

# AUTOMAZIONE E STRUMENTAZIONE

## Elettronica Industriale

Ottobre 2024 | N. 7



### SCENARI

Evoluzione digitale in Italia

### MERCATI

Robotica per la fabbrica

### COVER STORY

Vega: precisione e affidabilità

### INDAGINE

Tecnologie indossabili

### SPECIALE

Sensori e strumenti IIoT

**Quine**  
EMPOWERING MINDS

**ANIPLA**  
ASSOCIAZIONE NAZIONALE  
ITALIANA PER L'AUTOMAZIONE



# Un amplificatore elettronico per il comando di un attuatore elettromeccanico



Un'esperienza didattica e un lavoro di ricerca nell'ambito della progettazione, della realizzazione e del test degli attuatori utilizzati per caratterizzare le frequenze di risonanza delle macchine utensili, in modo da studiarne la rigidità strutturale.

A. Cataldo,  
M. Brugora,  
M. Ceriani,  
K. Dorpinghaus,  
F. Ranzenigo,  
G. Gregori

Nell'ambito delle svariate attività di ricerca condotte nell'Istituto di Sistemi e Tecnologie Industriali Intelligenti per il Manifatturiero Avanzato del **Consiglio Nazionale delle Ricerche** (Stiima-CNR), vi sono anche quelle inerenti a progettazione, realizzazione e test di attuatori utilizzati per caratterizzare le frequenze di risonanza di macchine utensili al fine di caratterizzarne la rigidità strutturale. Tali sviluppi fanno parte della quotidianità lavorativa di alcuni ricercatori. Partendo proprio da questo aspetto, si è deciso di coinvolgere un gruppo di cinque studenti dell'indirizzo **Meccatronica dell'Istituto don Bosco - Salesiani Milano**, al fine di avviare l'analisi, lo sviluppo e il testing di un amplificatore. Lo scopo principale di tale iniziativa è stato quello di tra-

smettere la passione per la ricerca ad alcuni giovani studenti volenterosi di imparare.

Si è partiti quindi dal progetto dell'amplificatore schematizzato in **figura 1**: mediante un microcontrollore **Arduino Due** appositamente programmato, viene generato un segnale *PWM* (Pulse Width Modulation) modulato sulla base della forma d'onda sinusoidale a frequenza impostata.

Chiaramente il valore di tensione del segnale in uscita al microcontrollore ha valore massimo costante pari a  $3.3 V_{cc}$  ed è modulato nel tempo con opportuno Duty Cycle. Tale segnale viene quindi fornito a un ponte *H* che, alimentato da un alimentatore di potenza adeguato, ne eleva la tensione di uscita fino al valore di  $36 V_{cc}$ , fornendo la potenza richiesta all'attuatore elettromeccanico.

## NOTA AUTORI

A. Cataldo, Stiima-CNR (Institute of Intelligent Industrial Technologies and Systems for Advanced Manufacturing).  
M. Brugora, M. Ceriani, K. Dorpinghaus, F. Ranzenigo, G. Gregori - ITIS Istituto Salesiani Sant'Ambrogio opera Don Bosco, Milano.  
G. Agnelli, docente di Tecnologia e Meccanica.

## A FIL DI RETE

[www.stiima.cnr.it](http://www.stiima.cnr.it)  
[www.salesianimilano.it](http://www.salesianimilano.it)

