POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale
In Ingegneria Energetica e Nucleare

Tesi di Laurea Magistrale

Analisi dell'efficientamento energetico e benefici derivanti dall'implementazione di un sistema di controllo HVAC con algoritmi predittivi in cloud presso una palazzina uffici

Relatore
Prof. MASOERO Marco Carlo

Co-relatore
Prof. TONIOLO Jacopo

Candidato
LIBOÁ Lorenzo

Anno Accademico 2019/2020

SOMMARIO

1. INDICE DELLE FIGURE 5

2. INDICE DELLE TABELLE 8

3. NOTA INTRODUTTIVA 9

4. INTRODUZIONE 10

4.1. CONTROLLO E CLIMATE CHANGE 10
4.2. LA SOCIETÁ ENERBRAIN S.R.L. 14
4.3. STORIA DEI SISTEMI DI CONTROLLO 14
4.4. CLASSIFICAZIONE DEI SISTEMI DI CONTROLLO 17

5. BMS: IL CONTROLLO IN CAMPO HVAC 21

5.1. STORIA CONTROLLO HVAC 21
5.2. DCS, SCADA E BMS 22
5.3. TIPOLOGIE DI COMUNICAZIONE PER I SISTEMI DI CONTROLLO 34
5.4. TIPI DI REGOLAZIONE IN CAMPO BMS 41
5.4.1. Controllo ON/OFF 41
5.4.2. Controllo flottante 43
5.4.3. Controllo PID 44
5.5. CONTROLLO CON PLC 47
5.5.1. Specifiche dei PLC 48
5.5.2. Tipologie di controllori PLC presenti 53
5.5.3. Futuri sviluppi possibili 56

6. CASO STUDIO: LEONARDO S.P.A. 60

6.1. STORIA DEL GRUPPO 60
6.2. LO STABILIMENTO DI GENOVA 61
6.2.1. Dati climatici 62
6.3. IMPIANTO DI CLIMATIZZAZIONE ESISTENTE 66
6.4. IMPIANTO AERAULICO 67
6.5. IMPIANTO IDRONICO 76
6.6. SISTEMA DI GENERAZIONE 83
6.6.1. Gruppo frigo 83
6.6.2. Centrale termica 86

7. STATO DI FATTO DELL'EDIFICIO 88

7.1. CONSUMI DI ENERGIA ELETTRICA 89
7.2. CONSUMI DI GAS NATURALE 91
7.3. CONSUMI COMPLESSIVI E ANALISI DEI COSTI 94
7.4. ANALISI DEI CONSUMI E DEI COSTI DELL'AREA OGGETTO DI INTERVENTO 96

8. PROPOSTA DI EFFICIENTAMENTO ENERGETICO 100

8.1. CASO STUDIO DI RIFERIMENTO 100
8.2. RISPARMI ENERGETICI CONSEGUIBILI SU LEONARDO 103
8.3. IL CONTROLLO DI ENERBRAIN 109

9. BUSINESS CASE E RISULTATI ATTESI 111

9.1. CALCOLO DEL ROI E RISULTATI ECONOMICI 111
9.2. RISULTATI SOCIALI ED AMBIENTALI 113

10. INTERVENTI FUTURI 116

11. CONCLUSIONI 118

12. BIBLIOGRAFIA: 120

13. ALLEGATI 123

13.1. SCHEDA TECNICA – UTA QUARTO PIANO 123
13.2. SCHEDA TECNICA – SERRANDE SIEMENS 128
13.3. SCHEDA TECNICA – POMPE GRUNDFOS 133
13.4. SCHEDA TECNICA – GF 30XA-0802-A 146
13.5. SCHEDA TECNICA – VALVOLA MOTORIZZATA SIEMENS SDK62 151

1. INDICE DELLE FIGURE

Figura 1: Anomalia della temperatura globale registrata dalla NASA dal 1880 al 2019. Lo 0 indica la media di temperatura riferita all'arco temporale 1951-1980. (NASA Climate, 2019). 11
Figura 2: rappresentazione del controllore centrifugo di James Watt. 16
Figura 3: Processo di un sistema di controllo. Immagine tratta dal libro "Control Engineering" - L. Keviczky, R. Bars, J. Hetthéssy, and C. Bányász, pagina 6. 18
Figura 4: diagramma a blocchi anello aperto. Immagine tratta dal libro "Instrumentation and Control System" – William Bolton pagina 85. 18
Figura 5: Diagramma a blocchi anello chiuso. Immagine tratta dal libro "Instrumentation and Control System" – William Bolton pagina 86. 19
Figura 6: Tipologie di sistemi di controllo. 20
Figura 7: Architettura di un tipico sistema di controllo industriale. 23
Figura 8: Schema base di uno SCADA, tratto dal libro "Industrial Process Automation Systems" pagina 238. 25
Figura 9: Sistema SCADA con architettura distribuita, da "Industrial Process Automation" pagina 246. 26
Figura 10: Possibili elementi controllati da un sistema BMS. 27
Figura 11: Esempio di alcuni componenti presenti in un BMS. 28
Figura 12: Esempio di integrazione di un BMS in un edificio. 29
Figura 13: Componenti tipici di un BMS e relativa architettura disposta su tre livelli. 30
Figura 14: Architettura Software di un BMS dal libro "Building Automation & Control Systems di Brooks", Coole pagina 30. 31
Figura 15: HMI di un sistema BMS in disuso. 32
Figura 16: HMI di un sistema BMS Desigo-Siemens in uso tutt'ora. 32
Figura 17: Funzionamento modello OSI. 35
Figura 18: Tipologie di trasmissione tra due dispositivi. 36
Figura 19: Possibili configurazioni di una rete. 38
Figura 20: Esempio di una rete Bus. 39
Figura 21: Protocolli di rete utilizzati nelle Building Automation. 41
Figura 22: Funzionamento del sistema di controllo ON/OFF. Dalla figura risulta chiaro il motivo per cui questo sistema viene denominato anche "controllo a due posizioni". 42
Figura 23: Funzionamento di una regolazione a gradino. 43
Figura 24: Funzionamento del sistema di controllo flottante, anche detto "a tre posizioni". 43
Figura 25: Andamento dell'azione proporzionale del PID. Al crescere della costante Kp diminuisce l'offset ma aumenta l'instabilità del sistema. 45
Figura 26: Andamento dell'azione integrale del PID. Al diminuire della costante di tempo integrativa Ti il sistema diventa più instabile provocando oscillazioni. 46
Figura 27: Andamento dell'azione derivativa del PID. Con la costante di tempo presente (linea blu), il blocco derivatore permette di annullare le oscillazioni nel sistema. 47
Figura 28: Esempi di rappresentazione simbolica di alcune funzioni booleane da norma IEEE. 49
Figura 29: Schema logico funzionamento PLC. 49
Figura 30: Schema hardware di un PLC. 50
Figura 31: Optoisolatore dal libro "Instrumentation and control systems", pagina 157. 51
Figura 32: Scheda Arduino UNO, tra le più usate e commercializzate dei sistemi Arduino, la prima a montare un'interfaccia USB. Si notino i pin di input ed output analogici e digitali preseti sulla scheda. 53
Figura 33: Scheda Rasberry Pi 1 Model A+, presentata nel 2014 è la sostituta del Model A originale. Si notino, a differenza dell'Arduino, tutte le porte di interfaccia presenti che sostituiscono gli I/O analogici e digitali. 54
Figura 34: Controllore MT NET BD1 di Controlli, un esempio di quelli che sono i più utilizzati in ambito industriale. 55

