

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

FACOLTÀ DI INGEGNERIA

CORSO DI LAUREA TRIENNALE IN INGEGNERIA INFORMATICA

The seal of the University of Padua is a large, circular emblem in a reddish-brown color. It features two figures, likely personifications of Justice and Liberty, standing on either side of a central column. The figures are surrounded by a decorative border of stars and a chain of pearls. The Latin text 'UNIVERSITAS STUDII PADOVAE' is inscribed around the perimeter, and 'MCCXXII' is at the bottom.

**REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA
DI MISURA MULTI-SENSORE
MEDIANTE SCHEDA DI ACQUISIZIONE
DAQ NI USB-6211**

**IMPLEMENTATION OF A
MULTI-SENSOR MEASUREMENT
SYSTEM USING DAQ NI USB-6211
DATA ACQUISITION MODULE**

LAUREANDO:

Ventrudo Stefano - 578225 IF

RELATORE:

Prof.ssa Giada Giorgi

CORRELATORE:

Prof. Marco Stellini

Padova, 23 Settembre 2011

Anno Accademico 2010/2011

Alla mia Famiglia

Sommario

L'obiettivo di questo lavoro di tesi consiste nel realizzare un sistema multi-sensore utilizzando la scheda di acquisizione dati NI USB-6211 della National Instrument. Il dispositivo utilizzato come elemento di sensing è l'accelerometro MEMSIC MXA2500ML realizzato in tecnologia MEMS. Questo accelerometro a doppio asse è in grado di effettuare sia misure di accelerazione statica che dinamica. Al suo interno sono presenti tre sensori che misurano rispettivamente l'accelerazione lungo l'asse x, l'accelerazione lungo l'asse y e la temperatura. In funzione del valore della grandezza fisica misurata (accelerazione o temperatura), si ha in uscita un differente valore di tensione. Il dispositivo DAQ (Data Acquisition) avrà il compito di acquisire questi segnali e trasferirli nel computer, dove verranno opportunamente elaborati. Per configurare le modalità di acquisizione e visualizzazione dati è stato utilizzato il programma LabVIEW, e le librerie DAQmx messe a disposizione dalla National Instrument.

Nella prima parte di questa tesi verrà analizzato un sistema di acquisizione in generale, e quindi con maggior dettaglio, la struttura, il funzionamento e infine la programmazione mediante LabVIEW della scheda USB-6211. Nella seconda parte, dopo una breve introduzione generale sugli accelerometri e sulla tecnologia MEMS, verranno descritte le caratteristiche e l'organizzazione interna dell'accelerometro utilizzato; successivamente verrà illustrata la progettazione della basetta per l'accelerometro e le modalità di connessione con la scheda DAQ. Nel terzo capitolo verranno affrontati i temi dell'acquisizione e delle conversioni dei valori misurati, attraverso la realizzazione di due programmi che calcolano la temperatura e le accelerazioni lungo gli assi x e y. Infine l'ultima parte della tesi è dedicata alla realizzazione del sistema finale multi-sensore con inizio di lettura dei campioni in seguito ad un evento di trigger, dove il segnale di trigger viene implementato con un generatore di tensione.

Indice

1	Introduzione alle schede di acquisizione	1
1.1	NI USB-6211	3
1.2	Terminali scheda di acquisizione	6
1.3	Schema a blocchi della scheda	8
1.4	Ingressi Analogici	9
1.4.1	Range d'ingresso analogico	9
1.4.2	Tipologie di misure per segnali analogici	10
1.5	Uscite Analogiche	12
1.6	I/O digitali	12
1.7	PFI	13
1.8	Programmazione mediante LabVIEW	14
1.8.1	DAQ Assistant	15
1.8.2	NI-DAQmx Create Virtual Channel	15
1.8.3	NI-DAQmx Trigger	16
1.8.4	NI-DAQmx Timing	16
1.8.5	NI-DAQmx Start Task	17
1.8.6	NI-DAQmx Read	17
1.8.7	NI-DAQmx Write	17
1.8.8	NI-DAQmx Wait Until Done	17
1.8.9	NI-DAQmx Clear Task	18
1.9	Esempi di acquisizione dati	18
1.9.1	Acquisizione dati in assenza di segnale	18
1.9.2	Acquisizione di un'onda triangolare	20
1.10	Sistema di acquisizione: Riassunto	24
2	Descrizione del sistema di misura	26
2.1	Introduzione agli accelerometri	26
2.1.1	Sistema Massa Molla Smorzatore	26
2.1.2	Classificazione e tipologia degli accelerometri	29
2.2	Introduzione alla tecnologia MEMS	31
2.3	Accelerometro MEMSIC MXA2500ML	31
2.3.1	Principio di funzionamento	31
2.3.2	Convezione termica	32
2.3.3	Diagramma a blocchi dell'accelerometro	32
2.3.4	Descrizione dei pin	33
2.4	Sistema di misura utilizzato	34
2.4.1	Schedina per l'accelerometro	34
2.4.2	Connessioni tra Accelerometro MXA2500ML e Scheda DAQ NI USB-6211	38
2.5	Sistema di acquisizione: Riassunto	41

3	Acquisizione dei valori	43
3.1	Calcolo della temperatura	43
3.1.1	Codice sorgente	43
3.1.2	Pannello frontale	45
3.2	Acquisizione di accelerazioni e temperatura	48
3.2.1	Codice sorgente	48
3.2.2	Pannello frontale	51
4	Sistema di acquisizione in LabVIEW	56
4.1	Codice sorgente	56
4.2	Pannello frontale	62
	Conclusioni	64
	Bibliografia	71

Capitolo 1

Introduzione alle schede di acquisizione

Un sistema di acquisizione dati [1], DAQ (dall'inglese Data AcQuisition) è costituito dai seguenti elementi:

- generazione fisica del segnale
- sensore o trasduttore che converta il segnale fisico in un segnale elettrico come una tensione o una corrente
- eventuale amplificazione del segnale in uscita dal trasduttore
- scheda di acquisizione dati che converte il segnale analogico in ingresso in un segnale digitale
- computer dotato di software dedicato che controlla il sistema di acquisizione dati, analizza i dati acquisiti e presenta i risultati elaborati

I parametri fondamentali che caratterizzano una scheda DAQ sono la risoluzione della scheda, il range di misura, il guadagno, la frequenza di campionamento e i filtri:

- risoluzione della scheda: viene definita come il più grande cambiamento che si può avere sul segnale d'ingresso senza dar luogo ad alcuna variazione in uscita; dipende dal numero di bit del convertitore;
- intervallo di misura o range: risulta definito dai valori di tensione minimi e massimi consentiti dalla scheda; modificando il range di ingresso è possibile adattare il range dell'acquisitore al range del segnale, garantendo in questo modo la maggior risoluzione possibile;
- guadagno: indica un'operazione di amplificazione o di attenuazione del segnale prima che esso venga digitalizzato; lo scopo è, come precedentemente specificato, adattare i livelli del segnale di ingresso al range dell'acquisitore.
- frequenza di campionamento: è il parametro fondamentale che caratterizza la conversione A/D e viene definita come la misura (espressa in hertz) del numero di volte al secondo in cui un segnale analogico viene campionato e memorizzato in forma digitale. Una frequenza di campionamento elevata consente di ottenere una migliore rappresentazione del segnale originale rispetto ad una inferiore. Tutti i valori in ingresso devono essere campionati

ad una frequenza sufficientemente elevata per rappresentare adeguatamente il segnale analogico. Una frequenza di campionamento troppo bassa ne può determinare una rappresentazione scadente, a causa del fenomeno detto aliasing. Secondo il Teorema del Campionamento di Nyquist, infatti, per convertire un segnale senza perdita di informazione, bisogna campionare in modo uniforme (campioni equidistanti tra loro) e con una frequenza almeno doppia rispetto alla banda del segnale d'interesse.

- filtri: prima di essere convertito in un segnale digitale, il segnale analogico in generale è soggetto ad una degradazione a causa della presenza del rumore, la cui sorgente può avere l'origine più svariata.

Con riferimento alla modalità di connessione degli ingressi, una scheda di acquisizione dati può essere configurata in tre differenti modi:

1. Referenced Single-Ended (RSE)

In questo caso la misura è fatta rispetto alla massa del sistema; lo schema elettrico è illustrato in Figura 1.1.

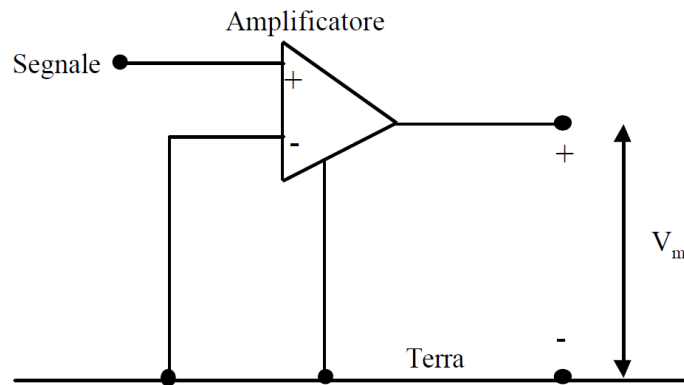


Figura 1.1: Segnale di tipo Referenced Single-Ended

2. Non Referenced Single-Ended (NRSE)

In questo caso il segnale non è riferito alla massa del sistema, ma ad un altro potenziale usato come riferimento; lo schema elettrico è illustrato in Figura 1.2.

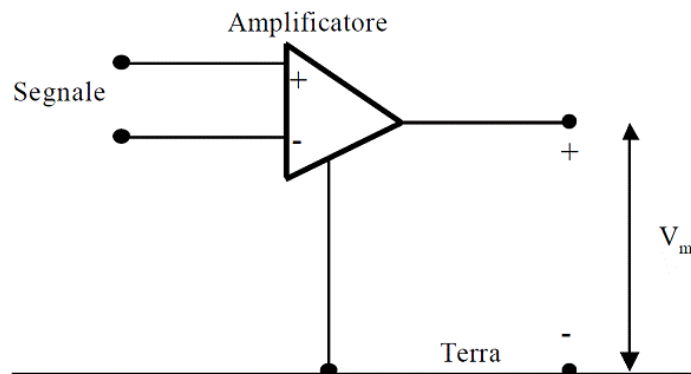


Figura 1.2: Segnale di tipo Non Referenced Single-Ended

3. Segnali di tipo Differenziale

Un sistema di misura differenziale (detto anche bilanciato) presenta tre terminali:

- a. un terminale che coincide con la terra comune
- b. un terminale al cui capo è presente la differenza di tensione ΔV^+ misurata rispetto a terra
- c. un terminale al cui capo è presente la differenza di tensione ΔV^+ invertita, che viene rappresentata con ΔV^- .

E' importante sottolineare che un sistema di misura differenziale è praticamente insensibile a quei disturbi che agiscono sulla terra innalzandone o abbassandone il livello di riferimento; infatti l'operazione di somma annulla gli effetti di eventuali variazioni. Lo schema elettrico è illustrato in Figura 1.3.

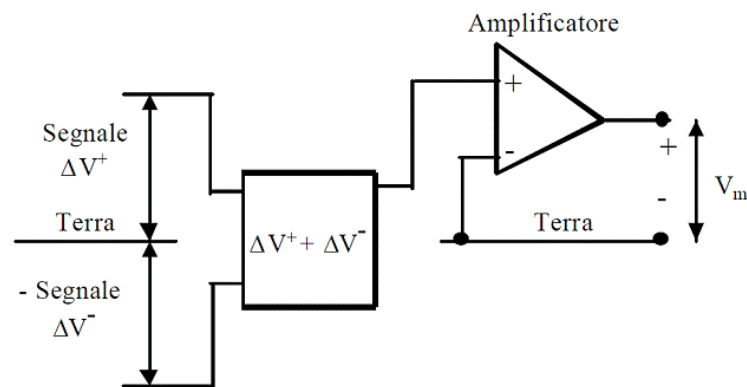


Figura 1.3: Segnale di tipo Differenziale

1.1 NI USB-6211

NI USB-6211 [2] è una scheda di acquisizione dati (DAQ) multifunzione isolata ed alimentata via bus USB. Questo dispositivo, oltre ad integrare le tecnologie più avanzate in commercio, è in grado di offrire ottime prestazioni, accuratezza e densità di canali I/O. Questa scheda di acquisizione si basa in particolare sulle seguenti tecnologie:

- NI-STC 2, un circuito ASIC (Application-Specific Integrated Circuit) progettato appositamente per i dispositivi DAQ della Serie M, aumenta il numero dei canali I/O per dispositivo e la velocità di trasferimento dati.
- Tecnologia NI-MCal, consiste in un motore di linearizzazione e calibrazione che offre accuratezza elevata per gli intervalli input.
- Tecnologia NI-PGIA 2, amplificatori di guadagno personalizzati che offrono maggiore risoluzione a frequenze di campionamento elevate.

La scheda [3] è caratterizzata da:

- frequenza di campionamento a singolo canale pari a 250 kS/s
- risoluzione a 16 bit

- 4 linee di input digitali
- triggering digitale
- 4 linee di output digitali
- 2 contatori/temporizzatori
- 16 input analogici
- 2 output analogici
- 4 intervalli di input programmabili (da ± 0.2 V a ± 10 V) per canale

L'USB-6211 della NI è stato progettato espressamente per applicazioni in sistemi portatili o di piccole dimensioni. Grazie all'installazione plug-and-play, i tempi di impostazione e di configurazione sono molto ridotti, mentre la connettività diretta dei terminali a vite mantiene i costi di cablatura ridotti e semplifica i collegamenti dei segnali. La scheda viene alimentata tramite cavo usb; nel caso di interfacciamento ad un computer, quindi, è quest'ultimo a fornire l'alimentazione necessaria al funzionamento del dispositivo.

Questo modulo include anche la nuova tecnologia per il trasferimento di segnale NI che permette il trasferimento bidirezionale dei dati di tipo DMA ad alta velocità tramite il bus USB.

In Figura 1.4 è mostrata una fotografia della scheda; sono visibili in particolare i morsetti per collegare eventuali cavi esterni e l'ingresso per il cavo di alimentazione USB. A fianco quest'ultimo è presente anche un led di stato verde, che lampeggia quando la scheda risulta alimentata. Le dimensioni del dispositivo invece sono riportate in Figura 1.5 (il valore tra parentesi è espresso in millimetri).



Figura 1.4: Vista frontale della scheda DAQ NI-6211 USB

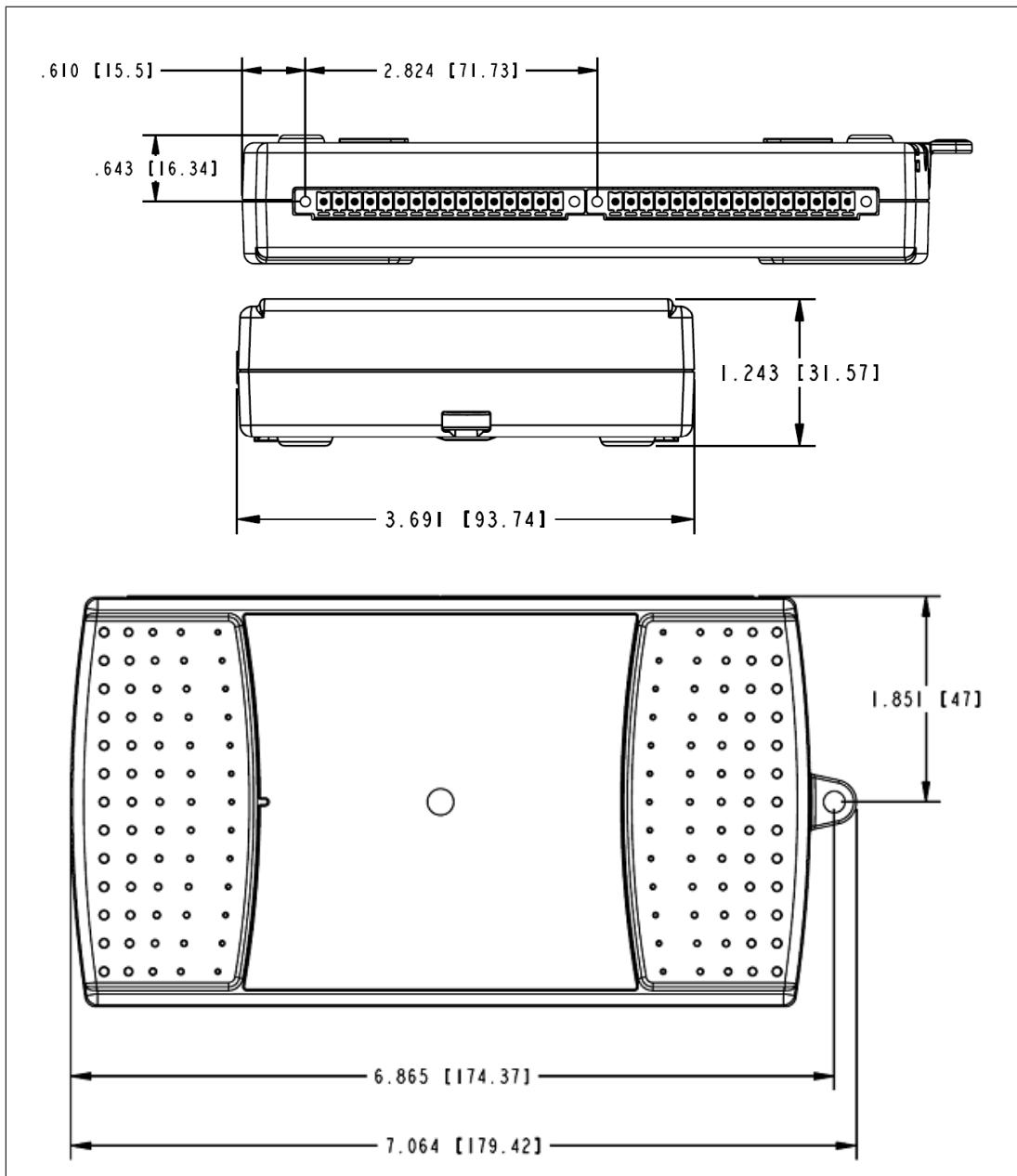


Figura 1.5: Dimensioni della scheda DAQ NI-6211 USB

1.2 Terminali scheda di acquisizione

In Figura 1.6 è riportata la disposizione dei vari terminali [4] del dispositivo, mentre la loro descrizione [5] è spiegata nella Tabella 1.1.

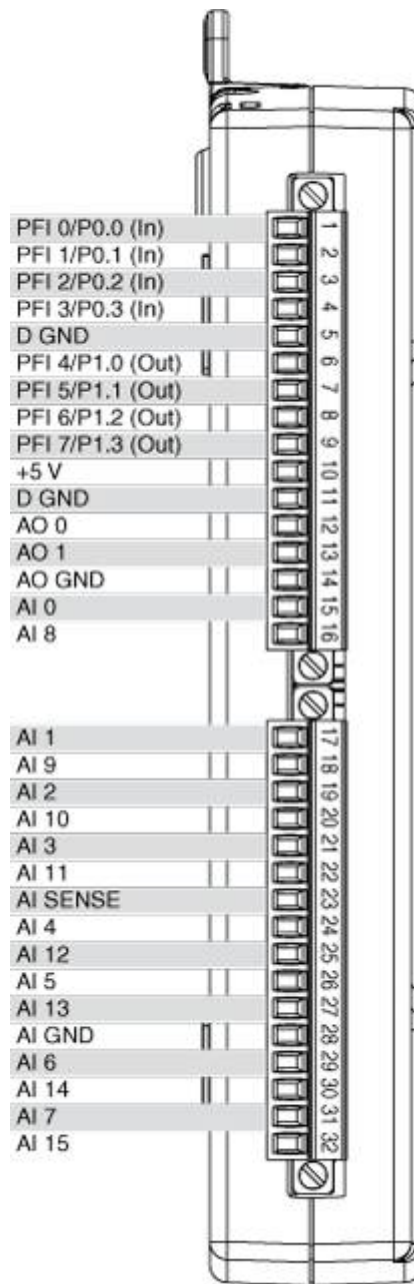


Figura 1.6: Disposizione dei terminali della scheda

Nome del segnale	Riferimento	Direzione	Descrizione
AI GND	—	—	Analog Input Ground – Questo terminale è il punto di riferimento per le misure AI in modalità RSE e il punto di ritorno della corrente di dispersione in modalità DIFF.
AI <0..15>	Vari	Input	Analog Input Channels 0 to 15 – In modalità RSE, AI GND è il riferimento per questi segnali. Mentre in modalità NRSE il riferimento è AI SENSE. Per misure differenziali AI0 e AI8 sono gli ingressi positivi e negativi del canale analogico 0. In maniera analoga, le seguenti coppie di segnali formano canali d'ingresso differenziali: <AI 1, A1 9>, <AI 2, A1 10>, <AI 3, A1 11>, <AI 4, A1 12>, <AI 5, A1 13>, <AI 6, A1 14>, <AI 7, A1 15>
AI SENSE	—	Input	Analog Input Sense – È il riferimento per ogni canale AI <0..15> in modalità NRSE.
AO <0..1>	AO GND	Output	Analog Output Channel 0 to 1 – Questi terminali forniscono la tensione di uscita dei canali AO 0 e 1.
AO GND	—	—	Analog Output Ground – È il riferimento per i canali AO <0..1>.
D GND	—	—	Digital Ground – D GND fornisce il riferimento per i PFI <0..7>/P0/P1 e per +5 V.
+5 V	D GND	Input o Output	+5 V Power – Questo terminale fornisce tensione pari +5 V o può essere usato per alimentare esternamente le uscite digitali.

Tabella 1.1: Disposizione dei terminali

Nome del segnale	Riferimento	Direzione	Descrizione
PFI<0..3>, P0.<0..3>	D GND	Input	Programmable Function Interface or Static Digital Input Channels 0 to 3 – Ogni terminale PFI può essere usato per fornire una sorgente esterna per gli AI, AO, o contatori/timer. È possibile usare questi terminali anche come linee d'uscita digitali.
PFI<4..7>, P1.<0..3>	D GND	Output	Programmable Function Interface or Static Digital Output Channels 4 to 7 – Ad ogni terminale PFI si possono indirizzare diverse uscite interne AI, AO, o contatori/timer. È possibile usare questi terminali anche come linee d'uscita digitali.

Tabella 1.1: Disposizione dei terminali (continuato)

1.3 Schema a blocchi della scheda

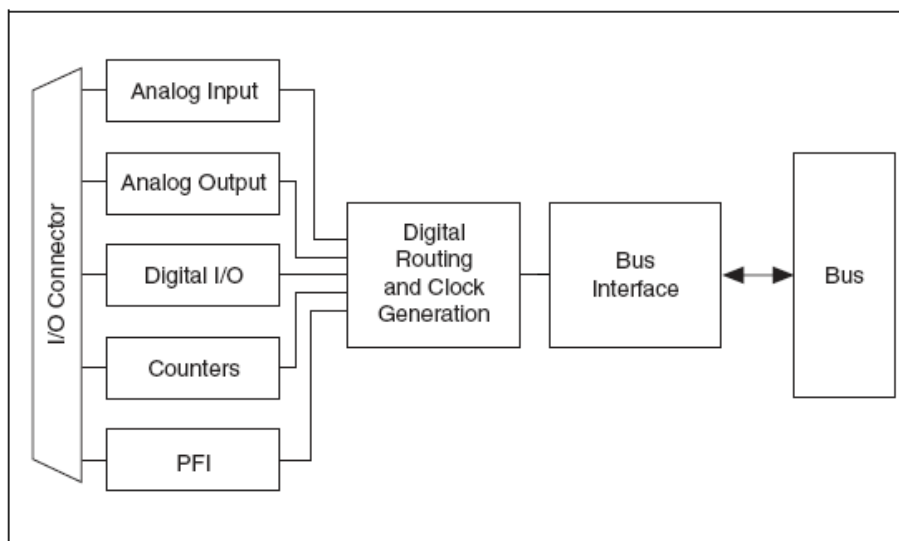


Figura 1.7: Schema a blocchi della scheda DAQ NI USB-6211

1.4 Ingressi Analogici

I blocchi principali che compongono la circuiteria di ingresso per segnali analogici sono i seguenti:

- I/O Connector – Tramite questo blocco è possibile collegare segnali analogici al dispositivo DAQ. La modalità di connessione dipende dal tipo di misura che si vuole effettuare, come verrà descritto in seguito.
- Mux – Al secondo stadio è presente un blocco di selezione (MUX) a cui sono collegati i canali di ingresso, che determina di volta in volta quale di essi trasferire al blocco successivo.
- AI Ground-Reference Settings – In questa sezione viene selezionato il tipo di misura da effettuare tra differenziale (DIFF), referenced single-ended (RSE) e non-referenced single-ended (NRSE). È importante sottolineare che ogni canale d'ingresso può usare una modalità differente.
- NI-PGIA – Si tratta di un amplificatore a guadagno programmabile che permette di minimizzare i tempi di assestamento per tutti i range d'ingresso. NI-PGIA può amplificare o attenuare un segnale analogico per assicurare la massima risoluzione del convertitore analogico-digitale, presente nel blocco successivo. Il dispositivo USB-6211 utilizza NI-PGIA per fornire elevata precisione anche quando si campionano ad alte frequenze più canali con piccolo range d'ingresso. Inoltre può campionare canali in qualsiasi ordine, al massimo della frequenza di conversione.
- ADC – Il convertitore analogico-digitale (ADC) converte il segnale analogico in ingresso in un segnale digitale.
- AI FIFO – La scheda DAQ è in grado di eseguire conversioni A/D singole e multiple, acquisendo un numero fisso o infinito di campioni. AI FIFO è un grande buffer, con politica First In First Out, che ha il compito di contenere i dati acquisiti senza perderli. Il dispositivo in esame, inoltre, ha la possibilità di gestire molteplici operazioni di conversione A/D tramite la DMA (Direct Memory Access), che trasferisce i campioni immediatamente nel computer collegato alla scheda, le interruzioni e gli I/O programmati.

