

Ecodesign dei dispositivi elettronici

UNITÀ 12: Esempio di processo di produzione di dispositivi elettronici

Autore: Andrej Sarjaš

12.1. Produzione di dispositivi elettronici	1
12.2. Scelta degli elementi del dispositivo	2
12.2.1. Sensore di flusso d'aria	2
12.2.2. Valvola proporzionale	3
12.2.3. Microcontrollore	3
12.2.4. Modo di controllo del flusso	4
12.3. Produzione di prototipo di materiale stampato	6
12.3.1. Primo prototipo.....	6
12.3.2. Secondo prototipo	7
12.3.3. Terzo prototipo	8
12.4. Modellazione del sistema e test delle prestazioni	9
12.4. Applicazione per la raccolta e il monitoraggio dei dati dal dispositivo	11

Riassunto del capitolo:

- Processo di produzione di dispositivi elettronici
- Sviluppo e aggiornamento del prodotto
- Prototipazione e test



12.1. Produzione di dispositivi elettronici

Diamo un'occhiata al processo di produzione dei dispositivi elettronici. Il cliente ha ordinato uno studio e realizzazione di apparecchiature di laboratorio per la misurazione della bassa portata d'aria nel processo di invecchiamento dell'olio per trasformatori. L'olio del trasformatore viene utilizzato per il raffreddamento del sistema. L'olio è generalmente prodotto da materiale altamente raffinato e deve essere stabile alle alte temperature. Ha anche bisogno di avere grandi proprietà isolanti perché deve evitare la *corona* (fusione a bassa energia) e le scintille. Le caratteristiche dell'olio sono importanti per l'affidabilità dei dispositivi energetici e, per questo motivo, esiste uno standard e un processo per testare l'olio.

Prima di iniziare con i principi di produzione, è necessario presentare brevemente le funzioni del dispositivo. Il processo di invecchiamento dell'olio del trasformatore è un test di qualità dell'olio. Con un flusso d'aria costante attraverso l'olio a temperatura di 120°C si induce il processo di rapido invecchiamento. Se si utilizza 0,5 dl di olio con un flusso costante d'aria di 1l/h a 120 °C per 10 giorni, si raggiunge una condizione dell'olio equivale a 25 anni di utilizzo. L'olio invecchiato forzatamente può quindi essere testato in laboratorio chimico per studiarne la composizione chimica e la qualità. La produzione del dispositivo per il processo di invecchiamento forzato è costituita da una documentazione che comprende l'analisi funzionale e panoramica. L'analisi panoramica determina i dispositivi e gli elementi esistenti sul mercato. La documentazione funzionale determina il tipo di elementi selezionati e descrive il funzionamento dell'apparecchio. Dopo aver esaminato le soluzioni esistenti, si è giunti alla conclusione di realizzare tutti gli elementi del dispositivo. Con questo s'intende l'uso di regolatori di flusso industriali che sono dispositivi autonomi. Il dispositivo industriale può essere collegato al proprio sistema o piattaforma attraverso interfacce di comunicazione. Le attuali soluzioni industriali non offrono la regolazione dei flussi bassi come richiesto dalla norma. Anche il prezzo unitario è molto alto. Il passo successivo è la scelta di un sensore economico, affidabile e preciso. Il flusso di 1l/h rientra nell'area a bassa portata dove gli approcci classici alla misura con un'apertura non sono molto precisi e affidabili. Per misurare il flusso attraverso il punto di misura, si è scelta una valvola proporzionale adatta. Si sono collegati entrambi i dispositivi ad un microcontrollore che si occupava della gestione del flusso a circuito chiuso e della comunicazione con altri dispositivi esterni.

Alcune caratteristiche funzionali del dispositivo:

- Precisione del dispositivo $\pm 0,25$ l/h.
- Gestione del flusso fino a 0,5-2l/h.
- Il dispositivo deve essere il più piccolo possibile.
- Alta affidabilità.
- Comunicazione con un personal computer: USB, Bluetooth.
- Comunicazione industriale RS485.
- Applicazione Windows per l'acquisizione e il salvataggio dei dati durante il test.



