



UNIVERSITÀ
POLITECNICA
DELLE MARCHE

FACOLTÀ DI INGEGNERIA
CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA GESTIONALE

Tesi di Laurea

SISTEMI DI CONTROLLO PER LA GESTIONE
DELLA SICUREZZA DEGLI IMPIANTI

SAFETY MANAGEMENT CONTROL
SYSTEMS FOR INSTALLATIONS

Relatore

Prof. Maurizio Bevilacqua

Correlatore

Prof. Giovanni Mazzuto

Laureando

Ayoub El Kheir

Anno accademico 2020-2021

Indice

Introduzione.....	1
0.1 Caso studio.....	1
0.2 Struttura della tesi.....	2
1. Industria 4.0.....	4
1.1 Introduzione	4
1.2 Le rivoluzioni industriali	5
1.3 Definizione del nuovo paradigma.....	8
1.4 Le tecnologie abilitanti	10
1.5 I benefici dell'industria 4.0	19
2. Descrizione dell'impianto.....	20
2.1 Introduzione	20
2.2 Descrizione generale e funzionamento.....	21
2.3 Componenti idraulici ed elettrici.....	23
3. Condition Monitoring.....	29
3.1 Generalità	29
3.2 L'implementazione del Condition Monitoring	32
3.3 La manutenzione predittiva	35
4. CompactRIO.....	36
4.1 Introduzione	36
4.2 Hardware	38
4.3 Software.....	44
4.3.1 LabVIEW.....	44
4.3.2 Virtual Instruments	46
5. Caso studio	53

5.1 Introduzione	53
5.2 Pannello principale	55
5.3 Pannelli secondari	60
6. Conclusioni	64
Bibliografia.....	65

Introduzione

Nella quarta rivoluzione industriale ad assumere un ruolo primario, poiché sta alla base di qualsiasi operazione, è il dato. È passato dall'essere una semplice informazione nata e morta in un piccolo sistema locale, a diventare uno strumento che crea valore. È attraverso i dati, infatti, che si determina la potenza di calcolo delle macchine e si muove l'economia di oggi e del futuro. Pertanto, la capacità di raccogliere ed elaborare dati da parte delle imprese aumenta notevolmente nel tempo. È auspicabile utilizzare queste capacità al fine di migliorare la qualità e la sicurezza dei processi industriali.

0.1 Caso studio

Con questa tesi si è realizzato un sistema di acquisizione dei dati e controllo di un impianto per il trasporto, in una sola condotta, di miscele bifase gas-liquido. L'impianto utilizzato per le sperimentazioni è un impianto sperimentale situato all'interno del laboratorio del dipartimento di energetica dell'Università Politecnica delle Marche. Al fine di monitorare il processo e di controllare le elettrovalvole l'impianto è dotato di un set di sensori inseriti nelle posizioni più significative. Nello specifico, le elettrovalvole vengono impiegate per la regolazione della miscela bifase gas-liquido allo scopo di garantire il consueto funzionamento dell'impianto. Il sistema descritto in questa tesi è stato sviluppato utilizzando il CompactRIO (figura 0.1) e il software LabVIEW, entrambi della National Instruments.



Figura 0.1: CompactRIO

Il lavoro svolto si può suddividere principalmente in due parti:

- I. La prima ha previsto il collegamento della parte hardware del CompactRIO all'impianto, attraverso il cablaggio delle linee elettriche dei sensori e delle elettrovalvole ai rispettivi moduli I/O.
- II. La seconda si è concentrata sulla programmazione in LabVIEW per lo sviluppo di un programma che sarà impiegato per le attività di Condition Monitoring e il controllo PID in modo da automatizzare l'operazione per la regolazione della miscela bifase gas-liquido.

0.2 Struttura della tesi

La tesi è strutturata nel seguente modo:

Capitolo 1 - Industria 4.0 - Propone una visione generale dell'Industria 4.0, con il fine di descrivere le tecnologie abilitanti per la sua implementazione e di conseguenza i benefici che riportano alle imprese.

Capitolo 2 - Descrizione dell'impianto - Viene descritto nel dettaglio l'impianto in esame, tutte le sue componenti e il principio di funzionamento.

Capitolo 3 - Condition Monitoring - Viene descritto in generale il concetto di Condition Monitoring, ponendo particolare attenzione al legame con la manutenzione preventiva.

Capitolo 4 - CompactRIO - È mirato alla descrizione dello strumento CompactRIO. Nella prima parte vengono descritti le componenti hardware e specialmente quelle utilizzate per il lavoro di tesi. Nella seconda parte viene introdotta la parte software riassumendo brevemente le caratteristiche del programma LabVIEW.

Capitolo 5 - Caso studio - Mostra i risultati ottenuti dalla programmazione in LabVIEW del sistema per l'acquisizione e l'analisi dei dati e il controllo dell'impianto.

1. Industria 4.0

1.1 Introduzione

Industria 4.0 (figura 1.1) è un'espressione che ha origine in Germania. È stata pronunciata per la prima volta all'annuale Fiera di Hannover nel 2011 da un gruppo di lavoro dedicato all'industria 4.0, presieduto da Siegfried Dais della multinazionale di ingegneria ed elettronica e da Henning Kagermann della Acatech (Accademia tedesca delle Scienze e dell'Ingegneria). Il gruppo di lavoro presentò al governo federale tedesco la propria ipotesi di progetto allo scopo di rilanciare il settore manifatturiero del Paese e rendere la Germania competitiva a livello mondiale. Per dar seguito al progetto citato, il governo tedesco ha lanciato una serie di iniziative europee ed emanato numerose raccomandazioni al fine di implementare il piano industria 4.0.



Figura1.1: Industria 4.0

Quando si parla di industria 4.0, si fa riferimento alla quarta rivoluzione industriale, ovvero quella che caratterizza i giorni nostri. Diversamente dalle altre rivoluzioni, non è possibile attribuirgli un periodo o una data di inizio precisa, ma in quanto rivoluzione, porterà anch'essa ad un cambiamento su scala globale.

1.2 Le rivoluzioni industriali

Per parlare della quarta rivoluzione industriale è necessario volgere lo sguardo al passato, e ripercorrere brevemente le diverse rivoluzioni in campo industriale del mondo occidentale (figura 1.2).

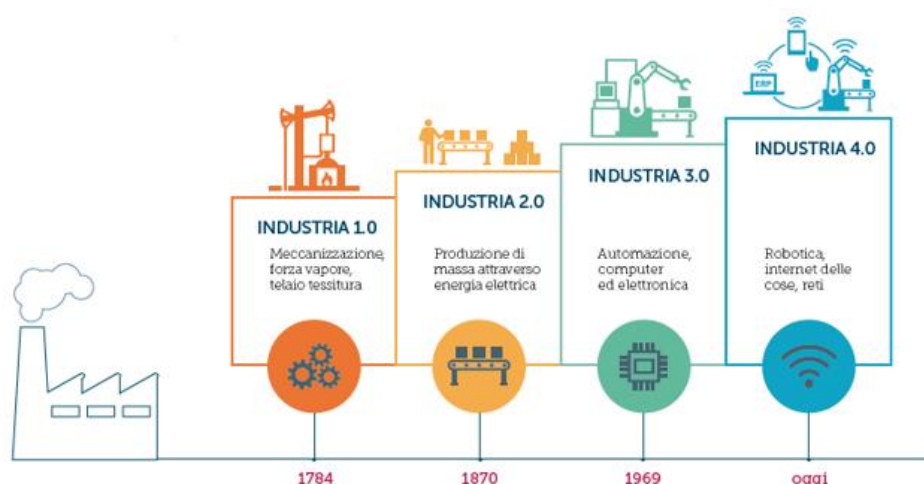


Figura 1.2: Le quattro rivoluzioni industriali

La prima rivoluzione industriale compare verso la fine del Settecento in Inghilterra in cui sono stati introdotti il telaio industriale e la macchina a vapore. Essi hanno permesso di meccanizzare la produzione nel settore tessile e metallurgico consentendo il passaggio dal lavoro manuale ai primi processi produttivi. Oltre ad avere costituito un miglioramento sotto il punto di vista della qualità del prodotto e aumento della produttività, un ulteriore effetto, è stato quello di trasferire i grandi sforzi fisici dei lavoratori alle nuove macchine.

Quasi un secolo dopo prese piede la seconda rivoluzione industriale caratterizzata dall'introduzione dell'elettricità, dei prodotti chimici, con l'avvento del motore a scoppio e il conseguente aumento dell'utilizzo del petrolio come nuova fonte energetica. In particolare, nasce la produzione industriale di massa contraddistinta dall'introduzione della catena di montaggio, ossia un impiego di forza lavoro poco specializzato in sistemi di produzione richiedenti al lavoratore interventi ripetitivi.

Questa rivoluzione ha avuto come conseguenza l'ulteriore abbattimento dei costi di produzione tramite l'introduzione delle economie di scala e grande accumulo di capitali con la formazione di colossi industriali.

La terza rivoluzione industriale ha preso piede negli anni Settanta con la nascita dell'informatica, passaggio dal quale è scaturita l'era digitale destinata ad incrementare i livelli di automazione avvalendosi di sistemi elettronici. Infatti, le nuove tecnologie hanno permesso lo sviluppo di macchinari in grado di effettuare operazioni di crescente difficoltà e con una maggiore autonomia. Nello specifico, il nuovo modello di fabbrica è il FMS (Flexible Manufacturing System), favorito dalla crisi petrolifera, ha reso competitiva la produzione in famiglie ampie di manufatti, ognuno prodotto in volumi medio-bassi. È il periodo in cui si inizia ad utilizzare in modo considerevole le macchine CNC (Computer Numerical Control), robot e sistemi di trasporto flessibili. Pertanto, l'automazione flessibile ha costituito una grande innovazione rappresenta dalla possibilità modificare le prestazioni dei sistemi produttivi.

Nonostante queste tre rivoluzioni siano state indispensabili al raggiungimento della situazione attuale, le forze di natura politica, socioeconomica e tecnologica hanno indotto il mondo dell'industria verso un nuovo paradigma per una serie di motivi. Il primo motivo principale è legato all'aumento della customizzazione al fine di soddisfare la domanda individuale, promuovendo il passaggio dal mercato dei venditori a quello degli acquirenti. Le imprese adottano una filosofia in cui non vendono solamente il prodotto ma una gamma di servizi legate ad esso che lo accompagna per tutto il ciclo di vita. Con questa modalità l'impresa mantiene il rapporto con il cliente e favorisce lo scambio di informazioni. Il secondo rilevante motivo è la richiesta di una maggiore flessibilità per beneficiare di processi produttivi più veloci e versatili [1].

Per far ciò, l'industria 4.0 ha sostituito i tradizionali PLC (Programmable Logic Controller) con i sistemi MES (Manufacturing Execution System). Quest'ultimi sono dei moderni software in grado di informatizzare la gestione e il controllo su una scala globale della realtà industriale. Pertanto, mediante l'acquisizione delle informazioni delle attività produttive e all'utilizzo dei dati in real-time si raggiunge una maggiore flessibilità e ottimizzazione dei processi produttivi.

1.3 Definizione del nuovo paradigma

L'Industria 4.0, definita anche la "rivoluzione digitale", è un approccio organizzativo che si concentra su tutte quelle tecnologie digitali che sono in grado di aumentare l'interconnessione e la cooperazione delle risorse (persone o sistemi informatici) al fine di incrementare la produttività, l'efficienza, la varietà produttiva degli impianti e, quindi, la competitività dell'azienda senza limitarsi ad un settore piuttosto che ad un altro. Con essa ,infatti, assisteremo a cambiamenti anche radicali che interesseranno il settore industriale, con la produzione dei beni e servizi, e la società in ogni suo aspetto.

L'industria 4.0 è incentrata sul concetto di **Smart Factory** ossia una fabbrica indipendente, dotata di sensori e orientata al supporto di persone e macchine nello svolgimento delle loro attività. È caratterizzata da sistemi integrati e interoperabili tra loro, in grado di adattarsi in tempo reale ai cambiamenti del mercato e consentire la produzione di merci in piccoli lotti per poi adeguarle alle esigenze dei clienti in maniera efficiente e redditizia.

La Smart Factory si compone di tre parti:

- I. *Smart Production*: le nuove tecnologie produttive creano collaborazione tra tutti gli elementi presenti nella produzione;
- II. *Smart Services*: le "infrastrutture informatiche" e tecniche che consentono di integrare i sistemi, ma anche tutte le strutture che permettono di far interagire le aziende;
- III. *Smart Energy*: si interessa all'attenzione dei consumi energetici, creando sistemi più performanti e riducendo gli sprechi di energia [2].

Per competere con questa l'evoluzione tecnologica che si sta delineando, il mondo industriale dovrà riuscire ad evolversi tecnologicamente con una crescente integrazione di **CPS (Cyber Physical System)** nei processi industriali. Quest'ultimi, sono un insieme di strutture fisiche, le quali generano un sistema autonomo, intercomunicante e intelligente e, pertanto, capace di facilitare l'integrazione tra soggetti diversi e fisicamente distanti. In definitiva, il fattore che contraddistingue la quarta rivoluzione è la comunicazione, o meglio, l'interconnessione tra più elementi di un sistema. Alti livelli di comunicazione e lo sfruttamento ottimale di tutti quei servizi ad essa correlati diventeranno l'obiettivo primario per chiunque voglia entrare in un'ottica 4.0.

1.4 Le tecnologie abilitanti

La quarta rivoluzione industriale non è stata recepita in maniera uniforme nella scelta degli investimenti da effettuare e nella tempistica. Tuttavia, l'elemento comune dell'industria 4.0 si centra sull'adozione di alcune tecnologie definite abilitanti. Alcune di esse sono concetti già presenti ma che hanno difficoltà nel superare l'ostacolo della divisione tra la ricerca applicata e i sistemi di produzione veri e propri. Da uno studio di Boston Consulting si individuano nove pilastri (figura 1.3) costituenti le tendenze innovative per la trasformazione 4.0 [3].