In Figura 1.8 è rappresentata la Circoiteria di ingresso per i canali analogici della scheda analizzata.

1.4.1 Range d'ingresso analogico

Il range d'ingresso influisce sulla risoluzione del dispositivo per un canale AI (Analog Input). In questo caso, un ADC a 16 bit converte un segnale analogico in un valore digitale compreso tra 2^{16} (=65536) valori. Quindi, per un range d'ingresso compreso tra -10 V e +10 V, la tensione di ogni codice dell'ADC a 16 bit è:

$$\frac{10\text{ V} - (-10\text{ V})}{2^{16}} = 350\ \mu\text{V} \quad (1.1)$$

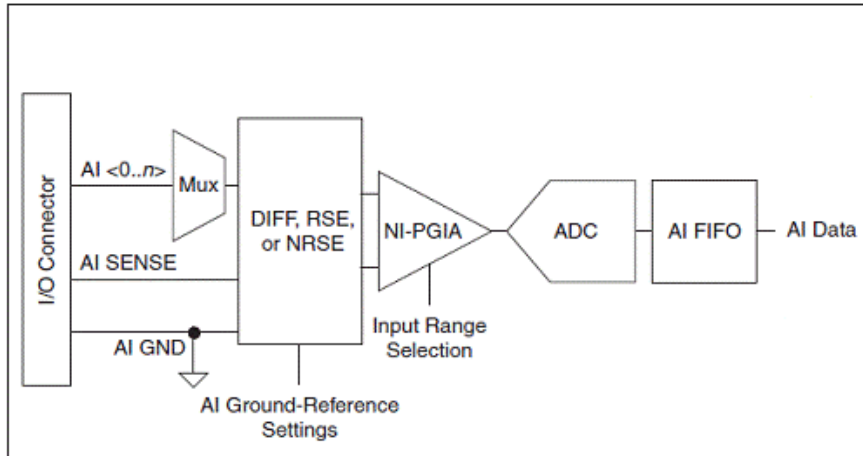


Figura 1.8: Circuiteria di ingresso per segnali analogici

1.4.2 Tipologie di misure per segnali analogici

Prima di poter effettuare una misura con la scheda di acquisizione è necessario specificare via software il tipo di misura da effettuare; questa scelta viene eseguita impostando opportunamente un parametro nello schema a blocchi di LabVIEW. Le misure disponibili sono:

- Differenziale – Il dispositivo USB-6211 misura la differenza di potenziale tra due terminali.
- Non-Referenced Single-Ended – Nella modalità NRSE, misura il potenziale di un terminale rispetto non alla massa, ma al pin AI SENSE.
- Referenced Single-Ended – In questo caso, il DAQ misura il potenziale di un terminale rispetto alla massa (AI GND).

In Tabella 1.2 si è riportato come i segnali vengono indirizzati al NI-PGIA, mentre in Tabella 1.3 sono illustrate le configurazioni riguardanti gli ingressi analogici.

Impostazioni di riferimento a massa per gli ingressi analogici	Segnali indirizzati all'ingresso positivo del NI-PGIA (V_{in+})	Segnali indirizzati all'ingresso negativo del NI-PGIA (V_{in-})
RSE	AI <0..15>	AI GND
NRSE	AI <0..15>	AI SENSE
DIFF	AI <0..7 >	AI <8..15>

Tabella 1.2: Configurazione ingressi analogici

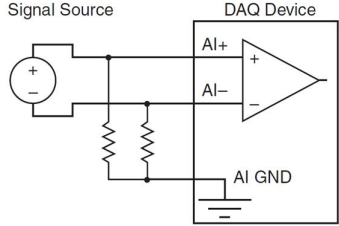
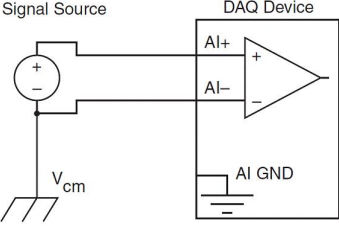
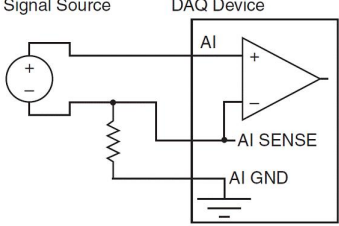
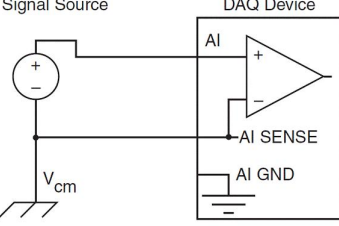
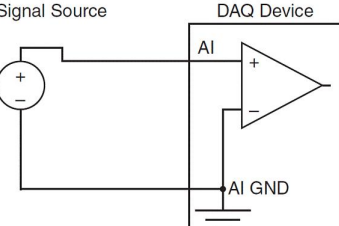
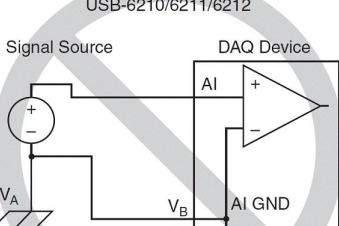
	<p>Sorgente di segnale flottante (non connessa a massa)</p>	<p>Sorgente di segnale grounded (connesso a massa)</p>
<p>Modalità di misura</p>	<p>Esempi:</p> <ul style="list-style-type: none"> • termocoppie • strumenti con uscite isolate • dispositivi con batteria 	<p>Esempi:</p> <ul style="list-style-type: none"> • strumenti con uscite non isolate
<p>Differenziale (DIFF)</p>		
<p>Non-Referenced Single-Ended (NRSE)</p>		
<p>Referenced Single-Ended (RSE)</p>		<p>NOT RECOMMENDED for the USB-6210/6211/6212</p>  <p>Ground-loop potential ($V_A - V_B$) are added to measured signal.</p>

Tabella 1.3: Configurazione ingressi analogici

1.5 Uscite Analogiche

I blocchi principali che compongono la circuiteria di uscita per segnali analogici sono i seguenti:

- DAC0 e DAC1 – Al primo stadio sono presenti due convertitori digitali-analogici, i quali convertono un segnale digitale in uno analogico.
- AO FIFO – Si tratta di un buffer di memoria con politica First In First Out che contiene i dati in uscita dal DAC.
- AO Sample Clock – Il segnale del Sample Clock legge un campione dal buffer e genera la tensione analogica d'uscita.

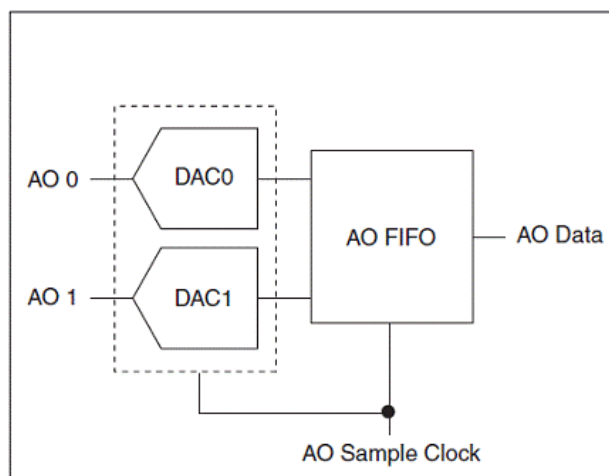


Figura 1.9: Circuiteria di uscita per segnali analogici

Nel caso delle uscite analogiche è stata dunque fatta una scelta progettuale diversa rispetto agli ingressi. Infatti, mentre questi ultimi condividono il convertitore analogico-digitale, ogni canale di uscita possiede un proprio convertitore digitale-analogico. Con questa scelta non è necessaria la logica di selezione del canale tramite MUX, come avviene invece per gli ingressi; tuttavia comporta anche un maggior costo in quanto ogni canale deve prevedere un convertitore.

1.6 I/O digitali

Il dispositivo NI USB-6211 ha fino a quattro linee statiche di ingresso digitali, P0.<0..3>. Queste linee possono anche essere utilizzate come ingressi PFI (Programmable Function Interface). Inoltre, ha fino a quattro linee di uscita digitali, P1.<0..3>. Queste linee possono anche essere utilizzate come uscite PFI (Programmable Function Interface). Le linee digitali in uscita sono disabilitate di default, all'accensione (alta impedenza con una resistenza pull-down di 47 kΩ). Il software può abilitare o no l'intera porta (non è in grado di attivare singole linee). Una volta abilitata, è possibile configurare individualmente ogni linea come segue:

- impostare una linea ad una statica 0
- impostare una linea ad una statica 1

- esportare un segnale d'uscita di temporizzazione per una linea come se fosse un pin PFI

In Figura 1.10 viene riportata la circuiteria I/O digitale. I terminali DI sono definiti nella scheda come P0.<0..3>, mentre i DO come P1.<0..3>. Il blocco "I/O Protection" serve a proteggere i segnali DI, DO, PFI da condizioni di sovratensione, bassa tensione e sovracorrente.

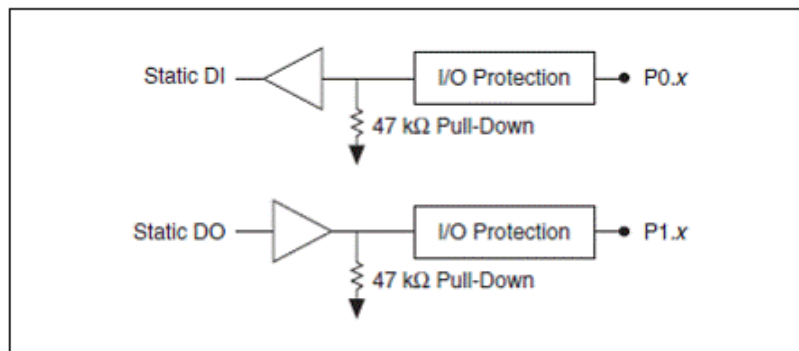


Figura 1.10: Circuiteria I/O digitale

1.7 PFI

Il dispositivo USB-6211 dispone di molteplici segnali Programmable Function Interface.

Ogni ingresso PFI può essere configurato individualmente come:

- un ingresso digitale statico
- un segnale d'ingresso per AI, AO, o funzione di contatore/timer.

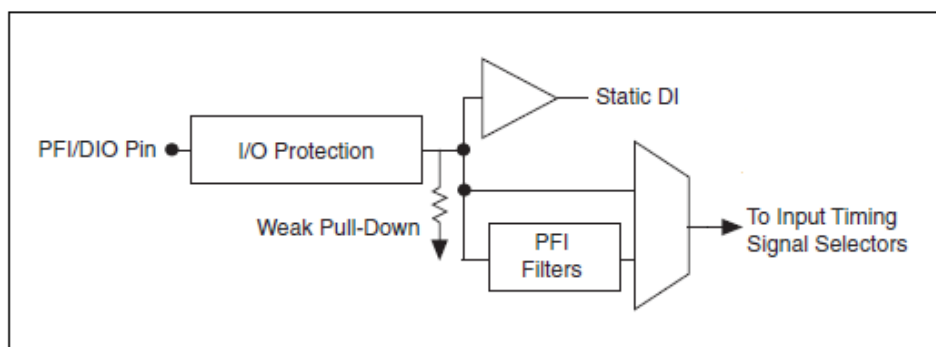


Figura 1.11: Circuiteria d'ingresso PFI

Ogni uscita PFI può essere configurata individualmente come:

- un'uscita digitale statica
- un segnale d'uscita per AI, AO, o funzione di contatore/timer.

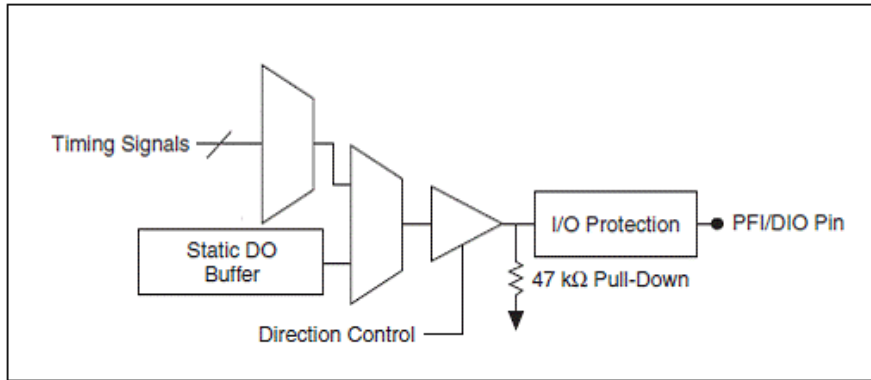


Figura 1.12: Circuiteria d'uscita PFI

1.8 Programmazione mediante LabVIEW

Il grande vantaggio nell'utilizzare questo dispositivo è la possibilità di impostarne la configurazione e quindi di gestire l'acquisizione o generazione dati tramite un computer grazie al software LabVIEW. Per farlo la National Instruments mette a disposizione una libreria software chiamata NI-DAQmx, che è un'evoluzione della libreria tradizionale NI-DAQ.

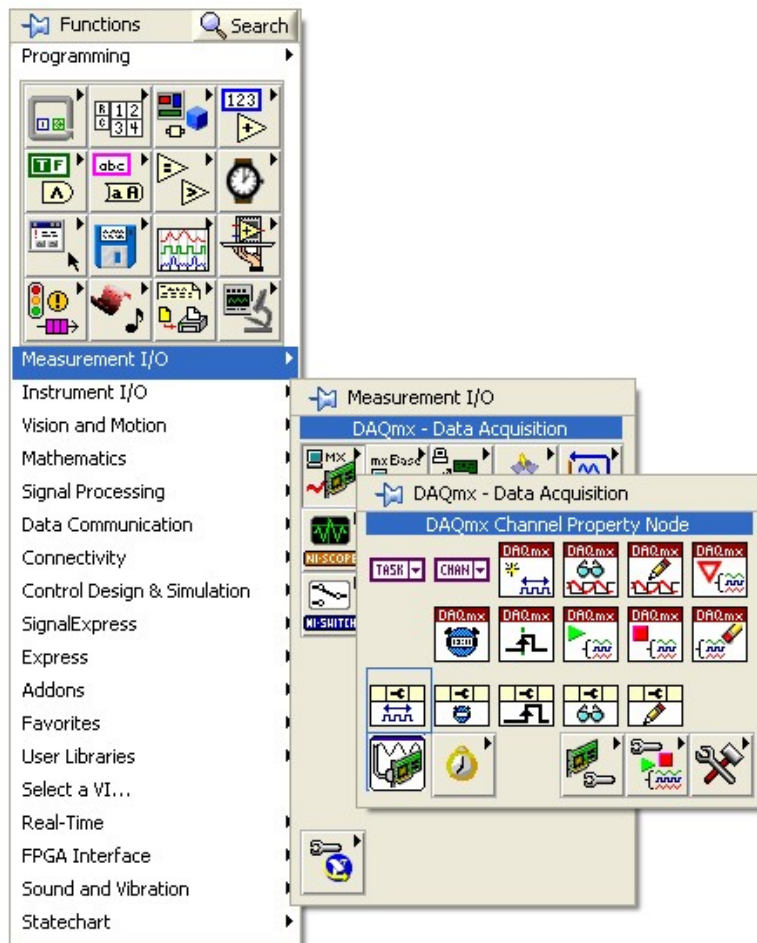


Figura 1.13: Libreria DAQmx

La grande utilità della libreria DAQmx è data dal fatto che le sue API (Application Programming Interface) sono le stesse per tutte le famiglie di dispositivi della NI e per le varie funzionalità che ogni scheda offre. Questo significa che tutte le operazioni di uno strumento come il DAQ-6211, vengono programmate con lo stesso insieme di funzioni. LabVIEW può interagire direttamente con DAQmx.

1.8.1 DAQ Assistant



Figura 1.14: DAQ Assistant

DAQ Assistant è un'interfaccia grafica interattiva per la creazione, la modifica e l'esecuzione di canali virtuali e task. Un canale virtuale è un oggetto software che incapsula un canale fisico, insieme ad altre proprietà che sono caratteristiche dell'operazione che si vuole effettuare, come il range della tensione in ingresso e la configurazione dei terminali. Queste informazioni, sebbene non siano strettamente necessarie da un punto di vista fisico per eseguire una misura, risultano molto utili in quanto consentono al sistema non solo di formattare correttamente i dati ottenuti, ma anche di ottimizzare l'hardware interno per l'operazione che si vuole eseguire. Un task rappresenta concettualmente un'operazione che si vuole effettuare, sia essa una misura o la generazione di un segnale. Dal punto di vista software, un task è una collezione di uno o più canali virtuali con l'aggiunta di alcune proprietà, ad esempio la temporizzazione o il triggering dei segnali; tutti i canali virtuali appartenenti ad uno stesso task devono essere della stessa tipologia, cioè o di ingresso o di uscita.

1.8.2 NI-DAQmx Create Virtual Channel

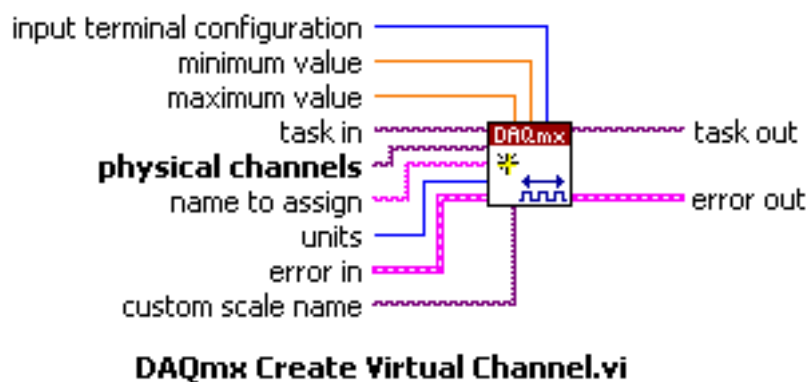


Figura 1.15: NI-DAQmx Create Virtual Channel

Questa funzione crea un canale virtuale e lo aggiunge a un task. Quando quest'ultimo non è specificato, la funzione lo crea automaticamente. Gli ingressi

del “Create Virtual Channel” differiscono per ogni istanza della funzione. In questo lavoro di tesi verrà utilizzata solo la voce “AI Voltage”, in quanto permette di acquisire segnali di tensione analogici. Con questo settaggio è necessario definire il numero minimo e massimo del valore atteso in ingresso, la configurazione dei terminali (differenziale, rse, nrse) e l’unità di misura (Volt).

1.8.3 NI-DAQmx Trigger



Figura 1.16: NI-DAQmx Trigger

Questa funzione configura un trigger per eseguire una determinata azione. Le azioni più comunemente usate sono un trigger di inizio e un trigger di riferimento. Il trigger di inizio avvia un’acquisizione o una generazione. Il trigger di riferimento stabilisce la posizione, in un insieme di campioni acquisiti, dove i dati pre-trigger finiscono e i dati post-trigger hanno inizio. Molte applicazioni di acquisizione dati richiedono la sincronizzazione delle diverse aree funzionali di un singolo dispositivo (ad esempio, uscita analogica e contatori). Altri richiedono più dispositivi da sincronizzare. Per raggiungere questo obiettivo, i segnali di trigger devono essere instradati tra le diverse aree funzionali di un singolo dispositivo e tra più dispositivi. NI-DAQmx esegue questa operazione automaticamente.

1.8.4 NI-DAQmx Timing

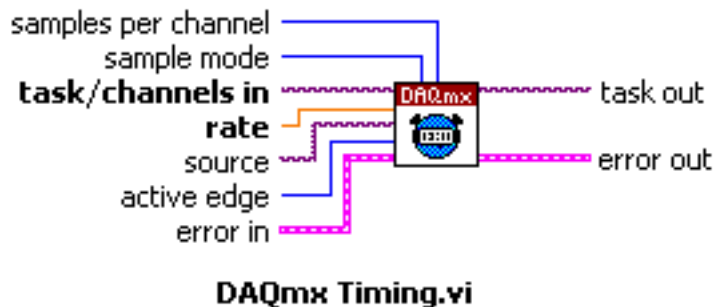


Figura 1.17: NI-DAQmx Timing

Questo blocco serve per configurare il numero di campioni da acquisire o generare, e crea un buffer quando necessario. La voce, per questa funzione, adottata in questa tesi è il “Sample Clock”. Attraverso questa è possibile stabilire la frequenza e la modalità di campionamento (continuo, finito), il numero di campioni da acquisire e il fronte attivo del Sample Clock (rising, falling). Come opzione si può definire anche la sorgente del clock; se questo ingresso rimane scollegato, viene usato, di default, quello interno del dispositivo.

1.8.5 NI-DAQmx Start Task



Figura 1.18: NI-DAQmx Start Task

Il blocco “NI-DAQmx Start Task” fa transitare il task allo stato di esecuzione. In questa fase viene eseguita l’acquisizione specificata o la generazione.

1.8.6 NI-DAQmx Read



Figura 1.19: NI-DAQmx Read

La funzione “NI-DAQmx Read” legge campioni dal task di acquisizione specificato. L’istanza del selettore polimorfico che viene di volta in volta selezionata permette di scegliere il formato dei dati da ritornare, ad esempio un array piuttosto che una “LabView Waveform”, quanti campioni acquisire alla volta, e se leggere da uno o più canali.

1.8.7 NI-DAQmx Write



Figura 1.20: NI-DAQmx Write

Il blocco “NI-DAQmx Write” viene utilizzato per generare dei campioni dalla scheda DAQ. Come al punto precedente è possibile specificare varie opzioni tramite il selettore polimorfico, ad esempio se generare uno o più campioni, e se formattarli come “LabView Waveform” piuttosto che come semplice array.

1.8.8 NI-DAQmx Wait Until Done

Questa funzione, se inserita in un task, fa sì che il sistema attenda fino a quando la generazione o l’acquisizione dei campioni termina, prima di compiere ulteriori operazioni sul task. Lo scopo principale di questo blocco è quello di assicurare al programmatore che il dispositivo abbia effettivamente completato la lettura o



Figura 1.21: NI-DAQmx Wait Until Done

la scrittura dei campioni, altrimenti si rischia di bloccare l'esecuzione del task in modo prematuro, con conseguente perdita dei campioni.

1.8.9 NI-DAQmx Clear Task



Figura 1.22: NI-DAQmx Clear Task

Questo blocco cancella il task specificato. Se questo è in esecuzione, la funzione arresta prima il task e poi rilascia tutte le sue risorse. Una volta che è stato cancellato, non può essere utilizzato. Per le operazioni continue, questa funzione dovrebbe essere usata per fermare l'acquisizione o la generazione.

1.9 Esempi di acquisizione dati

1.9.1 Acquisizione dati in assenza di segnale

In questo semplice esempio si realizza un'applicazione LabVIEW dove viene effettuato un test di acquisizione dati attraverso la scheda, senza collegare ad essa alcun ingresso. Lo scopo è quello di visualizzare il risultato ottenuto sul pannello frontale. In Figura 1.23 è mostrato lo schema a blocchi complessivo del VI (Virtual Instrument).