FIGURA 35: SIEMENS SIMATIC S7-1200, IL CONTROLLORE DI PUNTA PER APPLICAZIONI DI PICCOLA E MEDIA TAGLIA SVILUPPATO DA SIEMENS. 56
FIGURA 36: SCHEMA DEI COMPONENTI E DEI RELATIVI COLLEGAMENTI UTILIZZATI DA ENERBRAIN. 58
FIGURA 37: CONSUMO DI ENERGIA (2012) PER EDIFICI RESIDENZIALI E TERZIARI, TRATTA DA D. BOSSEBOEUF, "ENERGY EFFICIENCY TRENDS AND POLICIES IN THE HOUSEHOLD AND TERTIARY SECTORS AN ANALYSIS BASED ON THE ODYSSEE AND MURE DATABASES", 2015. 59
FIGURA 38: FOTO SATELLITARE DELL'EDIFICIO OGGETTO DI QUESTO ELABORATO. FOTO EFFETTUATA GRAZIE A GOOGLE EARTH PRO. 61
FIGURA 39: PROSPETTO VI DELLA NORMA NAZIONALE UNI 10349: VALORI MEDI MENSILI DI TEMPERATURA MEDIA GIORNALIERA DELL'ARIA ESTERNA. 62
FIGURA 40: ESTRATTO DELLA TABELLA N.A.1. – "TEMPERATURA ESTERNA DI PROGETTO E TEMPERATURA ESTERNA MEDIA ANNUALE" DELL'ALLEGATO NAZIONALE A DEL PREN 12831, RIPORTANTE, TRA GLI ALTRI DATI, I GRADI GIORNO E LA ZONA CLIMATICA DELLA CITTÀ DI RIFERIMENTO. 65
FIGURA 41: ESEMPIO DI STAZIONE DI POMPAGGIO. 67
FIGURA 42: SCHEMA FUNZIONALE UTA DEL QUARTO PIANO, REDATTO DALL'UFFICIO TECNICO ALFA ENGINEERING S.R.L. 68
FIGURA 43: INVERTER SIEMENS SED2 - QUARTO PIANO. 69
FIGURA 44: SERVOCOMANDO DELLE SERRANDE SIEMENS GCA 126.1E. 70
FIGURA 45: INVERTER SINAMICS - PIANO TERZO. 71
FIGURA 46: SERRANDA GCA 126.1E SULLA PRESA ARIA ESTERNA. 72
FIGURA 47: PORZIONE DELLO SCHEMA DELL'IMPIANTO AERAULICO OGGETTO D'ESAME. 73
FIGURA 48: SCHERMO FORELLATO TECNOVENTIL S461-600 PER RIPRESA ARIA VIZIATA. 74
FIGURA 49: VALVOLA DI VENTILAZIONE TECNOVENTIL V/A-B160 PER RIPRESA ARIA VIZIATA. 74
FIGURA 50: DIFFUSORE QUADRATO A SCHERMO REGOLABILE TECNOVENTIL DK PER IMMISSIONE ARIA DI MANDATA. 75
FIGURA 51: SCHEMA FUNZIONALE COLLETTORI DI MANDATA E RITORNO DEL CIRCUITO PRIMARIO. 76
FIGURA 52: CIRCOLATORI GEMELLARI SALMSON DCX65-90N. 77
FIGURA 53: IMPIANTO IDRONICO 1° PIANO - DORSALI OVEST. 78
FIGURA 54: FAN COIL SABIANA CRS. 79
FIGURA 55: SCHEMA SOTTOSTAZIONE DI POMPAGGIO 4° PIANO. 80
FIGURA 56: SEZIONE LOCALE TECNICO CON UTA E COLLETTORI DI MANDATA/RITORNO 1° E 3° PIANO. 80
FIGURA 57: MAGNA D 65-120 F CON RELATIVA CARATTERISTICA INTERNA E CONSUMI. 82
FIGURA 58: VALVOLA MOTORIZZATA CON COMANDO 0-10V DELLA SIEMENS, MODELLO SDK62. 82
FIGURA 59: CHILLER CARRIER MOD. 30XA. 84
FIGURA 60: SCHEMA FUNZIONALE CENTRALE FRIGORIFERA. 85
FIGURA 61: POMPE DELLA CENTRALE FRIGORIFERA. 85
FIGURA 62: SCHEMA FUNZIONALE DI UNA CALDAIA A CONDENSAZIONE GEMELLARE PRESENTE IN CENTRALE TERMICA. 87
FIGURA 63: CONSUMI MENSILI DI ENERGIA ELETTRICA AL METRO QUADRO NEL QUADRIENNIO 2015 - 2018. 90
FIGURA 64: ENERGIA PRIMARIA VALUTATA IN TEP/M^2 NEL QUADRIENNIO 2015 - 2018. 91
FIGURA 65: CONSUMI DI GAS NATURALE IN KWH TERMICI/M^2 NEL QUADRIENNIO 2015 - 2018. 93
FIGURA 66: CONSUMI DI ENERGIA PRIMARIA DI GAS NATURALE NEL QUADRIENNIO 2015 - 2018. 94
FIGURA 67: CONFRONTO DEI COSTI AL METRO QUADRO DI ENERGIA ELETTRICA, GAS NATURALE E TOTALI SOSTENUTI PER L'APPROVVIGIONAMENTO ENERGETICO DELLO STABILIMENTO. 96
FIGURA 68: CONSUMI ELETTRICI RICAVATI DA CAMPAGNA DI MISURA NELLE SOTTOSTAZIONI TERMICHE DI PIANO. 98
FIGURA 69: CONSUMI ELETTRICI REGISTRATI DURANTE IL PERIODO DI EB ON E DI EB OFF. 102
FIGURA 70: CONSUMI TERMICI REGISTRATI DURANTE IL PERIODO DI EB ON E DI EB OFF. 103
FIGURA 71: DATI DI TEMPERATURE RIFERITI A LUNEDÌ 10 AGOSTO 2020, TERZO PIANO DELLO STABILE. NEL CERCHIO ARANCIONE SI PUÒ NOTARE COME IL SISTEMA DI CLIMATIZZAZIONE RESTI ACCESO ANCHE OLTRE L'ORARIO DI CHIUSURA. 104
FIGURA 72: DATI DI TEMPERATURE RIFERITI A LUNEDÌ 10 AGOSTO 2020, QUARTO PIANO DELLO STABILE. CON LA LINEA ARANCIONE È EVIDENZIATA LA TEMPERATURA DI SET POINT, CON QUELLA ROSSA LA TEMPERATURA MINIMA GARANTITA DAL SISTEMA DI CONTROLLO. 105