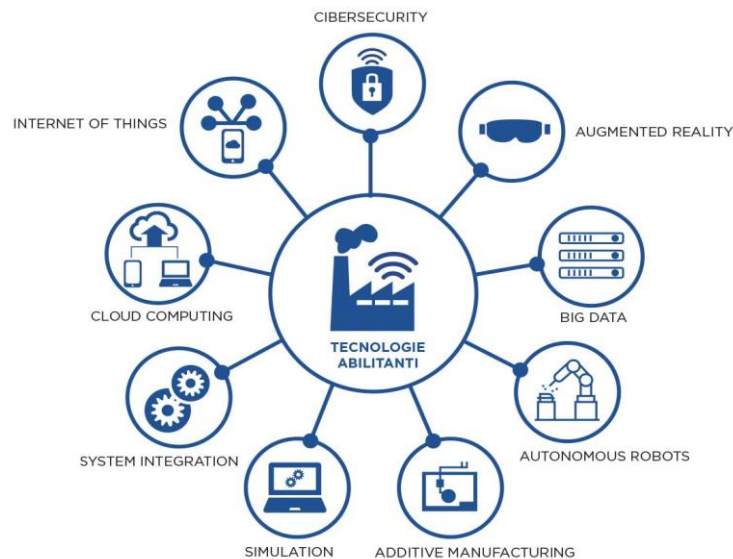


Figura 1.3: I nove pilastri della Industria 4.0

Internet of Things

Con questo termine si intende un neologismo che si riferisce alla capacità di connessione ad Internet da parte di un qualsiasi tipo di dispositivo della vita quotidiana, introdotto per la prima volta da Kevin Ashton ricercatore presso il MIT (Massachusetts Institute of Technology). In generale, l'Internet of Things è un concetto che si riferisce a un insieme di oggetti che, oltre allo svolgere azioni di acquisizione di informazioni e comunicazione, si interfacciano al mondo della rete

e di conseguenza la possibilità di accedere a tutti i servizi che essa può offrire. Pertanto, gli oggetti, che sono spesso denominati smart device (dispositivi intelligenti), sono in grado di relazionarsi con il mondo circostante, in quanto sono dotati di “intelligenza”, ossia creano una diretta interazione tra la rete internet e il mondo reale. Per far ciò sono dotati di elettronica, software, sensori e attuatori, e soprattutto di un’interfaccia di rete, che permette loro di collezionare e scambiare dati con le persone via rete rendendo possibile delle risposte real-time. Inoltre, i dispositivi possono essere monitorati e controllati in maniera remota in modo da ridurre i casi in cui è necessario l’intervento umano.

Big Data

Strettamente legato all’Internet of Things è il pilastro dei Big Data, ovvero il processo di raccolta e analisi di un grande numero di dati provenienti da diverse fonti a supporto dei processi industriali.

Una raccolta di dati molto estesa basata principalmente su tre concetti:

- I. *Volume*: le imprese raccolgono grande mole di dati provenienti da diverse fonti come sensori, dispositivi, video, audio, reti, file di log, applicazioni transazionali, web e social media. Gran parte di essi viene generata in tempo reale e su vastissima scala;
- II. *Velocità*: la crescita dell’Internet of Things, i flussi di dati verso le imprese devono essere gestiti in modo tempestivo e a una velocità senza precedenti;
- III. *Varietà*: le organizzazioni si devono confrontare con le differenti tipologie dei dati, da quelli strutturati fino a quelli non strutturati.

La sfida attuale consiste nel trasformare i big data in smart data, ovvero informazioni intelligenti, che diano vantaggio competitivo e siano perfettamente fruibili.

Di conseguenza, per ottenere valore dai Big Data si impiegano i *Big Data Analytics*, ossia tecniche per processare ed estrapolare le informazioni utili tramite metodi analitici e tecnologie sempre più sofisticate. Quindi, l'analisi dei Big Data permette di aiutare i responsabili dell'azienda nel prendere le decisioni in modo più accurato e veloce, utilizzando dati precedentemente inaccessibili o inutilizzabili.

Simulation

Consiste nell'imitazione del funzionamento di un sistema reale nei più svariati modi, senza bisogno di costruire e utilizzare prototipi fisici. La simulazione di un sistema prevede la costruzione di un modello digitale, all'interno di un ambiente controllato, con lo scopo di testare e valutare il suo comportamento per un'ampia gamma di varianti. Questo approccio è già in utilizzo nei processi di progettazione avanzata, ma l'utilizzo di sistemi simulativi verrà esteso a tutti i processi produttivi.

A differenza della simulazione classica, questi sistemi elaboreranno i dati raccolti in tempo reale al fine di testare e ottimizzare le macchine, i prodotti e i processi e di anticipare i problemi prima che questi avvengano nella realtà.

Un'applicazione sono i *digitali twin* (figura 1.4) ossia una rappresentazione virtuale in real-time di un sistema a un gran livello di dettaglio grazie all'applicazione di sensori. In altre parole, è una copia perfetta digitale delle informazioni che descrivono un'entità reale, sia un prodotto, un processo o un sistema. Il modello digitale è in grado di aggiornarsi e modificarsi al variare delle controparti fisiche (modello reale) per cui consentono la realizzazione fisica solo quando il progetto soddisfa pienamente i requisiti.



Figura 1.4: Digital twin

Cloud computing

Nell'industria 4.0 emerge l'esigenza di una maggiore condivisione di dati che riguardano anche la fabbrica e, di conseguenza, le applicazioni per il controllo e la gestione della produzione dovranno essere accessibili agli attori della realtà industriale. Il cloud computing è un insieme di tecnologie che permettono, a un qualsiasi utente autorizzato, di archiviare, elaborare e memorizzare dati grazie all'utilizzo di infrastrutture virtuali. In aggiunta, devono permettere l'accesso simultaneo a più utenti con lo stesso livello qualitativo, per poi garantire la messa a disposizione di informazioni rielaborate pronte all'utilizzo.

Cybersecurity

Con l'aumento della connettività nei sistemi industriali 4.0 sono molti gli elementi da proteggere, dalle reti di comunicazione ai sistemi informatici, da potenziali minacce. Pertanto, la cybersecurity, conosciuta come la sicurezza informatica e delle informazioni elettroniche, consiste nel difendere computer, server, dispositivi mobili, sistemi elettronici, reti e dati da attacchi dannosi.

La Cybersecurity può essere suddivisa in diverse categorie:

- I. *Sicurezza di rete*: consiste nella difesa delle reti informatiche dalle azioni di malintenzionati, che si tratti di attacchi mirati o di malware opportunistico.
- II. *Sicurezza delle applicazioni*: ha lo scopo di proteggere software e dispositivi da eventuali minacce. Una sicurezza efficace inizia dalla fase di progettazione, molto prima della distribuzione di un programma o di un dispositivo.
- III. *Sicurezza delle informazioni*: protegge l'integrità e la privacy dei dati, sia quelle in archivio che quelle temporanee.
- IV. *Sicurezza operativa*: include processi e decisioni per la gestione e la protezione degli asset di dati. Comprende tutte le autorizzazioni utilizzate dagli utenti per accedere a una rete e le procedure che determinano come e dove possono essere memorizzati o condivisi i dati.
- V. *Formazione degli utenti finali*: riguarda uno degli aspetti più importanti della Cybersecurity ossia le persone. Chiunque non rispetti le procedure di sicurezza rischia di introdurre accidentalmente un virus in un sistema altrimenti sicuro.

Insegnare agli utenti a eliminare gli allegati e-mail sospetti, a non inserire unità usb non identificate e ad adottare altri accorgimenti importanti è essenziale per la sicurezza di qualunque azienda.

In conclusione, sviluppare tecniche di prevenzione nei confronti di attacchi informatici comporta impegno in termini economici e temporali. Dall'altra parte, il risultato sarà lo sviluppo di un sistema sicuro e solido capace di difendersi in modo efficace, di cui un'azienda potrà sicuramente beneficiare in tempi in cui gli attacchi cyber sono sempre più diffusi [4].

Augmented Reality

Si tratta di sistemi di che, mediante un dispositivo mobile (smartphone), dispositivi di visione (occhiali a proiezione sulla retina), di ascolto (auricolari) e di manipolazione (guanti), aggiungono informazioni multimediali alla realtà fisica già normalmente percepita dall'uomo (figura 1.5). Con l'aggiunta di elementi percettivi, potrebbe verificarsi una leggera diminuzione della percezione sensoriale originale, ma si resterebbe comunque nell'ambito della realtà aumentata. Differente, invece, è la definizione della *Virtual Reality* ossia un'esperienza completamente digitale e immersiva. In questo caso, infatti, le persone si trovano immerse in una situazione nella quale le percezioni naturali di molti dei cinque sensi non sembrano neppure essere più presenti.



Figura1.5: Realtà aumentata

In sostanza, la realtà aumentata è in grado di garantire un'automazione dei processi produttivi e migliorare l'esperienza comunicativa ai propri collaboratori.

Autonomous robots

In generale, robot industriale è una macchina di manipolazione comandata automaticamente, riprogrammabile, multiscopo, con più gradi di libertà, di tipo fisso o mobile per impiego di automazione industriale. Nell'ambito industriale è impiegato per sostituire replicare l'uomo per lo svolgimento di compiti faticosi, ripetitivi o in generale poco graditi.

La nuova generazione di robot utilizzata nelle aziende sono i *Robot Collaborativi*. Quest'ultimi sono robot industriali leggeri e flessibili pensati per lavorare insieme all'uomo in sicurezza senza barriere o gabbie protettive a dividerli. La normativa di sicurezza, per garantire la tutela da infortuni dei lavoratori, prevede che il cobot debba essere dotato di ridondanza, limitazioni di forza e velocità, sensori specifici (sistemi di visione e sensori di coppia) e pelle capacitiva. Inoltre, per assicurare la protezione degli operatori in caso di urti o contatti, i robot collaborativi possiedono membri leggeri e talvolta ricoperti di materiale apposito, nello specifico i giunti devono essere arrotondati e plastificati.

Per quanto riguarda le modalità operative, è possibile definire tre livelli di cooperazione:

- *Aree di lavoro sicure*: in questa situazione la collaborazione tra robot e operatore, che non necessita di barriera protettive, viene controllata mediante software e dispositivi elettronici. La principale tecnica impiegata è il controllo della velocità in cui gli ambienti sono monitorati per mezzo di laser o sistemi di visione al fine di tracciare la posizione dei lavoratori. Nello spazio di lavoro si individuano zone di sicurezza graduate cosicché che il cobot possa reagire in modo diverso in base alla posizione dell'operatore.
- *Aree di lavoro condivise tra operatore e cobot*: l'operatore e il cobot condividono la stessa area di lavoro per cui sono possibili contatti volontari o accidentali.
- *Esecuzione di compiti con interazione fisica tra operatore e cobot*: i cobot sono macchine a misura d'uomo ed ergonomiche, perciò è possibile effettuare operazione di cooperazione stretta. Per tutelare la salute degli operatori, si applicano limitazioni di forza e potenza., in particolare, sono programmati per fermarsi non appena registrano un valore eccessivo di forza ai giunti [5].

Per di più, sono progettati per percepire le forze applicate alla loro struttura e dissiparle in caso di impatto [5].

Infine, la robotica collaborativa ha permesso notevoli vantaggi come il miglioramento delle condizioni di lavoro, sfruttamento delle maestranze specializzate, facilità di programmazione, e infine la semplificazione del lay-out produttivo.

System Integration

L'integrazione dei dati e dei sistemi coinvolti nell'ambiente produttivo consente a tutti i reparti e alle funzioni aziendali di diventare parte di un'unica organizzazione. Quando si definisce i sistemi integrati è necessario fare una divisione tra l'integrazione verticale e quella orizzontale.

L'integrazione verticale riguarda la comunicazione e condivisione di informazioni, all'interno dell'azienda, ma in maniera trasversale rispetto alla sua struttura gerarchica della stessa. Un sistema può dirsi integrato verticalmente se riesce a coinvolgere più soggetti, a partire dalla base (ad esempio le linee di produzione) fino ai piani alti del management, cioè coloro che hanno responsabilità decisionali e strategiche per l'impresa. In questa modalità le informazioni attraversano velocemente tutti i soggetti coinvolti, tagliando di molto i tempi morti che solitamente intercorrono tra l'acquisizione dei dati e il momento decisionale, pertanto tutti sono allineati in tempi brevi o meglio in real-time.

Invece, l'integrazione orizzontale attiene a soggetti esterni alla 'azienda come fornitori, distributori e altri individui ancora legati da una rete di condivisione di informazioni attinenti alla manutenzione delle macchine o la fornitura di materie prime. Ad esempio, in tempo reale il fornitore può essere avvisato dalla necessità di approvvigionamento di una materia prima. Oppure un fornitore di macchine

potrà comunicare tutta una serie di informazioni, attraverso il cloud, che permetteranno all'azienda di gestire al meglio la manutenzione, sia attraverso azioni preventive che predittive. Nei casi più avanzati, l'integrazione orizzontale può raggiungere anche il cliente, il quale potrà ordinare il suo prodotto di massa personalizzato, interfacciandosi direttamente con le macchine presenti in linea di produzione. I sistemi integrati permettono di coinvolgere tutti gli attori della realtà industriale per il miglioramento e soddisfacimento dei requisiti del sistema sia a livello di produzione fisica che di gestione [6].

Additive Manufacturing

Si tratta di un insieme di processi di fabbricazione additiva che permettono di realizzare oggetti tridimensionali a partire da un modello digitale, depositando progressivamente materiale strato su strato. L'applicazione principale di questo tipo di produzione è la stampante 3D. Quest'ultima rappresenta un'alternativa alle tradizionali tecniche che partendo da un blocco asportano il materiale, per mezzo delle macchine CNC, al fine di ottenere l'oggetto desiderato. Le lavorazioni per asportazione di truciolo, oltre a portare materiale di scarto, sono più pericolose per altre temperature e per le schegge che si possono creare durante la lavorazione. La stampa 3D è attualmente utilizzata solo per la creazione di prototipi o per la produzione di specifici componenti. Nell'industria 4.0 queste tecnologie verranno impiegate in modo più ampio per produrre piccoli lotti di prodotti altamente customizzati, ad esempio realizzabili in più centri, ed essendo realizzabili in più centri dislocati sul territorio, permetteranno di ridurre le distanze per il trasporto dei prodotti finiti.

1.5 I benefici dell'industria 4.0

L'Industria 4.0 è una rivoluzione, che oltre al campo industriale, interessa altri numerosi settori che stanno lentamente incrementando il loro livello di digitalizzazione mediante l'uso di tecnologie sempre più moderne. La prospettiva è quella di creare, tramite le tecnologie abilitanti, un ambiente in cui i processi saranno completamente automatizzati, in grado di scambiare i dati con altri sistemi, monitorarsi e agire di conseguenza. Pertanto, il vantaggio primario del paradigma Industria 4.0 è sicuramente la disponibilità di tutte le informazioni pertinenti in tempo reale. Ricavare dai dati in qualsiasi momento la rendicontazione e il supporto necessario a superare problematiche produttive. La connessione tra persone, cose e sistemi, crea un enorme valore aggiunto in termini di riduzione dei costi, disponibilità di informazioni in real-time e interazione tra risorse [7]. Successivamente, si elencano altri vantaggi immediati ottenuti dall'adozione di metodi e tecnologie dell'industria 4.0:

- I. Prodotti personalizzati in funzione del singolo cliente, anticipando le richieste del mercato, grazie alla raccolta di informazioni in campo e a sistemi produttivi flessibili.
- II. Produrre di più sprecando di meno è il mantra della trasformazione industria 4.0 per incrementare i ricavi delle aziende. Quindi la fabbricazione di prodotti di qualità superiore e ottenuti a costi ridotti, grazie alla migliore efficienza delle linee di produzione.
- III. Raggiungimento di una maggiore flessibilità mediante la produzione di piccoli lotti ai costi della grande scala.
- IV. Nuovi modelli di business che creano servizi a valore aggiunto per gli operatori e per il cliente finale, grazie ad una catena del valore che si rinnova ed ai nuovi sistemi tecnologici che governano i processi fisici di produzione.