Principale aspetto ecologico nel processo di progettazione dei dispositivi.

- Uso di elementi che non contengono sostanze pericolose (piombo, mercurio, ecc.).
- Affidabilità.
- Il consumo energetico più basso possibile.
- Minimizzazione del dispositivo e minor numero possibile di materiali utilizzati con la stessa affidabilità.
- Peso.

12.2. Scelta degli elementi del dispositivo

Nella scelta degli elementi, ci si è concentrati su affidabilità, precisione e prezzo.

12.2.1. Sensore di flusso d'aria

I criteri principali per la determinazione del sensore sono il campo di misura desiderato [0,5-2] l/h e una sensibilità adeguata. Sul mercato, si possono trovare un numero limitato di sensori di misura del flusso d'aria abordabili per dimensione e prezzo. Per la produzione del regolatore, c'è bisogno di un sensore in grado di comunicare con il controllore attraverso una delle classiche interfacce di comunicazione: ingresso analogico, protocollo I2C o SPI. Si è scelto un sensore con protocollo I2C, compensazione della temperatura e scala di misura lineare. In questo modo, si è evitato l'ulteriore necessità di linearizzazione del programma e l'ulteriore compensazione dell'errore di misura. Il sensore scelto WBI è presentato nell'immagine 1. Soddisfa i seguenti criteri: campo di misura [0,1-2,5] l/h, risoluzione 0,1l/h, comunicazione I2C, tempo di misura 5ms, dimensioni w/h/d-3,5x1x2,5cm.



IMMAGINE 1: SENSORE DI FLUSSO D'ARIA WBI.



12.2.2. Valvola proporzionale

Nella scelta della valvola, sono stati individuati requisiti simili a quelli del sensore. La valvola deve fornire un controllo sequenziale, essere adatta per piccoli flussi d'aria, accessibile, avere dimensioni ridotte e funzionamento lineare. Per questo motivo, la scelta è caduta sulla famiglia di valvole lineari VSO Low Flow del produttore Parker, come si vede nell'immagine 2. La valvola può regolare in sequenza la portata d'aria fino a [0,01-10] l/h, ha dimensioni w/h/d/d-2x3x2cm e il suo campo di lavoro è di 0-2Bar.



IMMAGINE 2: VALVOLA PROPORZIONALE.

Per controllare la valvola con un microcontrollore, è stato costruito il circuito di controllo adattivo. La valvola sarà controllata dal segnale PWM del microcontrollore. Per la progettazione ecologica, verranno presentate diverse iterazioni di sviluppo di circuiti di controllo. I criteri principali sono le dimensioni ridotte, il peso ridotto, la semplicità e il consumo energetico.

12.2.3. Microcontrollore

Per il controllo si è scelto un microcontrollore in grado di eseguire tutte le funzioni dell'algoritmo di regolazione, la raccolta dati e la comunicazione con dispositivi esterni. Nella scelta di un controllore, è necessario considerare diversi fattori, come la frequenza di funzionamento dell'unità di elaborazione e un certo numero di connettori di ingresso-uscita. È stato cercato un controllore con un numero di connettori congruo con la necessità, con un basso consumo energetico ed un prezzo accessibile. All'insieme dei criteri per determinare l'adeguatezza dei microcontrollori, si è aggiunto il requisito di un'adeguata capacità di elaborazione dati (conversioni AD, timer, ecc.). Per la produzione di un prototipo di regolatore a basso flusso d'aria, è stato quindi identificato un microcontrollore ARM a 32 bit del produttore STMicroelectronics della famiglia F1xx, e il modello è STM32F103C8T6. La famiglia di prodotti ARM STM32F1xx è l'equilibrio tra efficienza e risparmio energetico. Il modulo di sviluppo con STM32F103C8T6 è mostrato nell'immagine 3.





IMMAGINE 3: MICROCONTROLORE.