FIGURA 73: DATI DI TEMPERATURE RIFERITI AL PERIODO TEMPORALE DA MERCOLEDÌ 5 AGOSTO A VENERDÌ 7 AGOSTO 2020. CON LA LINEA ARANCIONE È EVIDENZIATA LA TEMPERATURA DI SET POINT, CON QUELLA ROSSA LA TEMPERATURA MINIMA GARANTITA DAL SISTEMA DI CONTROLLO. 106
FIGURA 74: DATI DI TEMPERATURE RIFERITI AL PERIODO TEMPORALE DA LUNEDÌ 10 AGOSTO A VENERDÌ 14 AGOSTO 2020. CON LA LINEA ARANCIONE È EVIDENZIATA LA TEMPERATURA DI SET POINT, CON QUELLA ROSSA LA TEMPERATURA MINIMA GARANTITA DAL SISTEMA DI CONTROLLO. 106
FIGURA 75: CONFRONTO DEI CONSUMI ELETTRICI PRE E POST INTERVENTO CON IPOTESI DI RISPARMIO ENERGETICO PARI A 20%. 108
FIGURA 76: BILANCIO ECONOMICO E TEMPO DI RITORNO DELL'INVESTIMENTO CON SAVING ELETTRICO STIMATO A 20%..... 112

2. INDICE DELLE TABELLE

TABELLA 1: ZONE TERMICHE E GRADI GIORNO IN ITALIA, CON LE RISPETTIVE INDICAZIONI RIGUARDANTI IL PERIODO DI ACCENSIONE DEGLI IMPIANTI DI RISCALDAMENTO. 64
TABELLA 2: POMPE INSTALLATE 4° PIANO. 81
TABELLA 3: POMPE INSTALLATE AL 1° E 3° PIANO. 81
TABELLA 4: PERFORMANCE DEL CHILLER IN ACCORDO CON LA NORMA EN 14511. 84
TABELLA 5: DATI DI TARGA DELLA CALDAIA A CONDENSAZIONE. 86
TABELLA 6: DATI ESPRESSI IN KWH ELETTRICI A METRO QUADRO DI CONSUMO DI ENERGIA ELETTRICA NEL QUADRIENNIO 2015-2018. 89
TABELLA 7: CONSUMI DI ENERGIA ELETTRICA RIPORTATI IN KWH/M^2 E TEP/M^2 NEL QUADRIENNIO 2015 - 2018. 91
TABELLA 8: DATI ESPRESSI IN KWH TERMICI/M^2 DI CONSUMO DI GAS NATURALE NEL QUADRIENNIO 2015 - 2018. 92
TABELLA 9: CONSUMI DI GAS NATURALE RIPORTATI IN SM3 E TEP NEL QUADRIENNIO 2015 - 2018. 93
TABELLA 10: RIEPILOGO DI CONSUMI E COSTI PER VETTORE ENERGETICO, NEL QUADRIENNIO 2015 - 2018. 95
TABELLA 11: DATI DI CONSUMO RICAVATI DA CAMPAGNA DI MISURA NELLE TRE SOTTOSTAZIONI TERMICHE, ESPRESSI IN KWH ELETTRICI. 97
TABELLA 12: CONFRONTO CONSUMI E ANIDRIDE CARBONICA EMESSA PRE E POST INTERVENTO. 115

3. NOTA INTRODUTTIVA

Il presente elaborato di Tesi Magistrale ha come oggetto di studio, la progettazione ed infine l'implementazione di un sistema BMS presso uno dei clienti di Enerbrain S.r.l.
Come capita sovente in ambito aziendale, il lavoro è stato svolto da un team eterogeneo di persone, con competenze trasversali, che grazie alla comunicazione e alla collaborazione raggiungono un obiettivo comune.
Durante lo svolgimento presso Enerbrain del tirocinio curriculare e successivamente dell'attività di tesi in azienda ho lavorato a stretto contatto con Enrico Pagliuca, uno studente del Politecnico di Torino, anch'egli al termine del proprio iter formativo in Ingegneria Meccanica. Per entrambi l'elaborato di tesi vede per oggetto il medesimo progetto applicato al medesimo cliente, il fulcro delle due tesi però porta concetti intrinsecamente diversi, così come lo sono i percorsi formativi seguiti da ognuno di noi.

È stato fin da subito essenziale per entrambi portare una propria visione del lavoro svolto, approfondendo maggiormente ciò che rimane più attinente al proprio iter formativo e che contribuisce a caratterizzare e mettere in luce quanto appreso nei rispettivi indirizzi di studio.
Ciò nonostante, svolgere a così stretto contatto il lavoro, dal suo principio fino a giungere al momento del collaudo finale, comporta certamente una grande collaborazione in ogni sua fase, e di conseguenza la stesura di alcune parti di questo elaborato è stata fatta grazie ad un reciproco sforzo.

Le parti in questione, evidenziate chiaramente nel seguito, risultano essere solamente quelle di interesse generale e a contorno dell'analisi finale e fulcro di questo elaborato, per cui, come già accennato in precedenza, ognuno di noi ha anteposto il proprio campo di studi e ha focalizzato il proprio lavoro in ambiti completamente differenti.

I capitoli che sono stati svolti integralmente o parzialmente con la collaborazione di Enrico Pagliuca sono i seguenti:

- 3. NOTA INTRODUTTIVA:
- 4. INTRODUZIONE;
- 5. BMS: IL CONTROLLO IN CAMPO HVAC;
- 6. CASO STUDIO: LEONARDO S.p.A.

4. INTRODUZIONE

I sistemi di controllo sono una risorsa importante in ogni settore dell'ingegneria moderna e vengono utilizzati ed implementati con sempre maggior frequenza nei diversi ambiti del vissuto quotidiano. Basti pensare agli spostamenti che tutti noi facciamo ogni giorno con l'automobile: l'elettronica di controllo presente a bordo permette un uso ottimale delle risorse ed un livello di sicurezza del conducente e dei passeggeri più elevato di giorno in giorno, unitamente ad un sempre minor sforzo necessario alla conduzione del veicolo.

Risulta chiaro che il controllo e le logiche che ne determinano le azioni di comando hanno avuto una loro evoluzione nel tempo e hanno attraversato i più disparati campi d'applicazione: dal settore automobilistico a quello dell'industria di processo, dall'aeronautica ai macchinari di laboratorio, dalla robotica all'agroalimentare, in ogni applicazione il controllo lascia un'impronta sempre più marcata di sé.

