

ALMA MATER STUDIORUM

UNIVERSITA' DI BOLOGNA

SCUOLA DI INGEGNERIA E ARCHITETTURA

Sede di Forlì

Corso di Laurea in

INGEGNERIA MECCANICA

Classe LM-33

TESI DI LAUREA

in

SSD ING-IND/17

AUTOMAZIONE INDUSTRIALE

PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO IDRAULICO
AUTOMATICO A FINI DIDATTICI E DI RICERCA NELL'AMBITO
DELL'AUTOMAZIONE INDUSTRIALE (INDUSTRY 4.0)

CANDIDATO

Davide Aureli

RELATORE

Prof. Ing. Augusto Bianchini

Anno Accademico 2017/2018

INDICE

Sommario	6
Capitolo 1	8
INDUSTRIA 4.0: LA RIVOLUZIONE DIGITALE.....	9
L'ESIGENZA PRINCIPALE DI INDUSTRY 4.0.....	11
LE TECNOLOGIE ABILITANTI.....	12
Advanced Manufacturing Solution.....	14
Additive Manufacturing (stampa 3D).....	16
Augmented and Virtual Reality	19
Simulation and Prototyping	23
Horizontal and Vertical Integration	26
Internet of Things (IoT).....	28
Cloud	31
Cyber-Security.....	34
Big Data and Analytics.....	37
INDUSTRY4.0 IN ITALIA: IL PIANO CALENDARIO.....	38
Investimenti in Internet of Things, Cloud e Cybersecurity.....	40
Industria 4.0 ed esportazione	41
Una situazione più favorevole per le startup.....	42
Aumento degli importi finanziati alle PMI.....	43
Industria 4.0: i benefici per l'occupazione.....	43
Capitolo 2	45
AUTOMAZIONE DEGLI IMPIANTI DI PROCESSO: LA REGOLAZIONE	46
TRASDUTTORI: CLASSIFICAZIONE E CARATTERISTICHE PRINCIPALI	49
Trasduttore capacitivo	51
Trasduttore elettroacustico.....	52
Trasduttore elettrodinamico.....	53
Trasduttore magnetoresistivo.....	54
Trasduttore piezoelettrico	54
Trasduttore resistivo	55
Campo di misura o portata (range)	56
Tempo di risposta	57
Sensibilità (sensività, guadagno).....	58
Isteresi (Hysteresis)	59
Risoluzione (resolution).....	59
Ripetibilità (repeatability).....	60
Riproducibilità (long term stability)	60
Precisione e Bias.....	61

Accuratezza	62
Classe di precisione (precision class)	63
Turn-Down (rangeability).....	64
IL SISTEMA DI ACQUISIZIONE DATI E CONTROLLO INDUSTRIALE	64
Acquisizione dati su piattaforma PC	67
Acquisizione in analogico e acquisizione in digitale	73
ATTUATORI E VALVOLE DI REGOLAZIONE	77
Valvole	77
Attuatori Pneumatici.....	81
Capitolo 3	85
PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE DEL CIRCUITO IDRAULICO	87
Giro tubi e pompa sommersa Caprari E4XP40/12 trifase.....	93
Valvola di regolazione elettropneumatica Bürkert	100
Orifizio tarato	106
STRUMENTAZIONE	110
Deltabar M PMD55	110
Cerabar S PMP71	111
Omnigrad T TR24	113
CapDRIVE 040.....	115
Pressure Switch MDR 4SD/6 (pressostato trifase)	117
Pressostato compatto Cella PCS (pressostato a 24V)	119
Accelerometro CTC (PRO) LP254.....	120
PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE DEL QUADRO ELETTRICO	122
Definizione dello schema elettrico	123
Selezione delle componenti fisiche necessarie	129
Costruzione del quadro elettrico	136
Installazione e collaudo del quadro elettrico	138
ACQUISIZIONE DATI.....	140
DAQ Board NI-9207	140
CompactDAQ NI-9171.....	143
Collegamento dei sensori al modulo NI-9207	144
Acquisizione su PC tramite software LabView 2018	145
Conclusioni.....	148

Sommario

In questa tesi presento il mio lavoro svolto in questi mesi presso il laboratorio Hangar di Forlì sotto la supervisione del professor ing. Augusto Bianchini e dell'ing. Jessica Rossi e grazie alla collaborazione dei tecnici Ivano Amadori e Mauro Ricci.

Si tratta della progettazione e della conseguente realizzazione di un impianto idraulico controllato automaticamente da pc (o da sistemi embedded integrati nella strumentazione elettronica) nel quale una pompa sommersa movimentata una massa d'acqua all'interno di tubazioni in ferro zincato. Il controllo attraverso pc avviene tramite elaborazione, in ingresso e in uscita da una scheda di acquisizione dati, di segnali analogici in corrente (4-20mA) grazie alla realizzazione di un algoritmo in ambiente LabView.

L'idea al centro di questo elaborato nasce da un connubio di necessità sia di tipo didattico che di ricerca scientifica.

Dal lato didattico si vuole rendere disponibile uno strumento in grado di far capire agli studenti dei corsi di impianti industriali e di automazione industriale la nuova metodologia di lavoro nelle industrie che la cosiddetta Industry 4.0 sta introducendo inesorabilmente: un sistema informatico raccoglie continuamente dati con i quali, grazie ad un algoritmo progettato dalla mente umana, agisce su un dato ambiente (in questo caso un impianto idraulico) mantenendolo in un determinato stato.

Per la ricerca scientifica, d'altro canto, questo mini-impianto può permettere lo studio delle vibrazioni che caratterizzano lo stato di lavoro di una pompa sommersa in modo da poter definire un modus operandi in tema di manutenzione preventiva dei grandi parchi-pompe che lavorano ininterrottamente per fornire acqua a tutte le abitazioni civili.

La trattazione si divide in tre capitoli; nel primo viene affrontata in tutti i suoi aspetti principali la quarta rivoluzione industriale o rivoluzione digitale per poter dare al lettore un'idea quanto più definita possibile del cambiamento sia economico che tecnologico che sta accompagnando la nostra vita.

Il secondo capitolo tratterà i concetti fondamentali alla base dell'automazione di un impianto industriale, inerenti al corso da cui questo lavoro è stato concepito. Saranno esposti i vari trasduttori, in grado di ricevere dati dal processo, presenti sul mercato e le loro caratteristiche principali; verranno riportate le peculiarità delle valvole, gli attuatori degli impianti meccanici a fluido. Per concludere il capitolo espongo questi due strumenti sopra citati all'interno del sistema di acquisizione dati e del controllo industriale.

Nel terzo capitolo descriverò tutto il processo di progettazione effettuato e la successiva realizzazione dell'impianto; verranno esposti a supporto dell'iter progettuale calcoli, grafici e normative tecniche; successivamente riporterò con foto e descrizioni dettagliate quella che è stata la successione delle operazioni necessarie a costruire e rendere operativo sia dal punto di vista "hardware" che da quello software l'impianto automatico in oggetto.

Capitolo 1

INDUSTRIA 4.0: LA RIVOLUZIONE DIGITALE

[1] All'alba del diciannovesimo secolo, la civiltà umana ha inaugurato una nuova era nell'ambito della produzione di beni: la produzione industriale, la cosiddetta rivoluzione industriale. Molti economisti ci dicono che sin dall'instaurarsi di questa trasformazione radicale, la tecnologia ha dato vita ed ha promosso una serie di trasformazioni dirompenti nella produzione industriale (figura 1). Secondo questa linea di pensiero, infatti, la prima rivoluzione industriale, che si colloca tra diciottesimo e diciannovesimo secolo, è stata caratterizzata dall'introduzione nel processo produttivo della potenza meccanica di acqua e vapore. La seconda rivoluzione industriale, tra diciannovesimo e ventesimo secolo, si basò sull'avvento dell'energia elettrica e sull'intensa divisione del lavoro. Poi seguì la terza rivoluzione industriale, dal 1960 al 1990, che ha avuto la sua forza nelle nuove tecnologie elettroniche ed informatiche (rivoluzione digitale) che hanno permesso un grado di automazione della produzione ancora maggiore. Queste tre rivoluzioni possono essere chiamate rispettivamente: Industry 1.0, Industry 2.0, Industry 3.0.

Gli economisti sono in accordo sul fatto che oggi stiamo entrando nella quarta rivoluzione industriale, la cui caratteristica dominante è l'utilizzo di sistemi fisico-cibernetici, cioè di sistemi che interconnettono gli oggetti reali e le persone con le informazioni virtuali (es. internet-of-things, stampa 3D, intelligenza artificiale, bioingegneria, sistemi in cloud, etc.), ma anche l'utilizzo di nanotecnologie e nuovi materiali più efficienti ed "intelligenti": questa è Industry 4.0. Il termine è apparso per la prima volta nel 2011 durante la famosa Fiera di Hannover per identificare un progetto dell'Industria Tedesca sulle strategie da adottare in questo nuovo scenario tecnologico; fu istituito il "gruppo di lavoro su Industry 4.0 che espose il suo report nel 2013 sempre ad Hannover. Il report definiva le caratteristiche di Industry 4.0: forte personalizzazione dei prodotti grazie ad una sempre più flessibile struttura produttiva, utilizzando sistemi di auto-organizzazione per raggiungere la perfetta interconnessione tra mondo reale e mondo virtuale.

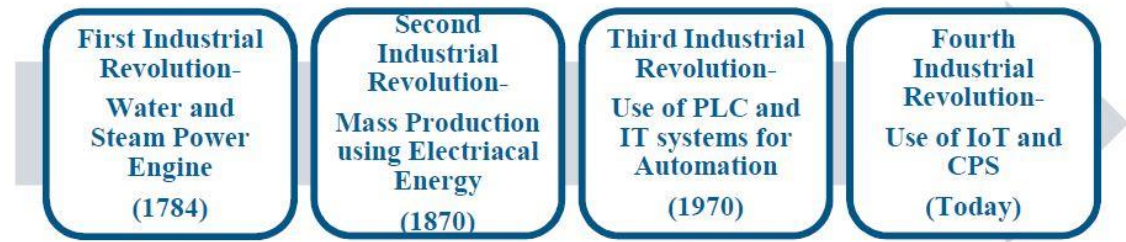


Figura 1: Le quattro rivoluzioni industriali

Questo termine è stato definitivamente adottato al meeting annuale del World Economic Forum (WEF) tenutosi nel gennaio del 2015 a Davos in Svizzera, dopo il quale è stato pubblicato il libro “The Fourth Industrial Revolution” scritto da Klaus Schwab, fondatore e presidente del WEF. Più recentemente (Gennaio 2016) il WEF ha pubblicato un report molto importante intitolato: “The Future of Jobs: Employments, Skills and Workforce Strategy for the Fourth Industrial Revolution”.

In modo simile, le teorie economiche evoluzionarie non vedono soltanto una mera successione di rivoluzioni industriali ma accostano queste trasformazioni tecnologiche alle fluttuazioni a lungo termine dell’economia mondiale, le ben note onde lunghe socioeconomiche o Kondratieff Waves (K-Waves). Questa teoria, conosciuto anche come la scuola economica Neo-Shumpeteriana, si basa sul concetto rivoluzionario che l’economia mondiale è un sistema complesso molto lontano dal suo equilibrio con un meccanismo endogeno di autoregolazione. Questo meccanismo consiste nel periodico susseguirsi di fluttuazioni di innovazioni durante la fase di recessione con un periodo di circa mezzo secolo. In accordo con la teoria Shumpeteriana di distruzione creativa, i ventri (innovazioni) di quest’onda innescano la successiva fase di espansione economica (creste dell’onda), durante la quale le nuove e radicali tecnologie interagiscono in maniera sinergica tra loro dando vita ad una nuova e complessa “tecnosfera”.

Perciò, questa corrente economica di pensiero richiama l’esistenza di almeno quattro K-waves (alcuni parlano di cinque) dall’inizio della prima rivoluzione industriale tra ‘700 e ‘800 ed ora stiamo entrando nella fase di espansione della quinta K-waves (la sesta per alcuni). Ognuna di queste K-waves definisce una chiara “tecnosfera” plasmata dalle principali innovazioni di quel periodo.

Indifferentemente dalla scuola di pensiero che vogliamo seguire, il fatto è che stiamo assistendo alla nascita di un paradigma socioeconomico completamente nuovo, probabilmente il più importante cambiamento globale mai sperimentato dalla razza umana.

Le cose ora sono estremamente differenti, il concetto di innovazione è cambiato molto; la produzione di ricchezza è molto differente da ciò a cui eravamo abituati in passato. Durante le precedenti rivoluzioni abbiamo avuto un grande sviluppo di settori industriali che producevano beni materiali, in particolare hanno introdotto artefatti completamente rivoluzionari che hanno portato alla successiva nascita di una miriade di nuovi lavori e professioni. Oggi, invece, la produzione di ricchezza non si basa più sugli artefatti ma è sempre più indipendente da essi mentre si basa maggiormente su beni e innovazioni intangibili. Milioni di professioni stanno scomparendo ad un ritmo mai visto mentre ne stanno nascendo di nuove attraverso la costituzione di compagnie miliardarie (le cosiddette compagnie unicorno), condotte da un numero esiguo di persone estremamente specializzate.

In conclusione, ci troviamo innanzi ad una realtà molto diversa da prima, fortemente basata su sistemi fisico-cybernetici che portano con se la necessità di profondi cambiamenti strutturali nel concetto di produzione, di mercati, di educazione e di organizzazione sociale. I governi, gli imprenditori, i commercianti e i cittadini devono adattarsi a questo “nuovo coraggioso mondo” per affacciarsi completamente al nuovo scenario digitale [1].

L'ESIGENZA PRINCIPALE DI INDUSTRY 4.0

Il concetto alla base di industry 4.0 richiede che i normali macchinari di produzione vengano convertiti in macchine che hanno una propria “coscienza” e una propria capacità di imparare in modo tale da migliorare enormemente le loro performance tecniche e la loro gestione della manutenzione all'interno dell'ambiente in cui operano.

Industry 4.0 punta a dare vita ad una piattaforma produttiva intelligente (smart manufacturing) e accessibile per le applicazioni industriali che condividono informazioni in rete.

Il monitoraggio dei dati in tempo reale, tracciare la posizione e lo stato dei prodotti durante i processi e mantenere le informazioni per regolare i successivi processi produttivi sono le esigenze della rivoluzione digitale; vediamo le tecnologie, ormai mature, che hanno permesso questa rivoluzione.

LE TECNOLOGIE ABILITANTI

Il governo federale di tedesco ha definito Industry 4.0 come una struttura emergente in cui i sistemi produttivi e logistici sotto la forma di Sistemi di Produzione Fisico-Cibernetici (Cyber Physical Production System o CPPS) usano in maniera intensiva le informazioni disponibili su sistemi informatici e sui network (sistemi connessi in rete) globali per uno scambio di informazioni, tra essi, ampiamente automatizzato in maniera da massimizzare il valore aggiunto al prodotto trasformato dal processo produttivo; inoltre in Industry 4.0 i processi produttivi ed economici sono strettamente connessi tra di loro [2].

[3] Da uno studio di Boston Consulting emerge che la quarta rivoluzione industriale si centra sull'adozione di alcune tecnologie definite abilitanti; alcune di queste sono "vecchie" conoscenze, concetti già presenti ma che non hanno mai sfondato il muro della divisione tra ricerca applicata e sistemi di produzione veri e propri; oggi, invece, grazie all'interconnessione e alla collaborazione tra sistemi, il panorama del mercato globale sta cambiando portando alla customizzazione di massa, diventando di interesse per l'intero settore manifatturiero.

Le 9 tecnologie abilitanti definite da Boston Consulting sono (figura 2 e figura 3):

- Advanced manufacturing solution (Robot);
- Additive manufacturing;
- Augmented reality;
- Simulation;
- Horizontal e vertical integration;
- Industrial internet (IoT e IIoT);
- Cloud;
- Cyber security;

- Big Data Analytics.

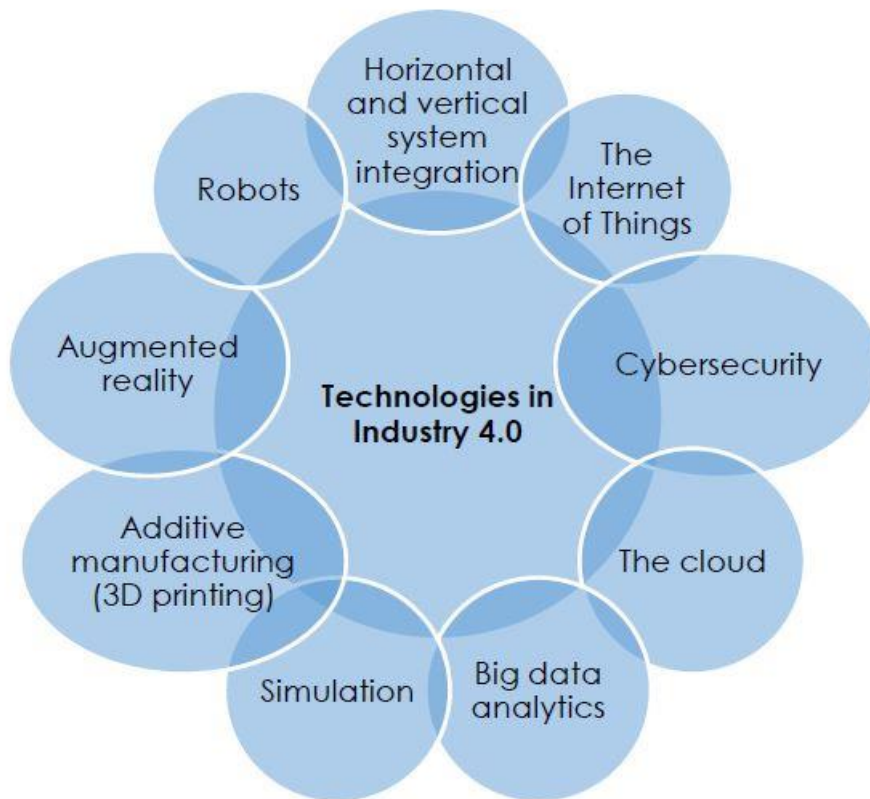


Figura 2: Le tecnologie abilitanti di industria 4.0

Industria 4.0: Le tecnologie abilitanti

1	Advanced Manufact. Solutions		• Robot collaborativi interconnessi e rapidamente programmabili
2	Additive Manufacturing		• Stampanti in 3D connesse a software di sviluppo digitali
3	Augmented Reality		• Realtà aumentata a supporto dei processi produttivi
4	Simulation		• Simulazione tra macchine interconnesse per ottimizzare i processi
5	Horizontal/ Vertical Integration		• Integrazione informazioni lungo la catena del valore dal fornitore al consumatore
6	Industrial Internet		• Comunicazione multidirezionale tra processi produttivi e prodotti
7	Cloud		• Gestione di elevate quantità di dati su sistemi aperti
8	Cyber-security		• Sicurezza durante le operazioni in rete e su sistemi aperti
9	Big Data and Analytics		• Analisi di un' ampia base dati per ottimizzare prodotti e processi produttivi

Figura 3 - breve descrizione delle tecnologie abilitanti

Advanced Manufacturing Solution

[5] Indica un processo produttivo che utilizza le innovazioni prodotte dall'incrocio tra molte tecnologie sopra ricordate, prime fra tutte la stampa 3D, Internet of Things, Big Data e strumenti di simulazione. La peculiarità del metodo è quella di poter simulare l'intero ciclo di produzione per del suo reale avviamento.

Lo scopo è verificare la possibilità di attuare migliorie e aumentare l'efficienza dato che queste tecnologie consentono di definire in maniera completa il processo produttivo in ambiente virtuale, simulando il comportamento dei singoli attori che ne prenderanno parte: i macchinari, i lavoratori umani, le materie prime, i semilavorati e le componenti.

Il digital manufacturing integra le funzioni aziendali facilitando lo scambio di informazioni, per esempio tra l'aria di progettazione e quella di produzione relativamente al prodotto e alle modalità di produzione. Una volta avviata la produzione, questo sistema garantisce il feedback di informazioni dalle attività le quali vengono riutilizzate dalla progettazione per monitorare la possibilità "real time" di apportare modifiche al processo per renderlo più efficiente.

Esistono tantissimi altri campi di innovazione tecnologica che potrebbero trovare in futuro applicazioni industriali importanti. La grande sfida dell'automazione risiede nel campo della neuro-informatica e della neuro-robotica: l'obiettivo è l'ulteriore accorciamento della distanza tra elaborazione informatica e processi cognitivi umani, attraverso il potenziamento delle capacità di apprendimento delle macchine chiamate a prendere decisioni in tempi rapidissimi (machine learning). Già oggi, strumenti di intelligenza artificiale sono utilizzati per le attività di decision-making ad esempio nel settore finanziario, nella valutazione del rischio degli investimenti, nello sviluppo delle soluzioni di business intelligence.

Inoltre, la ricerca porta avanti studi sui nuovi materiali, sulle nanotecnologie, sulle biotecnologie, sui droni, sulla realtà aumentata e sulla realtà virtuale. Tra le tecnologie più accreditate all'interno di Industry 4.0 stanno distinguendosi robot capaci di lavorare a fianco dell'uomo senza necessità di barriere protettive (figura 4). Questi robot possono essere



Figura 4 - Modello di robot collaborativo

“addestrati” per operare su piccola scala anche per operazioni molto semplici, per essere impiegati nell’esecuzione di lavori pesanti e pericolosi dentro agli impianti produttivi;

diventano importanti nelle fabbriche che affrontano un forte incremento dell’età media della manodopera. Questi nuovi robot sono detti “collaborativi” in quanto manifestano una profonda interazione, in autonomia e sicurezza, con gli operatori umani, comportandosi come una sorta di assistente personale, al punto di aprire le porte a nuovi modelli di organizzazione del lavoro in fabbrica (figura 5).

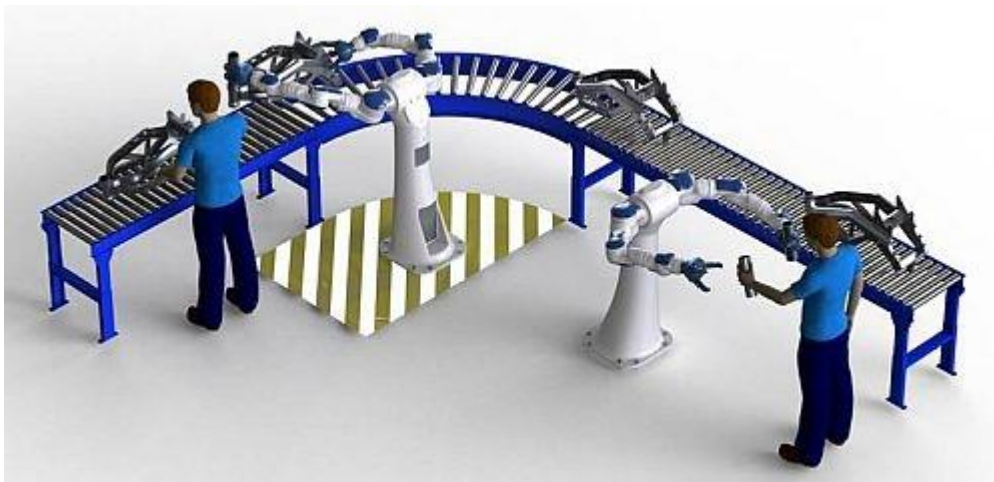


Figura 5 - Esempio applicativo dei Cobot

Ad oggi, questi robot stanno rivoluzionando le attività della logistica al punto di rendere completamente automatizzati interi magazzini come quelli di Amazon.

L’effetto esercitato dalla tecnologia dei nuovi robot sul fattore “lavoro” è molto complesso; in maniera sintetica si prevede, in parte, un’azione completamente sostitutiva di

esso e in parte complementare poiché prenderanno vita nuove attività di progettazione, produzione, programmazione e manutenzione di questa nuova eccezionale tecnologia.

Additive Manufacturing (stampa 3D)

Con stampa 3D si intende la realizzazione di oggetti tridimensionali mediante produzione additiva, partendo da un modello 3D digitale. Il modello digitale viene prodotto con software dedicati e successivamente elaborato per essere poi realizzato, strato dopo strato, attraverso una stampante 3D (figura 6).



Figura 6 - Stampante 3D di notevoli dimensioni

Il ciclo produttivo per la stampa 3D inizia con la creazione di un modello virtuale del componente da produrre tramite un software di modellazione tridimensionale (CAD). Successivamente bisogna creare il file digitale in formato .stl (STereo Lithography interface format o acronimo di "Standard Triangulation Language"); un file .stl rappresenta un solido la

cui superficie è stata discretizzata in triangoli. Esso consiste delle coordinate X, Y e Z ripetute per ciascuno dei tre vertici di ciascun triangolo, con un vettore per descrivere l'orientazione della normale alla superficie. A questo punto il file .stl viene trasferito alla stampante 3D, che può essere situata anche lontano dall'area di progettazione; la stampante, quindi, stende sottili strati di polveri che vengono fusi e aggregati l'uno all'altro, strato su strato, creando il prodotto finale. Questa caratteristica del processo definisce il nome con cui si qualifica la tipologia di produzione, additive manufacturing, che indica una produzione per aggiunta di materiale, contrapposta alla tecnologia tradizionale di produzione sottrattiva come per esempio avviene con le macchine utensili che asportano materiale da blocchi di metallo o altri materiali.

Se fino a qualche anno fa le stampanti 3D furono confinate nei laboratori del movimento maker o acclamate come veicolo di rilancio di un'artigianalità digitale in grado di raccogliere l'eredità del Made in Italy, oggi l'evoluzione tecnologica e delle caratteristiche dei materiali di stampaggio stanno favorendo l'interessamento a questo metodo produttivo anche da parte del mondo industriale. Anche se la stampa 3D è ancora lontana da una diffusione su larga scala all'interno delle fabbriche si ritiene che potrà produrre effetti visibili in ambiti quali:

- la prototipazione, dove consente vantaggi in termini di efficienza e risparmio di tempo;
- la produzione di componenti ad esempio nella filiera dei ricambi, la quale è caratterizzata da estemporaneità della domanda, ampiezza della gamma e serie limitatissime, in modo da ridurre notevolmente i costi del magazzino.

In realtà il dibattito sull'effettivo potenziale industriale dell' additive manufacturing, che nel 2012 da "The Economist" è stata definita come "alfiere della terza rivoluzione industriale", è più che mai aperto ma potenzialmente si tratta di una tecnologia con possibilità di applicazione in tutti i settori industriali. La stampa 3D determina un cambiamento di paradigma nelle modalità di produzione per diverse ragioni:

- consente la personalizzazione del prodotto;
- consente la produzione di forme complesse che non possono essere costruite con i limiti tecnici imposti dallo stampo (figura 7);

- consente flessibilità nell'uso della stessa linea produttiva per prodotti diversi;
- consente una veloce risposta ai cambiamenti di un mercato sempre più volatile che costringe le imprese a modificare velocemente quantità e tipologia della produzione.

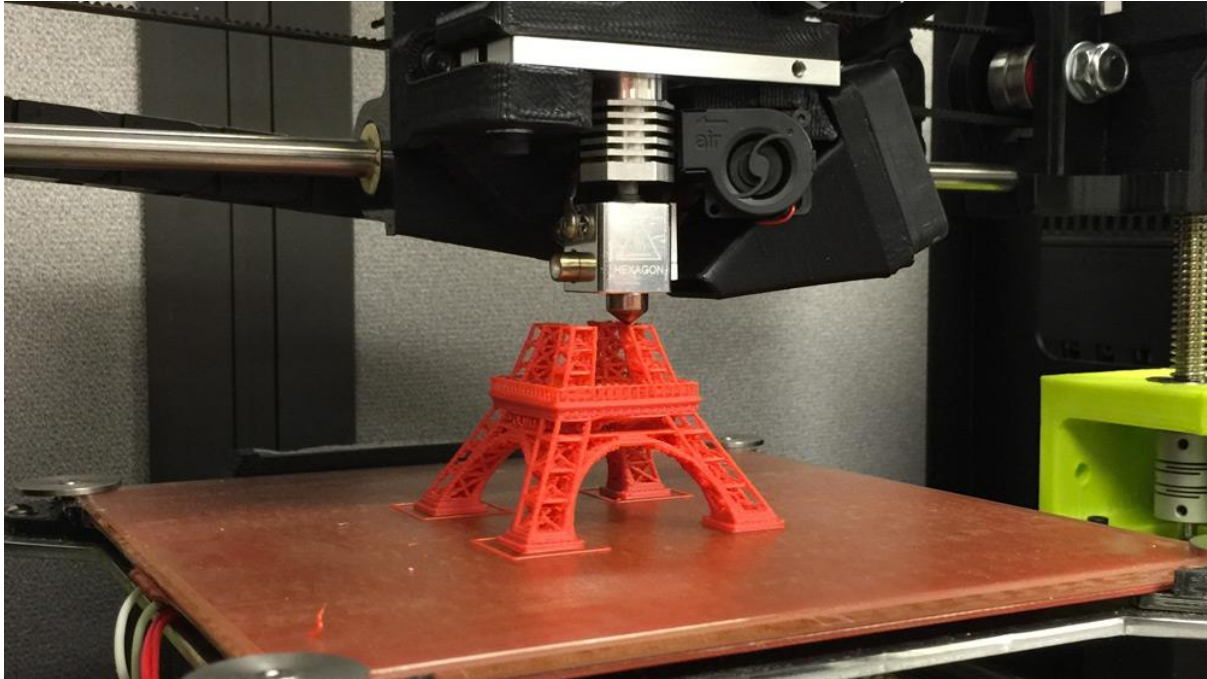


Figura 7 - Una stampante 3D in azione. Riesce a riprodurre anche una forma molto complessa come la Tour Eiffel

Fra i vantaggi indicati, vale la pena soffermarsi sul primo, poiché richiama un complesso di ragionamenti che coinvolgono a pieno il Made in Italy. La personalizzazione del prodotto consiste nella possibilità di realizzare un pezzo su misura per ogni singolo consumatore, senza dover fare uno stampo apposta che renderebbe il prezzo finale molto alto e quindi destinato solo ad una fascia del mercato: con la stampa 3D il segmento di consumo che fa riferimento a questa forma di “gusto esclusivo ed elitario” destinato a pochi viene ampliato a dismisura e tutti potranno beneficiare del “fuori serie”.

Questa tecnologia è pertanto lo snodo di un cambiamento che riguarda non soltanto la produzione, ma anche la progettazione flessibile: Industry 4.0 e Additive Manufacturing enfatizzano la possibilità di co-progettare il prodotto in modo parallelo e sinergico, con l'apporto di più imprese, ognuna specializzata in una piccola fase del ciclo produttivo realizzato successivamente con la stampa 3D; in altre parole, è un processo che consente alle

imprese artigiane che si evolvono nel cosiddetto “artigianato digitale” di inserire la qualità, l’arte e la creatività tipiche della manifattura italiana anche nei nuovi contesti tecnologici.

Consentendo inoltre la produzione di forme complesse che non possono essere costruite con lo stampo, la stampa 3D genera opportunità per ideare nuovi prodotti oppure per inserire creatività nei prodotti attuali, facilitando l’emergere delle imprese che hanno nel design il loro punto di forza.

La stampa 3D esercita un effetto sulla struttura dei costi di produzione. In un articolo pubblicato nel 2013 sulla rivista “Research Technology Management”, l’economista Irene Petrick si propone di affiancare al concetto di economia di scala, ben consolidato nei manuali di economia industriale, il concetto di “economies of ones” nel quale esprime i vantaggi ottenibili dall’impresa grazie alla personalizzazione di massa traducibili in riduzione dei costi fissi a vantaggio di quelli variabili e in maggiori possibilità di inserirsi dentro nuovi business con conseguente aumento della concorrenza e delle opportunità per l’impresa stessa la propria specializzazione di nicchia ai nuovi segmenti di mercato.

La nuova struttura organizzativa, più focalizzata sulla gestione dei costi marginali, potrebbe consentire una rivitalizzazione delle organizzazioni del lavoro basate sul decentramento produttivo e sulle relazioni orizzontali del network costituito dall’impresa-rete, una delle soluzioni più tipiche dei distretti industriali.

Augmented and Virtual Reality

Il concetto alla base della realtà virtuale (VR) è la realizzazione di un modello digitale tridimensionale del prodotto o del processo di interesse in modo da poter navigare letteralmente al suo interno al fine di agevolare la progettazione individuando criticità che non sarebbero altrimenti valutabili, per agevolare il commissioning e l’addestramento del personale.

Gli strumenti utilizzati sono quelli offerti dagli ambienti di modellazione 3D, quali CAD, e da sistemi di proiezione su schermi o su visori, potenziati dall'ausilio di dispositivi indossabili finalizzati alla navigazione realistica del modello

[5] Questa tecnologia è sbarcata sul mercato dell'elettronica di consumo (soprattutto giochi) negli ultimi tre anni, ma i primi esperimenti di VR risalgono a più di 50 anni fa: furono condotti da Ivan Southerland e Bob Sproull, che tra il 1966 e il 1968, nei laboratori del MIT, realizzarono il primo visore con il quale simulare una realtà che non esisteva davanti agli occhi dell'utilizzatore. Era composto da due piccoli schermi a tubo catodico, in pratica due televisori in miniatura, montati su un complicato sistema di specchi. Il tutto si indossava tramite un casco decisamente ingombrante e collegato via cavo a un computer grande come un armadio a 6 ante. Il sistema riusciva a generare, con una grafica primitiva, le pareti di una stanza e alcuni oggetti tridimensionali, come cubi e piramidi. Girando la testa cambiava la prospettiva, e l'impressione era appunto quella di trovarsi immersi in un ambiente diverso da quello reale. Oggi un visore per la realtà virtuale costa qualche centinaio di euro, può funzionare con qualsiasi computer o smartphone e permette a medici, scienziati e ricercatori di condurre con pochi clic del mouse studi ed esperimenti che nel mondo vero sarebbero impossibili o troppo costosi.

In ambito medico, per esempio, la realtà virtuale viene utilizzata per costruire modelli anatomici 3D dei pazienti che devono essere operati. I corpi digitali vengono elaborati a partire da risonanze magnetiche, tomografie e altre immagini diagnostiche e permettono ai medici di identificare con precisione i contorni di un tumore, di osservarlo da diverse angolazioni e di simulare più e più volte l'intervento che dovranno eseguire, per arrivare preparati al tavolo operatorio. All'inizio dell'anno un team di ricercatori canadesi guidati dal Samuel Aparicio si è aggiudicato un finanziamento da 33 milioni di dollari grazie a un'applicazione per lo studio dei tumori al seno in realtà virtuale. Il sistema permette ai medici di ingrandire le cellule maligne milioni di volte, di camminarci sopra e anche di entrarci per studiarle nei minimi dettagli. Ogni modello virtuale viene costruito a partire dalle immagini diagnostiche della paziente e consente ai medici di seguire l'evoluzione delle malattie e di prevedere e testare in digitale gli effetti delle terapie. Alcune applicazioni sono progettate per permettere agli studenti di medicina di fare pratica in modo sicuro e incruento, con bisturi, pinze e altri ferri del mestiere.

Anche la NASA fa ampio uso della realtà virtuale per preparare le sue missioni. I ricercatori del Jet Propulsion Laboratory, per esempio, hanno realizzato un sistema che permette di controllare da remoto un braccio robotico, solo con i gesti. L'operatore indossa un visore per la realtà virtuale che lo immerge nell'ambiente in cui sta operando il robot, per esempio un pianeta sconosciuto, e i suoi gesti vengono trasmessi alla macchina grazie a un Kinect, un sensore di movimento comunemente utilizzato per i videogiochi. E per preparare gli astronauti allo sbarco su Marte (figura 8) gli scienziati dell'Agenzia spaziale Usa hanno accoppiato un visore per la realtà virtuale a un tapis roulant, per simulare nel modo più realistico possibile una passeggiata sul Pianeta Rosso. L'astronauta "cammina" - come in palestra - e nel frattempo si trova immerso nei panorami marziani mostrati nel visore. In modo analogo, grazie a repliche digitali della Stazione Spaziale Internazionale, gli astronauti possono prendere familiarità con gli ambienti e provare e riprovare fino a eseguire alla perfezione le manovre che si troveranno a eseguire in orbita.



Figura 8 - VR utilizzata dalla NASA

La augmented reality, o AR, è qualcosa di ben diverso dalla realtà virtuale, ma ad essa complementare. Per essere veicolata non ha bisogno di caschi, bastano dispositivi indossabili ben più leggeri e dotati di sensori e di gps come i Google Glass o come Moverio, il visore di

Epson. A differenza della VR, non c'è possibilità di interazione né di immersione in ambienti digitali, quanto piuttosto l'emersione di informazioni relative a ciò che ci circonda. I dati vengono aggiunti alla realtà fisica circostante in forma di numeri, testi, notifiche sovrapposte a quello che vediamo, che si azionano quando un marcatore viene attivato (un codice QR, o dei tag AR) inquadrandolo con la videocamera del visore. Facciamo un esempio. Immaginate di passeggiare per le strade di Londra: guardando con il visore un edificio potete richiamare informazioni legate alle sue caratteristiche e alla sua storia, mentre se incrociate un tv in una vetrina potete avere sott'occhio le sue specifiche, i pareri degli utenti e il costo d'acquisto.

La AR non ha nulla di eccitante, almeno rispetto a quello che possiamo sperimentare con le altre forme di realtà virtuale. Eppure sembra la più promettente per gli analisti, almeno nell'immediato, proprio per la sua utilità pratica: di fatto permette di avere le stesse funzioni di uno smartphone, ma mantenendo libere le mani.

Secondo l'analisi di Digi-Capital, nel 2020 il settore varrà 120 miliardi di dollari, quattro volte il business della Realtà Virtuale in senso stretto. Non a caso la AR è spesso impiegata nella pubblicità e nel marketing e la stanno adottando anche le industrie mediche, militari e energetiche, che la forniscono al personale sul campo impegnato in operazioni difficili come l'ispezione di turbine o il monitoraggio di impianti complessi (figura 9).

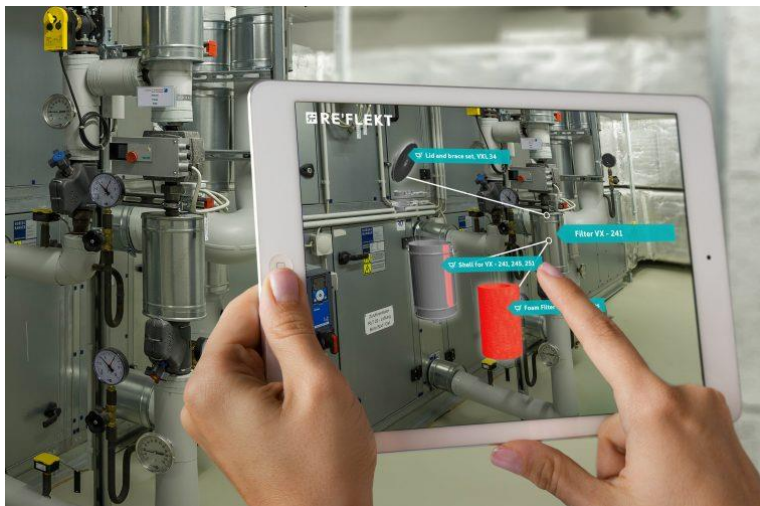


Figura 9 - Esempio di Augmented Reality

La mixed reality (MR) mescola la realtà fisica con quella virtuale, utilizzando allo scopo anche la realtà aumentata, sovrapponendole: possiamo osservare il mondo reale che ci circonda traendone informazioni utili (in AR), ma anche vedere e muovere oggetti

virtuali come fossero reali. È l'applicazione più impressionante e definitiva, di cui si vede già qualche esempio, come in una demo di HoloLens di Microsoft in cui su un tavolo di legno appare il mondo digitale del videogame Minecraft e ci si può divertire muovendo i personaggi.

Ma siamo ancora un po' lontani rispetto all'approdo sul mercato di questo sistema simile a quello degli ologrammi. HoloLens, i cui costi si annunciano piuttosto elevati, sarà disponibile a breve per applicazioni aziendali, mentre per quelle consumer si parla del 2020.

Se la vedrà con Magic Leap e la sua Realtà Cinetica, una tecnologia che apparentemente ha davvero del magico ma di cui non si sa niente, mantenuta sotto un tale alone di segretezza che al MIT la guardano con sospetto (figura 10).

Ma un anno fa circa Google l'ha acquisita per oltre 500 milioni di dollari e sta lavorando per integrarla a un paio di occhiali che ricordano molto i Google Glass e per farne la sua versione "alta"



Figura 10 - Prime immagini della misteriosa tecnologia Magic Leap

di VR. Si tratta di un mondo iper realistico in cui oggetti 3D possono muoversi in perfetta armonia con l'ambiente reale, dando l'impressione di profondità e corporeità, come se li avessimo proprio davanti e non fluttuanti a una distanza predefinita. Magic Leap lavora sulla rappresentazione e in qualche modo potrebbe decretare la fine delle interfacce fisiche. Grazie alla capacità di tradurre i nostri movimenti in una serie di istruzioni e a un sistema di tracciamento degli oggetti, può assegnare a questi ultimi delle funzioni: così un dito può diventare un pulsante, un portafoglio fare da mouse, un vassoio di cioccolatini trasformarsi in una tastiera.

Simulation and Prototyping

Le simulazioni e la prototipazione sfruttano i dati in tempo reale per analizzare il mondo fisico attraverso la realizzazione di un modello virtuale, che può includere macchine,

prodotti e esseri umani (figura 11). Ciò consente agli operatori di testare e ottimizzare le impostazioni della macchina per il prossimo prodotto in linea nel mondo virtuale prima di farlo realmente nel mondo fisico, diminuendo i tempi di configurazione della macchina e dei pezzi di scarto e aumentando la qualità (Bahrin et al., 2016).

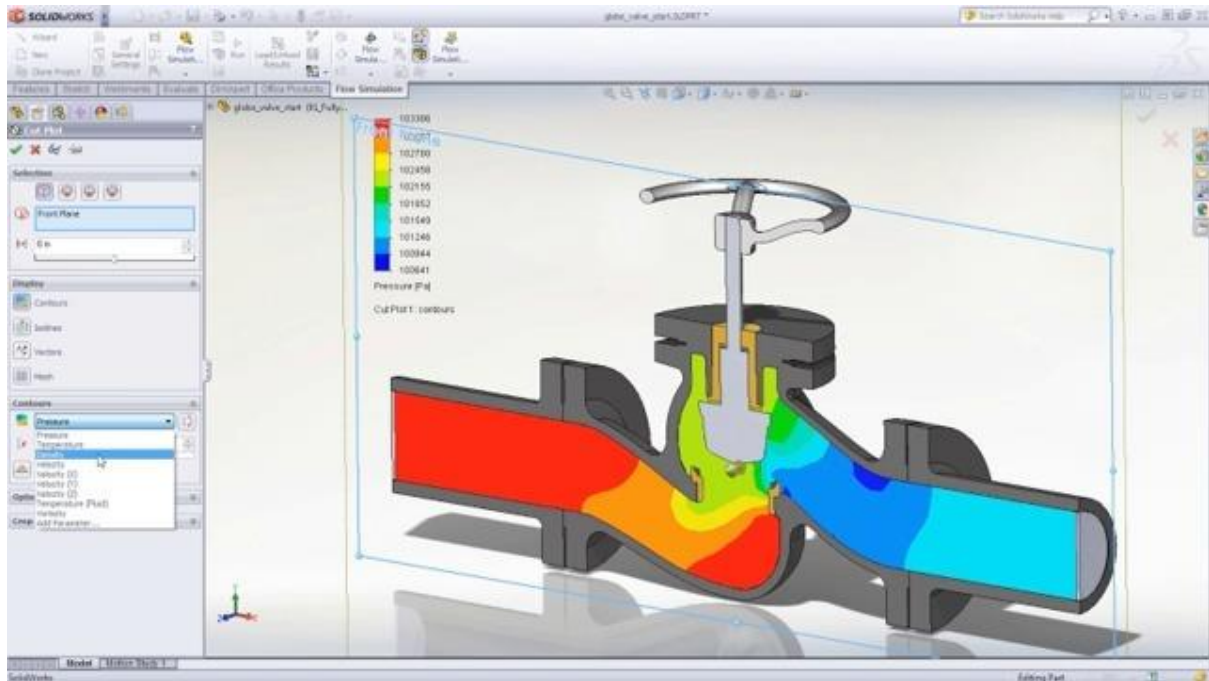
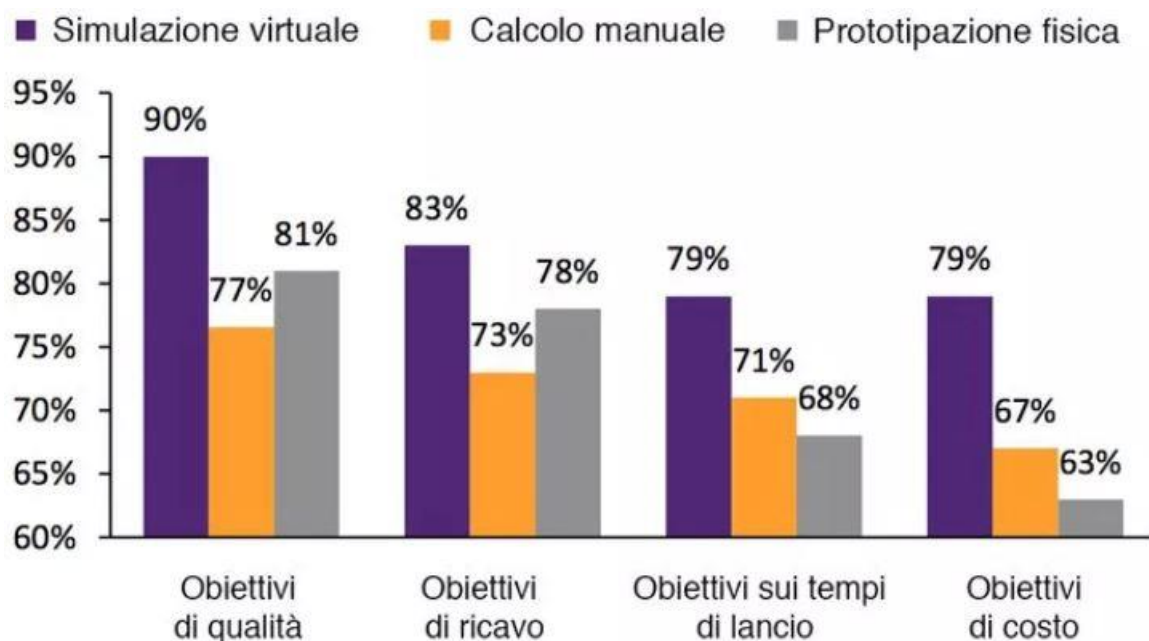


Figura 11 - Simulazione virtuale di un flusso di fluido nell'attraversamento di una valvola a saracinesca

Oggi le industrie manifatturiere sono sotto pressione a causa della competizione sempre più globale, che richiede di ridurre i tempi di ingresso dei prodotti sul mercato (“time-to-market”) e di ottimizzarne le caratteristiche, per renderli affidabili e fare in modo che abbiano prestazioni competitive. Tali industrie ricorrono sempre più spesso alla prototipazione virtuale, che consiste nel creare modelli virtuali 3D dei prodotti e di effettuare test su tali modelli, tramite appositi software, per simulare il comportamento dei prodotti nel mondo reale. I software di simulazione consentono di prevedere le performance dei prodotti, grazie all’apporto di progettisti specializzati, prima di realizzare prototipi fisici. Tali progettisti possono esplorare rapidamente un gran numero di alternative progettuali diverse, senza bisogno di investire tempo e soldi nella realizzazione di prototipi fisici. La possibilità di effettuare prove su tante alternative diverse consente di migliorare la qualità del progetto e le performance del prodotto. Il tempo necessario per arrivare sul mercato con un prodotto che soddisfa i requisiti necessari si riduce così sensibilmente, rispetto alla realizzazione di prototipi fisici.