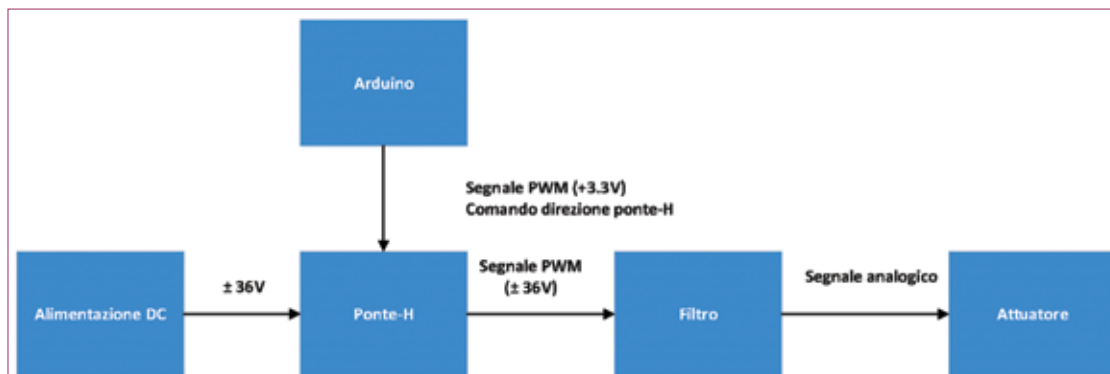


Figura 1 - Progetto dell'amplificatore



Al fine di ottenere i valori di tensione negativi, viene comandata la direzione della tensione in uscita al ponte *H*, mediante un pin di *output* del microcontrollore. Il segnale in uscita al ponte *H* viene così inviato ad un filtro passa banda RLC del secondo ordine, il quale ha a funzione di trasformare il segnale PWM in un valore di tensione analogico.

In particolare considerando che il Duty Cycle può variare tra 0% (corrispondente a un segnale in uscita al filtro pari a 0 V costanti) e 100% (cioè un segnale in uscita al filtro pari a 36 V costanti) e sapendo che esso viene discretizzato dal microcontrollore in 255 quanti ( $2^8-1$ , dove 8 sono i bit utilizzati per la discretizzazione), diviene immediato determinare una legge lineare di conversione da valore di tensione desiderato a Duty Cycle:  $Duty\ Cycle(t) = V_o \cdot 255 / V_{pp}$ , con  $V_o$  la tensione di uscita dal filtro desiderata e  $V_{pp}$  la tensione picco-picco massima della tensione di uscita voluta (36V).

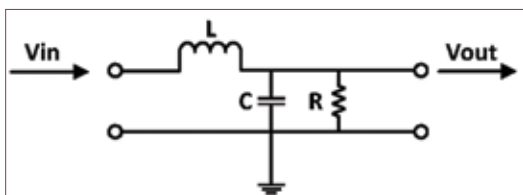


Figura 2 - Progetto del filtro RLC

In **figura 2** è schematizzato filtro passa banda RLC del secondo ordine, dove  $V_{in}$  rappresenta il segnale di uscita del ponte *H*, mentre  $V_{out}$  la tensione da inviare all'elettroattuatore.

Lo studio in frequenza del filtro porterebbe a ottenere una classica curva di risonanza tipica dei sistemi del secondo ordine; tuttavia, in uscita al filtro viene collegato l'attuatore elettromeccanico, schematizzabile semplicemente con una pura resistenza da 3 ohm, portando il filtro ad avere una caratteristica teorica mostrata in **figura 3**.

Siccome il progetto del filtro richiede competenze in elettronica di livello non trascurabile e non del tutto in linea con un percorso di studi

