Capitolo 4

Gestione centralizzata ed automatizzata dell'impianto

L'impianto per poter funzionare nel miglior modo possibile, sfruttando appieno le capacità per cui è stato realizzato, ha bisogno di tutta una serie di strumenti ed apparecchiature che in fase progettuale non sono state considerate. Analizzando il comportamento dell'impianto in funzione e studiando le effettive esigenze abbiamo progettato un sistema per la gestione centralizzata ed automatizzata di tutti i componenti installati. Taluni di questi elementi erano già presenti mentre per gli altri abbiamo effettuato una ricerca di mercato cercando le soluzioni che maggiormente soddisfano le nostre esigenze. Nella scelta oltre a considerare le caratteristiche tecniche abbiamo dato notevole importanza al rapporto qualità/prezzo. La realizzazione di questo sistema permette di qualificare ulteriormente gli investimenti fatti dall'Università degli Studi di Udine fornendo un impianto tecnologicamente avanzato e motivo di orgoglio nell'ambito della ricerca scientifica.

4.1 Schema generale

Un sistema per la gestione centralizzata è composto da tutta una serie di componenti, hardware e software, che vanno ad interagire con gli elementi di un impianto industriale come rappresentato in figura 4.1. Il nostro sistema di controllo dovrà essere in grado di gestire e controllare i seguenti apparati:

- compressore;
- inverter;
- misuratore portata acqua;
- misuratore portata aria;

- elettrovalvola regolazione portata aria;
- misuratori di pressione;
- misuratori di temperatura;
- videocamera digitale.

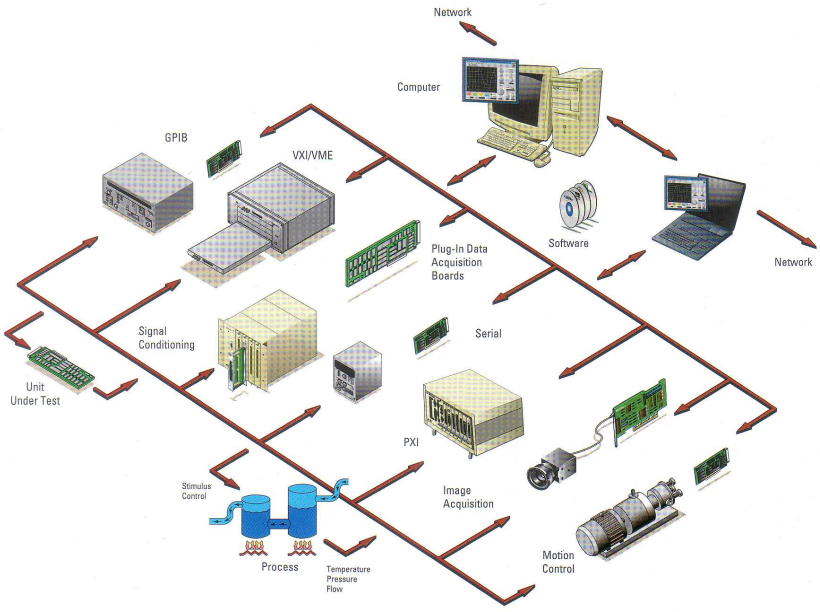

Figura 4.1: Schema generale di sistema per la gestione centralizzata dei processi

Dopo uno studio effettuato per determinare quale soluzione fosse più idonea, abbiamo deciso di adottare FieldPoint di National Instruments per le sue ottime caratteristiche di qualità , flessibilità ed integrazione. Tale sistema è fornito dalla IRS di Padova azienda specializzata nella realizzazione di sistemi di acquisizione ed elaborazione dati.

FieldPoint è un sistema di input/output modulare con il quale è possibile realizzare soluzioni distribuite, affidabili, facili da realizzare, configurare ed utilizzare. Il sistema è dotato di un eccellente integrazione con il software LabVIEW; offre un utilizzo semplificato grazie a caratteristiche innovative che facilitano la configurazione, lo sviluppo delle applicazioni e la manutenzione. Il sistema FieldPoint consente di avvalersi di tecnologie open-network come Ethernet, seriale e wireless ed offre una vasta gamma di I/O misti di tipo industriale abbinati a moduli con un numero variabile di canali. Grazie a queste caratteristiche il prodotto di Nationals Intruments consente di ridurre i costi di tutto il sistema aumentandone la flessibilità.