La società di ricerca Aberdeen Group ha pubblicato un rapporto dal quale emerge che le aziende manifatturiere al top della propria categoria ricorrono ai metodi della prototipazione virtuale in tutte le fasi di sviluppo e realizzazione del prodotto, riuscendo a perseguire al meglio i propri obiettivi in termini di qualità, costo e tempistica di produzione. Il tasso di raggiungimento degli obiettivi qualitativi interessa l'86% dei prodotti. Inoltre:

- Le aziende che ricorrono alla prototipazione virtuale per progetti complessi riescono a lanciare il prodotto mediamente 158 giorni prima delle altre, con un risparmio di 1,9 milioni di dollari.
- Per i progetti più semplici, il risparmio di tempo è di 21 giorni e quello di soldi di 21.000 dollari.



Source: Aberdeen Group, 2014

I vantaggi e i benefici degli strumenti per la prototipazione virtuale sono molti e possono essere così riassunti per far comprendere le potenzialità che questa tecnologia porta con se:

- Riduzione del time-to-market
- Possibilità di effettuare test precoci
- Possibilità di effettuare test altrimenti impossibili o troppo costosi
- Minore necessità di realizzare prototipi fisici
- Maggiore sicurezza e confort per gli operatori

- Rimozione delle barriere geografiche
- Disponibilità di un standard comuni di progettazione e di linguaggio
- Protezione dei margini di profitto
- Maggiore agilità dell'azienda
- Riduzione dei costi di sviluppo
- Riduzione della di scala dei cambiamenti a livello d'ingegneria
- Generazione di un'attitudine a "prenderci al primo colpo"
- Semplificazione dei progetti
- Possibilità di partecipazione al processo di sviluppo del prodotto da parte di tutte le parti interessate (Fonte: Andrew Norton, 2001).

Horizontal and Vertical Integration

Il concetto di Industria 4.0 promuove intensivamente l'integrazione di sistemi, hardware e software e di sistemi embedded ("a bordo") nella produzione e lungo la supply chain. L'obiettivo è quello di implementare un processo di trasformazione che porta i "vecchi" sistemi di produzione statici all'evoluzione in sistemi di produzione cyber-fisici (CPS, sistema informatico che interagisce in modo continuo e distribuito con il sistema fisico in cui opera) che sfruttano soluzioni intelligenti in un sistema totale di «fabbrica intelligente» (smart factory, figura 12).



Figura 12 - Rappresentazione grafica del concetto di Horizontal and Vertical Integration all'interno della Smart Factory

Nella vertical integration vi sono grandi potenziali di ottimizzazione per logistica e produzione. Se le procedure di produzione nel sistema ERP (Enterprise Resource Planning) e nel controllo macchine in stabilimento erano finora aree divise tra loro e spesso distribuite tra diversi sistemi IT, nell'integrated industry i processi informatici e di comando vengono sempre più spesso messi in rete ed eseguiti in modo integrato. In tal modo, tutti i reparti aziendali hanno accesso ai dati di produzione e logistici. L'effetto: una horizontal integration nell'intera azienda.

Risulta, quindi, sempre più opportuno poter rilevare e tracciare un prodotto e il suo ciclo di vita con tutti i dati pertinenti (conformità alle specifiche, presenza di difetti di cui identificare le cause, tempi di evasione degli ordini). In questa nuova concezione della produzione le nuove tecnologie dinamiche e innovative permettono di far convergere la produzione fisica e quella digitale realizzando in concreto una produzione più intelligente.

Vediamo le tecnologie ed i software che si stanno imponendo in questo nuovo concetto di azienda:

SOLUZIONI DI TRACCIABILITÀ AUTO-ID: ricoprono un ruolo decisivo nell'idea dell'azienda integrata. Si tratta di soluzioni supportate da tecnologie di marketing e monitoring RTLS (Real Time Location System). Rendono automatica l'acquisizione di dati. Alcuni esempi di queste tecnologie:

- l'RFID (Radio-Frequency IDentification, unitamente alle versioni evolute di RFID quali NFC, RFID+OTP, RFID+ Fides Code, EPC);
- i Beacon (La tecnologia Beacon basata sul Bluetooth, consente ai dispositivi bluetooth di trasmettere e ricevere piccoli messaggi entro brevi distanze);
- le Smart Label (codici a barre "intelligenti" consultabili da smartphone);
- i sistemi Pick e Put to Light (si tratta una soluzione di prelievo manuale, nella quale ciascuna ubicazione di magazzino, utilizzata per il prelievo o il deposito, viene dotata di un dispositivo elettronico (detto spot) provvisto di almeno un pulsante, un led ad alta luminosità e un display, che indicano all'operatore "dove", "cosa" e "quanto" prelevare e/o depositare);

- il Voice Picking (si tratta di dispositivi attraverso i quali è possibile impartire comandi vocali al sistema informativo, utili per svolgere determinati compiti operativi e avere allo stesso tempo gli occhi e le mani liberi).

TECNOLOGIE PER L'HANDLING AUTOMATICO: costituiscono un esempio di queste tecnologie:

- i magazzini automatizzati;
- l'impiego di robot;
- i veicoli AGV a guida automatica, in grado di movimentare autonomamente prodotti o materiali all'interno o all'esterno di uno stabilimento. Questo può avvenire con una guida da remoto a filo; tramite magneti; con banda colorata, odometrica e/o ottica, a triangolazione laser; tramite GPS.

PIATTAFORME DI GESTIONE: un esempio sono i sistemi WMS (Warehouse Management System), il cui obiettivo principale è di controllare e ottimizzare i movimenti ed il deposito di materiali nel magazzino. In più, vengono processate anche le transizioni, inclusi spedizione, ricezione, riordino e raccolta. Oltre a conoscere l'esatta posizione e condizione di ogni singola risorsa, è anche possibile vedere le correlazioni tra i vari processi e asset dell'azienda. In questo modo, le decisioni di business possono essere prese con più consapevolezza e senza sorprese. Ne conseguono una maggiore efficienza ed una migliore capacità di soddisfare le esigenze della clientela. Il tutto senza tralasciare gli obiettivi aziendali.

Internet of Things (IoT)

Con questo neologismo ci si riferisce all'interconnessione in rete internet tra gli oggetti comuni che utilizziamo ogni giorno (Things) che vengono sempre più spesso equipaggiati con strumenti digitali intelligenti. In questo modo internet diventerà veramente onnipresente nella nostra vita di tutti i giorni perché ci stiamo indirizzando verso un sistema virtuale di

interconnessione in scala globale tra uomo e oggetti. Grazie al rapido sviluppo di tutte le tecnologie che stiamo discutendo in questo capitolo, l'IoT sta aprendo nuove e impensabili applicazioni che promettono di migliorare la qualità della nostra vita quotidiana. Negli ultimi anni questo nuovo concetto ha catturato l'attenzione di ricercatori e tecnici di tutto il mondo.

All'interno di Industry 4.0, IoT è la componente più affascinante per il futuro dei consumatori poiché trasporta nel mondo digitale qualsiasi oggetto dandoci la possibilità di dialogare con esso e di dargli istruzioni come ad esempio con i nostri elettrodomestici (figura 13), con l'auto e con i vari servizi di cui quotidianamente facciamo uso quali trasporti, sanità, finanza e moltissimi altri.

Lo sviluppo dell'IoT ha ovvie conseguenze ed effetti dirompenti sulla fabbrica digitale (Industrial Internet of



Things, IIoT): livelli di *Figura 13 - Un frigorifero connesso alla rete controllabile tramite app da smartphone* flessibilità prima inimmaginabili, personalizzazione dei prodotti fino al singolo esemplare, dialogo in tempo reale tra mercato, progettisti, fornitori e produttori, ricadute importanti sulle caratteristiche degli impianti, dei volumi produttivi e della gamma dei prodotti.

IoT fornisce agli oggetti una capacità di rilevazione delle informazioni con conseguente possibilità di attuare modifiche sul sistema in tempo reale e una trasmissione di dati e informazioni velocissima; tutto ciò rende la comunicazione tra il processo produttivo e i diretti interessati dell'azienda molto più semplificata. L'uso crescente di sensori sui prodotti fisici consente loro di acquisire, elaborare e comunicare dati con l'uomo e altri sistemi fisici. Esiste un vasto potenziale per lo sviluppo di applicazioni basate su sensori, poiché questi forniscono dati in tempo reale che possono essere utilizzati per la manutenzione preventiva rilevando l'usura delle attrezzature, per evitare gli scostamenti attraverso il monitoraggio dei livelli di normale funzionamento, per una migliore capacità di pianificazione e per valutare lo stato e la qualità dei prodotti.

Tutto ciò porterà ad avere miliardi e miliardi di dispositivi connessi alla rete ognuno dei quali, per essere riconosciuto univocamente, ha bisogno di un proprio indirizzo IP. Secondo stime di Gartner, nel 2020 ci saranno 26 miliardi di oggetti connessi a livello globale. ABI Research stima che saranno più di 30 miliardi. Altri istituti parlano di 100 miliardi. Il valore del mercato è stimato in 80 miliardi di dollari (figura 14).

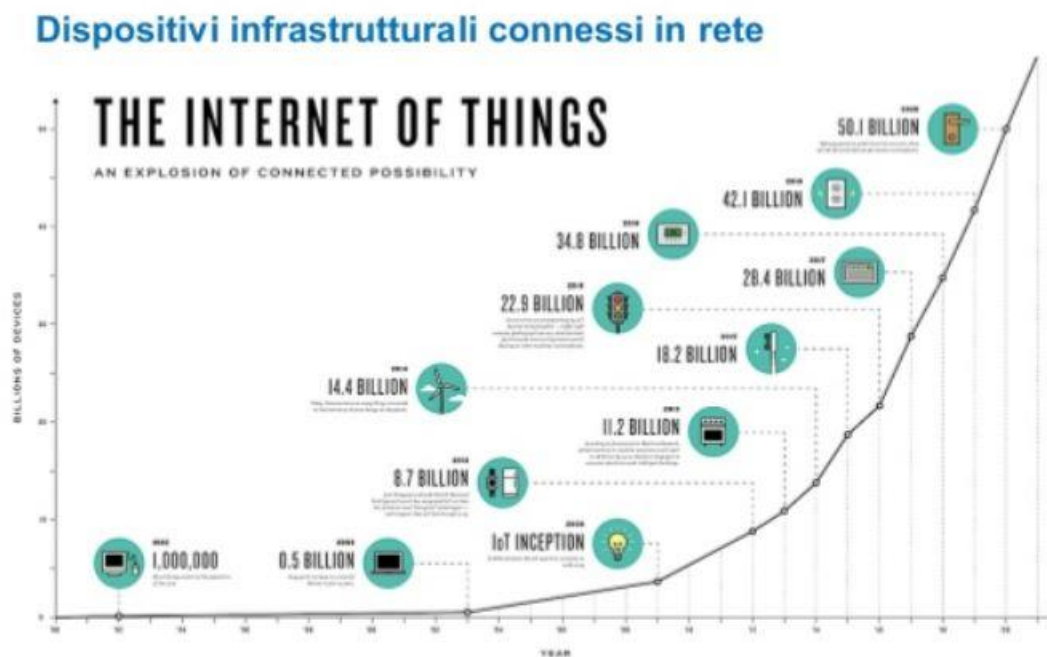


Figura 14 - Crescita esponenziale dei dispositivi connessi in rete

Secondo l'Osservatorio Internet of Things del Politecnico di Milano, il mercato degli smart objects in Italia è arrivato a toccare i 3,7 miliardi di euro, con una crescita del 36% rispetto all'anno precedente. La principale fetta di questo mercato è rappresentata dalle applicazioni di Smart Metering (i contatori gas intelligenti installati presso le utenze domestiche). Nel prossimo futuro si prevede un'ulteriore accelerazione del mercato, soprattutto per quanto riguarda gli ambiti Smart Metering, Smart Car, domotica e Smart Home e Industrial IoT.[6] Le aspettative degli esperti sono che l'Internet delle cose cambierà il nostro modo di vivere in modo radicale. Gli oggetti intelligenti, con capacità decisionale, permetteranno risparmio energetico sia a livello personale (domotica e smart-home) sia a livello macroscopico (smart-city, smart grid e smart factory).

L'integrazione con internet implica l'utilizzo di IP univoci. IPv4 permette di avere 4,3 miliardi di indirizzi univoci, ma dato la crescita esponenziale di dispositivi connessi, questo

protocollo non è più sufficiente; ecco perché gli sviluppatori di dispositivi IoT stanno adottando lo standard IPv6, che permette di raggiungere 2^{128} (circa $3,4 \times 10^{38}$) indirizzi [8,9].

[7]La tecnologia alla base di IoT è l'identificazione tramite frequenze radio (RFID); con questo termine si intende una tecnologia per l'identificazione e/o memorizzazione automatica di informazioni inerenti ad oggetti, animali o persone (automatic identifying and data capture, AIDC) basata sulla capacità di memorizzazione di dati da parte di particolari etichette elettroniche, chiamate tag (o anche transponder o chiavi elettroniche e di prossimità), e sulla capacità di queste di rispondere all'interrogazione a distanza da parte di appositi apparati fissi o portatili, chiamati reader (o anche interrogatori, figura 15). Questa



identificazione avviene mediante radiofrequenza, grazie alla quale un reader è in grado di comunicare e/o aggiornare le informazioni contenute nei tag che sta interrogando; infatti, nonostante il suo nome, un reader (ovvero: "lettore") non è solo in grado di leggere, ma

Figura 15 - Esempio di sistema basato su tecnologia RFID

anche di scrivere informazioni. In un certo senso, i dispositivi RFID possono essere quindi assimilabili a sistemi di lettura e/o scrittura senza fili con svariate applicazioni. In questi ultimi anni si sta affermando man mano anche lo standard NFC (Near Field Communication, 13,56 MHz e fino a 10 cm, ma con velocità di trasmissione dati fino a 424 kbit/s) che estende gli standard per consentire lo scambio di informazioni anche tra lettori.

Cloud

[4] Il cloud computing è una delle tecnologie che negli ultimi tempi sta subendo continue evoluzioni per adattarsi in maniera perfetta al contesto di Industry 4.0. Si tratta di

una tecnologia che non può avere un' unica definizione e applicazione; ne esistono infatti diverse tipologie e diversi modelli. Volendo sintetizzare, la tecnologia in cloud consente di usufruire, tramite server remoto, di risorse software e hardware, come per esempio memorie di massa per l'archiviazione di dati, il cui utilizzo è offerto come servizio da un provider. Le tecnologie cloud possono essere ampiamente utilizzate in Industry 4.0 per aumentare la condivisione dei dati oltre i confini aziendali, migliorare le prestazioni della stessa (maggiore agilità di accesso alle informazioni e flessibilità) e ridurre i costi portando archivi fisici online in formato digitale.

Il cloud computing può essere fornito secondo diverse tipologie, in base alle esigenze e alle possibilità dell'azienda o della PMI che richiedono il servizio. I modelli di cloud offerti alle imprese che operano nell'Industry 4.0 sono fondamentalmente tre (figura 16):

- infrastructure as a service, IaaS;
- platform as a service, PaaS;
- software as a service, SaaS.

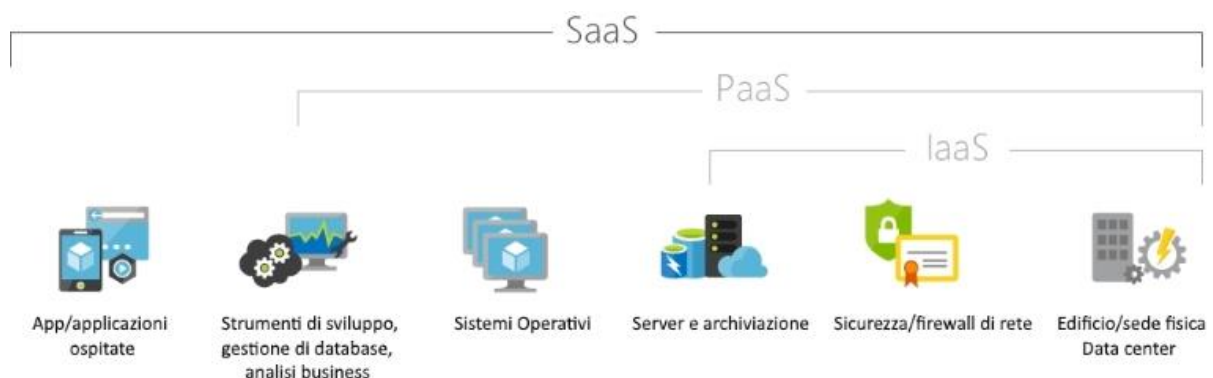


Figura 16 - Tipologie di servizi in Cloud

Infrastructure-as-a-service (IaaS) è la più semplice delle tre categorie da definire, in quanto è sostanzialmente la stessa indipendentemente dal fornitore che si sceglie. In poche parole IaaS è un'offerta con la quale un vendor di terze parti fornisce un'infrastruttura IT altamente automatizzata e scalabile (archiviazione, hosting, elaborazione dati, networking) e fa pagare solo per quello che si utilizza. Quindi, piuttosto che possedere risorse come licenze software o server, le aziende possono affittare in modo flessibile le risorse in base alle loro esigenze. Ciò ha alimentato un mercato sempre più affollato che nel 2016, secondo le stime di Gartner, valeva 25 miliardi di dollari e che nel 2018 è destinato a toccare quota 45 miliardi. AWS ha dominato questo mercato da quando ha iniziato a offrire i suoi servizi cloud nel 2006.

Un report di Synergy Research del febbraio 2017 ha indicato la quota di mercato di AWS al 40%, con Microsoft, Google e IBM messi insieme che si sono invece fermati al 23%. Nonostante però il predominio di AWS, Microsoft ha rapidamente guadagnato terreno sotto la guida del CEO Satya Nadella (suo il motto cloud first) costruendo una vasta rete cloud globale. E non dimentichiamo Google, impegnato a costruire i propri servizi di cloud pubblico e IaaS sotto la Google Cloud Platform (GCP). Da guardare con molta attenzione anche la posizione di Oracle che, pur partita in ritardo nell'offerta cloud IaaS, sta crescendo a ritmi molto elevati ed espandendo la rete di data center di seconda generazione, adatti anche a soluzioni di classe enterprise.

Platform-as-a-service (PaaS) è probabilmente il più difficile tra i tre modelli cloud da definire in modo chiaro. L'idea alla sua base è fornire una piattaforma con gli strumenti e le funzionalità necessarie per sviluppare e distribuire le applicazioni in modo sicuro (middleware, gestione di database, analytics o un sistema operativo). Una piattaforma come servizio dovrebbe fornire a uno sviluppatore tutto ciò di cui ha bisogno per creare e distribuire un'applicazione senza dover effettuare autonomamente il provisioning dell'infrastruttura sottostante. I fornitori di soluzioni PaaS sono di fatto le più grandi aziende tecnologiche al mondo e questo perché devono offrire una vasta gamma di funzionalità per i loro clienti. Esempi di soluzioni PaaS includono Google App Engine, Oracle Cloud Platform, Cloud Foundry di Pivotal e Heroku di Salesforce.

Software-as-a-service (SaaS) indica un software ospitato da un fornitore di terze parti al quale accedere via web (normalmente tramite un semplice log-in). Questo servizio viene generalmente pagato con un abbonamento per singolo utente (o singola postazione) e ciò differisce dal vecchio modello di acquisto e installazione manuale del software su una macchina o un server. SaaS è molto rilevante per applicazioni specifiche come l'email o i software di gestione delle relazioni con i clienti (CRM). Chiunque abbia usato un'app Google come Gmail o Google Docs o un servizio di cloud storage come Dropbox, ha già avuto esperienza di SaaS. I principali fornitori SaaS a livello globale includono Microsoft con Office 365 e pionieri del software aziendale come Salesforce con la sua soluzione CRM SaaS e il software HR di Workday basato sul cloud.



Figura 17 - Alcuni dei fornitori di servizi Cloud divisi tra le tre tipologie

Come sopra accennato, oltre ai vari servizi, esistono differenti tipi di cloud computing. Generalmente il cloud si suddivide in tre categorie: pubblico, privato e ibrido. Quando si parla di cloud pubblico si intende la soluzione più economica anche se offre comunque diverse soluzioni in base alle esigenze delle aziende. Per le PMI e le aziende che lavorano con dati sensibili è preferibile utilizzare un servizio cloud privato che punta fortemente sulla protezione delle informazioni e dei dati indispensabili per i processi produttivi di chi fa impresa.

Cyber-Security

[11] Cybersecurity è un sinonimo di sicurezza informatica, ovvero di tutte quelle tecnologie utili a proteggere un computer o un insieme di computer (sistema informatico) da attacchi che possono portare alla perdita o compromissione di dati ed informazioni. La cybersecurity, al contrario dell'information security, dipende solo dalla tecnologia informatica. Per capire se un sistema informatico è più o meno sicuro bisogna trovare le minacce e vulnerabilità e proteggerli da eventuali attacchi.

È assodato che Industry 4.0 dovrà significare innovazione di processo, di prodotto, di servizi, di gestione, con impatti significativi sugli impianti, sui prodotti, sulle informazioni e ovviamente, non ultimo, sulle persone. Tutto questo sarà incentrato e reso possibile grazie alla pervasività delle tecnologie ICT e a quello che è ormai comunemente chiamato il cyberspazio. Cyberspazio che, come ricordava il Prof. Roberto Baldoni nel suo articolo sul Sole24Ore di domenica scorsa, “è la cosa più complessa e articolata che l’uomo abbia mai concepito, unione di migliaia di reti dati e di stratificazioni di software che interconnettono uomini e cose in giro per il mondo”. Una delle conseguenze auspiccate di Industry 4.0 sarà l’estensione al mondo manifatturiero (e non solo) di quello status di Always-on che ciascuno di noi sta già sperimentando a livello individuale, vale a dire lo status del tutto connesso, sempre. Le tecnologie abilitanti includono, ovviamente Cloud, Banda larga e Ultralarga, Big Data, Robot, Droni, Intelligenza Artificiale, e, specialmente per Industry 4.0, Internet of Things (IoT), ovunque.

Qui il primo warning: tutte queste tecnologie e, in particolare la IoT, hanno già di fatto incrementato a dismisura e incrementeranno sempre di più quella che gli esperti chiamano la superficie attacco, vale a dire le opportunità di sferrare attacchi malevoli e devastanti da parte di cyber criminali, siano essi individui singoli, organizzazioni criminali o stati sovrani più o meno “vicini”. È importante notare come, dal punto di vista aziendale, i rischi siano di diverso tipo. Innanzitutto il “tutto connesso, sempre” significa, in pratica, “più porte e più finestre” verso il mondo esterno. La conseguenza diretta è un significativo aumento del rischio che gli attaccanti riescano, a costi ridotti, a sottrarre informazioni, dati e know-how fondamentali per le aziende.

Vi è poi un altro rischio indubbiamente meno evidente, ma altrettanto reale e con effetti potenzialmente altrettanto devastanti: che i nostri sistemi informativi e soprattutto i nostri prodotti, se non adeguatamente progettati, vengano utilizzati dagli attaccanti come “basi di appoggio” e “porti” da cui partire per sferrare attacchi devastanti verso altri. Per molte aziende questo sarebbe la fine: il nostro prodotto era “mal progettato”; il suo impiego ha danneggiato in qualche modo i nostri clienti e ora siamo chiamati a pagarne i danni e a subirne le conseguenze in termini di immagine e di quote di mercato.

Il terzo rischio della cyber security che mi preme qui evidenziare è la mancanza di sensibilità al problema della sicurezza cyber. Come insegna la Social Engineering, la

componente umana, il cosiddetto Man-in-the-middle è l'anello debole della catena e una delle porte di accesso più facili e meno costose da utilizzare da parte di un attaccante malevolo. Vorrei evidenziare, in chiusura, alcune linee di azione che considero assolutamente ineludibili, in tre ambiti diversi: manifatturiero, accademico e politico-governativo.

A livello manifatturiero (figura 18) occorre agire con urgenza per:

- Aumentare significativamente il livello di awareness a tutti i livelli, dai CEO ai membri del CdA, dai CTO ai tecnici e a TUTTI gli addetti;
- Valutare nel dettaglio il rischio cyber, anche attraverso l'adozione del Framework Nazionale messo a punto dal Lab. Naz Cybersecurity del CINI sulla base di quello predisposto negli USA dal NIST;
- Mettere in atto tutte le azioni e le contromisure necessarie.

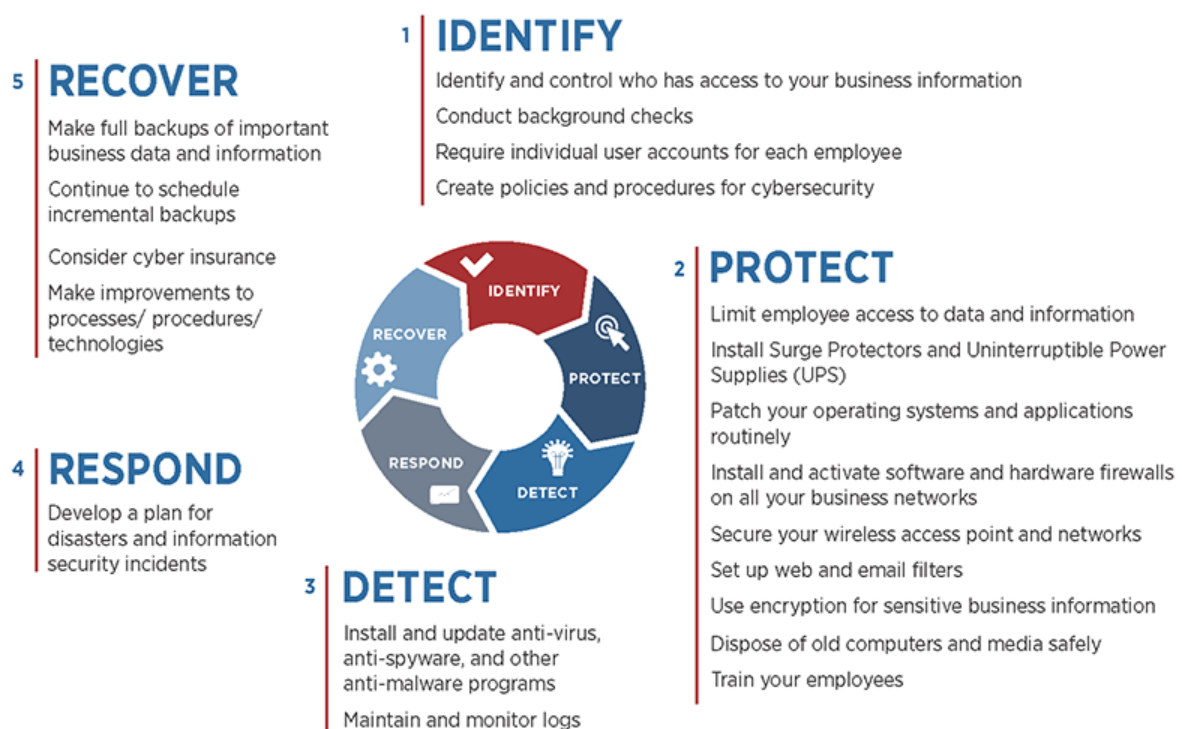


Figura 18 - Cinque punti per organizzare una Cyber-Security aziendale

A livello del mondo accademico occorre fare ogni sforzo per aumentare la workforce in ambito cyber, in quanto la mancanza di esperti nel settore sarà sempre di più un danno potenziale per il paese. La componente accademica è quindi oggi chiamata a fare la propria parte attraverso azioni diversificate, che vanno dalle cyberchallenge distribuite su tutto il territorio nazionale a master specialistici di primo e secondo livello, ma soprattutto

all'attivazione di nuovi corsi di laurea magistrale per esperti cyber, caratterizzati, al contempo, da una approfondita competenza tecnologica e da una spiccata cultura multidisciplinare. Al riguardo è auspicabile la definizione di un Body of knowledge a livello nazionale.

A livello politico e governativo, pur riconoscendo che in ambito cyber in Italia non siamo all'anno zero, per evitare che nel futuro immediato il paese finisca nel novero delle nazioni "non adeguatamente cyber-dotate", occorre avviare senza indugio una significativa campagna di investimenti. A livello pratico, si devono mettere in atto tutte le azioni necessarie per la creazione di un "ecosistema cyber nazionale", caratterizzato da alcune organizzazioni di dimensioni adeguate, in termini di personale e competenze, inserite sia nel settore pubblico sia in quello privato, con una stretta collaborazione tra settore della ricerca, settore industriale e settore governativo. Al riguardo continuo a essere personalmente convinto che occorra arrivare quanto prima all'attivazione di un MITRE italiano, con alcune sezioni "for Italian eyes, only", per la creazione, tra l'altro, e a mero titolo di esempio, di un Cloud nazionale.

A livello generale occorre poi assolutamente alzare, e di molto, il livello di awareness, di sensibilità sul problema cybersecurity presso il grande pubblico: prima avviamo sul tema una seria campagna tipo "Pubblicità Progresso" meglio sarà per il sistema paese.

Big Data and Analytics

I Big Data esprimono un nuovo concetto importante in merito alla tipologia di dati digitali che non è conforme alla normale struttura del database tradizionale. I Big Data sono generati da diversi tipi di tecnologie chiave di Framework, come Hadoop, HDFS, NoSQL, MapReduce, MongoDB, Cassandra, PIG, HIVE e HBASE, che lavorano insieme per raggiungere come obiettivo finale l'estrazione di valore da dati che solo alcuni anni fa erano considerati morti. Secondo un recente rapporto di mercato pubblicato da Transparency Market Research, il valore totale dei big data è stato stimato a 6,3 miliardi di dollari a partire dal 2012, ma entro il 2018 si prevede che raggiungerà l'incredibile livello di \$ 48,3 miliardi di aumento quasi del 700% [12]. Forrester Research stima che le organizzazioni utilizzino efficacemente meno del

5% dei loro dati disponibili. Questo perché il resto è semplicemente troppo costoso da gestire. I Big Data sono derivati da più fonti. Comprendono, non solo i dati tradizionali, ma anche le fonti di dati non strutturati che stanno crescendo a un ritmo significativo. Ad esempio, i dati derivati dai macchinari si moltiplicano rapidamente e contengono contenuti ricchi e diversi che devono essere scoperti. Un altro esempio, i dati di derivazione umana sui social media sono più testuali, ma le informazioni sono preziose e spesso cariche di molti possibili significati.

Il Big Data Analytics riflette la sfida di non poter gestire con i metodi tradizionali dati troppo vasti, troppo poco strutturati e troppo veloci. Dalle aziende e dalle istituzioni di ricerca ai governi, le organizzazioni ora generano regolarmente dati di portata e complessità senza precedenti. Provare a estrarre in maniera efficiente le informazioni significative da tali fonti di dati in modo facile e veloce è una sfida. Pertanto, l'analitica è diventata inestricabilmente vitale per riuscire a cogliere l'intero valore dei Big Data ai fini di migliorare le prestazioni aziendali e aumentare la propria quota di mercato. Gli strumenti disponibili per gestire il volume, la velocità e la varietà dei big data sono migliorati notevolmente negli ultimi anni. In generale, queste tecnologie non sono eccessivamente costose e gran parte del software è open source. Hadoop, la struttura più comunemente utilizzata, combina hardware di base con software open source. Prende flussi di dati in entrata e li distribuisce su dischi economici; fornisce anche strumenti per l'analisi dei dati. Tuttavia, queste tecnologie richiedono un set di competenze nuovo per la maggior parte dei reparti IT, che dovrà lavorare sodo per integrare tutte le fonti di dati interne ed esterne pertinenti.

INDUSTRY4.0 IN ITALIA: IL PIANO CALENDARIO

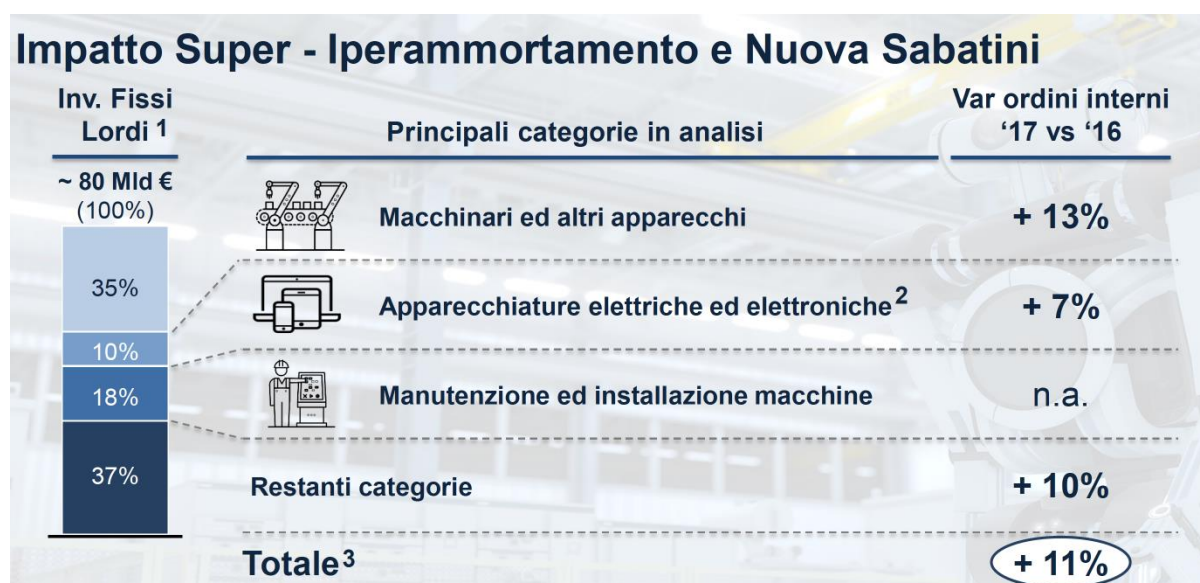
“L'Italia è un grande Paese industriale. Le nostre imprese manifatturiere rappresentano il motore della crescita e dello sviluppo economico, con la loro capacità di produrre ricchezza e occupazione, alimentare l'indotto e le attività dei servizi, contribuire alla stabilità finanziaria, economica e sociale. Creare un ambiente favorevole alle imprese

risponde quindi a un preciso interesse pubblico. La politica industriale è tornata al centro dell'agenda di Governo e gli strumenti che abbiamo introdotto partono da una lettura della struttura dell'economia italiana, caratterizzata da un'impreditoria diffusa, e tengono conto della nuova fase di globalizzazione e di cambiamenti tecnologici che stiamo attraversando.

Il Piano Industria 4.0 è una grande occasione per tutte le aziende che vogliono cogliere le opportunità legate alla quarta rivoluzione industriale: il Piano prevede un insieme di misure organiche e complementari in grado di favorire gli investimenti per l'innovazione e per la competitività. Sono state potenziate e indirizzate in una logica 4.0 tutte le misure che si sono rivelate efficaci e, per rispondere pienamente alle esigenze emergenti, ne sono state previste di nuove. Saper cogliere questa sfida, però, non riguarda solo il Governo, ma riguarda soprattutto gli imprenditori. Per questo abbiamo voluto cambiare paradigma: abbiamo disegnato delle misure che ogni azienda può attivare in modo automatico senza ricorrere a bandi o sportelli e, soprattutto, senza vincoli dimensionali, settoriali o territoriali. Quello che il Governo propone, impegnando risorse importanti nei prossimi anni, è un vero patto di fiducia con il mondo delle imprese che vogliono crescere e innovare. Industria 4.0 investe tutti gli aspetti del ciclo di vita delle imprese che vogliono acquisire competitività, offrendo un supporto negli investimenti, nella digitalizzazione dei processi produttivi, nella valorizzazione della produttività dei lavoratori, nella formazione di competenze adeguate e nello sviluppo di nuovi prodotti e processi. Il successo del Piano Industria 4.0 dipenderà dall'ampiezza con cui ogni singolo imprenditore utilizzerà le misure messe a disposizione." (Carlo Calenda, Ministro dello Sviluppo Economico 10 maggio 2016 – 1^o giugno 2018, [13]).

[14] Nel corso di un incontro avvenuto a febbraio 2018 presso il nuovo Hub dedicato alla creatività, all'innovazione e all'accelerazione d'impresa di Torino nelle Officine Grandi Riparazioni (OGR), il Ministro dello Sviluppo Economico Carlo Calenda ha presentato un bilancio dei risultati raggiunti dal Piano Industria 4.0 (oggi Piano Impresa 4.0). Calenda ha evidenziato il dato "storico" relativo alla crescita degli investimenti in innovazione dell'11%, un valore superiore a quello della Germania e di altre nazioni a forte vocazione in ambito manifatturiero, che sta contribuendo a restituire competitività alle imprese del nostro Paese. Il principale risultato era legato all'obiettivo di conquistare la fiducia delle imprese partendo dalla decisione, anche questa storica, di stanziare come 30 miliardi di euro costituiti dai 9,8 miliardi del 2018 da aggiungere ai 20 miliardi del 2017.

L'impatto del Super e dell'Iperammortamento e della Nuova Sabatini ha portato a un volume di investimenti pari a 80 Miliardi di euro che risultato composti al 35% da investimenti in macchinari e in soluzioni per l'automazione, al 10% da investimenti in apparecchiature elettriche ed elettroniche, al 18% come manutenzione e installazione di macchine e a un restante 37% che comprende tutte le altre categorie di investimenti. Sono interessanti le dinamiche di crescita che vedono macchinari e automazione crescere del 13% e la componente elettronica cresce a sua volta ma con una percentuale comunque molto significativa anche se non a due cifre (7%).

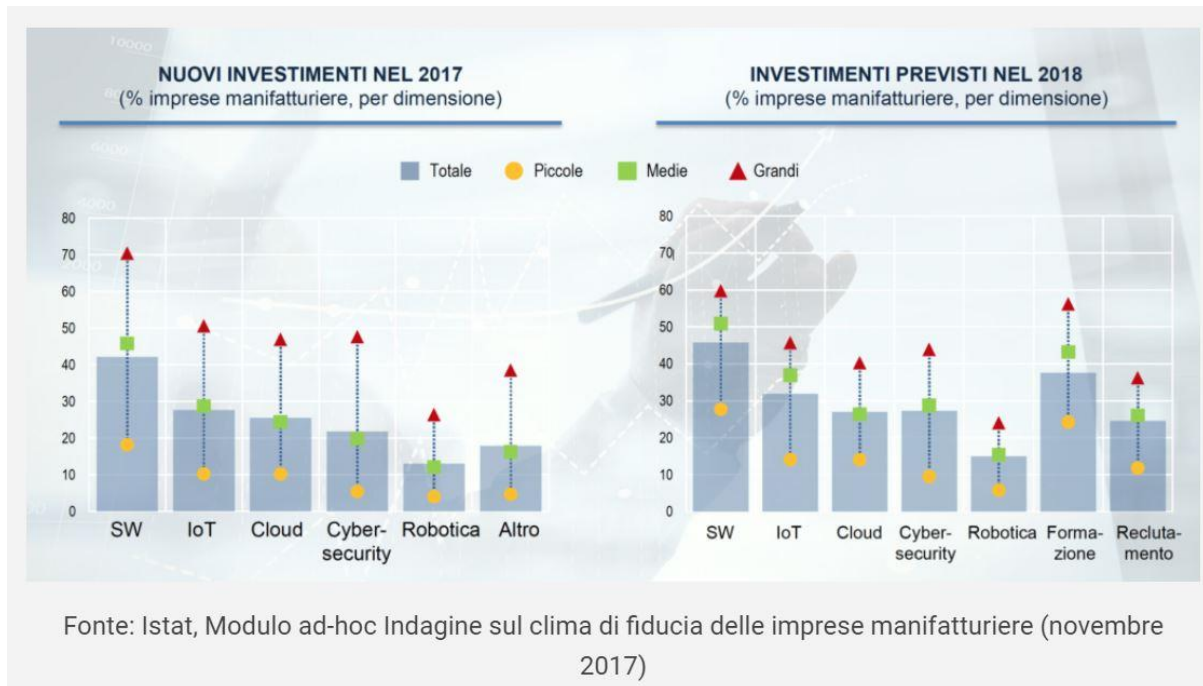


1. Investimenti Fissi Lordi al netto di mezzi di trasporto;
2. Include codici ATECO 261 e 27;
3. Media ponderata al netto delle Riparazioni, manutenzioni e installazioni. Fonte: Elaborazioni MISE su dati ISTAT (gennaio – novembre 2017 vs. stesso periodo 2016)

Investimenti in Internet of Things, Cloud e Cybersecurity

I frutti della spinta prodotta da queste agevolazioni stanno arrivando risultati stanno arrivando. Nel 2017 le imprese che hanno beneficiato del credito di imposta R&S&I Ricerca Sviluppo e Innovazione sono aumentate del +104% rispetto al 2016. Sono cresciuti gli investimenti nelle tecnologie digitali in prevalenza nelle grandi imprese e in particolare, per quanto riguarda il 2017, nel software, nell'Internet of Things, nel Cloud e nella Cybersecurity,

Ma è molto interessante leggere la dinamica previsionale per il 2018 che vede una crescita molto importante nelle medie imprese (in alcuni casi anche molto vicine alle grandi) e in termini di comparti prosegue la crescita positiva nei settori che già si sono distinti nel 2017, ma si vede la fortissima spinta a livello di formazione e di reclutamento. Un dato che lascia ben sperare in termini di prospettive occupazionali.



Industria 4.0 ed esportazione

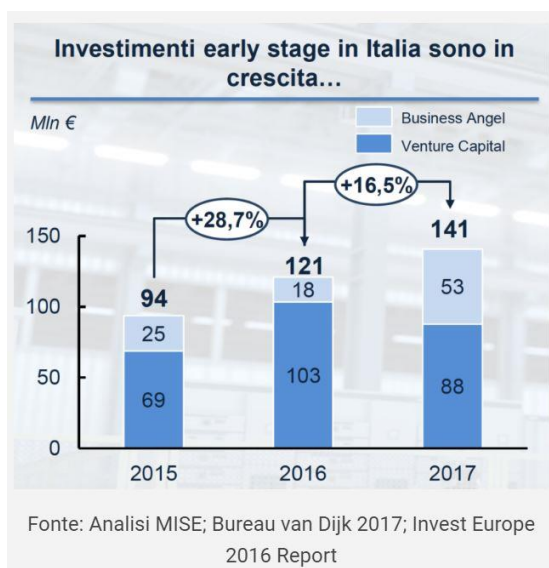
Un altro dato estremamente importante riguarda gli effetti sull'esportazione che torna a crescere con tassi che permettono alle nostre imprese di competere con maggior successo con la concorrenza di altre nazioni a forte vocazione manifatturiera. Gli investimenti in innovazione hanno aiutato anche lo sviluppo di una dinamica competitiva con altri paesi. In particolare nel mercato dei macchinari ed apparecchiature per l'automazione l'Italia ha recuperato posizioni importanti rispetto alla concorrenza di Germania e Francia e tra il 2016 e il 2017 ha guadagnato 8 punti percentuali con un netto vantaggio rispetto a francesi e tedeschi. Anche nell'ambito delle apparecchiature elettriche ed elettroniche le performance

del nostro paese si stanno facendo sentire, anche qui la dinamica di crescita tra 2016 e 2017 supera i 7 punti percentuali, ma qui la crescita è analoga a quella di tutti i paesi (il grafico sottostante è in %, mostra l'effetto degli investimenti innovativi sulla esportazione di beni).



Una situazione più favorevole per le startup

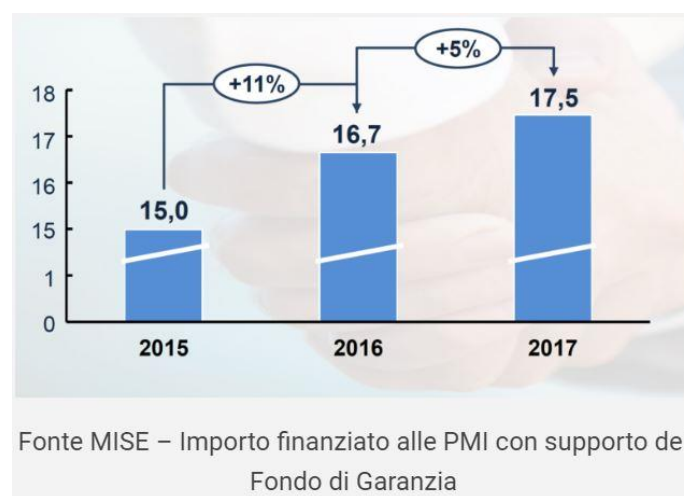
Il Piano Industria 4.0 ha favorito anche i fenomeni di open innovation e in generale lo sviluppo di nuove imprese. Gli investimenti early-stage sono in crescita del 16,5% sul 2016 nella doppia componente Venture Capital e Business Angel. Ma è la stessa analisi del MISE a



sottolineare che si tratta di una crescita non sufficiente se paragonata alle performance degli altri paesi europei in particolare prendendo come parametro di confronto la percentuale degli investimenti di Venture Capital sul PIL. In questa classifica l'Italia è purtroppo fanalino di coda rispetto ai principali competitor e ben al di sotto della media europea.