2. Descrizione dell'impianto

2.1 Introduzione

Nell'industria si presenta spesso il problema del trasporto di miscele bifase gas-liquido in una sola tubazione. Nello specifico, nell'industria petrolifera, accade che la pressione in un giacimento non sia sufficiente a farlo risalire in superficie. In questa situazione, una soluzione è l'installazione di apposite pompe posizionate sia in superficie sia a fondo pozzo. Un'alternativa meno costosa è quella di sfruttare la pressione di un pozzo situato nelle vicinanze la cui pressione sia più alta di quella di trasporto. Nella figura 2.1 viene riportato il funzionamento per l'estrazione da giacimento e la miscelazione di due correnti a diversa pressione mediante l'impiego di eiettori gas-liquido.

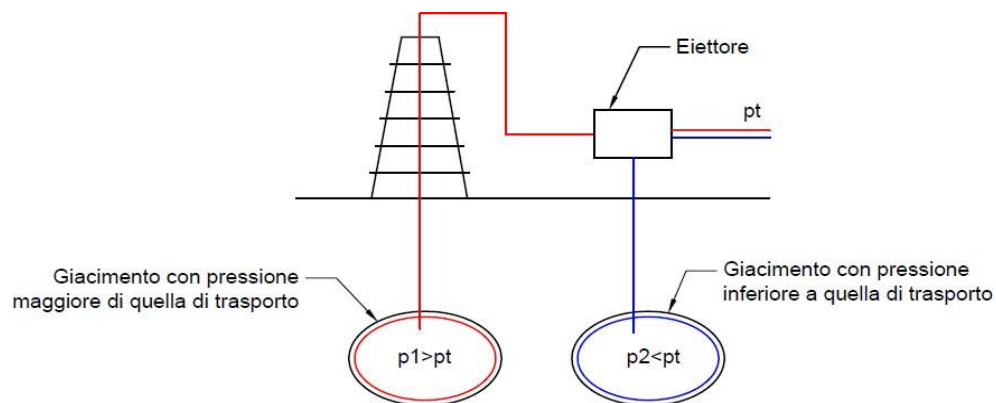


Figura 2.1: Estrazione da giacimento mediante eiettore

2.2 Descrizione generale e funzionamento

L'impianto simula una classica situazione presente nei processi di estrazione, ossia quella di sfruttare la pressione di un giacimento la cui pressione è più alta di quella di trasporto per creare un'aspirazione su un giacimento la cui pressione non è sufficientemente alta per il trasporto sulla linea [8].



Figura 2.2: Foto dell'impianto

Nello specifico si esaminerà il caso in cui il fluido motore sarà un liquido e l'altro è un gas. Pertanto, il primo sarà caratterizzato dalla pressione più alta mentre il secondo sarà quello aspirato. Nella situazione reale parleremo di greggio e di gas (ad esempio il metano), mentre nell'impianto sperimentale saranno utilizzati acqua e aria.

La figura 2.3 riporta il 3D dell'impianto per il pompaggio di una miscela bifase aria-acqua. Inizialmente, la pompa, connessa alla vasca aperta, preleva una certa portata d'acqua e la invia, ad una determinata pressione, all'eiettore.

Quest'ultimo è un dispositivo che consente la trasformazione da energia di pressione in energia cinetica formando una depressione che richiama dall'esterno una portata d'aria. Pertanto, all'uscita avviene l'unione tra i due fluidi dando vita così ad una miscela.

Successivamente, la miscela confluisce in un serbatoio che ricopre il compito di separatore verticale della componente liquida da quella gassosa. Dopo la separazione dei due liquidi, l'acqua ritorna nella vasca per ricominciare il ciclo nuovamente.

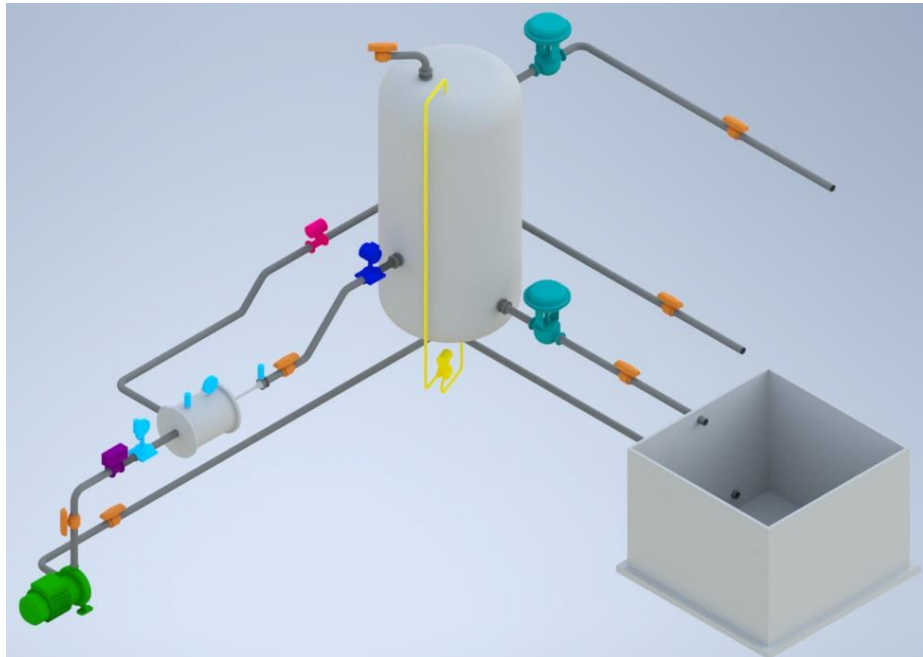


Figura 2.3: L'impianto in 3D

2.3 Componenti idraulici ed elettrici

Di seguito verrà riportata una descrizione dettagliata di tutte le componenti idraulici ed elettrici importanti dell'impianto.

Pompa

È una pompa monoblocco ad asse orizzontale flangiata direttamente al motore elettrico asincrono (figura 2.4). Il robusto corpo di ghisa è diviso verticalmente con la bocca aspirante assiale e quella premente radiale rivolta verso l'alto. Inoltre, la girante che ha il compito di trasferire l'energia è calettata direttamente sull'albero motore. Quest'ultimo è supportato da cuscinetti a sfere lubrificati a grasso, che non necessitano di una lubrificazione periodica. Questa tipologia di pompa sfrutta l'effetto centrifugo della girante per movimentare il fluido in modo da trasformare l'energia meccanica proveniente dal motore elettrico, prima in energia cinetica e successivamente in energia di pressione. In sostanza il movimento della girante determina una depressione nel tubo di aspirazione e il fluido, spinto dalla pressione atmosferica, percorre il tubo ed entra nella pompa. Dopodiché la girante dopo aver risucchiato il liquido lo proietta nel corpo della pompa mediante la forza centrifuga prodotta dalla velocità della girante.



Figura 2.4: Pompa

Eiettore

L'eiettore è una macchina semplice molto simile ad una pompa. In particolare, le differenze principali sono dovute alla mancanza di parti di movimento e all'alimentazione mediante l'impiego di un fluido.



Figura 2.5: Eiettore

Una delle più diffuse applicazioni degli eiettori è la miscelazione dei fluidi che nel caso trattato sono acqua e gas. Il principio di funzionamento dell'eiettore, riportato nella figura 2.6, è basato sul fenomeno idrodinamico detto effetto Venturi. Quest'ultimo è un particolare caso derivante dal principio di Bernoulli, per cui la pressione di una corrente fluida aumenta al diminuire della velocità. Nella figura 2.6 è rappresentato in maniera semplificata ciò che accade all'interno dell'eiettore.

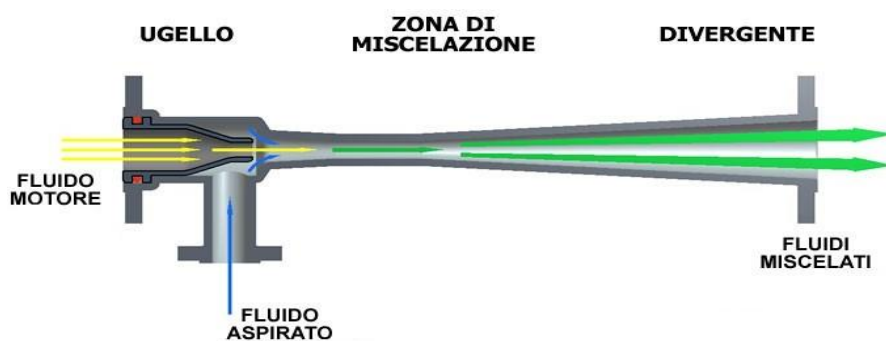


Figura 2.6: Funzionamento dell'eiettore

Il fluido motore (acqua nel caso in esame) entra nel relativo bocchello e dopo averlo attraversato incontra l'ugello convergente. Le condizioni in cui si trova il fluido motore all'uscita dell'ugello sono spiegabili tramite il teorema di Bernoulli. Il teorema afferma che un fluido che attraversa un condotto con sezione e altezza variabili si muove con la relazione

$$p + \rho \frac{u^2}{2} + \rho gh = \text{costante}$$

- ρ è la densità del fluido,
- u è la velocità di scorrimento del fluido,
- g è la costante gravitazionale,
- h è la quota potenziale media della sezione,
- p rappresenta la pressione del fluido.

L'ugello convergente è un condotto caratterizzato da un restringimento di sezione. Quindi, alla diminuzione della sezione si ha un aumento della velocità e di conseguenza anche una diminuzione della pressione. Pertanto, il fluido fuoriuscito dall'ugello è caratterizzato da un'alta velocità che, secondo l'effetto Venturi, fa sì che si crei una depressione nella camera di miscelazione. Questa depressione promuove l'ingresso del fluido di aspirazione (aria nel caso in esame). Una volta miscelati, l'elevata quantità di moto del fluido motore si trasmette al fluido di alimentazione che ha bassa quantità di moto. Attraverso il cono divergente, la miscela viene rallentata e l'energia cinetica è riconvertita in energia statica di pressione [9].

Serbatoio

È un serbatoio in acciaio zincato adeguato all'accumulo in pressione d'acqua e all'utilizzo come separatore verticale (figura 2.7). Nella figura 2.6 è possibile vedere che il serbatoio è dotato da un punto di accesso (1) per la miscela bifase in uscita dall'eiettore. Inoltre, è caratterizzato da un punto di uscita della componente fluida (2) e un punto di uscita della componente gassosa (3) una volta avvenuta la separazione.

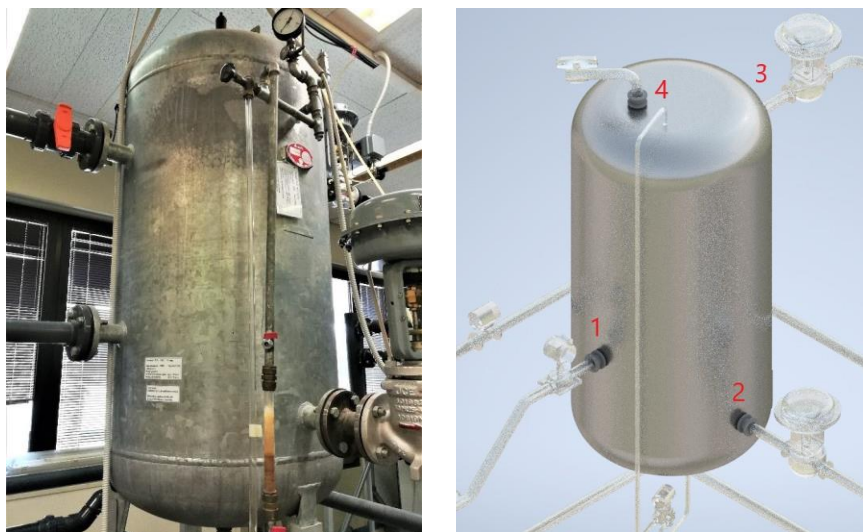


Figura 2.7: Serbatoio

Valvole di regolazione

L'impianto in esame è dotato di tre valvole di regolazione che hanno il compito di controllare flusso d'acqua all'entrata, il flusso d'acqua all'uscita e il flusso d'aria all'uscita del serbatoio. Quest'ultimi avvengono mediante due elettrovalvole pneumatiche (figura 2.8) che permettono la regolazione del flusso attraverso l'azionamento dell'attuatore pneumatico attivato da un segnale elettrico compreso tra 0-20 mA.

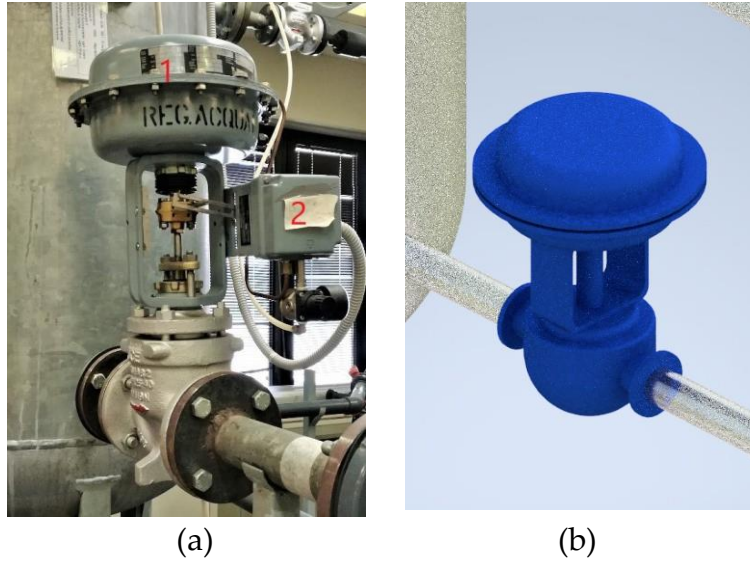


Figura 2.8: Elettrovalvole di regolazione

Il controllo delle valvole di regolazione avviene manualmente, ma per le due valvole pneumatiche è possibile utilizzare il controllo PID, utilizzando i dati provenienti dei sensori LN19 e LN20, al fine di ottenere rispettivamente la pressione e il livello desiderato.