4.2 Inverter

Gli inverter sono studiati per le più svariate applicazioni industriali e permettono la regolazione continua della velocità del motore asincrono da un valore nullo ad un valore massimo. Risultano compatti, affidabili, economici e semplici da usare, con applicazione in tutti i campi di utilizzo dei motori asincroni trifasi.

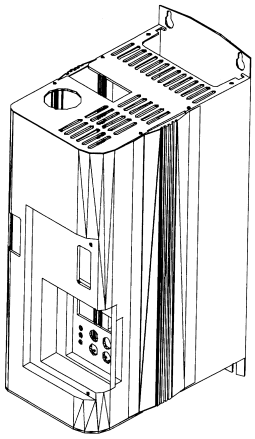

Figura 4.2: Inverter SILCOVERT SVTSplus della AsiRobicon

In un motore asincrono trifase la velocità di rotazione (espressa in giri al minuto rpm) è determinata dal numero di poli p del motore e dalla frequenza f di alimentazione secondo la relazione:

$$n = 120\,\frac{f}{p} \tag{4.1}$$

La velocità varia quindi proporzionalmente con la frequenza ed è su questo principio che si basa il controllo di velocità dell'inverter. L'ampiezza della tensione d'uscita viene mantenuta proporzionale alla frequenza per garantire la costanza della coppia in tutto il campo di frequenza da 0 a f_n. Il valore efficace della tensione prodotta coincide praticamente con il valore efficace della tensione sinusoidale teorica data dalla formula:

$$V = V_n \frac{f}{f_n} \tag{4.2}$$

dove V_n e f_n sono rispettivamente i valori nominali di tensione e frequenza del motore, mentre f è variata dall'inverter in funzione della richiesta da parte dell'utente.

Ciò si ottiene modulando la larghezza di impulso (PWM), mentre la tensione continua viene ottenuta raddrizzando la tensione di rete. Questo sistema di controllo sarà indicato come V/F.

L'algoritmo a controllo di flusso del SILCOVERT SVTSplus permette una precisa verifica del flusso di magnetizzazione del motore e consente di ottenere le stesse prestazioni di un azionamento con motore a corrente continua. La piena tensione nominale del motore ed una perfetta forma d'onda di corrente sono ottenute attraverso un algoritmo dedicato eseguito dal microcontrollore.

Il sistema di controllo standard di un convertitore DC è basato sulla seguente espressione:

$$M = K\,\phi\,I \tag{4.3}$$

con I corrente alla coppia richiesta e dove ϕ ed I sono controllati separatamente. Nel caso di flusso costante (eccitazione separata), la coppia del motore è uguale alla coppia richiesta a meno della costante di tempo dell'anello di corrente. Con il motore asincrono, usando coordinate sincrone con il flusso del rotore, l'espressione del sistema di controllo diventa:

$$M = K\,i_d\,i_q \tag{4.4}$$

con i_q corrente alla coppia richiesta.

Se la corrente i_d è mantenuta costante, tenendo presenti i parametri del motore, la coppia del motore è uguale alla coppia richiesta a meno della costante di tempo dell'anello di corrente. Questo sistema di controllo sarà indicato come FOC (*Field Oriented Control*).

4.2.1 Caratteristiche tecniche

L'inverter SILCOVERT SVTSplus in esame è a tensone impressa IGBT atto al comando di motori asincroni trifase con possibilità di alimentazione da rete trifase o bus DC con freno dissipativo integrato. Le caratteristiche tecniche sono:

- tensione di alimentazione: 380-480 V;
- corrente d'uscita: 32 A;
- potenza inverter a 400 V: 22 kVA;
- potenza motore pompa a 400 V: 15 kW.

Il tipo di controllo adottato, denominato B, è un controllo base con le seguenti caratteristiche:

- Field Oriented Control (FOC) e Volt su Frequenza (V/F);
- caratteristica V/F configurabile tramite parametri;
- funzionamento a velocità intermedie prefissate;
- tempo di accelerazione/decelerazione in un campo: $0,1$ - 262,1 s;
- tempo di accelerazione/decelerazione fino a 3000 s;
- velocità controllata da 0 a 6000 rpm (FOC);
- massima frequenza : 200 Hz (FOC), 0,1 - 480 Hz (V/F);
- monitoraggio e controllo, anche a distanza, di velocità, corrente e coppia;
- funzionamento in velocità ed in coppia (FOC);
- uscite analogiche delle variabili di controllo;
- regolatore PID general purpose;
- ripresa al volo;
- retroazione velocità con encoder a 2 fasi da 1024 impulsi per giro con line driver 5 V o push-pull 24 V/12 V;
- frequenza di commutazione 3, 6, 9, 12 kHz (frequenza di controllo 3 kHz).