Con queste premesse viene naturale pensare a come queste logiche possano contribuire a fare la differenza anche ad un livello più elevato del mero singolo processo: è possibile utilizzare il controllo al fine di aumentare la sicurezza delle persone? È possibile utilizzarlo per ridurre l'impatto che l'Uomo ha sull'ecosistema?

Nel corso di questo Capitolo, ma più in generale di questo elaborato, verrà proposta una visione delle possibilità che i sistemi di controllo possono fornire, con particolare riferimento al settore termotecnico industriale. Si osserverà come l'uso di questi utili strumenti possa portare risposte e soluzioni alle problematiche presentate in precedenza; o ancora quali saranno le migliorie future e come i campi del controllo e dell'automazione potranno contribuire al benessere delle persone e del Pianeta.

4.1. CONTROLLO E CLIMATE CHANGE

Uno dei grandi problemi di questo millennio è certamente quello del surriscaldamento globale, fenomeno che vede l'innalzamento graduale delle temperature medie del Pianeta, troppo lento e di piccola entità affinchè una persona possa percepirlo, ma comprovato da numerosi eventi e singolarità climatiche in continua crescita negli ultimi anni.

Molte sono le prove di questo fenomeno, un esempio sono i cambiamenti comportamentali che ha subito il clima negli ultimi decenni, chiaramente visibili attraverso condizioni meteo che seguono sempre meno uno schema ricorrente e le cadenze stagionali, incendi boschivi auto innescati, nevicate in zone climatiche e momenti dell'anno non usuali, uragani con maggior intensità rispetto al passato, fino al graduale scioglimento dei ghiacciai unito ad un maggior rateo evaporativo degli oceani e dei mari. Eventi estremi che non sono e non devono essere visti soltanto come anomalie localizzate, piuttosto come evidenti segnali di difficoltà a cui è necessario rispondere con interventi mirati e la volontà, da parte di tutti i popoli, di cambiare radicalmente rotta, dando la giusta importanza a quelle che sono le conseguenze di uno stile di vita notevolmente impattante nei confronti della natura.

Tra gli anni 2000 e 2012 si sono registrati i 5 anni più caldi mai rilevati [1], che hanno evidenziato ulteriormente gli impatti del global warming. Il trend positivo del riscaldamento globale ha avuto un'impennata specie negli ultimi due decenni. Numerosissimi studi sono stati svolti sul tema mettendo in risalto tutte le cause che concorrono a questo fenomeno, tutti gli effetti già riscontrati e direttamente correlati al riscaldamento globale e molti possibili rischi futuri in cui è possibile incorrere qualora non si agisse concretamente nel cambiare l'andamento attuale riscontrato.

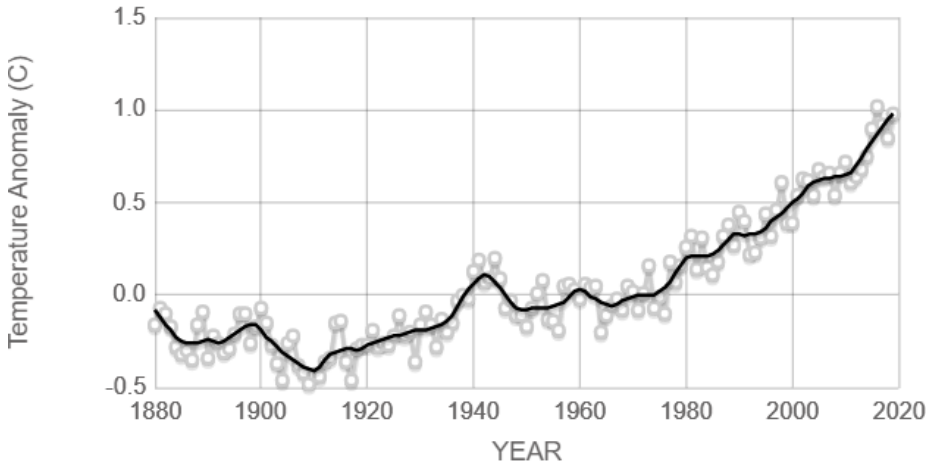


Figura 1: Anomalia della temperatura globale registrata dalla NASA dal 1880 al 2019. Lo 0 indica la media di temperatura riferita all'arco temporale 1951-1980. (NASA Climate, 2019).

Alcuni di questi studi correlano i cambiamenti climatici perfino all'estinzione di specie animali e vegetali [2], avvisando che, proseguendo lungo questa strada e tenendo conto di futuri cambiamenti climatici, molte specie potrebbero scomparire del tutto entro il 2050.

Di certo, oltre alle particolarità climatiche già descritte, c'è una tendenza inconfutabile delle acque oceaniche e marine a riscaldarsi negli anni, prove di ciò sono il caso del Mar Mediterraneo iniziatosi a popolare di specie marine tropicali; una sempre minor presenza dello strato di ozono stratosferico, importantissimo per la vita sulla Terra tanto che il Programma per le Nazioni Unite per l'Ambiente (UNEP) scrisse *"Tutta la vita sulla Terra dipende dall'esistenza di un sottile schermo di un gas velenoso, in alto nell'atmosfera: lo strato di ozono."* [3]; una maggior desertificazione dovuta alla prolungata assenza di precipitazioni ed una drastica riduzione dei ghiacciai presenti sulle montagne, ai poli e nelle zone più fredde del Pianeta.

Le cause di questo andamento così preoccupante sono da ricercarsi in molteplici fattori, che come fil rouge hanno l'attività dell'uomo. Un report dell'Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), un gruppo scientifico fondato dalla commistione di Nazioni Unite e Organizzazione Metereologica Mondiale, mette ulteriormente in risalto il fattore antropologico definendo come minore del 5% la probabilità che i cambiamenti climatici avvenuti nel XX secolo siano da attribuire a soli eventi naturali [4].

Lo studio stesso dei possibili impatti che le attività umane potrebbero aver portato nel complesso sistema a contorno delle stesse ha origine solo negli ultimi 50 anni, quando sono diventate possibili le osservazioni dell'alta troposfera [5]. Le cause principali, universalmente riconosciute dalla comunità scientifica, risiedono principalmente in quattro fattori [6]:

1. Aumento della concentrazione dei gas serra nell'atmosfera terrestre;
2. Cambiamenti che avvengono sulla superficie terrestre, quali lo scioglimento dei ghiacciai o le deforestazioni;
3. Incremento degli aerosol;
4. L'allevamento intensivo perpetuato dall'uomo.