Sensori

Per effettuare le attività di Condition Monitoring, l'impianto è dotato di un set di sensori riportati nella figura 2.9.

Codice	Uscita	Grandezza e Funzione
LN7	Corrente	Pressione dell'acqua in ingresso all'eiettore
LN8	Corrente	Portata dell'aria in uscita all'eiettore
LN11	Tensione	Pressione dell'eiettore
LN12	Corrente	Pressione del tubo miscelatore
LN10	Corrente	Portata dell'acqua in ingresso all'eiettore
LN8	Corrente	Portata dell'aria in uscita all'eiettore
LN19	Corrente	Pressione del serbatoio desiderata
LN20	Corrente	Pressione del serbatoio per il livello desiderato del serbatoio

Figura 2.9: Elenco dei sensori

In particolare, permettono di monitorare il processo e di controllare le valvole di regolazione come descritto precedentemente. I sensori presenti nell'impianto possono essere sensori con un'uscita in tensione o in corrente. In entrambi i casi è necessario convertire l'uscita dei sensori in modo da ricondurle a grandezze fisiche.

3. Condition Monitoring

3.1 Generalità

Con l'avvento delle tecnologie abilitanti dell'industria 4.0, in particolare l'Internet of Things e i Big Data, è possibile collegare in rete ogni genere di "cose" da cui estrarre informazioni che in seguito saranno raccolte e processate. Per **Condition Monitoring** (CM) si intende quell'insieme di tecniche atte a monitorare le caratteristiche operative di un sistema fisico o di un suo componente, al fine di stabilire lo stato corrente del sistema ed eseguire con sufficiente anticipo gli interventi necessari ad evitare problematiche dovute al malfunzionamento del componente d'interesse. Dal punto di vista pratico, il Condition Monitoring prevede la costante misurazione dei parametri relativi alla condizione di funzionamento del sistema. Pertanto, nel caso di rilevamento di una condizione ritenuta critica, allora è possibile risalire alla causa e l'istante in cui si manifesta un particolare problema. Nella figura 3.1 sono riportati i parametri che vengono generalmente monitorati.

❖ Vibrazione	❖ Livello dell'olio
❖ Velocità	❖ Tensione e corrente del motore
❖ Cavitazione	❖ Acustica
❖ Stato dei cuscinetti	❖ Numero di giri
❖ Temperatura	❖ Pressione

Figura 3.1: Principali parametri predefiniti

Nell'ambito industriale il Condition Monitoring porta vantaggi non differenti a livello economico in quanto:

- I. il funzionamento non regolare o la rottura di un singolo dispositivo può rovinare una parte della componentistica in cui è inserito;
- II. previene fermi macchina non programmati;
- III. diminuisce i costi di mantenimento del macchinario a partire dalla manutenzione straordinaria alla sua rimessa in funzione;
- IV. incrementa l'efficienza e la vita utile del macchinario.

Il monitoraggio delle condizioni diventa essenziale se inserito in un ambito di sicurezza, dove comportamenti imprevedibili causati da malfunzionamenti possono arrecare danni anche a persone. Inoltre, fornisce dati sufficienti per migliorare la progettazione dei macchinari che possono analizzati per correlare i carichi operativi, il ciclo di vita e il tipo di guasto.

I sistemi per il Condition Monitoring si dividono principalmente in due tipologie. La prima riguarda i *Periodic Monitoring Systems* in cui i parametri del sistema sono misurati o registrati ad intervalli regolari e, pertanto, possono essere esaminati in un secondo momento. Questi sistemi sono appropriati a macchinari che lavorano ininterrottamente per lunghi periodi e il cui danneggiamento può essere individuato con largo anticipo, come ad esempio in impianti per la generazione di energia, impianti di produzione o macchinari che lavorano sul campo. Le misurazioni che vengono o eseguite possono essere in numerose posizioni diverse della macchina e le analisi possono essere complicate e mirate ad individuare i guasti.

La seconda tipologia sono i *Permanent Monitoring Systems* in cui le misurazioni sono condotte costantemente ed i valori ottenuti sono confrontati continuamente con i livelli di riferimento al fine di valutarne l'ammissibilità. L'obiettivo principale di questi sistemi è proteggere la macchina dalla rottura provvedendo a creare un allarme o al tempestivo spegnimento in caso di superamento di valori di soglia prefissati. I sensori sono montati in modo permanente ed il sistema di acquisizione ed analisi deve essere automatizzato in modo da funzionare continuamente. Il monitoraggio delle condizioni permanente è richiesto laddove sia presente un'applicazione critica oppure dove il guasto può presentarsi in maniera frequente [10].

3.2 L'implementazione del Condition Monitoring

La costruzione e la defezione di un sistema di monitoraggio delle condizioni determinano la tipologia e la quantità di dati che verranno generati una volta che la macchina funziona. La sua progettazione deve essere robusta e affidabile poiché deve determinare l'istante e l'entità del problema. Per implementare con successo un Condition Monitoring è essenziale implementare un approccio ben strutturato che prevede i passaggi descritti successivamente.

La prima fase prevede un allestimento del registro di tutte le apparecchiature dell'impianto produttivo. Solitamente, il registro include i disegni di processi, lo schema elettrico, i dettagli esatti di ogni macchina (velocità, accoppiamento, potenza, ecc.) e la posizione delle risorse per una facile ricerca delle stesse.

Nella seconda fase si valuta lo stato delle macchine e della loro critica per il funzionamento dell'impianto. In particolare, si riporta l'elenco dei guasti avvenuti nella macchina, l'analisi del *tempo medio tra guasti* e *tempo medio di riparazione* (il cui calcolo è riportato successivamente) i costi di riparazione e sostituzione, costo di tempi di inattività e rischio di danni secondari. Questi parametri aiuteranno l'identificazione e la selezione delle giuste tecniche e tecnologie di monitoraggio delle condizioni dell'intero sistema.

$$\text{tempo medio tra guasti} = \frac{\text{tempo di attività}}{n^\circ \text{ di guasti}}$$

$$\text{tempo medio di riparazione} = \frac{\text{tempo di inattività}}{n^\circ \text{ di guasti}}$$

Il terzo stadio valuta le diverse tecniche di Condition Monitoring per definire quella più adatta al sistema in questione. A seconda del tipo del sistema soggetto al Condition Monitoring (meccanico, elettrico, ecc.) cambiano le grandezze oggetto di studio e anche le strategie con cui esse vengono monitorate.

La maggior parte degli studi sui CM sono incentrati su sensori, tecniche di analisi diversi dispositivi di misurazione. Tra le varie tecniche, *il monitoraggio delle vibrazioni* è il metodo più affidabile e antico per definire un CM che prevede la misura delle vibrazioni per rilevare l'errore e comprenderne la causa principale. L'accelerometro è l'elemento utilizzato per monitorare i cambiamenti di ampiezza su un'ampia gamma di frequenze. Lo svantaggio principale delle vibrazioni è la quantità di rumore che il segnale contiene e la mancanza di conoscenza disponibile riguardo alle sorgenti del rumore. Il monitoraggio delle vibrazioni consente di comprendere fenomeni come disallineamento, squilibrio, allentamento, problemi ai denti degli ingranaggi o usura dei cuscinetti prima del guasto.

Altre tecniche completano la misura della vibrazione come il monitoraggio della temperatura o l'analisi dell'olio. Negli ultimi decenni il *monitoraggio della temperatura* è stato adottato come parametro per la valutazione dello stato di salute dei sistemi. Esistono diversi metodi di monitoraggio della temperatura che vanno dal metodo passivo, senza contatto con l'impiego della telecamera a infrarossi (figura 3.1), al sensore attivo utilizzando termocoppie



Figura 3.1: Misura di temperatura tramite termocamera

L'analisi dell'olio fornisce informazioni sull'usura delle parti metalliche, sulla presenza di detriti e sulla degradazione dell'olio. Esistono trasduttori di olio continui che forniscono informazioni su piccoli detriti e degrado dell'olio, mentre i detriti di grandi dimensioni possono essere identificati con rilevatori magnetici che mostrano informazioni generali utili per gli avvisi.

La macchina è dotata di un numero sufficiente di sensori che registrano i dati. Il set di sensori misura le vibrazioni, la temperatura, la corrente all'alimentazione, la qualità dell'olio, la termografia, il suono, le emissioni acustiche e qualsiasi altra variabile relativa al processo di ogni particolare macchina del sistema. La quarta fase è fondamentale per assicurare la corretta installazione dei sensori per il Condition Monitoring che è fondamentale per la prestazione di indagine. Un monitoraggio errato, molto probabilmente, fornirà dati relativi non solo al cambiamento della condizione ma anche all'instabilità del sensore stesso. Quindi i dati rilevati dal sensore sono inaffidabili.

Nella quinta fase si svolgono attività di acquisizione e analisi dei dati in cui vengono tradotti i segnali elettrici di corrente e tensione provenienti dai sensori in grandezze fisiche. Il sistema di acquisizione e analisi dati è composto da tre parti principali:

- I. Sensore
- II. Hardware per l'acquisizione dei dati
- III. Software per il Condition Monitoring

A questo punto, come si vedrà dettagliatamente nel paragrafo successivo, una delle tante applicazioni è utilizzare il Condition Monitoring come base per la manutenzione predittiva [11].

3.3 La manutenzione predittiva

La manutenzione degli impianti industriali e dei macchinari è un tema sempre complesso da trattare in quanto l'adozione dell'approccio incide in modo rilevante sulla possibilità di rendere più semplici e lineari i processi aziendali. In generale, nelle aziende vengono utilizzate due diverse strategie di manutenzione ossia la Manutenzione Reattiva e la Manutenzione Predittiva. La tradizionale di queste strategie è la *Manutenzione Reattiva*, che prevede l'intervento di riparazione o correzione del guasto solamente dopo che si è verificato. Quindi l'azione manutentiva è subordinata alla manifestazione del guasto. La manutenzione reattiva applicata nei sistemi industriali non consente di raccogliere tutte le informazioni relative alle caratteristiche costruttive, allo storico manutentivo e ispettivo delle apparecchiature e dei sistemi in tempo reale. Al contrario, la *Manutenzione Predittiva* mira a adottare misure preventive in anticipo in modo tale da evitare i guasti. La manutenzione predittiva è una metodologia che poggia sulle tecniche di Condition Monitoring e sulla qualità dei dati di funzionamento. Attraverso algoritmi sofisticati, che consentono di estrapolare informazioni utili e ipotizzare scenari futuri con un alto grado di accuratezza e ai dati continuamente aggiornati, è possibile mantenere alta la produttività riducendo allo stesso tempo i costi di manutenzione e il rischio di fermo impianto. Pertanto, le tecniche di Condition Monitoring sono utilizzate unitamente alla manutenzione predittiva con l'obiettivo di attribuire al sistema i seguenti vantaggi:

- prevenire guasti distruttivi con i conseguenti elevati costi e rischi;
- ridurre al minimo gli interventi di revisione sulle macchine e di conseguenza diminuire i costi di manutenzione;
- ridurre il tempo di intervento grazie alla conoscenza in anticipo del guasto [12].

4. CompactRIO

4.1 Introduzione

Quando si parla di acquisizione dati e controllo dei processi si effettua una grande distinzione tra i sistemi “per laboratorio” e sistemi “per l’industria”. In laboratorio si impiegano strumenti con caratteristiche fisiche meno performanti in termini di resistenza agli agenti esterni e stress meccanico, mentre in ambito industriale queste caratteristiche diventano fondamentali per la possibilità utilizzare lo strumento. Pertanto, per i sistemi industriali si ricorre a PLC (Programmable Logic Controller) ossia strutture di controllo meccanicamente ed elettricamente affidabili ma dotate di funzioni limitate e caratterizzate da linguaggi di programmazione dedicati e di basso livello. Negli ultimi anni si è assistito all’introduzione dei **PAC (Programmable Automation Controller)** ovvero sistemi in grado di combinare affidabilità e robustezza dei PLC con prestazione e flessibilità proprie di sistemi di controllo avanzati. Il risultato è la possibilità di combinare la sicurezza intrinseca dei sistemi PLC con le funzioni personalizzabili di sistemi configurabili attraverso un comune computer. Nella maggior parte dei casi, si preferisce utilizzare PLC per la parte di acquisizione dati e controllo dei processi e si demanda ai computer l’elaborazione, l’analisi, e la presentazione dei risultati. Invece, i sistemi PAC combinano i vantaggi delle diverse tecnologie al fine di ottenere un prodotto unico in grado di gestire l’intero processo di acquisizione, di elaborazione e infine di controllo del fenomeno oggetto di studio [13].

Il CompactRIO (figura 4.1) è un sistema appartenente alla categoria PAC che verrà analizzato nel dettaglio a partire dai paragrafi successivi. Verranno descritti la parte inerenti alla parte di hardware e software.



Figura 4.1: CompactRIO

4.2 Hardware

Il CompactRIO è un sistema embedded, realizzato da NI (National Instruments) per il monitoraggio e il controllo avanzato di applicazioni industriali richiedenti alte performance ed affidabilità. Grazie all'architettura aperta ed alle caratteristiche di un sistema compatto, ingegneri e sviluppatori possono usare l'hardware per realizzare velocemente progetti personalizzati. Esso si basa sulle tecnologie LabVIEW Real-Time e LabVIEW FPGA di NI al fine di offrire la possibilità di progettare, programmare e personalizzare il sistema embedded CompactRIO con la facilità d'uso degli strumenti di programmazione grafica. Pertanto, il CompactRIO è dotato di un controller con un processore che esegue un sistema operativo real-time e uno chassis contenente un FPGA (Field Programmable Gate Array). È un dispositivo digitale la cui funzionalità è programmabile via software dall'utente. Inoltre, supporta moduli I/O industriali sia di NI che di fornitori di terze parti riconfigurabili per il controllo e l'acquisizione di dati. In definitiva, l'hardware CompactRIO fornisce una migliore soluzione per esigenze di elaborazione in tempo reale e test a lungo termine sul campo.