I parametri di configurazione sui quali è possibile agire sono:

- corrente nominale;
- corrente del motore a vuoto a tensione nominale;
- frequenza nominale;
- velocità nominale (scorrimento nominale);
- tensione nominale;
- potenza nominale;
- cos ϕ nominale;
- tensione nominale di rete.

L'inverter a disposizione non necessita di particolari apparati aggiuntivi per il collegamento ad un sistema di acquisizione dati in quanto prevede di serie sia un'interfaccia RS232 per lo scambio dei dati sia un'interfaccia RS485 per un collegamento multipunto, mentre il protocollo di comunicazione è ANSI-x3.28-2.5-A4.

4.3 Compressore

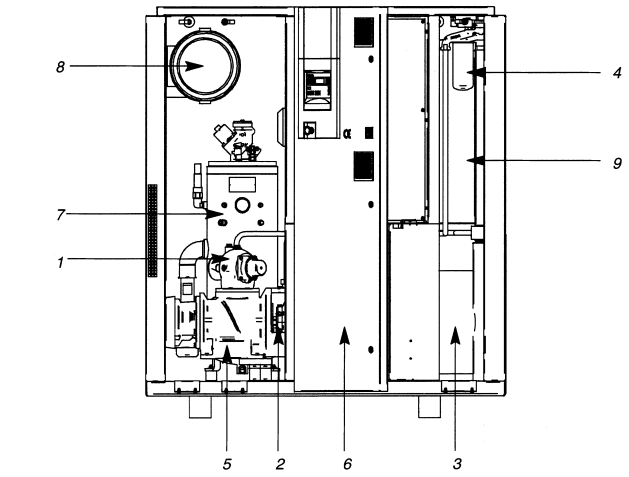

Figura 4.3: Compressore BSD 72/5,5-8 bar della KAESER

La macchina, rappresentata in figura 4.3, è dotata di un gruppo compressore a vite a singolo stadio ad iniezione di olio. Due rotori, il maschio motore, il femmina condotto, entrambi calettati su cuscinetti volventi, vengono messi in movimento tramite un giunto elastico da un motore elettrico.

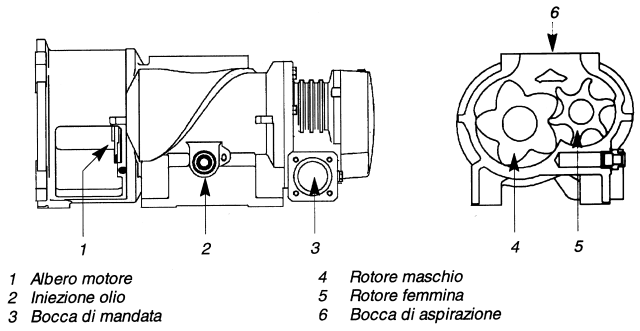

Figura 4.4: Particolare del compressore: gruppo a vite

Come risulta dalla figura 4.4 al girare dei rotori, l'aria viene aspirata dalla bocca di aspirazione (6) posta in alto, viene compressa nella parte sottostante mediante l'azione del profilo coniugato delle due viti (4 e 5) che agiscono in modo da ridurre progressivamente il volume di fluido aspirato e viene poi scaricata nella parte inferiore (3). L'olio che viene iniettato (2) assorbe il calore prodotto

nella compressione, garantisce la lubrificazione dei cuscinetti ed infine consente una migliore tenuta grazie al velo che forma tra i profili dei rotori e l'involucro del compressore. L'aria compressa e l'olio lasciano poi il blocco compressore dalla bocca di mandata (3). Una cartuccia separatrice olio, montata nel serbatoio separatore, garantisce una fornitura di aria praticamente pura.