Il microcontrollore STM32F103C8T6 ha 48 pin ed è compatibile con i moduli di comunicazione: 4xUSART, 2xI2C, 3xSPI. Un modulo di comunicazione USART è stato utilizzato per la comunicazione industriale tramite RS485 e il secondo modulo per il collegamento tra personal computer tramite USB o interfaccia Bluetooth. Il sensore di flusso WBI sarà collegato all'interfaccia I2C. Per il controllo delle valvole, è stata utilizzata un'uscita digitale con modulazione PWM. Alcune uscite digitali sono state utilizzate per le spie di stato e di visualizzazione. Sono stati aggiunti anche alcuni tasti al dispositivo, come ad esempio per il lancio fisico del dispositivo, la scelta della modalità operativa e lo spegnimento del dispositivo. Il dispositivo può essere avviato anche attraverso l'applicazione di raccolta dati.

12.2.4. Modo di controllo del flusso

Nella modalità di controllo del flusso si è deciso per il controllo a circuito chiuso, immagine 4. Il controllo a circuito chiuso consente una maggiore affidabilità, una migliore eliminazione dei disturbi e precisione. Il controllo a circuito chiuso utilizza il principio della misurazione dei valori di uscita e del trasferimento inverso delle informazioni al sistema in cui viene calcolato l'errore di controllo. L'errore di regolazione viene calcolato in base al valore nominale e alla misura del sensore di corrente. Questo valore può essere gestito dal regolatore. Il regolatore calcola il valore di uscita necessario con il quale influenza il sistema. Per il sistema in questione, è stato utilizzato la classica struttura di regolazione PID. Il regolatore PID è una struttura di regolazione molto consolidata in un ambiente industriale. Si distingue per un'affidabilità di funzionamento semplice e relativamente elevata. L'algoritmo PID viene eseguito nel microcontrollore.



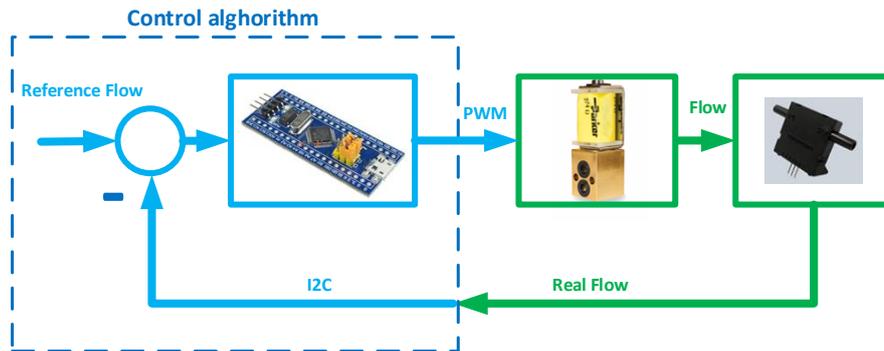


IMMAGINE 4: CONTROLLO AD ANELLO CHIUSO.

Il controllo a ciclo chiuso è più complesso e richiede una maggiore potenza di calcolo rispetto al controllo a ciclo aperto. Il controllo a ciclo aperto è più semplice ma anche meno affidabile perché non utilizza le informazioni invertite provenienti dall'uscita, immagine 5. Nel caso in esame, un controllo a ciclo aperto sarebbe molto più economico perché non ci sarebbe stato bisogno di un sensore di flusso che è il componente più costoso del sistema di controllo.

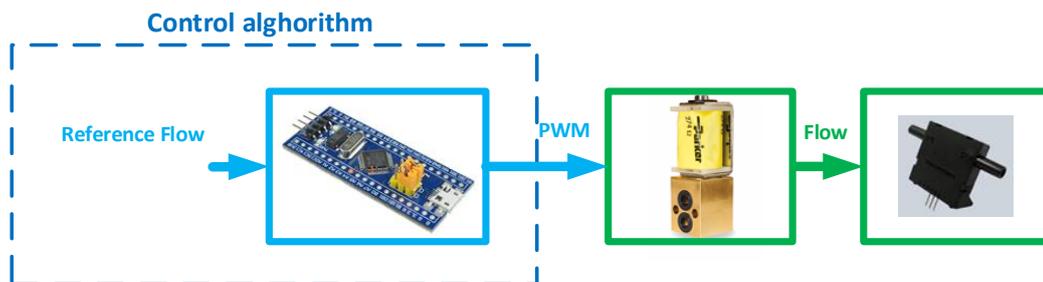


IMMAGINE 5: CONTROLLO AD ANELLO APERTO.

