



Politecnico
di Bari

ACQUISIZIONE DI SEGNALI DI VIBRAZIONE ATTRAVERSO ACCELEROMETRI PIEZOELETTRICI

GRUPPO1:

Fracchiolla Beniamino;

Giannattasio Marika;

Susca Vito.

Data: 12/11/2021

INDICE

1. Abstract	3
2. Descrizione degli strumenti	3
3. Richiami di teoria	5
4. Svolgimento prova	
4.1 Studio del fenomeno fisico	8
4.2 Scelta dei parametri di misura	8
4.3 Costruzione del setup sperimentale e acquisizione dei dati	8
4.4 Elaborazione dei dati	10
5. Risultati	11
6. Conclusioni	13

INDICE FIGURE

Figura 1 - Product Drawing da www.pcb.com	3
Figura 2 - Typical Test Accelerometr Response da Installation and Operating Manual su www.pcb.com	3
Figura 3 - TDS3032B da www-mouser.it	4
Figura 4 - NI myDAQ Connection Diagram da www.ni.com	4
Figura 5 - Effetto della risoluzione nel campionamento da E. O. Doebelin - Strumenti e metodi di misura	5
Figura 6 - Effetto della discretizzazione nel tempo da E. O. Doebelin - Strumenti e metodi di misura	6
Figura 7 - Aliasing nel dominio del tempo da E. O. Doebelin - Strumenti e metodi di misura	6
Figura 8 - Aliasing nel dominio delle frequenze da E. O. Doebelin - Strumenti e metodi di misura	7
Figura 9 - Motore elettrico	8
Figura 10 - Adhesive mount da Installation and Operating Manual su www.pcb.com	9
Figura 11 - Segnale nel dominio del tempo da software MATLAB	11
Figura 12 - Segnale nel dominio delle frequenze da software MATLAB	11
Figura 13 - Signal Analyzer da software MATLAB	12
Figura 14 - Picchi nel dominio delle frequenze	13
Figura 15 - Segnale non perfettamente sinusoidale nel dominio del tempo	13

INDICE TABELLE

Tabella 1 - Calibration Data Card	4
--	----------

1. Abstract

Nella trattazione seguente ci si è concentrati sulle misure di vibrazione di un albero motore mediante accelerometro piezoelettrico al fine di risalire alla velocità di rotazione dello stesso.

2. Descrizione degli strumenti

L'accelerometro di tipo piezoelettrico basa il suo funzionamento sull'effetto piezoelettrico presente, ad esempio, in materiali cristallini privi di centro di simmetria delle cariche.

La struttura di tali cristalli è costituita da microscopici dipoli elettrici. In condizioni di quiete, questi dipoli elettrici sono disposti in modo tale che le facce del cristallo abbiano tutte lo stesso potenziale elettrico. Quando viene applicata una forza dall'esterno, comprimendo il cristallo, la struttura del cristallo viene deformata e si **perde** la condizione di **neutralità elettrica** del materiale.

Per la prova in laboratorio è stato utilizzato un accelerometro piezoelettrico di tipo **triassiale** PCB 356A17 come il seguente:

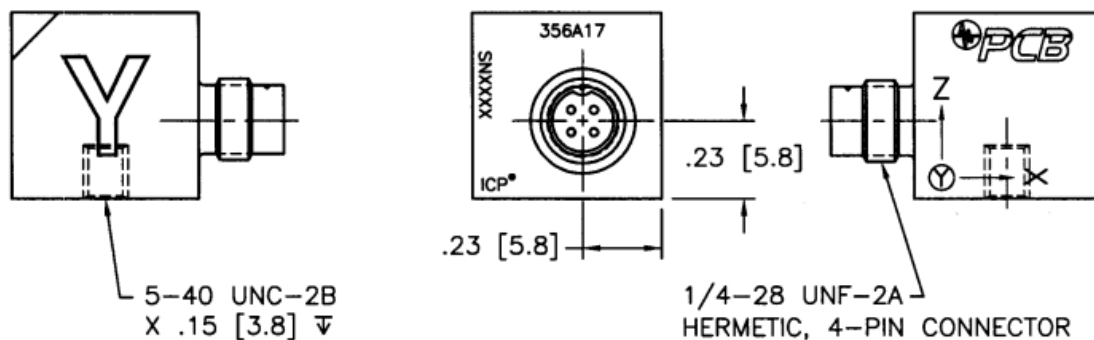


Figura 1 - Product Drawing da www.pcb.com

Le cui caratteristiche dinamiche sono descritte dai grafici di modulo e fase:

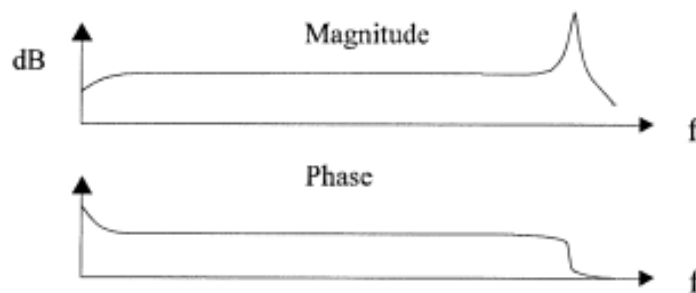


Figura 2 - Typical Test Accelerometr Response da Installation and Operating Manual su www.pcb.com