La macchina è dotata di sistema di controllo SIGMA CONTROL integrato nel quadro elettrico. Esso comprende un computer con un processore Intel, un'interfaccia utente con unità di visualizzazione, 9 LED di segnalazione ed 11 tasti per le funzioni di programmazione. L'unità di visualizzazione, dotata di display a 4 righe, è così strutturata:

- riga 1: indica la pressione e la temperatura di uscita dell'aria compressa. Le lettere all'estrema destra rappresentano la condizione operativa "R" = "RUN", "S" = "STOP" ed "F" = "FAULT";
- riga 2: indica lo stato di funzionamento del compressore oppure il menù;
- riga 3: serve per cambiare le impostazioni dei vari menù;
- riga 4: viene indicata la direzione nella quale è possibile scorrere il menù.

Il SIGMA CONTROL assicura inoltre:

- l'arresto automatico della macchina in caso di sovracorrente, sovrapressione, sovratemperatura;
- il monitoraggio continuo dei componenti soggetti a manutenzione mediante dispositivi che provvedono anche all'attivazione dell'apposito LED di allarme-manutenzione.

4.3.1 Caratteristiche tecniche

Il compressore a disposizione ha le seguenti caratteristiche:

- modello KAESER BSD/72;
- pressione massima di esercizio: 8 bar;
- tensione di rete: 400 V;
- assorbimento di corrente: 74 A;
- potenza nominale: 37 kW;
- frequenza: 50 Hz;
- velocità nominale: 3000 rpm;
- livello di pressione sonora: 67 dBA con misurazione in campo aperto;

- temperatura di funzionamento: da 75 a 100 $°C$ (dipende dalla pressione massima di esercizio e dalle condizioni atmosferiche quali umidità e temperatura ambiente);
- fusibili di rete (ad azione ritardata o di classe gl): 100 A;
- sezione cavi di alimentazone (cavo in rame intrecciato): 4 x 35 mm^2;
- classe di protezione: IP 55;
- peso: 1000 kg;

La macchina è inoltre dotata dei seguenti elementi:

- alimentatore per il $SIGMA\ CONTROL$ da 24 V in DC, assorbimento 1,3 A;
- alimentatore ausiliario per i sensori da 18 V in DC;
- input/output analogici (0-20 mA, 4-20 mA e Pt100);
- trasduttore di pressione 4-20 mA a due fili;
- trasduttore di temperatura Pt100 DIN IEC 751 a due fili;
- interfaccia seriale RS232 per il collegamento a sistemi di acquisizione dati;
- interfaccia seriale RS485 per collegamenti multipunto;
- interfaccia seriale Profibus DP per il controllo remoto.

4.4 Misuratore portata acqua

Figura 4.5: Misuratore elettromagnetico di portata SE208ME-DAE4S-LS4-D1H1/BSF della YOKOGAWA

Il misuratore elettromagnetico, rappresentato in figura 4.5, sfrutta la proporzionalità esistente fra la velocità del fluido e l'induzione elettromagnetica. Condizione essenziale per il suo funzionamento è che il fluido che lo attraversa sia un conduttore elettrico.

Mediante delle bobine fa in modo che la tubazione in esame diventi sede di un campo magnetico ortogonale all'asse della tubazione stessa. Dal momento che il liquido considerato è un conduttore in movimento, in concordanza con la legge di Faraday, è possibile ricavare un campo elettrico che, misurato da due elettrodi posti esternamente alla tubazione, derivano la velocità del fluido all'interno.
Ipotizzando una distribuzione simmetrica delle velocità all'interno della tubazione, dove v_m è la velocità media, B l'intensità del campo magnetico (misurato in $Tesla$) e D la distanza fra gli elettrodi (calcolata in m), si ricava la differenza di potenziale:

$$E = B \cdot v_m \cdot D \tag{4.5}$$

dove E è misurata in Volt (V).
La portata Q (m^3/s) risulta essere:

$$Q = \frac{E\pi D}{4B} \tag{4.6}$$

Questo tipo di misuratore produce perdite di carico praticamente nulle associate ad un range di funzionamento piuttosto ampio.