La struttura del regolatore PID è presentata nella seguente espressione:

$$u(t) = K_P e(t) + K_I \int_0^t e(\tau) d\tau + K_D \frac{de(t)}{dt}$$

Dall'equazione, si può evincere che l'algoritmo PID è costituito da tre parti (P, I e D). P è proporzionale, il che significa che l'errore del regolatore può essere moltiplicato per la costante. La parte P migliora le caratteristiche dinamiche del circuito chiuso. La parte I elimina gli errori di controllo, che è importante per la precisione, ma d'altra parte, diminuisce le dinamiche del sistema. Con dinamiche del sistema s'intende che il regolatore ha bisogno di più tempo per raggiungere il valore di riferimento. La parte D aumenta la dinamica del sistema e amplifica il rumore del sensore. La corretta impostazione del PID è un compromesso tra precisione e velocità.



12.3. Produzione di prototipo di materiale stampato

La produzione e la progettazione del regolatore di flusso si compone di diverse fasi. I primi prototipi non hanno dato risultati soddisfacenti e sufficienti. Ci sono stati problemi con le dimensioni del dispositivo, l'alta temperatura di lavoro dell'elettronica di controllo e troppi componenti utilizzati. Per questo motivo sono stati realizzati diversi prototipi dove si è lavorato principalmente sull'elettronica di controllo valvole.

12.3.1. Primo prototipo

Per il primo prototipo, è stato utilizzato lo schema di controllo valvole del produttore Parker. Per il funzionamento del microcontrollore, è stato aggiunto stabilizzatore di tensione e morsetti di collegamento per l'alimentazione esterna della valvola. La tensione di alimentazione prescritta era di 9V. L'immagine 6 presenta la prima versione dell'elettronica di controllo della valvola. Come accennato in precedenza, per il controllo della valvola si è scelto dal segnale PWM con frequenza 10kHz. L'elettronica di controllo utilizza l'amplificatore operativo LM358 che fornisce corrente stabile attraverso la bobina. Per l'elemento di commutazione è stato utilizzato il transistor TIP120 cioè un collegamento Darlington di due transistor BJT.

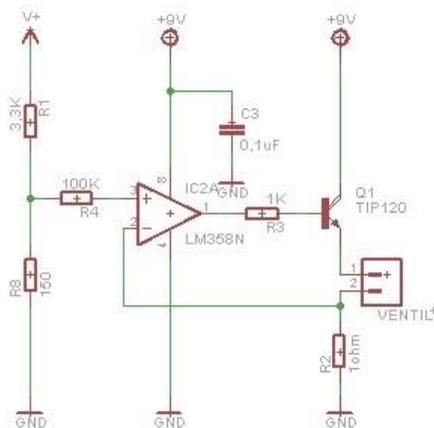


IMMAGINE 6: CIRCUITO DI CONTROLLO DELLA VALVOLA.

Nelle immagini 7 e 8 viene mostrato il circuito stampato progettato con il programma Altium con connettori di alimentazione e substrato per il microcontrollore.



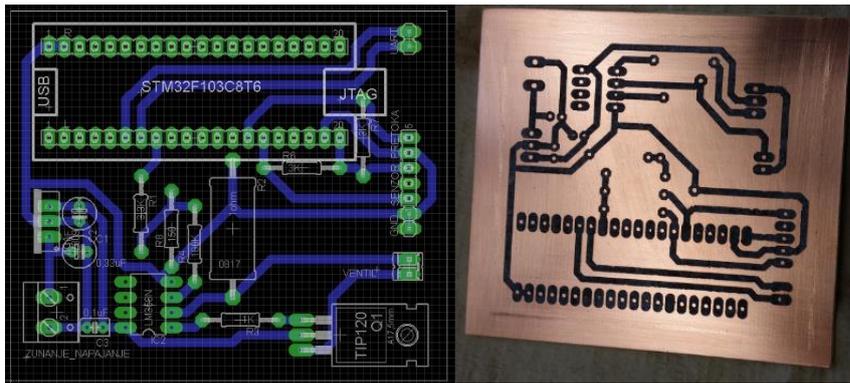


IMMAGINE 7: ASPETTO DI UN CIRCUITO STAMPATO.