Aumento degli importi finanziati alle PMI

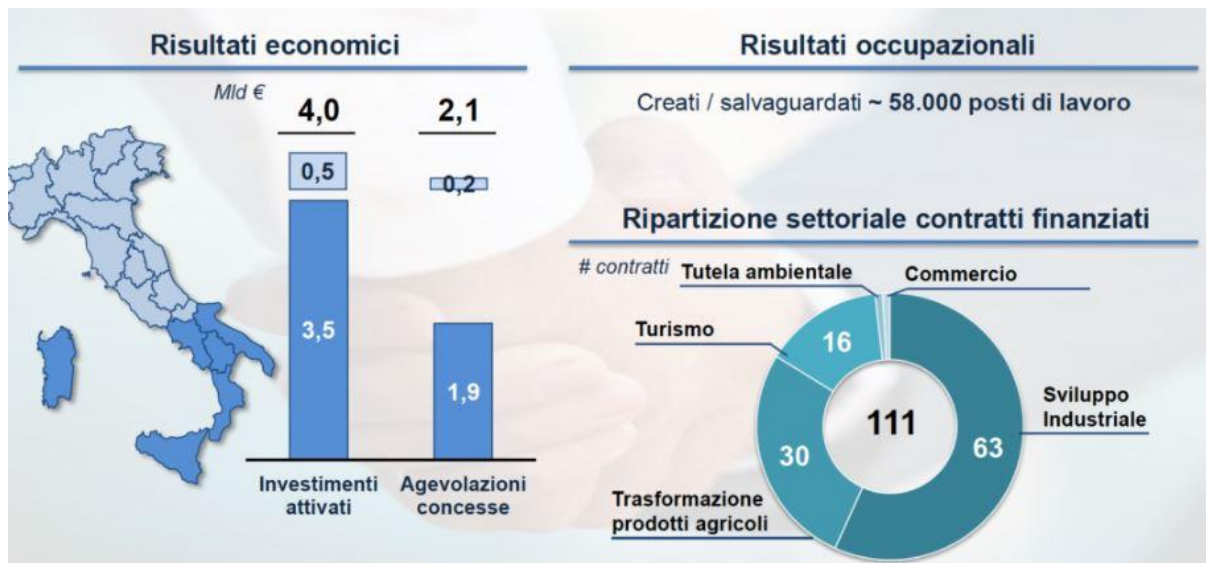
Nell'ambito degli strumenti pubblici di supporto, si è registrato un aumento importante degli importi finanziati alle PMI grazie al supporto del Fondo di Garanzia. I dati mostrano che questo strumento ha favorito l'accesso delle PMI alle fonti finanziarie grazie alla concessione di una garanzia pubblica e nel 2017 il rifinanziamento del Fondo di Garanzia per circa 1 miliardo di euro ha garantito finanziamenti alle PMI per 17,5 miliardi di euro. Gli effetti hanno registrato un +11% tra il 2015 e il 2016 e un +5% nel 2017 sul 2016.



Industria 4.0: i benefici per l'occupazione

Un altro aspetto importantissimo riguarda i risvolti occupazionali che possono essere ben rappresentati nella lettura dei contratti di sviluppo. In particolare, grazie a questo strumento si calcola che sono stati creati o salvaguardati 58mila posti di lavoro. E' particolarmente interessante leggere la composizione dei settori che hanno beneficiato di questi contratti. Come prevedibile, la quota maggiore è in capo allo sviluppo industriale ma è molto importante vedere che una quota importante riguarda l'ambito della trasformazione dei prodotti agricoli dove si sentono gli effetti di progetti di innovazione Smart Agrigood così

come è importante anche l'ambito del turismo. In figura sottostante vengono graficati gli effetti dei contratti di sviluppo.



Capitolo 2

AUTOMAZIONE DEGLI IMPIANTI DI PROCESSO: LA REGOLAZIONE

Il controllo industriale è l'applicazione della teoria del controllo automatico all'ambito dei processi industriali. [15] L'automazione e il controllo di processo sono essenziali per il funzionamento sicuro e redditizio degli impianti, (ad es. petrolchimici, di raffinazione, etc.). Di seguito sono riportate alcune motivazioni specifiche per la realizzazione di sistemi per il controllo di processo:

- *Stabilizzare il processo.* Molti processi sono caratterizzati da modi instabili, che devono essere stabilizzati mediante il controllo a retroazione, per evitare che l'impianto entri in condizioni di funzionamento inaccettabili. La retroazione può risultare necessaria anche quando un disturbo non misurato ha un effetto sufficientemente grande su una variabile di processo da provocare variazioni inammissibili nel valore della variabile.
- *Assicurare la regolarità del processo.* Anche se un processo è stabile, il controllo si rende spesso necessario per evitarne un arresto dovuto a condizioni operative indesiderate. Un arresto può essere determinato da un sistema automatico preposto, ma anche direttamente da un malfunzionamento di un apparato.
- *Minimizzare l'impatto ambientale.* Oltre a garantire una produzione stabile e sicura, il sistema di controllo dovrebbe assicurare la massima riduzione degli effetti dannosi per l'ambiente. Ciò si ottiene ottimizzando la conversione delle materie prime e mantenendo condizioni tali da ridurre quanto più possibile la produzione di qualsiasi sottoprodotto nocivo.
- *Ottenere la qualità desiderata del prodotto.* Il controllo di processo è spesso necessario per ottenere la qualità desiderata del prodotto e per ridurre le disomogeneità nel livello di qualità.
- *Ottenere il tasso di produzione voluto.* Il controllo di processo serve a ottenere il tasso voluto di produzione di un impianto. In linea di principio, dovrebbe essere possibile regolare selettivamente il tasso di produzione per un certo stadio del processo, e il sistema di controllo dovrebbe automaticamente regolare di conseguenza il flusso di produzione a monte o a valle.

- *Ottimizzare il funzionamento del processo.* Negli impianti petrolchimici e di raffinazione è frequente l'utilizzo dell'automazione e del controllo di processo per ottimizzare l'efficienza economica della produzione. A tal fine è necessario identificare, seguire e mantenere condizioni operative ottimali nonostante le variazioni a cui sono soggetti il tasso di produzione, la composizione delle materie prime e le condizioni ambientali (per esempio la temperatura atmosferica o la temperatura dell'acqua di raffreddamento). L'ottimizzazione del processo implica spesso la stretta coordinazione tra le diverse componenti e regimi di funzionamento vicini ai limiti imposti al processo stesso.

- *Evitare il funzionamento manuale.* Anche per impianti di modesta complessità, il funzionamento sarebbe praticamente impossibile in mancanza di un controllo di processo. Anche nei casi in cui fosse possibile un funzionamento completamente manuale, questo probabilmente non risulterebbe economicamente praticabile per la variabilità indotta nella qualità del prodotto e per gli alti costi di personale, dato che sarebbe necessario un numero elevato di operatori per svolgere i compiti (spesso noiosi) di cui si occupa normalmente il sistema di controllo.

Il numero di variabili solitamente sottoposte al controllo automatico è molto superiore a quello che risulta dall'elenco appena stilato, e spesso un controllo a retroazione si occupa delle variabili a cui non è associata nessuna specifica. Alcune motivazioni che giustificano l'uso di questo tipo di controllo ad anello chiuso sono:

- ridurre la propagazione a valle dei disturbi; anche quando a una variabile di processo non è associata alcuna specifica, i cambiamenti a cui la variabile in questione è eventualmente soggetta possono determinare a loro volta delle alterazioni di variabili più importanti a valle. In questi casi, è prudente eliminare gli effetti dei disturbi nelle variabili a monte;

- ridurre localmente gli effetti delle incertezze; misurando e controllando una variabile di processo si può ridurre l'effetto delle incertezze associate al comportamento dell'apparato o ai disturbi. Possiamo citare per esempio i posizionatori di valvole che si usano per minimizzare l'effetto dell'attrito statico, o il controllo di flusso locale ad anello chiuso che si può utilizzare per contrastare l'effetto

delle variazioni di pressione a monte o a valle di una valvola, dei cambiamenti delle proprietà del fluido, o delle imprecisioni nelle caratteristiche delle valvole.

L'applicazione di questa teoria, attraverso sensori ed attuatori, dà origine a quella che in ingegneria si chiama "regolazione". Nelle automazioni, nel condizionamento, nel riscaldamento si applica la teoria dei controlli e quindi si fa la regolazione. Nell'ingegneria termica e del condizionamento, la regolazione è fondamentale e può far risparmiare dal 30% al 60% dei consumi, per tutta la vita dell'impianto, ma è importantissimo che gli impianti nascano già con l'idea della regolazione. Il codice che governa la regolazione può essere di tipo pneumatico o elettrico (analogico o digitale). Viene riportato in figura 19 un semplice schema per far comprendere meglio come è strutturata la regolazione di un impianto.

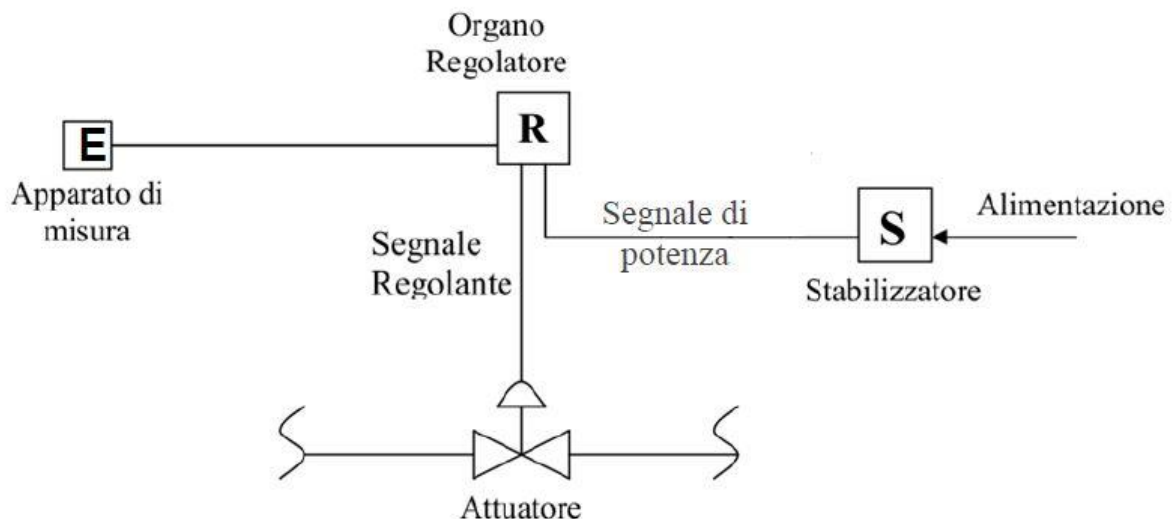


Figura 19 - Schema di regolazione

L'elemento di misura E deve estrarre la minima potenza possibile dal sistema per non alterarlo e pertanto, E non potrà comandare direttamente un attuatore (il quale necessita di potenza). Risulta necessario introdurre un regolatore R che si interfaccia tra l'elemento sensibile e l'attuatore. Per fornire potenza all'attuatore, R viene alimentato da un segnale di potenza.

Compresi i concetti fondamentali, passo ad esporre le caratteristiche principali degli attori che intercorrono a formare questo sistema:

- i trasduttori, che misurano le grandezze sul campo;

- il sistema di acquisizione dati e controllo;
- gli attuatori, che vengono azionati in base ai dati raccolti dai trasduttori in base ad un determinato algoritmo implementato sul sistema di acquisizione e controllo.

TRASDUTTORI: CLASSIFICAZIONE E CARATTERISTICHE PRINCIPALI

[16] Il trasduttore (o sensore) è un dispositivo che viene eccitato dall'energia proveniente da un sistema e, a sua volta, fornisce energia, solitamente sotto una diversa forma, ad un altro sistema. I trasduttori sono molto importanti soprattutto affinché i misuratori possano rilevare le grandezze fisiche. Di solito queste grandezze, come per esempio la temperatura, la pressione, l'umidità dell'aria, la pressione sonora o la luce. Normalmente i trasduttori vengono collegati a sistemi elettrici e in molti casi il segnale elettrico generato in uscita dal trasduttore non è direttamente utilizzabile ma occorrono dei dispositivi, detti condizionatori di segnale, che modificano il segnale generato dal trasduttore e per questo il segnale in uscita viene trasformato in un segnale normalizzato di tipo elettrico (p.e. 4 ... 20 mA); questo segnale è funzione del parametro fisico misurato. I vantaggi della trasformazione sono da un lato la flessibilità, dato che molti misuratori supportano la trasformazione in segnali normalizzati, dall'altro, le grandezze misurate possono essere lette a grandi distanze senza praticamente perdita di segnale. Quando si usano i trasduttori, l'unità di elaborazione (PC, PLC) deve ricevere solo il range di misura, perché a partire da lì, si calcolano dai segnali elettrici le grandezze elettriche. Alcuni trasduttori offrono inoltre una separazione galvanica tra il segnale di ingresso e quello di uscita.

I trasduttori sono oggi indispensabili nei sistemi di automatizzazione e controllo. Quando si usano o si registrano grandezze fisiche per il controllo di un processo, è necessario usare un trasduttore. La ragione poggia sul fatto che oggi è necessario registrare un gran numero di grandezze fisiche. Oltre alle grandezze più comuni come la temperatura o la pressione, è necessario spesso registrare altri parametri come la pressione, la concentrazione di gas o il flusso. Affinché l'elettronica possa ricevere un segnale leggibile, è indispensabile

che il trasduttore converta la grandezza fisica in un segnale elettrico. Per avere flessibilità, l'industria ha determinato segnali normalizzati che possono essere letti da molti misuratori.

I trasduttori possono essere divisi in due gruppi in base al tipo di collegamento al processo e all'alimentazione elettrica: trasduttori attivi e trasduttori passivi.

Un trasduttore passivo è un dispositivo di trasduzione che deriva dal fenomeno fisico in ingresso tutta l'energia in uscita. Pertanto, il trasduttore non necessita di alimentazione. Presenta, però, un grosso vincolo: forma del segnale e quantità di energia emessa sono limitate dalla quantità di energia disponibile nel fenomeno trasdotto e dalla efficienza della conversione.

Un trasduttore attivo, invece, è un dispositivo dotato di un ingresso fisico, di un segnale elettrico in uscita e di un ingresso elettrico di alimentazione. Sono pertanto estremamente affidabili e, solitamente, la sensibilità può

essere regolata. D'altro canto, il costo è solitamente più elevato rispetto ad un trasduttore passivo.

Le grandezze fisiche da misurare hanno natura continua, nel senso che possono variare con continuità tra un valore minimo e un valore massimo; il segnale generato dal trasduttore può invece essere continuo, ossia variare con continuità tra un valore minimo ed un valore massimo, oppure digitale nel qual caso il segnale elettrico generato è costituito da un valore numerico che rappresenta il valore della grandezza fisica da misurare. Si possono avere quindi trasduttori analogici e trasduttori digitali:

- trasduttori analogici: il segnale in uscita varia in continuo nel tempo. Lo standard elettrico utilizzato può essere: 4-20 mA, 0-10V, mV (per termocoppie).
- Trasduttori digitali: il segnale in uscita varia nel tempo in modo discreto e l'intervallo minimo tra due valori corrisponde alla risoluzione dello strumento. Lo standard elettrico è in tensione 0-5 V.

Il vantaggio del trasduttore analogico è quello di avere una risoluzione praticamente nulla; questo consente pertanto di avere un livello di rilevazione e controllo estremamente elevato sulla variabile controllata. Il trasduttore digitale, di contro, offre maggior versatilità ed un più agevole trattamento del segnale in uscita, perdendo però in risoluzione; è possibile tuttavia con un solo doppino trasmettere più di un segnale. Inoltre, il trasduttore digitale offre quattro ulteriori vantaggi:

1. Progettazione più semplice del circuito;

2. Eliminazione più semplice dei disturbi (rumori) presenti nel segnale;
3. Possibilità di interfaccia diretta con un microprocessore all'uscita;
4. Bidirezionale: oltre che acquisire informazioni è possibile settare i parametri dello strumento da remoto.

Facciamo un esempio pratico: per misurare una temperatura è possibile utilizzare un trasduttore resistivo, cioè un dispositivo la cui resistenza varia dipendentemente dalla temperatura alla quale il dispositivo si trova. Se è nota la relazione tra temperatura e resistenza, misurando la resistenza è possibile risalire al valore di temperatura corrispondente; si compie quindi una misura indiretta della temperatura, passando prima per la misura di una resistenza elettrica. Un trasduttore ideale dovrebbe essere lineare ovvero il legame tra il segnale d'ingresso e il segnale d'uscita è proporzionale.

In base al tipo di principio utilizzato per la misura, i trasduttori vengono suddivisi in:

- Trasduttore capacitivo;
- Trasduttore elettroacustico;
- Trasduttore elettrodinamico;
- Trasduttore magnetoresistivo;
- Trasduttore piezoelettrico;
- Trasduttore resistivo;

Vediamo più nel dettaglio il principio sul quale queste tipologie di trasduttori si basano.

Trasduttore capacitivo

Nel trasduttore con elemento sensibile di tipo capacitivo alla variazione della variabile misurata corrisponde una variazione della capacità di un condensatore. Vediamo un esempio nell'immagine sottostante (figura 20): la pressione di processo esercita una forza che provoca la variazione della distanza compresa fra i due elettrodi (di cui uno a contatto con la parte di processo, mentre l'altro risulta fisso). La variazione della distanza provoca conseguentemente

una variazione di capacità che può essere associata alla variazione di pressione secondo la relazione:

$$C = \frac{\varepsilon * S}{d}$$

dove C è la capacità del condensatore (F), ε è la costante dielettrica del mezzo (F/m), S è la superficie dei due elettrodi (m^2) e d è la distanza interposta (m).

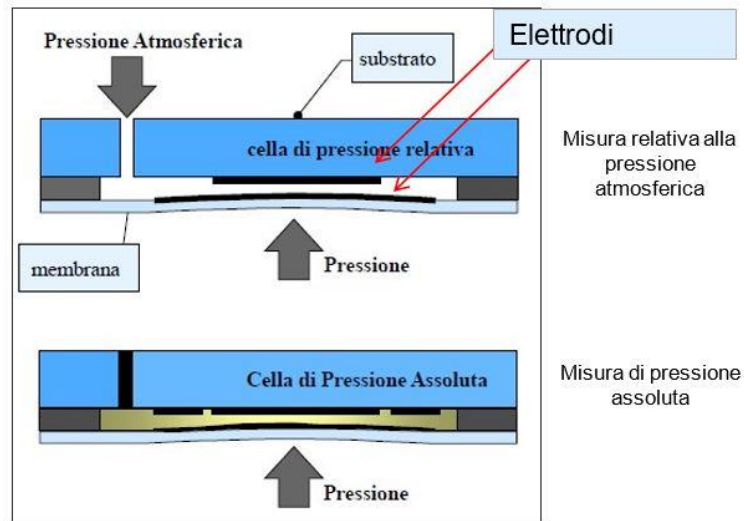


Figura 20 - Principio fisico di un trasduttore capacitivo

Trasduttore elettroacustico

Il trasduttore con elemento sensibile di tipo elettroacustico converte segnali sonori in grandezze elettriche che sono associati alla variabile misurata.

Si consideri (figura 21) una condotta attraversata da una portata Q. Il trasduttore immette all'interno della condotta un segnale acustico al tempo t_b dal sensore a. All'istante t_a il sensore b riceve il segnale acustico. La velocità del fluido risulta essere proporzionale all'intervallo temporale fra il momento di generazione e di ricevimento del segnale. Dunque la portata può essere calcolata secondo la relazione:

$$Q = v \times A$$

Q è la portata di fluido (m^3/s), A è la sezione della condotta (m^2), e v è la velocità del fluido (m/s).

I trasduttori di tipo elettroacustico sono essere utilizzati anche per l'identificazione di perdite nelle condotte.

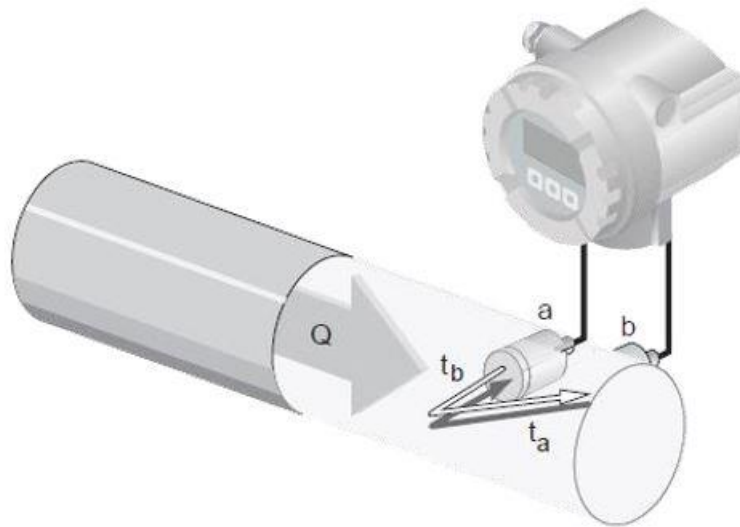


Figura 21 - Esempio di trasduttore elettroacustico

Trasduttore elettrodinamico

Il trasduttore con elemento sensibile di tipo elettromagnetico sfrutta l'insorgere di una forza elettromotrice (FEM) per misure di velocità.

Si consideri un fluido elettricamente conduttivo (presenza di cariche elettriche libere) che passa attraverso una condotta. Se all'interno di un tratto noto di condotta viene realizzato un campo magnetico di intensità B , sulle particelle è esercitata una forza che ne devia la propria traiettoria secondo il fenomeno dedotto da Lorentz. Tale fenomeno definisce che una carica Q che si muove all'interno di un campo magnetico B con velocità v si esercita una forza (forza di Lorentz) pari a:

$$\vec{F} = Q * \vec{v} \times \vec{B}$$

Come si vede dall'equazione vettoriale, le particelle positive sono separate da quelle negative secondo due traiettorie differenti; viceversa in caso di assenza di moto la forza di Lorentz è nulla e non si assiste alla separazione delle cariche.

Inserendo due elettrodi in posizione diametralmente opposta è così possibile (in caso di portata non nulla) osservare una forza elettromotrice proporzionale alla velocità del fluido e quindi alla portata.

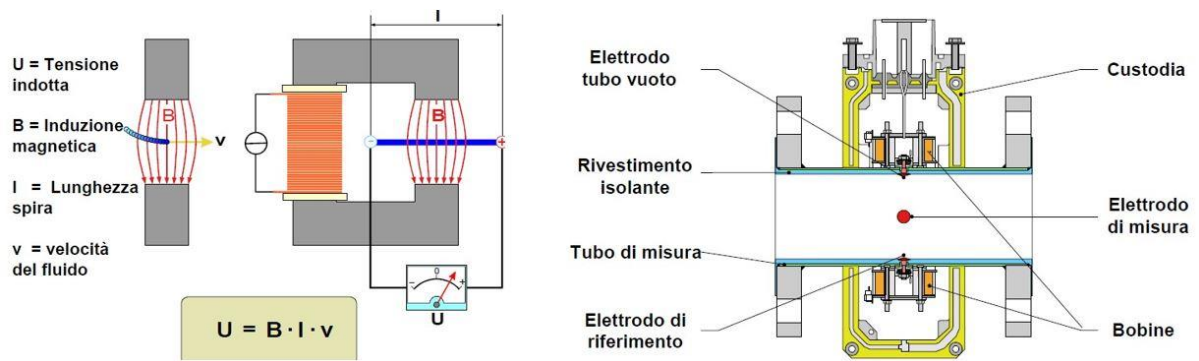


Figura 22 - Principio di funzionamento di un trasduttore elettrodinamico

Il rivestimento isolante serve a garantire l'isolamento fra il fluido carico all'interno e l'esterno. L'elettrodo di riferimento e quello di tubo vuoto prevengono da errori di misura relativi al non completo riempimento del tratto con il fluido.

Trasduttore magnetoresistivo

Il trasduttore con elemento sensibile di tipo magnetoresistivo sfrutta la capacità di alcuni materiali di cambiare la propria resistenza in funzione del campo magnetico in cui sono immersi.

In particolare la resistenza elettrica può diminuire o aumentare quando viene applicato un campo magnetico perpendicolare o parallelo al percorso della corrente fino al raggiungimento della saturazione magnetica nel materiale.

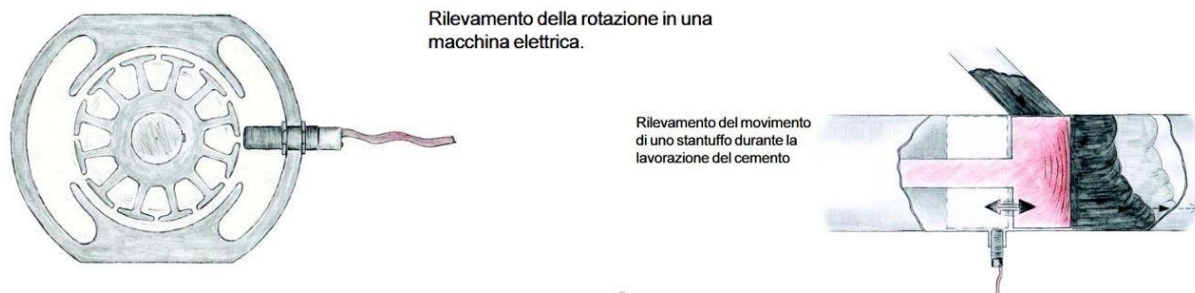


Figura 23 - Esempio applicativo di un trasduttore magnetoresistivo

Sono adatti per il rilevamento della velocità di rotazione ma anche per misure statiche (figura 23).

Trasduttore piezoelettrico

Il trasduttore con elemento sensibile di tipo piezoelettrico sfrutta l'originarsi di una polarizzazione elettrica su facce opposte di materiali sottoposti a sollecitazioni (stress) fisiche.

Alcuni materiali (quarzo, titanato di bario e litio) godono della proprietà di originare una differenza di potenziale elettrostatico se sottoposti a sollecitazioni meccaniche e inoltre variare le proprie dimensioni geometriche se sottoposti ad un campo elettrico (effetto piezoelettrico). Tali strumenti sono adatti solo per misure dinamiche di pressioni (fenomeni oscillatori di vibrazioni dell'ordine del kHz).

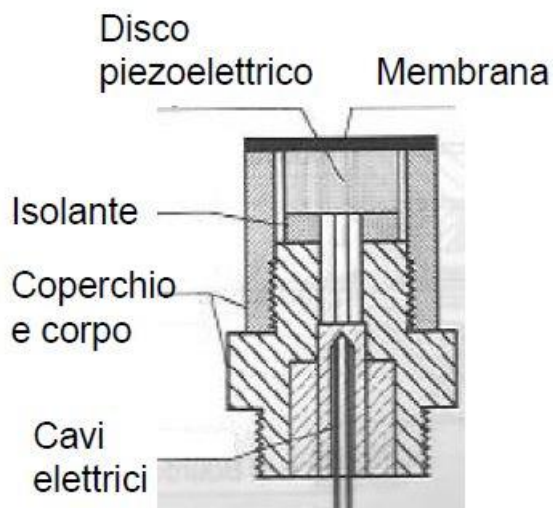


Figura 24 - Sezione di un trasduttore piezoelettrico

La pressione esercitata sulla membrana comporta una compressione dell'elemento piezoelettrico situato tra la stessa e l'elemento isolante. Tale compressione provoca una differenza di potenziale rilevabile ai capi di due fili conduttori solidali a due elettrodi posti sulle facce del disco di materiale piezoelettrico. La membrana è solitamente solidale ad un coperchio filettato finalizzato a garantire un precarico tale da ottenere frequenze naturali

differenti dalle frequenze della pressione dinamica agente sull'elemento sensibile evitando la risonanza del cristallo.

Trasduttore resistivo

Il trasduttore resistivo converte una grandezza fisica in una grandezza elettrica sfruttando la variazione di resistenza dell'elemento sensore.

Se si considera un conduttore di lunghezza l , sezione S e resistività ρ , la resistenza offerta al passaggio di corrente risulta essere pari a:

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

In particolare i trasduttori resistivi sfruttano la variazione di uno dei tre parametri per ottenere la misura della grandezza fisica:

- Trasduttori di spostamento quelli che sfruttano variazioni di l ;

- Trasduttori di deformazione sfruttano le variazioni di l/S ;
- Trasduttori di temperatura, umidità e portata sfruttano le variazioni di resistività.

Ogni trasduttore è caratterizzato da un insieme di parametri che ne specificano in maniera quantitativa e qualitativa le caratteristiche. A seconda del fenomeno fisico da misurare e delle particolari condizioni applicative, il progettista sceglie il trasduttore più adatto proprio sulla base dell'analisi delle suddette caratteristiche. Vediamo nel dettaglio.

Campo di misura o portata (range)

E' l'insieme dei valori che può assumere la variabile misurata entro il quale, se sono rispettate le condizioni operative, lo strumento funziona secondo le specifiche fornite (figura 25). Si esprime usualmente con una coppia di valori che identificano un minimo ed un massimo. In assenza di ulteriori dati, il campo di misura va assunto anche per definire i limiti fisici di impiego dello strumento allo scopo di evitare rotture o danneggiamenti. In alternativa, il costruttore può fornire informazioni sul campo di sicurezza, cioè l'insieme dei valori che lo strumento è in grado di rilevare senza che la funzionalità dello strumento venga alterata in modo permanente.

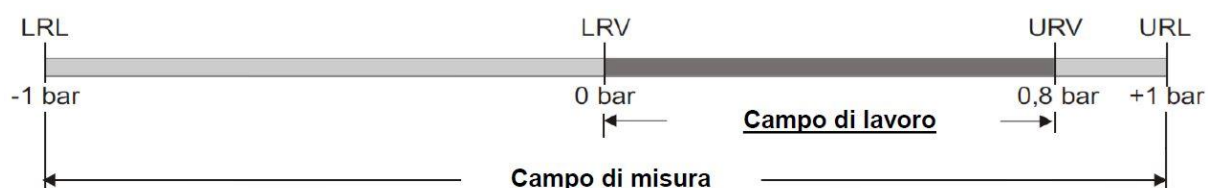


Figura 25 – campo di misura e campo di lavoro

LRL (Lower Range Limit) e URL (Upper Range Limit) definiscono i valori estremi del campo di misura (design range) mentre LRV (Lower Range Value) e URV (Upper Range Value) definiscono i valori estremi del campo di lavoro (operative range) dello strumento.

Si definisce SPAN la differenza algebrica tra i limiti superiore e inferiore del campo di lavoro.

Tempo di risposta

Questo parametro identifica il tempo impiegato dal trasduttore per adeguare la rilevazione della grandezza in ingresso al 90% del nuovo valore che essa assume quando tale grandezza subisce una variazione.

Il tempo di risposta si misura in secondi (s): questo parametro viene rilevato imponendo una variazione istantanea a gradino della grandezza fisica e rilevando il tempo impiegato dal trasduttore a rilevare il nuovo valore assunto dalla grandezza.

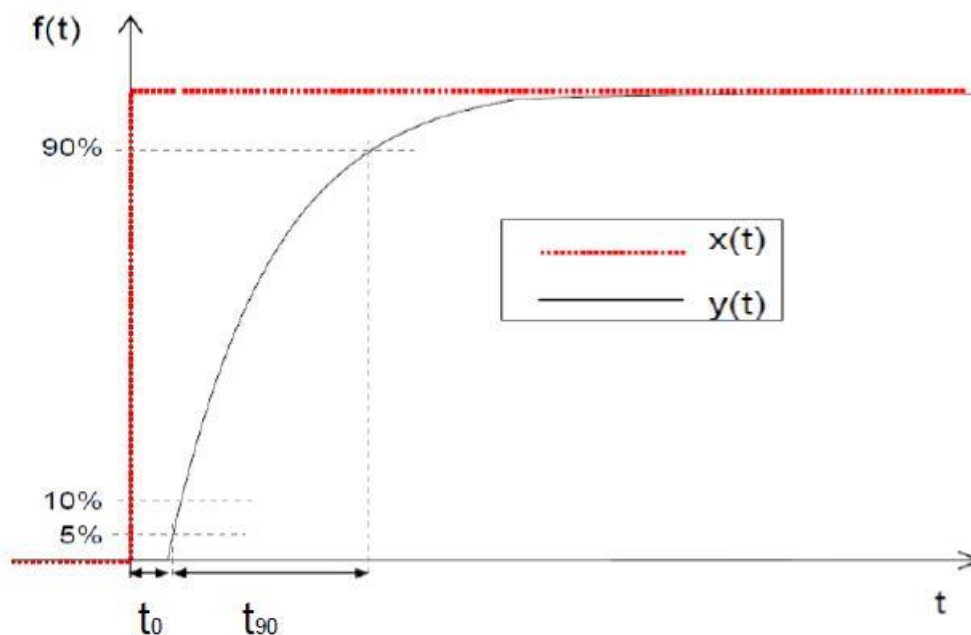


Figura 26 - tempo di risposta di un trasduttore

Il tempo di risposta si compone di:

- t_0 (tempo morto) → è il tempo che intercorre tra la variazione dell'ingresso e il momento in cui il sistema raggiunge il 5% del valore di regime; in questo intervallo il sistema non risponde e quindi tale tempo deve essere più piccolo possibile.
- t_{90} (tempo di salita) → è il tempo che il sistema impiega per passare dal 10% al 90% del valore di regime.

Sensibilità (sensività, guadagno)

La sensibilità (o sensitività, guadagno) è definita analiticamente come la derivata dell'uscita q_o rispetto l'ingresso q_i , e si può misurare come il rapporto tra la variazione dell'uscita Δq_o sulla variazione dell'ingresso Δq_i (figura 27). A parità di variazione della grandezza in ingresso, lo strumento più sensibile fornisce un'uscita maggiore.

$$\text{Sensibilità} = \frac{dq_o}{dq_i} \approx \frac{\Delta q_o}{\Delta q_i}$$

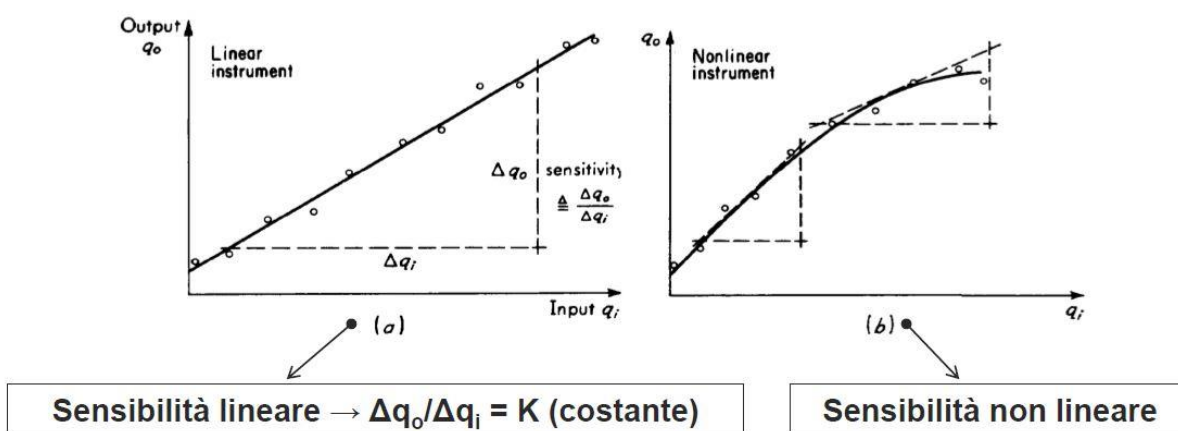


Figura 27 - sensibilità lineare e non lineare

Nello studio della qualità di uno strumento può assumere rilievo anche l'effetto che gli ingressi non desiderati, quali interferenze o modifiche di parametri non controllati, possono avere sulla sensibilità. Gli effetti negativi sulla sensibilità più frequenti sono:

- Deriva dello zero (Zero Drift): presenza di una lettura non nulla anche in mancanza di segnale in ingresso (offset);
- Deriva della sensibilità (Sensitivity drift): la sensibilità varia rispetto all'andamento nominale, che si verifica in determinate condizioni (ad esempio, di temperatura ambiente).

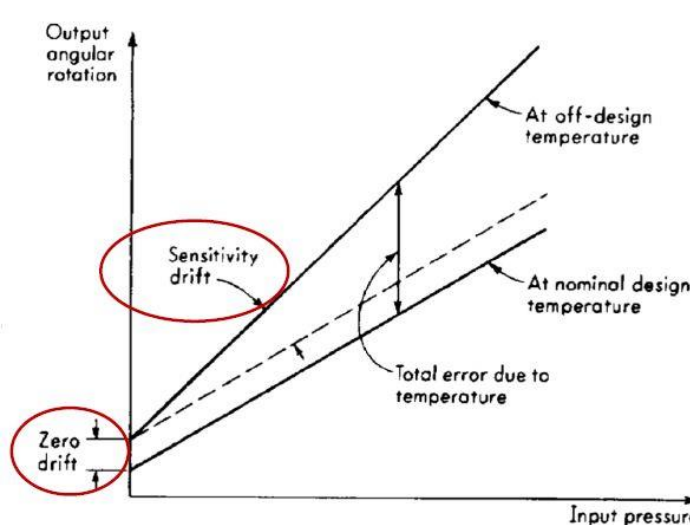


Figura 28 - esempi di zero drift e sensitivity drift

Isteresi (Hysteresis)

L'isteresi indica la tendenza di uno strumento di esibire valori di lettura diversi in corrispondenza dello stesso misurando, quando questo è fatto variare per valori crescenti o decrescenti (figura 29). L'isteresi è valutata come la massima differenza fra i valori della grandezza d'uscita corrispondenti al medesimo misurando, quando si considerano tutti i possibili valori entro il campo di misura, ed ogni valore viene raggiunto, prima partendo dall'estremo inferiore, poi partendo dall'estremo superiore.

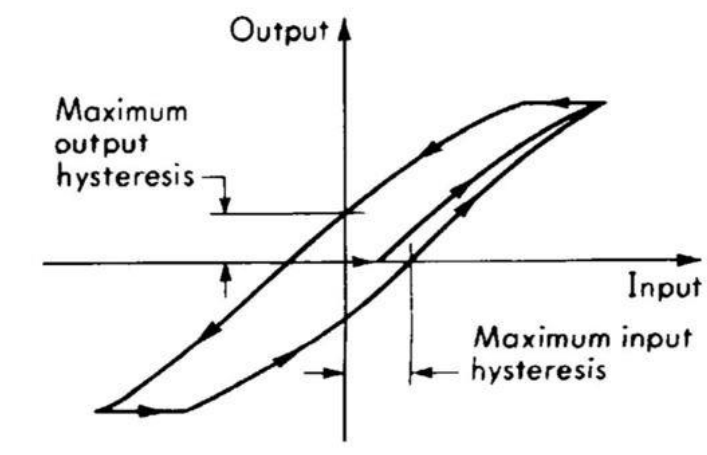


Figura 29 - grafico di isteresi

Risoluzione (resolution)

La risoluzione è definita come la minima variazione della grandezza in uscita che il trasduttore può fornire a fronte di una variazione della variabile in ingresso, valutata rispetto alla massima escursione che la stessa grandezza può assumere in uscita. Può essere espressa tramite l'equazione:

$$R = \frac{\Delta G_{out,min}}{\Delta G_{out,FS}}$$

dove la risoluzione R è il rapporto tra la variazione minima in uscita dallo strumento ($\Delta G_{out,min}$) e il range, la differenza tra valore di fondo scala e inizio scala ($\Delta G_{out,FS}$). Quindi si percepisce che minore è la risoluzione, migliore è la qualità dello strumento.

Nelle misure reali si presentano almeno due fonti in grado di limitare la risoluzione di uno strumento:

- Limitazioni strumentali: derivano dalla struttura interna dello strumento di misura e ne limitano la capacità a reagire a piccole variazioni del misurando. Le fonti di queste limitazioni sono il principio di funzionamento, la struttura fisica o la perfezione nella realizzazione (rumori di fondo dell'elettronica, bloccaggio per l'attrito tra componenti mobili, deformazione di parti mobili);
- Limitazioni di lettura: derivano dalla capacità di leggere le piccole variazioni sul visualizzatore dello strumento di misura. Le fonti di queste limitazioni dipendono sia dalla struttura della scala, che derivanti dalla capacità di lettura dell'operatore (numero di cifre significative, errore di parallasse, lunghezza della gradazione e dimensione dell'indice, esperienza dell'operatore nel leggere l'indice nella scala graduata).

Ripetibilità (repeatability)

La ripetibilità indica il grado di concordanza tra i risultati di misure ripetute dello stesso misurando, effettuate in condizioni estremamente controllate di misura e in un breve intervallo temporale.

La ripetizione di una misura, anche se effettuata lasciando immutate le metodologie di misura impiegate, non produce valori uguali ma affetti da una certa dispersione a causa di fonti di errore casuale non controllabili dall'operatore. Queste ultime sono un naturale effetto dell'impossibilità pratica di controllare alla perfezione tutte le infinite fonti di influenza. Quello che è fondamentale, nella pratica, è che le discordanze non siano così ampie da rendere la misura non significativa.

Riproducibilità (long term stability)

La riproducibilità è il valore che stima il grado di concordanza delle misurazioni fatte di un identico misurando al variare di uno o più parametri controllabili di prova.

Il concetto è molto simile e spesso intercambiabile con quello di stabilità di una misura ovvero la stima della dispersione delle misure di una stessa grandezza su un lungo periodo temporale. La riproducibilità può quindi essere intesa come capacità dello strumento di fornire la stessa misura anche quando impiegato in condizioni diverse da quelle strettamente nominali, facendo così intervenire tutte le modifiche della condizione di misura che possono presentarsi nell'uso normale (ad esempio, al variare di temperatura, umidità, pressione atmosferica).

RIPETIBILITA' vs RIPRODUCIBILITA': la procedura per la determinazione della riproducibilità è simile a quella per la definizione della ripetibilità, ma prevede che l'intervallo di tempo che intercorre fra le due ripetizioni della prova sia sufficientemente lungo da far variare le condizioni di impiego. La riproducibilità permette di stimare l'incertezza prodotta in una certa operazione di misura da cause accidentali frequenti.

Esempio: le norme ISO sulla taratura dei dinamometri richiedono che nel corso della valutazione della riproducibilità il sensore, che è uno strumento portatile, venga smontato e riposto almeno una volta nel suo imballo come se dovesse essere trasportato, prima della ripetizione delle misure.

Precisione e Bias

La precisione è una misura del grado di dispersione dei dati attorno al valore della media campionaria, ovvero la deviazione standard (o varianza).

La precisione è una caratteristica globale che considera la dispersione di valori prodotta da variazioni casuali non ripetibili e comprende simultaneamente tutti gli elementi trattabili in termini statistici. La dispersione dei dati attorno al valore medio viene spesso modellata attraverso delle funzioni di densità di probabilità limitate allo scopo di poter definire il valore massimo di perturbazione della misura.

Con il termine bias si intende lo scarto del valore medio di una serie di misure ripetute dal valore vero o valore atteso della grandezza fisica misurata.

Pertanto, se la precisione costituisce una stima dell'influenza dell'errore casuale, il bias coincide con l'errore sistematico dello strumento (figura 30).

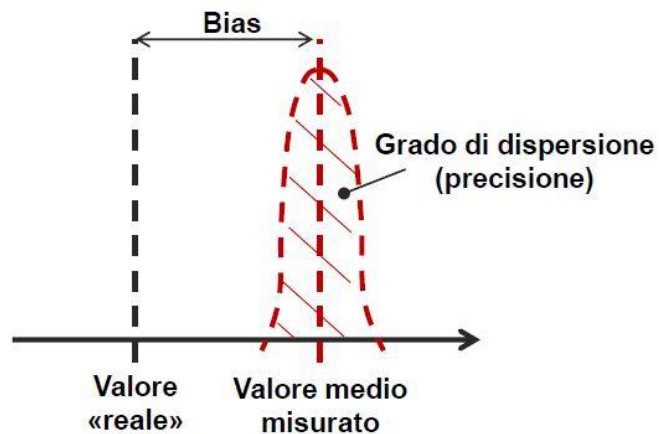


Figura 30 - rappresentazione di precisione e bias

Accuratezza

L'accuratezza è la caratteristica che definisce la capacità dello strumento di fornire una singola lettura vicina al valore effettivo della grandezza misurata.

L'accuratezza, pertanto, prende in considerazione sia la precisione che il bias, inglobandoli in un unico parametro. L'accuratezza è valutata quindi come il massimo scostamento tra il valor medio, desunto attraverso una o più misure, dal valore reale o, per meglio dire, da quello assunto come riferimento. L'accuratezza indica quindi l'errore di misura. Anche l'accuratezza, come la precisione, è una caratteristica globale. Nel caso di strumento calibrato, l'errore di bias può essere considerato nullo: in questo caso, quindi, accuratezza e precisione coincidono.

L'errore può essere espresso in termini di percentuale della lettura attuale o del fondoscala dello strumento.

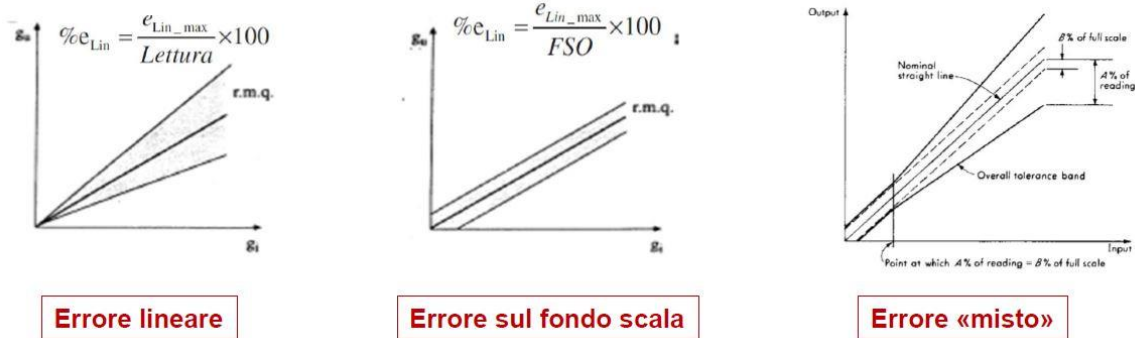


Figura 31 - errore lineare ed errore sul fondoscala

Nella definizione «mista» la percentuale del fondoscala viene adottata per definire il campo di linearità in prossimità dello zero, dove l'errore percentuale sulla lettura potrebbe essere alto. Mentre l'errore lineare viene adottato per la rimanente porzione del campo di lavoro.

Classe di precisione (precision class)

La classe di precisione C_p esprime un valore che rende confrontabile l'accuratezza di strumenti diversi e si esprime come rapporto tra errore di misura e fondoscala dello strumento:

$$C_p = \frac{|x_m - x_v|}{P * 100}$$

dove x_m è il valore misurato, x_v il valore reale e P il valore di fondoscala.

La tabella in figura 32 riporta varie classi di strumenti e il loro campo tipico di applicazione.

Classe	Errore a fondo scala	Applicazioni
5	±5,00%	Strumenti normali.
2.5	±2,50%	Strumenti normali.
1.5	±1,50%	Strumenti di precisione.
1.0	±1,00%	Strumenti di precisione per collaudi e verifiche.
0.5	±0,50%	Strumenti di precisione per misure di laboratorio.
0.3	±0,30%	Strumenti di precisione per misure di laboratorio.
0.2	±0,20%	Strumenti di grande precisione per misure di laboratorio.
0.1	±0,10%	Strumenti campione.
0.05	±0,05%	Strumenti campione.