Il CompactRIO utilizzato per il progetto, visibile in figura 4.2, è NI cRIO-9045

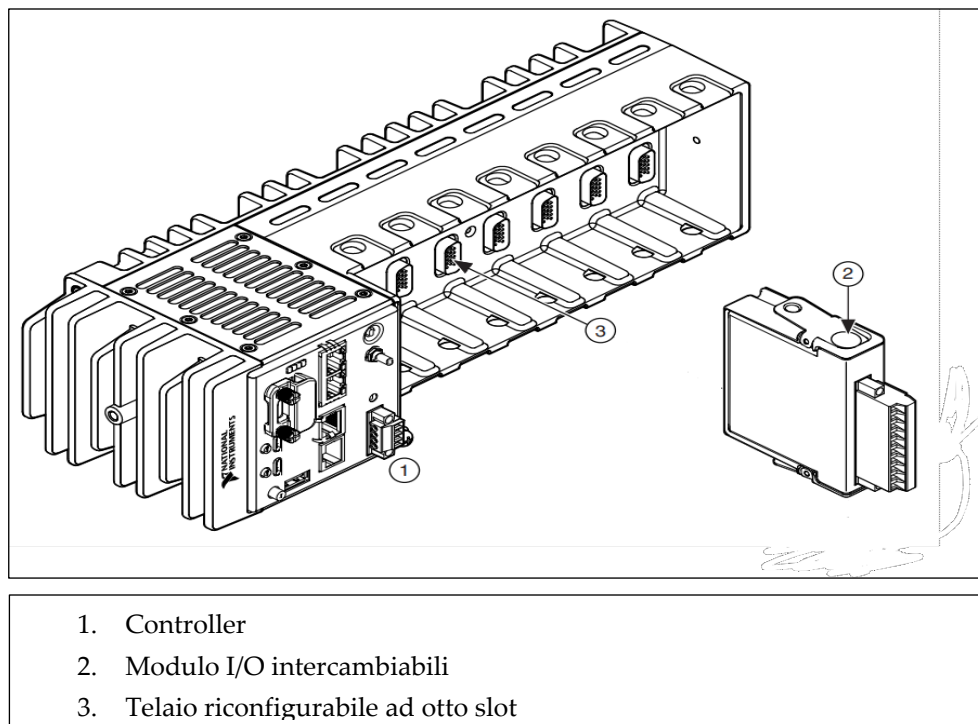


Figura 4.2: Struttura del CompactRIO NI cRIO-9045

In generale, la struttura fisica del CompactRIO è formata da tre componenti fondamentali:

- I. Telaio;
- II. Controllore;
- III. Moduli.

Come la spina dorsale di un sistema il *telaio* fornisce l'alimentazione, il raffreddamento e un bus di comunicazione tra i vari componenti. Pertanto, è la parte principale dell'architettura del sistema integrato a cui vengono connessi direttamente gli I/O per l'accesso ad alte prestazioni ai circuiti di ciascun modulo per la temporizzazione. Rispetto alle altre architetture di controller, ogni modulo è collegato direttamente al nucleo FPGA in modo da eliminare latenza di controllo per la risposta del sistema.

Nella figura 4.3 è riportato il telaio del CompactRIO utilizzato per il lavoro di tesi.



Figura 4.3: Chassis del CompactRIO NI cRIO-9045

Il *controller* CompactRIO è un controllore robusto, affidabile e a prestazioni avanzate con certificazioni a standard industriale (figura 4.4). È ideale per applicazioni che necessitano di acquisizione di forme d'onda, controllo ad alta velocità, elaborazione del segnale, task hardware affidabili e temporizzazione. Esso contiene un processore potente, a cui è collegato il chip FPGA attraverso un bus PCI (Peripheral Component Interconnect) ad alta velocità.

Inoltre, tramite NI Linux real-time, è in grado di eseguire applicazioni per i sistemi in tempo reale come la comunicazione industriale e l'interfaccia uomo-macchina.



Figura 4.4: Controller del CompactRIO NI cRIO-9045

Inoltre, la figura 4.5 riporta la descrizione del controller impiegato per la realizzazione del progetto di tesi.

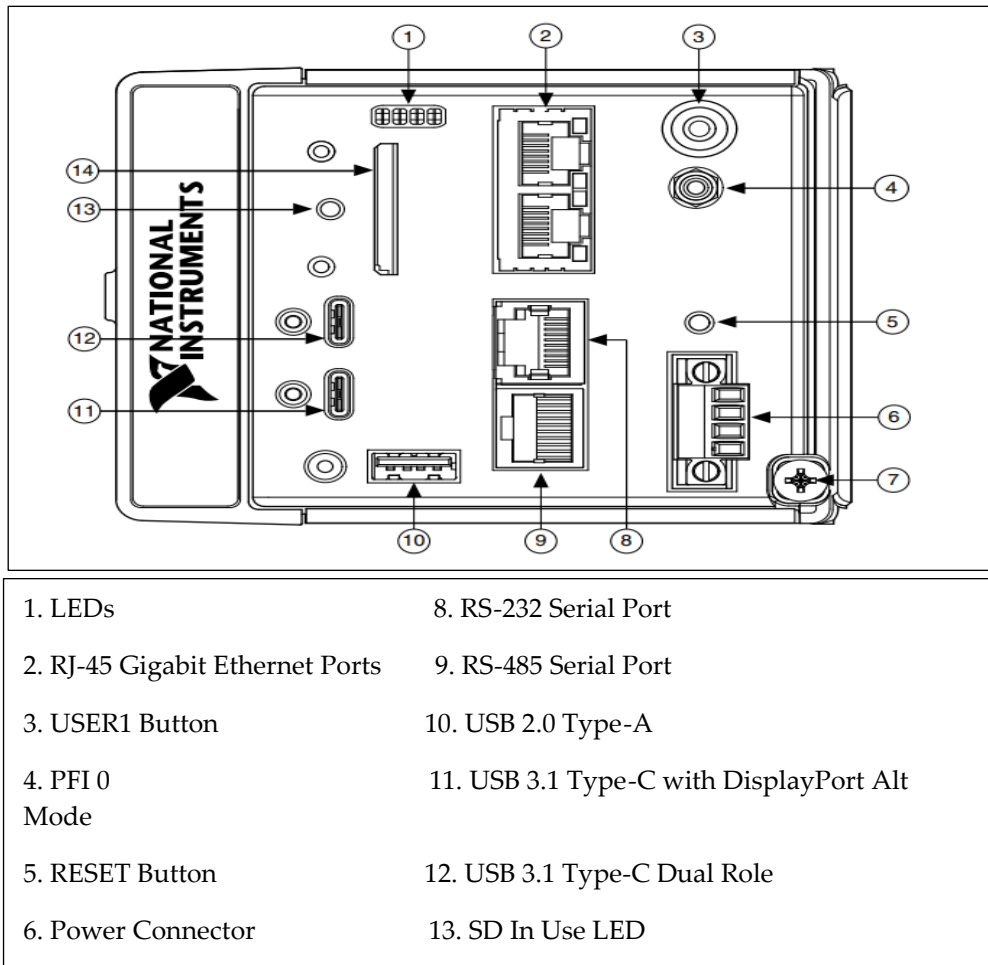


Figura 4.5: Descrizione Controller del CompactRIO NI cRIO-9045

I *moduli I/O* sono necessari per la comunicazione da e verso i dispositivi esterni come, ad esempio, sensori e attuatori (figura 4.6). Essi contengono circuiti di conversione, condizionamento del segnale, connettività per il collegamento diretto ai componenti industriali. NI offre una grande varietà di moduli che permettono diverse opzioni di cablaggio. In aggiunta, inserendo la scatola di giunzione dei connettori nei moduli, si riduce significativamente i requisiti di spazio e costi di cablaggio [14].



Figura 4.6: Moduli I/O

In riferimento progetto di tesi, per l'acquisizione dei dati provenienti dai sensori è stato impiegato il modulo *NI 9207* riportato nella figura 4.7. È un modulo di input analogico universale serie C che fornisce canali di ingresso per misure di tensione e corrente. Il modulo include sedici canali in cui otto canali di ingresso di ± 20 mA e otto canali di ingresso da ± 10 V con una risoluzione di 24 bit.



Figura 4.7: Modulo NI 9207

I moduli di input analogico universale serie C della NI permettono di eseguire misurazioni multiuso. Essi includono il supporto integrato per le misure di accelerometro, così come le misure di sensori di tensione e corrente.

Inoltre, includono il driver NI-DAQmx che semplifica la configurazione per le misurazioni dei segnali [15].

Per il controllo delle valvole di regolazione è stato impiegato il modulo *NI 9265* riportato nella figura 4.8. È un modulo universale serie C di output che fornisce canali di uscita per il controllo prevalentemente di attuatori o come nel nostro

caso di elettrovalvole. Esso include fino a otto canali di uscita a corrente con un range da 0 mA ai 20 mA e una risoluzione di 16 bit.



Figura 4.8: Modulo NI 9265

Il modulo richiede un'alimentazione esterna e comprende una doppia barriera a terra per la sicurezza e l'isolamento dal rumore. In aggiunta, includono il driver NI-DAQmx che semplifica la configurazione per le misurazioni dei segnali [16].

4.3 Software

CompactRIO è programmabile con gli strumenti di LabVIEW (Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench) ossia un linguaggio di programmazione grafico che utilizza icone invece di linee di testi per creare le applicazioni. Nei paragrafi successivi sono descritte le parti fondamentali di LabVIEW propedeutiche per la realizzazione del programma inerente al lavoro di tesi.

4.3.1 LabVIEW

LabVIEW è un ambiente di programmazione grafico, della National Instruments, usato da milioni di scienziati e ingegneri al fine di sviluppare sofisticati sistemi di misurazione, di test e di controllo attraverso un'interfaccia intuitiva. In contrasto con i linguaggi di programmazione testuali, la creazione delle istruzioni avviene attraverso un collegamento mediante fili di icone e altri oggetti grafici in modo da formare una struttura di diagramma a flusso. Infatti, questo tipo di linguaggio viene definito data flow, in quanto la sequenza delle operazioni rappresentata dal flusso dei dati determina l'esecuzione del programma. Per giunta, LabVIEW, offre librerie integrate, funzioni di analisi avanzata e visualizzazione dei dati, tutti per la creazione di strumentazione virtuale. Per comprendere ancora meglio come viene organizzata la programmazione in LabVIEW si prende in riferimento la struttura a tre strati rappresentata nella figura 4.9.

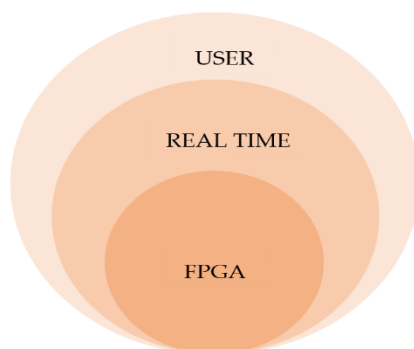


Figura 4.9: Struttura a tre strati

LabVIEW lavora su un concetto usato ampiamente in informatica che prende il nome di information hiding in cui il sistema software viene scomposto in diversi moduli. Nello specifico, è un criterio che permette la separazione dell'interfaccia dalla sua realizzazione, rendendone invisibile l'implementazione. Quindi, lo scopo di ogni livello è quello di mettere a disposizione determinati servizi a livelli superiori, mascherando i dettagli dell'implementazione, ed ogni strato è una macchina virtuale che offre servizi al livello sovrastante e richiede servizi dal livello sottostante. Il livello FPGA si occupa della comunicazione tra i moduli e la FPGA del CompactRIO, mentre il livello Real Time chiede servizi al livello sottostante, in particolare, il passaggio dei valori dei vari sensori ai moduli I/O del CompactRIO. Infine, a livello utente vengono costruite le VI (Virtual Instruments) ossia i codici che vengono compilati in forma grafica visualizzabili e compilabili solo da LabVIEW [17].

4.3.2 Virtual Instruments

Un programma realizzato in LabVIEW prende il nome di VI (Virtual Instruments o Strumenti Virtuali) e un qualunque sottoprogramma prende il nome di subVI. Questo approccio permette la creazione di un programma principale (VI) contenete al suo intero differenti sottoprogrammi (subVI) che si occupano di precisi compiti al fine di realizzare una struttura più semplice e ritoccabile.

Nell'ambiente di sviluppo ogni VI è composto da due componenti principali:

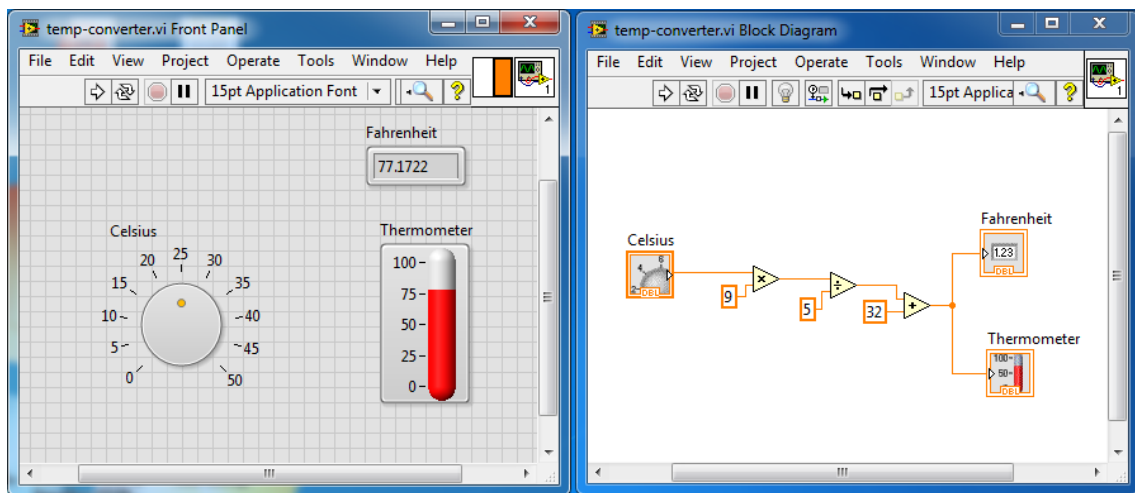
- Il Pannello Frontale (Front Panel)
- Il Diagramma a Blocchi (Block Diagram)

Il *Front Panel* (figura 4.10 a) è l'interfaccia utente del VI, in quanto riproduce il pannello di uno strumento reale. Nel pannello frontale vengono inseriti i controlli (manopole, interruttori, pulsanti, campi numerici, ecc.) o gli indicatori (led, grafici, tabelle, termometri, ecc.) che formano rispettivamente i terminali interattivi di ingresso e di uscita. In particolare, i controlli simulano i dispositivi d'ingresso degli strumenti e forniscono dati al diagramma a blocchi del VI. Invece, gli indicatori simulano i dispositivi di uscita degli strumenti e visualizzano i dati che il diagramma a blocchi acquisisce o genera.

Il *Block Diagram* (figura 4.10 b) rappresenta il vero proprio codice dell'applicazione da realizzare, in formato grafico, non visibile all'utente. La progettazione è facilitata in quanto ogni oggetto del pannello frontale ha un corrispondente terminale sul diagramma a blocchi.