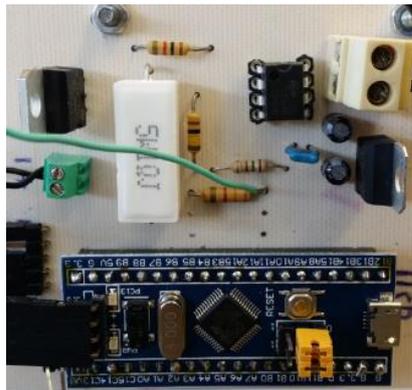


IMMAGINE 8: PROTOTIPO FINALE.

La prima versione prototipo era completamente funzionante. Il problema maggiore è stato il surriscaldamento dell'elemento di commutazione TIP120. La temperatura misurata era vicina ai 70°C. Per il funzionamento a lungo termine e per l'installazione nell'alloggiamento si è dovuto aggiungere un elemento di raffreddamento. Le dimensioni del circuito erano 5x5cm.

12.3.2. Secondo prototipo

Il secondo prototipo era basato sullo stesso circuito, ma il circuito di controllo è stato ridimensionato e ridotto. Tutti gli elementi, ad eccezione dell'elemento di commutazione TIP120, sono stati sostituiti con elementi basati sulla tecnologia SMD. Questa tecnologia consente la produzione di elementi più piccoli con le stesse caratteristiche. Dal punto di vista del design ecologico, questo significa che abbiamo sostituito gli elementi con elementi più leggeri e realizzati con meno materiali. I prototipi del secondo circuito sono mostrati nell'immagine 9.



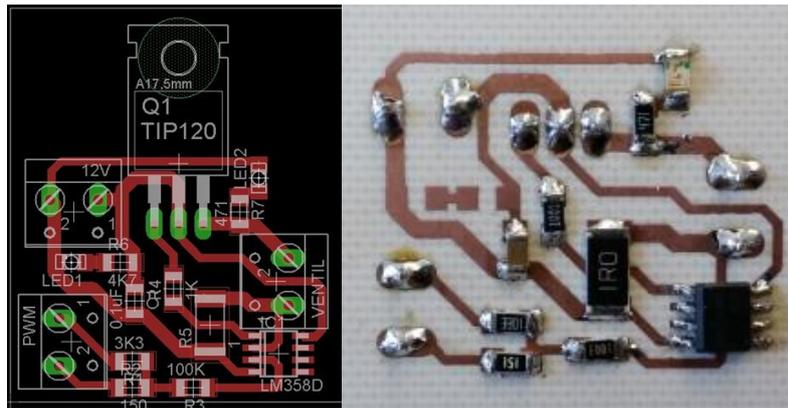


IMMAGINE 9: SECONDO PROTOTIPO DI CIRCUITO.

Nel secondo prototipo è stato dimezzato il circuito. La dimensione del circuito era quindi di 2,3x2,2 cm. Ma il problema del surriscaldamento del transistor di commutazione è rimasto presente.

12.3.3. Terzo prototipo

Nel terzo prototipo, si è deciso di progettare un circuito stand-alone dove sarebbe stato presente un elemento di commutazione in grado di commutare senza perdite. Si è deciso di progettare un circuito con elemento di commutazione MOSFET. Poiché il controllo del flusso avviene in un circuito chiuso, l'elettronica di controllo della valvola non richiede la stabilizzazione del flusso attraverso la valvola come nel prototipo precedente. È stato rimosso l'amplificatore operativo dal circuito. Lo schema dei controlli delle valvole è mostrato nell'immagine 10.

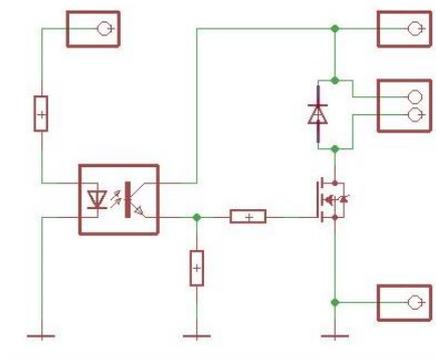


IMMAGINE 10: TERZO PROTOTIPO DI CIRCUITO DI CONTROLLO CON TRANSISTOR MOSFET.