Come prima cosa è stato creato un canale virtuale di tipo "AI Voltage", che viene configurato tramite degli appositi controlli nel pannello frontale del VI, e che nello schema a blocchi sono "Configurazione dei terminali di ingresso", "Minimo valore del segnale", "Massimo valore del segnale". In questo esempio le linee da usare sono specificate tramite una costante "DAQmx Physical Channel". Un aspetto da notare, in questo programma, è che il canale virtuale ha il terminale "task in" scollegato. Di conseguenza, la libreria DAQmx crea, al momento dell'esecuzione del VI, un nuovo task a cui il canale virtuale viene automaticamente assegnato. La funzione successiva imposta le regole di temporizzazione del task. In particolare vengono acquisiti un numero finito di campioni, specificato tramite il comando "Finite Samples" e il controllo "Numero campioni da acquisire", alla frequenza di campionamento impostata dall'utente. È possibile impostare sia su "Rising", sia su "Falling" l'ingresso del blocco "Timing" relativo al fronte del clock su cui avviene il campionamento, perchè il dispositivo DAQ 6211 supporta entrambe le opzioni.

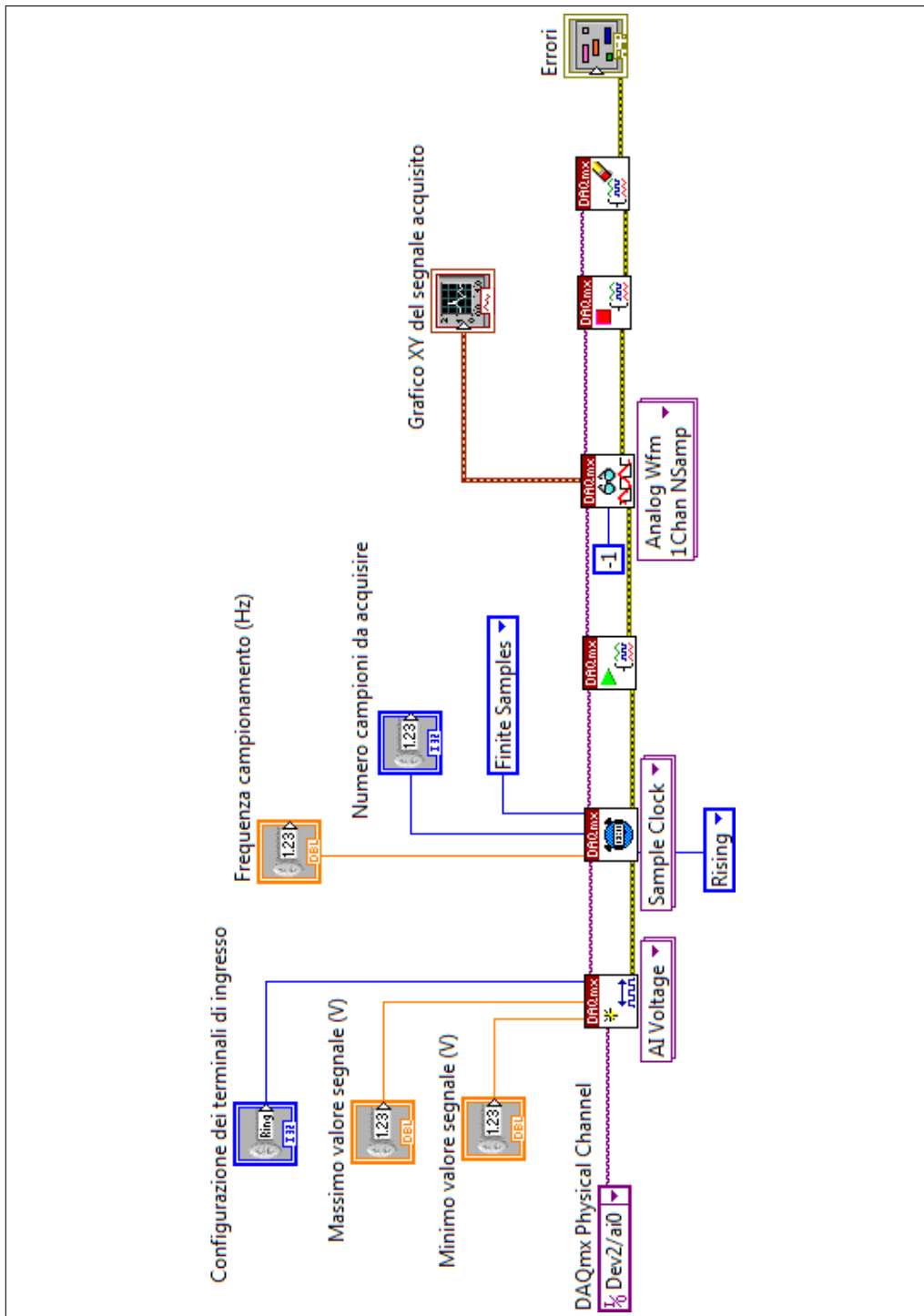


Figura 1.23: Schema a blocchi del VI

Il successivo blocco utilizzato è "NI-DAQmx Start Task", il quale avvia l'acquisizione di campioni. La prossima funzione è di tipo "Read", con il selettore polimorfico impostato su "Analog Wfm 1Chan NSamp" in quanto bisogna acquisire un segnale analogico da un unico canale. Il parametro "Number of samples per channel" è stato impostato a "-1", perchè così vengono acquisiti tutti i campioni disponibili nel buffer quando l'operazione di campionamento termina. Come si nota, manca l'ingresso "Timeout", che assume dunque il valore di default di 10 secondi. Infine sono presenti i blocchi che terminano l'esecuzione del task e prov-

vedono alla sua cancellazione, “Stop Task” e “Clear Task”. Il segnale acquisito viene infine visualizzato sfruttando il blocco “Waveform Graph” di LabVIEW. In Figura 1.24 è riportato il pannello frontale dell’esempio appena descritto.

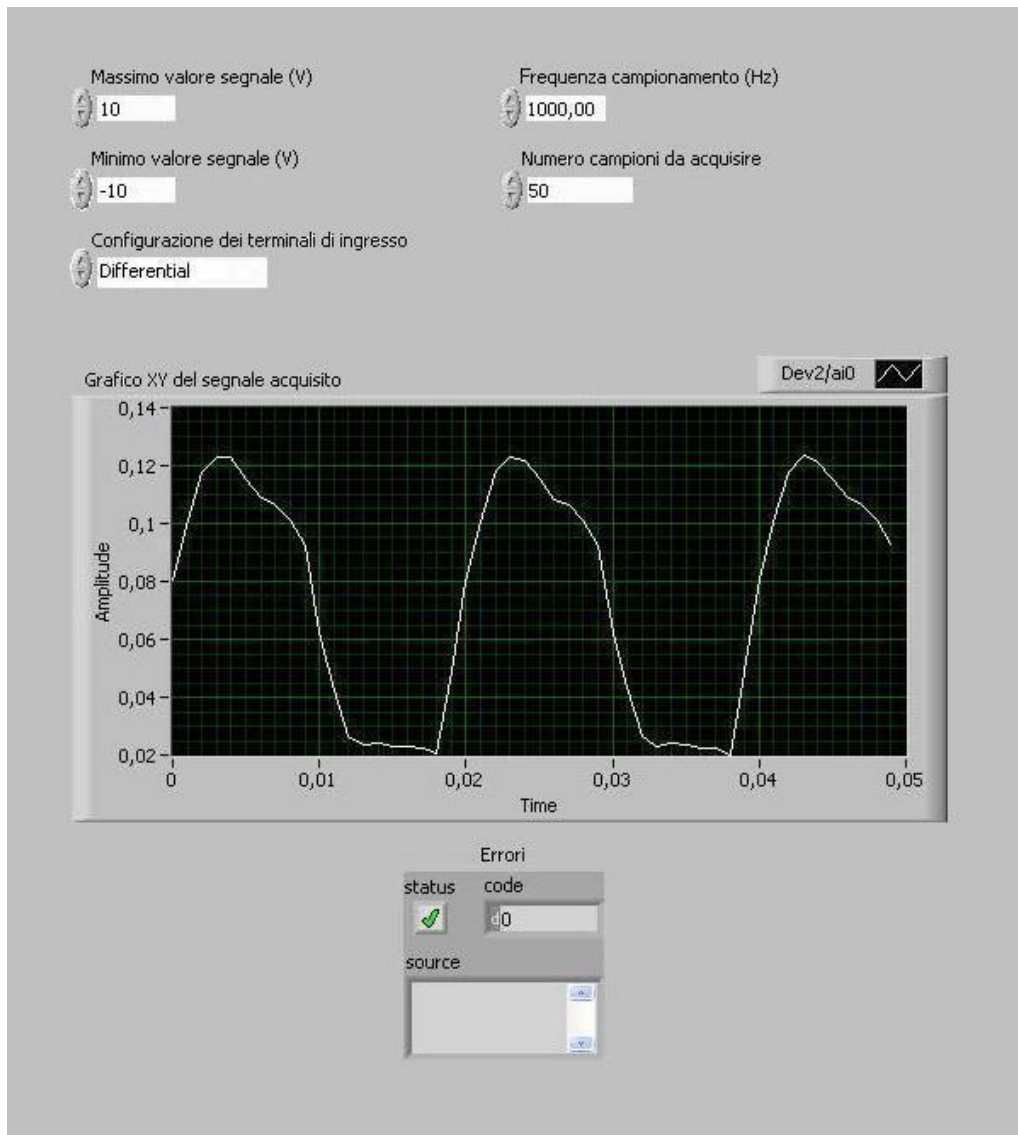


Figura 1.24: Pannello frontale dell’applicazione

1.9.2 Acquisizione di un’onda triangolare

Il secondo esempio consiste nell’acquisire un segnale con forma d’onda triangolare, in modalità differenziale. Per generare il segnale viene utilizzato un sistema di test alimentato tramite batteria da 9V, l’Agilent (HP) 54654A, illustrato in Figura 1.25.

Dovendo effettuare una misura di tipo differenziale, si deve utilizzare una coppia di terminali tra quelle descritte in Tabella 2. Scelti AI0 e AI8, il primo (di segno positivo) viene collegato al generatore di onda triangolare al piedino numero 8. Il secondo (di segno negativo) viene collegato a massa. Il risultato di questa configurazione è riportato in Figura 1.26. Lo schema a blocchi è simile a quello dell’esempio precedente, ed è illustrato in Figura 1.27.

In questo caso tutta la logica di acquisizione è stata inserita all’interno di un blocco

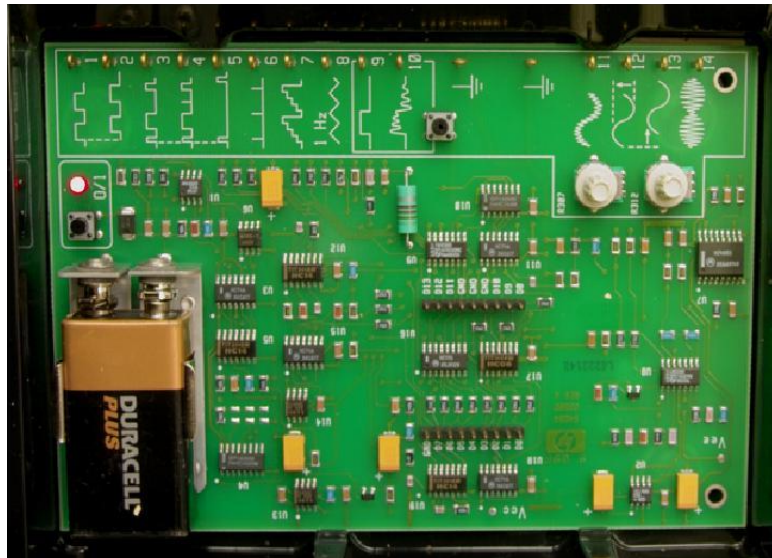


Figura 1.25: L'Agilent (HP) 54654A

“Event” di LabVIEW, sensibile alla pressione del tasto “Acquisizione segnale”. L'intera applicazione, invece, è contenuta all'interno di un ciclo “while”, che termina alla pressione del pulsante “Termina”.

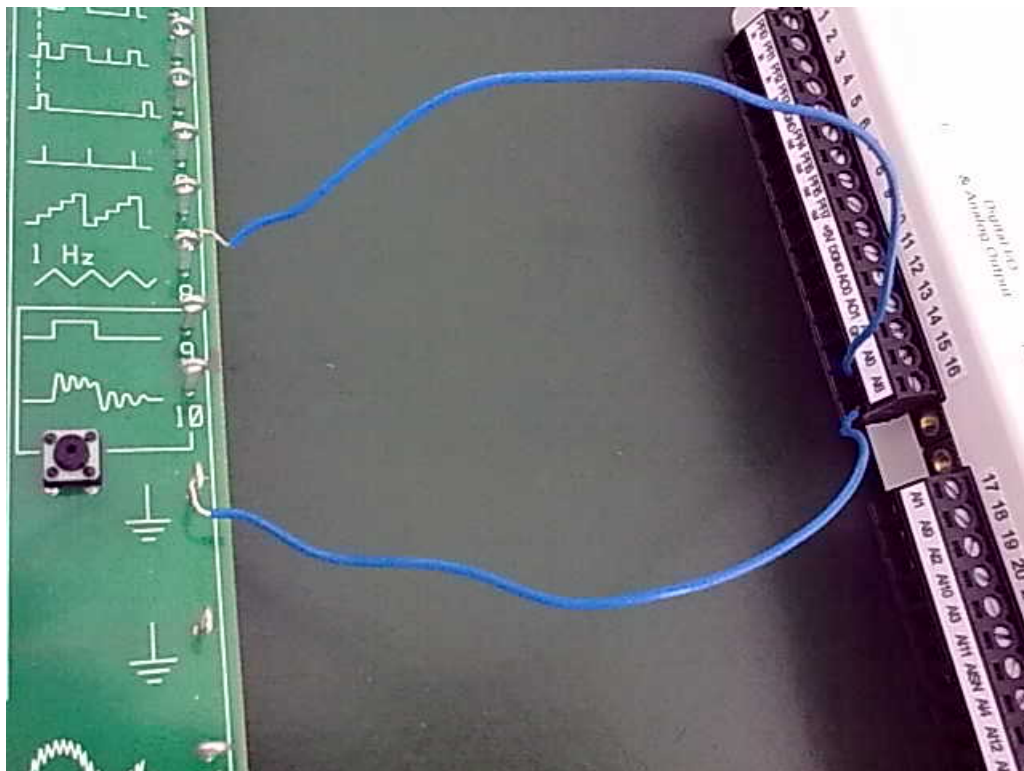


Figura 1.26: Connessione dei piedini

In questo modo è possibile effettuare più acquisizioni senza dover eseguire il VI ogni volta. All'esterno del blocco “Event” sono stati aggiunti alcuni parametri per illustrare la grandezza della finestra del segnale acquisito (in secondi) e il periodo di campionamento. Quest'ultimo si trova facilmente calcolando l'inverso della frequenza di campionamento (Hz). Invece la finestra si determina moltiplicando il

periodo di campionamento appena misurato per il numero di campioni da acquisire. In figura 1.28 viene riportata la forma d'onda acquisita dal dispositivo.

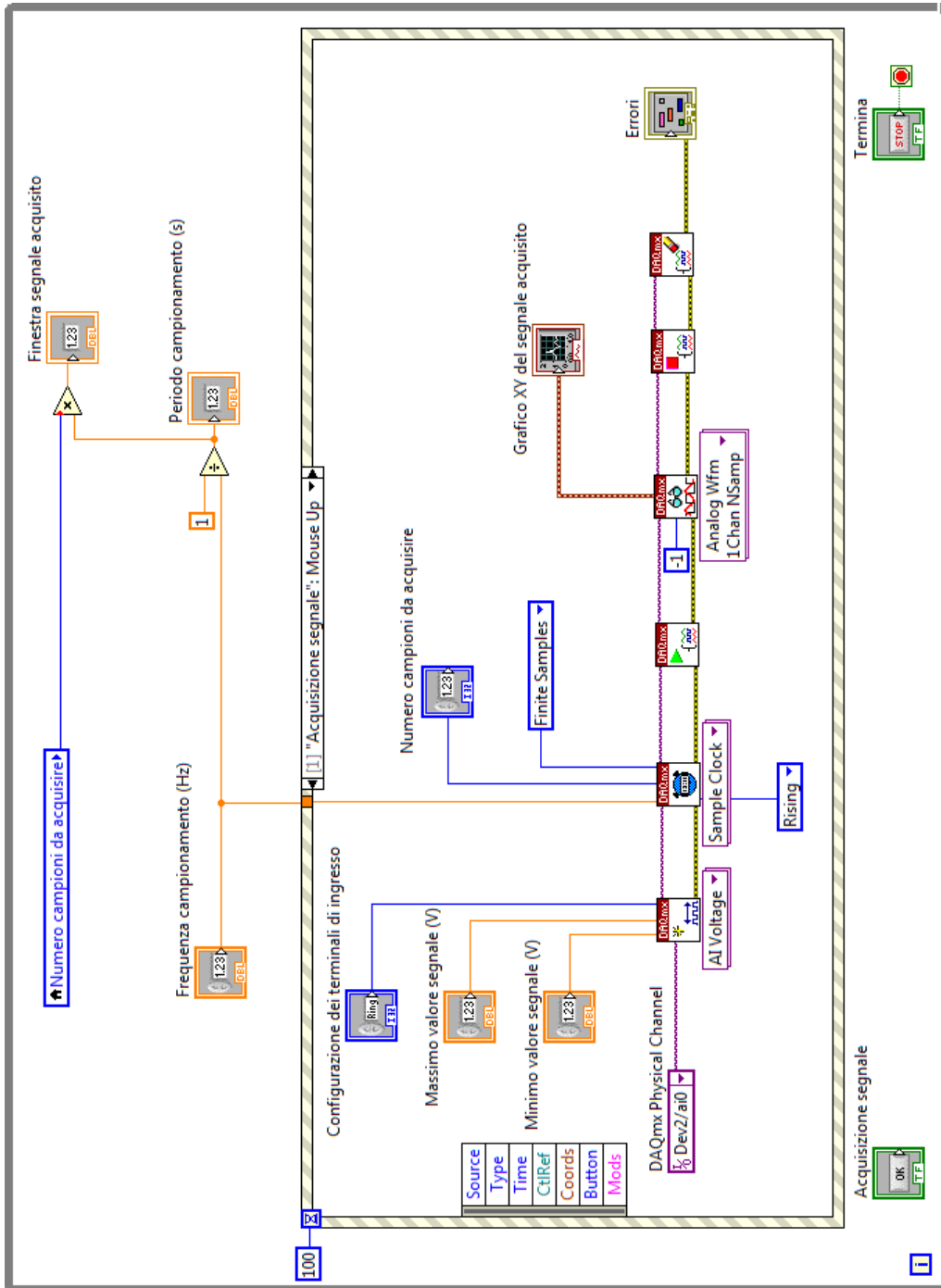


Figura 1.27: Schema a blocchi del VI

Infine si è misurato lo stesso segnale con un altro strumento, l'oscilloscopio. Per verificare il corretto andamento dell'onda acquisita con la scheda DAQ, si sono confrontati i due risultati. In Figura 1.29 viene rappresentata l'onda dell'oscilloscopio.

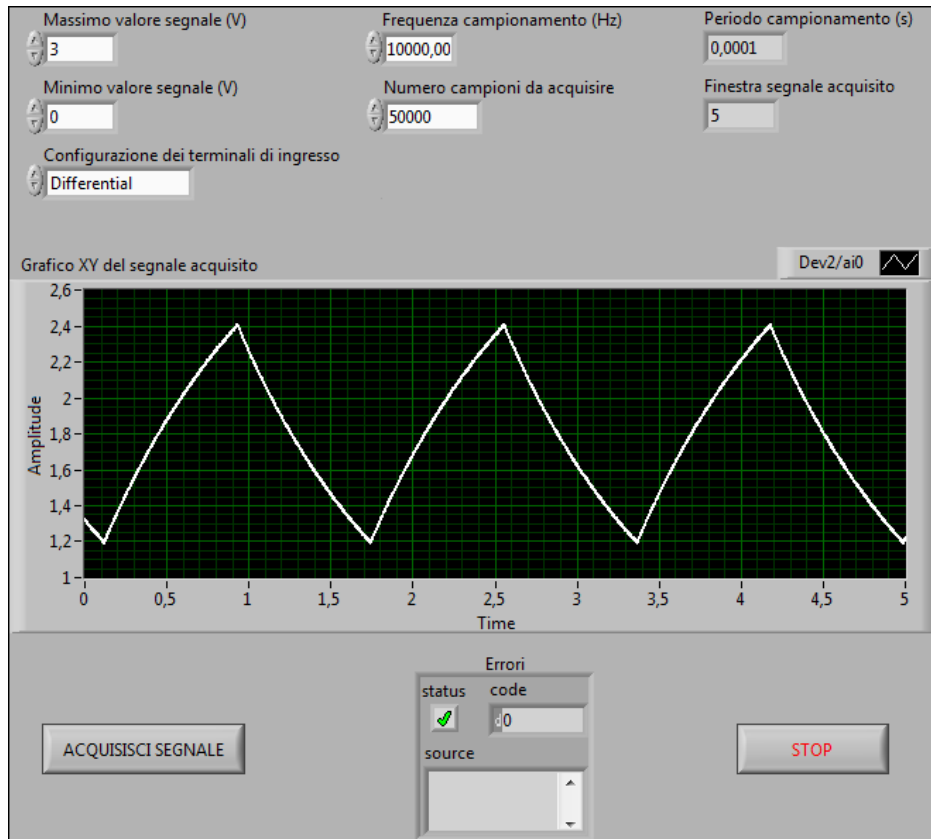
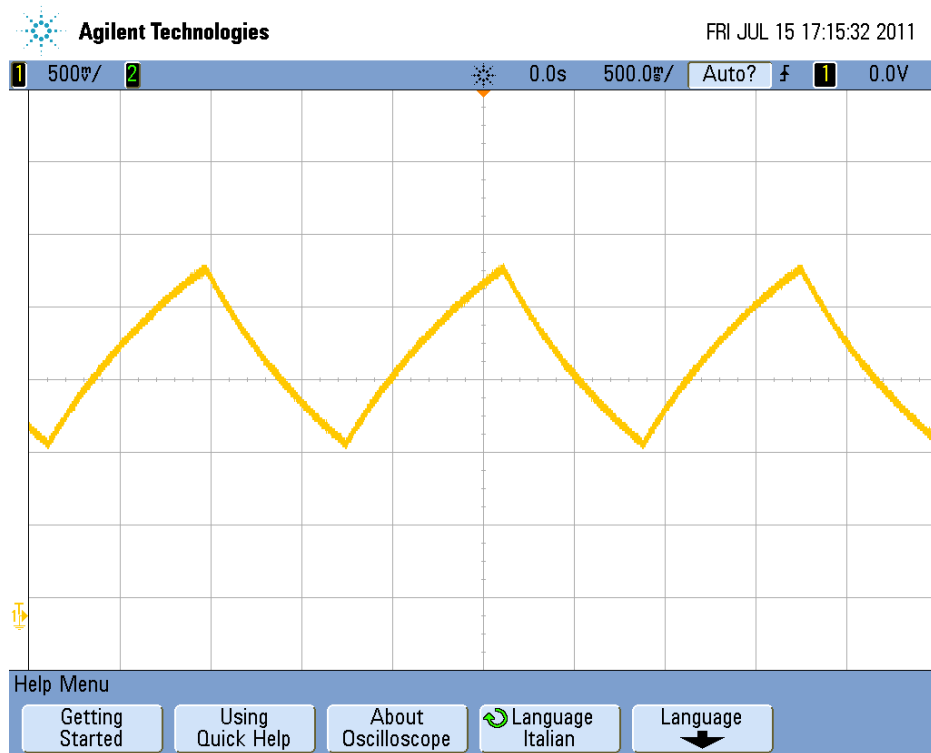


Figura 1.28: Pannello frontale dell'applicazione

Figura 1.29: Onda triangolare misurata tramite oscilloscopio
Notiamo che la misura effettuata col dispositivo NI USB-6211 è esatta.

1.10 Sistema di acquisizione: Riassunto

Il sistema di acquisizione realizzato è composto da:

- un computer portatile, con sistema operativo Windows XP.
- il software LabVIEW, versione 2010.
- un dispositivo di acquisizione dati DAQ NI USB-6211.
- un sistema di test Agilent HP 54654A.