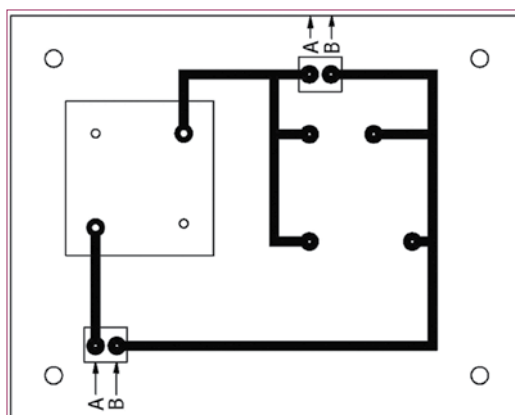


Figura 4 - Progetto del layout della bassetta elettronica del filtro

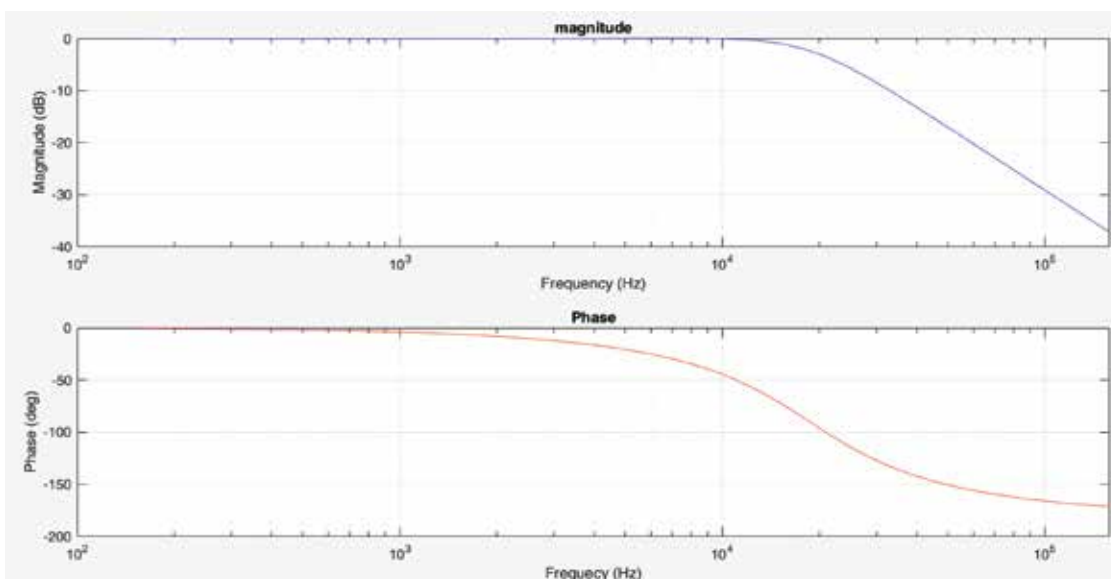


Figura 3 - Risposta in frequenza del filtro accoppiato all'attuatore elettromeccanico

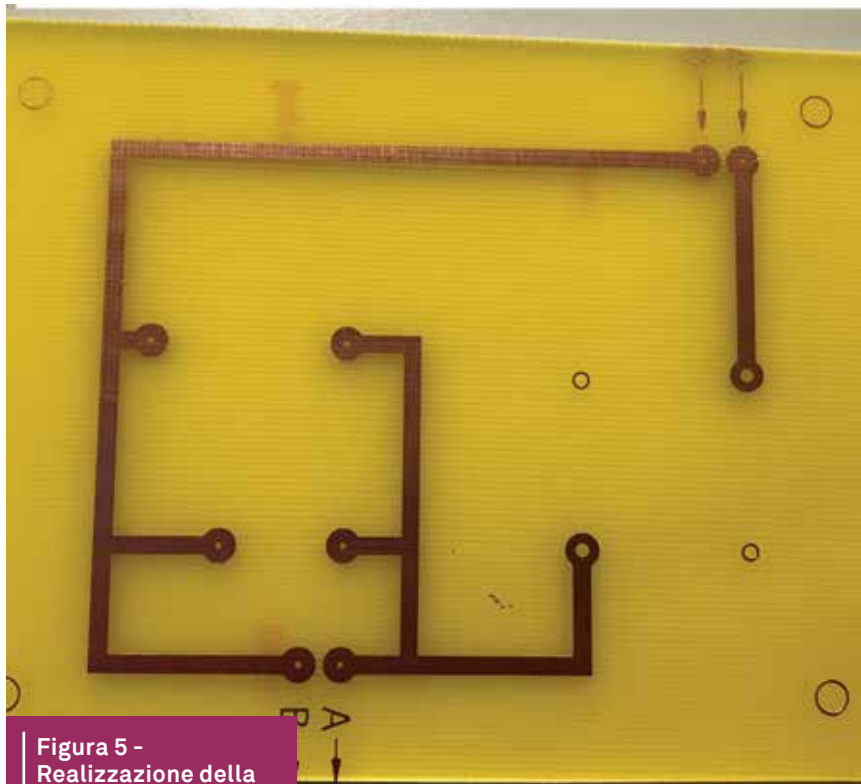
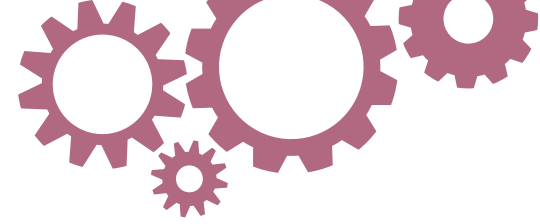