Figura 32 - classi di precisione

Turn-Down (rangeability)

Il turn-down (TD) o rangeability è il rapporto tra il fondoscala e il minor valore, normalizzato all'unità, per il quale sono valide determinate caratteristiche di accuratezza e precisione dello strumento. Un valore elevato di rangeability è pertanto indice di applicabilità del sensore in un ampio campo di misura.

Ad esempio, un sensore di pressione differenziale con TD 20:1, con fondo scala di 1 bar e accuratezza dell'1% sul valore istantaneo, misura, con tale accuratezza, pressioni comprese tra 1 bar e 50 mbar.

IL SISTEMA DI ACQUISIZIONE DATI E CONTROLLO INDUSTRIALE

Le informazioni o i dati generati da un sistema di misura richiedono uno o più livelli di condizionamento per essere presentati all'osservatore esterno sotto forma di indicazione o registrazione. Pertanto, il compito primario di un sistema di acquisizione dati è quello di ottenere, in una forma consona e appropriata, dal sistema di misura le informazioni relative

alle grandezze fisiche che descrivono il comportamento del processo oggetto del sistema. I dati provenienti dal sistema di misura vengono opportunamente codificati e memorizzati, per essere poi rielaborati. E' qui sotto rappresentata (figura 33) una struttura a blocchi in cui ciascun blocco rappresenta un elemento funzionale di una catena di misura.

L'elemento sensibile primario, che riceve energia dall'ambiente, produce un segnale in uscita che è dipendente dal valore della grandezza fisica misurata.

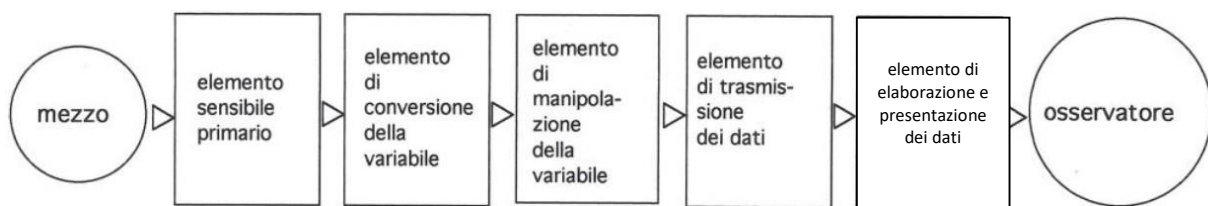


Figura 33 - schema a blocchi della catena di misura

Un buon elemento sensibile deve ridurre al minimo l'effetto intrusivo nell'ambiente in misura. Infatti una grandezza fisica risulta sempre disturbata all'atto della misura perché lo strumento interagisce energeticamente con il fenomeno in misura.

L'elemento di conversione della variabile fisica (come ad esempio uno spostamento) converte il segnale di uscita dall'elemento sensibile primario in un'altra variabile più adatta a preservare il contenuto di informazioni del segnale originario; ad esempio una conversione da segnale analogico a segnale digitale.

Nell'elemento di manipolazione della variabile viene condizionato il segnale. È un cambiamento del valore numerico secondo una regola stabilita, conservando però la natura fisica della variabile (amplificazione, filtraggio, isolamento e linearizzazione). Un elemento di manipolazione può anche precedere uno di conversione o ripetersi più volte nel corso della catena o non essere presente se la sua funzione non è richiesta.

L'elemento di trasmissione dati assolve la funzione di trasmettere le informazioni ai vari elementi funzionali quando questi sono fisicamente separati. Si può presentare sotto diverse forme a seconda della tipologia del processo: un sistema di leve, un albero, un cavo elettrico o un sistema di telemetria.

L'elemento di elaborazione e presentazione dei dati, comunica con l'osservatore. Di fatto traduce l'informazione in forma comunicabile. Prevede un sistema di indicazione (ad

esempio: un indice su una scala, un numero su un display, o una pagina video) ed un sistema di registrazione (ad esempio: su supporto magnetico). La fase di elaborazione dei dati può presentare diversi gradi di complessità: nella situazione più semplice l'elaborazione può consistere unicamente nella documentazione dell'evoluzione del fenomeno, ad esempio attraverso la visualizzazione su di un display della variazione di una certa grandezza nel tempo mentre nei casi più complessi, l'elaborazione conduce invece ad azioni specifiche di controllo e regolazione che intervengono sulla dinamica del processo e ne alterano l'evoluzione (come, ad esempio, in un sistema di controllo industriale). Lo strumento impiegato a tale scopo in ambito industriale è il PLC (Programmable Logic Controller).

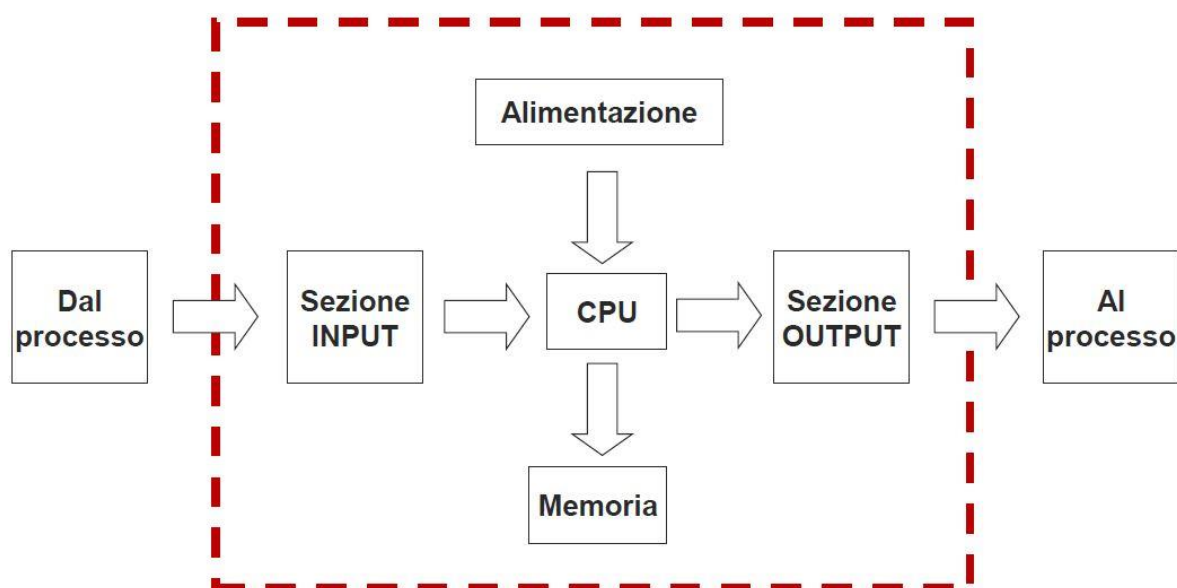


Figura 34 - Architettura hardware di un PLC

Il PLC (figura 34) è un dispositivo o sistema digitale elettronico che utilizza una memoria programmabile per memorizzare delle istruzioni atte ad implementare funzioni specifiche con una logica di controllo sequenziale; le funzioni principali sono temporizzazioni, conteggi e calcoli aritmetici. Il PLC opera secondo una logica di controllo sequenziale, ovvero:

1. Acquisisce tutti i segnali provenienti dagli strumenti presenti;
2. Salva le informazioni in ingresso in memoria (immagine);
3. Definisce, in base alla logica di programmazione (software), quali sono i valori in uscita;
4. Salva i valori in uscita in memoria;

5. Mette in opera le azioni derivanti dai valori salvati nella memoria in uscita.

In base ai dati rilevati dal sistema di controllo e regolazione ed alle logiche di regolazione prestabilite, il regolatore elabora un segnale (sotto forma di tensione, corrente, pressione, ...) da applicare all'attuatore. Un tipico esempio di attuatore è la valvola, ad esempio una valvola di regolazione, con attuatore elettrico o pneumatico, impiegata per modulare la portata di un fluido attraverso una tubazione o regolare la temperatura in ingresso ad una utenza. Questo argomento verrà trattato nel prossimo paragrafo.

Nella pluralità di applicazioni il tratto distintivo è la necessità di acquisire, in maniera appropriata, grandezze fisiche che descrivano il processo studiato. I dati che scaturiscono dalla misura stessa, opportunamente codificati e memorizzati, sono quindi soggetti alla successiva elaborazione, che, nella situazione più semplice può consistere unicamente nella documentazione dell'evoluzione del fenomeno, oppure può condurre ad attuare azioni specifiche di controllo che alterano l'evoluzione successiva del processo, come tipicamente avviene nei controlli industriali.

Acquisizione dati su piattaforma PC

Per ottenere dei risultati corretti da un sistema per l'acquisizione dati su piattaforma personal computer si deve prestare una notevole cura ad una serie di aspetti che coinvolgono tutta la catena d'acquisizione dati (figura 35).

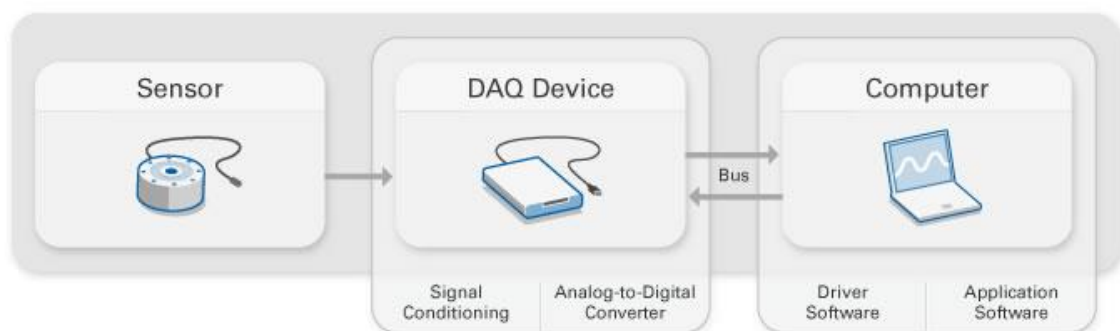


Figura 35 - Acquisizione dati tramite PC

Il computer impiegato nella catena d'acquisizione dati può influire in maniera rilevante sulla velocità alla quale si può effettuare la detta acquisizione in maniera corretta. L'odierna

tecnologia utilizza prevalentemente microprocessori di classe Pentium e PowerPC, collegati ad un'architettura di bus molto efficiente. Qualora si voglia realizzare una acquisizione dati remota, si devono collegare i vari elementi della catena di acquisizione alla scheda installata sul computer, attraverso sistemi di comunicazione seriali tipo RS-232 o come i più moderni RS-485 o USB. In tali applicazioni, la velocità di trasferimento dei dati è limitata proprio da questi sistemi seriali di comunicazione. La corretta scelta del bus I/O (Input/Output) e della parte di comunicazione seriale rivestono notevole importanza nei sistemi di acquisizione dati.

Un personal computer (PC) può trasferire i dati dal disco alla CPU (Central Processing Unit), dalla CPU alla memoria, o dalla memoria al display. Un computer non può permettersi di avere differenti circuiti per le comunicazioni tra le varie periferiche. Utilizzare un interruttore meccanico, come per i vecchi sistemi telefonici, sarebbe però troppo lento.

La soluzione migliore è l'impiego di un bus. Il bus è un set comune di fili che connette tra loro tutte le periferiche del computer e tutti i chips. Alcuni di questi fili sono utilizzati per trasmettere dati e altri trasmettono un numero ("l'indirizzo") che identifica una periferica particolare o una ubicazione nella memoria. Il computer controlla i segnali portati da questi fili e risponde quando ritrova il numero - indirizzo corrispondente. Quindi trasferisce i dati sugli altri conduttori.

Nel 1984 l'IBM introduceva sul mercato il suo PC, modello A (il termine "A" è un marchio di fabbrica dell'IBM). La CPU, la memoria ed il bus di input/output viaggiavano tutti alla stessa velocità, con un clock di 8 MHz. e questo bus di input/output è noto come ISA (Industry Standard Architecture).

Attualmente ogni PC sul mercato ha alcuni slot ISA. Il bus e le schede sono semplici e poco costose. L'ISA è una interfaccia a 16-bit, che può trasferire solo due byte alla volta. Il bus ISA viaggia a soli 8 MHz. Questo non è un problema per le periferiche lente come il modem, la stampante, la scheda audio, mentre è sicuramente lento per un rapido accesso al disco fisso e per i moderni sistemi operativi tipo Windows 95/98/2000/NT.

Le nuove schede EISA possono trasferire dati a 32 bit e quindi quattro byte per operazione. Per rimanere compatibili con le vecchie schede, però, l'EISA viaggia ancora a 8 MHz.

L'attuale standard è il bus PCI sviluppato da Intel. Il bus PCI è una interfaccia a 64 bit in un ambiente a 32 bit. Questo bus viaggia a 33 MHz e può trasferire 32 bit di dati (quattro bytes) per ogni tick dell'orologio. Il bus PCI ha tutti i segnali del vecchio ISA. Questo permette ad un adattatore PCI di emulare un equipaggiamento più vecchio. Mentre i bus ISA ed EISA erano esclusivamente per PC, il bus PCI è impiegato anche in sistemi Macintosh e PowerPC.

Per quanto concerne ancora i PC è opportuno inoltre conoscere anche le diverse procedure di trasferimento dati, che possono essere di tipo interrupt, programmed I/O, e la tecnologia plug and play.

Un bus input/output è analogo a un bus tra la CPU, la logica di controllo della scheda madre, e la memoria. Tutti i tipi di bus, come abbiamo già ricordato, hanno fili d'indirizzo e fili che trasmettono dati. Entrambi i bus devono determinare se un'operazione è riferita alla memoria o ad un indirizzo di input/output (I/O); devono distinguere tra operazioni a 8 bit, a 16 bit e a 32 bit e devono poter introdurre degli "wait states" per rallentare la CPU quando un'apparecchiatura ha bisogno di più tempo per completare un'operazione.

L'interrupt è una modalità operativa dell'elaboratore o del microprocessore e consiste nell'interruzione del normale flusso di elaborazioni conseguente a precise richieste esterne o interne al dispositivo stesso. In corrispondenza di un interrupt, il microprocessore opera nel modo seguente: interrompe il flusso normale di elaborazione, pur terminando di eseguire l'istruzione corrente, cioè quella che stava eseguendo al momento dell'arrivo dell'interrupt; pone il contenuto della elaborazione nel contatore di programma, cioè pone l'indirizzo dell'istruzione successiva in una parte di memoria che viene gestita come una pila; quindi esegue la richiesta relativa all'interrupt ed, espletato questo compito, ripone nel contatore di programma l'indirizzo e riprende l'elaborazione normale. La tecnologia "plug and play", permette una configurazione rapida ed efficiente delle nuove periferiche installate sul computer.

COMUNICAZIONI INDUSTRIALI: Tra due elaboratori elettronici, la comunicazione può avvenire attraverso due tipi di connessione: connessione parallela e connessione seriale.

Nella connessione parallela i dati vengono scambiati attraverso un canale costituito da un certo numero di linee in parallelo, ognuna delle quali trasporta un bit. Di conseguenza più bit vengono trasmessi contemporaneamente. Nelle connessioni seriali il canale è costituito da

una sola linea e i bit vengono trasmessi in sequenza, dedicando una finestra temporale ad ogni singolo bit da trasferire.

Entrambi i tipi di comunicazione richiedono la sincronizzazione tra trasmettitore e ricevitore. In altri termini il ricevitore deve conoscere l'intervallo di tempo durante il quale il contenuto del canale dati è valido.

Il metodo standard di comunicazione tra elaboratori, per le acquisizioni remote è la comunicazione seriale asincrona. Le comunicazioni seriali asincrone sono generalmente implementate con il Recommended Standard (RS). Lo standard, di solito, definisce il livello dei segnali, la massima larghezza di banda, i pin-out del connettore e le caratteristiche elettriche della linea seriale. Descriviamo ora brevemente alcuni dei più comuni standard attualmente in uso. Il livello di tensione che è definito è tipico e può variare in funzione delle caratteristiche della linea. Tutte le interfacce accettano un range di parametri sia elettrici che fisici, e possono anche funzionare se alcuni di questi eccedono, se le linee lo permettono.

LO STANDARD RS-232: probabilmente è il sistema più ampiamente utilizzato per le comunicazioni industriali. La sua specificazione è stata rivisitata più volte e attualmente è in vigore la terza versione, indicata o con RS-232C. La configurazione più comune prevede un connettore a 25 pin (figura 36), anche se si possono trovare su piattaforma IBM connettori a 9 pin. Lo standard RS-232 è in grado di operare ad un data rates superiore ai 20 Kbps / 15 m (kilo bit per secondo).



Figura 36 - bus seriale rs-232 a 25 pin

Lo standard RS-232 definisce il significato dei differenti segnali seriali e assegna ad ognuno di essi un pin, secondo lo standard del connettore seriale (DB25) a 25-pin. Fortunatamente, nello standard di comunicazione solo 9 di questi pin sono importanti, dall'1 all'8 e il numero 20.

Non sempre, quando si utilizza l'RS-232, si utilizzano tutti i pin. Quindi, qualche volta, dei pin del connettore DB-25 non trasportano alcun segnale, sono in pratica disconnessi.

Le specifiche dello standard RS-232 definiscono la massima lunghezza che può avere un cavo seriale: tale lunghezza è di 22,8 m alla velocità di trasmissione di 9600 bps.

Esistono tre importanti fattori che limitano l'impiego del RS-232. Uno di questi, come abbiamo detto, è la distanza. Gli altri fattori sono ora descritti:

Data rate: limiti del data rate sono legati direttamente alla capacità del cavo. Le specifiche RS-232 definiscono per il circuito di ricezione una impedenza d'ingresso alta (l'impedenza deve essere tra 3000 ohms e 7000 ohms). Questa impedenza limita il rate al quale la capacità del cavo può essere caricata e scaricata. Sui fili conduttori isolati nascono delle distorsioni sul segnale. Ad alti data rates, queste distorsioni diventano una parte rilevante del segnale. Le specificazioni RS-232 affermano che la più alta velocità sostenibile senza errori è di 20.000 bits per secondo.

Noise: il rumore può distorcere e cambiare il valore di un segnale binario trasportato su di un cavo. Esistono due possibili cause di rumore: internal, che nasce se il conduttore non ha resistenza nulla (0 ohm) e induce un calo di tensione nel cavo che è rilevato dal ricevitore; ed external, per i segnali raccolti da luci, motori, trasmettitori radio.

Entrambe queste cause di rumore sono incrementate per dei cavi lunghi, che si comportano come delle antenne. Tale rumore può essere ridotto utilizzando dei cavi schermati.

LO STANDARD RS-485: Lo standard RS-485, che riguarda le specifiche per circuiti di interfaccia digitale, consente di impiegare dei cavi di lunghezza superiore ai 1220 m e possiede un data rates superiore al megabit per secondo. Il livello del segnale per l'RS-485 è tra 0 e +5 volts. L'RS-485 ha delle caratteristiche elettriche che permettono a 32 driver e a 32 ricevitori di connettersi alla stessa linea. L'interfaccia è quindi ideale per una rete. I trasmettitori dispongono di sistemi di protezione che garantiscono l'integrità dell'RS-485 anche in casi di accesso contemporaneo alla linea da parte di più driver. Solo un driver può essere attivo in un dato momento, mentre gli altri sono in uno stato di attesa.

USB (Universal Serial Bus): L'Universal Serial Bus (USB) è una specifica aperta che ha significato un notevole passo avanti nel collegamento di periferiche differenti ad un unico personal computer. È stato sviluppato da un gruppo di industrie leader nel settore informatico tra cui

Compaq, DEC, IBM, Intel, Microsoft, NEC e Northern Telecom. La specifica USB include una standardizzazione dei connettori e dei cavi, una topologia per una connessione esterna di più di 127 apparecchiature periferiche, e un protocollo per la rilevazione e configurazione automatica delle periferiche stesse. Può supportare due differenti velocità di bus, una velocità bassa per periferiche come il mouse, e una alta velocità (più di 12 Mbps) per collegare periferiche che richiedono prestazioni più elevate come per la comunicazione o la compressione video di immagini.

Attualmente tutti i maggiori produttori di personal computer producono con la tecnologia USB. Nei prossimi anni, quindi, tutte le periferiche esterne dei personal computer avranno uno stesso comune sistema di collegamento.

Prima dell'avvento di tale tecnologia l'inserimento di nuove periferiche era accompagnato da numerosi problemi legati alla corretta configurazione delle stesse. L'Universal Serial Bus ha definitivamente risolto tutti questi problemi così che installare nuove periferiche è diventato decisamente più semplice attraverso i seguenti accorgimenti:

- è impiegata una connessione esterna, così che delle apparecchiature esterne possono essere aggiunte senza rimuovere il coperchio esterno del personal computer (PC).
- si può eseguire un collegamento a "caldo" delle periferiche, cioè si possono inserire o disinserire le periferiche stesse mentre il personal computer è funzionante.
- una apparecchiatura è automaticamente rilevata e configurata impiegando il protocollo standard dell'USB e un opportuno driver del sistema operativo.
- l'assegnazione delle risorse del sistema è trasparente all'installatore e all'utente finale.

La tecnologia USB permette, praticamente, una possibilità notevolissima di espansione, avendo a disposizione più di 127 indirizzi differenti di periferiche. Si possono collegare tra di loro più apparecchiature fino ad una catena di lunghezza massima di 30 metri dal personal computer fino all'ultimo nodo delle periferiche. La velocità di trasferimento è al massimo di 12 milioni di bit per secondo. Per le apparecchiature a bassa velocità il bus può viaggiare a 1/8 della massima velocità, risulta quindi una velocità nominale di 1,5 Mbps.

Le apparecchiature USB possono essere "self-powered" o "bus-powered". Le apparecchiature "self-powered" ricevono la necessaria energia da una sorgente indipendente dall'USB, per

esempio impiegando una batteria o un trasformatore AC-DC (corrente alternata-corrente continua). Le apparecchiature che necessitano di meno di 500 milliamperes (mA) possono essere alimentate dall'USB, impiegando la tensione nominale di 5 volt in corrente continua disponibile sul secondo paio di fili del cavo.

Altri aspetti, legati al personal computer, che possono limitare notevolmente la velocità dell'acquisizione dati sono la capacità e il tipo di hard disk. Il tempo di accesso al disco e la frammentazione dell'hard disk possono significativamente ridurre la massima velocità alla quale i dati sono acquisiti e memorizzati sul disco stesso.

Un altro aspetto cruciale nella scelta del personal computer è la corretta valutazione del sistema operativo che si intende utilizzare. È sicuramente opportuno saper guardare al futuro per determinare quale sistema operativo e quale piattaforma per computer permetteranno di avere il più lungo tempo di recupero per l'investimento effettuato e, nel contempo, saranno in grado di raggiungere gli obiettivi richiesti a breve termine. I fattori che possono influenzare la scelta sono, generalmente, l'esperienza e le necessità dei softwaristi e degli utenti finali del sistema.

Acquisizione in analogico e acquisizione in digitale

In figura 37 viene riportato lo schema di controllo e regolazione di un impianto industriale in cui l'acquisizione dei dati letti dai vari trasduttori viene effettuata tramite segnali analogici. La peculiarità di questo tipo di acquisizione è che il condizionamento del segnale viene effettuato in sala controllo e quindi ogni doppino di ogni strumento deve necessariamente arrivare in questa stanza; in impianti molto grandi ciò comporta una grande quantità di cavi elettrici in sala di controllo.

In figura 38, invece, viene riportato lo schema di controllo e regolazione di un impianto industriale in cui l'acquisizione dei dati letti dai vari trasduttori viene effettuata tramite segnali digitali. La peculiarità di questo tipo di acquisizione è che il condizionamento del segnale viene effettuato in "campo". Perciò in sala controllo arriverà un solo cavo, chiamato in gergo tecnico bus di campo.

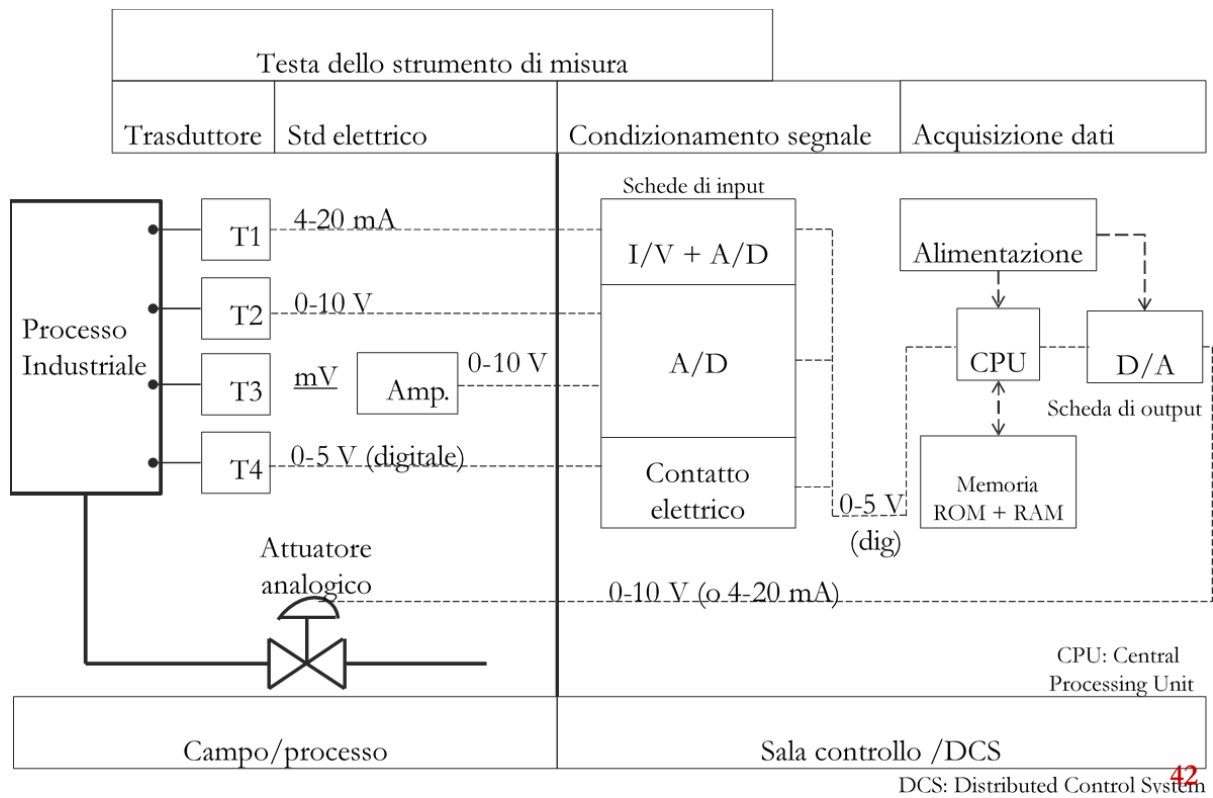


Figura 37 - Acquisizione in analogico

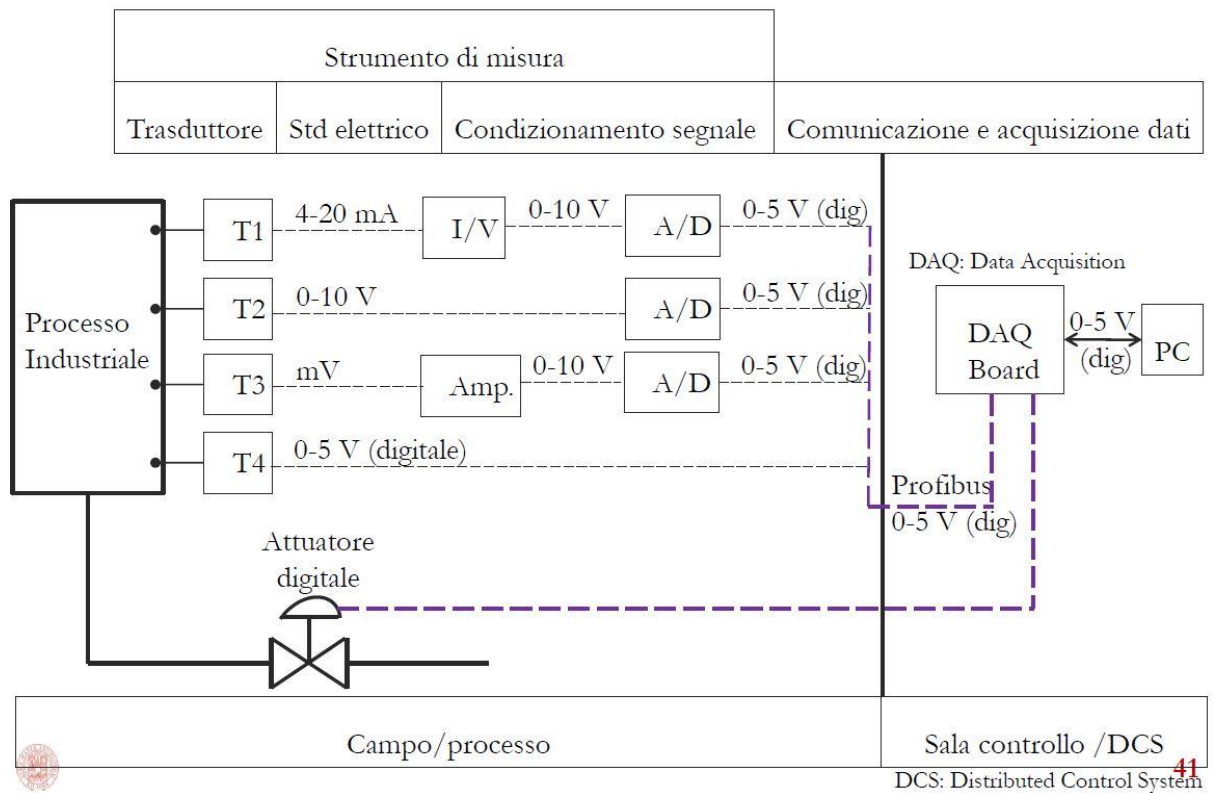


Figura 38 - Acquisizione in digitale

PROTOCOLLO PROFIBUS: Profibus è l'acronimo di Process Field Bus. Si tratta di un bus di campo (field bus, ovvero di un protocollo di comunicazione standardizzato) messo a punto nel 1989 da un consorzio di diverse aziende. Profibus non è altro che una rete di comunicazione utilizzata per connettere un master (come un PLC o un PC) a strumenti e/o attuatori remoti. La rete Profibus permette la riduzione del cablaggio richiesto tra i nodi costituenti la rete in quanto necessita del posizionamento di un unico cavo (figura 39).

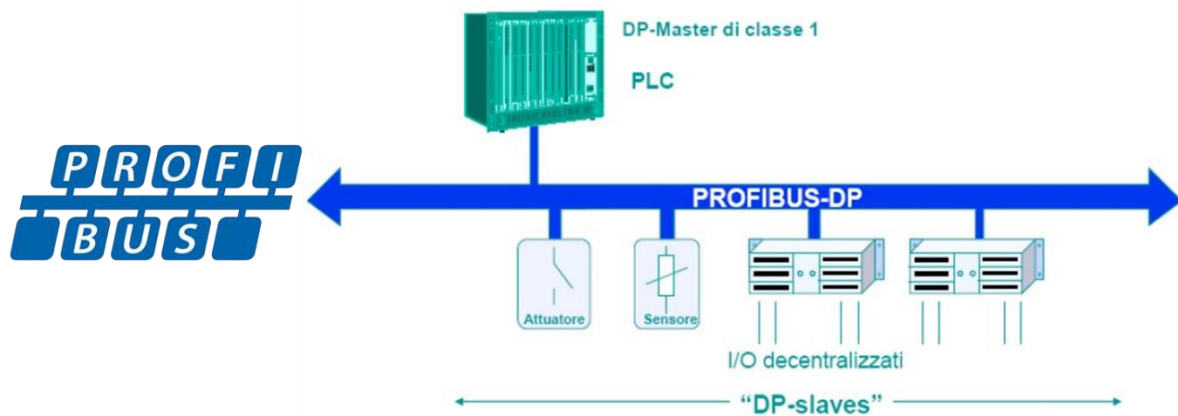


Figura 39 - protocollo Profibus

Vantaggi della comunicazione digitale rispetto a quella analogica:

- più informazioni sullo stesso cavo: il doppino analogico è in grado di trasferire solo il segnale della variabile misurata, mentre con la comunicazione digitale possono essere trasferite più informazioni;
- comunicazione bidirezionale: attraverso la comunicazione digitale si possono ricevere informazioni e anche inviarne dal master allo slave;
- riduzione del rumore elettrico: essendo il segnale discretizzato e non continuo è possibile ridurre l'impatto del rumore elettrico andando a confrontare i livelli di tensione sui due cavi;
- un solo doppino: nella comunicazione analogica è necessario stendere un doppino elettrico per ogni strumento, mentre nella digitale (Profibus) con un solo doppino si riescono a mettere in comunicazione fino a 137 slave;
- maggiore isolamento: dovendo stendere un solo doppino è possibile prevedere un isolamento maggiore in termini di rumore elettrico e agenti atmosferici;
- minori ingombri: la minor quantità di cavi incide anche sugli ingombri soprattutto in sala comando dove convergono tutti i cavi;

- minore manutenzione: a causa della minore numerosità e maggiore robustezza, azioni di manutenzioni sono molto meno frequenti e anche molto più facili da effettuare.

La funzione più importante del Profibus è quella di permettere uno scambio ciclico di messaggi tra i dispositivi di campo e l'unità centrale di controllo. Il sistema include stazioni attive e passive. In totale possono essere indirizzate 127 stazioni, delle quali solo 32 attive.

Le stazioni attive controllano l'accesso al bus di campo. Il passaggio da una stazione attiva all'altra viene gestita con il passaggio del «token», cioè del permesso per l'accesso al bus mentre le stazioni passive sono neutrali e trasmettono dati solo quando interrogati da una stazione attiva (figura 40).

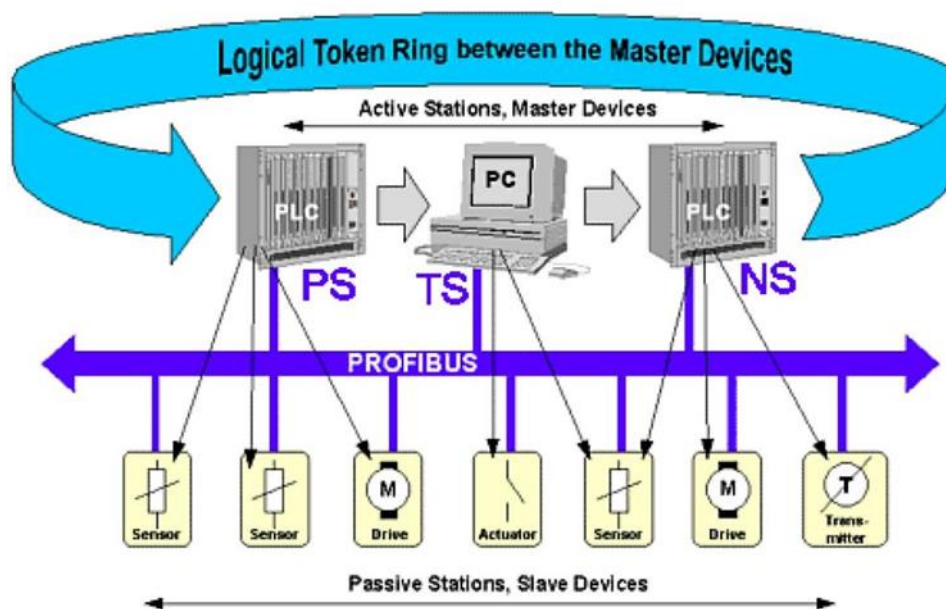


Figura 40 - stazioni attive e passive del profibus

PROTOCOLLO HART: L'HART (Highway Addressable Remote Transducer) Protocol offre due canali di comunicazione simultanei: il segnale analogico 4-20 mA e un segnale digitale. Il segnale 4-20 mA comunica la variabile di processo primaria. Le ulteriori informazioni sullo strumento sono invece comunicate utilizzando un segnale digitale sovrapposto al segnale analogico (figura 41).

Il segnale digitale contiene informazioni dal dispositivo compreso lo stato del dispositivo, la diagnostica, ulteriori variabili misurate o calcolate, ecc...

Insieme i due canali di comunicazione offrono una soluzione di comunicazione di campo completa, poco costosa e molto robusta che è facile da utilizzare e configurare.

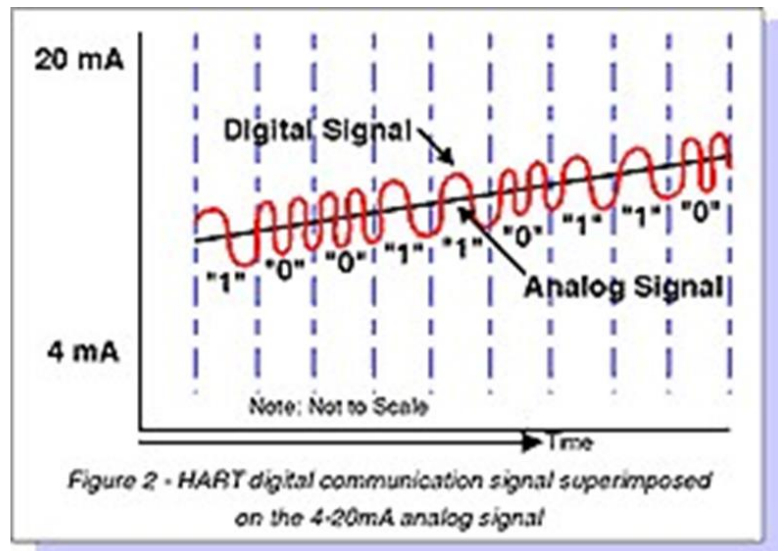


Figura 41 - protocollo di comunicazione HART

ATTUATORI E VALVOLE DI REGOLAZIONE

Valvole

Col nome di organi di intercettazione e regolazione si intendono tutti quei dispositivi, detti comunemente valvole (figura 42), che hanno la funzione di intercettare o regolare il flusso dei fluidi nelle tubazioni. Questi dispositivi sono realizzati nelle forme e nei materiali più svariati ed è quindi importante sceglierne il tipo più adatto in relazione alle caratteristiche d'impiego.

Nello sviluppo di un progetto di impianto questa scelta occupa un posto quanto mai importante perché la conduzione dell'impianto, essendo effettuata in gran parte mediante manovre eseguite dalle valvole installate sul piping, dipende essenzialmente dalle loro prestazioni.

Analizziamo le componenti della valvola:

- Corpo valvola: è la struttura principale della valvola, in cui sono ricavati i passaggi destinati allo scorrimento del fluido.

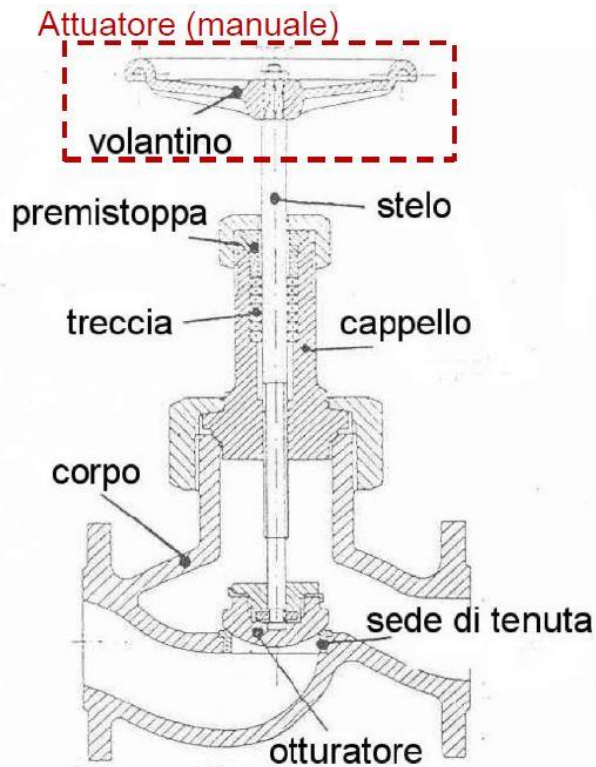


Figura 42 - sezione di una valvola

- Cappello: chiude l'apertura attraverso la quale vengono introdotti nel corpo valvola gli organi interni della valvola (otturatore e sede di tenuta) e gli organi destinati al comando dell'otturatore.

- Stelo: è l'elemento di comando dell'otturatore. Passa attraverso il cappello e deve essere dotato di un sistema di tenuta (treccia e premistoppa).

- Otturatore: è il componente mobile, solidale allo stelo, che modifica la sezione di passaggio del fluido fino a chiuderla/aprirla totalmente.

- Sede di tenuta: componente solidale col corpo della valvola (al quale è collegato

solitamente mediante filettatura). Al termine della sua corsa l'otturatore si appoggia sulla sede di tenuta, determinando la intercettazione del flusso attraverso la valvola.

- Attuatore: dispositivo atto a generare il movimento dello stelo. In Figura è mostrato un attuatore manuale (volantino), ma l'attuatore può anche essere di tipo automatico (ad esempio, pneumatico, elettrico, ...).

A seconda del tipo di attuatore le valvole si possono distinguere in:

- Valvola manuale;
- Valvola automatica: attuatore di tipo elettrico, pneumatico, elettropneumatico, elettroidraulico, ad azione diretta del fluido (valvola di non ritorno a clapet);

Le valvole possono essere classificate anche per il tipo di funzione:

- Valvola di intercettazione: la funzione è quella di favorire il completo passaggio del fluido (valvola aperta) o l'arresto del fluido (valvola chiusa).
- Valvola di regolazione: l'otturatore varia la propria posizione tra quelle di chiusura e apertura. Così facendo, è possibile variare pressione e portata del fluido.

A loro volta le valvole di regolazione possono essere:

- A flusso avviato;
- A flusso libero (figura 43).

Nelle valvole a flusso avviato il movimento dell'otturatore è perpendicolare alla direzione di passaggio convenzionale del fluido nella valvola. A tale scopo i condotti interni della valvola sono sagomati in modo da guidare il fluido verso la parte inferiore dell'otturatore, cioè con senso dal basso verso l'alto, oppure verso la parte superiore, cioè con senso dall'altro verso il basso, facendogli comunque compiere una curva di circa 120° ed inviarlo con un'altra curva di 120° , verso la sezione di uscita. Pertanto, le valvole a flusso avviato presentano un percorso del fluido sinuoso e con frequenti cambiamenti dell'area della sezione di passaggio. D'altro canto, la valvola risulta compatta ed ha ridotti ingombri in senso longitudinale alla tubazione.

Nelle valvole a flusso libero il movimento dell'otturatore è inclinato a 45° rispetto al senso di passaggio convenzionale del fluido nella valvola. Questa soluzione, applicabile solo a valvole a via diritta, consente di ridurre in misura rilevante le perdite di carico, evitando totalmente i cambiamenti di direzione e riducendo le variazioni di sezione. A completa apertura, le valvole di questo tipo presentano un passaggio pressoché rettilineo. Ciò offre anche la possibilità di ispezionare la linea oltre la valvola senza doverla rimuovere e di poter introdurre sonde o altri attrezzi attraverso la valvola stessa. Di contro, la presenza dell'otturatore inclinato aumenta notevolmente l'ingombro della valvola in senso longitudinale alla tubazione.

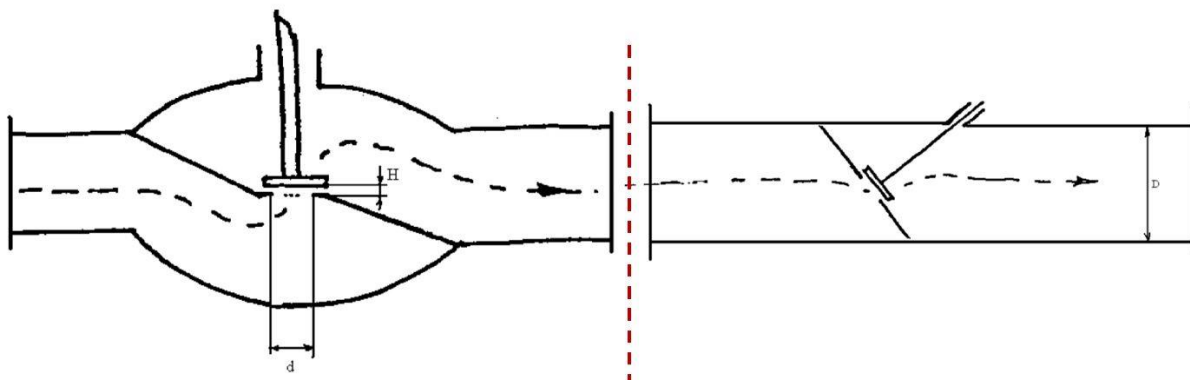


Figura 43 - valvola a flusso avviato (sinistra) e a flusso libero (destra)

La valvola si può distinguere anche in base alla forma dell'otturatore. Le due principali tipologie di otturatore sono:

- Otturatore a disco: rappresenta il tipo più diffuso, e consente una buona regolazione.
- Otturatore a spillo (o ad ago): questa tipologia, largamente impiegata solo per piccoli diametri e per regolazioni precise, è caratterizzata dalla forma conica o tronco conica dell'otturatore. La forma dell'otturatore permette di ottenere piccole variazioni della sezione di strozzamento della valvola con grandi spostamenti dell'otturatore.

Sagomando opportunamente la geometria dell'otturatore è possibile determinare la caratteristica di regolazione della valvola, che, ricordiamo, è determinata dalla variazione della portata (o della perdita di carico) in funzione della corsa dell'otturatore. Di seguito sarà illustrato come la geometria dell'otturatore vada ad influenzare la capacità di regolazione della valvola (figura 44).