Funzionamento:

- il dispositivo DAQ è alimentato dal PC via usb e collegato alla scheda-test.
- il sistema di test è alimentato da una batteria a 9V.
- il software LabVIEW è stato utilizzato per gestire e configurare l'acquisizione e visualizzazione dei dati.

In Figura 1.31 è illustrato il sistema realizzato per l'acquisizione di un'onda triangolare.

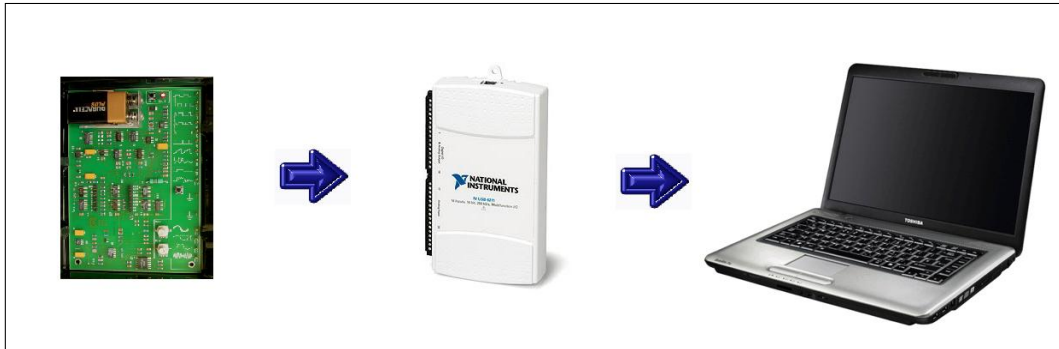


Figura 1.30: Sistema di misura

Capitolo 2

Descrizione del sistema di misura

2.1 Introduzione agli accelerometri

Un accelerometro [6] è un sensore in grado di rilevare e/o misurare l'accelerazione. Negli ultimi anni l'importanza di questi sensori è notevolmente accresciuta, questo perchè, accanto alle tradizionali applicazioni in ambito scientifico e aerospaziale, si è sviluppato il loro uso in molti campi civili (automobilistico, testing, analisi meccanica, ludico, ecc.). Esistono diversi tipi di accelerometri, tuttavia, il principio su cui si basano è sempre quello di una massa posizionata su un materiale elastico e un sensore che ne calcola la variazione di spostamento durante un movimento dell'oggetto. Nella sezione seguente viene illustrato questo sistema, chiamato Massa-Molla-Smorzatore [7].

2.1.1 Sistema Massa Molla Smorzatore

Una piccola massa (detta massa di prova, Proof Mass) viene tenuta sospesa grazie ad una molla con coefficiente elastico k . In presenza di un'accelerazione la massa si sposta dalla sua posizione di riposo di una quantità proporzionale alla forza F ad essa applicata, $F=ma$. La variazione della sua posizione viene convertita in un adeguato segnale elettrico contenente l'informazione relativa alla grandezza fisica misurata. Il sistema è dotato di un elemento smorzante, con costante di attrito viscoso c , per ridurre eventuali oscillazioni della massa. Quello che si ottiene è un sistema Massa-Molla-Smorzatore (MMS), rappresentato in Figura 2.1.

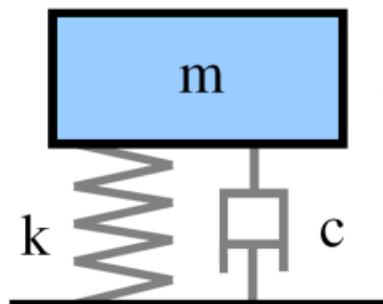


Figura 2.1: Sistema Massa Molla Smorzatore

Per il sistema illustrato vale la seguente equazione:

$$F_{ext} = F_m + F_c + F_k \quad (2.1)$$

F_{ext} è la forza esterna applicata al sistema ed equivale alla somma della forza inerziale della massa, della forza viscosa dello smorzatore e della forza elastica della molla rappresentate dalle seguenti formule:

$$F_m = ma = m\ddot{x} \quad (2.2)$$

$$F_c = -cv = -c\dot{x} \quad (2.3)$$

$$F_k = -kx \quad (2.4)$$

dove a è l'accelerazione, v la velocità e x lo spostamento.

In condizioni statiche l'unica forza ad agire è quella di gravità;

$$F_m = F_c + F_k = c\ddot{x} + kx \quad (2.5)$$

essendo il sistema in posizione di equilibrio, la velocità è nulla $\dot{x} = 0$, quindi la relazione tra accelerazione e scostamento è data da:

$$ma = kx \implies x = \frac{m}{k}a \quad (2.6)$$

dove la costante m/k rappresenta la sensibilità S dell'accelerometro.

Per effettuare misure dinamiche bisogna calcolare le oscillazioni che la massa subisce in presenza di una o più forze applicate su di essa. Distinguiamo le vibrazioni libere da quelle forzate.

Vibrazioni libere

Si verificano quando un sistema vibra senza essere sottoposto ad alcuna forzante. Idealmente, se il sistema non fosse dotato di alcun tipo di attrito continuerebbe a vibrare indefinitamente nel tempo. Un sistema non sottoposto a forzante vibra poiché le sue condizioni iniziali (spostamento, velocità ed accelerazione) all'istante iniziale sono diverse da zero. Oppure, in altra prospettiva, in un certo istante il sistema è in condizione diversa da quella di equilibrio.

L'equazione delle vibrazioni libere si ottiene risolvendo l'equazione 2.1 in assenza di forze esterne:

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = 0 \quad (2.7)$$

La sua omogenea associata è:

$$ms^2 + cs + k = 0 \quad (2.8)$$

Invece, la soluzione:

$$x(t) = A_1e^{s_1t} + A_2e^{s_2t} \quad (2.9)$$

dove A_1 e A_2 rimangono delle costanti che vengono determinate a partire dalle condizioni iniziali, una che assegna $x(0)$, l'altra $\dot{x}(0)$. Gli altri due parametri s_1 e s_2 corrispondono alle radici dell'equazione:

$$s_{1,2} = \frac{-c \pm \sqrt{c^2 - 4mk}}{2m} = -\frac{c}{2m} \pm \sqrt{\left(\frac{c}{2m}\right)^2 - \frac{k}{m}} \quad (2.10)$$

La massa, inizialmente in quiete e discostata dalla posizione di equilibrio, viene rilasciata in assenza di forze. Il moto che ne consegue dipende dai valori assunti da s_1 e s_2 .

Vengono definiti due nuovi parametri, la pulsazione naturale ω_n e il fattore di smorzamento ζ

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (2.11)$$

$$\zeta = \frac{1}{2} \frac{c}{\sqrt{k m}} \quad (2.12)$$

In base al valore assunto dal fattore di smorzamento, il nostro sistema avrà un comportamento differente:

- $\zeta > 1$, il sistema sarà sovrasmorzato; la massa torna subito al punto di equilibrio senza compiere oscillazioni.
- $\zeta = 1$, si ha lo smorzamento critico.
- $\zeta < 1$, il sistema è sottosmorzato, ovvero le oscillazioni diminuiscono esponenzialmente in ampiezza, ma permangono nel tempo. Minore è il fattore di smorzamento più a lungo dureranno.

In Figura 2.2 sono illustrati alcuni esempi dei moti appena descritti.

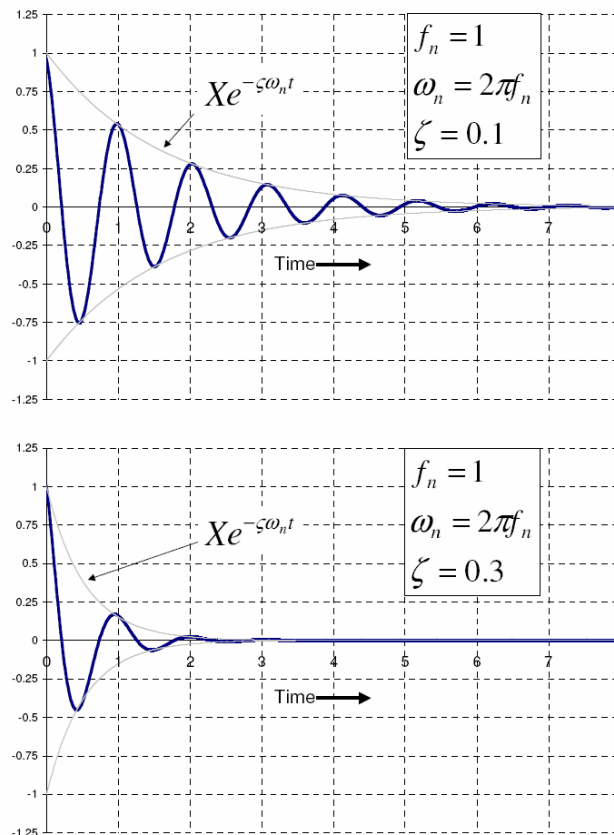


Figura 2.2: Esempi di moto in presenza di vibrazioni libere

Vibrazioni forzate

Sono le vibrazioni presenti in un generico sistema quando è sottoposto ad una forza esterna. Nel caso in cui la forzante sia di tipo sinusoidale l'equazione differenziale diventa:

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = F_0 \cos(2\pi ft), \quad \omega_f = 2\pi f \quad (2.13)$$

La soluzione è di tipo armonico; l'ampiezza del moto dipende dal rapporto tra pulsazione della forzante e pulsazione propria del sistema. Man mano che la frequenza della forza agente si approssima alla frequenza naturale del sistema, il moto cresce in ampiezza (Risonanza). La massa oscillerà alla stessa frequenza, f , della forza applicata, ma con uno sfasamento.

L'integrale generale dell'equazione 2.13 è dato dalla somma della soluzione omogenea, calcolata in precedenza, e di una soluzione particolare. Per una forzante sinusoidale si dimostra che l'integrale generale assume la forma

$$x(t) = C_1 e^{s_1 t} + C_2 e^{s_2 t} + A \frac{F_0}{k} \cos(\omega_f t + \phi) \quad (2.14)$$

dove A è il fattore di amplificatore dato dalla

$$A = \frac{1}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{\omega_f}{\omega_n}\right)^2\right]^2 + \left(2\zeta \frac{\omega_f}{\omega_n}\right)^2}} \quad (2.15)$$

e ϕ è l'angolo di fase dato da

$$\phi = \frac{2\zeta \frac{\omega_f}{\omega_n}}{1 - \left(\frac{\omega_f}{\omega_n}\right)^2} \quad (2.16)$$

Per ora è stata presentata un'analisi meccanica del funzionamento di un sensore di accelerazione, questa, poi, viene convertita in una differenza di posizione. Verranno analizzate ora le principali tipologie di accelerometri, soffermandosi su quelli di tipo MEMS, dato che il sistema multi-sensore realizzato è formato da un accelerometro di questo tipo.

2.1.2 Classificazione e tipologia degli accelerometri

Accelerometro estensimetrico (strain gauge): il principio su cui si basa l'accelerometro estensimetrico è quello della misurazione dello spostamento dovuto alla variazione di resistenza che il sistema ha subito. Questa variazione è dovuta alla deformazione (strain) che il sensore subisce quando sottoposto a sollecitazione. La deformazione deve essere reversibile, ovvero al cessare di essa i sensori dell'accelerometro devono tornare alle condizioni iniziali.

Accelerometri piezoelettrici: sfruttano materiali come cristalli di quarzo, che generano potenziale elettrico se viene imposta una deformazione. L'effetto piezoelettrico consiste nella ridisposizione di cariche elettriche a causa dello sforzo meccanico.

Accelerometri piezoresistivi: sono formati da una massa, tenuta in sospensione su una membrana di materiale plastico da due lamierini; sulla membrana vengono collegati due sensori piezoresistivi: tali strumenti presentano molte affinità con i normali estensimetri, ma hanno un raggio di azione molto

superiore a quest'ultimi, anche se la loro precisione diminuisce se sono presenti sbalzi di temperatura in fase di misurazione. I due sensori sono collegati fra loro mediante un ponte di Wheatstone. Imprimendo un'accelerazione alla massa, essa sarà soggetta ad uno spostamento la cui entità verrà rilevata dai sensori e trasferita al ponte, dove potrà essere facilmente misurata grazie ad un qualsiasi voltmetro.

Accelerometri magnetoresistivi: funzionano misurando variazioni di resistenza elettrica causata da un campo magnetico.

Accelerometri capacitivi: sfruttano, come principio per la rilevazione dello spostamento della massa, la variazione della capacità elettrica di un condensatore al variare della distanza tra le sue armature. In questi accelerometri, la massa (realizzata con materiale conduttivo) costituisce un'armatura, mentre l'altra è realizzata sulla struttura fissa del dispositivo, nell'immediata prossimità della massa. La massa viene sospesa su un elemento elastico relativamente rigido (tipicamente una membrana). Un apposito circuito rileva la capacità del condensatore così realizzato e genera un segnale elettrico proporzionale alla posizione della massa.

Accelerometri a trasferimento di calore: misurano i cambiamenti interni di trasmissione termica legati all'accelerazione. Una singola sorgente di calore è sospesa su una cavità, termistori posti tutt'attorno misurano asimmetrie geometriche nel trasferimento termico dovuti allo spostamento della massa calda. A questa categoria appartiene l'accelerometro utilizzato per questo lavoro di tesi.

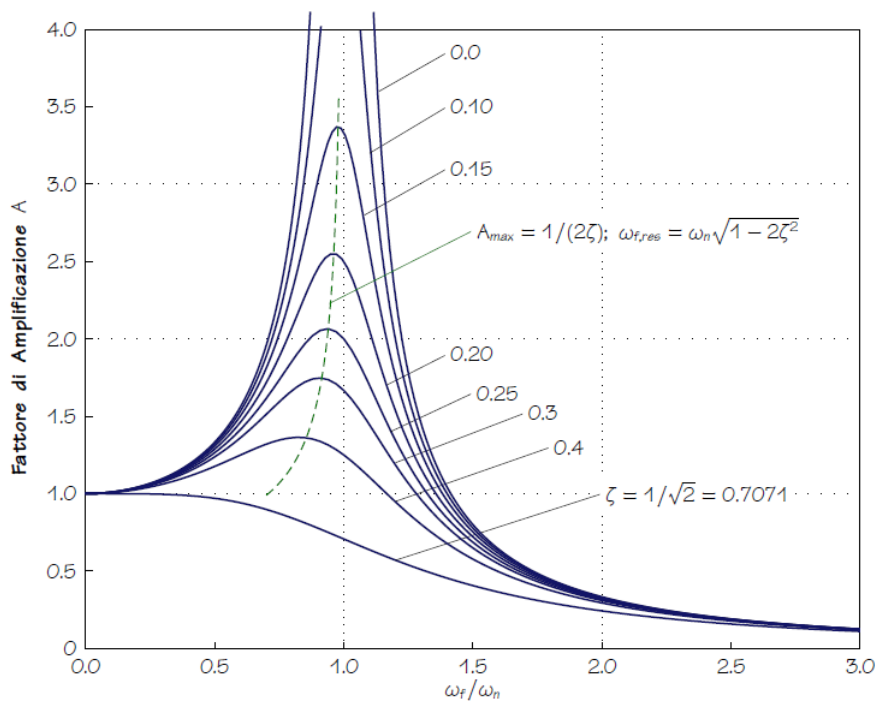


Figura 2.3: Esempi di moto in presenza di vibrazioni forzate

2.2 Introduzione alla tecnologia MEMS

Micro-Electro-Mechanical-Systems [8] (MEMS) rappresenta l'insieme di tutti quegli elementi (sensori, attuatori e dispositivi elettronici), costruiti attraverso un processo di microlavorazione su uno strato di silicio. Essi assumono una varietà considerevole di forme, funzioni e capacità (posizione, movimento, pressione, temperatura...). Questi microsistemi sono il risultato dell'integrazione dei "chip" con altre tecnologie innovative e rappresentano così una naturale evoluzione della microelettronica. Le parti elettroniche sono infatti realizzate usando i processi standard dei circuiti integrati; analoghi processi o tecniche di microlavorazione vengono usati per fabbricare i componenti meccanici o di altra natura che fanno parte dei MEMS. L'integrazione dei vari elementi meccanici ed elettronici in uno stesso substrato di silicio consente di realizzare un oggetto che ha molteplici funzioni e possibilità applicative. I circuiti elettronici del chip possono essere visti come il "cervello" di un sistema, cui gli altri dispositivi contenuti nello stesso chip aggiungono "sensi" e "braccia". Si ha quindi un sistema in grado di captare informazioni dall'ambiente, di prendere decisioni e, infine, di attuare le azioni opportune. I sensori possono misurare fenomeni di varia natura: meccanica, termica, biologica, chimica, ottica, magnetica, ecc. I circuiti elettronici del chip elaborano i dati raccolti e indicano agli attuatori le azioni da effettuare: muovere, posizionare, regolare, pompare, filtrare, ecc. L'interesse per i MEMS deriva dal fatto che possono essere impiegati in svariati prodotti/settori, consumano pochi materiali, sono economici e, pur avendo dimensioni dell'ordine dei micron o dei millimetri, sono in grado di eseguire le stesse funzioni di rilevazione, elaborazione e di attuazione di oggetti molto più ingombranti e costosi. Nelle sezioni successive vengono descritte le caratteristiche dell'accelerometro biassiale "MXA2500ML", utilizzato nella realizzazione di questa tesi.

2.3 Accelerometro MEMSIC MXA2500ML

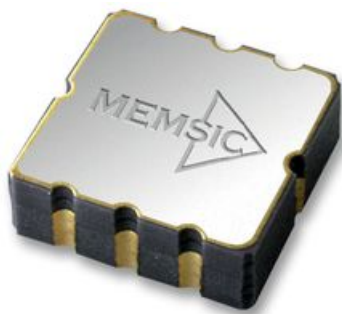


Figura 2.4: MEMSIC

MXA2500ML [9] è un accelerometro a basso costo, a doppio asse, realizzato con un circuito integrato (IC) monolitico CMOS. Può misurare accelerazioni con un range di fondo scala pari a $\pm 1,7g$ e una sensibilità di $500mV/g$ ($g =$ accelerazione di gravità). Inoltre è in grado di misurare sia l'accelerazione dinamica (come le vibrazioni) che l'accelerazione statica (come la forza di gravità). Questo dispositivo misura le accelerazioni lungo due assi (x e y) basandosi sulla asimmetria delle variazioni della temperatura all'interno di una massa gassosa.

I segnali elettrici provenienti da tali sensori vengono opportunamente trattati dalla rete di condizionamento e, poi, inviati alla scheda di acquisizione, che permette di elaborare i dati in tempo reale.

2.3.1 Principio di funzionamento

Il principio di funzionamento degli accelerometri MEMSIC è basato sul trasferimento di calore dovuto a convezione spontanea. Essi misurano i cambiamenti interni della distribuzione del calore causati dall'accelerazione. Sono funzional-

mente equivalenti ai tradizionali accelerometri massa-molla ma in questo caso la massa di prova è un gas. Ciò offre grandi vantaggi rispetto all'uso delle consuete masse solide. Il dispositivo non mostra zone morte dovute all'attrito, e offre una resistenza agli shock fino a 50000g, il che comporta una significativa riduzione della percentuale di guasti e minori scarti durante la fase di assemblaggio.

Una sorgente di calore, centrata nel chip di silicio, è sospesa all'interno di una cavità. Ai lati di essa sono posti alcuni sensori di temperatura, equidistanti sui quattro lati (dual axis). Quando l'accelerazione è zero, tutti misurano la stessa temperatura e quindi in uscita ci sarà lo stesso valore di tensione. Muovendo il MEMSIC in qualunque direzione, il gas, a causa di una convezione libera di calore, si muove, modificando i valori precedenti. La tensione differenziale all'uscita dei sensori è direttamente proporzionale alla componente dell'accelerazione lungo i due assi. Ci sono due identici percorsi del segnale di accelerazione nel dispositivo, uno per misurare l'accelerazione lungo l'asse x, l'altro lungo l'asse y.

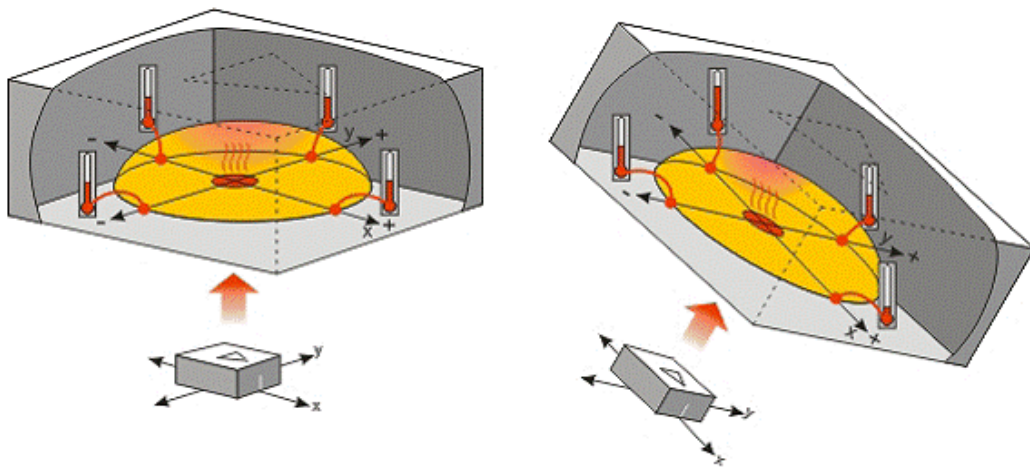


Figura 2.5: Funzionamento tramite convezione termica

2.3.2 Convezione termica

Una bolla sottile di gas riscaldato si muove in conseguenza dell'applicazione di forze esterne (accelerazioni, decelerazioni, gravità, vibrazioni, etc.). L'aria fredda possiede una maggiore densità rispetto all'aria calda posta al di sotto della sorgente di calore perciò ogni cambiamento nel movimento o ogni variazione della gravità ha un'influenza sull'aria fredda più densa della bolla spingendola lontano dal centro della cavità dove è posto il sensore. Quando viene applicata una forza esterna (ad esempio un'accelerazione) l'aria più fredda e più densa spinge l'aria riscaldata nella direzione dell'accelerazione. Un cambiamento di simmetria interna rappresenta quindi la conseguenza del movimento della bolla. Tale cambiamento avviene nella stessa direzione del movimento. A sua volta questo fenomeno comporta una differenza di temperatura nell'aria posta al di sotto e attorno agli elementi sensibili [10].

2.3.3 Diagramma a blocchi dell'accelerometro

Il MXA2500ML è contenuto in un pacchetto LCC ermeticamente sigillato ed è operativo entro un range di temperatura che va da $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $105\text{ }^{\circ}\text{C}$. Con la sigla LCC (Leadless Chip Carrier), si intende un tipo di package (o contenitore) per circuiti integrati che non ha piedini ma, invece, presenta dei contatti arrotondati

lungo i bordi del contenitore. Il diagramma a blocchi dell'accelerometro analizzato è riportato in Figura 2.6.

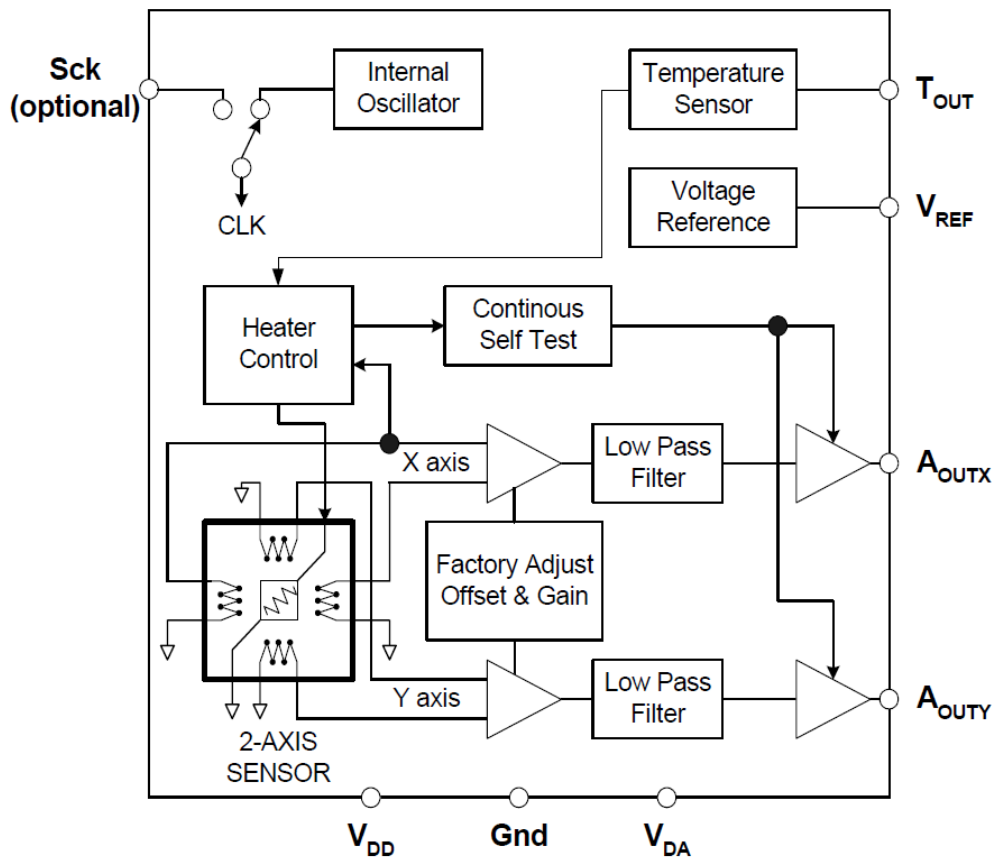


Figura 2.6: Diagramma a blocchi dell'accelerometro

2.3.4 Descrizione dei pin

V_{DD} - ingresso di alimentazione per i circuiti digitali e per il sensore di calore dell'accelerometro. La tensione continua deve essere compresa tra 3 e 5.25 volt.