A partire dalla Rivoluzione Industriale degli ultimi anni del XVIII secolo, periodo storico che ha consentito all'uomo di poter usufruire di nuove scoperte tecnologiche ed innalzare il proprio livello di benessere, l'immissione in atmosfera di gas serra ha iniziato a farsi sempre più massiccia, crescendo di pari passo con la crescita economica, demografica, culturale e tecnologica delle nuove fiorenti nazioni che utilizzavano carbone come fonte principale del loro benessere energetico.
La concentrazione di CO_2, CH_4, SF_6, N_2O ed altri gas serra crebbe negli anni favorendo l'effetto serra, un effetto naturale dato appunto da determinati gas presenti in atmosfera che permettono

l'ingresso della radiazione solare ma schermano in uscita la radiazione infrarossa riflessa dal terreno, intrappolandola e contribuendo dunque ad alimentare il fenomeno del riscaldamento globale.

Per contrastare questo pericoloso andamento, la comunità internazionale ha dapprima redatto accordi comuni di linee guida da seguire come, ad esempio, il Protocollo di Kyoto (1997) [7]; successivamente ha stilato una lista di obiettivi da perseguire, di cui un esempio lodevole è l'European Green Deal, un programma in più step che mira a portare l'Europa ad essere il primo continente ad impatto climatico neutro entro il 2050 [8]. Gli step decennali di questo particolare programma, il primo dei quali è stato Horizon 2020 (2014), mettono a disposizione un notevole quantitativo di risorse per i diversi Stati Membri, che devono raggiungere target climatici ed energetici via via crescenti. In particolare, si fa sempre riferimento a tre risultati da perseguire:

- Abbattimento percentuale di gas climalteranti, -40% entro il 2030;
- Quota percentuale di utilizzo di energia fornita da fonti rinnovabili, 32% entro il 2030;
- Innalzamento dell'efficienza energetica, 32,5% entro il 2030.

È dunque in questo contesto che il controllo può portare un suo forte e realmente incisivo contributo.
Poter controllare i sistemi energetici, con particolare riferimento ai sistemi di produzione di energia elettrica e di vettori energetici caldi e freddi, e di tutte le componenti impiantistiche che utilizzano tali fonti di energia per alimentarsi, vuol dire intervenire direttamente sull'utilizzo che si fa delle risorse.
Monitorare e controllare l'uso di queste risorse permette di abbattere gli sprechi, ad esempio interrompendo l'alimentazione quando non necessaria; permette di utilizzare gli impianti per la capacità di cui si ha effettivamente bisogno e non solo a potenza nominale; permette di apportare un minor impatto ambientale producendo meno inquinamento derivato dalla mancata combustione necessaria a fini energetici, pur mantenendo le medesime condizioni operative.

In sintesi, il controllo degli impianti energetici risponde in modo efficace alle richieste di efficientamento energetico, diminuzione degli sprechi e abbattimento della produzione di gas climalteranti fatte sia dalla Comunità Europea attraverso il Green Deal, sia dalla comunità internazionale attraverso accordi di impegni condivisi, sia dal nostro Pianeta attraverso le sue numerose, esplicite ed incalzanti richieste di aiuto.

4.2. LA SOCIETÁ ENERBRAIN S.R.L.

Enerbrain è una società fondata a Torino nel 2015 con l'intento di avere un impatto immediato ed elevato sull'efficienza energetica degli edifici [9].

Nata come startup dall'incubatore di imprese del Politecnico di Torino dall'idea di un team di giovani imprenditori, ingegneri, tecnologi, scienziati e progettisti edili, ha l'obiettivo di cambiare radicalmente i nostri edifici per renderli più sostenibili, confortevoli ed efficienti. L'azienda ha sviluppato e brevettato una soluzione di gestione energetica a tutto tondo che permette un significativo risparmio energetico e migliora il comfort interno: questa tecnologia è stata validata scientificamente dal Dipartimento dell'Energia del Politecnico di Torino.

I target principali di Enerbrain sono le organizzazioni che possiedono o gestiscono un ampio portafoglio di edifici come retailer, supermercati, centri commerciali, aeroporti, scuole, ospedali, industrie, ecc. Enerbrain è stata scelta da clienti di alto profilo in diversi settori come i Retailer (Carrefour, Immochan, Eataly, Al Futtaim ecc.), Aeroporti (Ciampino Roma, Caselle Torino), Industrie (FCA, Michelin, ecc.), Aziende Utility (Iren, Engie, Edison, Enel X, A2A, Wien Energie ecc.), e molti altri.

Con oltre 300 installazioni l'azienda è in rapida crescita in diversi paesi, con uffici a Torino (ITA), Barcellona (ESP), Tokyo (JAP) e Dubai (UAE) attraverso un team internazionale di oltre 50 professionisti. L'azienda è stata premiata come Miglior Scaleup Europeo dall'Istituto Europeo di Tecnologia e ha vinto numerosi premi nel settore dell'innovazione e risparmio energetico.

4.3. STORIA DEI SISTEMI DI CONTROLLO

L'ingegneria possiede molteplici ambiti e applicazioni, tra questi uno dei principali è il controllo. Tutti sono concordi nell'affermare che la fase principe di qualsiasi sistema sia la progettazione, tuttavia tale processo non può limitarsi alle sole condizioni di picco: durante il proprio ciclo di vita il sistema lavorerà in situazioni diverse, motivo per cui deve essere in grado di adattarsi ai cambiamenti delle condizioni esterne. Limitare la propria attenzione alle sole condizioni peggiori significherebbe trascurare la maggior parte della vita utile del componente progettato, riducendo a priori le sue performance.

La soluzione a questi problemi è offerta dai sistemi di controllo, tuttavia questo significa dotare il sistema di adeguati strumenti, quali:

- **Sensori**: i sensi della macchina, in grado di rilevare in maniera oggettiva i parametri e i cambiamenti dell'ambiente esterno;

- **Attuatori**: le braccia, componente operativa del sistema, cioè gli elementi che consentono di variare il comportamento della macchina;
- **Unità di controllo**: la mente, in grado di elaborare le informazioni dei sensori per poi inviare i giusti comandi agli attuatori;
- **Interfacce**: necessarie per far comunicare le parti interne della macchina, ad esempio dispositivi analogici e digitali, oppure verso l'esterno, ad esempio uomo e macchina.

Non è un caso che spesso si ricorra alla similitudine uomo/macchina, lo si può spiegare riprendendo l'esempio dell'auto precedentemente accennato: l'autista osserva la velocità riportata sul cruscotto e in base a questa decide se premere più o meno il pedale, in alternativa potrebbe attivare il cruise control e l'auto, in automatico, manterrebbe la velocità costante: tale dispositivo di controllo non farà altro che imitare il comportamento dell'uomo [10]. Questo banale confronto ci aiuta a capire come, seppur con mille complicanze, il funzionamento di un controllore è analogo al modo di pensare proprio della natura umana.

