli autori né per i lettori.

QUADERNI di GEOFISICA is a scientific journal that publishes geophysical data, measurements and observations, including preliminary results, in Italian and English. Its aim is to ensure rapid and free dissemination to the research community, supported by a peer-review process and by a multidisciplinary Editorial Board. The journal is included in the Emerging Sources Citation Index of Clarivate Analytics and it's included in the Open Access journals of Scopus. It follows the Diamond Open Access model, with no charges for either authors or readers.



RAPPORTI TECNICI INGV

ISSN 2039-7941

<https://collane-editoriali.ingv.it/index.php/rt/it/index>

RAPPORTI TECNICI INGV è una rivista tecnico-scientifica che mette in mostra le numerose attività tecnologiche e di ricerca condotte dai ricercatori e tecnici INGV, e non solo. Pubblicata in italiano e inglese, RAPPORTI TECNICI INGV è ideata per valorizzare anche quei lavori che offrono un contributo significativo dal punto di vista tecnico, operativo o documentale fondamentale per lo sviluppo dell'Ente. La rivista adotta il modello Diamond Open Access, che non prevede costi né per gli autori né per i lettori.

RAPPORTI TECNICI INGV is a technical-scientific journal that showcases the wide range of technological and research activities carried out by INGV researchers and technical staff, as well as by external contributors. Published in Italian and English, RAPPORTI TECNICI INGV is designed to highlight works that provide a significant contribution from a technical, operational, or documentary perspective, and that are essential to INGV development. The journal follows the Diamond Open Access model, with no charges for either authors or readers.



MISCELLANEA INGV

ISSN 2039-6651

<https://collane-editoriali.ingv.it/index.php/mi/it/index>

MISCELLANEA INGV rappresenta una tipologia di editoria non tradizionalmente catalogabile nelle ordinarie riviste scientifiche di settore. Pubblicata in lingua italiana e inglese, MISCELLANEA INGV offre uno spazio per la pubblicazione di materiali eterogenei che, pur non rientrando nei formati più strutturati delle altre Collane editoriali INGV, rivestono un interesse scientifico, tecnico o divulgativo. La rivista adotta il modello Diamond Open Access, che non prevede costi né per gli autori né per i lettori.

MISCELLANEA INGV represents a form of publishing that cannot be classified within the standard scientific journals. Published in Italian and English, MISCELLANEA INGV provides a venue for the publication of heterogeneous materials that are of scientific, technical or outreach interest, even though they do not fall within the more structured formats of the other INGV editorial series. The journal follows the Diamond Open Access model, with no charges for either authors or readers.

Progetto grafico
Barbara ANGIONI
Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

Ufficio Editoriale
Francesca DI STEFANO | Coordinatore

Segreteria di redazione
segreteria.collane-editoriali@ingv.it

Editing | Produzione | Grafica redazionale
Barbara ANGIONI
Massimiliano CASCONI
Francesca DI STEFANO
Patrizia PANTANI

© 2026 the Author(s). Open Access.
This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.



Creative Commons Attribution 4.0 International