4.4.1 Caratteristiche tecniche

Il misuratore di portata ha le seguenti caratteristiche:

- marca: ROTE YOKOGAWA;
- tipo prodotto: Magnetic Flowmeter;
- modello: SE208ME-DAE2S-LS4-D1H1/BSF;
- diametro nominale: 80 mm;
- portata massima misurabile: 180,95 m^3/h @ 0,3 m/s;
- portata minima misurabile: 5,429 m^3/h @ 10,0 m/s;
- unità di misura dei dati forniti: m^3/h;
- pressione massima di esercizio: 200 kPa;

- tensione di alimentazione: 24 V in DC;
- uscite: 4-20 mA;
- display digitale e predisposizione per connessione a sistema di acqisizione dati;
- temperatura operativa: da -20 a +60 $°C$;
- umidità relativa esterna operativa: dal 5 all' 80 %;
- tipo di montaggio sulle tubazioni: modalità wafer;
- classe di protezione: IP 67;

Questo prodotto è fornito con un display alfanumerico, montato direttamente sul corpo, per la visualizzazione della portata istantanea; è dotato inoltre di uscite 4-20 mA DC per essere collegato ad eventuali sistemi di acquisizione dati.

4.5 Misuratore portata aria

Nell'impianto, per valutare la portata d'aria, è stato adottato un misuratore a vortice (Vortex) rappresentato in figura 4.6.

Figura 4.6: Misuratore di portata Vortex DY-050 DCLAD4-4D/SCT della YOKOGAWA

Il principio di funzionamento di questo strumento è piuttosto semplice. Si immagini lo sventolamento di una bandiera. Il motivo per cui ondeggia è il bastone sulla quale è fissata; infatti il vento incontrandolo crea dei vortici colonnari (*vortici di Karmann*) disposti in modo alternato lungo due scie parallele. Ogni

vortice determina una zona di bassa pressione che attira il drappo facendolo ondeggiare. La funzione di ondeggiamento è perfettamente lineare con la velocità del vento, quindi misurando la frequenza di sbandieramento, possiamo conoscere la velocità del vento. Questo succede anche nei misuratori a vortice dove all'interno del tubo di misura è inserita una barra massiccia di metallo denominata *shedder* che viene utilizzata come generatore di vortici i quali, durante la loro formazione, provocano delle forze alternate sulla barra che li genera. Queste forze vengono quindi rilevate da sensori piezoelettrici posti nella parte superiore della stessa. Un amplificatore converte poi, tramite funzioni matematiche, la frequenza di vibrazione dei sensori in un segnale pulito di portata. Questi misuratori sono molto precisi, hanno un range di funzionamento abbastanza elevato e generano perdite di carico contenute.

4.5.1 Caratteristiche tecniche

Il misuratore di portata d'aria presenta le seguenti caratteristiche:

- marca: ROTE YOKOGAWA;
- tipo prodotto: DIGITAL-YEWFLOW Vortex Flowmeter;
- modello: DY 050-DCLAD4-4D/SCT;
- diametro nominale: 50 mm;
- portata massima misurabile: 2179,847 Nm^3/h;
- portata minima misurabile: 69,784 Nm^3/h;
- portata massima di taratura: 500,00 Nm^3/h;
- portata minima di taratura: 50,00 Nm^3/h;
- pressione operativa: 300 kPa;
- pressione massima di esercizio: 420 kPa;
- tensione di alimentazione: 24 V in DC;
- uscite 4-20 mA;
- temperatura operativa: da -40 a +80 $°C$;
- tipo di montaggio sulle tubazioni: modalità wafer;
- display digitale e predisposizione per connessione a sistema di acqisizione dati;
- classe di protezione: IP 67;

Il misuratore è fornito di display alfanumerico montato sul corpo macchina per la lettura della portata in tempo reale; è predisposto inoltre per il collegamento ad un sistema di acquisizione dati tramite uscita 4-20 mA in corrente continua su 2 fili.

4.6 Misuratore pressione

L'impianto, per la rilevazione delle pressoni, era dotato solo di manometri analogici a molla tubolare che sollecitata dalla pressione del fluido di processo si deforma. Tale pressione è sempre misurabile in relazione ad una pressione di riferimento che generalmente è quella atmosferica. Il manometro indica quindi quanto maggiore o minore è la pressione rispetto a quel valore di riferimento. I risultati vengono poi indicati su un quadrante tramite ago mobile per cui si ha una notevole approssimazione nella rilevazione puntuale della grandezza. Nel caso in cui l'impianto sia soggetto a vibrazioni o le variazioni di carico dinamico da processare siano elevate risulta praticamente impossibile effettuare le misurazioni.