V_{DA} - ingresso di alimentazione per gli amplificatori analogici dell'accelerometro.

Gnd - terminale di massa.

A_{OUTX} - uscita del sensore di accelerazione lungo l'asse x.

A_{OUTY} - uscita del sensore di accelerazione lungo l'asse y.

T_{OUT} - uscita del sensore di temperatura. La tensione analogica a T_{OUT} è utile come misura differenziale di temperatura rispetto a quella ambientale (25 °C) e non come una misura assoluta.

Sck - il prodotto standard è fornito con l'opzione di clock interno (800kHz). Questo pin deve essere collegato a massa quando si vuole utilizzarlo.

V_{ref} - uscita di una tensione di riferimento. È fissato solitamente a 2.50V.

Pin	Nome	Descrizione	I/O
1	T _{OUT}	Temperatura (V)	O
2	A _{OUTY}	Accelerazione lungo l'asse y	O
3	Gnd	Massa	I
4	V _{DA}	Tensione analogica	I
5	A _{OUTX}	Accelerazione lungo l'asse x	O
6	V _{ref}	Uscita di riferimento (2,5V)	O
7	Sck	Clock esterno	I
8	V _{DD}	Tensione digitale	I

Tabella 2.1: Descrizione Pin: LCC-8 Package

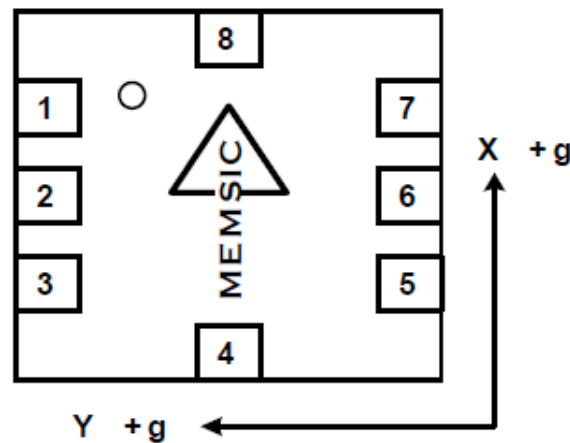


Figura 2.7: Contatti del Memsic

2.4 Sistema di misura utilizzato

2.4.1 Schedina per l'accelerometro

Per acquisire dati dall'accelerometro MEMSIC è necessario costruire una base come supporto. Lo schema circuitale della scheda è stato realizzato secondo le specifiche definite nei datasheet ed è esposto in Figura 2.8.

Al centro si può riconoscere facilmente lo schema dell'accelerometro con i suoi otto LCC, elencati e descritti nella sezione precedente. Le uscite e gli ingressi utilizzati del MEMSIC sono stati raggruppati in un socket (zoccolo), illustrato a destra della figura. L'ingresso V_{DA} è stato collegato ad un alimentatore a 5V. Gnd (pin 3) è stato connesso ad una tensione di 0V, infatti, nello schema è rappresentato un diretto riferimento a massa.

Sono stati inseriti una resistenza R_i , tra gli ingressi V_{DA} (pin 4), V_{DD} (pin 8) e due condensatori, al fine di ridurre il rumore sovrapposto al segnale di alimentazione:

- C_{da} , con un capo connesso all'alimentazione e al pin d'ingresso V_{DA} , l'altro capo riferito a massa.
- C_{dd} , con un capo connesso al pin d'ingresso V_{DD} , mentre, l'altro riferito a massa.

Questa configurazione è descritta nel datasheet dell'accelerometro e riportata in Figura 2.9. La resistenza R_i ha un valore di 10Ω , i condensatori $0.1\mu F$.

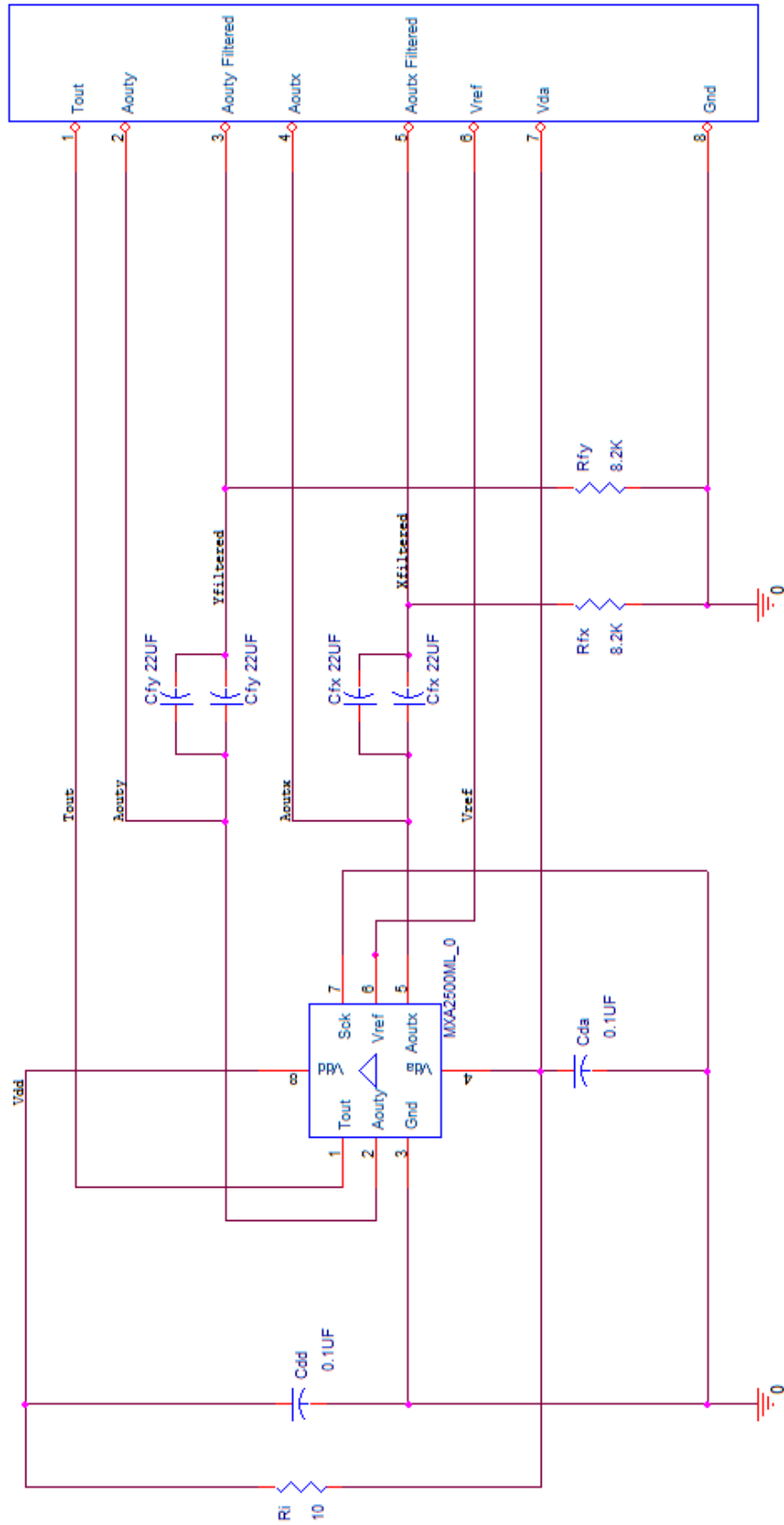


Figura 2.8: Schema circuitale della scheda

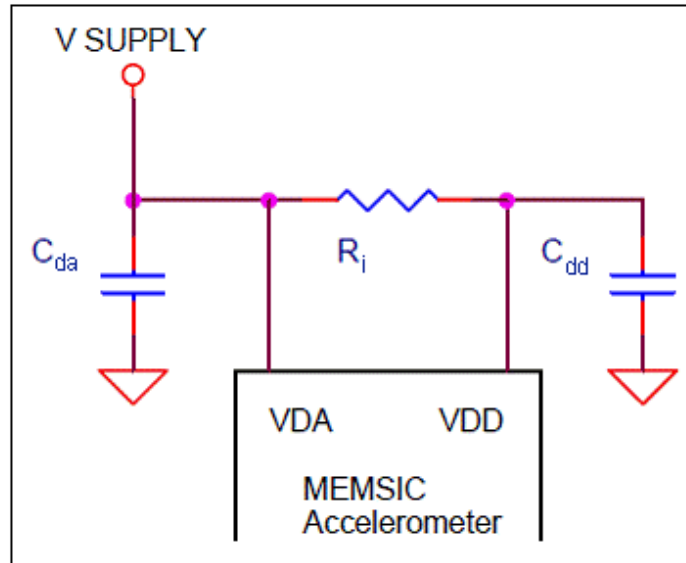


Figura 2.9: Schema per la riduzione della potenza di rumore

Il rumore è stato diminuito ulteriormente, sempre con riferimento alla documentazione del MEMSIC, collegando il pin 7, Sck, a massa, come riportato in Figura 2.8.

Per quanto riguarda le uscite A_{OUTX} e A_{OUTY} , indicate rispettivamente con i numeri 5 e 2, sono stati rappresentati due tipi di configurazione in uscita: uno filtrato e uno no. L'uscita non filtrata è stata utilizzata principalmente per effettuare misure statiche, mentre la seconda è in grado di effettuare solo misure dinamiche. Il filtro applicato alle uscite A_{OUTX} e A_{OUTY} è di tipo passa alto ed è illustrato in Figura 2.10. Il vantaggio di questa configurazione è che variazioni dell'offset a 0g e dell'offset di temperatura vengono eliminate.

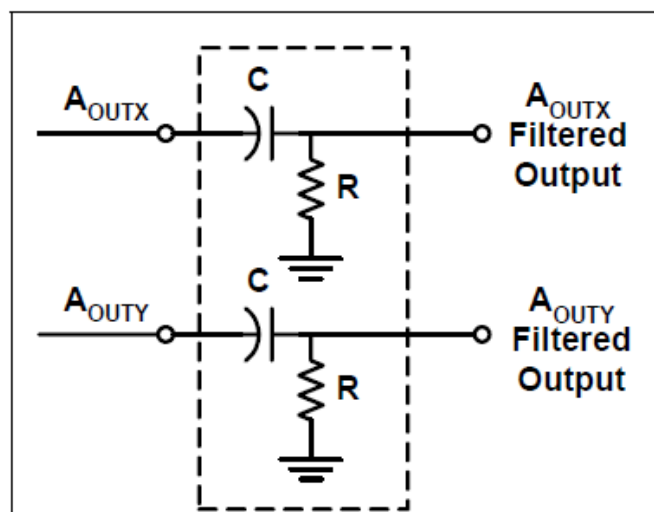


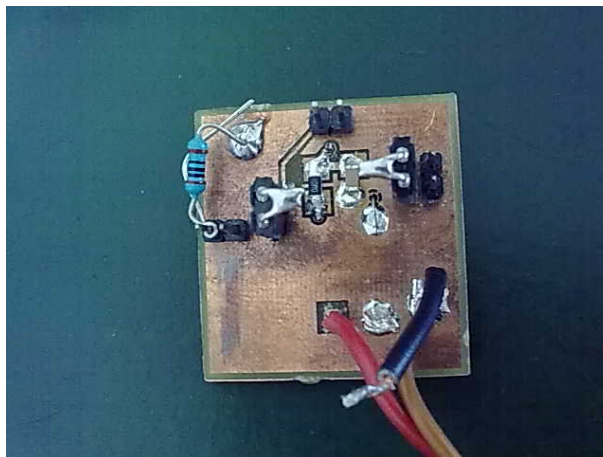
Figura 2.10: Filtro passa alto per misure dinamiche

Per determinare i valori dei condensatori e delle resistenze da utilizzare, è stata utilizzata una breadboard (o basetta sperimentale), al fine di testare e provare diverse combinazioni di parametri. Una volta costruito lo schema circuitale, con un determinato settaggio, si sono effettuati una serie di test sulle accelerazioni, monitorando i vari risultati attraverso un'oscilloscopio. Le due sonde dello strumento sono state collegate una all'uscita filtrata, l'altra a massa. La scelta è ricaduta su due valori che permettessero di ottenere una frequenza piuttosto bassa per percepire le vibrazioni più lievi. La frequenza di taglio del filtro è data dalla formula:

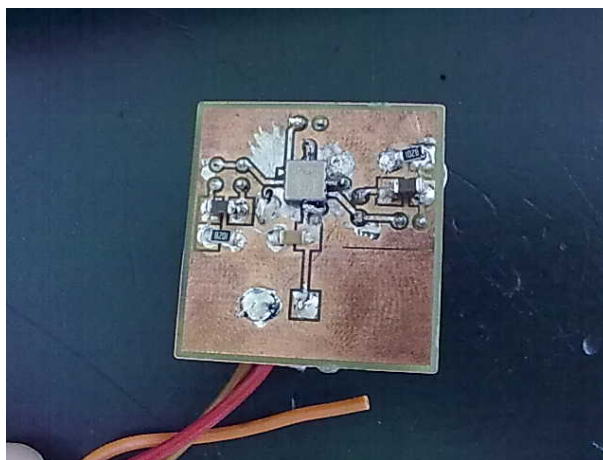
$$f = \frac{1}{2\pi RC} \quad (2.17)$$

mentre i valori decisi sono $R_{fy}=R_{fx}=8.2k\Omega$, $C_{fy}=C_{fx}=44\mu F$.

Non avendo a disposizione condensatori con tali caratteristiche in laboratorio, ne sono stati collegati due in parallelo da $22\mu F$, come illustrato in Figura 2.8. L'uscita di Temperatura (pin 1), la tensione V_{DA} , la tensione di riferimento V_{ref} e la massa Gnd sono state connesse direttamente allo zoccolo. In Figura 2.11 viene rappresentata la scheda per l'accelerometro, fronte e retro.



(a)



(b)

Figura 2.11: Base per l'accelerometro. a) fronte. b) retro.

2.4.2 Connessioni tra Accelerometro MXA2500ML e Scheda DAQ NI USB-6211

Finora sono state descritte le caratteristiche della scheda di acquisizione USB-6211, del MEMSIC MXA2500ML e la struttura circuitale della base per l'accelerometro. Ora verranno elencate le modalità con cui questi elementi vengono collegati dando origine ad un sistema di misura multi-sensore.

Come già accennato in precedenza, il sistema ha bisogno di due fonti di alimentazione:

- computer: che ha la funzione di alimentare, tramite un cavo usb, il dispositivo di acquisizione dati.
- generatore di tensione: questo strumento alimenta a 5V la schedina dell'accelerometro e fornisce anche il riferimento a massa per la stessa e per le misure effettuate in modalità differenziale.

Per acquisire le misure di accelerazione, sono state utilizzate le coppie di piedini del dispositivo DAQ, descritte in Tabella 2. Per ciascuna coppia, l'ingresso con segno positivo è stato collegato ad un'uscita della basetta, l'altro (con segno negativo) è stato riferito a massa. Per misure di tipo statico si è connesso il primo ingresso all'uscita non filtrata della schedina, invece, per misure di tipo dinamico si è messo in relazione il primo ingresso con l'uscita filtrata. Nei capitoli successivi saranno illustrati esempi con entrambe le modalità di acquisizione. Le connessioni sono state effettuate attraverso dei fili conduttori, e la loro configurazione che è stata impostata è la seguente:

AI0-AI8: AI0 è stato scelto per misurare la tensione d'uscita relativa all'accelerazione lungo l'asse x dell'accelerometro (sia A_{OUTX} normale, che filtrato, a seconda del tipo di misura da effettuare). AI8 è stato riferito a massa.

AI1-AI9: AI1 è stato scelto per misurare la tensione d'uscita relativa all'accelerazione lungo l'asse y (A_{OUTY} normale e filtrato). AI9 è stato riferito a massa.

AI2-AI10: AI2 è stato scelto per misurare la tensione d'uscita relativa alla temperatura (T_{OUT}). AI10 è stato riferito a massa.

AI3-AI11: AI3 è stato scelto per acquisire un segnale sinusoidale generato da un "Waveform Generator", (utilizzato per simulare un evento di trigger analogico); questo argomento verrà illustrato nell'ultimo capitolo. AI11 è stato riferito a massa.

In Figura 2.12 e 2.13 sono riportati, rispettivamente, i collegamenti tra scheda di acquisizione e accelerometro nel caso di misure statiche e dinamiche.

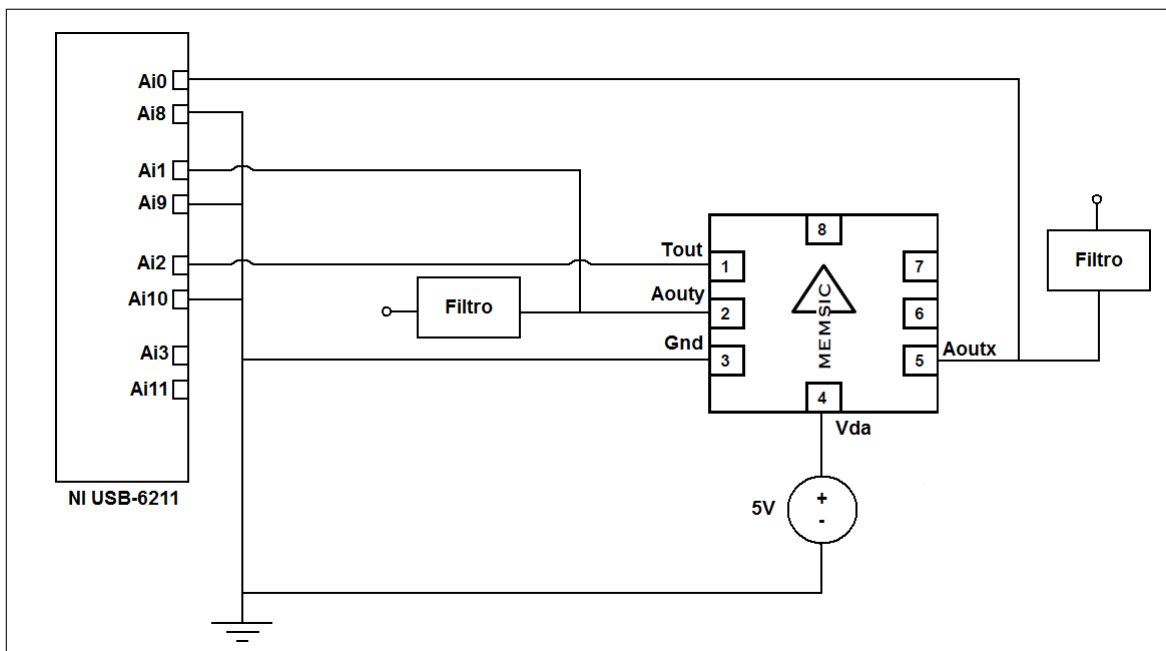


Figura 2.12: Connessioni tra scheda DAQ e accelerometro per effettuare misure statiche

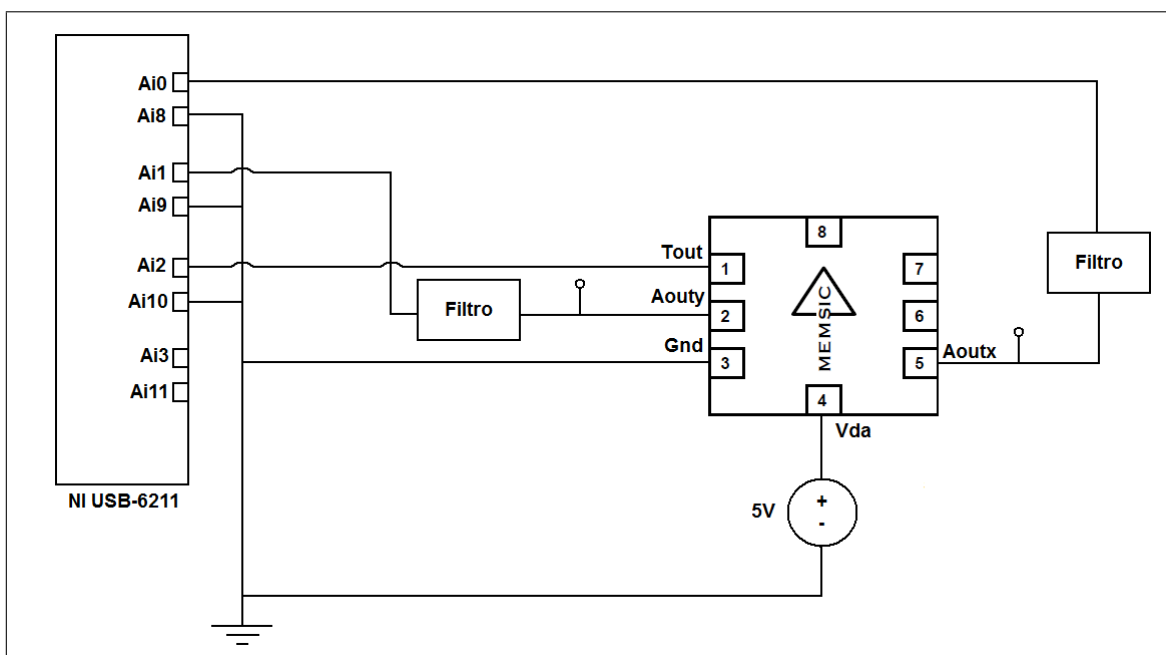


Figura 2.13: Connessioni tra scheda DAQ e accelerometro per effettuare misure dinamiche

In Figura 2.14 è stato riportato lo schema delle connessioni tra il Waveform Generator e la scheda DAQ.

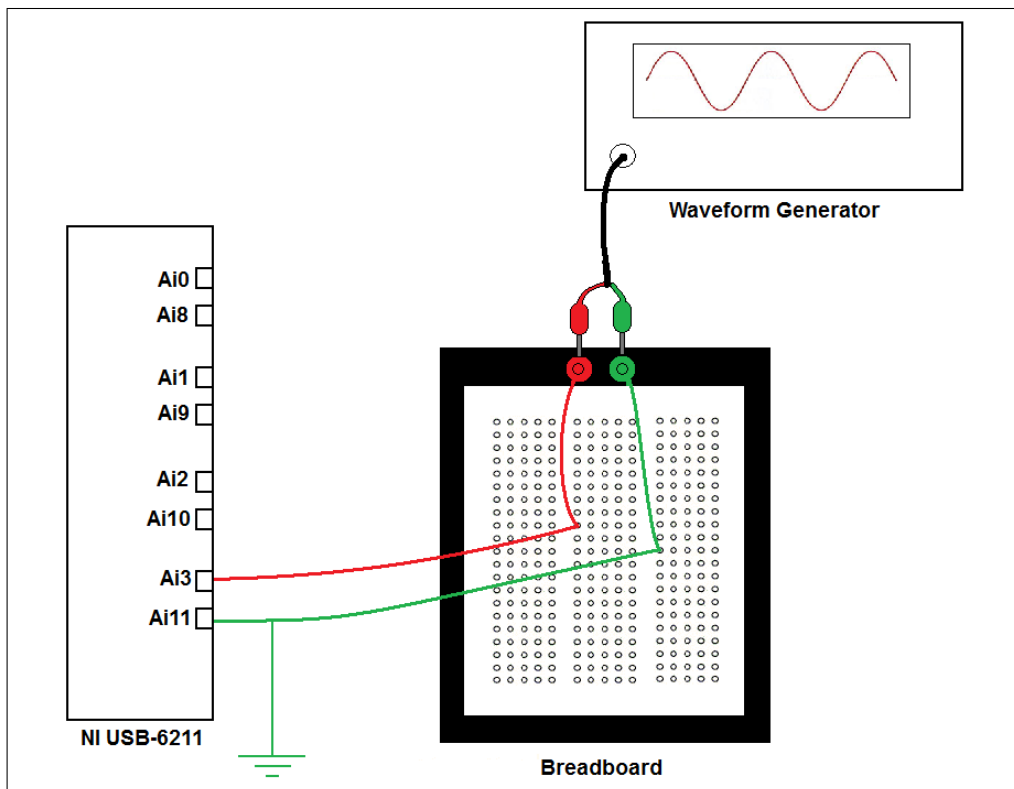


Figura 2.14: Schema del sistema di misura

In Figura 2.15 è stato riportato lo schema di funzionamento del sistema di misura.