Nel caso in esame, dovendo utilizzare un solo asse di questo accelerometro il **Calibration Data Card** allegato dal costruttore riporta:

MODEL	356A17
SERIAL	30083 (y axis)
SENSITIVITY [mV/g]	523
SENSITIVITY [mV/m/s²]	53.3
BIAS LEVEL	11.6
RANGE [Hz]	0.5-3000

Tabella 1 - Calibration Data Card

Per scegliere la **frequenza di campionamento** vi è la necessità di guardare il segnale all'oscilloscopio, almeno per avere un'idea della dinamica di quest'ultimo. Per far ciò è stato utilizzato un TDS3032B quale oscilloscopio digitale da banco e a due canali:



Figura 3 - TDS3032B da www-mouser.it

Per acquisire il segnale è stato necessario l'impiego di una scheda di acquisizione con sufficiente numero di bit (livelli codificati) tale da fornire una rappresentazione coerente del segnale di nostro interesse. Nel nostro caso un Student Data Acquisition Device da 16bit:

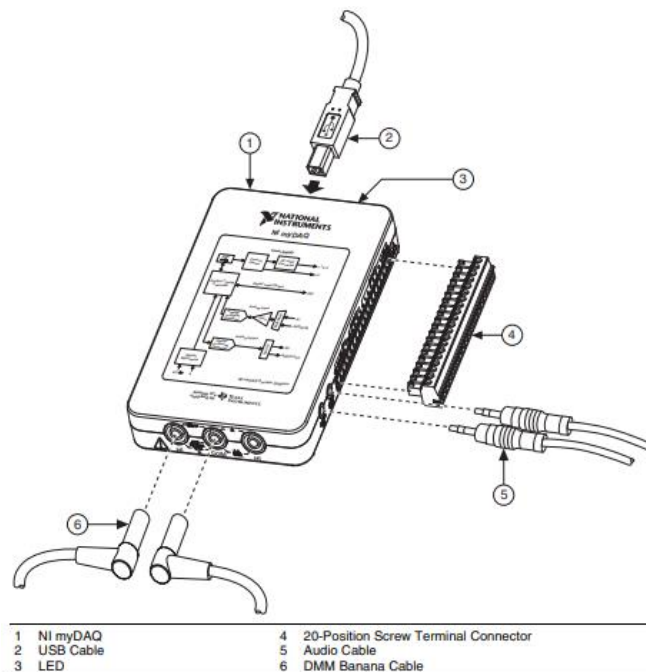


Figura 4 - NI myDAQ Connection Diagram da www.ni.com

3. Richiami di Teoria

La scheda di acquisizione è un dispositivo atto a trasformare i segnali provenienti dai trasduttori, che sono di tipo analogico ovvero tempo-continui ad ampiezza continua, in segnali digitali ovvero discreti nel tempo e nelle ampiezze. Quindi, tali schede eseguono sostanzialmente due compiti:

- Discretizzazione nelle ampiezze;
- Discretizzazione nel tempo.

Per quanto riguarda la discretizzazione nelle ampiezze appare ovvio che non è possibile rappresentare il segnale adottando la risoluzione infinita del segnale analogico ma bisognerà accontentarsi di una certa risoluzione accettando quindi una certa approssimazione. Definito come ΔV l'intervallo di valori da convertire e con b il numero di bit della scheda di acquisizione, la risoluzione del convertitore (spesso pari alla più piccola variazione di tensione apprezzabile) è data dalla formula:

$$ris = \frac{\Delta V}{2^b}$$

La figura 5 mostra come riducendo il valore della risoluzione si ottenga una discretizzazione più rappresentativa del segnale originale.