Per ovviare a ciò abbiamo sostituito tali manometri con dei trasduttori di pressione elettronici. Questi vengono montati in prossimità del sensore di temperatura, nell'apposito pozzetto saldato alla tubazione.

In generale la progettazione di sensori di pressione da utilizzare per misure superiori ad 1 atmosfera differisce da quella impiegata per valori minori di 1 atmosfera, però non esiste una separazione rigida perchè gli stessi principi possono essere utilizzati in entrambi i casi.

La maggior parte dei sensori di pressone usati per il controllo di processo si basano sulla conversione della pressione in uno sposamento. La misura richiede quindi tecniche specifiche per produrre lo spostamento ed i mezzi per convertirlo in segnale elettrico. Il metodo più comune per fare le conversioni si basa sul concetto di diaframma rappresentato in figura 4.7.

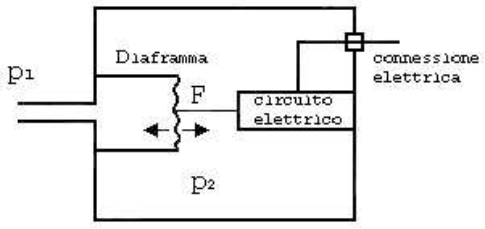

Figura 4.7: Principio di funzionamento di un sensore di pressione

Se la pressione p_1 agisce su un lato del diaframma e la pressione p_2 sull'altro, c'è una forza netta F data da:

$$F = (p_2 - p_1)A \tag{4.7}$$

dove A è l'area del diaframma.

Si comporta quindi come una molla che si allunga e si contrae fino a sviluppare una forza, secondo la legge di Hooke, tale da bilanciare la forza generata dalla differenza di pressione. Un circuito integrato collegato al diaframma convertirà la forza in segnali elettrici.

Figura 4.8: Trasduttore di pressione S-10 della WIKA

4.6.1 Caratteristiche tecniche

Le caratteristiche tecniche del trasduttore di pressione, rappresentato in figura 4.8, risultano essere:

- marca: WIKA;
- modello: S-10;
- campo di rilevazione: 0-10 bar;
- classe di precisione: $\leq$ 0,5 %;
- tempo di risposta: $\leq$ 1 ms;
- alimentazione: 10 - 30 V;
- segnale uscita: 4-20 mA;

- protezioni contro sovratensioni e sovracorrenti;
- temperatura del fluido: da 0 a 100 $°C$;
- attacco al processo: G1/4" maschio;
- marteriale parti a contatto: acciaio inox;
- classe di protezione: IP 67.

4.7 Misuratore temperatura

In fase progettuale e realizzativa erano stati utilizzati termometri analogici e più precisamente a bimetallo.

La temperatura essendo un indice delle condizioni termiche di un materiale esprime l'energia di movimento contenuta nelle molecole. La trasmissione di temperatura da un corpo all'altro richiede contatto o vicinanza per raggiungere l'equilibrio termico. I sistemi di misura convenzionali utilizzano le proprietà di alcuni materiali di cambiare forma o volume in maniera proporzionale al variare della temperatura. Nei sistemi a bimetallo due strisce metalliche, caratterizzate da coefficienti di espansione termica diversi, sono unite tra loro in maniera tale da potersi separare. Questo costringe la striscia sottoposta ad un gradiente termico a muoversi su una traiettoria che risulta essere proporzionale alla variazione di temperatura. Un apposito indice segnala la variazione su una scala graduata. La rilevazione visiva diretta perde di significato quando si vuole dare finalità scientifica al dato indicato.

Abbiamo quindi dotato l'impianto di 2 trasduttori di temperatura RTD che tramite opportuni collegamenti permettono la rilevazione istantanea ed il monitoraggio di queste grandezze.

I sensori di temperatura RTD (*Resistance Temperature Detector*) basano il loro funzionamento sul cambiamento di resistenza elettrica di un metallo puro e sono caratterizzati da una variazione lineare della resistenza con la temperatura. Gli elementi utilizzati nella realizzazione degli RTD sono nichel (Ni), rame (Cu) ma è il platino (Pt) quello più usato perchè garantisce ampi range di temperatura con elevata precisione e stabilità.