Gli oggetti dello schema a blocchi includono:

- strutture;
- terminali;
- funzioni
- subVI
- costanti
- fili di collegamento
- testi.



(a)

(b)

Figura 4.10: Il Pannello Frontale (a) e il Diagramma a Blocchi (b)

I fili di collegamento possono trasportare teoricamente una qualunque mole di dati, ed assumono colore diverso in funzione al tipo di informazione che circola all'interno di essi (figura 4.11)









Tipo di collegamento	Scalare	Array 1D	Array 2D	Colore
Numerico	 	 	 	Arancione (virgola mobile), Blu (intero)
Booleano				Verde
Stringa				Rosa

Figura 4.11: Tipi di collegamento

Per inserire gli oggetti nel pannello frontale o nel diagramma a blocchi si impiegano due tavole chiamate rispettivamente *Controls Palette* e *Functions Palette* rappresentati nella figura 4.12.

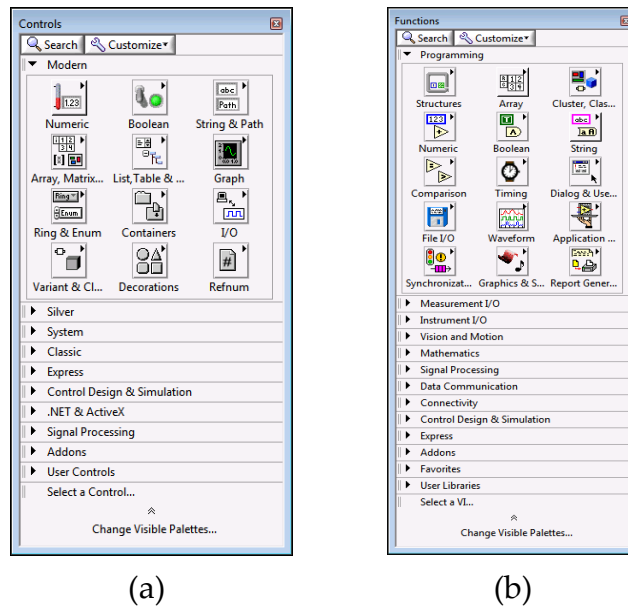


Figura 4.12: Il Controls Palette e il Functions Palette

Per rendere più comprensibile il programma realizzato nel capitolo successivo verranno descritti brevemente gli oggetti maggiormente utilizzati durante la sua realizzazione. È possibile notare, nella figura 4.13 (a) a sinistra, che il controllo è contraddistinto da due frecce che consentono di variare il valore e, quindi, un ingresso per il diagramma a blocchi. Invece l'indicatore nella figura 4.13 (a) a destra non è modificabile e rappresenta un'uscita dal diagramma a blocchi



Figura 4.13: Controlli, indicatori e relati terminali

In funzione al colore delle icone, come riportato nella figura 4.14, si ottengono informazioni sul tipo di controllo o indicatore utilizzato che può essere numerico, booleano, o stringa.

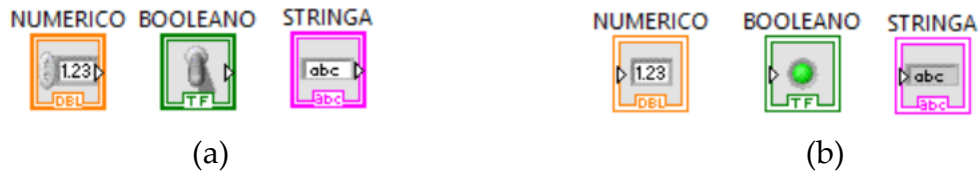


Figura 4.14: Controlli (a) e indicatori (b) maggiormente utilizzati

La gestione del flusso dei dati durante l'esecuzione di un VI è controllata tramite le tipiche strutture per la programmazione che andranno inseriti nel diagramma a blocchi. Nella figura 4.15 è riportata la struttura *While Loop* che permette di eseguire un blocco di codice affinché il terminale non riceva uno particolare valore booleano. Un valore booleano true in ingresso al terminale condizionale (figura 4.15a) interrompe l'esecuzione del programma contenuto all'interno del while loop (Stop if True). Invece, un valore booleano false in ingresso al terminale condizionale (figura 4.15b) arresta l'esecuzione del ciclo (Continue if True). Il terminale di iterazione, rappresentato dal quadrato blu con all'interno una "i", calcola il numero di iterazioni effettuate dal while loop.

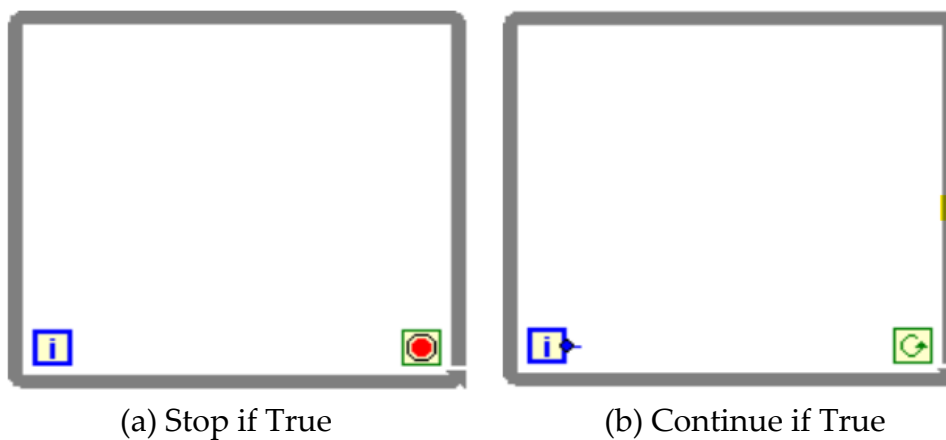


Figura 4.15: Struttura While Loop

La struttura *For Loop* (figura 4.16) esegue N volte il codice contenuto al suo interno. Il funzionamento della struttura è identico ai cicli for utilizzati negli altri linguaggi di programmazione. In particolare, i dati elaborati nel corso dell'esecuzione sono disponibili quando il terminale di iterazione "i" raggiunge il valore N-1. A differenza del While Loop, il For Loop va in esecuzione un numero di volte predefinito mentre il While Loop arresta l'esecuzione del sotto diagramma solo se è presente il valore corrispondente sul terminale condizionale.

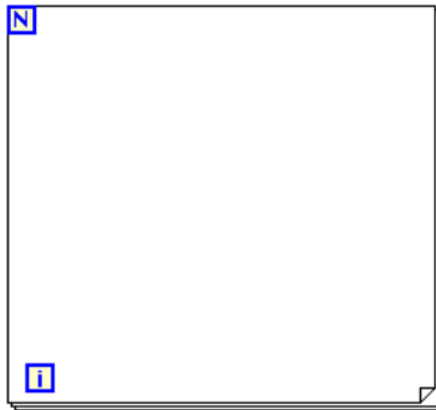


Figura 4.16: Struttura For Loop

Un'altra struttura impiegata in LabVIEW è la *Case Structure*, rappresentata nella figura 4.17. In questa struttura viene eseguito solo un caso, il quale viene scelto mediante il terminale di ingresso (il punto interrogativo a sinistra). In particolare, un valore booleano true in ingresso al terminale di selezione permette l'esecuzione del sotto diagramma contenuto nel case true. Al contrario, un valore booleano false in ingresso al terminale di selezione consente l'esecuzione del sotto diagramma contenuto nel Case False. Inoltre, i casi possono essere selezionati, oltre al controllo di tipo booleano, anche mediante un controllo numerico o stringa collegato sempre al terminale di selezione come riportato nella figura 4.18.

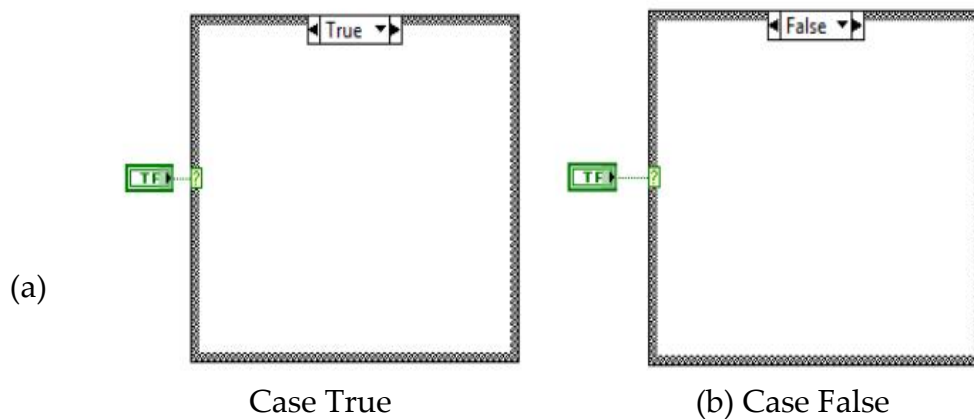


Figura 4.17: Case Structure

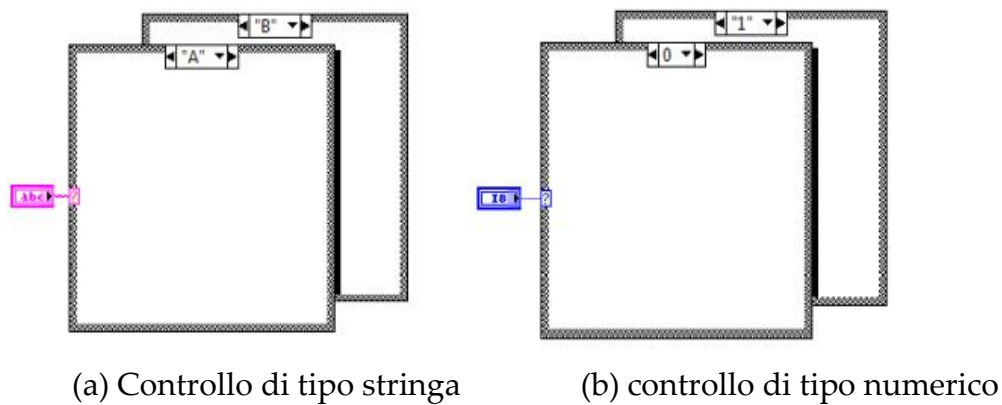


Figura 4.18: Tipologie di condizioni nelle Case Structure

Durante la programmazione è comodo interagire con i vari oggetti del pannello frontale da qualsiasi posizione del diagramma a blocchi. Gli oggetti che permettono questa operazione sono le *variabili locali* che può essere usata in lettura o in scrittura (figura 4.19). Quando una variabile locale viene letta o scritta, in maniera automatica, si aggiorna il contenuto dell'oggetto ad essa associato. Anche le variabili possono essere di tipo booleano, stringa o numerico, come visto per gli indicatori o i controlli. Il vincolo principale delle variabili locali è che possono essere impiegate solamente all'interno del VI che contiene il pannello frontale da cui sono state ricavate.



Figura 4.19: Variabili locali

Pertanto, per poter utilizzare una variabile all'interno di qualsiasi VI o subVI si devono utilizzare *variabili globali* (figura 4.20). Quest'ultime sono definite sotto forma di controlli o indicatori su un VI munito del solo front panel. Quindi, l'utilizzo delle variabili globali diventa importante dal momento il programma che si sta realizzando ha una struttura a moduli e contiene molti subVI con cui scambiare i dati.



Figura 4.20: Variabili globali

Il driver *NI-DAQmx* realizzato dalla NI consente di configurare il Compact RIO utilizzando specifici VI chiamati *Express VI*, ossia degli strumenti personalizzabili che aiutano passo dopo passo l'utente nelle fasi di programmazione. L'Express maggiormente utilizzato in questo lavoro di tesi è il *DAQ Assistant* (figura 4.21). È un'interfaccia grafica interattiva per la creazione, la modifica l'esecuzione dei canali. In questo lavoro, il DAQ Assistant è stato impiegato per l'acquisizione dei segnali dai sensori e per la generazione dei segnali per il controllo delle elettrovalvole. [18]



Figura 4.21: DAQ Assistant

5. Caso studio

5.1 Introduzione

Il caso studio prende in esame l'impianto descritto nel capitolo 2. L'obiettivo dello studio è quello di sviluppare un'interfaccia per l'acquisizione dei dati e il controllo delle elettrovalvole al fine di monitorare il processo dell'impianto. L'implementazione del progetto è avvenuta tramite il programma LabVIEW che uniti all'hardware hanno formato gli strumenti ideali per progettare in tempi relativamente brevi.

Nel pannello frontale, mediante la funzione Tab Control, è stata realizzata una scheda di controllo con diversi pannelli. Ognuna di queste è stata inserita per svolgere una mansione ben precisa e permettere la costruzione di un'interfaccia di facile utilizzo. In dettaglio, sono state creati quattro pannelli che svolgono i seguenti compiti:

- I. Acquisizione dei dati e controllo PID;
- II. Conversione del segnale proveniente dai sensori in grandezze fisiche;
- III. Inserimento dei parametri del PID;
- IV. Analisi combinata dei risultati.

Per quanto riguarda il diagramma a blocchi sono stati inseriti principalmente due while loop (figura 5.1). In particolare, il primo è stato impiegato per la scrittura dei dati e il secondo per svolgere gli altri compiti rimanenti. Inoltre, è stata creata una variabile globale dello stop in modo da interrompere, allo stesso istante, il codice presente all'interno dei due while loop.

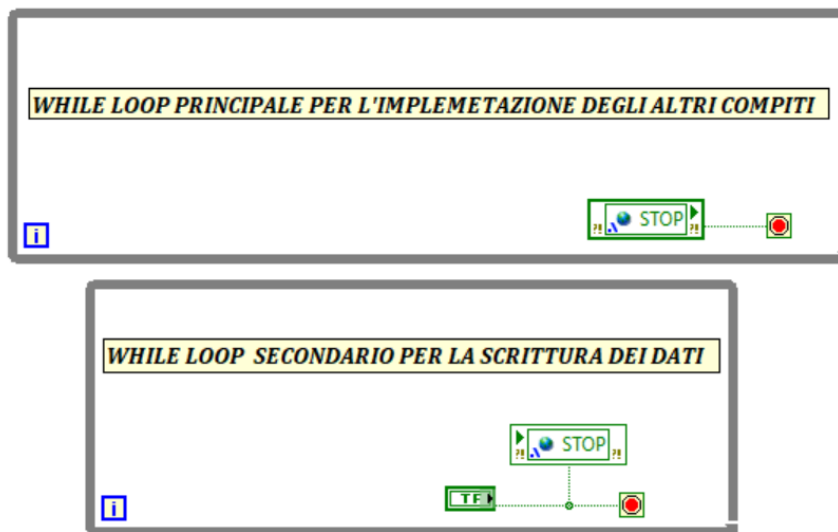


Figura 5.1: Schema semplificato del diagramma a blocchi

Nei due paragrafi successivi saranno descritti, in dettaglio, i vari pannelli illustrando anche il codice legato ad essi.