Il controllo automatico ha contribuito al progresso scientifico ed economico: da un lato ha migliorato costantemente le performance delle macchine, dall'altro ha semplificato la vita dell'uomo sgravandolo dai lavori più pesanti e alienanti.
La storia del controllo ha origini antiche, del resto la tecnologia e le scienze nascono per trovare soluzioni ai problemi pratici dell'uomo. Il primo esempio di controllo automatico risale all'orologio ad acqua di Ctesibio nel 270 a.C. ad Alessandria, che consentiva la misura automatica del tempo grazie ad un galleggiante e ad una valvola [11]. Nel corso dei secoli non sono mancati i progressi lungo tale strada grazie alle civiltà Bizantine, Arabe e così via, ma la vera svolta è avvenuta durante la rivoluzione industriale. Nel nuovo panorama formatosi crescevano i dispositivi industriali ed automatici per cui nacquero numerosi sistemi di controllo, come ad esempio il celeberrimo controllore centrifugo di James Watt, utilizzato per il controllo della velocità di un motore a vapore.

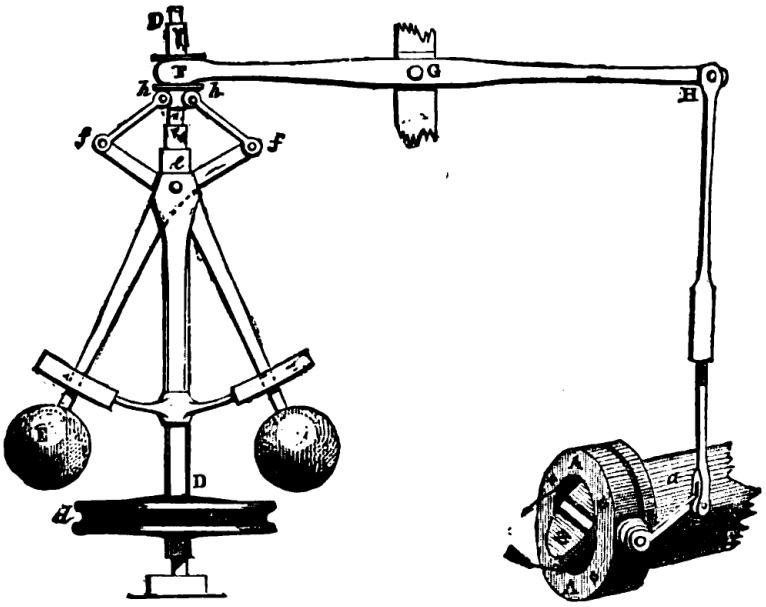


Figura 2: rappresentazione del controllore centrifugo di James Watt.

Il regolatore di velocità di Watt, seppur geniale, presentava numerosi problemi: spesso la velocità oscillava ripetutamente o aumentava in maniera indefinita perché non era ancora compreso appieno il concetto fondamentale di stabilità. Solo in seguito, grazie a J.C. Maxwell il quale modellò matematicamente il sistema, fu possibile capire tramite le equazioni differenziali, quando e perché insorgeva tale instabilità [12]. La modellazione di un sistema consentiva uno studio accurato del sistema di controllo, ma nella pratica molti dei sistemi funzionavano ancora con dei semplici on-off [12].

La svolta si ebbe nel 1922 con N.Minorsky che introdusse un controllo in cui la variabile fondamentale era l'errore articolato su tre termini: proporzionale, integrativo e derivativo (PID), in tal modo ideò un sistema che consentisse il controllo delle navi della marina statunitense. Analizzando il comportamento di un uomo al timone riuscì a descrivere con funzioni matematiche come la nave dovesse reagire agli stimoli esterni come il vento. All'epoca esistevano già i sistemi proporzionali e integrativi, lui ebbe il merito di introdurre per primo un controllore di carattere generale che tenesse conto di tutti e tre i termini: errore, derivata errore e sua integrazione. Capì che in questo modo si poteva non solo emulare il comportamento di un uomo al timone, ma addirittura migliorare la navigazione; l'intuizione del termine derivativo che consentiva di "anticipare" e quindi azzerare in poco tempo l'errore [13].

Lo sforzo bellico della Seconda Guerra Mondiale diede ulteriore stimolo allo sviluppo della tecnologia, tuttavia il passo in avanti più grande si ebbe nel periodo immediatamente successivo al conflitto mondiale. La miniaturizzazione dei computer consentì di renderli parte integrante

dell'anello di controllo, creando un sistema avente un proprio piccolo cervello in grado di prendere decisioni in real time.
Negli anni più recenti l'interesse si è spostato verso sistemi di controllo distribuiti, sempre più diffusi nelle realtà industriale. Ciò è stato possibile grazie ai progressi fatti sia in termini di hardware, con sistemi sempre più miniaturizzati, sia nell'ambito della comunicazione, con dispositivi di varia natura in grado di comunicare tramite appositi protocolli.
Infine, osservando le tendenze del momento si nota come ci si stia dirigendo verso il controllo di sistemi sempre più interconnessi e complessi, in grado di adattarsi alle variazioni delle condizioni esterne grazie ad algoritmi adattivi, predittivi e d'intelligenza artificiale [11].

4.4. CLASSIFICAZIONE DEI SISTEMI DI CONTROLLO

Un sistema si definisce come un insieme di parti che lavorano congiuntamente per raggiungere un obiettivo a seconda dei particolari valori in ingresso. Ogni sistema è inglobato in un confine, quest'ultimo definisce il limite tra l'ambiente e il sistema stesso attraversabile soltanto dai relativi ingressi e uscite [14]. Il controllo, invece, è un'azione volta a mantenere ad un valore predefinito un parametro fisico di un impianto o di un processo.
Il processo di controllo si suddivide in una serie di step [11]:

- **Sensing:** misurazione dei parametri del processo e dell'ambiente in cui si trova;
- **Decision making:** decidere sulla base delle misurazioni effettuate e dello scopo da raggiungere, in pratica è la fase in cui si stabilisce quale sarà il comando da impartire;
- **Disposition:** inviare il comando agli attuatori e quindi manipolare il processo;
- **Intervention, Acting:** i parametri del nuovo sistema sono cambiati in base ai comandi.