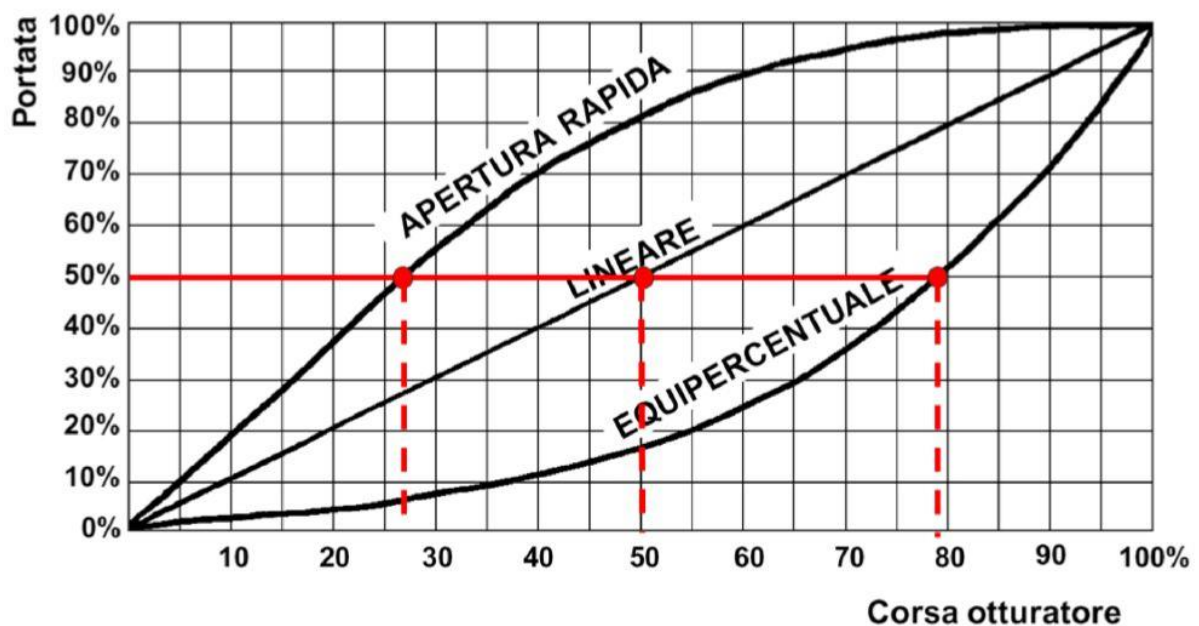


Figura 44 - la forma dell'otturatore incide sulla curva di portata della valvola

Apertura rapida (otturatore a piattello): l'incremento della portata avviene quasi esclusivamente nella prima porzione di apertura dell'otturatore dopo di che ulteriori incrementi della corsa determinano aumenti di portata quasi trascurabili. Per questo motivo l'otturatore a piattello viene anche detto otturatore ad apertura rapida. Viene generalmente

usato per controlli tutto-niente, in cui si desidera una portata più o meno costante oltre un certo grado di apertura della valvola.

Apertura lineare: Con questo otturatore si ottiene la linearità tra la corsa dell'otturatore e la portata che quindi risulta proporzionale al grado di apertura della valvola. Gli otturatori a caratteristica lineare si usano quando la pressione differenziale in esercizio non subisce apprezzabili variazioni oppure in processi con limitate variazioni di portata. Il profilo dell'otturatore è normalmente di tipo parabolico.

Apertura equipercentuale: Con questo otturatore ad uguali incrementi della corsa di apertura corrisponde una percentuale costante di aumento della portata a parità di pressione differenziale. Ad esempio, passando da 37,5 a 55% (+17,5% corsa valvola), si passa dal 10 al 20% (portata) cioè un incremento del 100%; da 55% a 72,5 % (ancora +17,5% corsa valvola) vado da 20 a 40% (+100%). La valvola eroga così la maggior parte della portata nell'ultima frazione di apertura. Gli otturatori equipercentuali vengono usati nelle applicazioni in cui si ritiene opportuno, per motivi di sicurezza, lasciare all'ultimo tratto di apertura della valvola gran parte dell'incremento di portata.

Attuatori Pneumatici

In generale gli attuatori sono gli organi finali di un sistema automatico. Essi trasformano una energia (elettrica o di pressione di un liquido o di un gas) in lavoro meccanico. Nel primo caso si parla di motori elettrici, nel secondo caso di attuatori idraulici e nel terzo caso di attuatori pneumatici. Gli attuatori pneumatici si dividono in due categorie: i cilindri ed i motori. I primi eseguono movimenti alternativi e di ampiezza limitata, mentre i secondi eseguono rotazioni continue. I motori pneumatici sono usati come utensili avvitatori o trapani, ecc. Il cilindro pneumatico è di solito l'elemento di lavoro dell'impianto pneumatico. Esso deve realizzare spostamenti lineari, suddivisi in corse di spinta e di tiro e trasforma l'energia di pressione dell'aria in lavoro meccanico (forza di spostamento e di

schiacciamento). Il cilindro può avere, entro il suo ciclo di lavoro, anche funzioni di comando. Il cilindri pneumatici possono essere a semplice effetto oppure a doppio effetto.

Il cilindro a semplice effetto (figura 45) può eseguire un determinato lavoro soltanto in un senso del movimento. Esistono cilindri a semplice effetto di vari tipi, anche molto diversi tra loro. Una delle esecuzioni più semplici è il cilindro a membrana chiamato talvolta anche servomotore a diaframma. Tra due tazze metalliche imbutite viene montata una membrana di gomma dura, materiale plastico oppure metallo. L'asta pistone è fissata al centro della membrana e può avere anche una forma piatta per poter servire direttamente come superficie di spinta o di serraggio. Con cilindri a membrana si possono eseguire solo corse brevissime sino ad un massimo di circa 50 mm. Una molla di richiamo installata internamente esegue il ritorno. Per corse più brevi il ritorno avviene tramite l'elasticità della stessa membrana. Screpolature oppure tagli mettono la membrana rapidamente fuori uso, perché il materiale flessibile è soggetto a carichi elevati durante ogni singola corsa. Nel caso di smontaggio occorre pertanto una particolare attenzione per non urtare spigoli vivi. Possono divenire pericolosi anche trucioli che si infiltrano nella custodia.

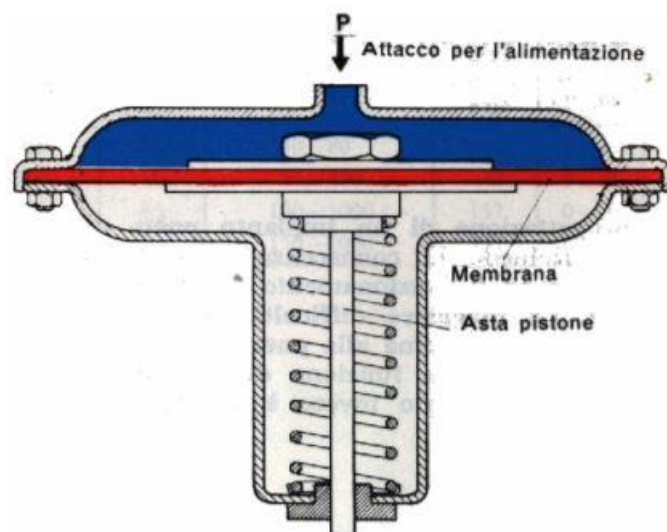


Figura 45 - servomotore a diaframma

Questo attuatori possono essere installati al di sopra delle valvole di regolazione per renderne automatico il movimento di apertura e chiusura. Il servomotore o testata pneumatica ha la funzione di trasformare il segnale pneumatico in un movimento uniforme e

lineare dell'otturatore della valvola. Viene costruito in due versioni: testata diretta (figura 46) e testata rovescia (figura 47).

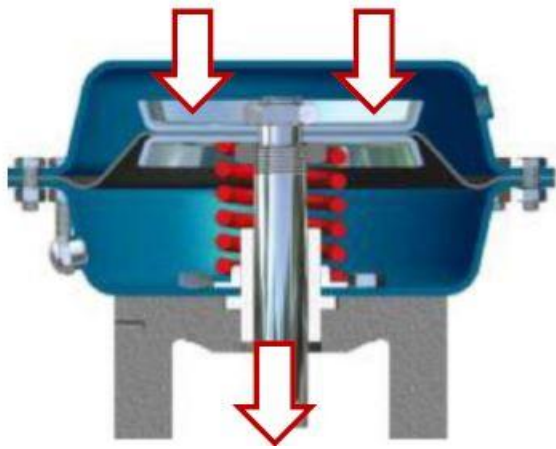


Figura 46 - servomotore a testata diretta

Nell'attuatore a testata inversa la pressione dell'aria esercita una spinta al disotto del diaframma e solleva lo stelo vincendo l'azione della molla. Speciali guarnizioni "O-ring" che non richiedono lubrificazione, garantiscono la perfetta tenuta di aria in corrispondenza dell'asta di comando.

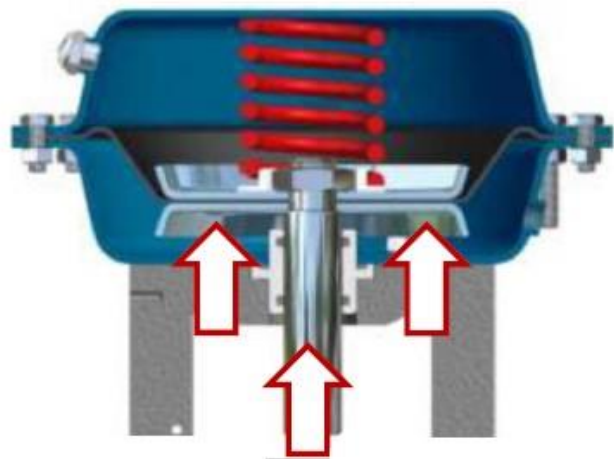


Figura 47 - servomotore a testata inversa

La scelta del servomotore a testata diretta o rovescia non vincola le condizioni normali della valvola. Infatti per entrambe le tipologie di servomotore si può avere un otturatore che apre o chiude la valvola abbassandosi. Nel caso di testata diretta in mancanza di aria l'otturatore si alza trascinato dalla molla di contrasto. Nel caso invece di testata rovescia, in mancanza di aria l'otturatore si abbassa, sempre per effetto della presenza della molla di contrasto. Per cui la scelta della testata definisce il verso del movimento dell'otturatore all'interno della sede. Vediamo le quattro combinazioni possibili tra valvola e attuatore; la scelta di quale utilizzare viene presa dal progettista in base al tipo di applicazione da implementare all'interno dell'impianto.

Servomotore a testata diretta con otturatore che chiude abbassandosi: la presenza di aria in pressione sul servomotore provoca il movimento dello stelo verso il basso. Poiché l'otturatore chiude abbassandosi, in queste condizioni la valvola è chiusa. Invece, in assenza di aria (condizioni normali) la molla di contrasto trascina verso l'alto l'otturatore, lasciando libera la sede al passaggio del fluido di processo. Di conseguenza, poiché in condizioni normali la valvola è aperta, questa è una valvola normalmente aperta (NA o NO).

Servomotore a testata rovescia con otturatore che chiude abbassandosi: la presenza di aria in pressione sul servomotore provoca il movimento dello stelo verso l'alto. Poiché l'otturatore chiude abbassandosi, in queste condizioni la valvola è aperta. Invece, in assenza di aria (condizioni normali) la molla di contrasto trascina verso il basso l'otturatore, intercettando il passaggio del fluido di processo attraverso la sede della valvola. Di conseguenza, poiché in condizioni normali la valvola è chiusa, questa è una valvola normalmente chiusa (NC).

Servomotore a testata diretta con otturatore che apre abbassandosi: La presenza di aria in pressione sul servomotore provoca il movimento dello stelo verso il basso. Poiché l'otturatore apre abbassandosi, in queste condizioni la valvola è aperta. Invece, in assenza di aria (condizioni normali) la molla di contrasto trascina verso l'alto l'otturatore, intercettando il passaggio del fluido di processo attraverso la sede della valvola. Di conseguenza, poiché in condizioni normali la valvola è chiusa, questa è una valvola normalmente chiusa (NC).

Servomotore a testata rovescia con otturatore che apre abbassandosi: La presenza di aria in pressione sul servomotore provoca il movimento dello stelo verso l'alto. Poiché l'otturatore apre abbassandosi, in queste condizioni la valvola è chiusa. Invece, in assenza di aria (condizioni normali) la molla di contrasto trascina verso il basso l'otturatore, lasciando libero il passaggio del fluido di processo attraverso la sede della valvola. Di conseguenza, poiché in condizioni normali la valvola è aperta, questa è una valvola normalmente aperta (NA o NO).

Capitolo 3

All'inizio dell'anno accademico 2017/2018 io, sotto la supervisione del gruppo di ricerca in Impianti Industriali Meccanici, mi sono mobilitato per l'acquisto di attrezzatura e strumentazione al fine di realizzazione di un impianto sperimentale costituito da un circuito idraulico gestito e regolato in maniera automatica attraverso l'utilizzo di strumenti di misura e sistemi di controllo.

L'impianto consentirà di approfondire le tematiche affrontate durante le attività formative inerenti al SSD ING-IND/17 ed in particolare del corso di Automazione Industriale del prof. Ing. Augusto Bianchini. La realizzazione di questo impianto permetterà a studenti e ricercatori di:

- approfondire le modalità di selezione e installazione di alcuni componenti fondamentali presenti negli impianti meccanici e della strumentazione necessaria per gestirli e regolarli;
- realizzare test sperimentali per effettuare la messa a punto degli impianti industriali gestiti in modalità automatica;

- inoltre l'impianto potrà essere utilizzato come 'banco di prova' per altri strumenti che coinvolgono diverse attività didattiche e sperimentali. Per esempio, l'impianto potrà consentire di testare altri strumenti come accelerometri per la misura delle vibrazioni, oppure flussimetri per la misura di portata.

Inoltre, potrà essere molto utile nell'ambito di un progetto che l'università sta intraprendendo riguardo alla gestione dei grandi impianti di distribuzione idrica. Nello specifico, si potranno studiare le vibrazioni che agiscono durante il funzionamento delle pompe da pozzo e studiando questi dati cercare di trovare una relazione tra ore di funzionamento e stato di vita della pompa in maniera da riuscire a programmare una manutenzione predittiva di questi grandi impianti, diminuendo i costi di gestione e i disservizi ed aumentando l'efficienza degli stessi.

L'impianto sarà composto da:

- un circuito idraulico in cui verrà fatta circolare acqua, costituito da tubi in ferro zincato da 1 pollice e mezzo (1" ½);
- un serbatoio cilindrico in policarbonato a simulazione di un pozzo contenete acqua;
- un vaso di espansione da 25 litri;
- una pompa sommersa trifase modello Caprari E4XP40/12;
- un diaframma per generare una caduta di pressione concentrata al fine di permettere la misura di portata nel circuito;
- 2 trasduttori di pressione differenziale Deltabar M PMD55 (Endress + Hauser);
- un trasduttore di pressione assoluta Cerabar M PMP51 (Endress + Hauser);
- un trasduttore di temperatura Omnigrad T TR24 (Endress + Hauser);
- un pressostato di massima con differenziale di riarmo automatico alimentato 380V che verrà utilizzato direttamente sulla pompa;
- 3 pressostati compatti (di massima, di minima e di sicurezza) alimentati a 24V che gestiranno l'accensione e lo spegnimento della pompa tramite teleruttore all'interno del quadro elettrico;
- Un manometro per il riscontro visivo della pressione che regna all'interno delle tubazioni dell'impianto;
- Un accelerometro;

- Una valvola pneumatica Bürkert Type 2300 + regolatore Type 8692;
- Una scheda di acquisizione dati NI 9207 (National Instrument) + modulo Compact Daq per permettere alla scheda di comunicare con un PC.
- Un quadro elettrico assemblato ad hoc con tutte le componenti necessarie per l'alimentazione di tutte le parti elettriche e per il controllo della pompa tramite i 3 pressostati compatti a 24V.

Le componenti ed il materiale necessario per il progetto sono stati acquistati tramite il circuito elettronico MEPA (mercato elettronico per le pubbliche amministrazioni); la fase di ricerca del materiale adatta e la fase di preventivazione sono state seguite da me personalmente con la preziosa collaborazione dell'ing. Rossi. Andiamo ora ad analizzare più nel dettaglio come questi elementi sono stati utilizzati per la progettazione e successiva realizzazione dell'impianto in oggetto.

PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE DEL CIRCUITO IDRAULICO

La prima fase del progetto è stata la scelta della disposizione delle componenti idrauliche e delle tubazioni in modo da riprodurre un circuito idraulico che fosse funzionale, in termini tecnici, alla ricerca scientifica e al tempo stesso che permettesse una visione ottimale agli studenti che visiteranno l'impianto. In figura 48 viene riportato lo schizzo da cui poi si è sviluppato tutto il lavoro che verrà descritto in questo capitolo.

L'idea espressa nello schizzo è stata riportata, in scala verosimile, in ambiente grafico grazie al software CAD AutoCAD dell'azienda Autodesk in modo da poter valutare con maggior esattezza quali sarebbero state le posizioni migliori che ogni parte dell'impianto avrebbe dovuto assumere a progetto finito; uno screenshot del file 3d viene riportato in figura 50.

Per una elevata fruibilità dell'impianto per i vari scopi sopra descritti è evidente che la struttura con la funzione di telaio su cui si reggeva il progetto dovesse essere equipaggiata

con quattro ruote così da dare vita ad un carrello in modo da poter movimentare il tutto nella locazione più adatta, come per esempio vicino alle prese di alimentazione elettrica e di aria compressa.

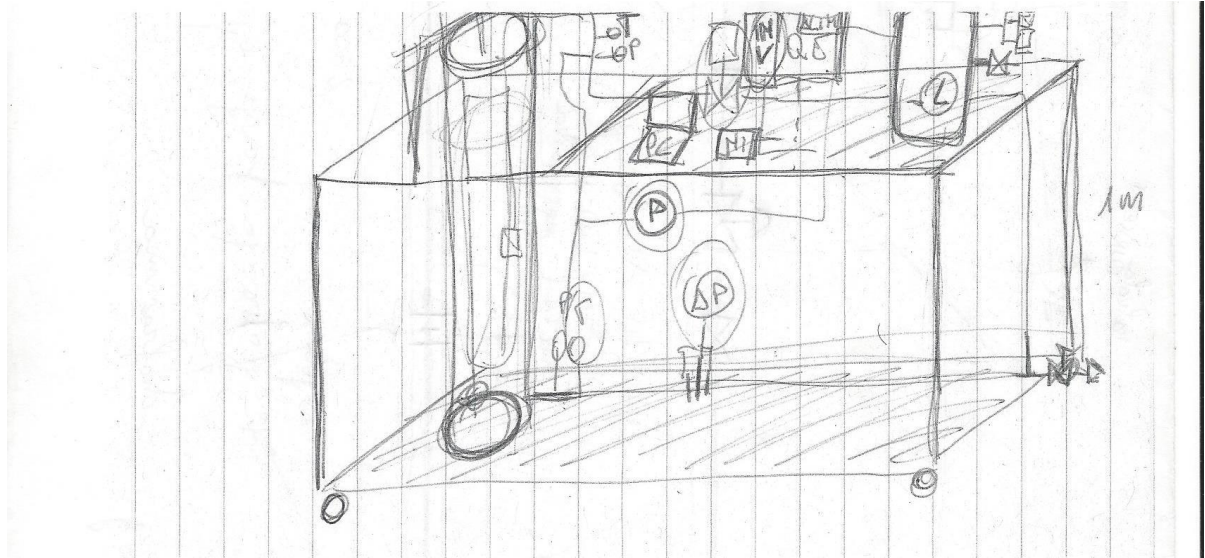


Figura 48 - primo schizzo dell'impianto

Per la realizzazione del carrello sono stati acquistati dalla ditta "Angelo Zani & C. srl" dei tubolari di ferro C40 a sezione quadrata 20x20mm e spessore 2mm e quattro ruote in



Figura 49 - foto del carrello assemblato

gomma nera di diametro 100mm, 2 delle quali con piastra girevole (figura 51). All'arrivo del materiale presso il laboratorio hangar di Forlì (via Seganti 3), i tecnici hanno saldato le barre con il TIG formando una struttura telaio a forma di parallelepipedo delle dimensioni di 1500mm di lunghezza 1000mm di profondità e 1000mm di altezza; successivamente sono state imbullonate le quattro rotelle al telaio per formare la struttura del carrello necessaria a sostenere l'impianto. Sono stati creati due ripiani di appoggio utilizzando dei pannelli di legno

multistrato dello spessore di 18mm presenti in laboratorio; il pannello superiore è stato imbullonato al telaio per garantirne la stabilità mentre quello inferiore è stato sagomato in modo che si incastrasse perfettamente nella struttura d'acciaio (figura 49).

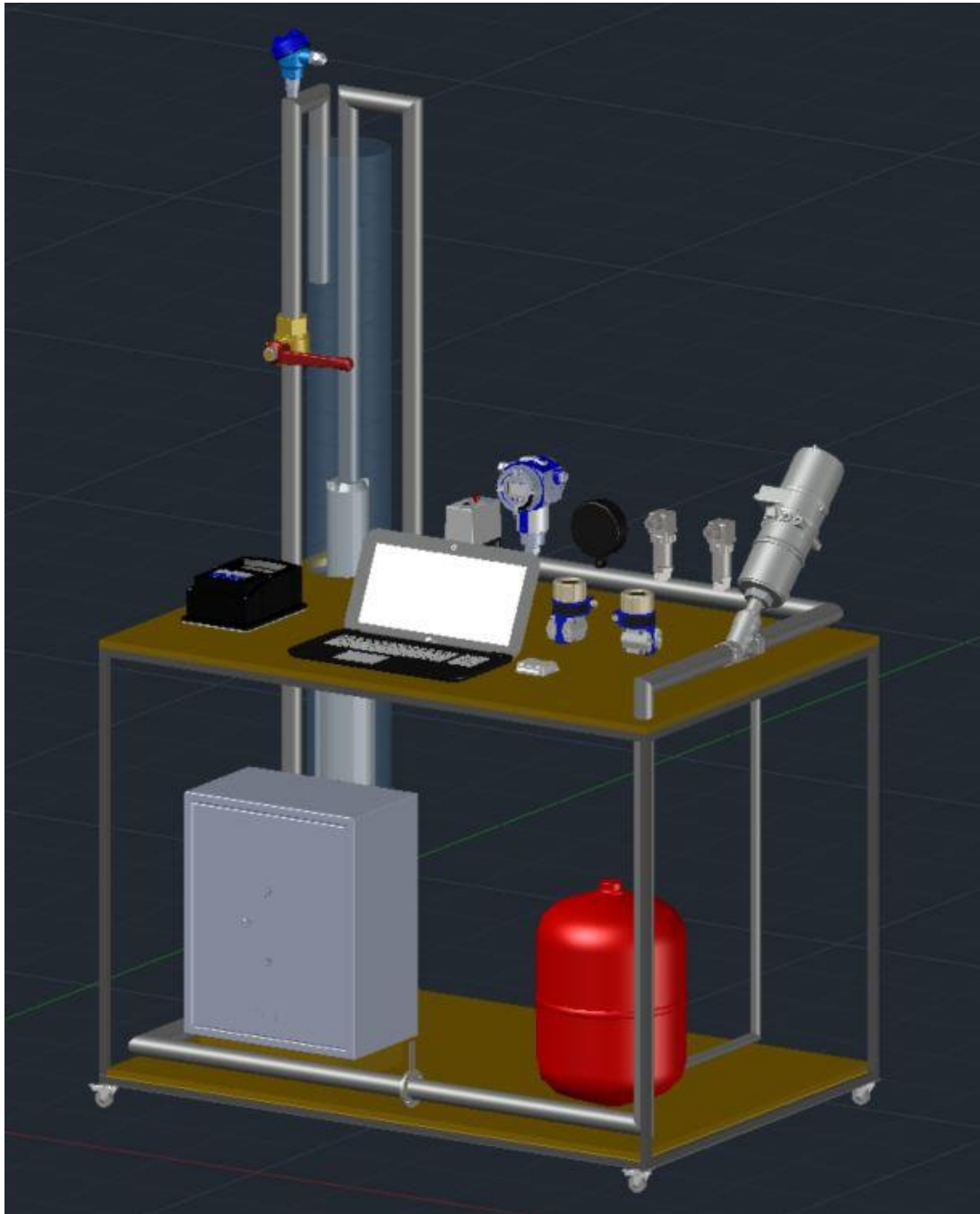


Figura 50 - disegno 3d dell'impianto con AutoCAD



Spett.le Angelo Zani & C. S.R.L

VIA DELL' ARCOVEGGIO,72
40129 BOLOGNA (BO) ITALIA
C.F. 00301090379 P.IVA IT00301090379
Tel: 051323552 Fax: 051325844
EMAIL: info@zaniacciai.it

Ordine n° 422 del 15/12/2017

Si prega di riportare in fattura : il numero e la descrizione completa dell'ordine , per le forniture indicare anche il numero del D.D.T.

DESCRIZIONE										
PROFILATO TUBOLARE E RUOTE GIREVOLI - PROF. BIANCHINI - DECR. N. 139/2017										
MODALITA' DI PAGAMENTO		BANCA			AGENZIA			IBAN		
Conto corrente bancario		UNICREDIT SPA			BOLOGNA VIA FERRARESE			IT45S0200802411000000595482		
	DESCRIZIONE	QTA'	PREZZO UNITARIO €	PREZZO TOTALE €	SCONTO €	MAGG.€	NON IMPONIBILE €	IMPONIBILE NETTO €	IVA €	TOTALE €
1	PROFILATO TUBOLARE A SEZIONE RETTANGOLARE 20x20x2 (TAGLIATE A META')	18	4,9500	89,10	0,00	0,00	0,00	89,10	19,60	108,70
2	RUOTE IN GOMMA NERA DIAM 100 PIASTRA GIREVOLE	2	18,0000	36,00	0,00	0,00	0,00	36,00	7,92	43,92
3	RUOTE IN GOMMA NERA DIAM 100 PIASTRA FISSA	2	15,0000	30,00	0,00	0,00	0,00	30,00	6,60	36,60
4	TRASPORTO	1	23,0000	23,00	0,00	0,00	0,00	23,00	5,06	28,06
CODICE IVA				IMPONIBILE NETTO €				AMMONTARE IVA €		
1103B - IVA al 22% (ist.1e)				178,10				39,18		
				TOTALE PREZZO €				178,10		
				TOTALE SCONTO €				0,00		
				TOTALE MAGGIORAZIONE €				0,00		
				TOTALE IMPONIBILE €				178,10		
				TOTALE IVA €				39,18		
				TOTALE FISCALE ORDINE €				217,28		

N. Riga	CUP
1,2,3,4	J52F17000900005

N. Riga	CIG
1,2,3,4	Z342157DB4

N. Riga	PROGETTO
1,2,3,4	ECOIBIANAU

CAUSALE ACQUISTO	NON DISPONIBILE in Accordo Quadro, convenzione Consip, in Mepa e in convenzione Intercent-er
MODALITÀ ED INDIRIZZO CONSEGNA	LAB. DIN - VIA SEGANTI 103, FORLÌ
TIPO DECORRENZA PAGAMENTO	30 GG DATA RICEVIMENTO FATTURA

Note: TERMINI PER L'ACCETTAZIONE: l'accettazione dovrà pervenire entro 5 giorni dall'invio del presente ordine a pena di decadenza della proposta. L'Università si riserva il diritto di ritenere efficace la proposta anche in caso di accettazione tardiva inviando immediata comunicazione in tal senso al fornitore.
REFERENTE TECNICO: PROF. BIANCHINI

Il Responsabile

Figura 51 - documento di acquisto del materiale per la costruzione del carrello

Il passo successivo è stato il montaggio del recipiente in polycarbonato che ospiterà al suo interno la pompa sommersa Caprari E4XP40/12, simulando la struttura dei pozzi reali. È stato acquistato un cilindro cavo di altezza 2m e spessore 3mm; la faccia della base del cilindro è stata siliconata ad una piastra quadrata 300x300mm, sempre in polycarbonato, precedentemente imbullonata al ripiano inferiore di multistrato. Prima di siliconare, la suddetta piastra di polycarbonato è stata forata per poter installare sul fondo una valvola a sfera, necessaria allo scarico del recipiente dall'acqua per operazioni di lavaggio o per il ricambio della stessa dopo lunghi periodi di ristagno.

A questo punto, con il carrello costruito ed il recipiente posizionato, è iniziata la fase vera e propria di costruzione ed assemblaggio del circuito idraulico seguendo il P&I di figura 52.

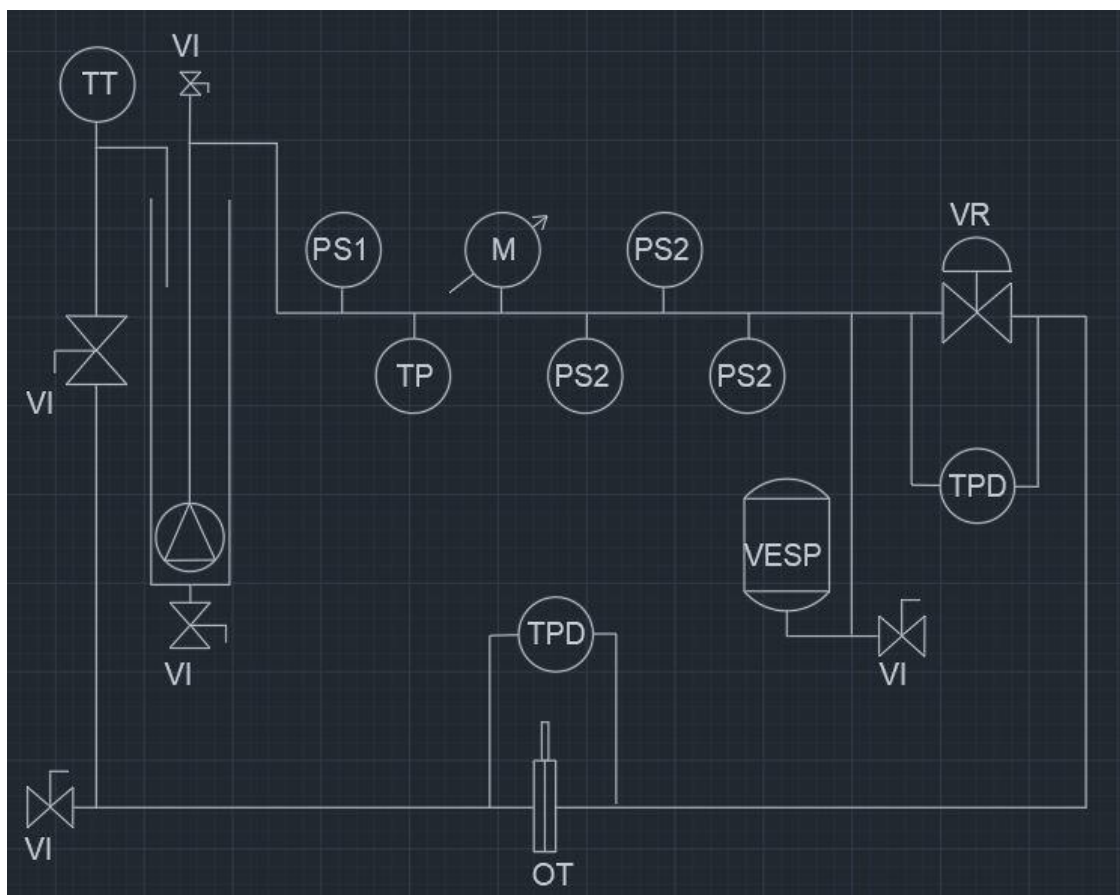


Figura 52 - P&I dell'impianto idraulico

- VI = valvola di intercettazione manuale;
- PS1 = pressostato 400V;
- TP = trasduttore di pressione assoluta;
- M = manometro;
- PS2 = pressostato 24V;
- VR = valvola di regolazione elettropneumatica;
- TPD = trasduttore di pressione differenziale;
- VESP = vaso di espansione;
- OT = orifizio tarato;
- TT = trasduttore di temperatura.

Giro tubi e pompa sommersa Caprari E4XP40/12 trifase

Come prima cosa sono state analizzate le specifiche della pompa per poter scegliere il diametro della tubazione del circuito principale. Vengono riportati in figura 53 i dati e i grafici relativi alla serie di pompe E4XP40; noi ci riferiremo alle specifiche della pompa E4XP40/12.

Le pompe E4XP, uniche per le loro caratteristiche, impiegano componenti strutturali in fusione di acciaio inossidabile al fine di garantire una grande affidabilità anche nelle condizioni di utilizzo più critiche, quali gli ambienti particolarmente aggressivi e/o abrasivi. Sono capaci di veicolare fino a 150 g/m³ di contenuto di sostanze solide. Sono macchine conformi alla Direttiva 2009/125/CE (EcoDesign - ErP) e le caratteristiche di funzionamento vengono garantite secondo le norme ISO 9906 GRADO 2B.

La velocità del fluido all'interno delle tubazioni è stata ipotizzata di 2m/s, vediamo i calcoli effettuati per ricavare il diametro dei tubi in acciaio zincato:

$$Q \left[\frac{m^3}{s} \right] = v \left[\frac{m}{s} \right] * S [m^2]$$

In cui:

- $Q = 3 \text{ l/s} = 0.003 \text{ m}^3/\text{s}$ è la portata massima della pompa;
- $v = 2 \text{ m/s}$ è la velocità del fluido desiderata.

Si ottiene una superficie di passaggio

$$S = 0.0015 \text{ m}^2$$

Il diametro interno del tubo d si calcola con la semplice relazione

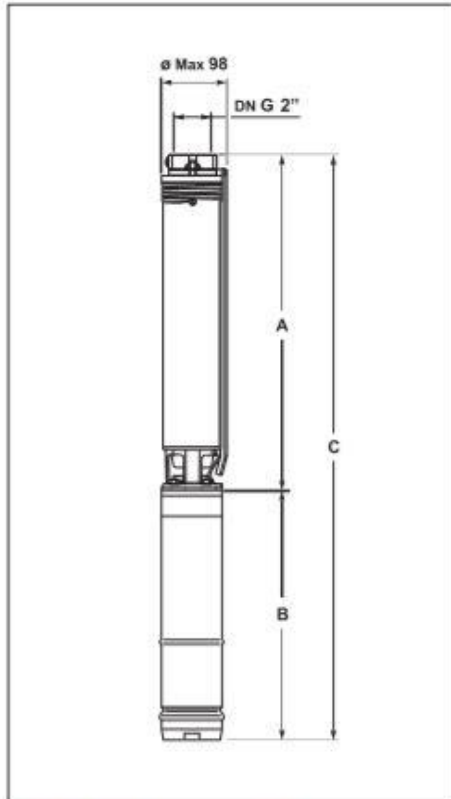
$$S = \pi * \frac{d^2}{4}$$

da cui

$$d = 43.7 \text{ mm}$$

Sono stati, quindi, scelti tubi da 1" ½ che hanno diametro interno di 42.5mm (e diametro esterno di 48.3mm) per non utilizzare quelli da 2" che avrebbero inciso in maniera maggiore sui costi.

Dimensioni di ingombro e pesi
Overall dimensions and weights
Dimensions d'encombrement et poids



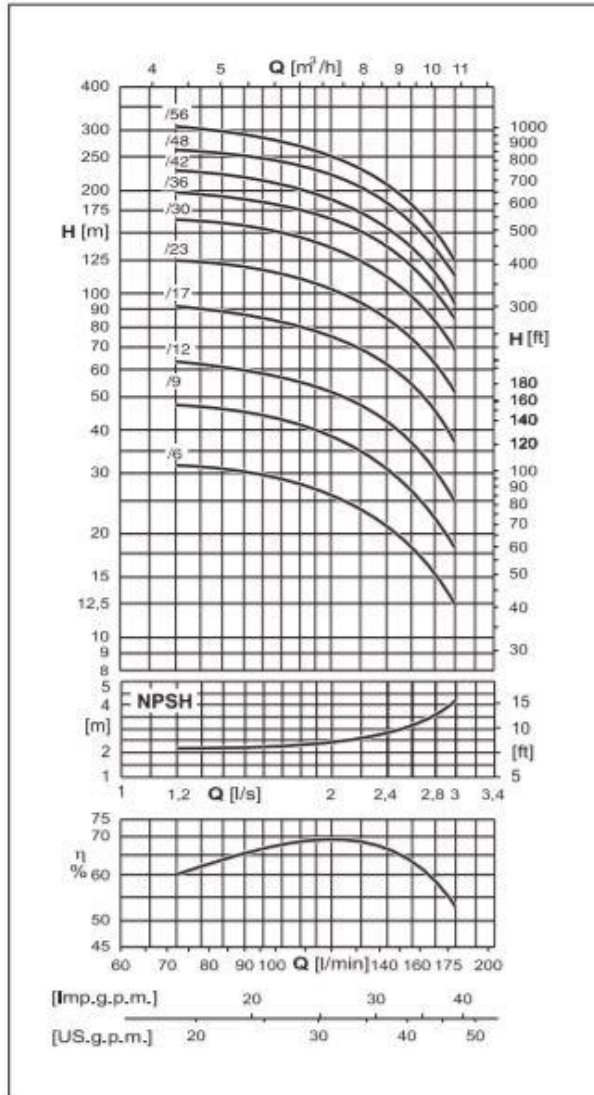
TOLLERANZE - TOLERANCES - TOLERANCES

Le caratteristiche di funzionamento sono state rilevate con acqua fredda (15 °C) alla pressione atmosferica (1 bar) e vengono garantite, secondo le norme UNI/ISO 9906 Allegato A. I dati di catalogo si riferiscono a liquidi con densità di 1 kg/dm³ e con viscosità cinematica non superiore a 1 mm²/s.

Performance characteristics have been established utilizing cold water (15 °C) at atmospheric pressure (1 bar), and are guaranteed to meet the requirements of UNI/ISO 9906 Annex A. Catalogue information refers to liquids with mass by density of 1 kg/dm³, and kinematic viscosity of 1 mm²/sec.

Les caractéristiques de fonctionnement ont été enregistrées en utilisant de l'eau froide (15 °C) à une pression atmosphérique (1 bar) et sont garanties selon les normes UNI/ISO 9906 Annexe A. Les données de catalogue se rapportent aux liquides à densité de 1 kg/dm³ et à viscosité cinématique non supérieure à 1 mm²/s.

Caratteristiche di funzionamento 2 Poli/50 Hz
Operating data 2 Poles/50 Hz
Caractéristiques de fonctionnement 2 Pôles/50 Hz



Pompa tipo Type pump Pompe type	Motore tipo Type motor - Moteur type		Potenza nominale Rated power Puissance nominale		A	Monofase Single-phase Monophasé		Trifase Three-phase Triphasé		Peso - Weight - Poids [kg]				
	Monofase Single-phase Monophasé	Trifase Three-phase Triphasé	[KW]	[HP]		B	C	B	C	Pompa Pump Pompe	Motore Motor Moteur		Gruppo Group Groupe	
											(1)	(2)	(1)	(2)
E4XP40 /8	MC41M	MC41	0,75	1	443	450	893	420	883	4,2	10,7	9,4	14,9	13,6
E4XP40 /9	MCH415M	MCH415	1,1	1,5	555	490	1045	450	1005	5,1	12,4	10,7	17,5	15,8
E4XP40 /12	MCH42M	MCH42	1,5	2	668	580	1228	490	1158	6	14,6	12,4	20,6	18,4
E4XP40 /17	MCH43M	MCH43	2,2	3	883	600	1483	560	1443	7,9	18,4	14,6	26,3	22,5
E4XP40 /23	-	MCH44	3	4	1108	-	-	560	1668	9,8	-	16,1	-	25,9
E4XP40 /30	-	MCH455	4	5,5	1398	-	-	660	2058	12,2	-	21,4	-	33,6
E4XP40 /36	-	MCR475	5,5	7,5	1623	-	-	700	2323	14,1	-	24,5	-	38,6
E4XP40 /42	-	MCR475	5,5	7,5	1875	-	-	700	2575	16,3	-	24,5	-	40,8
E4XP40 /48	-	MCR410	7,5	10	2100	-	-	780	2880	18,2	-	28,2	-	46,4
E4XP40 /56	-	MCR410	7,5	10	2400	-	-	780	3180	20,7	-	28,2	-	48,9

(1) = Monofase / Single-phase / Monophasé (2) = Trifase / Three-phase / Triphasé

Elettropompe - Electric pumps - Electropompes

Elettropompa tipo Electric pumps type Electropompe type		Installazione orizzontale Horizontal installation Installation horizontale	PORTATA - CAPACITY - DEBIT [l/s] [m ³ /h] [l/min]										
Monofase Single-phase Monophasé	Trifase Three-phase Triphasé		0	1,2	1,4	1,6	1,8	2	2,2	2,4	2,6	2,8	3
			0	4,3	5	5,8	6,5	7,2	7,9	8,6	9,4	10,1	10,8
		PREVALENZA - HEAD - HAUTEUR — [m]											
E4XP40/6+MC41M	E4XP40/6+MC41	si yes oui	37	31,5	30,5	29,5	28	28	23,5	21	18	15,5	12,5
E4XP40/9+MCH415M	E4XP40/9+MCH415		56	47	45,5	44	41,5	38,5	35	30,5	26,5	22,5	18,5
E4XP40/12+MCH42M	E4XP40/12+MCH42		75	63	61,5	59	55	52	47,5	42,5	37	31	25
E4XP40/17+MCH43M	E4XP40/17+MCH43	○	108	92	89	85	80	75	69	62	54,5	46	37
-	E4XP40/23+MCH44		145	125	121	117	110	103	95	85	74,5	63	51,5
-	E4XP40/30+MCH455		191	164	160	154	146	136	125	112	96	84	70
-	E4XP40/36+MCR475	230	197	191	184	176	165	152	137	120	103	84,5	
-	E4XP40/42+MCR475	265	228	221	212	201	187	172	155	135	115	93,5	
-	E4XP40/48+MCR410	307	263	256	247	236	221	204	183	160	137	113	
-	E4XP40/56+MCR410	356	306	297	285	270	252	230	206	181	152	125	
		NPSH [m]		2,2	2,2	2,3	2,3	2,4	2,5	2,8	3,1	3,6	4,2

Figura 53 - specifiche della pompa Caprari E4XP40/12

La pompa ha un attacco filettato maschio G 2" perciò per essere collegata al circuito dei tubi da 1" ½ si è ricorso all'utilizzo di un bocchettone (femmina/femmina) che riducesse il diametro da 2" fino a 1" ½.

Inoltre, l'elettropompa sommersa è stata sospesa grazie all'utilizzo di un raccordo passaparete in ottone; grazie ad un foro in una tavoletta quadrata 300x300mm di legno




Figura 54 - Processo di filettatura delle tubazioni


multistrato adagiata sulla parete superiore del serbatoio in policarbonato, il raccordo in questione, proprio per la sua conformazione, mantiene sospesa la pompa per simulare al meglio le condizioni che si trovano nei pozzi che raggiungono le falde acquifere. Il braccio di mandata così composto, è stato pensato per essere facilmente smontabile al fine di poter sostituire la pompa con altri modelli di elettropompe sommerse; quindi l'impianto costruito può essere utilizzato anche come banco-prova per questi macchinari.

Montata la pompa è stato possibile procedere con il resto del circuito; tutta la

raccorderia necessaria (curve 90°, tee, bocchettoni, riduzioni, manicotti, nippli, tappi, flange) è stata acquistata, dalla ditta Termoidroclimasol di Misano Adriatico (figura 55), già filettata mentre le tubazioni, acquistate in verghe da 6 metri sempre dalla stessa ditta, dovevano essere tagliate su misura e successivamente filettate. Per il processo di filettatura è stata utilizzata una macchina elettrica apposita (presa in prestito dai laboratori di Bologna) sulla quale è stata montata una filiera maschiatrice da 1" ½ (figura 54).



termoidroclimasol
IMPIANTI TECNOLOGICI CIVILI
ED INDUSTRIALI



Unione Confedite
L. 10/04/2009 n. 30
SC 15-2871/EA 26

Dati azienda
TERMIDROCLIMASOL DI ABBINANTE ORONZO
 VIA LARGA, 14B
 47843 RN MISANO ADRIATICO ITALIA
 Codice fiscale: BBNRNZ80C03A662K
 Partita IVA: 03903600405
 C.C.I.A.A.: BBNRNZ80C03A662K
 Telefono: 0541/615471
 Fax: 0541/1741011
 Cellulare: 380/9030686
 Web: www.termidroclimasol.com
 Email: Info@termidroclimasol.com
 amministrazione@termidroclimasol.com

Tipo di documento Preventivo	Numero documento 4033/2017	Data documento 18/12/2017	Destinatario Dipartimento di Ingegneria Industriale Viale Risorgimento, 2 40136 BO Bologna
Codice fiscale			Partita IVA
Condizioni di pagamento Da concordare al momento dell'accettazione			
Banca Banca Popolare Emilia Romagna IBAN IT18K0538724101000001967540			Destinazione Dipartimento di Ingegneria Industriale Viale Risorgimento, 2 40136 BO Bologna

Codice	Descrizione	UM	Quantità	Prezzo unitario	Importo	Iva
	Fornitura di Pressostato 1-5 bar autoclave;	N.	3	14,14	42,42	00
	Fornitura di Manometro radiale Ø63 0/10;	N.	1	4,83	4,83	00
	Fornitura di Nipples ottone giallo Ø1 1/2;	N.	1	4,05	4,05	00
	Fornitura di Riduzione ottone Ø11/2X 1/2;	N.	5	2,49	12,45	00
	Fornitura di Riduzione ottone Ø11/2X 1 1/4;	N.	1	2,79	2,79	00
	Fornitura di Riduzione ottone Ø2"X1 1/2;	N.	1	4,52	4,52	00
	Fornitura Tee ottone giallo Ø1/2;	N.	2	2,02	4,04	00
	Fornitura Tee ottone giallo Ø1 1/2;	N.	6	16,11	96,66	00
	Fornitura Gomito ff ottone giallo Ø1 1/2;	N.	3	14,70	44,10	00
	Fornitura Bocchettone ottone curvo Ø11/4;	N.	1	7,33	7,33	00
	Fornitura Bocchettone ottone curvo Ø11/2;	N.	1	18,03	18,03	00
	Fornitura Bocchettone ottone diritto Ø11/2;	N.	2	14,45	28,90	00
	Fornitura Valvola di non ritorno Ø1" 1/2;	N.	1	16,88	16,88	00
	Fornitura Valvola sfera cileva ff Ø1/2 1500;	N.	3	3,41	10,23	00
	Fornitura Valvola sfera cileva ff Ø1/4 1500;	N.	1	13,89	13,89	00

Note	Imposta 0,00	Imponibile 621,36
Firma destinatario	Iva % 00 0,00	Totale 621,36

Numero pagine
1 di 2

Figura 55 - pagina 1 del preventivo materiale idraulico

Aiutandomi con la figura 56 che rappresenta una foto dell'impianto assemblato temporaneamente, spiegherò tutte le parti del circuito.