Figura 5 -  
Realizzazione della  
basetta elettronica  
del filtro

in meccatronica, si è deciso di progettare il circuito stampato e realizzarlo, per poi testarne la risposta in frequenza con strumenti di laboratorio. La realizzazione del filtro è iniziata con la progettazione del layout su Cad e successivamente stampato su carta acetata trasparente **figura 4**. Il layout è stato sovrapposto su una basetta di bachelite e rame, ricoperta di photoresist; attraverso il processo di fotoincisione, essa è stata quindi sviluppata in una soluzione di acqua e soda caustica. Infine, il cloruro ferrico contenuto in un'opportuna macchina ha rimosso il rame non più coperto da photoresist, ottenendo il risultato riportato in **figura 5**.

Il filtro passivo è stato realizzato saldando i tre componenti elettronici discreti: un induttore da  $33 \mu H$ , un condensatore ceramico da  $2,2 \mu F$  e una resistenza da  $270 \Omega$ . Dal layout si evince che le piste costituiscono di fatto due rami separati: un ramo *A* e un ramo *B*. Sul ramo *A* è posto l'induttore in serie tra ingresso e uscita del filtro, mentre tra i rami *A* e *B* sono posti in parallelo la resistenza e il condensatore.

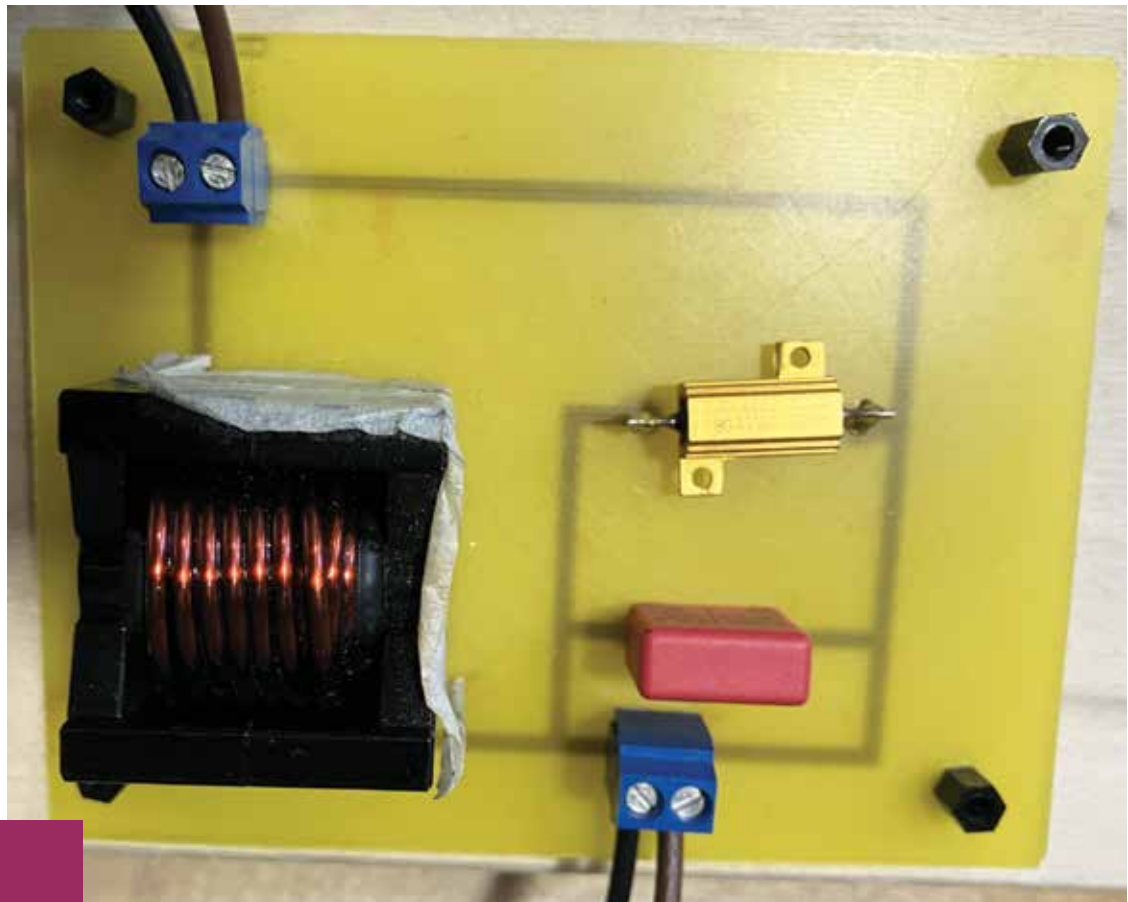


Figura 6 - Filtro completo  
di componenti

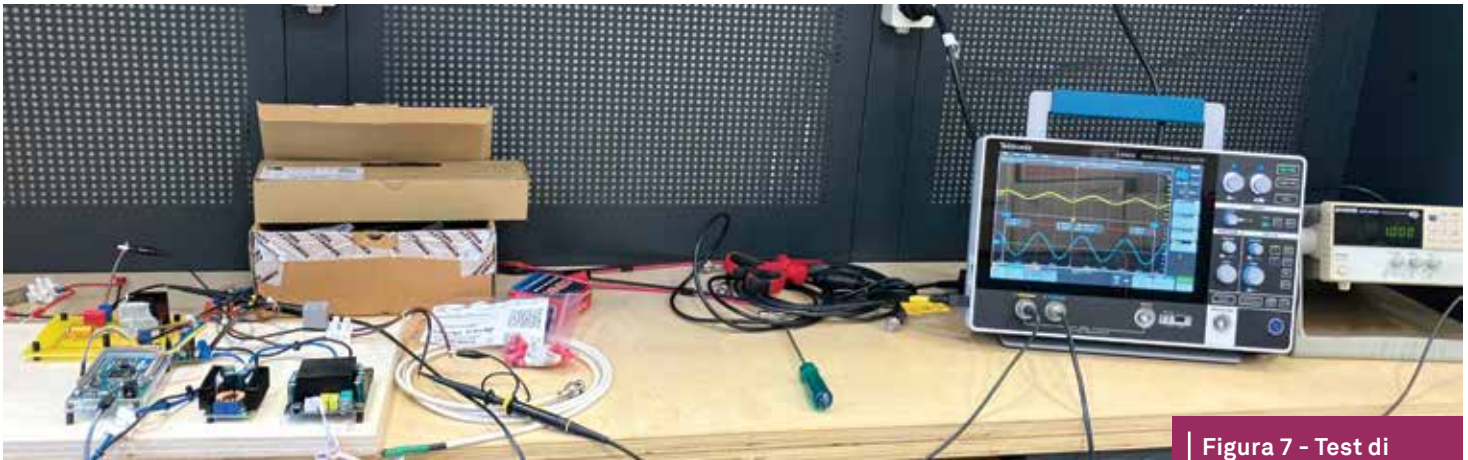
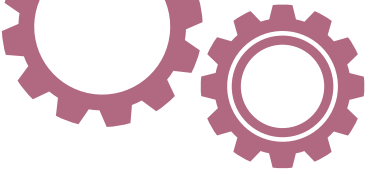