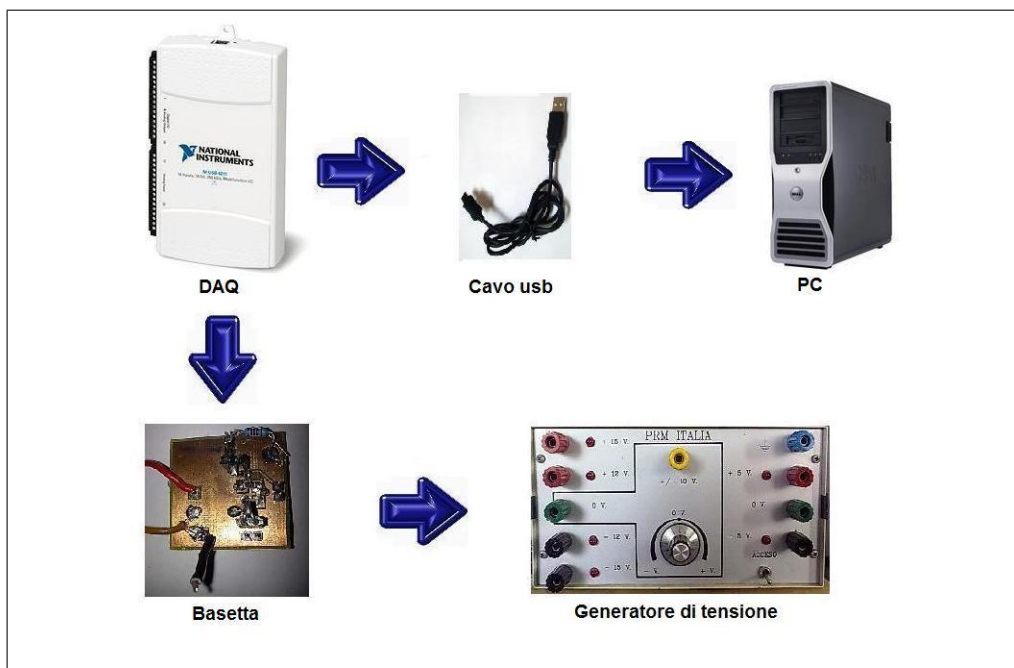


Figura 2.15: Schema del sistema di misura

2.5 Sistema di acquisizione: Riassunto

Il sistema di acquisizione realizzato è composto da:

- un PC, con sistema operativo Windows 7.
- il software LabVIEW 2010.
- un dispositivo di acquisizione dati DAQ NI USB-6211.
- un accelerometro MEMSIC MXA2500ML.
- una base per l'accelerometro.
- una Breadboard ¹
- un Waveform Generator¹
- un alimentatore

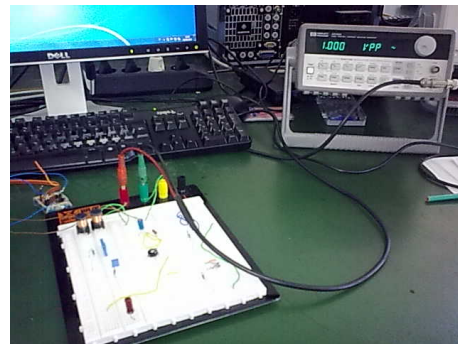
Funzionamento:

- il dispositivo USB-6211 viene alimentato dal PC via usb
- il DAQ è collegato all'accelerometro, tramite la sua base.
- la scheda del MEMSIC viene alimentata dal generatore di tensione a 5V.
- il Waveform Generator genera il segnale analogico di trigger¹.
- la Breadboard trasmette il segnale analogico di trigger dal Waveform Generator alla scheda DAQ¹.
- attraverso il software LabVIEW è stato possibile, infine, generare programmi che permettessero l'acquisizione, la conversione e la visualizzazione dei dati.

In Figura 2.16 è illustrato il sistema multi-sensore realizzato.



(a)



(b)

Figura 2.16: Sistema di misura. a) prima parte. b) seconda parte¹.

¹Questo punto verrà trattato nell'ultimo capitolo

Capitolo 3

Acquisizione dei valori

Nel primo capitolo sono state descritte le principali caratteristiche della scheda di acquisizione NI USB-6211, la sua programmazione mediante LabVIEW e le funzioni di libreria DAQmx più importanti. Nel secondo, invece sono state illustrate le funzionalità dell'accelerometro MEMSIC MXA2500ML, la base circuitale utilizzata e il sistema di misura che è stato realizzato per l'acquisizione dei valori di accelerazione e temperatura. In questa sezione verrà illustrato, inizialmente, un semplice esempio di misurazione della temperatura attraverso questa strumentazione descritta e il software LabVIEW. Nella seconda parte, invece, verrà illustrato un sistema di misura multi-sensore che acquisisce anche l'accelerazione lungo l'asse x e y . Scopo di questo capitolo è mettere in evidenza le modalità di conversione dei dati misurati.

3.1 Calcolo della temperatura

Il programma realizzato ha lo scopo di calcolare e visualizzare sullo schermo del computer la temperatura di laboratorio. La scheda di acquisizione USB-6211 legge il valore di tensione in uscita all'accelerometro T_{OUT} . Questo valore è stato convertito in gradi centigradi. Infine, il risultato corrispondente è stato illustrato graficamente utilizzando il software LabVIEW.

3.1.1 Codice sorgente

In Figura 3.1 viene illustrato lo schema a blocchi del VI. I pin utilizzati per l'acquisizione sono la coppia AI2-AI10, come accennato nel capitolo precedente. AI2 è stato connesso all'uscita di temperatura T_{OUT} della schedina, invece AI10 è stato riferito a massa. La configurazione di terminali d'ingresso del dispositivo è indicata con il primo blocco, "DAQmx Physical Channel", nel quale si è impostato il parametro "Dev2/ai2". Successivamente si è creato il canale virtuale attraverso la funzione "DAQmx Create Virtual Channel", selezionando il parametro "AI Voltage", in quanto l'obiettivo della scheda è acquisire un valore di tensione. Nello stesso blocco si sono impostati alcuni valori di configurazione: valore minimo e massimo da acquisire, la modalità di misura da effettuare (differenziale) e l'unità di misura (Volt). In seguito, si è impostato il "DAQmx Timing", attraverso il quale si è stabilito il fronte di acquisizione da attivare (rising), la frequenza e la modalità di campionamento.

Una volta settati questi blocchi si è inserito il comando di avvio "Start task", che permette l'inizio dell'acquisizione. Questo è collegato ad un ciclo while, all'interno del quale avviene la fase successiva.

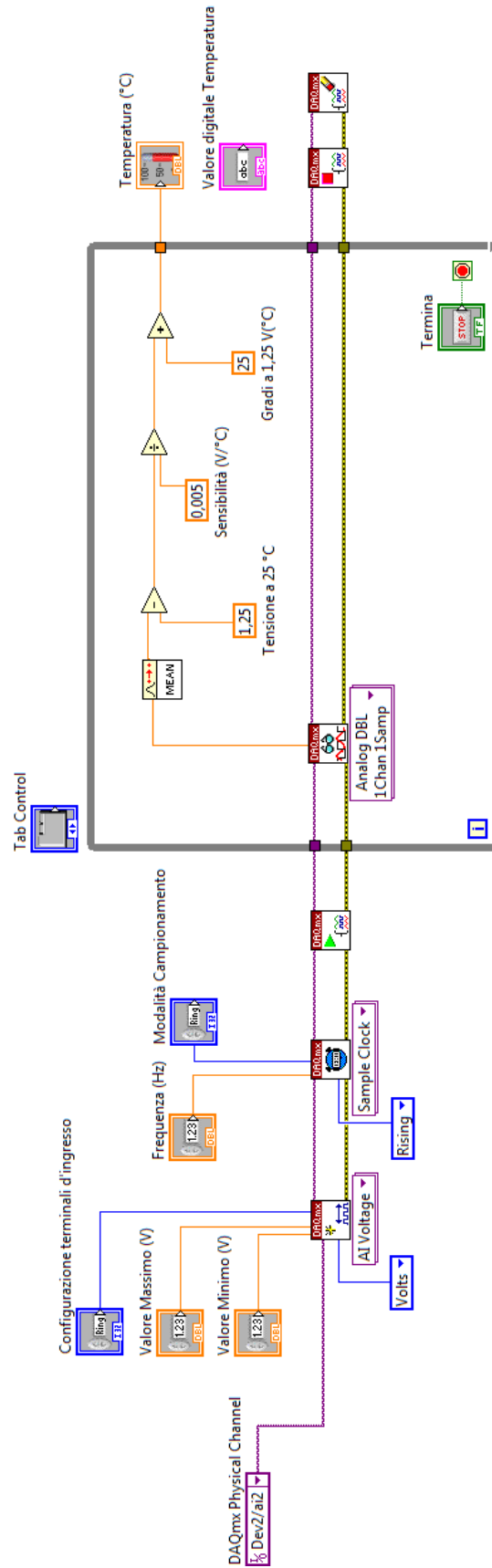


Figura 3.1: Schema a blocchi del VI

Il blocco che permette di leggere i campioni è “DAQmx Read”; in questa funzione è stata selezionata la voce “Analog DBL 1Chan 1Samp” in quanto si è acquisito un campione per ogni ciclo da un unico canale del dispositivo USB-6211. Come si nota, manca l’ingresso “timeout”, quindi, assume il valore di default di 10 secondi. Dovendo leggere un campione non ci sono problemi di durata dell’acquisizione D, perchè sarà sempre un valore inferiore al timeout di default.

$$D = \frac{\text{Numero campioni}}{\text{frequenza}} = \frac{1}{1000\text{Hz}} < 10\text{s} \quad (3.1)$$

Per ogni elemento acquisito si è calcolata la media campionaria “Point by Point”, in modo tale da ottenere una media in tempo reale, al fine di effettuare una misura più accurata.

Il valore di tensione che l’uscita assume a temperatura ambiente è 1.25V. La documentazione [9] relativa è stata riportata in Figura 3.2. Per ottenere il valore di temperatura misurato si è scelto di procedere come segue: il valore costante (1.25V), corrispondente alla temperatura di 25°C, viene sottratto al risultato ottenuto in uscita dal blocco di media. In questo modo si ricava il valore di differenza di temperatura in Volt. A questo punto si effettua la conversione del valore, da tensione (V) a gradi (°C). La conversione si ottiene dividendo il risultato appena calcolato per la sensibilità del sensore di temperatura pari a 5mV/°C.¹ Infine, il risultato così ottenuto è stato sommato ai 25°C relativi alla temperatura ambiente.

Il ciclo while è sensibile alla pressione del tasto Termina, per mezzo del quale il loop conclude e nel pannello frontale si visualizza la temperatura appena calcolata. Una volta uscito dal ciclo, il task viene stoppato e poi cancellato.

Nella realizzazione del programma è stato inserito un “Tab Control”, che permette una miglior visualizzazione nel pannello frontale del programma LabVIEW.

3.1.2 Pannello frontale

Come si può apprezzare in Figura 3.3, la schermata generale si divide in due finestre. La prima racchiude la configurazione dei parametri; notiamo che non è presente la voce “Numero di campioni da acquisire”, come nei precedenti esempi, in quanto viene acquisito un campione per volta. La seconda illustra il grafico della temperatura di laboratorio attraverso un termometro e l’equivalente valore in forma numerica, sotto la voce “Valore digitale”. Il pulsante “Calcola Temperatura”, in questo stesso riquadro, è riferito al comando “Termina” del ciclo while, permettendo di visualizzare il valore calcolato nel momento in cui l’utente lo desidera.

¹Nel datasheet è riportata una sensibilità di 5mV/K, ovvero per ogni 5mV la temperatura aumenta di un grado kelvin. Facendo attenzione si capisce che questa variazione vale anche per i gradi celsius, in quanto la differenza tra °C e K è data da:

$$[^\circ\text{C}] = [\text{K}] - 273.15 \quad (3.2)$$

quindi, se ogni 5mV la temperatura aumenta di un grado kelvin, allora aumenterà anche di un grado centigrado. Nello schema del VI per evitare due conversioni inutili tra kelvin e celsius si è impostato un valore di sensibilità pari a 5mV/°C.

MXA2500G/M SPECIFICATIONS (Measurements @ 25°C, Acceleration = 0 g unless otherwise noted; V_{DD} , V_{DA} = 5.0V unless otherwise specified)

Parameter	Conditions	MXA2500G			MXA2500M			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
SENSOR INPUT	Each Axis							
Measurement Range ¹		±1.7			±1.7			g
Nonlinearity	Best fit straight line		0.5	1.0		0.5	1.0	% of FS
Alignment Error ²	X Sensor to Y Sensor		±1.0			±1.0		degrees
Transverse Sensitivity ³			±2.0			±2.0		%
SENSITIVITY	Each Axis							
Sensitivity, Analog Outputs at pins		475	500	525	475	500	525	mV/g
A_{OUTX} and A_{OUTY} ⁵ Change over Temperature		-10		+8	-25		+8	%
ZERO g BIAS LEVEL	Each Axis							
0 g Offset ⁵		-0.1	0.0	+0.1	-0.1	0.0	+0.1	g
0 g Voltage ⁵		1.20	1.25	1.30	1.20	1.25	1.30	V
0 g Offset over Temperature	Based on 500 mV/g		±1.5			±1.5		mg/°C
			±0.75			±0.75		mV/°C
NOISE PERFORMANCE								
Noise Density, rms	Without frequency compensation		0.2	0.4		0.2	0.4	mg/ \sqrt{Hz}
FREQUENCY RESPONSE								
3dB Bandwidth - uncompensated		15	17	19	15	17	19	Hz
3dB Bandwidth – compensated ⁴			>160			>160		Hz
TEMPERATURE OUTPUT								
T_{out} Voltage		1.15	1.25	1.35	1.15	1.25	1.35	V
Sensitivity		4.6	5.0	5.4	4.6	5.0	5.4	mV/°K
VOLTAGE REFERENCE OUTPUT								
V_{ref} output	@3.0V-5.25V supply	2.4	2.5	2.65	2.4	2.5	2.65	V
Change over Temperature			0.1			0.1		mV/°C
Current Drive Capability	Source			100			100	µA
SELF TEST								
Continuous Voltage at A_{OUTX} , A_{OUTY} under Failure	@5.0V Supply, output rails to supply voltage		5.0			5.0		V
Continuous Voltage at A_{OUTX} , A_{OUTY} under Failure	@3.0V Supply, output rails to supply voltage		3.0			3.0		V
A_{OUTX} and A_{OUTY} OUTPUTS								
Normal Output Range	@5.0V Supply	0.1		4.9	0.1		4.9	V
	@3.0V Supply	0.1		2.9	0.1		2.9	V
Current	Source or sink, @ 3.0V-5.25V supply			100			100	µA
Turn-On Time ⁶	@5.0V Supply		160			160		mS
	@3.0V Supply		300			300		mS
POWER SUPPLY								
Operating Voltage Range		3.0		5.25	3.0		5.25	V
Supply Current	@ 5.0V	2.5	3.1	3.9	2.5	3.1	3.9	mA
Supply Current ⁵	@ 3.0V	3.0	3.8	4.6	3.0	3.8	4.6	mA
TEMPERATURE RANGE								
Operating Range		0		+70	-40		+105	°C

NOTES

¹ Guaranteed by measurement of initial offset and sensitivity.

² Alignment error is specified as the angle between the true and indicated axis of sensitivity.

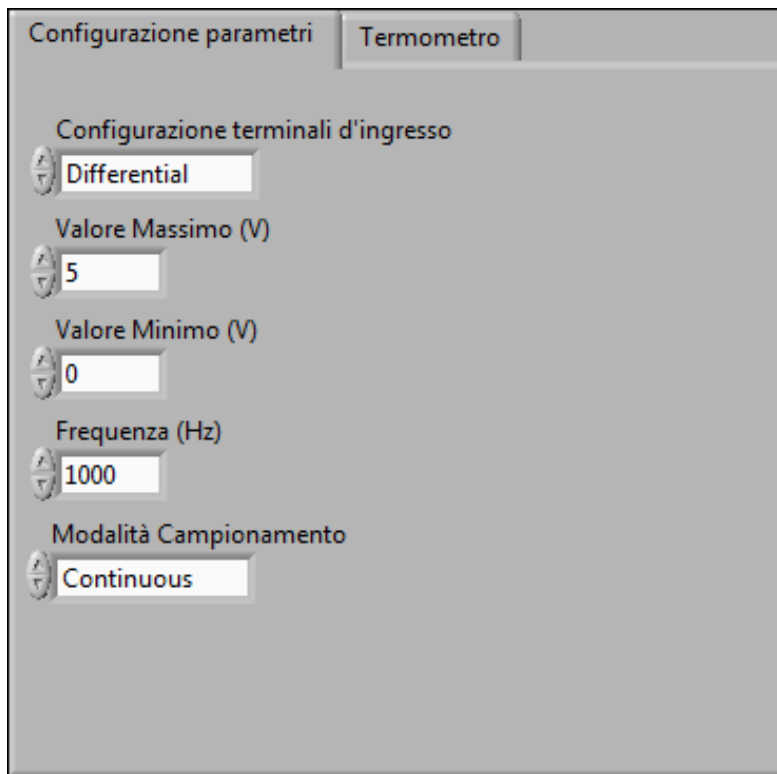
³ Transverse sensitivity is the algebraic sum of the alignment and the inherent sensitivity errors.

⁴ External circuitry is required to extend the 3dB bandwidth (ref. Application Note: AN-00MX-003)

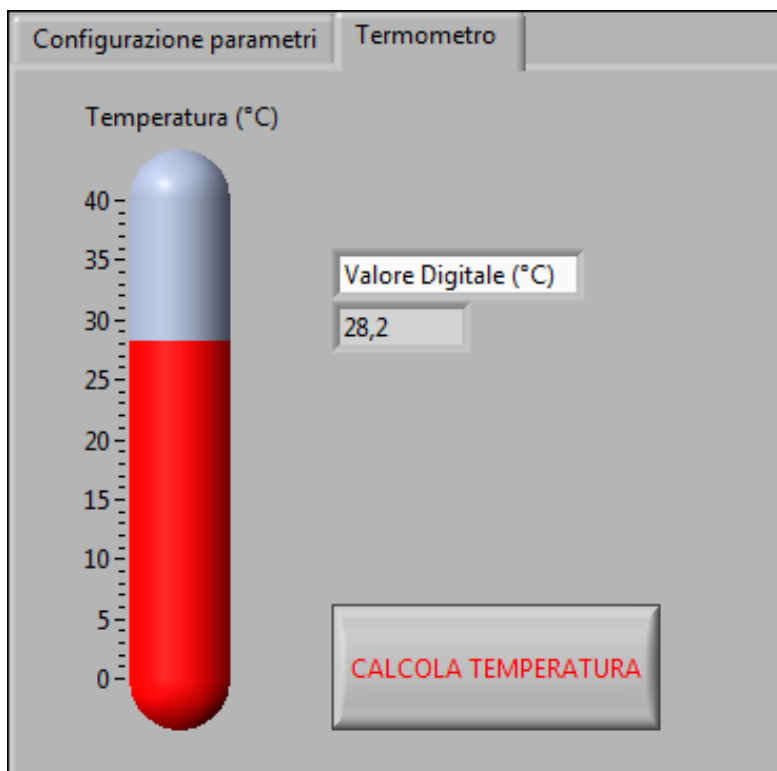
⁵ The device operates over a 3.0V to 5.25V supply range. Please note that sensitivity and zero g bias level will be slightly different at 3.0V operation. For devices to be operated at 3.0V in production, they can be trimmed at the factory specifically for this lower supply voltage operation, in which case the sensitivity and zero g bias level specifications on this page will be met. Please contact the factory for specially trimmed devices for low supply voltage operation.

⁶ Output settled to within ±17mg.

Figura 3.2: Datasheet MEMSIC MXA2500G/M



(a)



(b)

Figura 3.3: Pannello frontale. a) prima finestra. b) seconda finestra.

3.2 Acquisizione di accelerazioni e temperatura

Questo programma consiste nella realizzazione di un sistema di misura multi-sensore e ha come obiettivo l'acquisizione e visualizzazione dei dati di accelerazione e temperatura in tempo reale. A differenza del precedente, oltre la temperatura, sono state calcolate anche le accelerazioni x e y dell'accelerometro MXA2500ML a disposizione. I collegamenti tra il dispositivo NI USB-6211 e il MEMSIC riguardano tre coppie di pin, in quanto si sono effettuate misure differenziali.

Sono state utilizzate le coppie:

- AI0-AI8, per l'uscita che rileva la tensione di accelerazione lungo l'asse x A_{OUTX}
- AI1-AI9, per l'uscita che rileva la tensione di accelerazione lungo l'asse y A_{OUTY}
- AI2-AI10, per l'uscita che rileva la tensione di temperatura T_{OUT}

3.2.1 Codice sorgente

In Figura 3.4 è illustrato lo schema a blocchi complessivo del VI. Come si può notare, il programma è stato diviso in tre grandi riquadri colorati, ognuno rappresentante una fase distinta del codice LabVIEW.

Il primo riquadro, riportato in Figura 3.5, descrive la parte iniziale, di configurazione necessaria a preparare la successiva acquisizione dati. In questo caso, dovendo acquisire dati da tre canali contemporaneamente, nel primo blocco "DAQmx Physical Channel" si è impostato il valore "Dev2/ai0:2", che seleziona i pin AI0, AI1 e AI2. Le configurazioni della creazione del canale virtuale "DAQmx Create Virtual Channel", del "DAQmx Timing" e d'avvio del task sono le stesse del programma precedente.

Quindi si è impostata la voce "AI Voltage" nel blocco "DAQmx Create Virtual Channel", in quanto si sono utilizzati gli ingressi analogici del dispositivo USB-6211 per misure di tensione. Sono stati impostati i soliti parametri "Configurazione dei terminali d'ingresso", "Massimo valore del segnale" e "Minimo valore del segnale". Un aspetto da notare è che, come in precedenza, il canale virtuale ha il terminale "task in" scollegato. Di conseguenza, la libreria DAQmx crea, al momento dell'esecuzione del VI, un nuovo task a cui il canale viene automaticamente assegnato. Il blocco successivo, "DAQmx Timing", ha la funzione di impostare le regole di temporizzazione del task. I campioni vengono acquisiti in modo continuo attraverso il controllo "Modalità campionamento", e ad una frequenza che può essere impostata nel pannello frontale dall'utente. Alla fine di questa fase di configurazione si è fatto partire il task tramite la funzione "Start task".

Dopo la configurazione ed avvio del task, il controllo del programma viene gestito tramite un ciclo while, all'interno del quale ha inizio la fase di acquisizione e conversione dati. Poichè si desidera aver un sistema funzionante in tempo reale, per ogni ciclo viene acquisito un campione per ciascun canale di ingresso; quindi per il blocco "DAQmx Read" è stata impostata la voce "Analog 1D DBL NChan 1Samp". Così facendo si impone al programma di acquisire un unico sample da più canali, in formato DBL ("Double-precision floating-point"). Sul pannello frontale, verrà di volta in volta, aggiornato un grafico che rappresenta l'andamento delle accelerazioni misurate in m/s^2 e della temperatura in $^{\circ}C$.