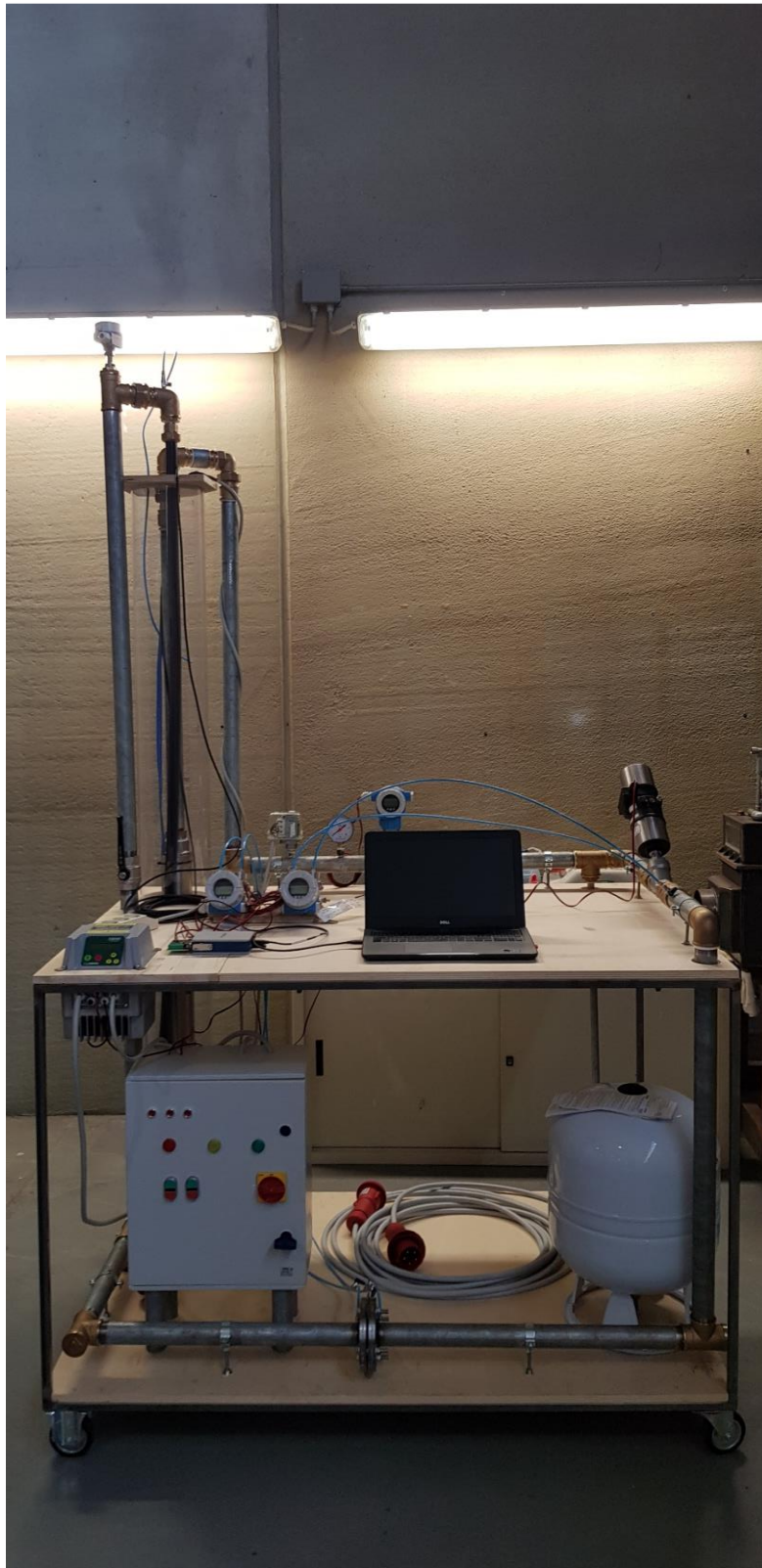


Figura 56 - foto dell'impianto in fase di realizzazione

Dopo essere usciti dal serbatoio e scesi sul ripiano superiore si è deciso di costruire un tratto orizzontale rettilineo di tubo sul quale, realizzando sul tubo stesso dei fori filettati, sono stati montati alcuni strumenti in maniera tale da averli ben in vista (figura 57); in particolare, partendo da sinistra verso destra, troviamo:

- Il pressostato che agisce direttamente sulla pompa e lavora quindi con la tensione 400V;
- Il trasduttore di pressione assoluta (Cerabar della Endress+Hauser);
- Un manometro analogico;
- I tre pressostati compatti (uno di massima, uno di minima e uno di sicurezza), alimentati a 24V, che agiscono sulla pompa grazie al circuito di controllo implementato tramite relè all'interno del quadro elettrico (del quale parleremo nel prossimo capitolo).



Figura 57 - tratto orizzontale del circuito su cui sono stati installati gli strumenti

Dopo questo tratto è stato posizionato il vaso di espansione da 25 litri che fungerà come polmone per l'impianto quando si verificheranno o saranno imposte, tramite l'uso delle valvole, le variazioni di pressione all'interno del piping. Si è deciso di posizionare il vaso di espansione nel piano inferiore del carrello nella parte specularmente opposta al recipiente in polycarbonato in maniera che fungesse anche da contrappeso per garantire una migliore stabilità a lavoro completato. Per il collegamento è stato utilizzato un tubo da $\frac{1}{2}$ ", filettato con apposito utensile filiera a mano, innestato, grazie ad una riduzione e ad un tee, alla linea

principale dell'impianto subito dopo la linea orizzontale che ospita i sei strumenti sopra elencati.

A questo punto è stata installata l'elettrovalvola di regolazione pneumatica modello Bürkert (figura 58) composta da una valvola a flusso libero (inclinazione di 45°) Type 2300 e



Figura 58 - Valvola elettropneumatica Bürkert con bocchettoni installati

da un posizionatore a singolo effetto e regolatore di processo Type 8692. La valvola ha un attacco filettato G 1" ¼ quindi è stata connessa al circuito tramite due bocchettoni a monte e a valle della stessa; l'utilizzo dei bocchettoni, inoltre, permette di poter smontare la valvola senza troppi problemi tecnici, anche in questo caso, perciò, è possibile testare altri tipi di valvole.

Questo tratto rettilineo di circuito, che si estende per tutta la lunghezza del lato corto del carrello (circa un metro), è stato riservato esclusivamente alla valvola, che è stata montata a metà di questa linea per garantire sia a monte che a valle un sufficiente tratto rettilineo che

garantisce alla stessa di lavorare in condizioni ottimali.

Lasciandoci la valvola alle spalle e proseguendo lungo il circuito, si vede come la linea viene spostata sul ripiano inferiore nella parte anteriore del carrello. In questo tratto, che si estende per tutto il lato lungo del carrello (1,5 metri), è stato installato un orifizio tarato (o diaframma calibrato, di cui si riporta un esempio in figura 59) tra le due flange ben visibili in figura 56. Si tratta di una piastra circolare che presenta un foro, calibrato perché le dimensioni di esso vengono calcolate in base all'applicazione, al suo centro che quindi, mentre l'acqua circola nel circuito, genera una perdita di carico concentrata. Riuscendo a misurare



Figura 59 - esempio di orifizio tarato installato in Technosilos S.N.C.(Forlì-Cesena)

questa perdita di carico, ad esempio con un trasduttore di pressione differenziale installato con una presa di pressione a monte e l'altra a valle di questa accidentalità, è possibile calcolare la portata di fluido che circola all'interno del piping. Nei prossimi capitoli verranno evidenziati il principio di funzionamento e la normativa tecnica che ne regola il montaggio.

Prima di rientrare con il giro tubi nel recipiente in polycarbonato, è stata installata una valvola di intercettazione a sfera manuale per poter strozzare la sezione di passaggio a piacimento e quindi "giocare" sulla pressione dell'impianto. Inoltre sono stati previsti rubinetti di scarico del circuito nei punti che lo richiedevano e una presa di sfiato degli incondensabili nel punto più alto del circuito. È stata lasciata una predisposizione per inserire una resistenza elettrica per il riscaldamento del fluido. Tutte le componenti sono state montate utilizzando del teflon come guarnizione.

Valvola di regolazione elettropneumatica Bürkert

La valvola installata sull'impianto è composta da una valvola a flusso libero (inclinazione di 45°) Type 2300 (figura 61) e da un posizionatore digitale a singolo effetto e regolatore di processo Type 8692 (figura 60). Il posizionatore è montato tramite le apposite connessioni sopra la valvola vera e propria.



Figura 61 - valvola elettropneumatica Type 2300



Figura 60 - posizionatore e controllore Type 8692

La caratteristica di regolazione del flusso di questa valvola mostrata in figura 62 è di tipo equipercentuale modificata, cioè progettata per rispondere velocemente alle richieste di picco, caratteristica utile ad esempio nei processi termici come riscaldamento o raffreddamento tramite scambiatori di calore, e per rispondere in maniera più precisa per flussi bassi.

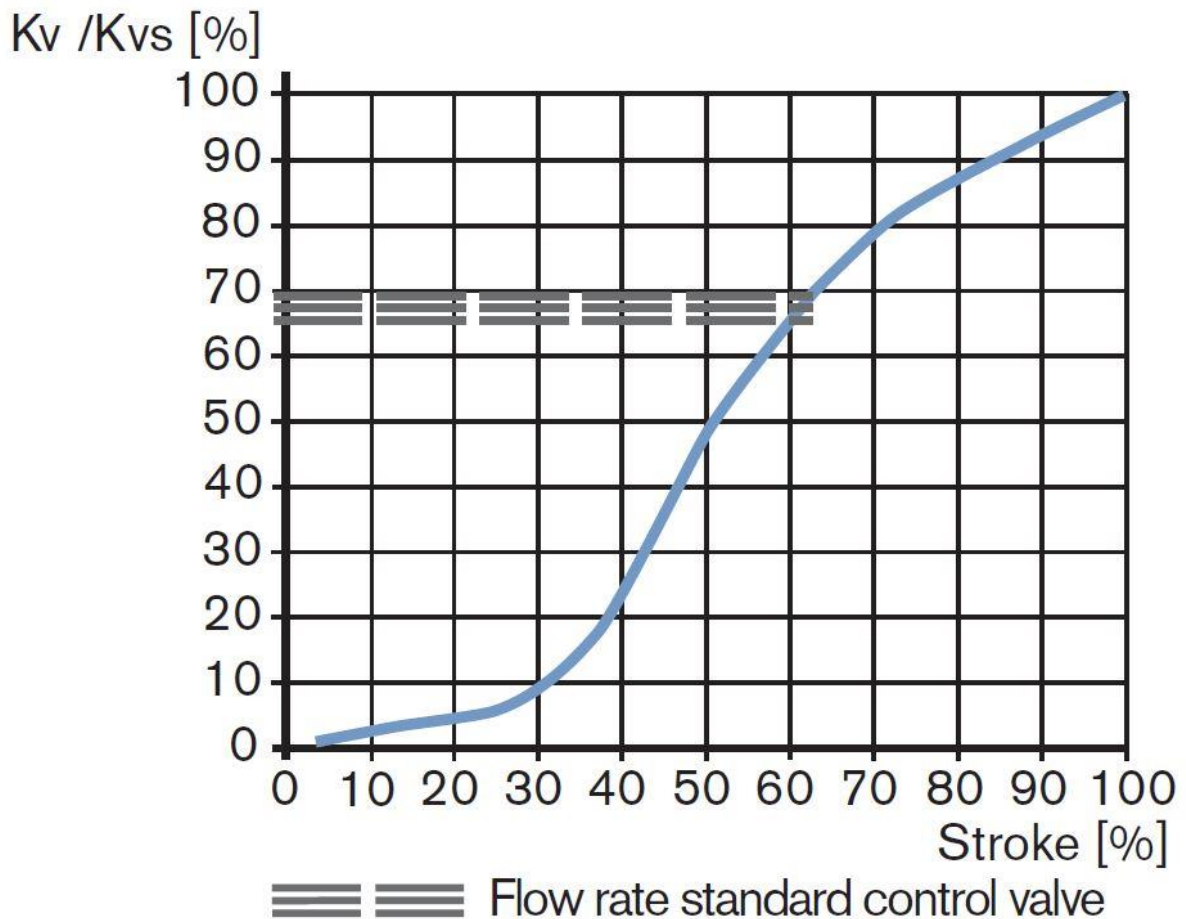


Figura 62 - caratteristica della valvola

Sull'asse x è riportata in % la corsa dell'otturatore mentre sull'asse y viene riportato sempre in % il rapporto tra K_v (coefficiente di portata) reale e K_{vs} (coefficiente di portata in condizioni standard, cioè misurato a 20°C e con caduta di pressione tra monte e valle della valvola di 1 bar) ottenibile tramite le tabelle riportate in figura 63.

K_{vs} values [m³/h]

Orifice [mm]	Actuator size [mm]	Stroke [%]										
		5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
15	50 / 70	0.16	0.17	0.22	0.4	1.2	2.7	3.5	4.0	4.5	4.8	5
20	50 / 70	0.26	0.27	0.4	1.1	4.0	5.9	7.2	8.3	9.1	9.6	10
25	50 / 70 / 90	0.34	0.36	0.62	1.5	5.2	8.9	11.5	13.0	14.2	15.4	16
32	70 / 90	0.43	0.52	0.82	1.4	4.0	9.3	13.8	16.4	19.2	21.3	23
40	90	0.47	0.62	1.1	2.6	10.0	17.0	21.5	25.3	28.8	31.6	34
	130	0.48	0.66	1.4	5.1	14.0	20.0	24.3	28.3	31.7	34.5	36
50	90	0.85	1.1	1.6	2.7	10.2	20.0	28.6	35.6	40.6	45.0	49
	130	0.87	1.2	1.8	4.0	15.2	26.0	35.0	40.3	45.0	48.0	53
65	130	1.7	2	6.5	20	35	48	58	67	75	83	90

K_{vs} values water/pressure

Orifice [mm]	Actuator size [mm]	K _{vs} value water (m ³ /h)	Minimum pilot pressure [bar] **	Operating pressure up to +185°C NC [bar] **
15	50 / 70	5	5.5	16
20	50 / 70	10	5.5	10/16
25	50 / 70 / 90	16	5.5	5 / 12 / 16
32	70 / 90	23	5.5	6 / 16
40	90	34	5.5	12
	130	36	5.5	16
50	90	49	5.5	7
	130	53	5.5	16
65	130	90	5.6	16 (15*)

* acc. to the Pressure Equipment Directive 97/23 / EC for compressible fluids in Group 1 (hazardous gases and vapors in accordance with Article 3, Section 1.3, letter a, first dash)

** For NO (normally open) see charts on page 5

Flow rate: K_{vs} value water [m³/h]: Measured at +20 °C, 1 bar pressure at valve inlet and free outlet.

Pressure valves [bar]: Overpressure to the atmospheric pressure

Figura 63 - tabelle per la determinazione del coefficiente Kvs

Il Kv, per definizione, è proporzionale alla portata che attraversa la valvola e per fluidi incomprimibili vale la seguente relazione:

$$Kv = \frac{Q}{\sqrt{\Delta p}}$$

dove Q è la portata in metri cubi all'ora [m³/h] e Δp è la caduta di pressione in bar tra monte e valle della valvola.

Montando su questa valvola il posizionatore e controllore di processo Type 8692 si ottiene una valvola con sistema di regolazione di tipo continuo denominata dall'azienda fornitrice ELEMENT Type 8802-YG della quale vengono riportate le dimensioni nella figura 64.

Dimensions valve system Continuous ELEMENT Type 8802-YG-I with positioner TopControl Type 8692 or 8802-YG-J with process controller TopControl Type 8693 [mm]

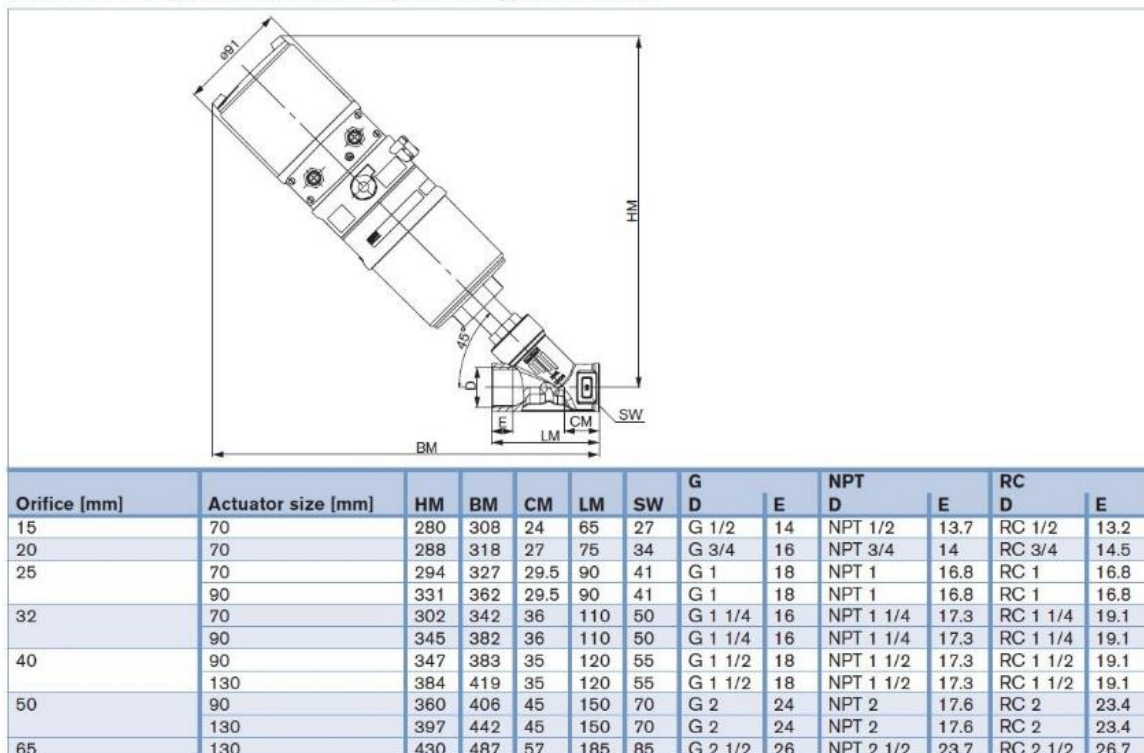


Figura 64 - dimensioni della valvola ELEMENT 8802-YG

La facile gestione e selezione di funzioni software aggiuntive sia tramite il display retroilluminato e la tastierina presenti sul posizionatore/controllore 8692 sia tramite interfaccia PC lo rendono molto funzionale ad ogni tipo di applicazione. Un sensore di posizione analogico di tipo contact-free (senza contatto) registra con precisione la posizione dell'otturatore senza deteriorarsi nel tempo. L'attuatore a singolo effetto è controllato tramite sistema di regolazione integrale. Utilizzando un posizionatore/controllore Type 8693, è possibile regolare in cascata, dopo l'anello di regolazione sulla posizione, una variabile del processo come livello di una colonna d'acqua, pressione portata o temperatura. Le interfacce di comunicazione Profibus DPV1 e DeviceNet sono disponibili come optional.

In figura 65 viene riportato uno schema che illustra il funzionamento di questi attuatori a singolo effetto; le linee nere mostrano come funziona il controllo di posizione del Type 8692

mentre con le linee grigie viene evidenziato il controllo di processo utilizzabile solo con un type 8693.

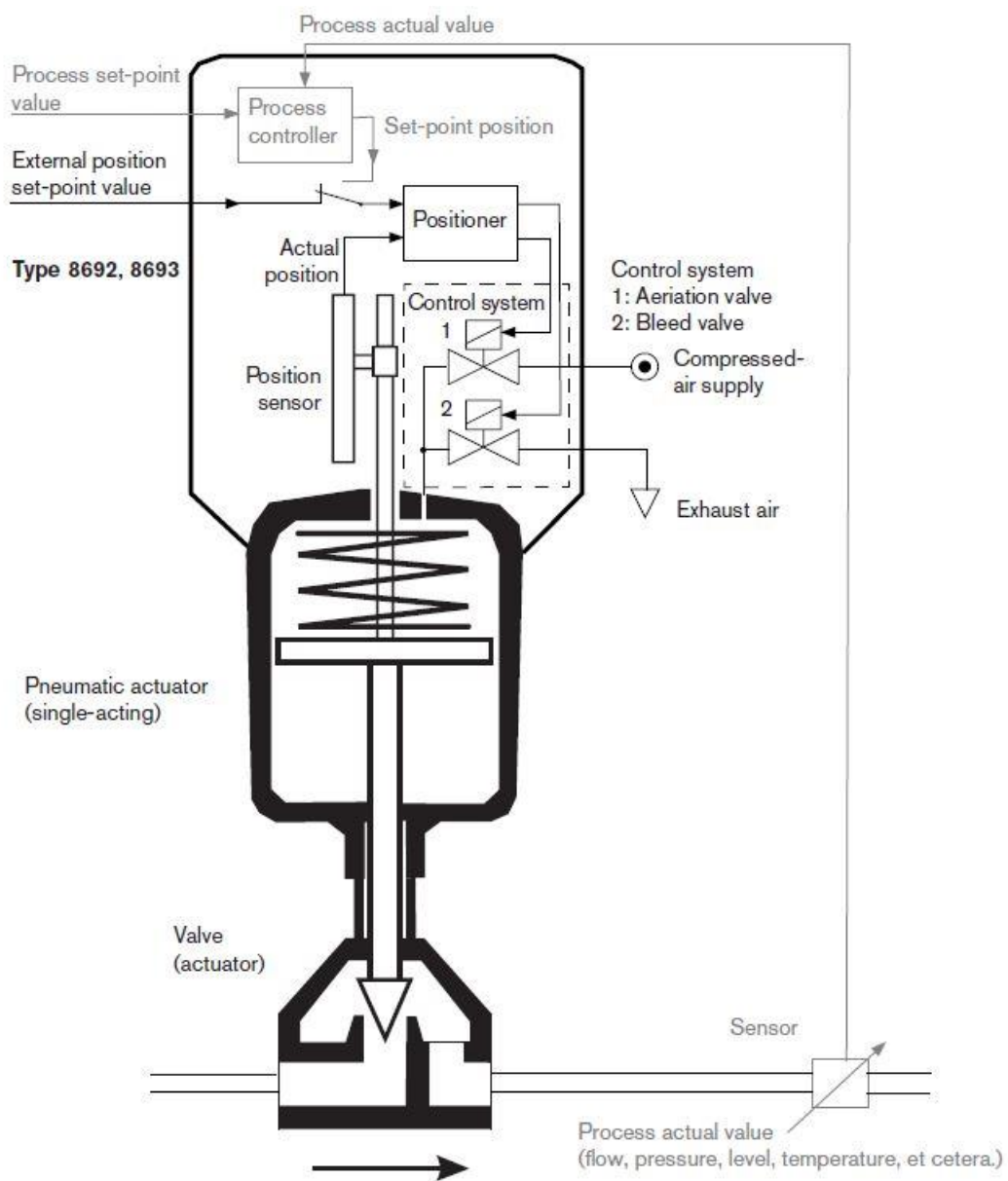


Figura 65 - schema di funzionamento degli attuatori a singolo effetto Type 8692 e Type 8693

Nelle figure 66 e 67 viene mostrato e spiegato più dettagliatamente come funziona il controllo di posizione della Type 8692.

Il sensore di posizione registra la posizione attuale (POS) dell'otturatore. Il sistema di controllo implementato compara questa posizione con quella di set-point (CMD) impostata tramite un segnale elettrico standardizzato. Viene quindi calcolato l'errore (X_d1) e il sistema di posizionamento può reagire in due modi:

- Se l'errore è positivo viene azionata la presa d'aria compressa in ingresso B1;
- Se l'errore è negativo viene azionata la presa d'aria di sfiato E1.

In questo modo la posizione della valvola viene controllata fino a che l'errore non si annulla. Z1 rappresenta un possibile disturbo che entra nel sistema.

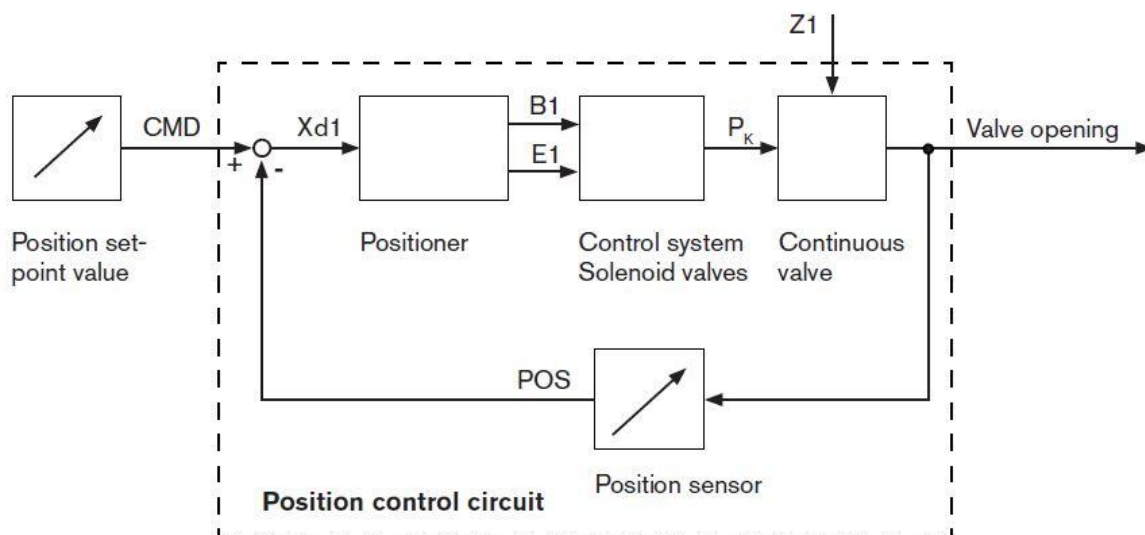


Figura 66 - controllo di posizione

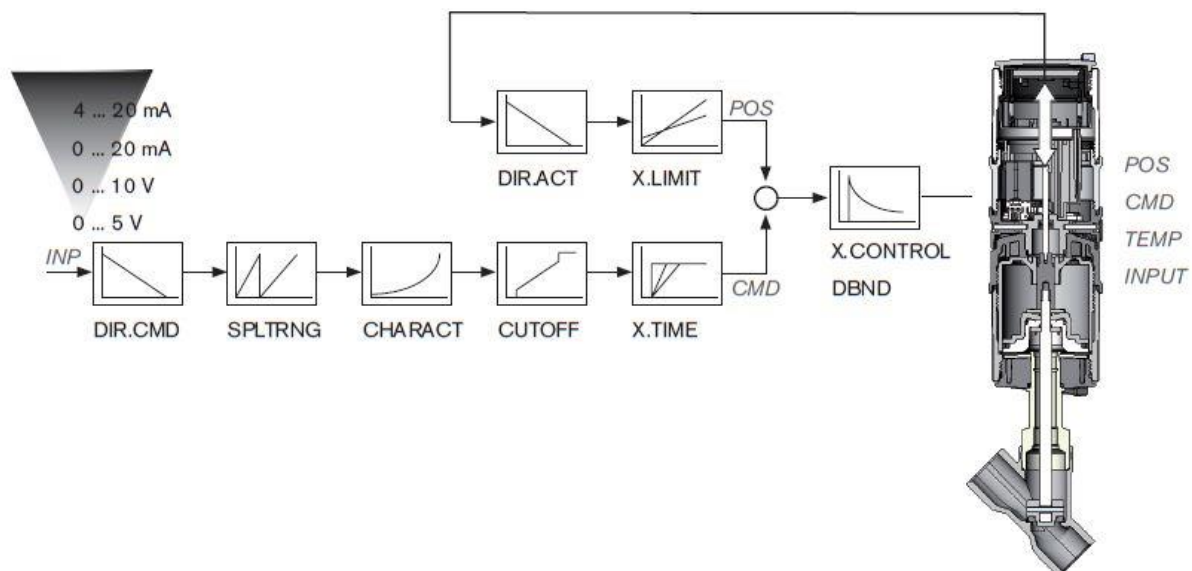


Figura 67 - schema del controllo di posizione

Orifizio tarato

Un orifizio tarato (o orificio tarato) è uno strumento che, con l'ausilio di un misuratore di pressione differenziale, permette di determinare la portata dei gas o dei liquidi all'interno di tubazioni. È un esempio di venturimetro e come tale sfrutta l'effetto Venturi. Quest'ultimo è una conseguenza del principio di Bernoulli, il quale stabilisce che quando la velocità di un fluido aumenta, la sua pressione diminuisce e viceversa, a parità di portata.

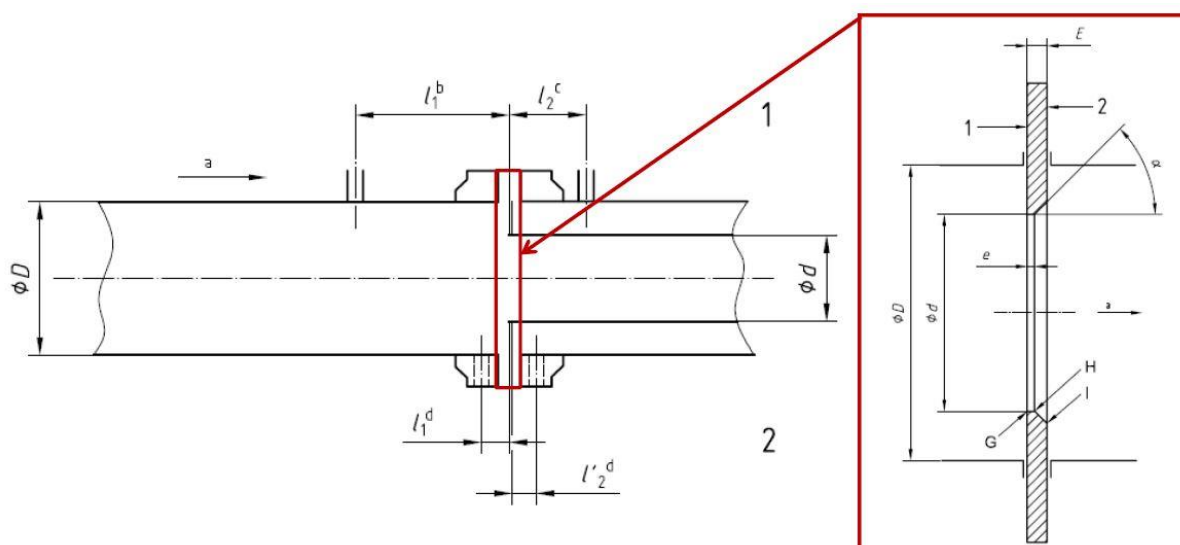


Figura 68 - sezione di un orifizio tarato

Un orifizio è sostanzialmente una placca sottile con un buco al centro. Viene solitamente sistemato in un tubo in cui scorrono fluidi (figura 68). Quando il fluido scorre lungo la tubatura, assume una certa velocità e una certa pressione. Quando il fluido raggiunge l'orifizio, con il foro al centro, il fluido viene forzato a convergere attraverso il piccolo foro. Il punto massimo di convergenza si trova appena a valle dell'orifizio fisico, nel cosiddetto punto di "vena contratta". Quando questo avviene, la velocità e la pressione cambiano. Oltre la vena contratta il fluido si espande e la velocità e la pressione mutano ancora una volta. Misurando la differenza nella pressione del fluido tra la sezione della tubatura normale e la vena contratta si possono ottenere i flussi massici e volumetrici; si utilizza questa equazione che mette in relazione la perdita di carico Δp con la portata volumetrica Q :

$$\Delta p = \frac{1}{2} \rho \xi \left(\frac{Q}{S} \right)^2$$

con ρ densità del fluido, ξ coefficiente d'attrito (che dipende dalla geometria della tubazione), S sezione del tubo.

Per l'installazione di questo dispositivo sull'impianto oggetto di questa tesi sono state consultate le norme UNI EN ISO 5167-1 e 5167-2 che definiscono come misurare la portata dei fluidi mediante dispositivi a pressione differenziale inseriti in condotti a sezione circolare piena. La portata in massa q_m viene determinata tramite l'equazione:

$$q_m = \frac{C}{\sqrt{1 - \beta^4}} \varepsilon \frac{\pi}{4} d^2 \sqrt{2 \Delta p \rho}$$

con

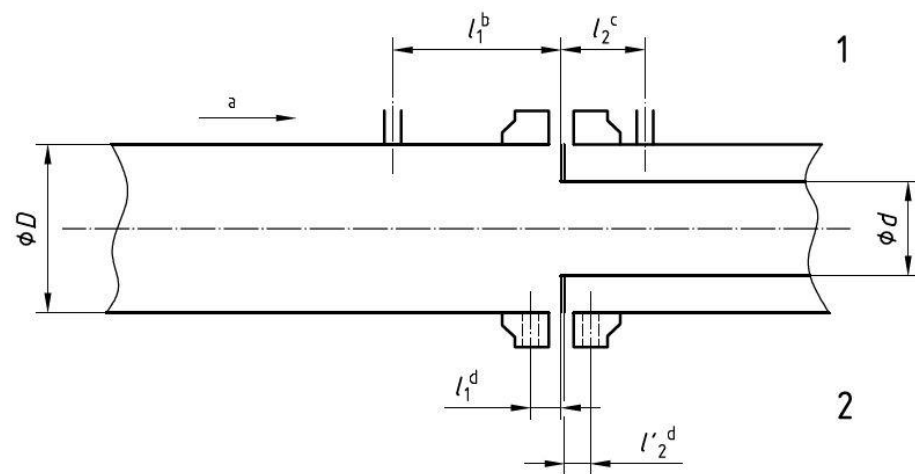
- C , coefficiente di efflusso, è ricavabile dalle tabelle fornite nella normativa;
- ε , fattore di espansione, che per fluidi incomprimibili vale 1;
- β , fattore geometrico, pari al rapporto tra d , diametro del foro dell'orifizio, e D , diametro interno della tubazione in cui scorre il fluido.

Il coefficiente di efflusso C dipende dal numero di Reynolds ($Re_d = \frac{4 \cdot q_m}{\pi \mu D}$), il quale a sua volta dipende da q_m , e deve essere calcolato tramite metodo iterativo riportato nella normativa.

I diametri sono intesi nelle condizioni di lavoro, cioè alle condizioni di temperatura e pressione nominali dell'impianto. Misure prese in qualsiasi altra condizione devono essere corrette opportunamente.

Le prese di pressione per lo strumento di misura della pressione differenziale tra monte e valle dell'orifizio tarato possono essere posizionate in due modi, che vengono mostrati in figura 69. Nel nostro impianto è stato più comodo utilizzare il secondo metodo, denominato "prese di pressione sulle flange", proprio perché data la modesta dimensione del diametro interno delle tubazioni e delle flange siamo riusciti a fare i fori direttamente sul tubo. Una precisazione è doverosa: la normativa dice che è consigliabile utilizzare questo metodo di misura quando il diametro interno della tubazione è almeno 50mm. Nel nostro impianto il diametro interno è di 42.5mm ma si è deciso di adottare comunque questo metodo perché più economico ed efficace. Può essere considerato anche questo aspetto

come ricerca, nel senso che si potranno ricavare dati e risultati sull'efficacia dell'applicazione dell'orifizio tarato con un diametro del tubo di 42.5mm.



Key

1 D and $D/2$ pressure tapings

2 flange tapings

a Direction of flow.

b $l_1 = D \pm 0,1D$

c $l_2 = 0,5D \pm 0,02D$ for $\beta \leq 0,6$
 $0,5D \pm 0,01D$ for $\beta > 0,6$

d $l_1 = l_2 = (25,4 \pm 0,5)$ mm for $\beta > 0,6$ and $D < 150$ mm
 $(25,4 \pm 1)$ mm for $\beta \leq 0,6$
 $(25,4 \pm 1)$ mm for $\beta > 0,6$ and $150 \text{ mm} \leq D \leq 1\,000$ mm

Figura 69 - normativa per la realizzazione delle prese di pressione sul tubo

Nel nostro caso, è stato utilizzato un orifizio già disponibile in laboratorio avente diametro del foro di 24,7mm e si è verificato che fosse adatto all'applicazione, cioè che producesse una perdita di carico misurabile dal trasduttore di pressione che avevamo a disposizione. In fase di progetto è stata ipotizzata una portata all'interno del circuito di $7,9 \text{ m}^3/\text{h}$; utilizzando le equazioni e le tabelle presenti nella normativa tecnica è stato ottenuto che la perdita di carico generata dal diaframma è di circa 248mbar che. Questa caduta di pressione può essere rilevata dal Deltabar acquistato per questo impianto, quindi l'orifizio va bene ed è stato montato sul circuito. Ovviamente, ad impianto acceso, verranno eseguite le misurazioni reali e sarà possibile aggiustare eventuali scostamenti nei calcoli ottenuti in fase di progetto.

Sul diaframma, prima del montaggio, sono state saldate due linguette (non una a causa del bullone di fissaggio delle flange che non lo ha permesso) sulle quali sono stati stampigliati il diametro del foro interno in mm (24,7mm) e un “+” ad indicare la faccia a monte, cioè quella di alta pressione. La figura 70 mostra il nostro orifizio tarato montato sul circuito.

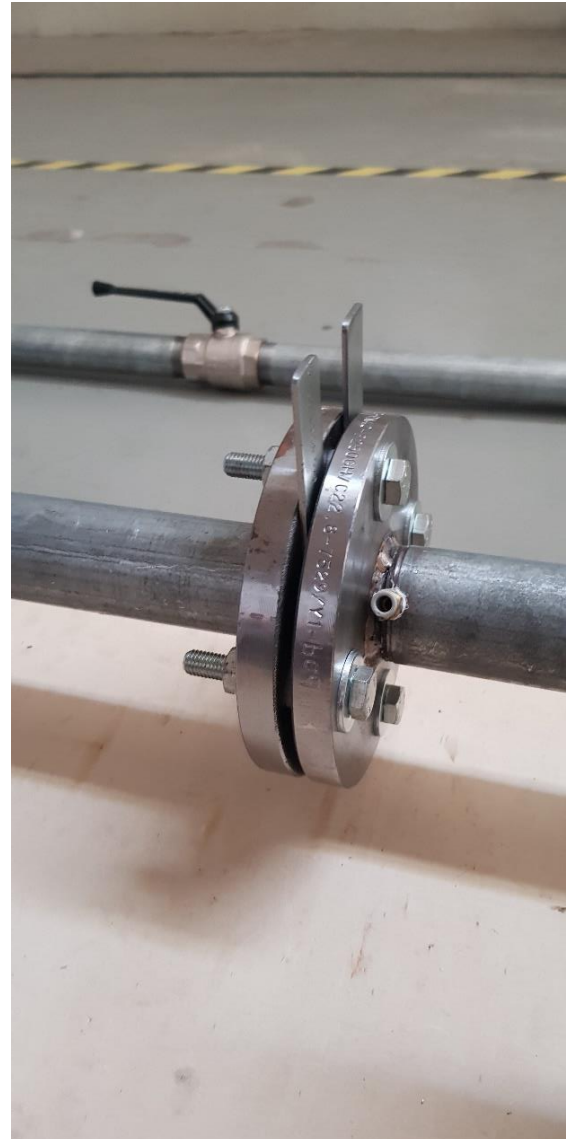
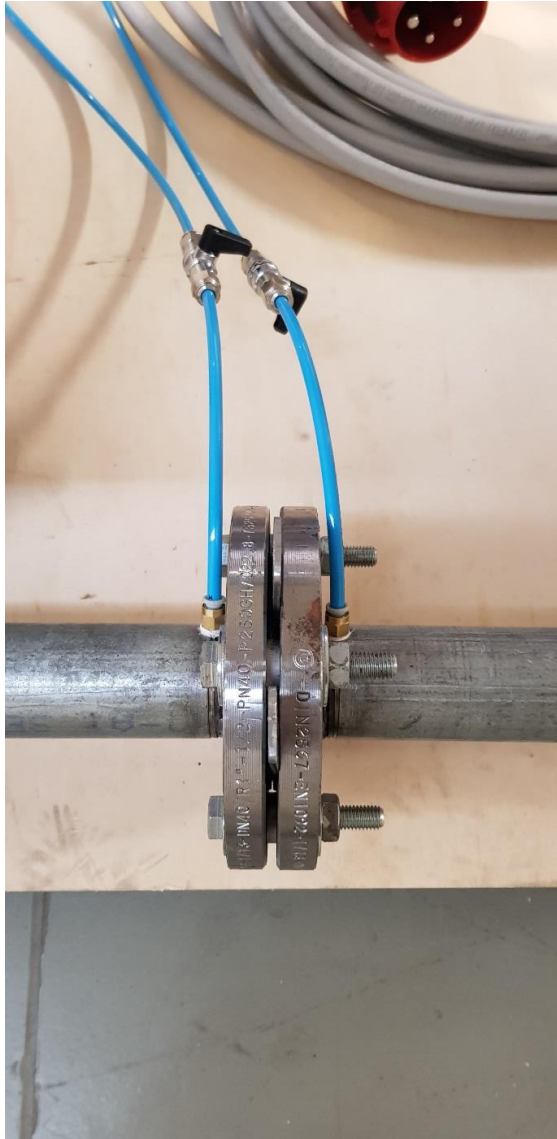


Figura 70 - orifizio tarato montato

STUMENTAZIONE

Deltabar M PMD55

Il Deltabar M PMD55 (figura 71) è un trasduttore di pressione differenziale con sensore piezoelettrico ed elemento sensibile a membrana metallica saldata. Viene utilizzato per:

- Misure di portata (massica o volumetrica) di gas, vapori o liquidi;
- Misure di livello in serbatoi riempiti con liquidi;
- Misure di pressione differenziale, ad esempio su filtri, pompe o valvole di regolazione.

La funzione di “Quick Setup” con campo di misura regolabile consente una messa in servizio rapida, riduzione dei costi e risparmio di tempo.



Figura 71 - Deltabar M PMD55

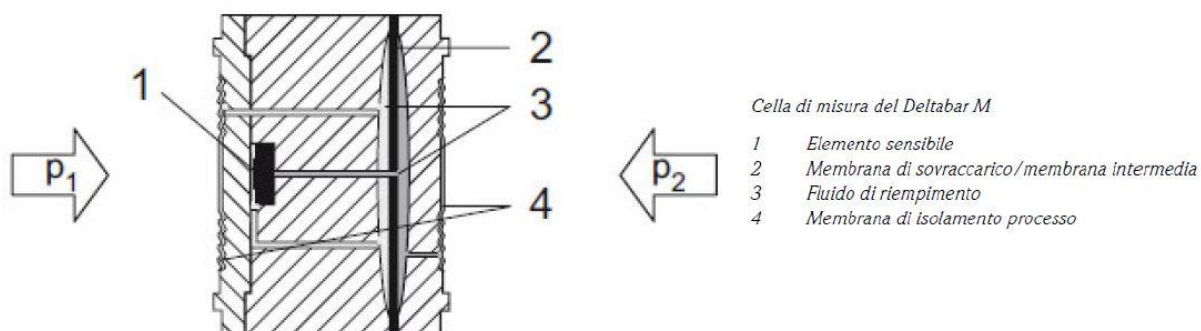


Figura 72 - principio di funzionamento del Deltabar M PMD55

In figura 72 viene mostrato il principio di funzionamento del misuratore di pressione differenziale in questione. Le membrane di separazione (4) subiscono una flessione da entrambi i lati per effetto delle pressioni p_1 e p_2 . Un fluido di riempimento (3) trasmette la pressione all'elemento sensibile (1). La variazione di resistenza, capacità o induttanza dell'elemento sensibile si traduce in una uscita variabile, proporzionale alla pressione differenziale, che viene rilevata ed elaborata.

Il segnale in uscita, nel nostro caso, è 4-20 mA con protocollo di comunicazione HART annesso. La trasmissione del segnale 4-20mA avviene in contemporanea con un segnale digitale in corrente alternata (che non altera la lettura del segnale continuo 4-20 mA) sulla base dello standard HART Protocol (Highway Addressable Remote Transducer) e che può essere ricevuto da un qualunque PC ed impiegato per eseguire operazioni di diagnostica e configurazione in parallelo alla lettura dell'out-put dello strumento.

Lo strumento ha un range di misura da 0 a 3 bar e un'accuratezza di 0.075%, avendo la membrana di platino. Il turn down è di 20:1 impostato dalla fabbrica che può essere modificato fino a 100:1, quindi può misurare con l'accuratezza dello 0.075% pressioni da 30mbar a 3 bar.

Sull'impianto sono presenti due Deltabar, uno che misura, come già esposto precedentemente, la portata tramite la caduta di pressione sull'orifizio tarato, e uno che misura la caduta di pressione a monte e valle della valvola di regolazione Bürkert.

Per i collegamenti elettrici e il settaggio dei parametri si rimanda al manuale dello strumento presente sul sito della ditta fornitrice[17].

Cerabar S PMP71

Il Cerabar S PMP71 (figura 73) è un trasduttore di pressione con sensore piezoelettrico ed elemento sensibile a membrana metallica saldata. Il trasmettitore di pressione Cerabar S è impiegato nelle seguenti applicazioni:

- misurazione della pressione assoluta e relativa in gas, vapori o liquidi in tutti i settori dell'ingegneria di processo e della tecnologia delle misurazioni di processo;

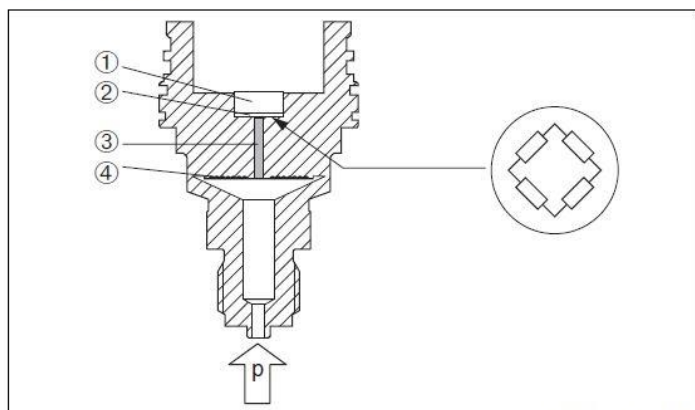
- misura di livello in volume o in peso, di liquidi;
- misurazione di temperature di processo elevate: senza separatore fino a 150°C, con separatore tipico fino a 400°C;
- misurazione di alta pressione fino a 700 bar;
- possibilità di utilizzo in vari paesi grazie all'ampia gamma di approvazioni.



Figura 73 - Cerabar S PMP71

In figura 74 viene mostrato il principio di funzionamento dello strumento. La pressione operativa determina una flessione della membrana di separazione, dopodiché un fluido di riempimento trasferisce la pressione a un ponte di misura a resistenza (tecnologia dei semiconduttori). Il sistema misura ed elabora la variazione della tensione di uscita del ponte dipendente dalla pressione.

Membrana di misura in metallo utilizzata per PMP71 e PMP75



Sensore in metallo

- 1 Elemento di misura
- 2 Membrana di misura con ponte di Wheatston
- 3 Canale con fluido di riempimento
- 4 Membrana di processo, membrana di separazione in metallo

Figura 74 - principio di funzionamento del Cerabar S PMP71

a un ponte di misura a resistenza (tecnologia dei semiconduttori). Il sistema misura ed elabora la variazione della tensione di uscita del ponte dipendente dalla pressione.