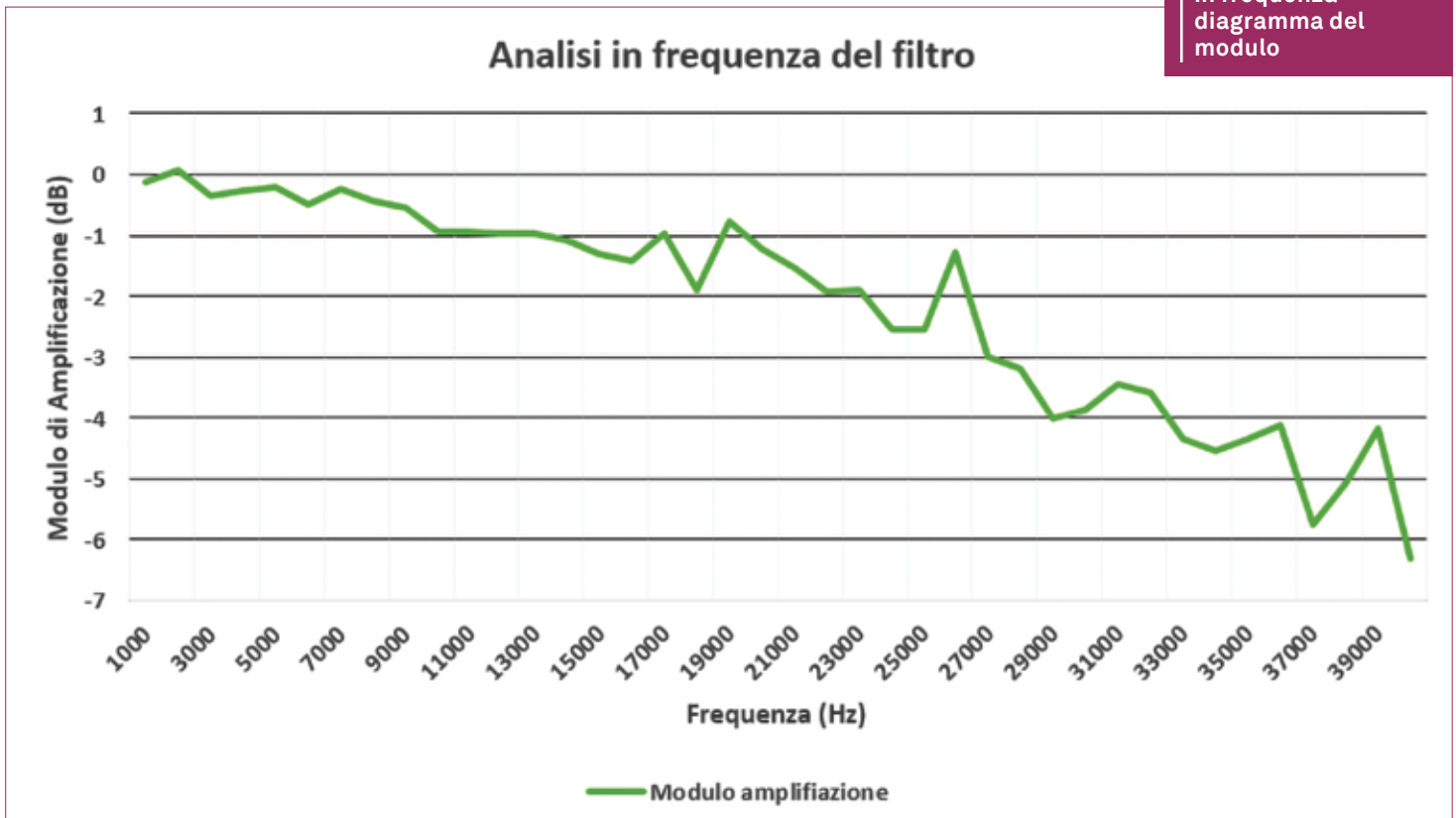
Figura 7 - Test di laboratorio sul filtro