Il blocco "DAQmx Read", in uscita, ritorna un array ad una dimensione (1D) con tre elementi (un campione per ciascun canale AI0, AI1 e AI2). Per analizzarli

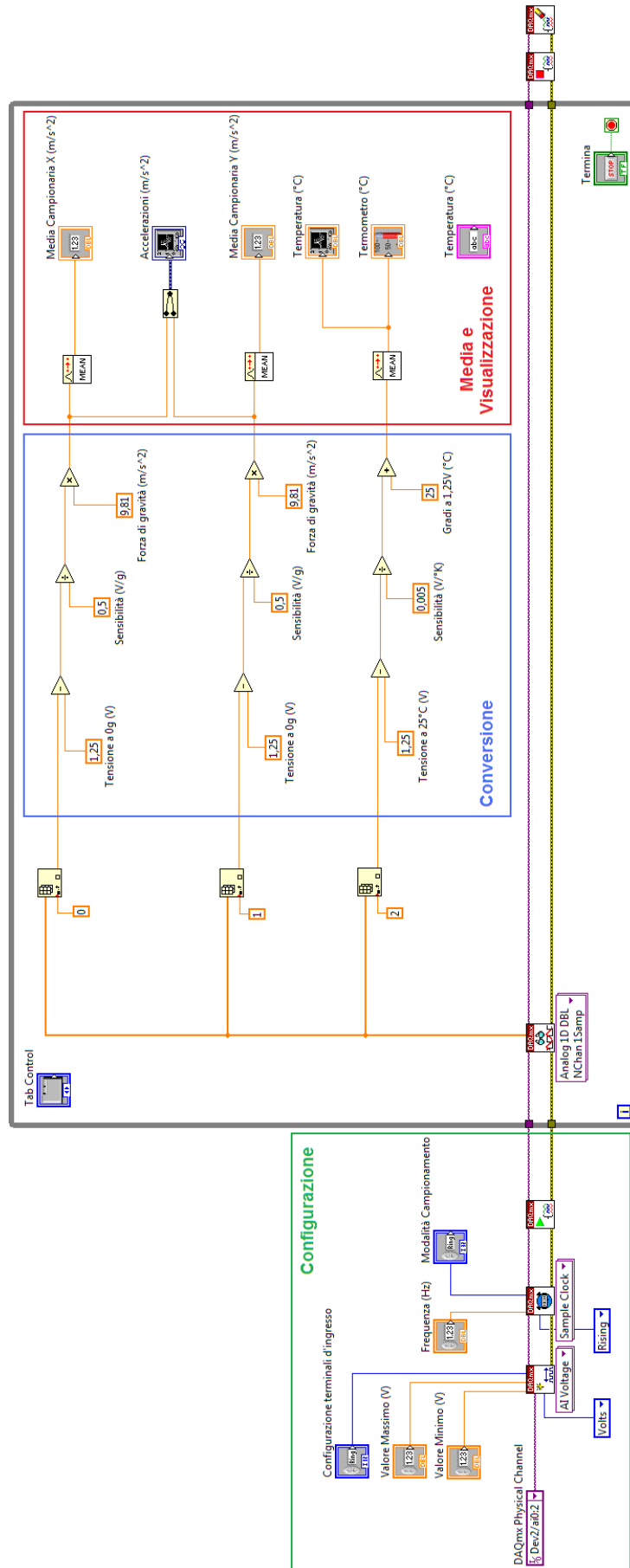


Figura 3.4: Schema a blocchi del VI

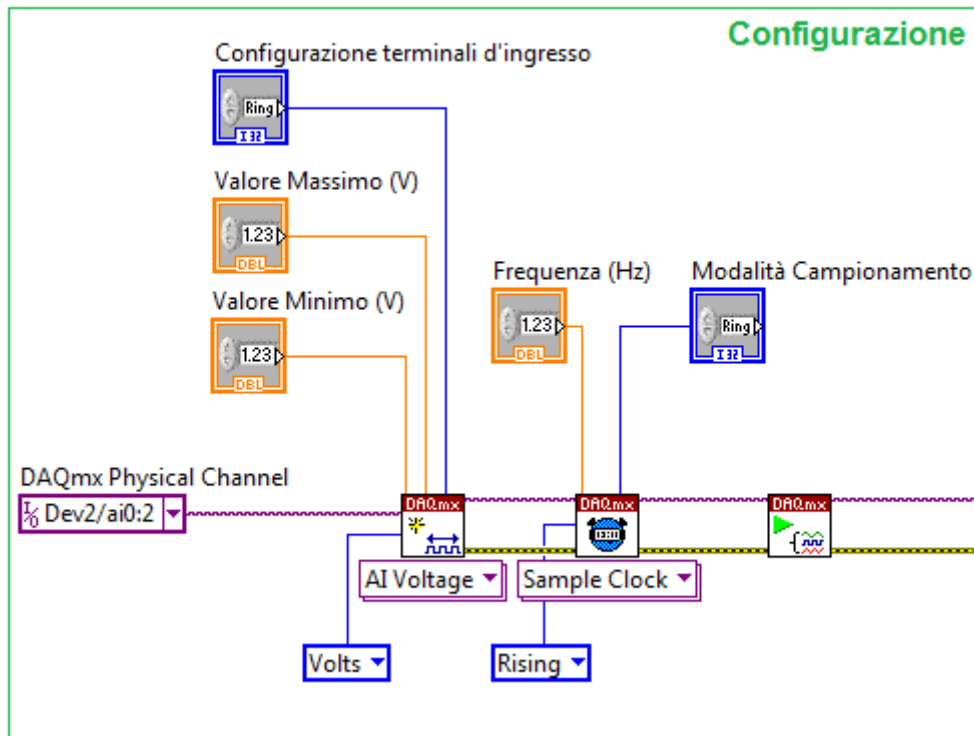


Figura 3.5: Ingrandimento del riquadro “Configurazione”

separatamente, sono stati usati tre blocchi “Index Array”, uno per ciascun indice del vettore. Questa funzione riceve in ingresso un array e una costante corrispondente al numero di indirizzo desiderato. In uscita restituisce l’elemento contenuto nella posizione specificata; nel nostro caso, effettuando l’operazione per tre volte, si è scomposto l’array nei tre elementi presenti al suo interno. In questo modo si è trattato un campione di ogni canale in modo distinto, dopo ogni acquisizione effettuata. Quindi in uscita ad ogni “Index Array” è presente un valore di tensione equivalente all’uscita A_{OUTX} , A_{OUTY} e T_{OUT} . Per ognuno di questi campioni misurati si è effettuata una conversione. La conversione della tensione in gradi centigradi è stata descritta nella sezione precedente, mentre ora verranno descritte le conversioni per misure dinamiche e statiche, a seconda di come è stato collegato il dispositivo DAQ alla basetta, se all’uscita filtrata o no.

Conversione di misure statiche

In Figura 3.6 è riportata l’operazione di conversione da tensione ad accelerazione per l’uscita relativa all’asse x non filtrata. La stessa operazione verrà eseguita anche per il segnale acquisito riferito all’asse y.

Nel datasheet dell’accelerometro (Figura 3.2) è riportata la sensibilità, che equivale a 500mV/g (g =accelerazione di gravità) e il valore di tensione in assenza di accelerazione ($0g$), pari a 1.25V . Per effettuare una conversione corretta, si è sottratto questo valore alla tensione di uscita misurata. In questo modo si è trovata la differenza di tensione rispetto al punto di equilibrio; il risultato è stato diviso per la sensibilità ottenendo il valore dell’accelerazione in g. Per calcolare

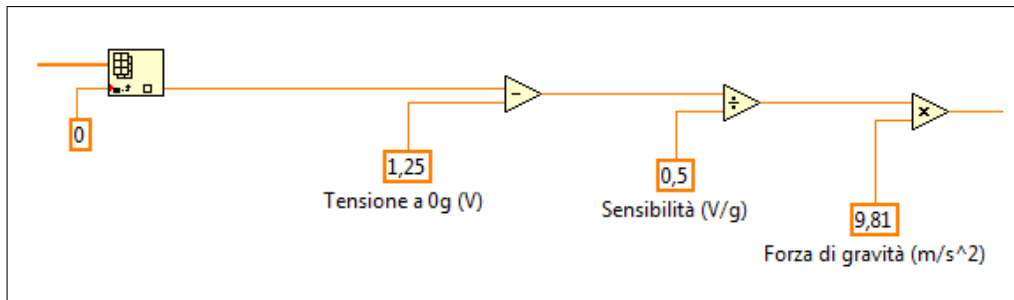


Figura 3.6: Conversione Tensione-Accelerazione per misure statiche

la misura in m/s^2 si è moltiplicato il risultato per l'accelerazione di gravità, $9,81 m/s^2$, l'equivalente di $1g$.

Conversione di misure dinamiche

In Figura 3.7 è riportata l'operazione di conversione da tensione ad accelerazione per l'uscita filtrata.

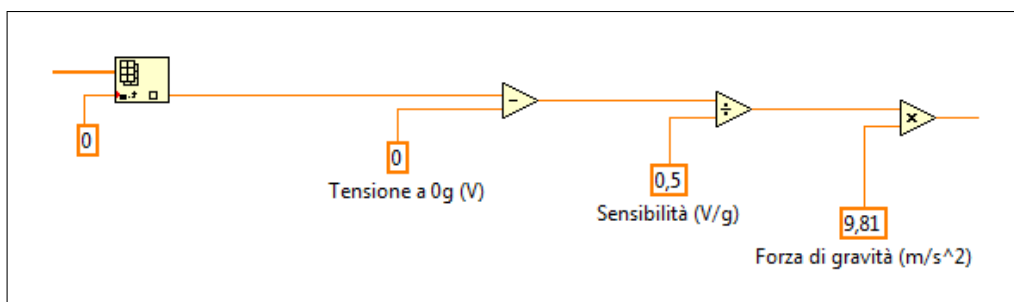


Figura 3.7: Conversione Tensione-Accelerazione per misure dinamiche

La differenza rispetto al caso precedente sta nel fatto che la tensione a $0g$, ovvero in assenza di accelerazione, equivale ad una tensione nulla ($0V$).

Nell'ultimo riquadro, ingrandito nella Figura 3.8, si calcola la media campionaria "Point by Point" di ogni campione convertito e successivamente si visualizza l'andamento in tempo reale.

3.2.2 Pannello frontale

Le accelerazioni lungo gli assi x e y sono state riportate in uno stesso grafico "Waveform Chart", attraverso il blocco "Merge", che permette la fusione dei due andamenti. Per la temperatura, si è visualizzato l'andamento temporale in un diagramma equivalente e il suo valore in un termometro. Il ciclo while termina alla pressione del pulsante "Stop" del pannello frontale e con esso l'acquisizione multipla dei dati.

Anche in questo programma è stato inserito un "Tab Control" per una migliore chiarezza e visualizzazione. La finestra di visualizzazione è stata divisa in tre riquadri: "Configurazione", "Accelerazioni" e "Temperatura".

In Figura 3.9 è illustrato il pannello frontale del programma appena descritto, dove si è effettuato il calcolo di misure statiche. In questo semplice esempio

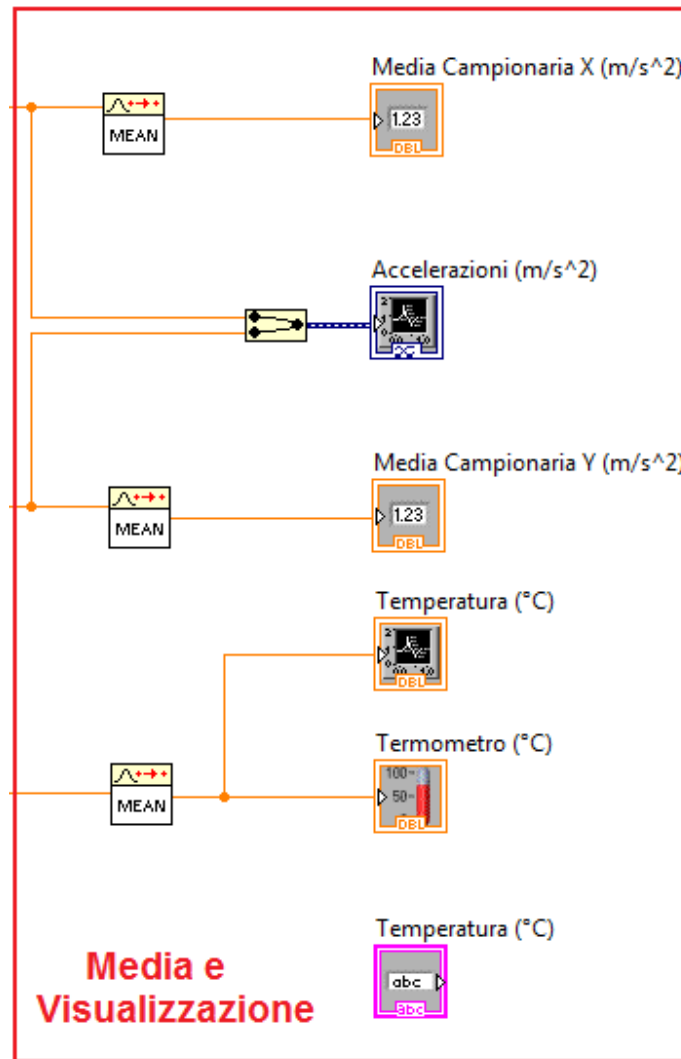
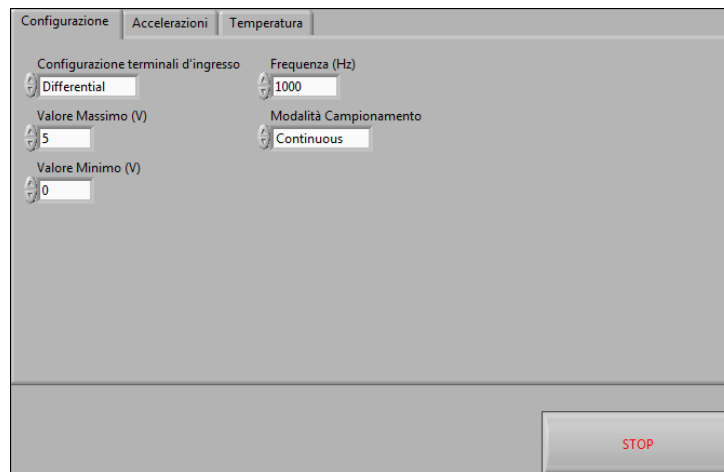


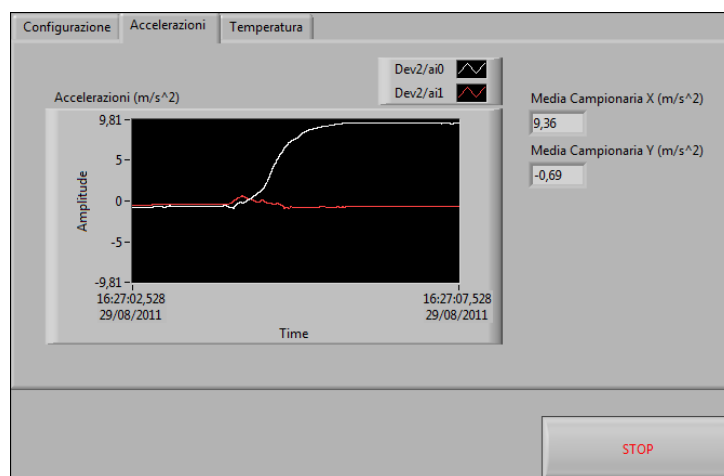
Figura 3.8: Media e Visualizzazione dei campioni convertiti

l'accelerometro è stato ruotato di 90°, facendogli assumere una posizione parallela alla forza di gravità e rilevare un'accelerazione positiva lungo l'asse x. Tenendolo inclinato, nella medesima posizione, si può notare nella finestra "Accelerazioni" il risultato ottenuto. Quando la basetta era ferma si aveva un'accelerazione di 0 m/s²; appena si è iniziato a muovere lo strumento, l'accelerazione si è portata velocemente verso il valore finale. Mantenendo l'equilibrio ottenuto, l'unica accelerazione che agisce sul MEMSIC è la forza di gravità, infatti, questa è rimasta costante a 9.81 m/s².

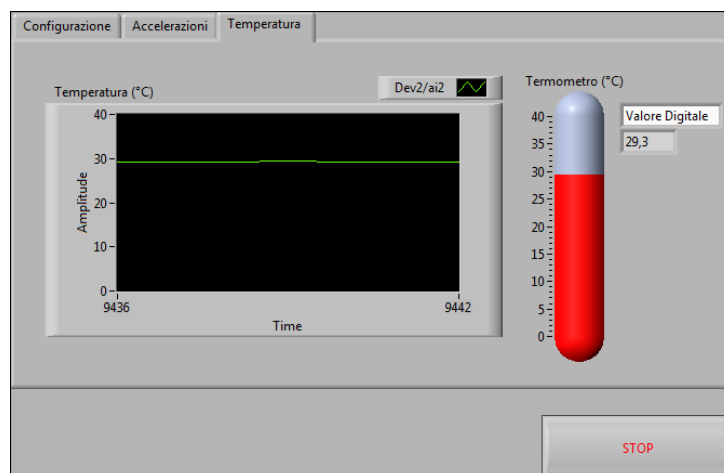
Infine, è stato effettuato lo stesso esempio appena descritto, dopo aver connesso i terminali alle uscite filtrate della basetta, ottenendo un diverso risultato. In questo caso non si è più in grado di effettuare misure statiche. Infatti, non appena si inclina il MEMSIC a 90°, l'accelerazione tende salire; in questo caso non viene misurata la forza di gravità, ma l'accelerazione con cui si ruota la basetta. Tenendolo inclinato nella stessa posizione, il suo valore non rimane costante come prima, ma scende a zero. Questo perchè l'unica forza che agisce è la forza di gravità e non si tratta di un'accelerazione dinamica, quindi non viene rilevata. In Figura 3.10 è riportato il grafico relativo alle accelerazioni in condizioni dinamiche.



(a)



(b)



(c)

Figura 3.9: Pannello frontale per misure statiche. a) prima finestra. b) seconda finestra. c) terza finestra.

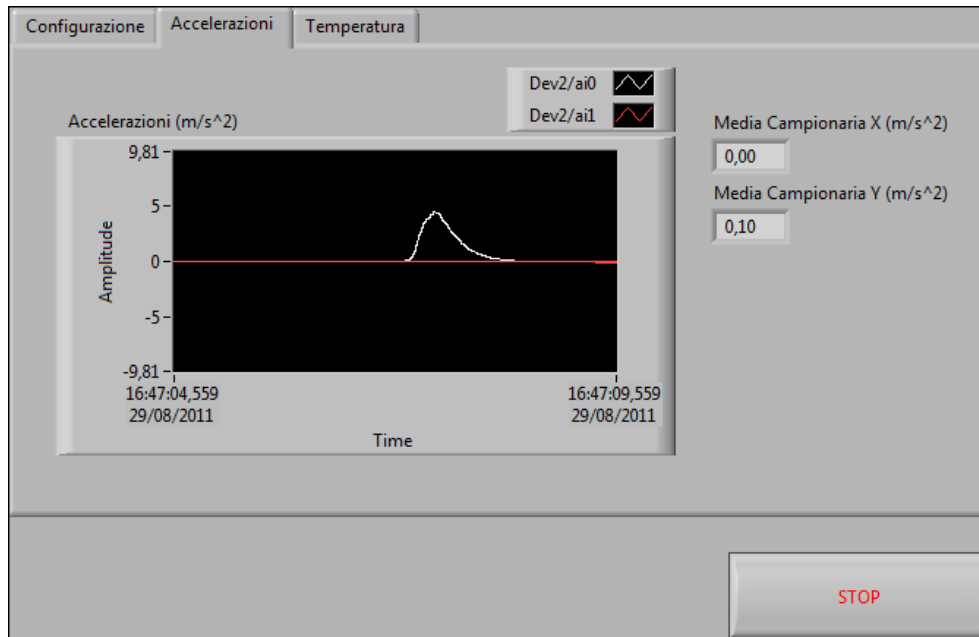


Figura 3.10: Pannello frontale per misure dinamiche

Capitolo 4

Sistema di acquisizione in LabVIEW

In questo capitolo verrà descritto il sistema di acquisizione multi-sensore finale che si è realizzato come obiettivo ultimo di tesi. La lettura dei campioni ha inizio in seguito al raggiungimento di un prestabilito evento di trigger analogico. Sfortunatamente, il dispositivo NI USB-6211 non supporta questa funzione, quindi il codice è stato adattato per simularlo. In Figura 4.1 e 4.2 è riportato lo schema a blocchi del VI. Come si può notare è stata utilizzata una struttura “Sequence” per dividere in due frame il programma, al fine di eseguire prima la parte di acquisizione trigger e poi l’acquisizione dati dall’accelerometro, quando viene raggiunta la condizione stabilita.

Come segnale analogico di trigger è stata utilizzata un’onda sinusoidale generata da un “Waveform Generator”. Il collegamento tra il generatore e il dispositivo DAQ è avvenuto per mezzo di una “Breadboard”. In questo modo, il segnale fornito in uscita dallo strumento viene applicato in ingresso alla coppia di pin AI3-AI11 dell’USB-6211.

L’idea di base è quella di attendere che la sinusoide raggiunga un certo livello di tensione stabilito nel pannello frontale dall’utente, con una pendenza positiva; al raggiungimento di queste condizioni, l’acquisizione dati è avviata. La parte di configurazione per la lettura del segnale di trigger è visualizzata nella Figura 4.3; mentre, la parte di verifica del raggiungimento della condizione dell’evento è illustrata in Figura 4.4.