Il segnale in uscita, nel nostro caso, è 4-20 mA con protocollo di comunicazione HART annesso. La trasmissione del segnale 4-20mA avviene in contemporanea con un segnale digitale in corrente alternata (che non altera la lettura del segnale

continuo 4-20 mA) sulla base dello standard HART Protocol (Highway Addressable Remote Transducer) e che può essere ricevuto da un qualunque PC ed impiegato per eseguire operazioni di diagnostica e configurazione in parallelo alla lettura dell'out-put dello strumento.

Per i collegamenti elettrici e il settaggio dei parametri si rimanda al manuale dello strumento presente sul sito della ditta fornitrice[17].

Omnigrad T TR24

L'elemento Omnigrad T TR24 (figura 75) misuratore di Temperatura a Resistenza (RTD) è costituito da una resistenza elettrica con un valore pari a 100 Ω a 0 °C, da cui deriva la denominazione "Pt100". Il prodotto è conforme alla norma IEC 60751. Il valore di resistenza aumenta all'aumentare delle temperature in base alle caratteristiche del materiale del resistore (platino). Queste particolari tipologie di sensori sono dette termistori PTC (Positive Temperature Coefficient). Il valore di questo coefficiente è $\alpha = 0,00385 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, calcolato tra 0 e 100 °C secondo ITS90 (Scala di Temperatura Internazionale).



Figura 75 - Omnigrad T TR24

Esistono due tipi di queste termoresistenze:

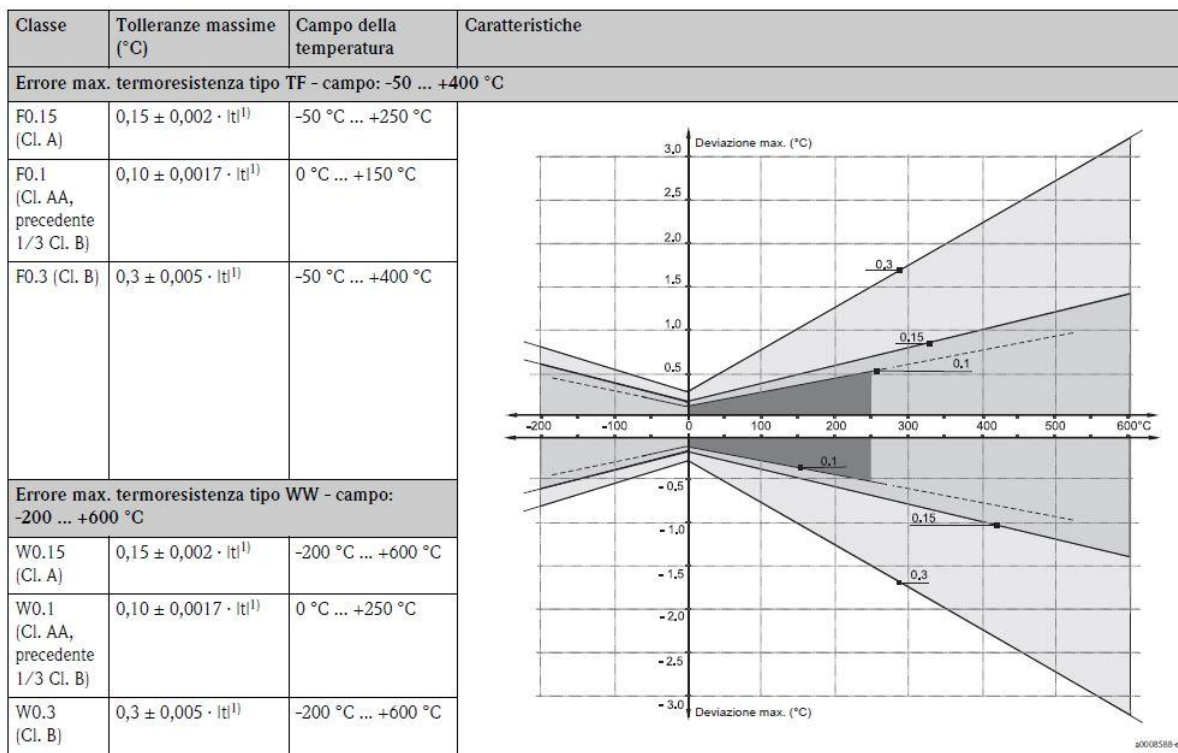
- Le termoresistenze Wire Wound (WW) sono costituite da un doppio avvolgimento di un filo conduttore finissimo in platino altamente purificato, inserito all'interno di un supporto in ceramica. Quest'ultimo, a sua volta, è sigillato nella parte superiore e inferiore con uno strato protettivo in ceramica. Le misure eseguite con queste termoresistenze non sono solo altamente riproducibili, ma presentano anche una curva caratteristica di resistenza/temperatura che si mantiene molto stabile nel tempo all'interno di campi di temperatura fino a 600°C. Questo tipo di sensore ha dimensioni relativamente grandi e inoltre è sensibile alle vibrazioni;
- Le termoresistenze TF (Thin Film), invece, sono realizzate con una quantità precisa di platino che viene vaporizzato nel vuoto su un substrato in ceramica fino a ottenere uno spessore di 1 µm. Questo film è quindi protetto da uno strato di vetro. Questa soluzione offre i seguenti vantaggi: dimensioni più contenute rispetto alla versione WW e resistenza alle vibrazioni notevolmente più elevata. Le termoresistenze a film sottile (TF - Thin Film) sono versioni piatte e microscopiche delle termoresistenze a filo conduttore (WW - wire wound), ma presentano una notevole differenza dal punto di vista della misura: le caratteristiche di espansione in funzione della temperatura dei diversi strati di questa struttura causano degli stress meccanici minimi. Le variazioni di temperatura nelle resistenze a film sottile (TF) provocano le variazioni di temperatura previste nella resistenza e delle minime variazioni di resistenza correlate allo stress tensile. Pertanto, la curva caratteristica di resistenza/temperatura della maggior parte delle termoresistenze TF in platino varia notevolmente rispetto alle curve caratteristiche standard a temperature più elevate. Le termoresistenze TF, sono quindi impiegate per eseguire misure con campi di temperatura superiori a 500 °C.

Nel nostro impianto ne è presente uno prima del ritorno del fluido nel recipiente di policarbonato; ovviamente, non essendoci elementi in grado di innalzare od abbassare la temperatura del fluido, lo strumento segnalerà all'incirca sempre la stessa temperatura. Sarà, invece, molto utile qualora si installasse ad esempio una resistenza elettrica nel punto in cui è stata lasciata la predisposizione.

Lo strumento misura un segnale analogico in corrente 4-20mA; per i collegamenti elettrici e il settaggio dei parametri si rimanda al manuale dello strumento presente sul sito della ditta fornitrice[17]. In figura 76 vengono mostrati i dati relativi all'accuratezza delle varie tipologie di questo modello.

Accuratezza

Termoresistenza conforme a IEC 60751



1) $|t|$ = Valore assoluto °C

Figura 76 - accuratezza delle termoresistenze Omnigrad T TR24

CapDRIVE 040

CapDRIVE (figura 77) è un dispositivo Caprari per il controllo e la protezione dei sistemi di pompaggio basato sulla variazione della frequenza d'alimentazione della pompa. Può essere applicato sia a nuovi che vecchi impianti; nel nostro caso verrà collegato alla pompa sommersa Caprari E4XP40/12 (fuori dal serbatoio, sopra il ripiano superiore del carrello) garantendo risparmio energetico ed economico, installazione semplificata e minori costi dell'impianto, allungamento della vita dell'impianto, maggiore affidabilità.



Figura 77 - CapDRIVE Caprari

CapDRIVE, collegato a qualsiasi pompa in commercio, ne gestisce il funzionamento per mantenere costante una determinata grandezza fisica (pressione, pressione differenziale, portata, temperatura, etc..) al variare delle condizioni di utilizzo; nel nostro caso è stato connesso al CapDRIVE il sensore di pressione Cerabar. In tal modo la pompa, o il sistema di pompe, viene azionata solo quando e quanto serve evitando dunque inutili sprechi energetici ed allungandone la vita. Al contempo CapDRIVE è Capace di:

- proteggere il motore da sovraccarichi e marcia a secco;
- attuare la partenza e l'arresto dolci (soft start e soft stop) per aumentare la vita del sistema e ridurre i picchi di assorbimento;
- fornire un'indicazione della corrente assorbita e della tensione di alimentazione;
- registrare le ore di funzionamento e, in funzione di queste, gli errori e i guasti riportati dal sistema;
- controllare altre due pompe a velocità costante (Direct On Line);
- connettersi ad altri CapDRIVE per realizzare il funzionamento combinato.

Appositi filtri induttivi (opzionali) consentono al CapDRIVE di abbattere le pericolose sovratensioni che si generano in cavi molto lunghi e rendono quindi il CapDRIVE ottimale anche nel controllo di pompe sommerse.

In figura 78 vengono riportate le caratteristiche tecniche del capDrive, noi abbiamo a disposizione il modello 040; per le altre informazioni tecniche si rimanda al manuale d'uso ed installazione del dispositivo [18].

modello	Vin +/- 15%	max Vout	Max I linea	Max I out	P2 motore tipica	
	[V] AC	[V]	[A]	[A]	[KW]	[HP]
CapDRIVE 011	1 x 230	1 x Vin	15	9	1,1	1.5
		3 x Vin	15	7	1,1	1.5
CapDRIVE 030	1 x 230	1 x Vin	20	10	1,5	2
		3 x Vin	20	11	3	4
CapDRIVE 022	3 x 380 - 460	3 x Vin	10	6	2.2	3
CapDRIVE 040	3 x 380 - 460	3 x Vin	13,5	9	4	5,5
CapDRIVE 055	3 x 380 - 460	3 x Vin	16	14	5,5	7,5
CapDRIVE 075	3 x 380 - 460	3 x Vin	21	18	7,5	10
CapDRIVE 110	3 x 380 - 460	3 x Vin	31	25	11	15
CapDRIVE 150	3 x 380 - 460	3 x Vin	35	30	15	20

- Frequenza d' alimentazione di rete: 48 - 62 Hz
- Max. temperatura ambiente di lavoro al carico nominale: 40°C (104 °F)
- Max. altitudine al carico nominale: 1000 m
- Grado di protezione: IP55 (NEMA 4) *
- Output: 4 digitali configurabili N.A o N.C
- Input: 4 analogici
- Input: 4 digitali configurabili N.A o N.C
- PWM configurabile: 2.5, 4, 6, 8, 10 kHz
- Connettività: Porta seriale RS 485

* la ventola ausiliaria fornita di base nella versione con montaggio a parete ha grado di protezione IP54.

CapDRIVE è in grado di erogare al motore una corrente maggiore di quella nominale ma solo per un tempo limitato secondo legge lineare: 10 min per il 101 % della corrente nominale , 1 min per il 110 % della corrente nominale

Figura 78 - caratteristiche tecniche del CapDRIVE

Pressure Switch MDR 4SD/6 (pressostato trifase)

Il pressostato elettro-meccanico modello MDR 4SD/6 prodotto dalla ditta tedesca "Condor Pressure Control GmbH", di cui in figura 79 si riporta una foto, agisce direttamente sul funzionamento della pompa escludendola dal circuito di potenza quando nell'impianto si



Figura 79 - Condor MDR 4SD/6 pressure switch

raggiunge un preimpostato valore di soglia della pressione (valore di cut-out) e riattivandola dopo un certo differenziale di pressione anch'esso regolabile (valore di cut-in); in figura 80 si riporta la caratteristica di funzionamento di questo strumento. La regolazione delle soglie di cut-in e cut-out avviene tramite due viti che modificano la condizione meccanica della molla e del sistema di leve dello strumento che agiscono sulla chiusura ed apertura del contatto elettrico. La connessione al processo avviene tramite filettatura G 1/2".

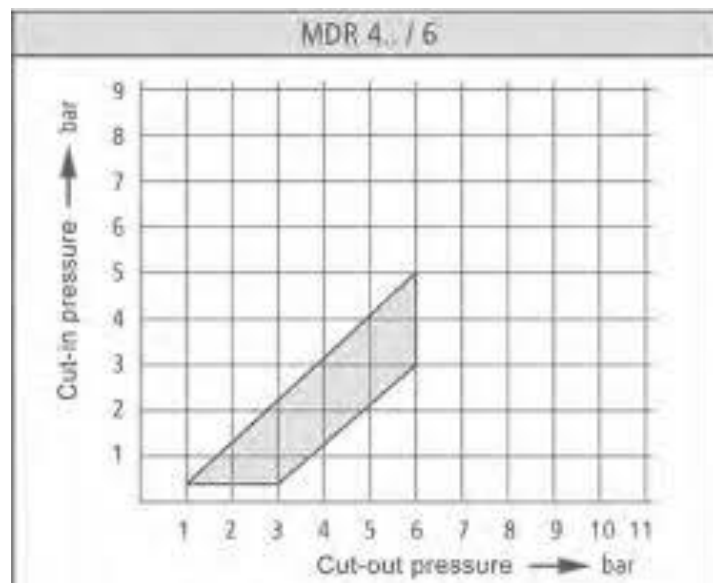


Figura 80 - caratteristica di funzionamento del pressostato MDR 4SD/6

Per un ottimale funzionamento del pressostato, la taratura deve essere effettuata ad impianto acceso monitorando sul manometro le pressioni e di conseguenza agendo sulle viti di regolazione in modo da raggiungere il più precisamente possibile i valori desiderati di lavoro.

Pressostato compatto Cella PCS (pressostato a 24V)

Il pressostato elettro-meccanico compatto modello PCS prodotto dalla ditta italiana “Ettore Cella spa”, del quale in figura 81 si riporta una foto, agisce sullo “attacca/stacca” della pompa tramite il circuito di controllo implementato all’interno del quadro elettrico con logica a relè che verrà spiegata nel prossimo capitolo.



Figura 81 - Pressostato compatto Cella PCS

Nel nostro caso il pressostato è il modello PCS2MA evidenziato nella tabella di figura 82; il numero “2” sta ad indicare che la custodia dello strumento è in alluminio mentre le lettere “M” ed “A” identificano un particolare sensore e tipo di contatto rispettivamente.

Questo modello ha un contatto elettrico SPDT (singol pole, double throw) con un differenziale di riarmo fisso impostato a 0.06 bar. Nel progetto di questa tesi, su questo strumento è stato utilizzato solo uno dei due terminali del contatto SPDT rendendolo di fatto un SPST (single pole, single throw) ed essendo il differenziale di riarmo molto basso e

trascurabile rispetto alla pressione nominale dell'impianto si ottiene una commutazione praticamente istantanea intorno al valore impostato; la regolazione del valore desiderato di commutazione avviene anche per questo dispositivo tramite vite di regolazione.

Sensore Sensor	Campo di taratura setting range	Campo di lavoro working range	(pressione di prova) (proof -pressure)	Differenziale Fisso e inferiore a: Dead band Fixed and lower than:		
				1 contact SPDT code A, B, C	1 contact DPDT code G	1 contact DPDT code H
V	-1 / -0,2	-1/6	(10)	0,03	0,06	0,12
T	0,2 / 1,2	0/6	(10)	0,03	0,06	0,12
M	0,5 / 2,5	-1/10	(40)	0,05	0,1	0,4
	0,8 / 6	-1/10	(40)	0,06	0,2	0,8
	1,6 / 10	-1/25	(40)	0,2	0,4	1,6
	4 / 25	-1/25	(60)	0,25	0,75	3
	10 / 40	-1/60	(100)	1	2	8
	20 / 100	0/100	(150)	7	9	20
P or G	8 / 40	0/100	(400)	2	4	16
	16 / 100	0/250	(400)	5	5	20
	40 / 250	0/400	(600)	12	20	80
	80 / 400	0/600	(600)	20	20	80
	100 / 600	0/600	(700)	30	30	120

Figura 82 - Data sheet del pressostato PCS2MA

Nell'impianto sono stati utilizzati tre pressostati:

- uno per spegnere la pompa se l'impianto scende sotto una certa pressione impostata, denominato pressostato di minima;
- uno per spegnere la pompa se l'impianto supera un certo valore di pressione impostato, denominato pressostato di massima;
- uno con la stessa funzione del pressostato di massima che interviene nel caso in cui quello di massima non intervenisse per guasto o malfunzionamento, denominato pressostato di sicurezza.

Per tutta la documentazione tecnica si rimanda il sito del produttore [19].

Accelerometro CTC (PRO) LP254

Questo accelerometro è stato installato, tramite collegamento imbullonato, sulla pompa sommersa; sarà in grado di misurare le vibrazioni della pompa durante il suo funzionamento per trovare una correlazione tra ore di funzionamento e stato operativo della

PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE DEL QUADRO ELETTRICO

Realizzato il progetto della parte idraulica dell'impianto si è reso necessario progettare e costruire un quadro elettrico che alimentasse tutte le componenti elettriche ognuna in base alla propria tensione richiesta e, inoltre, che gestisse la logica di lavoro della pompa in base alla pressione rilevata dai tre pressostati compatti. Vediamo nel dettaglio di quale tensione elettrica hanno bisogno le varie parti dell'impianto per poter funzionare senza il manifestarsi di guasti, che, oltre alla rottura della strumentazione, possono causare incidenti anche al personale umano.

Ad impianto acceso e funzionante, l'acqua viene prelevata dal recipiente in polycarbonato a pressione ambiente e fatta circolare nel circuito grazie alla pompa sommersa Caprari la quale, essendo trifase, deve essere alimentata da una tensione di 380Vac; la pompa consuma una potenza di 1500 W. Con questa tensione dovranno essere alimentati anche il regolatore di frequenza CapDRIVE e il pressostato che lavora direttamente sulla pompa; queste componenti saranno collegate in serie tra loro e si collocano fra alimentazione e pompa.

Il circuito di controllo con i tre relativi pressostati deve essere alimentato in "bassa tensione" ed in particolare qui si è scelto di alimentarlo con 24Vac. Perciò, dalla linea trifase, verrà prelevata una delle tre fasi ed il neutro disponendo così di 220Vac (linea monofase); a questo punto verrà utilizzato un trasformatore di tensione che dai 220Vac renderà disponibile la 24Vac.

Prelevando, in un altro punto della linea trifase, una fase ed il neutro si renderà disponibile la 220Vac; collegando ad essa una ciabatta elettrica che verrà posizionata sul ripiano superiore del carrello sarà possibile collegare il PC per l'acquisizione e l'elaborazione dei dati e ogni altro strumento necessario che funzioni con la 220Vac.

Per quanto riguarda gli strumenti della Endress +Hauser e la valvola Bürkert, bisogna alimentarli con 24Vdc. Sempre con lo stesso procedimento e grazie ad un trasformatore la tensione 220Vac verrà convertita in 24Vdc. Da questo trasformatore all'interno del quadro elettrico partirà un doppino (2 cavi elettrici uniti tra loro) che alimenterà direttamente la

valvola Bürkert. Gli strumenti della Endress +Hauser (Deltabar, Cerabar, Omnigrad), essendo passivi, verranno alimentati dalla scheda di acquisizione dati della National Instrument (NI, che verrà trattata nel prossimo paragrafo) che necessita anch'essa di 24Vdc; il doppino, quindi, dal quadro elettrico arriverà ai morsetti della scheda NI e da qui partiranno i vari doppini ad ogni strumento dato che funzionato con principio "loop di corrente".

Avendo ben chiaro tutte le tensioni necessarie, la progettazione e la realizzazione del quadro elettrico possono essere schematizzate attraverso le seguenti fasi, che saranno poi singolarmente descritte nel dettaglio:

1. Definizione dello schema elettrico;
2. Selezione delle componenti fisiche necessarie;
3. Costruzione del quadro elettrico;
4. Installazione e collaudo del quadro elettrico.

Definizione dello schema elettrico

Per definire lo schema elettrico del circuito dobbiamo in primo luogo decidere come vogliamo che esso operi, ovvero con quale logica e con quali modalità esso andrà ad interagire con il nostro impianto idraulico. Una volta stabilito ciò, dobbiamo progettare un circuito elettrico in grado di svolgere correttamente le sue mansioni, rispettando le norme CEI EN 61439-1 e CEI EN 61439-2 per la realizzazione di quadri elettrici e cercando di realizzare uno schema il più semplice e funzionale possibile.

Nel nostro caso vogliamo realizzare un controllo di tipo on-off della pompa sommersa in funzione della pressione che regna all'interno del circuito, sia con i tre pressostati compatti sia con il pressostato collegato direttamente alla pompa; vediamo più nel dettaglio i due casi.

Con il circuito di controllo 24Vac, la pompa dovrà spegnersi quando la pressione sale al di sopra di un valore di soglia P_{MAX} e ripartire quando la pressione torna inferiore ad un secondo valore di soglia P_{min} . Il pressostato definito "di sicurezza" ha la stessa funzione del

pressostato di massima ma interverrà solo in caso di guasto o malfunzionamento di quest'ultimo; il valore P_{Sic} sarà quindi maggiore di P_{MAX} .

Con il pressostato collegato direttamente alla pompa essa dovrà arrestare il suo funzionamento quando la pressione sarà superiore al valore impostato tramite vite di regolazione; ripartirà automaticamente non appena la pressione assumerà un valore inferiore alla differenza tra il valore massimo ed il valore del differenziale, anch'esso impostabile tramite vite di regolazione.

La sinergia tra questi due sistemi sopra descritti potrà essere modificata e gestita a piacimento di volta in volta; per esempio utilizzare una o più impostazioni quando l'impianto sarà visitato dagli studenti del corso ed altre, più finalizzate al funzionamento regolare dell'impianto, quando questo verrà utilizzato per esperimenti e per la ricerca scientifica.

In figura 84 è rappresentato lo schema elettrico che si è deciso di adottare e che è stato implementato fisicamente all'interno della carpenteria del quadro. Analizziamo nel dettaglio le varie parti.

LINEA DI ALIMENTAZIONE

L'alimentazione del motore (figura 85) della pompa è trifase a 380 Vac e prevede il sezionamento generale dell'impianto mediante due interruttori. Il primo interruttore (I_0) è quello collegato all'apertura dello sportello della scatola del quadro, che in posizione ON impedisce l'apertura del quadro garantendo la sicurezza verso i contatti diretti. Il secondo interruttore (I_1) è un interruttore magnetotermico differenziale, che svolge un ulteriore compito di protezione interrompendo il flusso di corrente elettrica qualora si dovessero verificare dispersioni di corrente. Per minimizzare i danni causati da eventuali correnti di corto circuito viene utilizzato un salvamotore (S). A valle dei due interruttori troviamo poi il teleruttore o contattore (T), che si chiude o si apre comandato dal circuito di controllo, a sua volta comandato dai 3 pressostati compatti.

A monte della pompa sono presenti tre spie luminose rosse (L1, L2, L3), ciascuna delle quali è collegata al neutro e ad una delle 3 fasi, essendo alimentate a 220 Vac.

In assenza di guasti, quando la pompa è accesa, tutte e tre le spie luminose dovranno necessariamente risultare accese. La carcassa della pompa è posta a terra per garantire il corretto funzionamento della protezione contro i contatti indiretti.

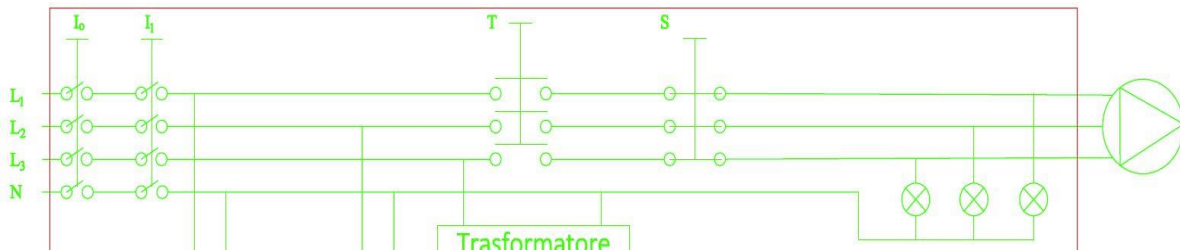


Figura 85 - particolare della linea di alimentazione

CIRCUITO DI CONTROLLO

Dalla linea 380 Vac di alimentazione preleviamo una fase 220 Vac e con un trasformatore otteniamo il 24 Vac per alimentare il circuito di controllo in bassa tensione. Dopo il trasformatore sono stati inseriti due fusibili per la protezione da eventuali cortocircuiti. Come si può osservare dalla figura 86, non appena accendiamo l'interruttore I_0 la spia luminosa verde V si accende, ad indicarci che il quadro è alimentato. Per alimentare il circuito di controllo è necessario premere il pulsante P_{ON} così da eccitare il relè R_{ON} e attivare l'autoritenuta, cioè invertire lo stato normale dei contatti (i contatti NO, normally open o normalmente aperti, si chiudono e viceversa). L'autoritenuta è uno dei metodi tradizionali per eseguire il comando marcia/arresto di un carico (normalmente un motore elettrico) attraverso almeno due pulsanti, uno per azione. Lo scopo principale dei circuiti in autoritenuta è di evitare la ripartenza automatica (rieccitazione della bobina) a seguito dell'interruzione dell'alimentazione. . Quando R_{ON} è eccitato tutti i suoi contatti normalmente aperti $R_{ON.1}$, $R_{ON.2}$, $R_{ON.3}$ e $R_{ON.4}$ si chiudono, la spia luminosa rossa R si accende ed il circuito di controllo è alimentato. Premendo il pulsante P_{OFF} il relè R_{ON} si diseccita, la spia luminosa R si spegne ed il circuito di controllo non è più alimentato. Questo è il sistema di avviamento/esclusione del circuito di controllo; possiamo ora ad analizzare, invece, come agisce il cuore di questo circuito.

Lo stato del teleruttore T è legato alle condizioni dei relè R_1 , R_2 e R_5 . Non appena il circuito di controllo è alimentato la spia luminosa gialla G si accende, ad indicarci che il relè R_5 è diseccitato e quindi il controllo di sicurezza non è attivato. Premendo il pulsante $P_{S.ON}$ il relè

R_S si eccita e attraverso i suoi contatti $R_{S,1}$, $R_{S,2}$ e $R_{S,3}$ fa l'autoritenuta, spegne la spia luminosa G e attiva il controllo di sicurezza. In queste condizioni, anche se la pressione all'interno del circuito è al di sotto del valore P_{min} la pompa parte (R_1 eccitato e R_2 non eccitato). A questo punto la pressione aumenta fino a raggiungere e superare la pressione minima, il contatto NO del pressostato di minima si chiude, ma lo stato dei relè R_1 e R_2 non cambia fino a che non si raggiunge la pressione massima. Quando il contatto NC del pressostato di massima si apre il relè R_1 si diseccita e così anche il teleruttore, causando lo spegnimento della pompa. Con la pompa spenta la pressione all'interno del serbatoio diminuisce, fino a scendere al di sotto del valore P_{min} per cui i due contatti dei pressostati di massima e minima ritornano entrambi nella loro condizione normale e la pompa riparte. Se per un qualunque motivo il pressostato di massima non dovesse intervenire e la pressione aumentare oltre P_{MAX} , una volta raggiunto il valore P_{Sic} interviene il pressostato di sicurezza, che aprendo il suo contatto NC causa l'arresto della pompa. In questa condizione infatti il relè R_S non è più eccitato e la spia gialla risulterà accesa, segnalandoci l'intervento del circuito di sicurezza. Una volta individuato e risolto il malfunzionamento per cui il pressostato di massima non è intervenuto, sarà quindi necessario premere nuovamente il pulsante $P_{S,ON}$ per riarmare il controllo di sicurezza e permettere all'impianto di ripartire.

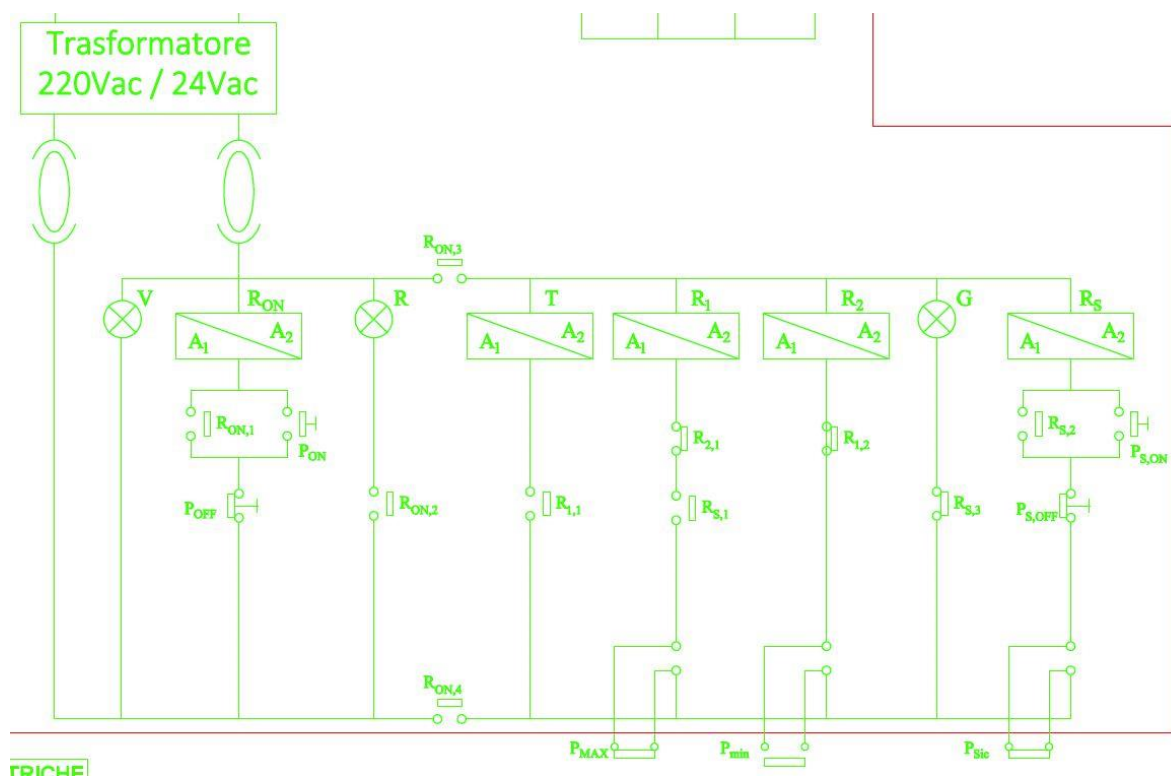
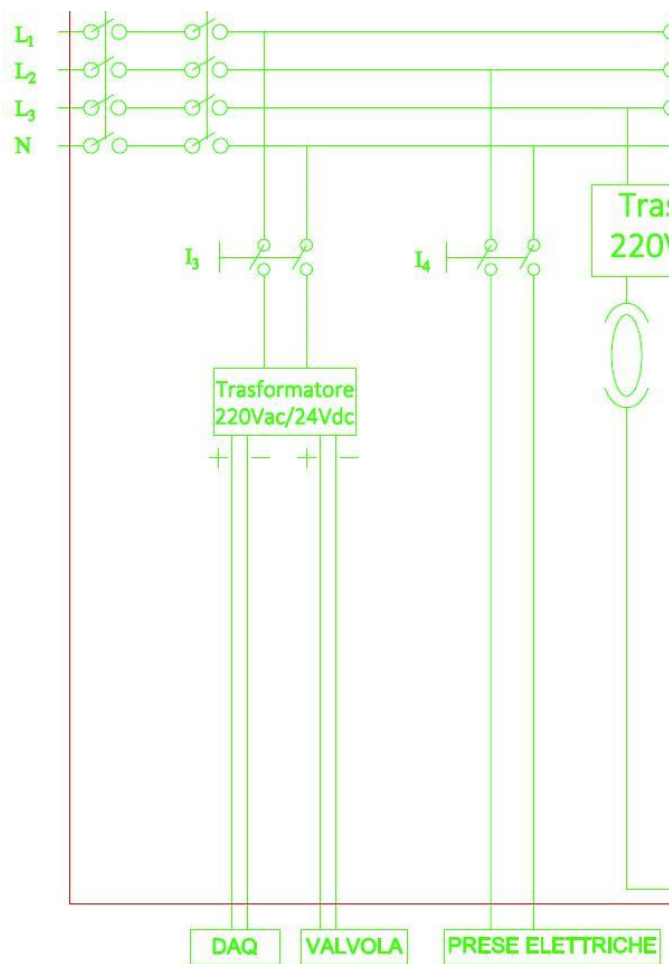


Figura 86 - schema elettrico del circuito di controllo con sistema di avviamento/esclusione dello stesso

ALIMENTAZIONE 24Vdc E ALIMENTAZIONE 220Vac

Poiché sia la valvola elettro-pneumatica Bürkert che la scheda di acquisizione National Instrument (alla quale saranno connessi i vari sensori) necessitano di alimentazione a 24 Vdc è stato montato all'interno del quadro elettrico un dispositivo in grado di soddisfare tale bisogno, cioè, oltre a trasformatore la tensione, renderla continua; si parla di alimentatore switching. Come si vede in figura 87, dalla linea 380 VAC di alimentazione preleviamo un'altra fase 220 Vac, che rappresenta l'ingresso del nostro alimentatore 24Vdc; prima dell'alimentatore è stato inserito un interruttore sezionatore bipolare I_3 (fase + neutro). Se l'interruttore è acceso l'alimentatore fornisce in uscita la corrente continua a 24Vdc da noi richiesta.



Sempre osservando la figura 87 si vede che, dalla linea a 380 Vac di alimentazione preleviamo una terza fase 220 Vac alla quale è stata collegata una ciabatta elettrica utile ad alimentare il PC che verrà utilizzato per l'acquisizione e l'elaborazione dei dati derivanti dai sensori; l'interruttore magnetotermico (I_4) seziona questa linea. Inoltre, questa uscita 220Vac può essere utilizzata per alimentare l'eventuale resistenza elettrica, per la quale è stata prevista la predisposizione all'interno del circuito idraulico, per il riscaldamento dell'acqua o per qualunque altra strumentazione che richieda 220 Vac.

Figura 87 - alimentazioni 24Vdc e 220Vac

Selezione delle componenti fisiche necessarie

Osservando lo schema elettrico di figura 84 si possono facilmente individuare le componenti principali del nostro quadro elettrico. Abbiamo bisogno di:

- La carpenteria, cioè l'involucro che racchiuderà al suo interno le componenti;
- Un sezionatore della linea di alimentazione collegato alla manopola di apertura dello sportello del quadro (I_0);
- Un interruttore magnetotermico differenziale (I_1);
- Un teleruttore (T);
- Un salvamotore (S);
- Un trasformatore 220Vac 24Vac;
- 2 relè a 2 contatti (R_1 e R_2);
- 2 relè a 4 contatti (R_{ON} e R_S);
- 2 pulsanti doppi per i circuiti di avviamento (P_{ON}/P_{OFF}) e di controllo sicurezza ($P_{S.ON}/P_{S.OFF}$);
- Un alimentatore switching 220Vac 24Vdc;
- due interruttori magnetotermici per la linea a 220Vac e 24Vdc (I_3 e I_4);
- 2 fusibili (F1,F2);
- 6 spie luminose (V,R,G,L₁,L₂,L₃).

Oltre a questi componenti macroscopici, di cui abbiamo descritto il principio di funzionamento all'interno del circuito elettrico, vanno aggiunti una serie di piccoli componenti, non individuabili nello schema di figura 84, ma tuttavia anch'essi necessari per la realizzazione del quadro elettrico. Tra di essi possiamo sicuramente annoverare: le guide di supporto DIN in acciaio, gli zoccoli per i relè, i morsetti, i portafusibili, le basi di fissaggio per le spie luminose, tutti i cavi e le canalette per cablaggio. Per completezza, in figura 88, viene riportata la lista di tutto il materiale elettrico acquistato per la realizzazione del quadro; l'acquisto è stato effettuato presso l'azienda AZ Elettrica srl di Misano Adriatico.

descrizione prodotti	q.tà		prezzo unitario netto	prezzo totale
COPPIA MONTANTI PER QUADRI 500X405X200MM	1	x	€ 11,79	€ 11,79
QUADRO DA PARETE IN POLIESTERE 500X405X200MM 54 MODULI	1	x	€ 124,81	€ 124,81
SEZIONATORE 3P 25A	1	x	€ 15,09	€ 15,09
QUARTO POLO 40A	1	x	€ 6,11	€ 6,11
MANIGLIA GIALLO/ROSSA LUCCHETTABILE	1	x	€ 4,65	€ 4,65
PROLUNGA PER BLOCCO PORTA	1	x	€ 2,80	€ 2,80
DS230NC INT. DIF. MAG. 6 KA	1	x	€ 125,32	€ 125,32
E 91/32 SEZIONATORE E 90 1 P 32A	2	x	€ 2,12	€ 4,24
FUSIBILE CH10 4A	2	x	€ 0,46	€ 0,92
FUSIBILE CH10 1A	5	x	€ 0,46	€ 2,30
E 92/32 SEZIONATORE E 90 2 P 32A	1	x	€ 5,28	€ 5,28
FUSIBILE CH10 2A	5	x	€ 0,46	€ 2,30
TESTA INDICATORE LUMINOSO ROSSO	1	x	€ 3,32	€ 3,32
TESTA INDICATORE LUMINOSO VERDE	1	x	€ 3,32	€ 3,32
TESTA INDICATORE LUMINOSO GIALLO	1	x	€ 3,32	€ 3,32
PORTALAMPADA LED VERDE	1	x	€ 4,94	€ 4,94
PORTALAMPADA LED ROSSO	1	x	€ 4,94	€ 4,94
PORTALAMPADA LED BIANCO	1	x	€ 4,94	€ 4,94
BASE DI FISSAGGIO	5	x	€ 1,68	€ 8,40
PULSANTI DOPPI RASATI	2	x	€ 6,06	€ 12,12
CONTATTO NA PER PULSANTERIA CONNESSIONE A VITE	2	x	€ 3,09	€ 6,18
CONTATTO NC PER PULSANTERIA CONNESSIONE A VITE	2	x	€ 3,09	€ 6,18
TS40/12-24 C TRASFORMATORE	1	x	€ 25,88	€ 25,88
CONTATTORE 3P+1NO 9A AC3	1	x	€ 16,93	€ 16,93
RELE' 2 SCAMBI	2	x	€ 7,93	€ 15,86
RELE' 4 SCAMBI	2	x	€ 8,45	€ 16,90
ZOCCOLO PER RELE' 55.34	2	x	€ 5,07	€ 10,14
ZOCCOLO PER RELE' 55.32	2	x	€ 4,39	€ 8,78
VIKING3 MORSETTO PROTEZ.	2	x	€ 3,34	€ 6,68
VIKING3 MORSETTO PER NEUTRO	2	x	€ 1,01	€ 2,02
VIKING3 MORSETTO STANDARD	15	x	€ 0,92	€ 13,80
VIKING3 TERMIN. PER MORSETTO	20	x	€ 0,49	€ 9,80
SPIA ROSSA 220V	3	x	€ 1,38	€ 4,14
CANALE PER CABLAGGIO 25X40	2	x	€ 1,69	€ 3,38
CORDA FS17 1X1,5 BLU	100	x	€ 0,16	€ 16,00
CORDA FS17 1X1,5 NERO	100	x	€ 0,16	€ 16,00
INTERRUTTORE SALVAMOTORE	1	x	€ 52,36	€ 52,36
GUIDA DIN 18 MODULI	3	x	€ 5,19	€ 15,57
BTDIN45 INTERR. MAGNETOTERMICO 10A 1P+N	2	x	€ 4,84	€ 9,67
CORDA FS17 1X2,5 NERO	100	x	€ 0,26	€ 26,00
CORDA FS17 1X2,5 BLU	100	x	€ 0,26	€ 26,00
CORDA FS17 1X2,5 G/V	100	x	€ 0,26	€ 26,00
CSL120C ALIMENTATORE 24VDC 5A	1	x	€ 45,44	€ 45,44
			TOTALE	€ 730,61

Figura 88 - preventivo di spesa per fornitura del materiale elettrico

Di seguito vengono espone ed analizzate le caratteristiche tecniche delle componenti principali acquistate ed utilizzate nella costruzione. Partiamo dalla carpenteria (figura 89), la quale sembra una scelta semplice e poco incisiva, mentre invece bisogna tenere conto di molti aspetti nella scelta di questo componente perché dovrà proteggere sotto tutti gli aspetti i dispositivi che ospita al suo interno.

GEWISS GW 46 003, CARPENTERIA STAGNA



Gamma di quadri stagni da parete realizzati in materiale poliestere rinforzato con fibra di vetro. Rispondenti alle norme internazionali IEC 61439-1 (CEI 17/113), IEC 61439-2 (CEI 17/114), IEC 60670-1 (CEI 23/48), IEC 60670-24 (CEI 23/49) e IEC 62208 (CEI 17-87). Disponibili in 7 grandezze, nelle versioni con porta cieca e oblò trasparente, con grado di protezione IP65. Accessoriabili con complementi ed accessori della serie Fast&Easy totalmente in metallo che consentono il montaggio del quadro e l'aggancio di apparecchiature modulari e scatolati fino a 250A con una riduzione dei tempi del 40%. Particolarmente indicati per automazione e distribuzione in applicazioni per uso sia interno che esterno.

Classe isolamento	II	Colore	Grigio RAL 7035
Dim. nominali BxHxP (mm)	405x500x200	Grado di protezione	IP65
Caratteristiche	Resistenza UV (EN 62208)	Materiale	Poliestere rinforzato con fibra di vetro
Resistenza agli urti	IK10	N. serrature	2
N. mod. EN 50022	54 (18x3)	Potenza dissipabile A (W)	95
Potenza dissipabile B (W)	53	Glow Wire Test	960 °C
Dim. funzionali BxHxP (mm)	409,5x502,5x200	Temperatura di impiego	-25 +60 °C
Tensione di isolamento	1.000 V	Tipo Materiale	Halogen free secondo norma EN 50267-2-2
Codice Electrocod	0321	Termopressione con biglia	200 °C
Accessori per ripristino isolamento	GW46446-GW46451	Normativa	EN 61439-1, EN 61439-2, EN62208, EN 60670-1, IEC 60670-24
Famiglia	46 QP	Tensione nominale massima di impiego (Ue)	690 V
Tipologia porta	Porta cieca		

COMPORTAMENTO AGLI AGENTI CHIMICI ED ATMOSFERICI										
Soluzione salina	Acidi		Basi		Solventi				Olio minerale	Raggi UV
	Concentrati	Diluiti	Concentrate	Diluite	Esano	Benzolo	Acetone	Alcool etilico		
Resistente	Resistenza limitata	Resistenza limitata	Resistenza limitata	Resistenza limitata	Resistenza limitata	Resistenza limitata	Non resistente	Resistenza limitata	Resistente	Resistente

Figura 89 - scheda tecnica del prodotto Gewiss GW 46 003

LOVATO GA025A



Il sezionatore tripolare (3P) (figura 90) permette di sezionare manualmente la linea di alimentazione del quadro elettrico. Viene montato sulla guida DIN all'interno del quadro e deve essere completato con prolunga in acciaio GAX300 e maniglia blocca porta da montare sulla faccia anteriore dello sportello della carcassa. Sopporta fino a 25 Ampere di corrente, molto maggiori di quelli a noi necessari per l'applicazione trattata in questa tesi. È lucchettabile in posizione zero "0" con semplice lucchetto e senza necessità di accessori aggiuntivi.

Figura 90 - sezionatore 3P Lovato GA025A

ABB DS203NC L C25 A30



L'interruttore magnetotermico differenziale DS203NC L C25 A30 della ditta ABB (figura 91) è progettato per applicazioni che richiedono sia una protezione contro le sovracorrenti (sovraccarichi e cortocircuiti),effettuata dalla parte magnetotermica, sia una protezione contro le correnti di dispersione verso terra, controllata dalla funzione differenziale; questi tipi interruttori aprono il circuito automaticamente all'insorgere di una sovracorrente o di una corrente di dispersione garantendo la

protezione delle persone e delle apparecchiature collegate.

Figura 91 - interruttore magnetotermico differenziale ABB DS203NC L C25 A30

LOVATO 11BG0910A024



Il contattore o teleruttore Lovato 11BG0919A024 (figura 92) permette la connessione elettromagnetica tramite bobina tra il circuito di controllo a bassa tensione 24Vac ed il circuito di potenza 380Vac; l'alimentazione della bobina è quindi a 24Vac. Questo dispositivo sopporta correnti fino a 9 Ampere, anch'esso è sufficiente nella nostra applicazione perché la corrente nominale è inferiore.

Figura 92 - contattore Lovato 11BG0919A024

SCHNEIDER TeSys GV2 - GV2ME10



Figura 93 - salvamotore Schneider TeSys GV2 - GV2ME10

Gli interruttori magnetotermici automatici “salvamotore”, come il TeSys GV2 - GV2ME10 della ditta Schneider (figura 93), sono una soluzione comune per proteggere il motore da cortocircuiti e sovraccarichi. A titolo di confronto, una soluzione basata su un fusibile può fornire solo una protezione parziale a seconda della scelta del tipo e della valutazione del fusibile. L'interruttore magnetotermico è regolabile e può essere regolato con precisione sul carico del motore, nel nostro caso il motore della pompa assorbe 1500 W.

Fornisce una protezione dell'installazione contro il cortocircuito mediante un intervento istantaneo dell'interruttore automatico. Lo scatto è ottenuto per mezzo di un elemento magnetico incorporato nell'interruttore del motore o da un rilevatore elettronico. La soglia di intervento magnetico non è regolabile ed è un rapporto fisso della corrente nominale massima impostata.

Fornisce anche una protezione del motore contro il sovraccarico. Quando la corrente assorbita dal motore è superiore alla corrente nominale, questa sovracorrente continua porta ad un aumento della temperatura interna del motore e riduce la durata del motore. L'uso di un dispositivo di protezione adeguato deve evitare questo danno al motore. Questa protezione è ottenuta per mezzo di un elemento termico incorporato nell'interruttore del motore o di sensori per prodotti elettronici. Viene inoltre fornita una compensazione automatica per le variazioni della temperatura ambiente. La corrente operativa nominale del motore viene visualizzata ruotando una manopola graduata.

Questo salvamotore fornisce un controllo manuale locale del motore quando utilizzato da solo (senza contattore). L'operazione è possibile tramite pulsanti, interruttore o una singola maniglia rotante.

FINDER SERIE 55

I relè Finder serie 55 (figura 94), a due o quattro contatti, permettono l'implementazione del circuito di controllo. In figura 94 si riporta anche la scheda tecnica di questi dispositivi.