5.2 Pannello principale

Il pannello principale, rappresentato nella figura 5.2, ha il compito di visualizzare l'acquisizione dei dati provenienti dai sensori, controllare le valvole di regolazione e avviare comando per la scrittura dei dati.

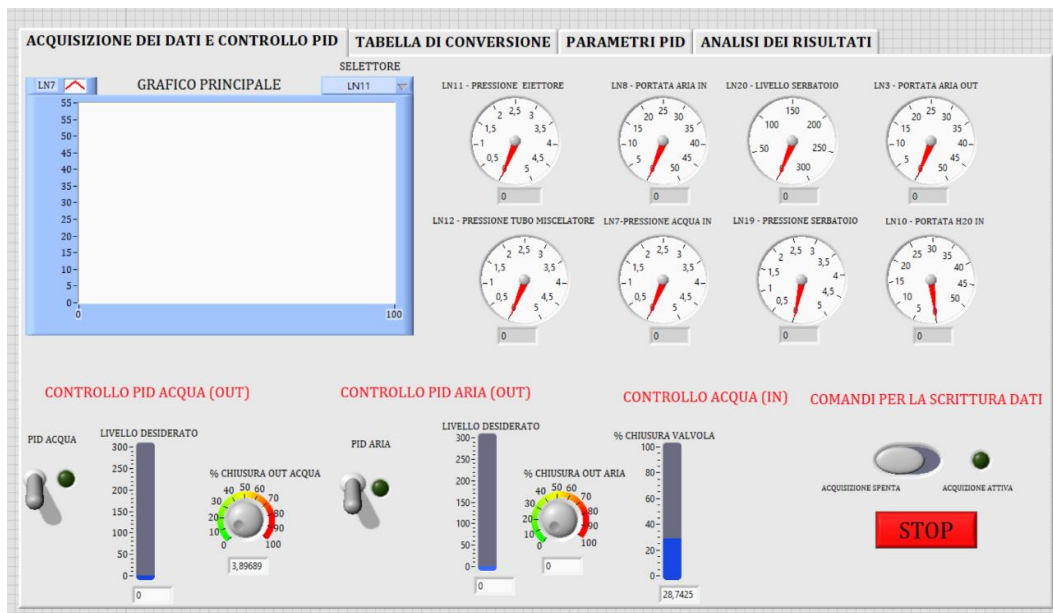


Figura 5.2: Pannello principale

Nella parte superiore della figura 5.2 è possibile visualizzare, in ogni Gauge, il valore della grandezza fisica proveniente dal relativo sensore e il corrispondente andamento grafico nel Waveform Chart (grafico principale). Quest'ultimo riporta nell'asse delle ascisse il tempo, mentre nell'asse delle ordinate la rispettiva scala di ogni grandezza fisica. In aggiunta, per scegliere il grafico del sensore da visualizzare è stato predisposto un selettore. Nella figura 5.2 a destra è stato inserito un interruttore a scorrimento con il relativo led, in modo da scegliere l'istante in cui far partire la registrazione dei dati in un opportuno file. Infine, è presente il pulsante di stop che permette di arrestare il funzionamento dell'intero impianto una volta premuto.

Di seguito saranno illustrati le parti di codice, inseriti all'interno del While Loop principale nel diagramma a blocchi, per ottenere gli oggetti descritti precedentemente. Nella figura 5.3 è riportato il codice che consente di acquisire i segnali mediante l'impiego DAQ Assistant. Dopodiché, i segnali in uscita dal DAQ Assistant vengono moltiplicate e sommati per delle costanti al fine di trasformarle in grandezze fisiche.

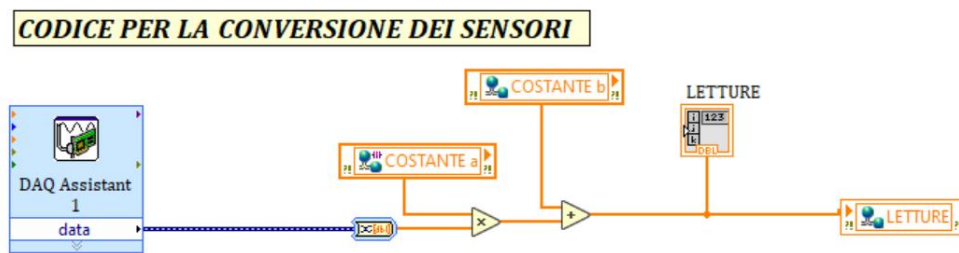


Figura 5.3: Codice per l'acquisizione conversione dei sensori

Nella figura 5.4 è riportato il codice per la lettura dei sensori tramite l'impiego della variabile globale "letture" e la funzione Index Array, la quale permette di separare singolarmente le letture di ogni dei sensori.

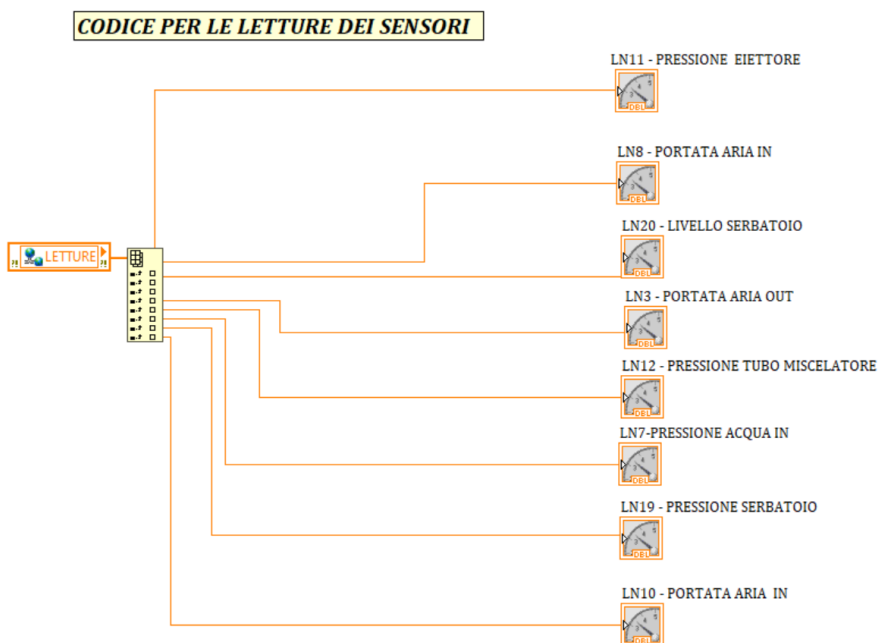


Figura 5.4: Codice per le letture dei sensori

La 5.5 rappresenta il codice per graficare l'andamento dei sensori nel Waveform Chart. È stata utilizzata la Case Structure per poter scegliere la rappresentazione del sensore desiderata riportando le caratteristiche dei sensori in ogni caso.

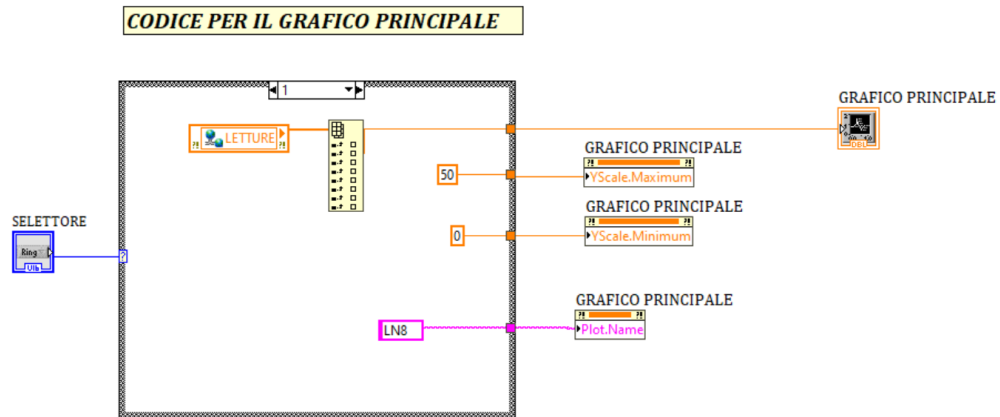


Figura 5.5: Codice per le letture dei sensori

La figura 5.6 mostra il codice, inserito separatamente nel While Loop secondario, per la registrazione dei dati, una volta premuto il comando dell'avvio.

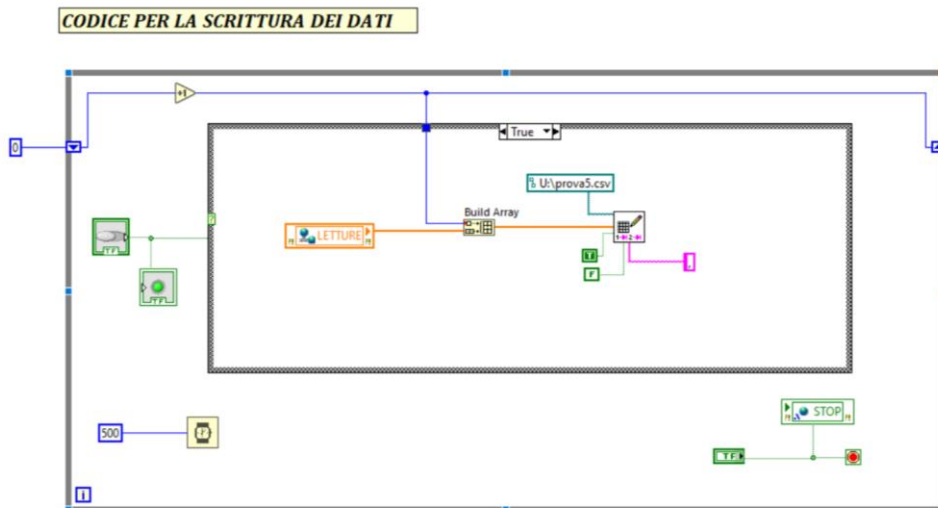


Figura 5.6: Codice per la scrittura dei dati

Nella parte inferiore a sinistra della figura 5.2 sono presenti i comandi per il controllo delle tre elettrovalvole. Come descritto nel capitolo 2, la regolazione dell'acqua in ingresso avviene solamente manualmente e, pertanto, è stata predisposta una barra di riempimento verticale la fine di far entrare il flusso d'acqua desiderato. Invece, la regolazione dell'acqua e dell'aria in uscita, oltre ad avvenire manualmente, può essere effettuata mediante il controllo PID. In particolare, tramite un interruttore a levetta verticale, è possibile scegliere l'opzione desiderata. Per quanto riguarda il controllo PID, si seleziona il livello desiderato da raggiungere all'interno del serbatoio tramite una barra di riempimento verticale graduato. Invece, per il controllo manuale è stato disposto un potenziometro che consente di visualizzare la percentuale di chiusura della valvola. Nelle figure 5.6 e 5.7 sono riportati i codici, inseriti la While Loop principale nel diagramma a blocchi, per ottenere i valori controlli delle valvole di regolazione.

La figura 5.7 mostra il caso in cui è attivo il controllo PID che invia il valore ai rispettivi DAQ Assistant con lo scopo di comandare tramite un segnale elettrico le valvole.

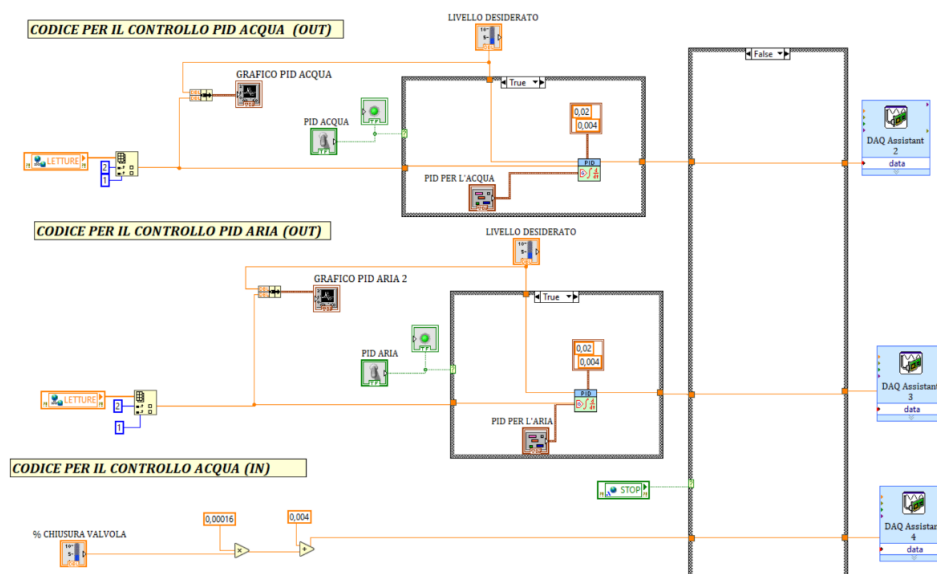


Figura 5.7: Codice per il controllo PID delle valvole

La figura 5.8 rappresenta il caso in cui il controllo PID è disattivato e, quindi, in funzione il controllo manuale di tutte e tre le valvole.

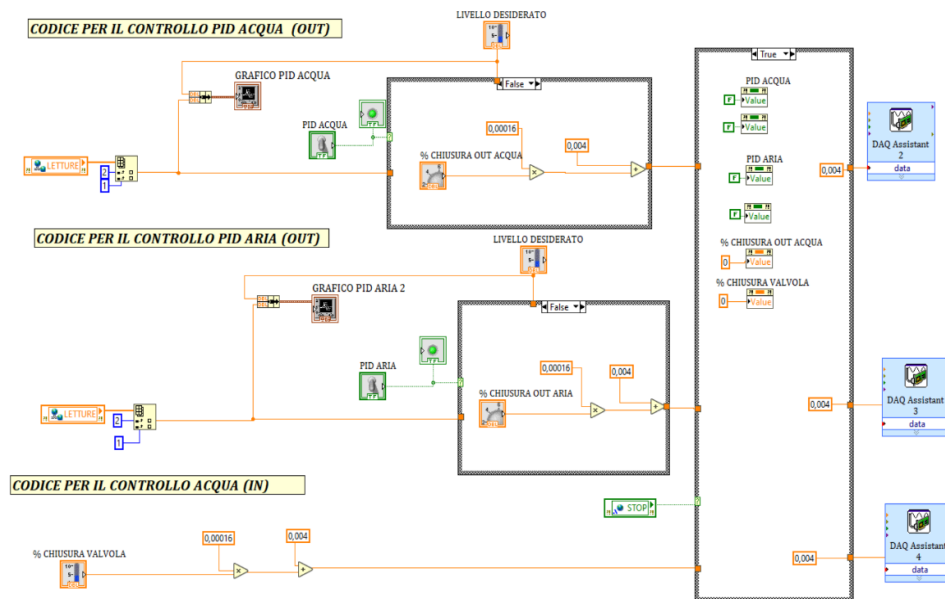


Figura 5.8: Codice per il controllo manuale delle valvole

5.3 Panelli secondari

In questo paragrafo verrà riportata una descrizione dettagliata dei tre pannelli rimanenti con il rispettivo codice realizzato nel diagramma a blocchi. Nella figura 5.9 è rappresentato il pannello contenente le tabelle che consentono di inserire le costanti per trasformare i segnali all'uscita dei sensori in grandezze fisiche. Questi dati sono contenuti nel codice della figura 5.3 mediante la creazione delle variabili globali "costante a" e "costante b".