L'elemento di commutazione MOSFET in tecnologia SMD è cinque volte più piccolo di un transistor TIP120. L'ultimo prototipo funzionava senza riscaldamento eccessivo. La temperatura del MOSFET a temperatura ambiente non era superiore a 35°C, il che significa che ci sono state perdite inferiori rispetto alle versioni precedenti. La dimensione del circuito era di 1,2x1,5 cm, quindi abbiamo usato meno materiali e meno



costosi. Per confronto a transistor, il TIP120 era tre volte più costoso della versione SMD del MOSFET. Nell'ultima versione, è stato aggiunto un contattore ottico che viene utilizzato per l'isolamento galvanico e la protezione dei microcontrollori. Nell'immagine 11 è mostrato l'aspetto finale del circuito di controllo.

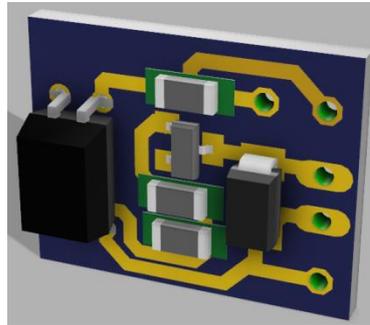


IMMAGINE 11: ASPETTO FINALE DEL CIRCUITO..

L'ultimo prototipo era anche l'ultima versione con l'intenzione di produrre il dispositivo completo. Nella tabella 1 viene presentata una breve comparazione di tutti e tre i prototipi.

Caratteristiche	Ver. 1 (TIP120)	Ver. 2 (TIP120)	Ver. 3 (MOSFET)
Dimensione	5x5cm	2.3x2.2cm	1.2x1.5cm
Numero di elementi	8	8 (SMD)	5 (SMD)
Temperatura dell'interruttore	70°C	70°C	35°C
Peso	16g	11g	3g
Prezzo medio	17€	13€	8€

TABELLA 1: CONFRONTO TRA TRE PROTOTIPI DI CIRCUITO.

12.4. Modellazione del sistema e test delle prestazioni

L'aspetto finale del dispositivo completo è stato progettato utilizzando la modellazione 3D. In questo modo, abbiamo presentato l'aspetto completo del dispositivo e la sua composizione interna. Nelle immagini 12 e 13 è mostrato il dispositivo finale e i suoi componenti.



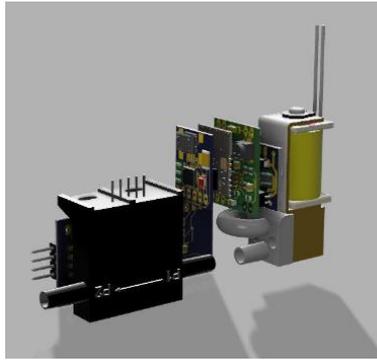


IMMAGINE 12: DISPOSIZIONE DEGLI ELEMENTI SENZA ALLOGGIAMENTO

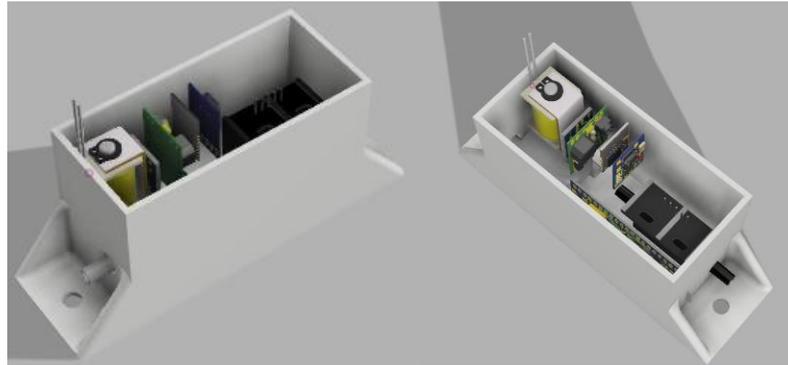


IMMAGINE 13: DISPOSIZIONE DEGLI ELEMENTI CON L'ALLOGGIAMENTO DELL'APPARECCHIO

L'efficienza del dispositivo è stata testata dopo 240 ore di funzionamento. L'immagine 14 mostra il controllo del flusso e il monitoraggio del flusso di riferimento.