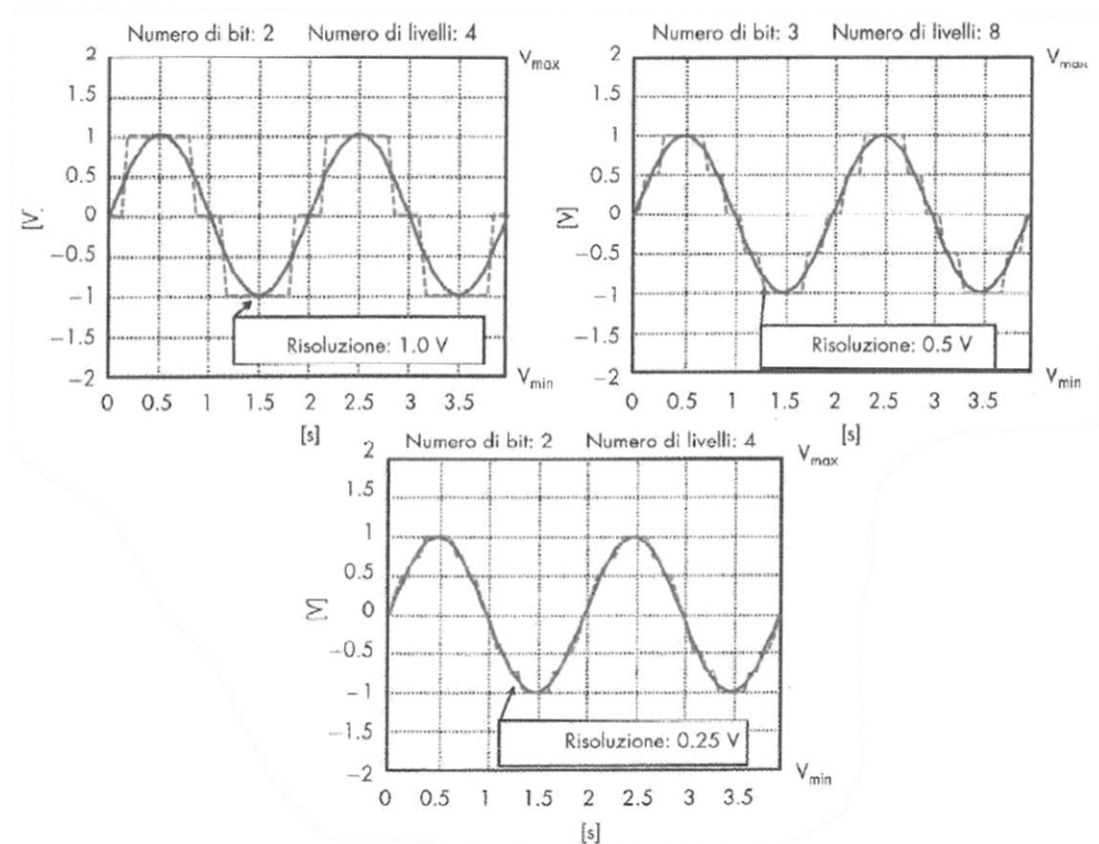


Figura 5 - Effetto della risoluzione nel campionamento da E. O. Doebelin - Strumenti e metodi di misura

La discretizzazione nel tempo ci permette di conoscere il segnale ma solo in determinati istanti di tempo ben definiti dalla frequenza di campionamento " f_c " che esprime il numero di conversioni effettuate dal convertitore ogni secondo. Scegliere la giusta f_c è fondamentale per eseguire un corretto campionamento ed evitare così errori irreversibili nell'acquisizione dati.

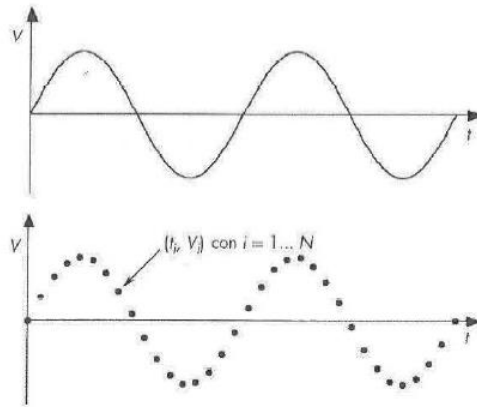


Figura 6 – Effetto della discretizzazione nel tempo da E. O. Doebelin - Strumenti e metodi di misura

Dalla figura 6 si può osservare come la frequenza di campionamento adottata sia adeguata a preservare tutte le informazioni importanti relative al segnale analogico ossia frequenza, ampiezza e posizionamento sull'asse dei tempi del segnale armonico. È altrettanto vero però che probabilmente sarebbe stato possibile ottenere un segnale ugualmente rappresentativo con una f_c più bassa, risparmiando così memoria e agevolando l'elaborazione dei dati. Quindi laddove possibile, a patto che si ottenga un segnale digitale rappresentativo è sempre preferibile adottare una frequenza di campionamento più bassa. Tuttavia, il diradamento dei campioni ha un limite, infatti se si riducesse troppo il numero di campioni acquisiti al secondo si incorrerebbe nel fenomeno dell'aliasing che attribuisce al segnale una frequenza più bassa inventando componenti armoniche inesistenti nel segnale di partenza e corrompendo in modo irreversibile il segnale.

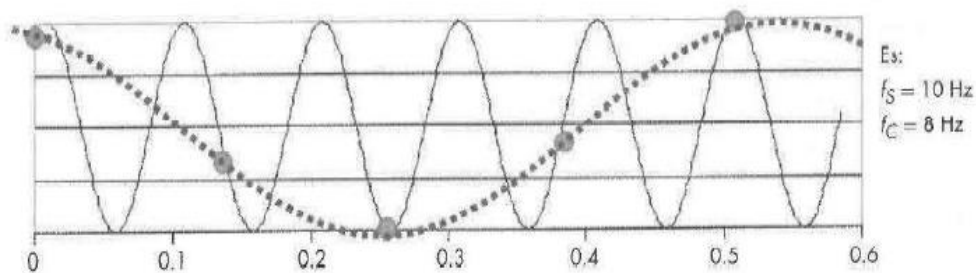


Figura 7 – Aliasing nel dominio del tempo da E. O. Doebelin - Strumenti e metodi di misura

In figura 7 viene mostrato come la scelta di una frequenza di campionamento non adeguata sia capace di distorcere il segnale originale.