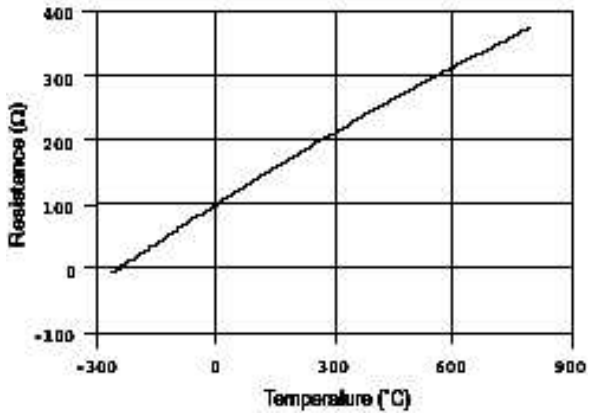

Figura 4.9: Resistenza in funzione della temperatura per sensori RTD Pt100

Gli RTD possono essere realizzati con due diverse tecnologie:

- *wire-wound* dove sono costruiti avvolgendo un filo sottile attorno ad una bobina;
- *thin-film elements* dove un sottilissimo strato di metallo è fissato su un substrato plastico o ceramico.

I thin-film elements sono più economici e maggiormente disponibili perchè permettono di ottenere elevate resistenze nominali utilizzando piccole quantità di platino. Gli RTD sono ampiamente utilizzati grazie alla loro stabilità e forniscono un segnale molto più lineare rispetto agli altri sensori di temperatura, come si può osservare in figura 4.10. I costi però sono maggiori perchè richiedono maggiore accuratezza costruttiva e l'utilizzo del platino. Questi trasduttori di temperatura sono stati installati sulla linea monofase aria e sul circuito bifase negli appositi pozzetti predisposti nelle tubazioni.

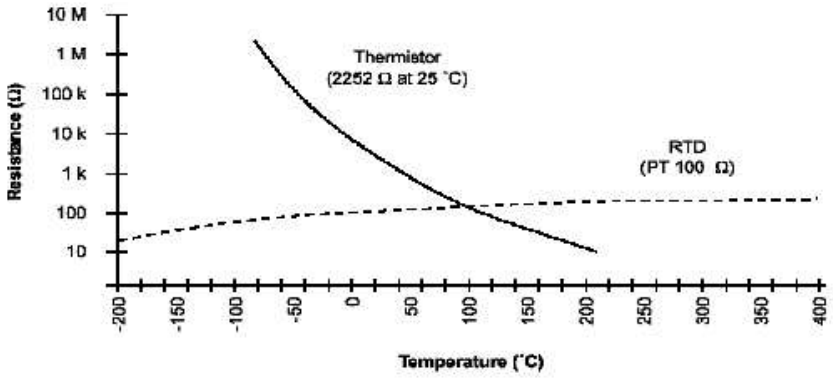

Figura 4.10: Confronto tra RTD e sensori tradizionali

4.7.1 Caratteristiche tecniche

Le caratteristiche tecniche del trasduttore di temperatura, rappresentato in figura 4.11 , risultano essere:

- marca WIKA;
- modello: TR200;
- sensore: Pt100;
- classe d'errore: DIN EN 60751;
- lunghezza: 300 mm;
- attacco al processo: G1/4" maschio;
- collegamento sensore con 4 fili;
- morsetti a vite.

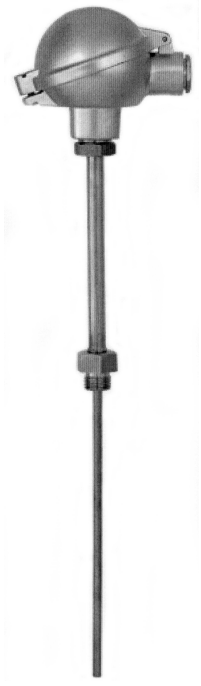

Figura 4.11: Trasduttore di temperatura TR200 della WIKA

4.8 Valvola regolazione portata aria

Per la regolazione della portata e della pressione nella zona monofase aria utilizzeremo una sola elettrovalvola in quanto, come spiegato nel paragrafo 3.4, c'è la possibilità che utilizzandone due entrino in risonanza tra di loro senza portare il sistema alle condizioni desiderate e con un'elevata probabilità che si possano danneggire meccanicamente.