La direzione delle frecce indicate sul layout discrimina l'*input* (frecce entranti nel morsetto di cablaggio) dall'*output* (frecce uscenti). Praticati i fori nelle piazzole per inserire i reofori dei componenti, il filtro è stato completato, si veda **figura 6**, per essere testato in laboratorio. Il montaggio del filtro ha richiesto una cura anche nei semplici cablaggi elettrici al fine di non creare impedenze di contatto troppo grandi, con possibile conseguente diminuzione dell'ef-

ficienza dell'intero sistema. Successivamente al montaggio dei componenti elettronici, sono stati effettuati i test in laboratorio, come mostrato in **figura 7**.

Fornendo al filtro un segnale sinusoidale con una data  $V_{pp}$  e frequenza variabile impostata nel range 1 - 40 kHz, con passo di 1 kHz. Mediante oscilloscopio sono stati acquisiti i valori di tensione  $V_{pp}$  in uscita al filtro e lo sfasamento tra sinusoidale in Input e Output; ottenendo i gra-

Figura 8 - Analisi in frequenza - diagramma del modulo



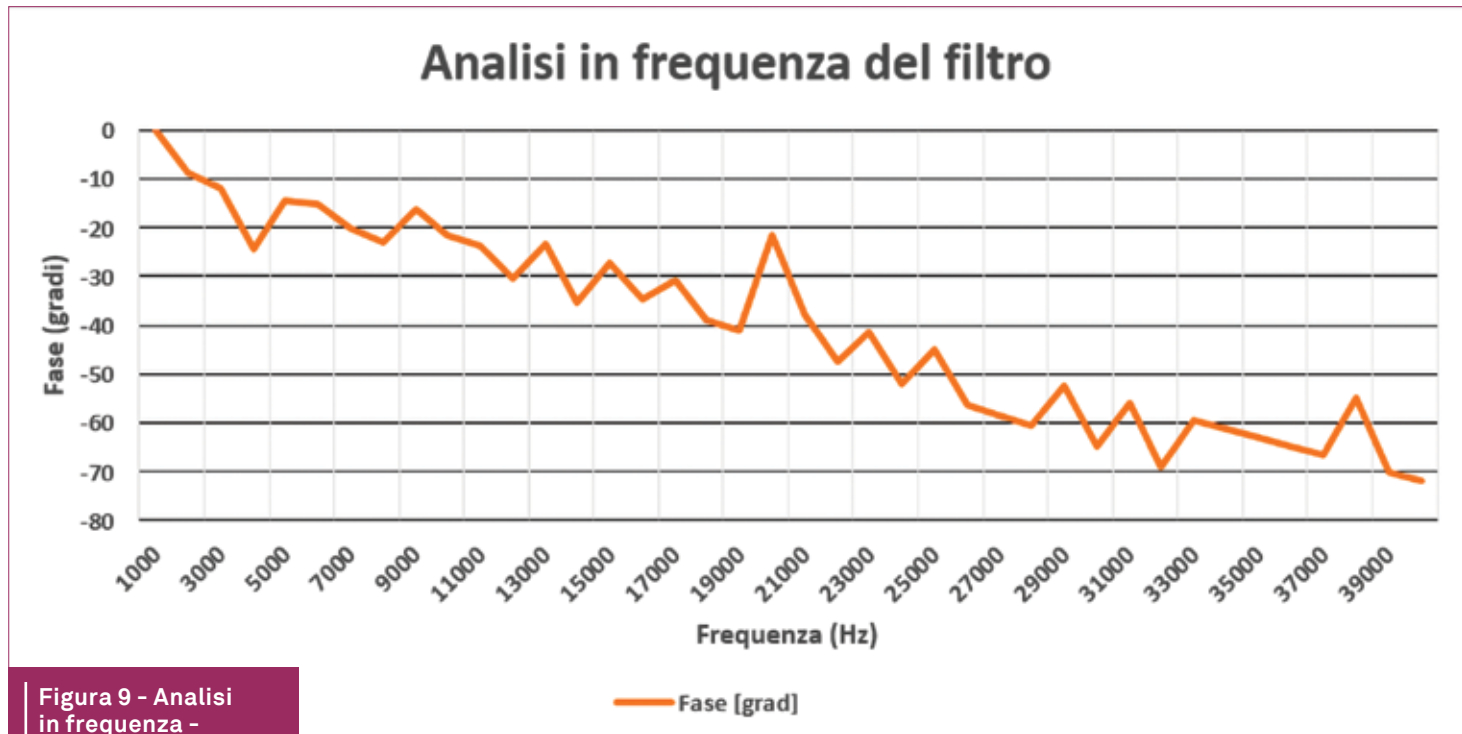
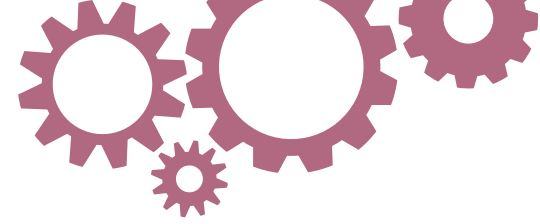