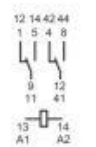
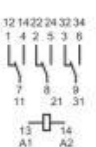

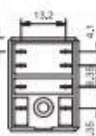
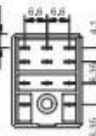
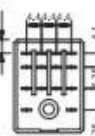

Relè per impieghi generali Montaggio ad innesto su zoccolo Tipo 55.32 - 2 scambi 10 A Tipo 55.33 - 3 scambi 10 A Tipo 55.34 - 4 scambi 7 A • Bobina AC o DC • Pulsante di prova bloccabile e indicatore meccanico standard sui tipi a 2 e 4 contatti • Variante con LED e modulo di protezione integrato • Zoccoli serie 94 per circuito stampato, a saldare o per montaggio su barra 35 mm (EN 60715) con terminali Push-in, a vite o a molla • Moduli di segnalazione e protezione EMC serie 99 e moduli temporizzatori tipo 86.30 • Adattatori per montaggi alternativi disponibili • UL Listing (combinazione relè/zoccolo) • Contatti senza Cadmio • Opzioni materiale del contatto • Brevetto Europeo		55.32	55.33	55.34
				 <ul style="list-style-type: none"> • 2 scambi 10 A • Innesto su zoccolo serie 94
				
				
PER PORTATE MOTORI E "PILOT DUTY" OMOLOGATE UL Vedere "Informazioni Tecniche" pagina V Per i disegni d'ingombro vedere pagina 7				
Caratteristiche dei contatti				
Configurazione contatti		2 scambi	3 scambi	4 scambi
Corrente nominale/Max corrente istantanea	A	10/20	10/20	7/15
Tensione nominale/Max tensione commutabile	V AC	250/400	250/400	250/250
Carico nominale in AC1	VA	2500	2500	1750
Carico nominale in AC15 (230 V AC)	VA	500	500	350
Portata motore monofase (230 V AC)	kW	0.37	0.37	0.125
Potere di rottura in DC1: 30/110/220 V	A	10/0.25/0.12	10/0.25/0.12	7/0.25/0.12
Carico minimo commutabile	mW (V/mA)	300 (5/5)	300 (5/5)	300 (5/5)
Materiale contatti standard		AgNi	AgNi	AgNi
Caratteristiche della bobina				
Tensione di alimentazione nominale (U _N)	V AC (50/60 Hz)	6 - 12 - 24 - 48 - 60 - 110 - 120 - 230 - 240		
	V DC	6 - 12 - 24 - 48 - 60 - 110 - 125 - 220		
Potenza nominale AC/DC	VA (50 Hz)/W	1.5/1	1.5/1	1.5/1
Campo di funzionamento	AC	(0.8...1.1)U _N	(0.8...1.1)U _N	(0.8...1.1)U _N
	DC	(0.8...1.1)U _N	(0.8...1.1)U _N	(0.8...1.1)U _N
Tensione di mantenimento	AC/DC	0.8 U _N / 0.5 U _N	0.8 U _N / 0.5 U _N	0.8 U _N / 0.5 U _N
Tensione di rilascio	AC/DC	0.2 U _N / 0.1 U _N	0.2 U _N / 0.1 U _N	0.2 U _N / 0.1 U _N
Caratteristiche generali				
Durata meccanica AC/DC	cicli	20 · 10 ⁶ / 50 · 10 ⁶	20 · 10 ⁶ / 50 · 10 ⁶	20 · 10 ⁶ / 50 · 10 ⁶
Durata elettrica a carico nominale in AC1	cicli	200 · 10 ³	200 · 10 ³	150 · 10 ³
Tempo di intervento: eccitazione/diseccitazione	ms	10/5	10/5	11/3
Isolamento tra bobina e contatti (1.2/50 μs)	kV	4	4	4
Rigidità dielettrica tra contatti aperti	V AC	1000	1000	1000
Temperatura ambiente	°C	-40...+85	-40...+85	-40...+85
Categoria di protezione		RT I	RT I	RT I
Omologazioni (a seconda dei tipi)				

Figura 94 - scheda tecnica relè Finder serie 55

ABB TS 40/12-24 C



In figura 95 viene riportata la foto del trasformatore di tensione 220Vac/24Vac per alimentare il circuito di controllo.

Figura 95 - trasformatore di tensione ABB TS 40/12-24 C

CABUR XCLS 120C

In figura 95 viene riportata la foto dell'alimentatore switching trasformatore di tensione 220Vac/24Vdc per alimentare la DAQ National Instrument e la valvola di regolazione Bürkert.



CARATTERISTICHE TECNICHE	
Tensione d'ingresso (Vac)	90 - 264 Vac
Tensione di uscita (V)	24 Vdc
Corrente di uscita (A)	5
Corrente limite di sovraccarico (A)	8 A per >30 s con $U_{out} > 90\% U_n$
Corrente di picco di corto circuito	13 A per 50 ms
Rendimento	>87% / >91%
Montaggio	verticale su guida, distanziare 10 mm dai componenti adiacenti
Pezzi per confezione	1

Figura 95 – alimentatore switching cabur xcls 120c e dati tecnici

Costruzione del quadro elettrico

Una delle prime valutazioni da fare nella realizzazione di un quadro elettrico riguarda lo spazio necessario ad ospitare tutti i componenti. Per il nostro scopo, come visto, si è scelta una carpenteria di dimensioni 500x405x200 mm. Scelta la carpenteria e con tutti i dispositivi a disposizione, bisognerà quindi studiare come posizionare ogni singolo componente all'interno della nostra scatola in maniera ottimale.

Si è deciso di collocare i componenti elettrici su tre linee all'interno del quadro, per cui abbiamo fissato tre guide DIN in acciaio sul fondo della scatola. I vari componenti sono stati posizionati in modo da minimizzare la lunghezza dei collegamenti elettrici ed armonizzare la distribuzione dei nodi, tenendo in considerazione le dimensioni dei morsetti, cioè di quanti cavi ogni tipo di morsetto potesse ospitare. Un altro aspetto di cui abbiamo tenuto conto è stato quello di utilizzare il minor numero possibile di cavi di collegamento tra il coperchio e l'interno del quadro, in modo da limitare le dimensioni della matassa di cavi. Prima ancora di posizionare i vari componenti nelle guide DIN, sono stati effettuati i fori di precisione sul coperchio del quadro, destinati ad ospitare i componenti di controllo manuale e visivo (interruttori, pulsanti e lampade spia). Quindi si sono inseriti tutti i componenti sulle guide DIN ed intorno ad essi sono state fissate le canaline. A questo punto sono stati eseguiti tutti i collegamenti come riportato nello schema elettrico di figura 84.

Per la linea di alimentazione 380 Vac sono stati utilizzati cavi di sezione 2,5 mm, per le bobine dei relè e per le lampade spia cavi di sezione 1 mm mentre per tutti gli altri collegamenti cavi da 1,5 mm. Si è cercato di rispettare il più possibile il colore dei cavi di collegamento, utilizzando il blu per il neutro, il giallo-verde per la massa, il nero per le fasi ed il meno (-) del 24 Vdc, il rosso per il più (+) del 24 Vdc.

In figura 96 e figura 97 sono riportate una foto del coperchio e una foto dell'interno del quadro, sul quale sono facilmente individuabili tutti i componenti elettrici utilizzati. Come si può osservare, sulla prima guida DIN in alto sono stati collocati tutti i morsetti, mentre nella seconda guida, procedendo da sinistra verso destra, troviamo: l'alimentatore switching, il salvamotore, il teleruttore, l'interruttore magnetotermico differenziale (I_1) e l'interruttore sezionatore a maniglia (I_0). Infine nella terza guida in basso ci sono: gli interruttori

magnetotermici della linea 220Vac (I_4) e della linea 24Vdc (I_3), i quattro relè R_{ON} , R_2 , R_1 e R_S , i portafusibili dei fusibili F_1 e F_2 ed il trasformatore del circuito di controllo. In alto sopra ai morsetti, sulla parete superiore del quadro, si possono notare i fori destinati al passaggio dei cavi per i seguenti scopi:

- 1) alimentazione 24 Vdc della DAQ Board National Instrument;
- 2) alimentazione 24 Vdc del posizionario della valvola pneumatica Bürkert;
- 3) collegamento dei 3 pressostati compatti 24Vac con i relativi contatti;
- 4) alimentazione 220Vac della prese elettriche;
- 5) alimentazione 380 Vac della pompa sommersa;
- 6) ingresso della linea di alimentazione del quadro elettrico 380 Vac.

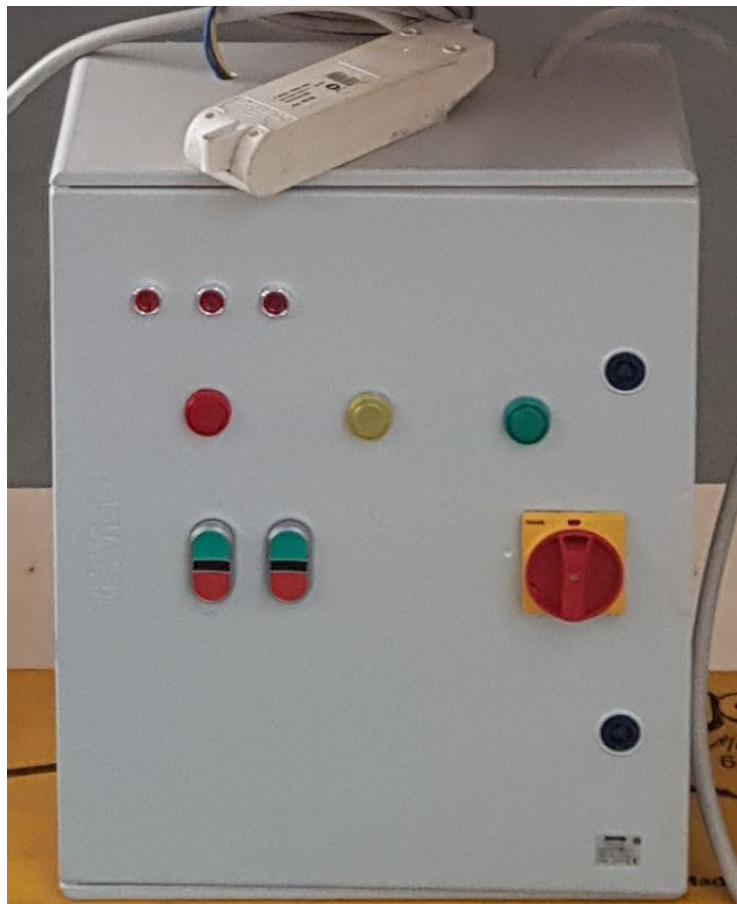


Figura 96 - pannello frontale del quadro elettrico

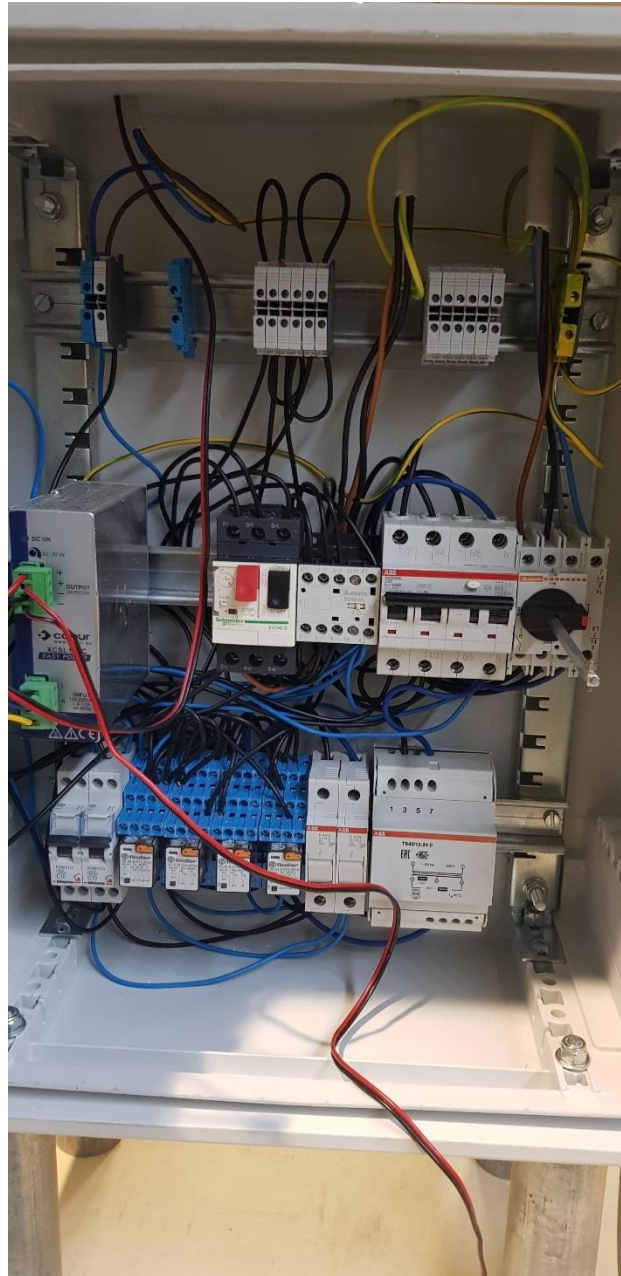


Figura 97 - interno del quadro elettrico

Installazione e collaudo del quadro elettrico

Finita la fase di costruzione il quadro elettrico è stato installato presso il circuito idraulico sperimentale. Come si vede dalla figura 56 si è deciso di collocarlo sul ripiano inferiore del carrello in posizione leggermente decentrata verso sinistra per evitare l'ingombro delle flange, che ospitano il diaframma, durante l'apertura dello sportello; inoltre

è stato leggermente rialzato grazie all'utilizzo di quattro spezzoni di tubo avanzato dalla costruzione della parte idraulica per evitare che la tubazione impedisse l'apertura dello sportello.

Si sono quindi collegati i due cavi di uscita 24 Vdc alla valvola elettro-pneumatica Bürkert ed alla DAQ Board National Instrument, che alimenta tutti gli altri sensori, e collegato le tre fasi del cavo di alimentazione alla pompa. Non avendo ancora a disposizione i tre pressostati, per la fase di collaudo si sono utilizzati tre pulsanti, così da aprire e chiudere manualmente i tre contatti relativi alla pressione minima, massima e di sicurezza. Dopo aver collegato anche il cavo di alimentazione del quadro alla presa elettrica a 380 Vac e chiuso lo sportello del quadro, sono state effettuate le operazioni di collaudo.

Abbiamo quindi girato la manopola dell'interruttore I_0 e la spia luminosa verde V si è accesa, indicandoci che l'alimentazione elettrica raggiungeva il quadro. Poi abbiamo premuto il pulsante verde P_{ON} e sia la spia luminosa rossa R che quella gialla G si sono accese. La prima ci stava indicando che anche il circuito di controllo era alimentato, mentre la seconda ci segnalava che il controllo di sicurezza non era attivo. Una volta premuto il pulsante verde $P_{S,ON}$ e attivato il circuito di sicurezza la spia gialla si è regolarmente spenta e la pompa è partita; simultaneamente si sono accese anche le tre spie L_1 , L_2 e L_3 . Appena la pompa si è accesa abbiamo immediatamente verificato che stesse girando nel verso giusto. Dopo esserci accertati di ciò, abbiamo proceduto a verificare il corretto funzionamento del circuito di controllo aprendo e chiudendo i contatti dei pressostati grazie ai 3 pulsanti, potendo costatarne il corretto funzionamento.

Con l'accensione del sezionatore I_0 è stato alimentato anche l'alimentatore switching; si sono quindi accesi i display della valvola pneumatica Bürkert e, tramite la scheda NI, il Cerabar ed il Deltabar; non dispongono di display ma erano comunque alimentati l'accelerometro e il trasduttore di temperatura Omnigrad. Ovviamente risulta alimentata anche la ciabatta con le prese elettriche.

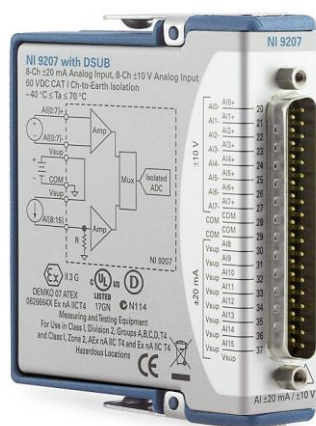
Possiamo quindi concludere che il quadro elettrico che abbiamo realizzato risulta essere funzionante e pronto per l'utilizzo.

ACQUISIZIONE DATI

A questo punto che l'impianto idraulico e il quadro elettrico che alimenta tutte le componenti e la strumentazione sono completi, i passi successivi sono stati il corretto collegamento dei sensori ai pin della scheda di acquisizione e, successivamente, il collegamento, tramite cavo USB, e la configurazione, tramite installazione dei software necessari, della scheda di acquisizione al PC.

Questa parte del sistema permetterà di monitorare continuamente le variabili di processo, come pressione, portata temperatura e vibrazioni sul corpo pompa; ciò porta ad una conoscenza in tempo reale e approfondita di quello che sta avvenendo nell'impianto che permette quindi di poter prendere decisioni ed agire in maniera istantanea, anche tramite algoritmo, per regolare a proprio piacimento queste variabili di processo. I dispositivi che compongono questa parte dell'impianto sono stati acquistati dall'azienda National Instrument e verranno descritti in questo paragrafo.

DAQ Board NI-9207



Il modulo di acquisizione NI-9207 della serie C con connettore DSUB a 37 pin (figura 98) dispone di 16 canali di acquisizione di cui 8 input per segnali in tensione (± 10 V) e 8 input per segnali in corrente (± 20 mA). Questo dispositivo ha una frequenza di acquisizione di 500 Sample/s totale (da dividere sui 16 canali dato che utilizza un sistema multiplexer per l'acquisizione) e una risoluzione di 24 bit del convertitore analogico/digitale (ADC).

Figura 98 - modulo NI 9207

Nelle figura 99 e 100 vengono riportati lo schema elettronico del dispositivo e lo schema che permette di individuare la funzione di ciascuno dei 37 pin. In figura 99 è chiaro come i segnali vengono acquisiti, amplificati, condizionati (se necessario) e infine campionati da un singolo Multiplexer a 24 bit.

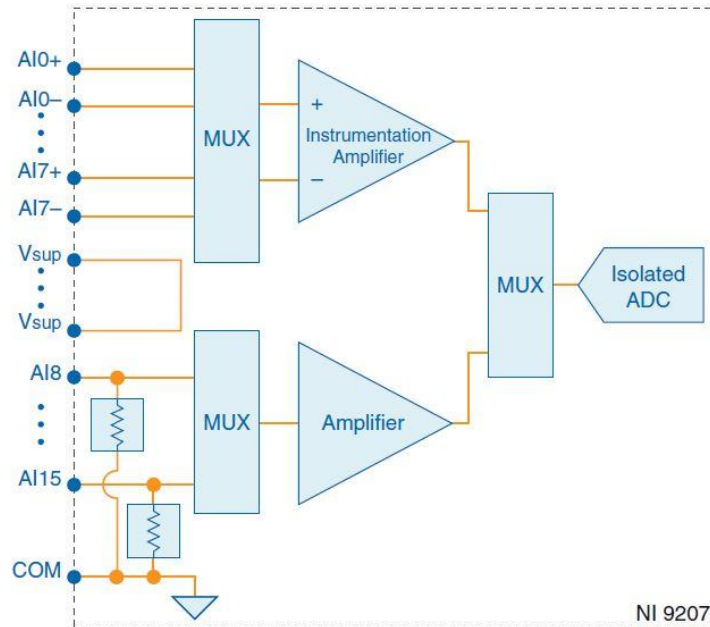
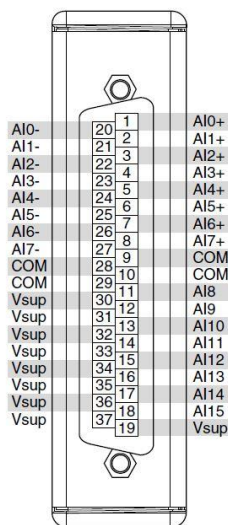


Figura 99 - circuito elettronico del modulo NI 9207

In figura 100 è possibile individuare qual è la funzione di ogni pin della scheda DAQ: AI+ e AI- indentificano i pin che devono essere utilizzati per acquisire i segnali analogici in tensione, la sigla AI identifica il pin da utilizzare per acquisire i segnali analogici di corrente, Vsup corrisponde ai pin collegati all'alimentazione 24Vdc e la sigla COM identifica il livello comune di tensione necessario per la chiusura dei circuiti.



Signal	Description
AI+	Positive analog input voltage connection
AI-	Negative analog input signal connection
AI	Analog input current connection
Vsup	Voltage supply connection
COM	Common reference connection to isolated ground

Figura 100 - descrizione dei pin del modulo NI 9207

La porta DSUB a 37 è molto utile per la connessione al modulo NI-9207 dell'accessorio NI CB-37F-LP (figura 101) che permette una facile connessione dei cavi elettrici provenienti dall'alimentazione e dai sensori ai 37 pin della scheda tramite l'utilizzo di morsetti a vite.



Figura 101 - modulo NI CB-37F-LP

In figura 102 vengono mostrati i due dispositivi connessi tra loro.



Figura 102 - modulo NI-9207 e modulo NI CB-37F-LP connessi

CompactDAQ NI-9171

Lo chassis CompactDAQ USB a 1 slot cDAQ-9171 (figura 103) è uno chassis CompactDAQ USB alimentato tramite bus progettato per sistemi di misura con sensori portatili, di dimensioni compatte. Lo chassis offre la semplicità plug-and-play della tecnologia USB per misure elettriche e con sensore. Controlla anche la temporizzazione, la sincronizzazione e il trasferimento dati tra moduli I/O C Series e un host esterno. È possibile utilizzare questo chassis con una combinazione di moduli I/O C Series per creare una soluzione che combina misure counter/timer, I/O analogico e I/O digitale. cDAQ-9171 include anche quattro counter/timer generici a 32-bit accessibili tramite un modulo I/O C Series digitale a temporizzazione hardware per applicazioni che impiegano encoder di quadratura, generazione di treni di impulsi, conteggio eventi, PWM e misure di periodo e frequenza.

Nel nostro caso questo dispositivo ci permetterà di poter visualizzare ed elaborare i segnali acquisiti dal modulo NI-9207 sul PC.

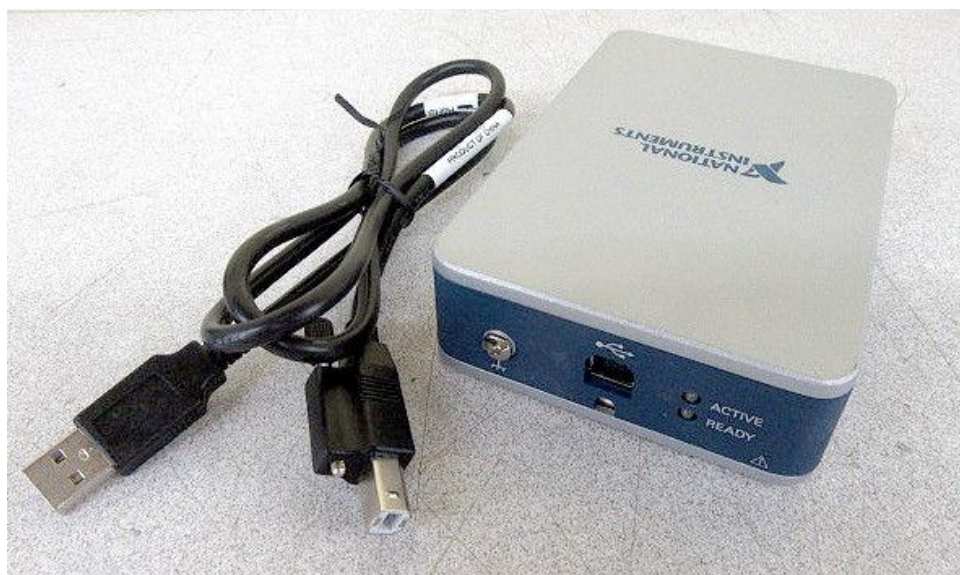


Figura 103 - CompactDAQ NI-9171

Per ulteriori informazioni riguardo ai dispositivi sopra elencati si rimanda al sito del produttore [20].

Collegamento dei sensori al modulo NI-9207

Prima di connettere i sensori alla scheda bisogna verificare che le connessioni che portano l'alimentazione elettrica a 24Vdc siano corrette; abbiamo collegato il cavo rosso (+) uscente dal trasformatore switching all'interno del quadro elettrico ad un pin V_{sup} della scheda e il cavo nero (-) ad un pin denominato COM. In questo modo siamo sicuri che la scheda sia alimentata.

Il passaggio successivo è verificare sulle schede tecniche di ogni sensore che tipo di connessione ognuno di essi richiede; nel nostro caso tutti i sensori funzionano con segnali in corrente (4-20 mA) e quindi devono essere collegati tramite lo schema denominato "a due cavi" o "loop-powered connection" che viene riportato in figura 104.

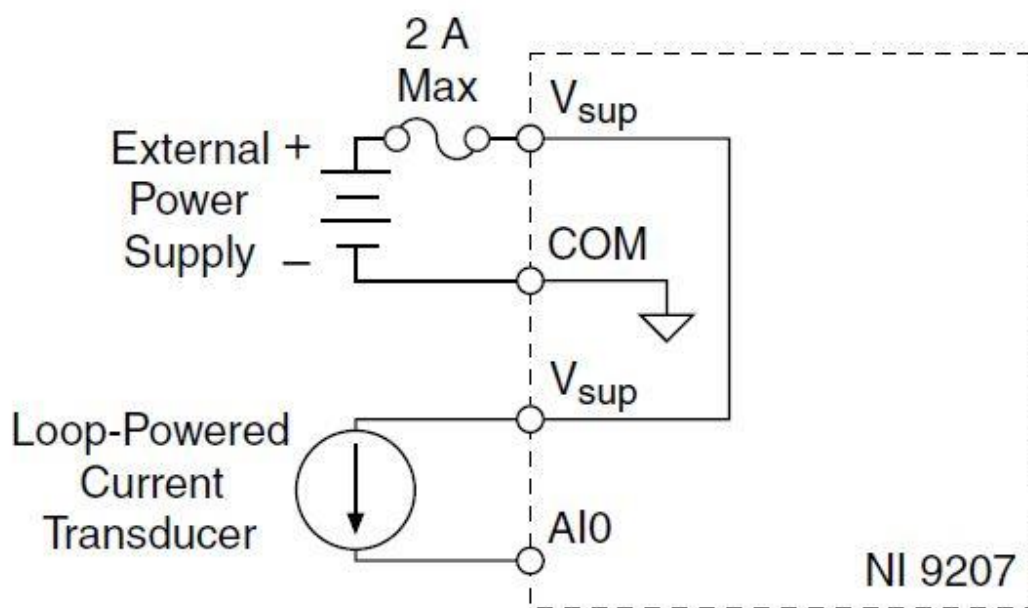


Figura 104 - loop-powered connection

Perciò, il cavo rosso (+) va dal morsetto + del sensore ad un pin V_{sup} della scheda NI mentre il cavo nero (-) va dal morsetto - del sensore ad un pin dedicato per l'acquisizione dei segnali analogici in corrente (in figura, ad esempio, viene mostrato il pin AI0).

Effettuati questi collegamenti, per il Deltabar e per il Cerabar è stato facile verificare la correttezza di ciò che era stato fatto perché i loro display si sono accesi non appena

l'alimentazione generale è stata attivata; per gli altri strumenti, invece, serviva necessariamente verificare dal PC se i segnali da loro trasmessi venivano acquisiti. Nell'ultimo paragrafo esporrò come è stata fatta questa verifica tramite la configurazione e l'utilizzo del software LabView 2018 della National Instrument.

Acquisizione su PC tramite software LabView 2018

Il software LabView 2018 della National Instrument, per la visualizzazione a video dei dati acquisiti dalla Daq Board e per l'eventuale elaborazione tramite linguaggio grafico, è stato installato sul PC che verrà utilizzato in laboratorio facendo uso della licenza accademica dell'università degli studi di Bologna.

Una volta installato il pacchetto del software e avendo collegato la porta USB al PC, il tool NI MAX (figura 105) rileva automaticamente il modello di hardware connesso e ne configura le specifiche. A questo punto la spia luminosa gialla del cDAQ è accesa su "ready" indicando che il sistema è pronto a esercitare la sua funzione.

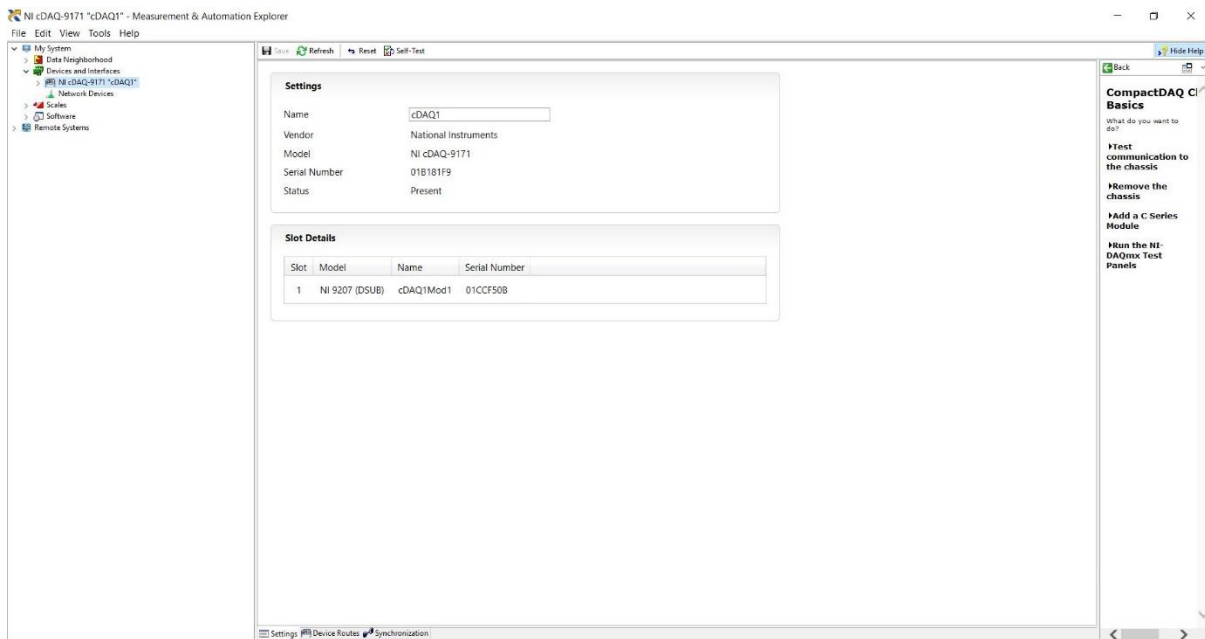


Figura 105 - schermata del tool NI MAX

Ora si può aprire il software principale LabView 2018. Si crea un nuovo VI (Virtual Instrument) e utilizzando il blocco NI-DAQmx si creano tutti i canali di acquisizione rispettando la numerazione degli stessi sui pin della DAQ NI-9207; una volta impostate le scale di misura desiderate sui grafici che verranno creati dal programma sarà possibile visualizzare i dati acquisiti, in base al tipo di campionamento e alla frequenza di campionamento (sample rate) scelti. Nelle figure 106, 107 e 108 sono riportati alcuni fermo-immagine del software eseguiti durante le prove di collaudo dell'impianto.

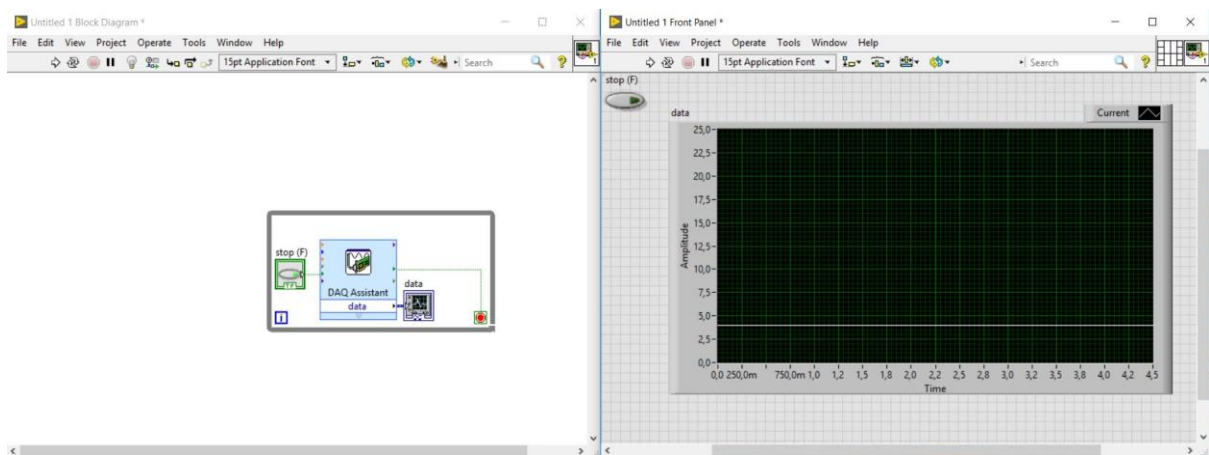


Figura 106 - prova di acquisizione sul Cerabar

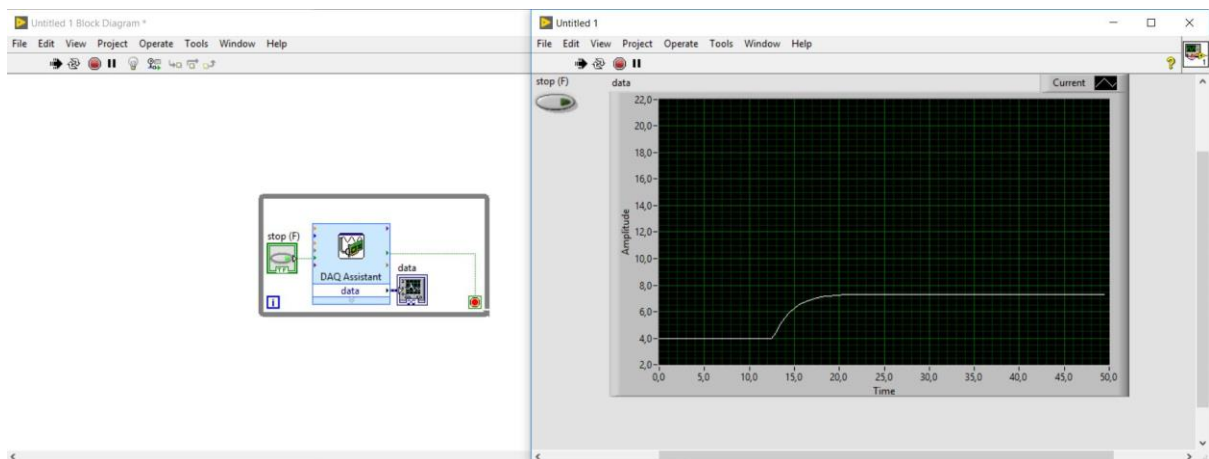


Figura 107 - prova di acquisizione sul Cerabar in cui viene evidenziato un cambiamento di pressione

Dalla figura 106 si vede che si sta acquisendo un segnale analogico in corrente di 4 mA; questo segnale corrisponde quindi al valore minimo di acquisizione che per coerenza è stato impostato sul valore di pressione atmosferica. Nella figura 107, invece, viene messo in risalto un cambiamento di valore nel segnale analogico acquisito che da 4 mA passa a circa 7,5 mA;

ciò significa che l'impianto è stato avviato e il valore di pressione è stato rilevato correttamente dal trasduttore.

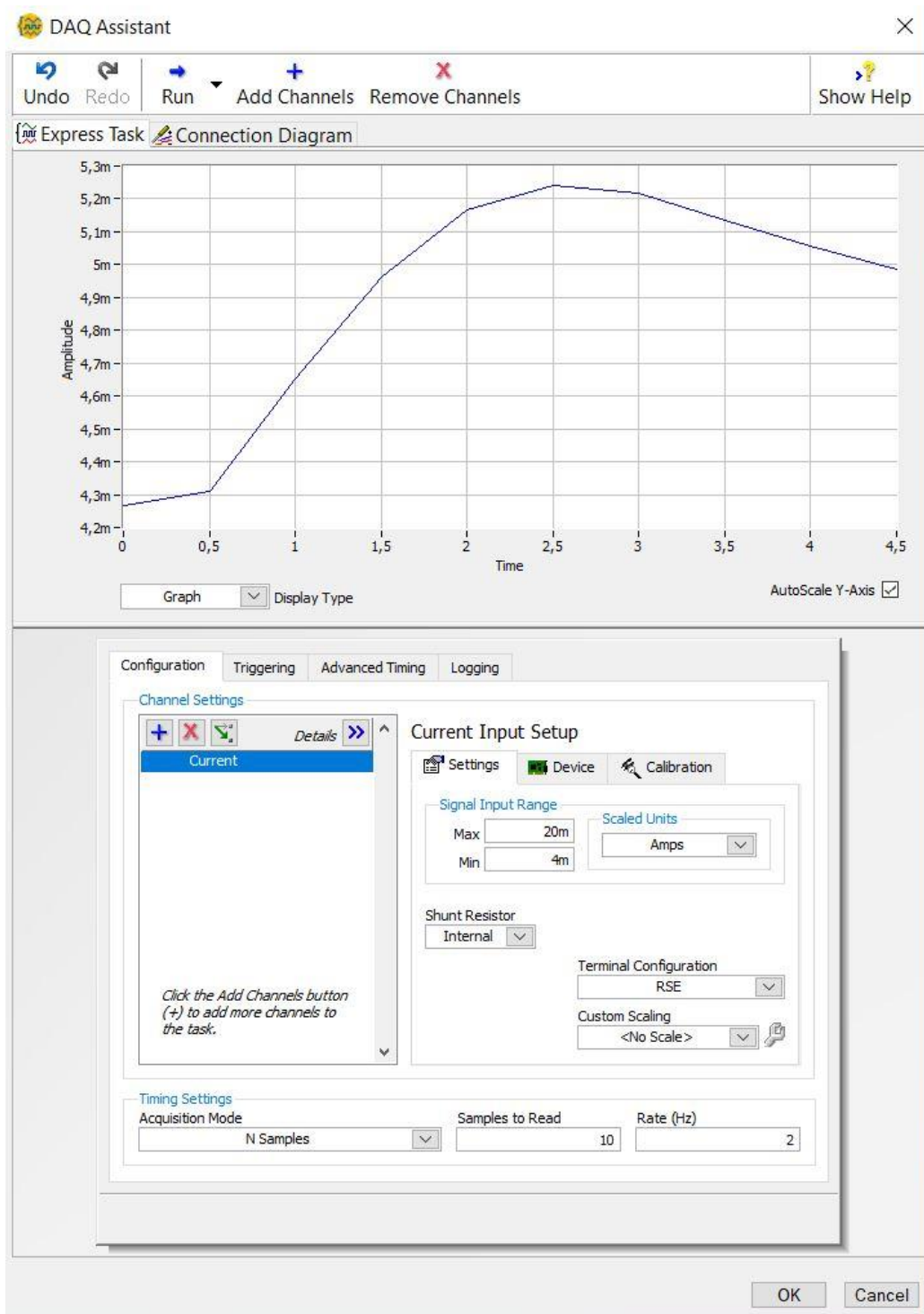


Figura 108 - prova di acquisizione dall'accelerometro

Conclusioni

I tre capitoli di questa tesi descrivono in maniera approfondita l'obiettivo di questo lavoro. In particolare, nel capitolo 3 vengono descritti i passaggi pratici necessari a rendere completo e funzionante l'impianto che il dipartimento di ingegneria industriale dell'università di Bologna ha voluto costruire nell'ambito del progetto europeo per promuovere l'automazione industriale che, come abbiamo visto nei primi due capitoli teorici, è un requisito ormai fondamentale per la sopravvivenza di un'azienda.

Il primo fine della costruzione di questo impianto risulta quindi ben chiaro. Utilizzato nella didattica, ed in particolare nei corsi universitari tenuti dal prof. Ing. Augusto Bianchini quali Impianti Industriali ed Automazione di Impianti, questo piccolo e semplice impianto ha comunque un potere istruttivo non banale. Esso infatti, si prefigge di mostrare agli studenti quelli che sono i concetti fondamentali dell'automazione di un impianto e, inoltre, di far toccare con mano quelle che sono le componenti fisiche, meccaniche, idrauliche ed elettroniche che costituiscono questi impianti. Sarà possibile educare le nuove generazioni di ingegneri meccanici che si affacceranno alle sempre più avanzate realtà lavorative instaurando saldamente in loro le basi dell'automazione industriale e i concetti dell'Industry 4.0, requisiti che fanno la differenza oggi come oggi.

La realizzazione di questo sistema risulterà utile anche ad un altro scopo, come spiegato nei capitoli di questa tesi. L'impianto risulta infatti un valido banco di prova per la caratterizzazione delle pompe sommerse, grazie anche alla possibilità di sostituzione della

stessa ottenuta tramite il sistema di semplice smontaggio descritto nel capitolo 3. Studiando i dati forniti dall'accelerometro installato sulla pompa, sarà inoltre possibile ricercare se esiste una correlazione tra il modo di vibrare di una sommersa, o il cambiamento di questo modo di vibrare durante le ore di funzionamento, e la vicinanza alla rottura della stessa. Verranno, quindi, condotti esperimenti per stabilire le modalità possibili di manutenzione preventiva dei grandi impianti di distribuzione civile dell'acqua negli acquedotti in modo tale da ridurre i costi di gestione ed aumentare la qualità del servizio.

Avendo affrontato tutte le parti necessarie alla costruzione ed essendo riuscito a rendere funzionante l'impianto, posso considerare con grande soddisfazione che questo lavoro è concluso e l'impianto è pronto per essere utilizzato per i fini sopra descritti. Nonostante ciò, sono consapevole che questo è solo l'inizio di un progetto molto più grande ed ambizioso e che quindi il lavoro da me svolto potrà essere sicuramente migliorato ed ottimizzato nelle sue varie parti e potrà essere implementato con nuove strumentazioni per renderlo sempre attuale con le tecnologie più richieste e performanti. Questo aspetto però non mi scoraggia affatto, anzi, mi sento orgoglioso di aver dato inizio a qualcosa che potrà essere utile per i miei colleghi ingegneri e sul quale qualcuno di essi, magari, potrà lavorare personalmente apportando le sue idee e le sue conoscenze al fine di renderlo migliore.

Infine, vorrei concludere dall'inizio e cioè raccontando come questo progetto di tesi mi sia stato affidato dal prof Ing. Augusto Bianchini. Insieme alla mia famiglia, gestisco un albergo sulla riviera romagnola; lavorandoci ho maturato un'esperienza non indifferente e in tutti i molteplici ambiti a cui bisogna fare attenzione mi sono reso conto che uno veniva trascurato, forse perché non dipende direttamente dalle capacità richieste ad un albergatore. Questo aspetto è quello che riguarda tutta la parte impiantistica di una struttura ricettiva che, pur essendo impiantistica civile, inizia ad essere di dimensioni importanti. Fin dai primi anni di studi, per questo motivo, mi sono da subito appassionato alle materie che trattavano gli impianti meccanici fino al corso di Automazione Industriale, grazie al quale ho ottenuto, in accordo con il professore, questo lavoro per la mia tesi di laurea magistrale.

Oltre a sostenere che un albergatore dovrebbe avere bene presente lo stato di tutti gli impianti presenti nella propria struttura, e il concetto di automazione e acquisizione dei dati tramite sensori è perfetto per conoscerlo, per poter programmare una manutenzione adeguata la quale può portare indubbiamente benefici al servizio offerto in termini di comfort

e qualità, ritengo che sia un valore aggiunto conoscere le parti funzionali di questi impianti e il loro funzionamento in modo tale da poter trattare con tecnici e fornitori avendo ben presente ciò di cui si sta parlando così da poter valutare al meglio ogni proposta d'intervento.

Infine, portare a termine questo progetto ha rafforzato notevolmente le mie capacità di organizzazione, perché dover coordinare il lavoro dei progettisti con il lavoro dei tecnici addetti al montaggio, dovendo al tempo stesso reperire il materiale in tempi più brevi possibili dai fornitori, non è cosa banale; per questo motivo sono molto soddisfatto di aver avuto la possibilità di mettermi alla prova e, non senza difficoltà certamente, essere riuscito a terminare il lavoro.

BIBLIOGRAFIA

- [1] – “Industry 4.0: Entrepreneurship and Structural Change in the New Digital Landscape” - Tessaleno Devezas, Joao Leitao, Askar Sarygulov.
- [2] – “Industry 4.0 – A Glimpse” - 2nd International Conference on Materials Manufacturing and Design Engineering - Saurabh Vaidya, Prashant Ambad, Santosh Bhosle.
- [3] - <http://www.industria40.it/>
- [4] – “Studio di Fattibilità Tecnico Economico per l’Automazione di un reparto presse tramite l’applicazione di Cobot” – Luca Arlotti – tesi di laurea magistrale, università di Bologna.
- [5] - <https://www.focus.it/tecnologia/digital-life/la-scienza-in-realta-virtuale>
- [6] - “Mercato IoT: quanto vale l'Internet of Things in Italia” - Angela Tumino
- [7] – “The Internet of Things: A survey” - Luigi Atzori, Antonio Iera, Giacomo Morabito
- [8] – Y.-W. Ma, C.-F. Lai, Y.-M. Huang, J.-L. Chen, Mobile RFID with IPv6 for phone services, in: Proceedings of IEEE ISCE 2009, Kyoto, Japan, May 2009.
- [9] - S.-D. Lee, M.-K. Shin, H.-J. Kim, EPC vs. IPv6 mapping mechanism, in: Proceedings of Ninth International Conference on Advanced Communication Technology, Phoenix Park, South Korea, February 2007.
- [10] – “ Sustainable Industry 4.0 framework: A systematic literature review identifying the current trends and future perspectives” - Sachin S. Kamble, Angappa Gunasekaran, Shradha A. Gawankar
- [11]-<https://www.agendadigitale.eu/infrastrutture/industry-40-e-cybersecurity-perche-non-possiamo-permetterci-di-considerarle-separate/>
- [12] - Transparency Market Report. (May, 2015).Big Data Applications in Healthcare likely to Propel Market to US\$48.3 Bn by 2018. Retrieved June 26, 2015, from <http://www.transparencymarketresearch.com/pressrelease/big-data-market.htm>
- [13] – “PIANO NAZIONALE INDUSTRIA 4.0” - Carlo Calenda, Ministro dello Sviluppo Economico 10 maggio 2016 – 1º giugno 2018.
- [14] – “Piano Calenda Industria 4.0 e Impresa 4.0: investimenti a +11%” – Mauro Bellini, 14 febbraio 2018.
- [15] – “Controllo di processo e automazione” – Enciclopedia degli idrocarburi

[16] – “strumentazione e automazione industriale” – Cesare Sacconi, Augusto Bianchini, Marco Pellegrini – slide del corso universitario

[17] - <https://www.it.endress.com/it>

[18] - <http://www.caprari.it/>

[19] - https://www.wika.it/pcs_it_it.WIKA

[20] - <http://www.ni.com/it-it.html>