Dato che l'informazione contenuta nel segnale deve essere la stessa indipendentemente dal fatto che esso venga rappresentato nel dominio del tempo o delle frequenze, il fenomeno dell'aliasing si può osservare anche nelle frequenze in figura 8.

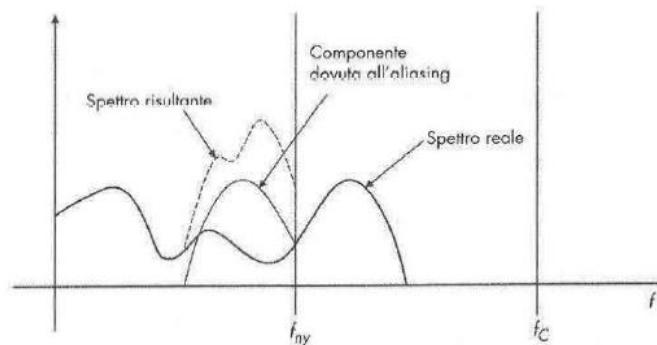


Figura 8 – Aliasing nel dominio delle frequenze da E. O. Doebelin - Strumenti e metodi di misura

È possibile dimostrare che, per eseguire un corretto campionamento del segnale, deve essere rispettato il teorema di Nyquist-Shannon il quale afferma che per ottenere un segnale rappresentativo bisogna adottare una frequenza di campionamento che sia superiore di almeno due volte la frequenza massima del segnale ovvero:

$$f_c > 2f_{s,max} \quad \rightarrow \quad \begin{array}{l} \text{Tale condizione deve essere} \\ \text{necessariamente soddisfatta} \\ \text{se si vuole evitare l'aliasing.} \end{array}$$

Un altro problema in cui spesso si incorre nel campionamento è il leakage ovvero una dispersione di energia del segnale, la quale va a ridistribuirsi lungo l'asse delle frequenze. Si può dimostrare che per evitare tale problema devono essere rispettate ulteriori due condizioni, ovvero:

$$\begin{cases} T = nT_c \\ T_{oss} = mT \end{cases} \quad \rightarrow \quad \begin{array}{l} \text{Tale condizione deve essere} \\ \text{necessariamente soddisfatta} \\ \text{se si vuole evitare il leakage.} \end{array}$$

(con n, m numeri interi)

La prima condizione impone che il periodo del segnale sia un multiplo del periodo di campionamento (pari a $1/f_c$) mentre la seconda che il tempo di osservazione del segnale sia un multiplo del periodo dello stesso.

4. Svolgimento prova

4.1 Studio del fenomeno fisico

Nel caso **puramente ideale** misureremmo un'armonica (nel dominio del tempo) a singola frequenza (nel dominio delle frequenze) dettata dalla velocità di rotazione dell'albero.

Nel caso **reale** un sensore molto grande in termini di massa influirebbe sulle misure di **ampiezza** della vibrazione e si avrà la sovrapposizione di più **frequenze** dovute dalle seguenti cause:

- eccentricità del rotore;
- usura sui cuscinetti;
- curvatura dell'albero motore;
- rumore di fondo.

4.2 Scelta dei parametri di misura

Per limitare l'influenza della massa del sensore sull' ampiezza di oscillazione della fondamentale si è scelto un accelerometro piezoelettrico di massa ridotta.

È stata scelta una frequenza di campionamento di 3000Hz in quanto frequenza di taglio dello strumento.

4.3 Costruzione del setup sperimentale e acquisizione dei dati

Al fine dell'esperienza si collega l'accelerometro sul motore, più precisamente sulla carcassa in posizione quanto più vicina possibile alla rastrelliera fissa dei cuscinetti, per aver la miglior lettura della vibrazione.

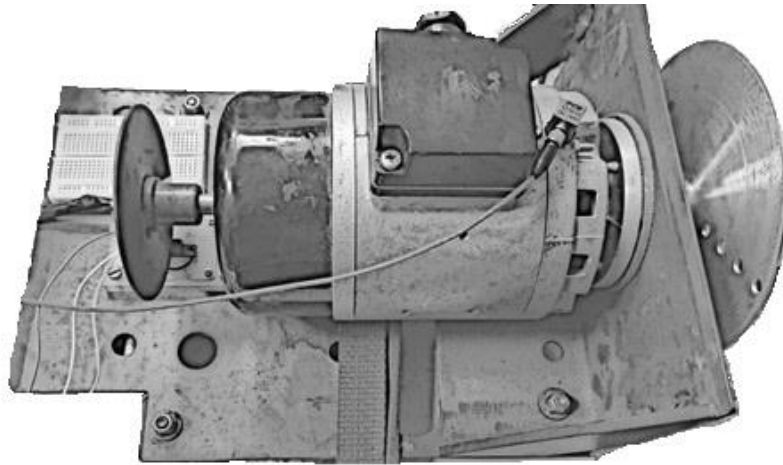


Figura 9 – motore elettrico

La configurazione testata è stata quella di un motore elettrico che garantisce una velocità di rotazione di 3000 RPM.