L'elettrovalvola sostituisce le valvole di regolazione manuali e dovrà soddisfare i seguenti parametri:

- diametro nominale DN50;
- pressione massima di esercizio 300 kPa.

Tale strumento è fornito dalla BELIMO azienda statunitense leader nella produzione di elettrovalvole. L'apparato scelto è composto da una valvola a sfera a 3 vie sulla quale è fissato un attuatore rotativo, comandato attraverso un segnale 0-10 V DC, che comanda le operazioni della valvola.

Questo elemento si fissa alla valvola tramite un attacco filettato e può essere utilizzato anche manualmente. Nel range 0-15° di rotazione la valvola a tre vie funziona come dispositivo di interruzione mentre nel campo 15-90° funziona come dispositivo di regolazione.

Tali considerazioni sono riportate nella figura 4.12 , dove si può osservare che il flusso massimo attraverso il bypass è il 70 % del flusso nominale.

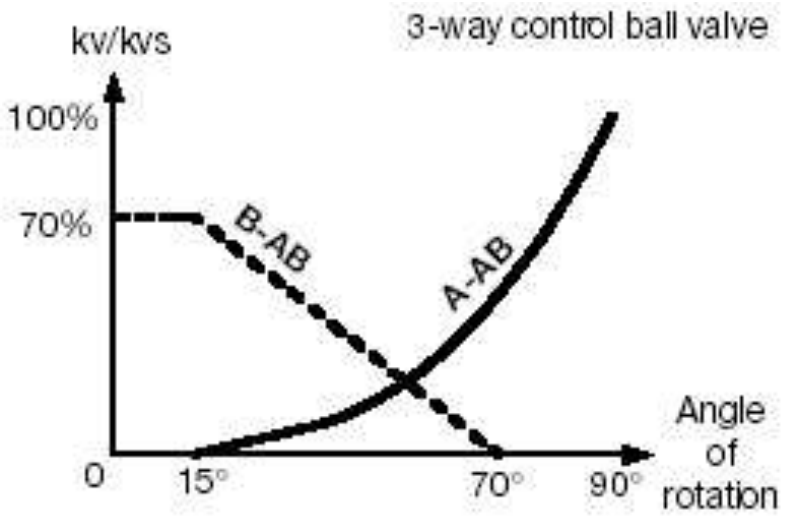

Figura 4.12: Range di funzionamento della valvola a 3 vie

4.8.1 Caratteristiche tecniche valvola 3 vie

Figura 4.13: Valvola a 3 vie R350 della BELIMO

La valvola a 3 vie, rappresentata in figura 4.13, ha le seguenti caratteristiche tecniche :

- modello : R350;
- diametro nominale: 50 mm;
- coefficiente di portata k_v: 49 m^3/h;
- temperatura di funzionamento : da 5 a 100°C;
- pressione nominale : PN16;
- attacco al processo : filettato femmina ISO 7/1;
- pressione di chiusura Δps : 140 kPa;
- massima differenza di pressione $\Delta pmax$: 1000 kPa;
- angolo di rotazione : 90°;
- corpo in ottone al nichel-platino e sfera in acciaio inossidabile.

4.8.2 Caratteristiche tecniche attuatore

Le caratteristiche tecniche dell'attuatore, rappresentato in figura 4.14, sono:

- modello: NR24-SR-W;
- tensione nominale : 24 V DC;
- frequenza :50 Hz;

- cavi di connessione: 1 m , 4 x 0.75 mm^2;
- temperatura di esercizio da 0 a 50 $°C$;
- pressione nominale : PN16;
- segnale di controllo 0-10 V DC con resistenza Pt100;
- campo di applicazione 2-10 V DC per 0-100% (0-90°);
- tolleranza di sincronismo $\pm$ 5%;
- tempo di funzionamento: 140 s;
- grado di protezione IP40.

Figura 4.14: Attuatore NR24-SR-W della BELIMO

4.9 Videocamera digitale

L'utilizzo di una videocamera digitale risulta particolarmente importante per la documentazione visiva dei flussi bifase perchè fornisce nuovi orizzonti didattici e di ricerca. In questa sede però non andremo a descrivere le specifiche tecniche e neanche le interfacce necessarie per un suo collegamento al sistema di gestione automatizzato ma volevamo solo menzionarla per completare il quadro generale di quello che sarà il sistema di gestione centralizzato.