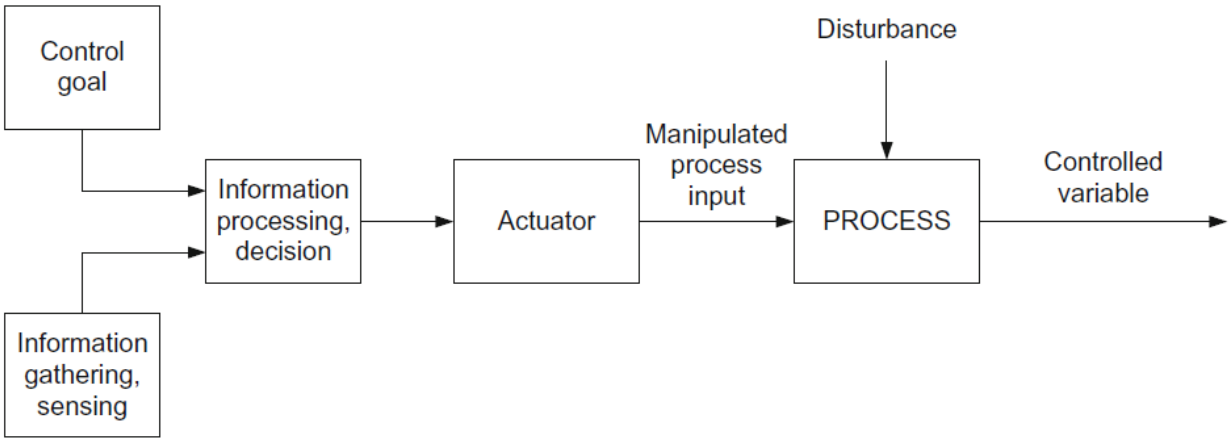


Figura 3: Processo di un sistema di controllo. Immagine tratta dal libro "Control Engineering" - L. Keviczky, R. Bars, J. Hetthéssy, and C. Bányász, pagina 6.

Nello studio di questi sistemi un passo fondamentale della definizione di un sistema di controllo è la rappresentazione a blocchi: questa consente di mostrare in maniera immediata quali siano le parti del sistema e come siano interconnesse, allo stesso tempo definisce in maniera univoca le relazioni tra input/output. Lo schema a blocchi, seppure nella sua semplicità, consente di rappresentare in modo chiaro il funzionamento del sistema, cioè come al variare degli input cambino gli output.

La rappresentazione a blocchi consente l'immediata comprensione di una delle primissime distinzioni che vanno fatte sui sistemi: controllo in anello aperto o chiuso. Nel primo la variabile di processo non è misurata per cui gli output dipendono solo ed esclusivamente dalla variabile in ingresso.

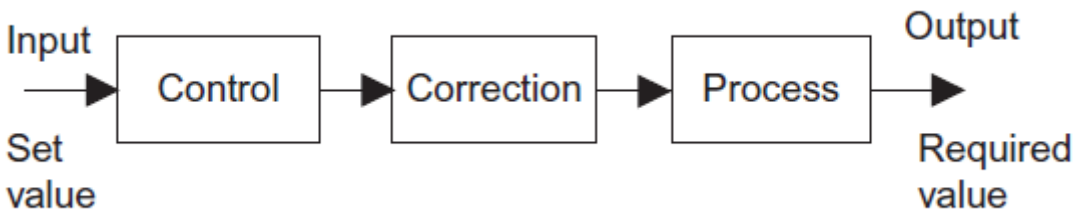


Figura 4: diagramma a blocchi anello aperto. Immagine tratta dal libro "Instrumentation and Control System" – William Bolton pagina 85.

Nel controllo in anello chiuso la variabile di processo viene misurata, così il feedback viene utilizzato nel processo decisionale che si baserà non soltanto sulla variabile in ingresso, ma anche sulla retroazione.

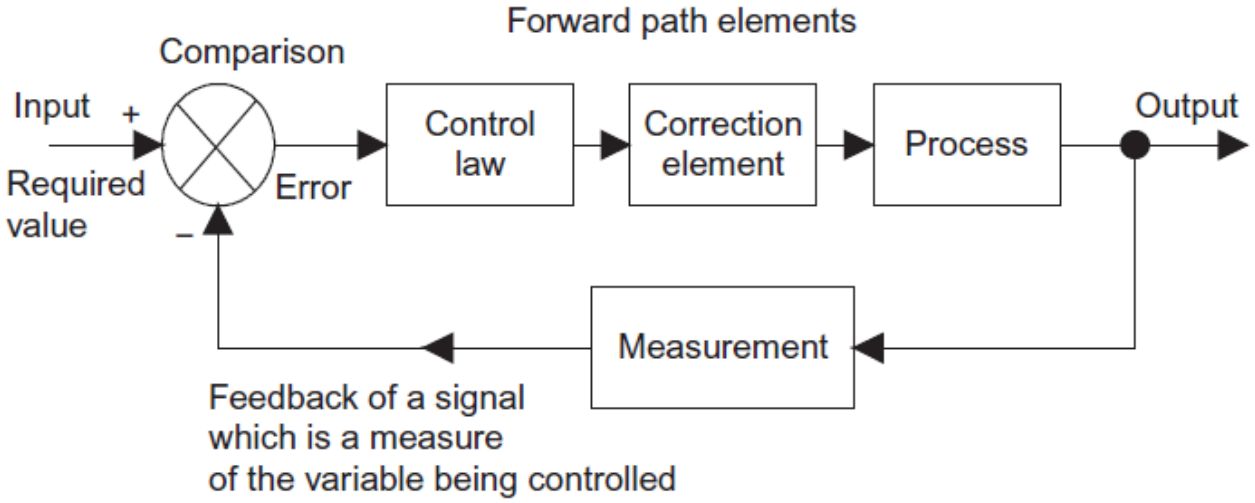


Figura 5: Diagramma a blocchi anello chiuso. Immagine tratta dal libro "Instrumentation and Control System" – William Bolton pagina 86.

Le differenze tra i due sistemi si palesano in due circostanze: quando sono presenti dei disturbi nell'anello di controllo che alterano le variabili misurate, oppure quando il sistema è complesso e non si conosce perfettamente il suo comportamento. In alcune occasioni si preferisce adottare un controllo in anello aperto sia perché è più economico, sia perché non presenta instabilità come quello in anello chiuso [15]. Un esempio di controllo in anello aperto può essere il controllo della temperatura di una stanza in funzione della temperatura esterna; se il controllo terrà conto della temperatura interna alla stanza allora sarà un controllo in anello chiuso.

I sistemi di controllo si suddividono in una serie di macro-classi: discreti/continui, sequenziali/combinatori e lineari/non lineari.

Un sistema di controllo discreto è un sistema che possiede le due sole configurazioni ON/OFF, mentre si dirà continuo quando assume una serie di valori intermedi tra gli estremi di un intervallo.

I sistemi sequenziali sono quei sistemi in cui il processo è divisibile in una serie di fasi successive, l'attivazione di una fase è scandita dal verificarsi o meno di una condizione. La condizione di attivazione di una fase può essere un evento o un intervallo di tempo, mentre sono combinatori quelli in cui lo stato dipende solamente dai particolari ingressi.

La divisione tra lineari e non è legata solamente al comportamento del sistema, cioè al fenomeno fisico che interessa, ma anche alla sua modellazione, ad esempio un sistema non lineare può essere linearizzato in alcuni punti particolari [15].