Il collegamento del sensore alla carcassa del motore avverrà per montaggio adesivo, compatibilmente da quanto consigliato dal costruttore, come mostrato di seguito:

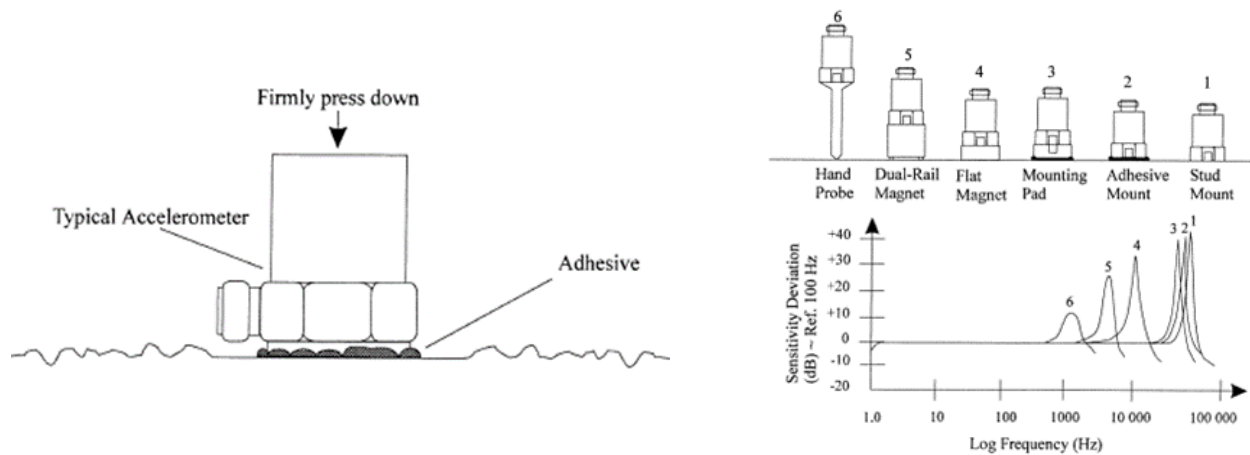


Figura 10 – Adhesive mount da Installation and Operating Manual su www.pcb.com

La catena di misura, per l'acquisizione del segnale, è stata completata collegando l'accelerometro ai pin della scheda di acquisizione tramite cavo + e cavo – alla porta n° 4 indicata nella Figura 4.

4.4 Elaborazione dei dati

Si riporta l'implementazione dello script usato per leggere i risultati ottenuti dall'acquisizione.

```
%time domain

load('X.mat');
load('t.mat');

X1=X.*(1/0.0533); %from volt to m/s^2 through sensitivity

figure(1)
plot(t,X1,'b')
title('Signal in time domain')
xlabel('t [seconds]')
ylabel('X(t) [m/s^2]')
legend('signal','signal offset','mean max amplitude','mean min amplitude')

%frequency domain

Fs=3000.03;
L = length(X1);

Y = fft(X1);
P2 = abs(Y/L);
P1 = P2(1:L/2+1);
P1(2:end-1) = 2*P1(2:end-1);
f = Fs*(0:(L/2))/L;

figure(2)
plot(f,P1)
title('Single-Sided Amplitude Spectrum of X(t)')
xlabel('f [Hz]')
ylabel('|P1(f)| [m/s^2]')
```

Il codice è costruito in modo da caricare gli input in automatico, eseguire la fft del segnale e restituire il segnale nel dominio del tempo e delle frequenze.

5. Risultati

Adottando lo script mostrato nel paragrafo precedente si ottengono due grafici:

- il primo rappresenta il segnale nel dominio del tempo:

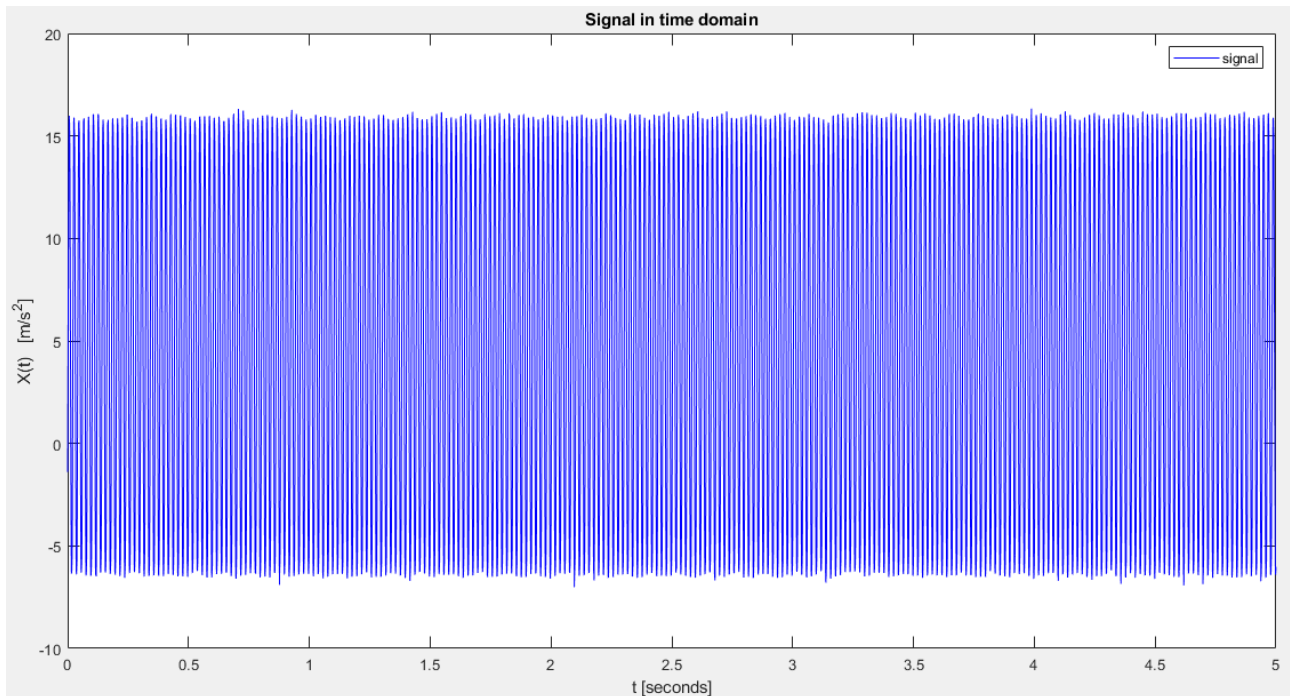


Figura 11 – Segnale nel dominio del tempo da software MATLAB

- il secondo rappresenta il segnale nel dominio delle frequenze:

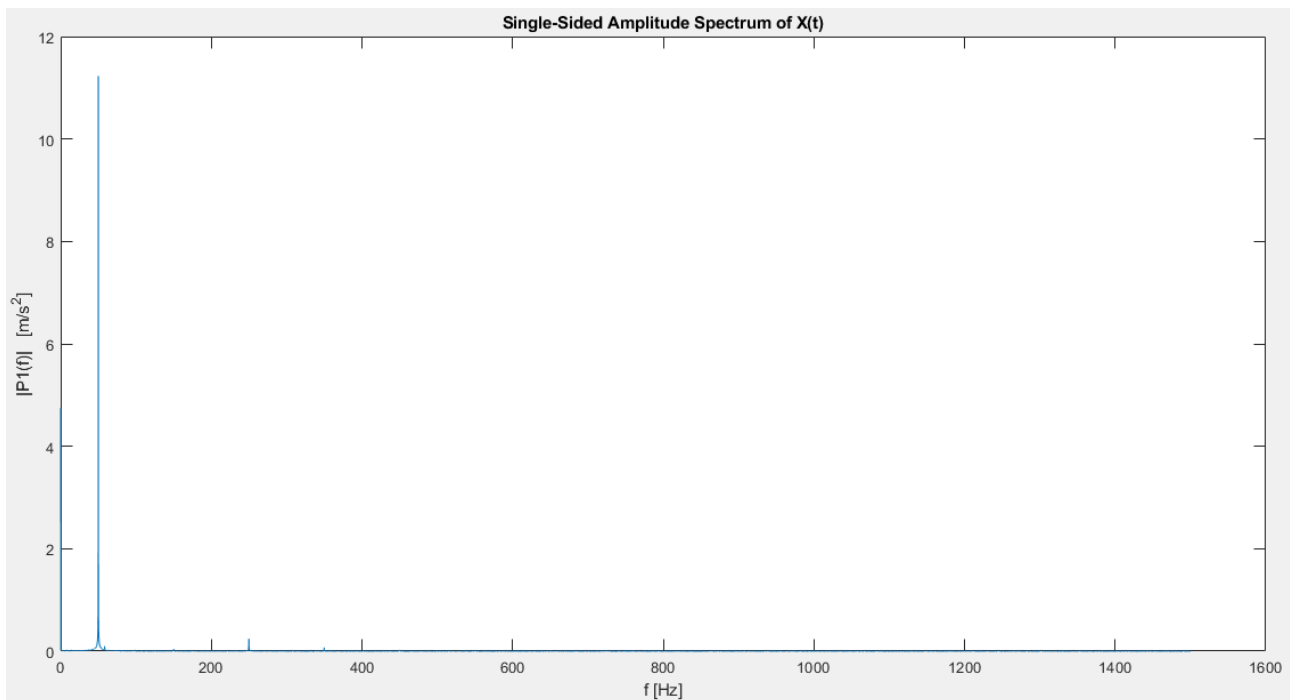


Figura 12 – Segnale nel dominio delle frequenze da software MATLAB

Adottando il Signal Analyzer fornito dal software MATLAB:

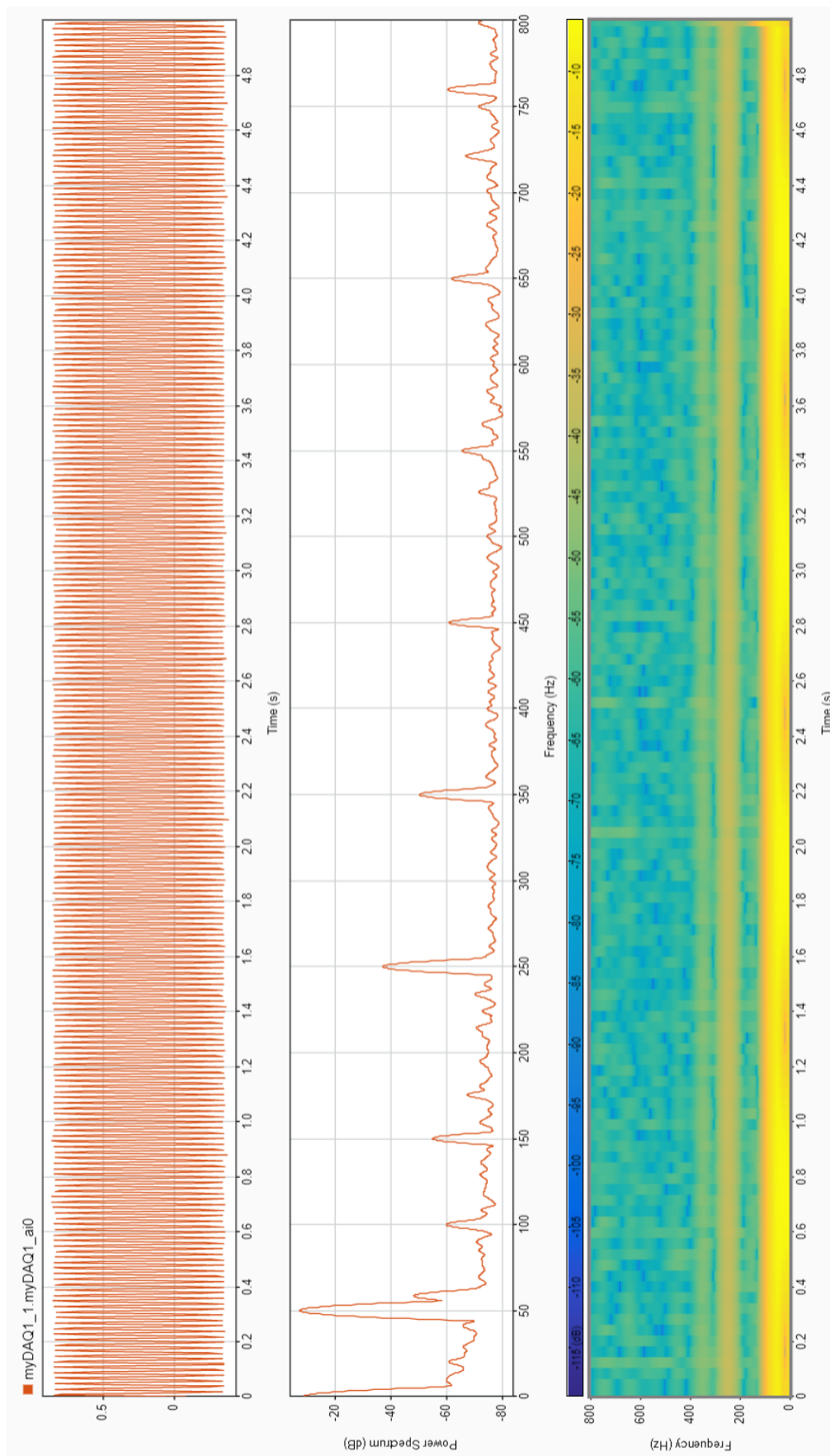


Figura 13 - Signal Analyzer da software MATLAB

6. Conclusioni

Nel dominio delle frequenze si può identificare la frequenza della fondamentale a 50 Hz, il che conferma il valore della velocità di rotazione dell'albero motore, infatti:

$$f = \frac{rpm}{60} = \frac{3000}{60} = 50 \text{ Hz}$$

Nella seguente figura si possono notare altri picchi oltre quello della fondamentale:

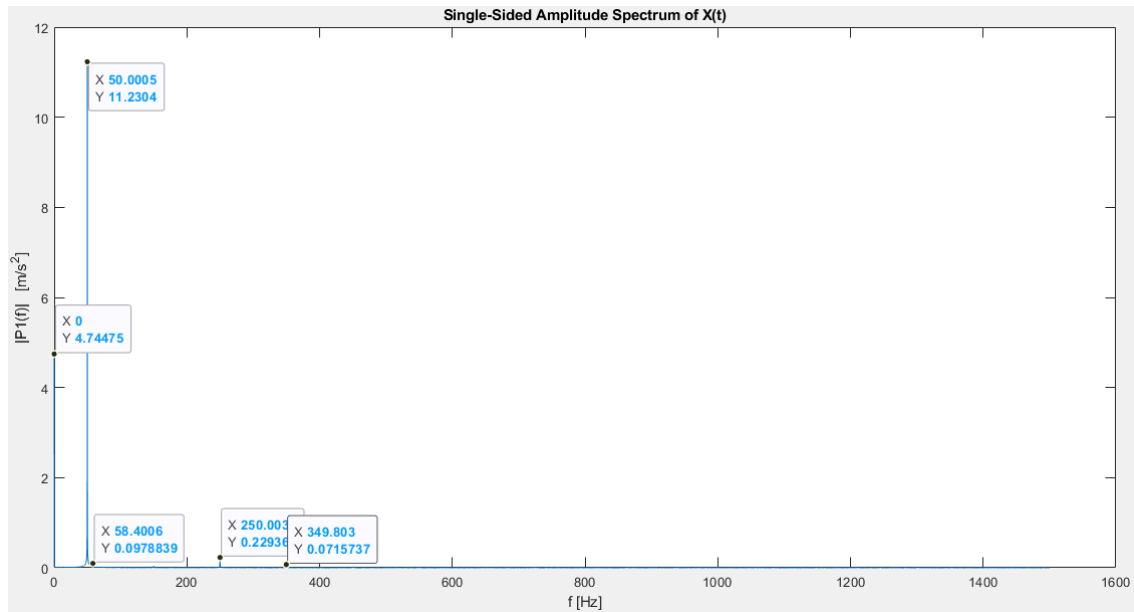


Figura 14 - Picchi nel dominio delle frequenze

Tali picchi giustificano un andamento non perfettamente sinusoidale del segnale nel dominio del tempo come mostrato di seguito:

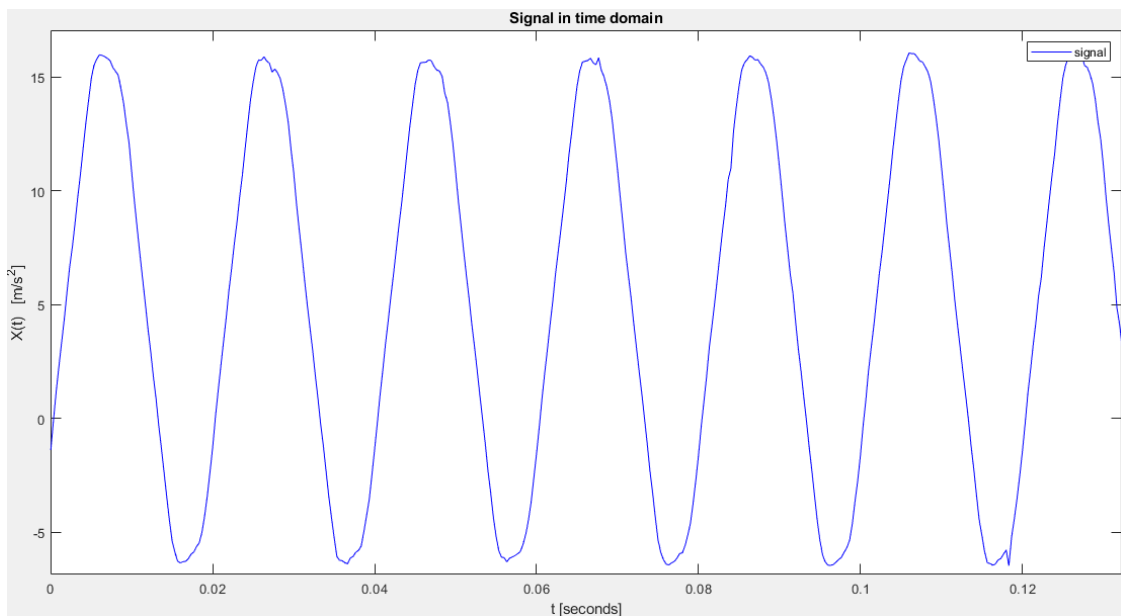


Figura 15 – Segnale non perfettamente sinusoidale nel dominio del tempo

Si potrebbe dire, dai dati acquisiti, che il motore funziona correttamente a meno di piccoli segni d'usura discriminabili nel dominio delle frequenze da picchi a frequenze multiple della fondamentale di ampiezza ridotta.

Avendo rispettato il teorema del campionamento escludendo quindi errori di leakage ed aliasing, il picco a 60Hz è imputabile a rumore di fondo.

Anche se non ai fini della precedente trattazione, si evince un offset nel segnale campionato quale probabile errore sistematico attribuibile allo strumento o al setup di misura.