4.1 Codice sorgente

Come messo in evidenza dalla Figura 4.4, all’avvio del task il dispositivo DAQ inizia ad acquisire un campione per ogni ciclo while, avendo impostato il blocco “DAQmx Read” nel settore “Analog DBL 1Chan 1 Samp”. All’uscita della funzione read ogni campione acquisito entra nella condizione di verifica. L’evento di trigger consiste in due controlli, il ciclo while termina dando inizio all’acquisizione dati se:

- la pendenza del segnale è positiva;
- il valore del segnale supera la soglia stabilita sul pannello frontale;

Per la prima condizione ricordiamo che la pendenza di una curva in un punto P è la pendenza della retta tangente in quel punto, come illustrato in Figura 4.5. Questa si chiama anche derivata ed è data dalla seguente equazione, come rapporto

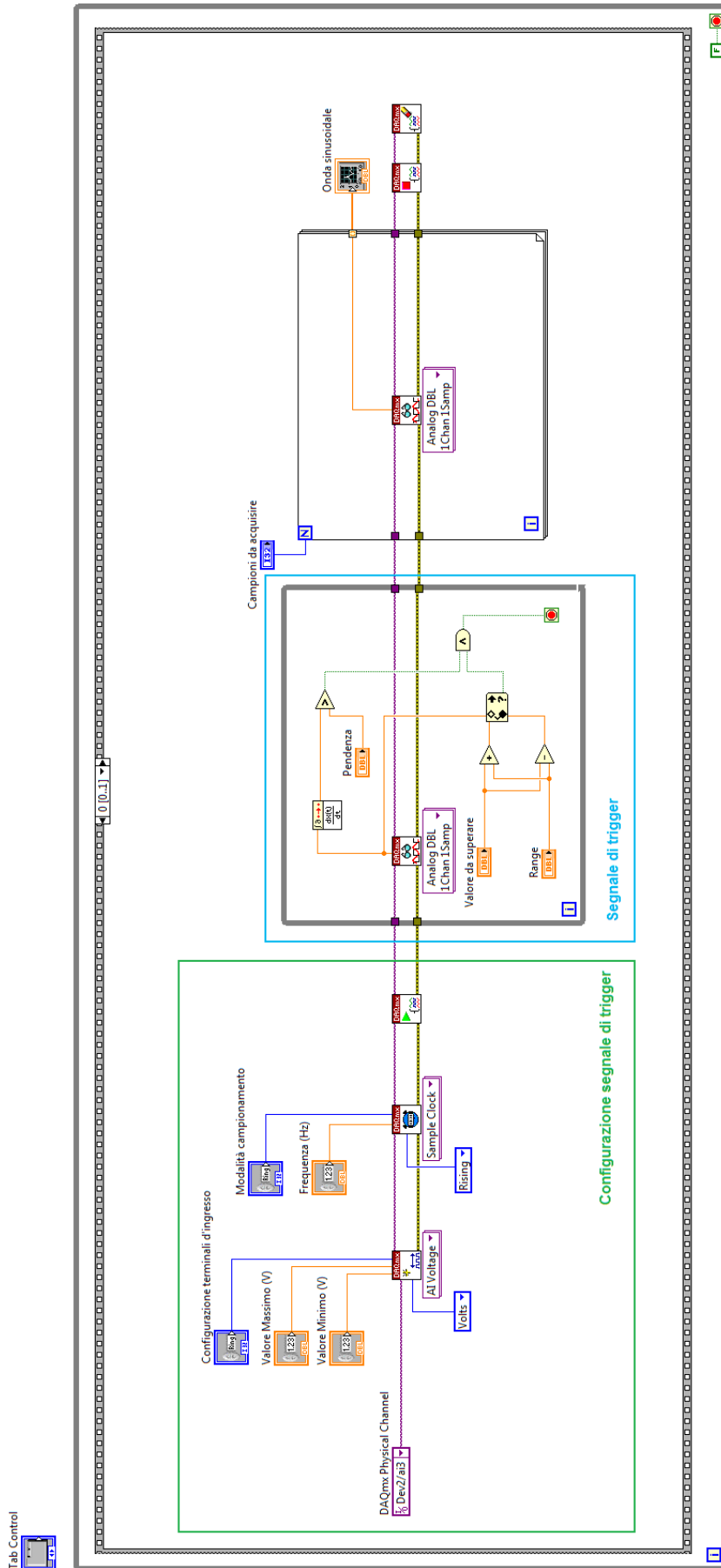


Figura 4.1: Schema a blocchi del VI (parte 1)

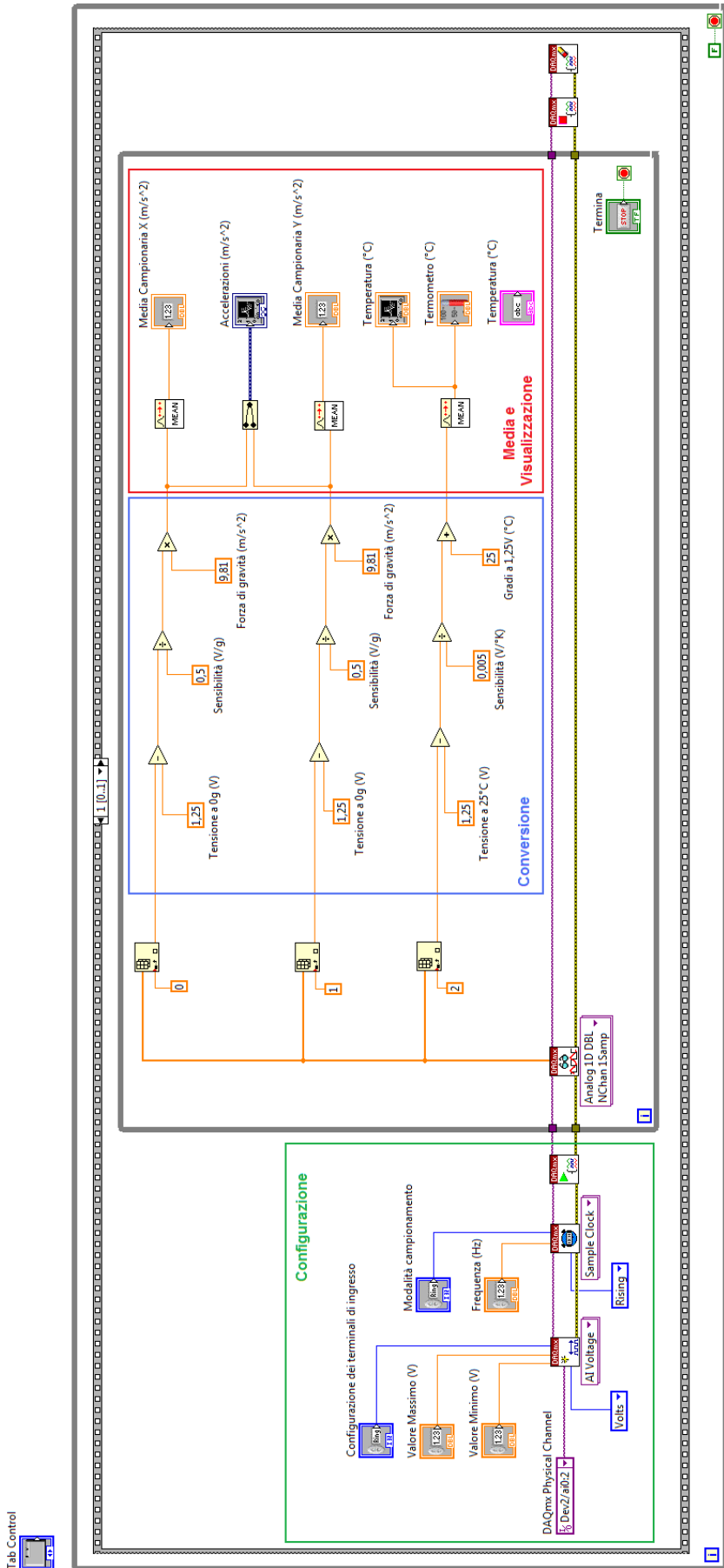


Figura 4.2: Schema a blocchi del VI (parte 2)

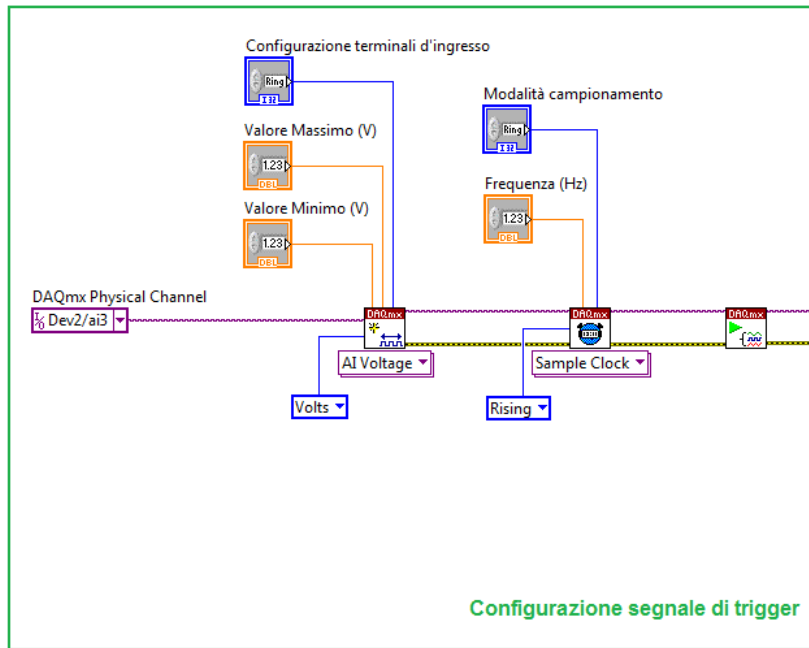


Figura 4.3: Ingrandimento Configurazione segnale di trigger

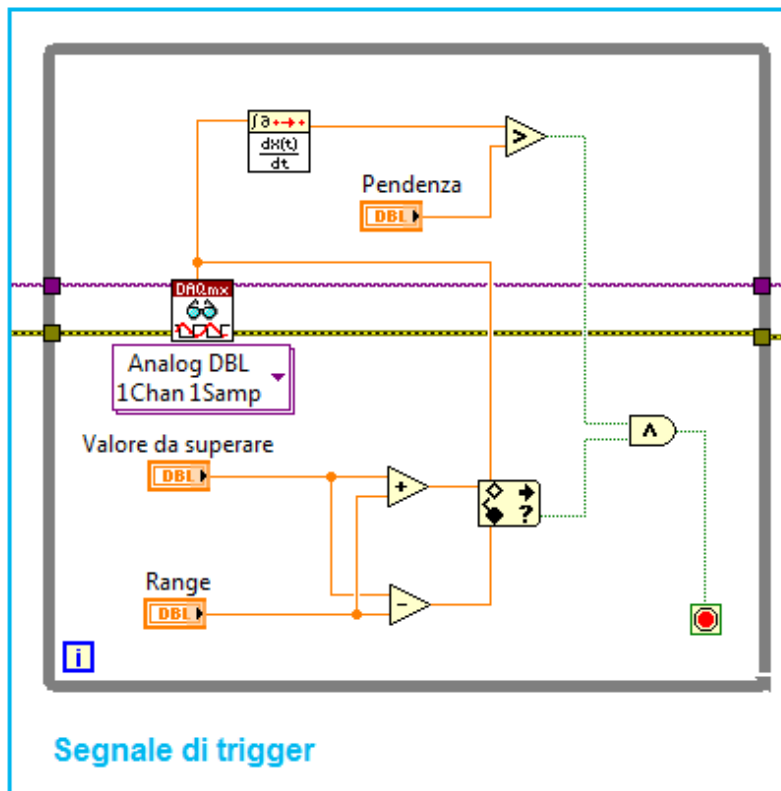


Figura 4.4: Ingrandimento calcolo evento di trigger

tra la variazione in y e la variazione in x :

$$\frac{\Delta y}{\Delta x}(P) = \frac{Q'H}{HP} \quad (4.1)$$

Se i punti P e Q sono molto vicini, come nel nostro caso, l'equazione può essere approssimata da:

$$\frac{\Delta y}{\Delta x}(P) = \frac{QH}{HP} \quad (4.2)$$

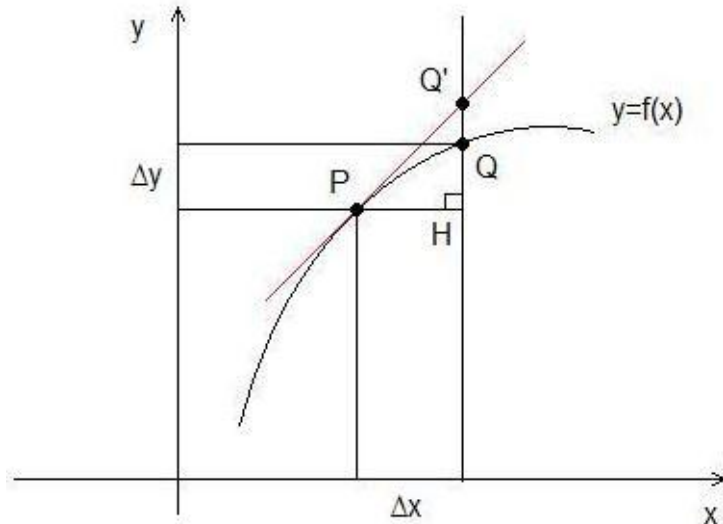


Figura 4.5: Calcolo della derivata

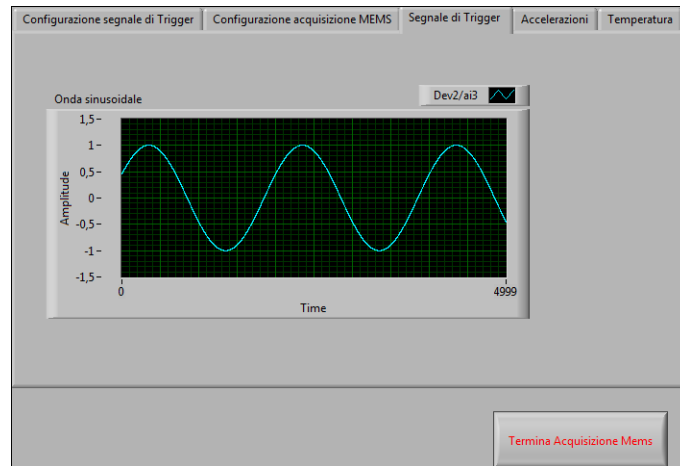
Quindi la prima condizione è superata se la derivata è maggiore di zero. È stato utilizzato un blocco “Point by Point”, in modo tale da calcolare la derivata per ogni coppia di campioni acquisiti. Se il campione appena entrato nella funzione ha una variazione Δy maggiore di zero rispetto al campione precedente, anche la pendenza sarà positiva.

Il secondo requisito è soddisfatto se il valore di tensione di un campione acquisito supera o equivale quello stabilito dall'utente. Affinchè il trigger funzioni correttamente, sia per valori di soglia positivi che negativi, si è introdotto un range $[-0.05, +0.05]$ entro il quale accettare l'elemento deciso. Questo perchè difficilmente un campione equivale precisamente alla quantità assegnata.

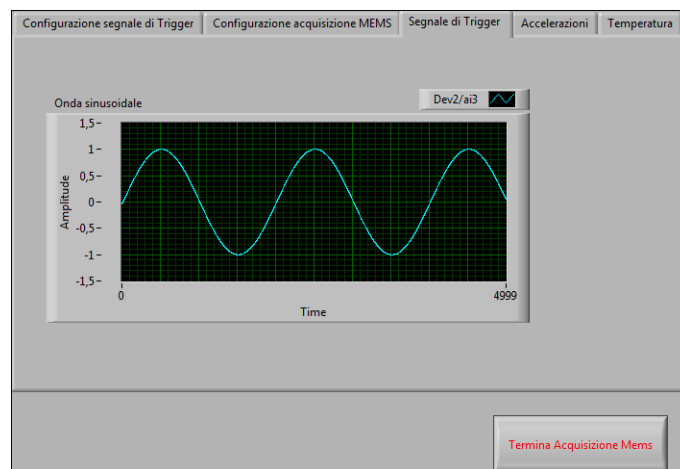
Le due condizioni sono unite da una funzione “AND”; se verificate entrambe, ritornano un valore True, che fa terminare il ciclo while. Viene, a questo punto, visualizzata l'onda sinusoidale utilizzata come segnale di trigger. Così facendo si può visualizzare e accertare che l'inizio di acquisizione dati parta quando il segnale ha pendenza positiva e abbia raggiunto il livello di soglia stabilito. In Figura 4.6 sono mostrati alcuni esempi di acquisizione di trigger a diversi livelli di soglia, utilizzando una sinusoide a 1V picco-picco a 10Hz di frequenza.

Terminato il primo frame, in seguito al raggiungimento della condizione di trigger, si passa al secondo frame, descritto in Figura 4.2. Questo riquadro equivale al programma realizzato nella sezione 3.2. Infatti, sono state utilizzate le solite tre coppie di canali d'ingresso analogici della scheda DAQ:

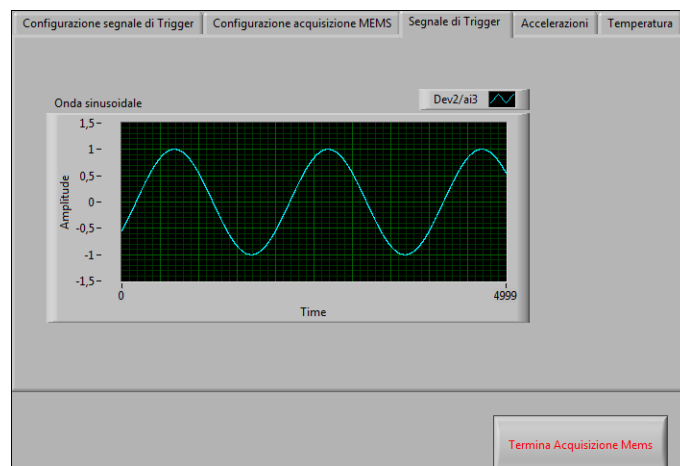
- AI0-AI8, rileva la tensione di accelerazione lungo l'asse x , A_{OUTX} , del MEMSIC
- AI1-AI9, rileva la tensione di accelerazione lungo l'asse y , A_{OUTY} , del MEMSIC
- AI2-AI10, rileva la tensione di temperatura, T_{OUT} , del MEMSIC



(a)



(b)



(c)

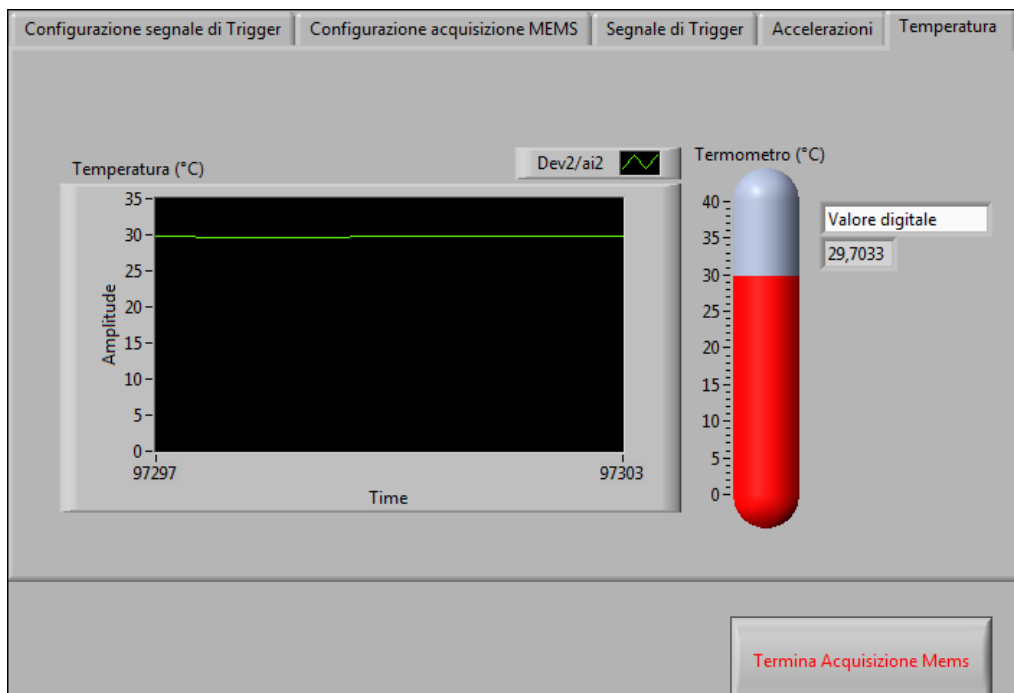
Figura 4.6: Segnale di trigger. a) Valore soglia=0,5V. b) Valore soglia=0V. c) Valore soglia=-0.5V.

4.2 Pannello frontale

In Figura 4.7 è rappresentato il pannello frontale dello schema a blocchi descritto. Come in precedenza, è stato inserito un blocco “Tab Control” con cinque finestre: “Configurazione segnale di Trigger”, “Configurazione acquisizione MEMS”, “Segnale di Trigger”, “Accelerazioni” e “Temperatura”.



(a)



(b)

Figura 4.7: Pannello frontale. a) accelerazioni. b) temperatura.

Conclusioni

In questa tesi si è sviluppato un sistema multi-sensore per la misura di accelerazioni lungo due assi distinti, detti asse X ed asse Y, e di temperatura. Il sistema è stato realizzato utilizzando una scheda di acquisizione commerciale, programmabile attraverso linguaggi ad alto livello come LabVIEW. Le caratteristiche salienti del sistema progettato si possono brevemente riassumere nei seguenti punti:

- capacità di analizzare sia accelerazioni di tipo statico che di tipo dinamico
- capacità di seguire l'evoluzione dei segnali in tempo reale
- possibilità di iniziare l'acquisizione dei segnali in seguito al verificarsi di un evento di trigger, corrispondente al soddisfacimento di una condizione sul livello e sulla pendenza del segnale analogico usato come segnale di trigger.

Per la realizzazione di questi obiettivi sono state adottate diverse strategie, sia in fase di realizzazione hardware del sistema, sia in fase di progettazione del software di gestione, come ampiamente illustrato in questa relazione. Il sistema realizzato presenta una buona flessibilità e può essere facilmente adattato in futuro per il monitoraggio del funzionamento di meccanismi in movimento complessi, attraverso l'aggiunta di ulteriori sensori.

Elenco delle figure

1.1	Segnale di tipo Referenced Single-Ended	2
1.2	Segnale di tipo Non Referenced Single-Ended	2
1.3	Segnale di tipo Differenziale	3
1.4	Vista frontale della scheda DAQ NI-6211 USB	4
1.5	Dimensioni della scheda DAQ NI-6211 USB	5
1.6	Disposizione dei terminali della scheda	6
1.7	Schema a blocchi della scheda DAQ NI USB-6211	8
1.8	Circuiteria di ingresso per segnali analogici	10
1.9	Circuiteria di uscita per segnali analogici	12
1.10	Circuiteria I/O digitale	13
1.11	Circuiteria d'ingresso PFI	13
1.12	Circuiteria d'uscita PFI	14
1.13	Libreria DAQmx	14
1.14	DAQ Assistant	15
1.15	NI-DAQmx Create Virtual Channel	15
1.16	NI-DAQmx Trigger	16
1.17	NI-DAQmx Timing	16
1.18	NI-DAQmx Start Task	17
1.19	NI-DAQmx Read	17
1.20	NI-DAQmx Write	17
1.21	NI-DAQmx Wait Until Done	18
1.22	NI-DAQmx Clear Task	18
1.23	Schema a blocchi del VI	19
1.24	Pannello frontale dell'applicazione	20
1.25	L'Agilent (HP) 54654A	21
1.26	Connessione dei piedini	21
1.27	Schema a blocchi del VI	22
1.28	Pannello frontale dell'applicazione	23
1.29	Onda triangolare misurata tramite oscilloscopio	23
1.30	Sistema di misura	24
2.1	Sistema Massa Molla Smorzatore	26
2.2	Esempi di moto in presenza di vibrazioni libere	28
2.3	Esempi di moto in presenza di vibrazioni forzate	30
2.4	MEMSIC	31
2.5	Funzionamento tramite convezione termica	32
2.6	Diagramma a blocchi dell'accelerometro	33
2.7	Contatti del Memsic	34
2.8	Schema circuitale della schedina	35
2.9	Schema per la riduzione della potenza di rumore	36
2.10	Filtro passa alto per misure dinamiche	36

2.11	Base per l'accelerometro	37
2.12	Connessioni tra scheda DAQ e accelerometro per effettuare misure statiche	39
2.13	Connessioni tra scheda DAQ e accelerometro per effettuare misure dinamiche	39
2.14	Schema del sistema di misura	40
2.15	Schema del sistema di misura	40
2.16	Sistema di misura	41
3.1	Schema a blocchi del VI	44
3.2	Datasheet MEMSIC MXA2500G/M	46
3.3	Pannello frontale	47
3.4	Schema a blocchi del VI	49
3.5	Ingrandimento del riquadro "Configurazione"	50
3.6	Conversione Tensione-Accelerazione per misure statiche	51
3.7	Conversione Tensione-Accelerazione per misure dinamiche	51
3.8	Media e Visualizzazione dei campioni convertiti	52
3.9	Pannello frontale	53
3.10	Pannello frontale per misure dinamiche	54
4.1	Schema a blocchi del VI (parte 1)	57
4.2	Schema a blocchi del VI (parte 2)	58
4.3	Ingrandimento Configurazione segnale di trigger	59
4.4	Ingrandimento calcolo evento di trigger	59
4.5	Calcolo della derivata	60
4.6	Segnale di trigger	61
4.7	Pannello frontale	62

Elenco delle tabelle

1.1	Disposizione dei terminali	7
1.2	Configurazione ingressi analogici	10
1.3	Configurazione ingressi analogici	11
2.1	Descrizione Pin: LCC-8 Package	34

Bibliografia

- [1] L. Benetazzo, C. Narduzzi, G. Giorgi, *Dispense di misure per l'automazione e la produzione industriale*, Padova, 14 ottobre 2008
- [2] National Instruments *NI USB-6211 Hw*,
URL (Agosto 2011): <http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/9035>
- [3] National Instruments *Caratteristiche NI USB-6211*,
URL (Agosto 2011): <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/it/nid/203224>
- [4] National Instruments *NI USB-6211 Datasheet*,
URL (Agosto 2011): <http://www.ni.com/pdf/manuals/371932f.pdf>
- [5] National Instruments *NI USB-6211 Manual*,
URL (Agosto 2011): <http://www.ni.com/pdf/manuals/371931f.pdf>
- [6] Wikipedia Foundation, Wikipedia: l'enciclopedia libera, *Accelerometro*,
URL (Agosto 2011): <http://it.wikipedia.org/wiki/Accelerometro>
- [7] *Sistema Massa Molla Smorzatore*,
URL (Agosto 2011): http://www.dpa.unina.it/demarco/docs/app_sdqv_cap_4.pdf
- [8] Wikipedia Foundation, Wikipedia: l'enciclopedia libera, *MEMS*,
URL (Agosto 2011): <http://it.wikipedia.org/wiki/Mems>
- [9] Farnell Company, Farnell Electronic Component Distributors, *Memsic MXA2500G/M Datasheet*,
URL (Agosto 2011): <http://www.farnell.com/datasheets/75121.pdf>
- [10] Wikipedia Foundation, Wikipedia: l'enciclopedia libera, *Convezione*,
URL (Agosto 2011): <http://it.wikipedia.org/wiki/Convezione>