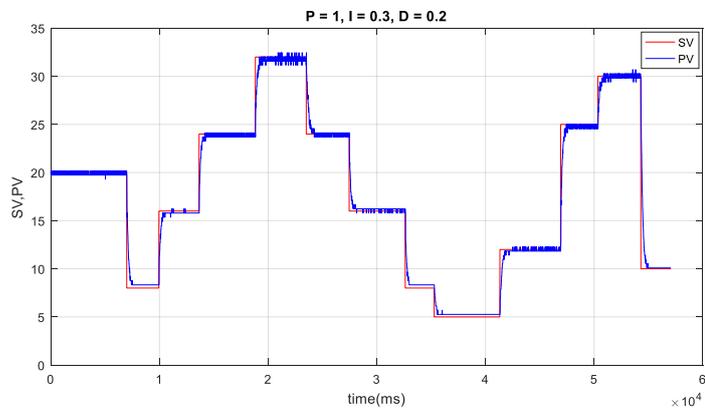


IMMAGINE 14: CONTROLLO DEL FLUSSO. COLORE ROSSO - VALORE DI RIFERIMENTO, COLORE BLU - VALORE REALE DEL FLUSSO.



12.4. Applicazione per la raccolta e il monitoraggio dei dati dal dispositivo

Ai fini della visualizzazione continua e del monitoraggio dei dati correnti è stata creata l'applicazione Windows, mostrata nell'immagine 15. L'applicazione è progettata per visualizzare i risultati misurati e salvarli in un file. In caso di guasto del computer, ogni ora viene creato un nuovo file per il salvataggio dei dati.

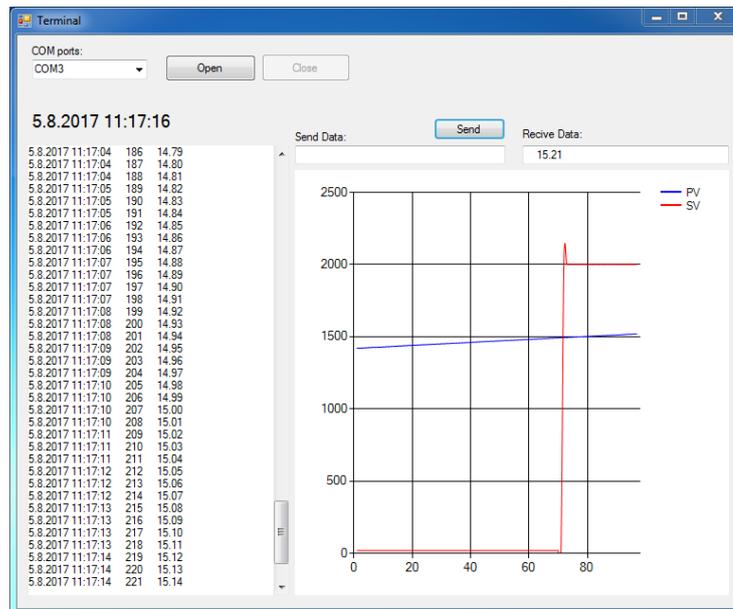


IMMAGINE 15: APPLICAZIONE PER LA VISUALIZZAZIONE E IL SALVATAGGIO DEI DATI.

Dopo aver realizzato una versione pilota finalizzata del dispositivo, abbiamo anche fatto un confronto con una versione industriale del regolatore di flusso. La versione attuale è affidabile, ha una precisione di 0,1 l/h e utilizza una quantità minima di elementi. Il prezzo del regolatore completo è di circa 150€, che è in confronto alla versione industriale più economica che ha una precisione di 0.8l/h cinque volte inferiore.