Figura 9 - Analisi in frequenza - diagramma della fase

fici del modulo e della fase rappresentati in figura 8 e 9.

### Conclusioni

Riguardo alle misurazioni del segnale di tensione in uscita al filtro, è stato individuato un problema relativo alla presenza di spike che si trasformano in azioni impulsive da parte dell'attuatore elettromeccanico. Dopo aver escluso cause circuitali, ci si sta concentrando sull'utilizzo della funzione *AnalogWrite* di Arduino Due.

Acculturandosi circa le caratteristiche di basso livello del microcontrollore, ci si sta orientando verso una soluzione che possa scrivere in tempi più rapidi il valore del Duty Cycle del segnale PWM direttamente in appositi registri, evitando di usare la funzione *AnalogWrite* che risulta essere troppo lenta rispetto alle esigenze di progetto.

Per concludere, noi studenti possiamo affermare che il lavoro che abbiamo svolto assieme a un ricercatore dell'istituto Stiima-CNR ci ha permesso di scoprire con concretezza il funzionamento di parti elettroniche che, precedentemente ci apparivano lontane, nonché di correggere eventuali errori dovuti allo sviluppo di circuiti elettronici.

Questo lavoro ci ha inoltre permesso di analizzare, attraverso l'oscilloscopio, fenomeni elettrici altrimenti quasi impercettibili a livello funzionale della circuiteria elettronica, dandoci per il futuro le indicazioni necessarie per svolgere correttamente analisi simili su altri circuiti elettronici.

Ultimo, ma non per importanza, abbiamo compreso con maggior coerenza la grande importanza della ricerca nel campo sperimentale e ci siamo concretamente messi in gioco per affrontare delle problematiche reali e non simulate, come spesso accade nel nostro mondo scolastico. Questa attività, da molti punti di vista è stata un'ottima esperienza e opportunità che ha contribuito alla realizzazione di uno strumento che potrà essere di aiuto nel campo della ricerca nella meccanica delle macchine operatrici.

Si ringrazia l'Ing. Andrea Cataldo per la grande disponibilità profusa in termini di tempo e di conoscenze che ci ha donato, accompagnandoci in questa impresa complessa, molto affascinante e per noi del tutto nuova. Un ringraziamento va anche al prof. Gabriele Agnelli, docente di Tecnologia e Meccanica, il quale ha intuito il potenziale contenuto nella collaborazione tra Stiima-CNR e Istituto don Bosco Salesiani Milano, permettendo l'avvio di tale attività. ■