COSTANTE a	COSTANTE b	UNITA' DI MISURA
0	0	bar
3115.05	-12.4634	m³/h
44504.3	-178.242	mm
7786.95	-29.6912	m³/h
628.837	-2.47545	bar
634.206	-2.44649	bar
651.332	-1.51505	bar
0	0	m³/h

FORMULA PER LA CONVERSIONE = ax+b

Figura 5.9: Pannello per la tabella di conversione

Nelle figure 5.10 e 5.11 sono riportati i codici per la compilazione della tabella. Il primo, posizionato all'interno del While Loop principale, permette di collegare le tabelle con le tre variabili globali. Dopodiché, il secondo, posizionato all'esterno del While Loop principale consente di inserire le costanti che saranno visualizzate successivamente nelle tabelle e con la possibilità di modificarne il valore direttamente da esse

CODICE PER LA COMPILAZIONE DELLA TABELLA DI CONVERSIONE

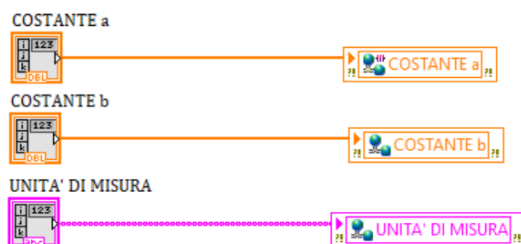


Figura 5.10: Codice per il collegamento tra le variabili globali e le tabelle

CODICE PER LA COMPILAZIONE DELLA TABELLA DI CONVERSIONE

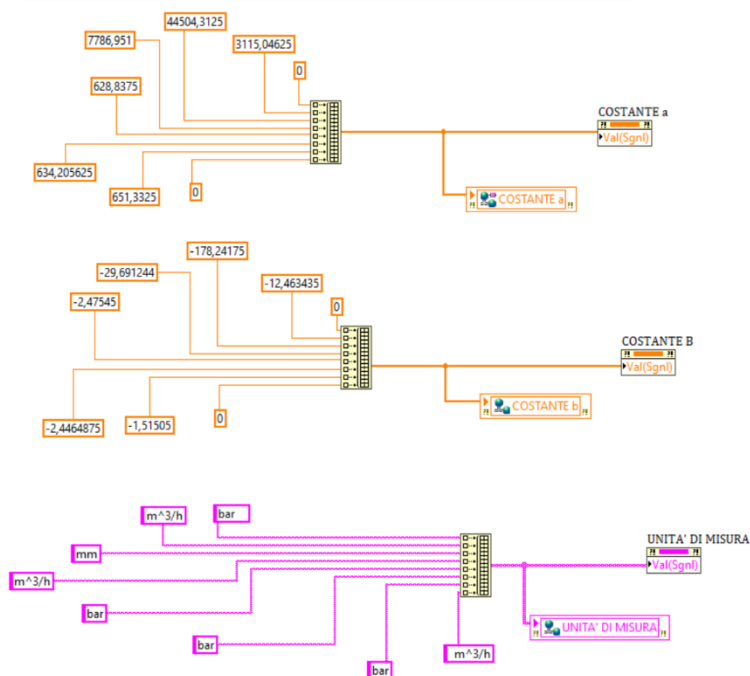


Figura 5.10: Codice per l'inserimento dei valori nella tabella

Nella figura 5.11 è riportato il pannello per l'inserimento dei parametri inerenti al controllo PID delle elettrovalvole pneumatiche. Nello specifico, permette di regolare le tre azioni (proporzionale, integrale e derivativa) del PID e vedere l'andamento sul grafico.

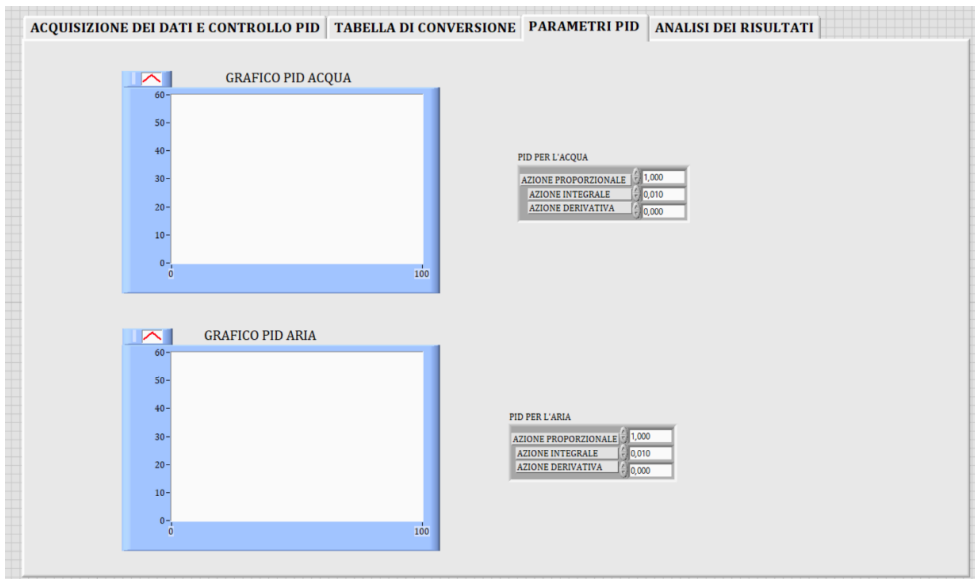


Figura 5.11: Pannello per l'inserimento dei parametri del PID

La figura 5.12 riporta il grafico che consente di visualizzare contemporaneamente l'andamento grafico di due grandezze fide provenienti dai sensori. Pertanto, è utile per un'analisi combinata dei sensori e di conseguenza confrontare il loro comportamento in real-time.

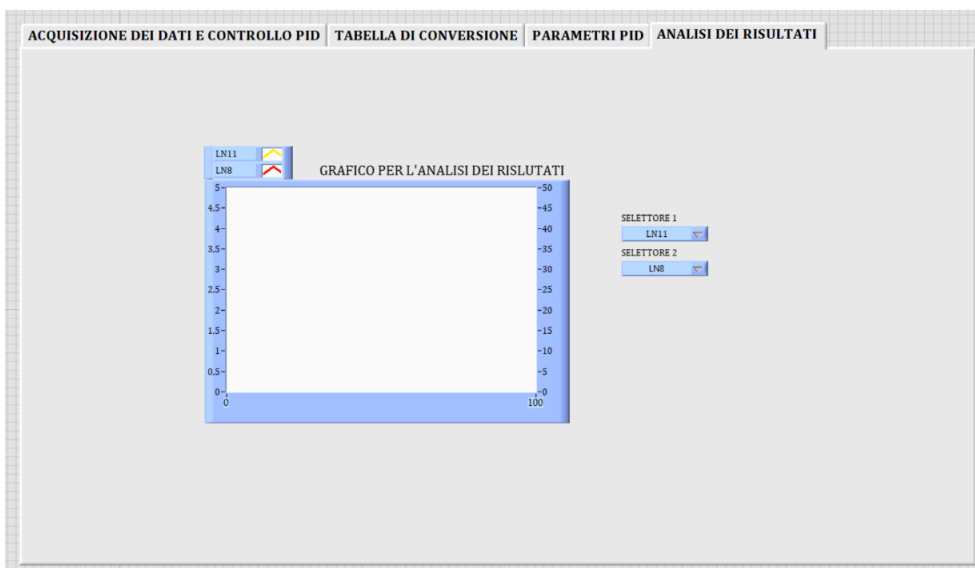


Figura 5.12: Codice per l'analisi combinata dei risultati

La figura 5.12 rappresenta il codice per realizzare il pannello precedente utilizzando la Case Structure selettori e varie Property Node del grafico per l'analisi dei risultati.

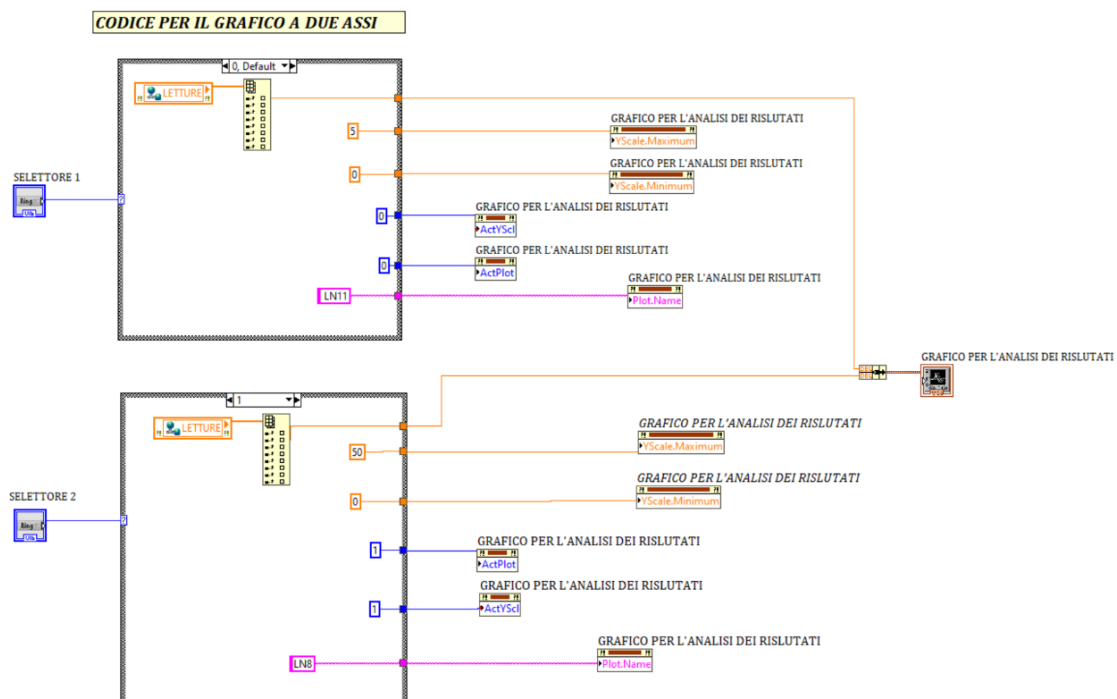


Figura 5.12: Codice per l'analisi combinata dei risultati

6. Conclusioni

La quarta rivoluzione industriale, come si è visto, è un'era di grandi innovazioni in cui le tecnologie abilitanti creano e continueranno a generare cambiamenti significativi nella società e nell'economia delle imprese. Pertanto, l'industria 4.0 modifica il modo di produrre consentendo di connettere il mondo fisico a quello virtuale. Nello specifico, dà vita ad una realtà produttiva in cui la capacità di comunicazione tra le macchine e gli operatori porta al sistema produttivo notevoli benefici.

In questo lavoro di tesi si è cercato di simulare e raggiungere il progresso attuale tramite l'impiego del CompactRIO e il programma LabVIEW, i quali si sono rilevati degli strumenti performanti e adatti all'industria 4.0. I risultati raggiunti sono abbastanza soddisfacenti, specialmente, per quanto riguarda la progettazione dell'interfaccia realizzata per l'acquisizione dei dati e il controllo del processo. Attualmente, si è in grado di analizzare le Condition Monitoring dell'impianto, in particolare modo di effettuare l'analisi dei dati in real-time.

In futuro, si dovrà sicuramente migliorare il programma sviluppato al fine di accrescere e garantire la sicurezza dell'impianto durante il funzionamento. Inoltre, i dati raccolti e il sistema di acquisizione e controllo realizzato potranno essere impiegati per altre applicazioni in modo da proseguire il lavoro raggiunto fino a questo momento. Infine, l'augurio è quello di continuare ad investire in questi progetti con lo scopo di superare l'ostacolo della divisione tra la ricerca applicata e i sistemi di produzione veri e propri presente ancora oggi.

Bibliografia

- [1] <https://www.digital4.biz/executive/industria-40-storia-significato-ed-evoluzioni-tecnologiche-a-vantaggio-del-business/>
- [2] <https://itsolutionsrl.it/2017/07/industria-4-0/>
- [3] <https://www.francescoiannello.com/i-9-punti-che-caratterizzanolindustria-4-0/>
- [4] <https://www.kaspersky.it/resource-center/definitions/what-is-cyber-security>
- [5] https://learn.univpm.it/pluginfile.php/320718/mod_resource/content/0/6c-Robotica%20-cobot.pdf
- [6] <https://mynext.it/2018/09/integrazione-verticale-e-orizzontale-dei-sistemi-cosa-significa/>
- [7] <https://www.make-consulting.it/industria-4-0-prospettive-e-vantaggi-strategici/>
- [8] https://learn.univpm.it/pluginfile.php/315265/mod_resource/content/1/6.4%20-%20Digital%20Twin%20DIISM.pd
- [9] <https://www.asvstubbe.it/blog/funzionamento-degli-eiettori/>
- [10] https://en.wikipedia.org/wiki/Condition_monitoring
- [11] <https://dewesoft.com/it/daq/what-is-condition-monitoring#FASE-4>
- [12] <https://www.lumi4innovation.it/cos-e-condition-monitoring-come-funziona/>
- [13] <https://www.slideshare.net/ale914/introduzione-allutilizzo-del-compact-rio>
- [14] <https://www.ni.com/it-it/shop/compactrio.html>
- [15] https://www.ni.com/pdf/manuals/375206b_02.pdf
- [16] https://www.ni.com/pdf/manuals/374067a_02.pdf
- [17] <http://informatica.abaluth.com/programmazione/programmazione-a-oggetti/incapsulamento-information-hiding/>
- [18] https://svelto.faculty.polimi.it/didattica/materiale_didattico/LabView7%20Getting%20Started%20ITA.pdf