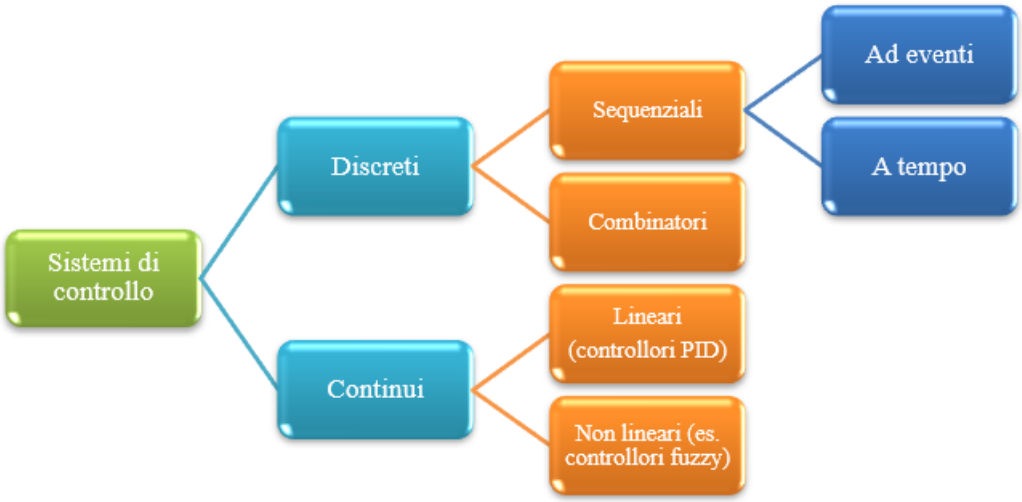


Figura 6: Tipologie di sistemi di controllo.

Infine, un'ultima distinzione rilevante riguarda il mezzo fisico utilizzato: è possibile avere sistemi ove siano presenti più vettori, un esempio può essere un sistema con un PLC (mezzo elettrico) e un attuatore oleodinamico, soluzione tipica in quelle applicazioni in cui sono richieste elevate forze di spinta; altri sistemi ricorrono ad un unico mezzo come quelli puramente elettrici o ad aria compressa, sono un esempio gli elementi fluidici dove sia gli attuatori che gli elementi di controllo sono alimentati tramite aria compressa.

5. BMS: IL CONTROLLO IN CAMPO HVAC

Come accennato in precedenza, il controllo dei sistemi HVAC può condurre ad un notevole risparmio energetico, economico e di inquinanti immessi in atmosfera. Secondo quanto riportato da un rapporto Europeo [16], in campo residenziale circa l'80% di energia, pari a 192.5 Mtoe, viene impiegata per la climatizzazione; mentre in campo industriale la percentuale dell'energia usata per il solo raffrescamento è di circa il 3%, pari a 7.2 Mtoe.
Intervenire in questo campo è fondamentale per riuscire a perseguire gli obiettivi imposti dall'Unione Europea, citati nel precedente Capitolo 4.1, e ottenere un minor impatto ambientale grazie ad un uso più consapevole ed efficiente delle risorse energetiche.

5.1. STORIA CONTROLLO HVAC

Nell'ambito della climatizzazione i sistemi di controllo sono nati dall'esigenza di regolare i sistemi di riscaldamento. I sistemi primordiali utilizzavano una barra costituita da due diversi metalli, la loro diversa dilatazione termica era sfruttata per azionare meccanicamente diversi organi, come ad esempio una serranda in grado di regolare la quantità di aria coinvolta in un processo di combustione [10]. In seguito, il progresso dei sistemi di misura ha portato allo sviluppo dei sistemi di controllo, del resto tali dispositivi di rilevamento in campo sono un presupposto indispensabile per qualsiasi logica di controllo.

In questo contesto nacquero i primi sistemi di controllo di natura elettrica, essi controllavano il sistema agendo su un semplice contatto, il quale era responsabile dell'azionamento di un compressore o di una pompa. Il passo successivo è stato superare la semplice logica ON/OFF per passare ad un controllo modulare, il quale ha aperto le porte ai controllori a logica programmabile, che applicano delle specifiche regole per raggiungere una configurazione desiderata. Ad ogni modo, seppur gli strumenti utilizzati siano totalmente cambiati nel corso del tempo e come dimostra ad esempio l'IoT continuano ad evolvere giorno dopo giorno, è lecito ricordare che finora i principi fondanti le tecniche di controllo sono sostanzialmente restati immutati. Una probabile futura svolta è attribuibile agli algoritmi predittivi e adattivi, dove una grande mole di dati storici e le previsioni in tempo reale consentono di affinare e migliorare ulteriormente la gestione dei parametri di controllo del sistema.

5.2. DCS, SCADA E BMS

In ambito industriale o civile, l'impianto meccanico di un edificio presenta molteplici entità, dal sistema di generazione dell'energia ai terminali ambiente, di conseguenza le variabili su cui poter agire per modificare il suo comportamento sono numerose. L'eterogeneità ed estensione degli impianti implicano che gli oggetti in campo scambino informazioni e gestiscano priorità e allarmi in modo da realizzare una gestione coerente ed integrata. In quest'ottica, ad esempio, la regolazione della caldaia non dipende soltanto dalle condizioni esterne, ma anche dalla richiesta dei terminali ambiente in quel preciso istante. È dunque logico che valutando l'estensione degli impianti e la diversità dei componenti presenti la regolazione di un sistema diventi estremamente complessa ed articolata.

Un controllo automatico comporta la trasmissione di segnali, da e verso il campo, attraverso i diversi livelli del sistema: quando il sistema è distribuito attraverso l'edificio sia in termini di posizione che di funzionalità, gli aspetti relativi alla comunicazione e interconnessione diventano cruciali.

In un'ottica più generale, quando si parla di sistemi di automazione è possibile riconoscere: DCS, SCADA e BMS, i primi due riguardano nello specifico l'ambito industriale, l'ultimo quello civile.

Un sistema di controllo computerizzato presenta una struttura articolata in cinque livelli:

- **Livello 0 - Campo:** racchiude tutti gli elementi necessari per il monitoraggio e controllo dell'impianto, ovvero tutto quello che riguarda ingressi ed uscite con i rispettivi sensori e attuatori.
- **Livello 1 - Controllo diretto:** è costituito da controllori, PLC o qualsiasi dispositivo computerizzato che abbia la capacità di acquisire i dati dal campo, elaborarli e restituire un output, il quale a sua volta sarà trasmesso in campo.
- **Livello 2 - Supervisione di impianto:** è il livello in cui si ha la supervisione dell'impianto, i dati del campo sono resi disponibili tramite un HMI (*Human Machine Interface*) agli operatori che possono decidere di impostare i set point delle variabili controllate, un esempio di questo sistema può essere uno SCADA.
- **Livello 3 - Controllo di produzione:** i dati della supervisione vengono elaborati e storicizzati in modo che possano essere utilizzati per effettuare verifiche sul raggiungimento dei target prefissati.
- **Livello 4 - Production scheduling:** i dati raccolti ai livelli precedenti vengono utilizzati per sviluppare delle strategie produttive.

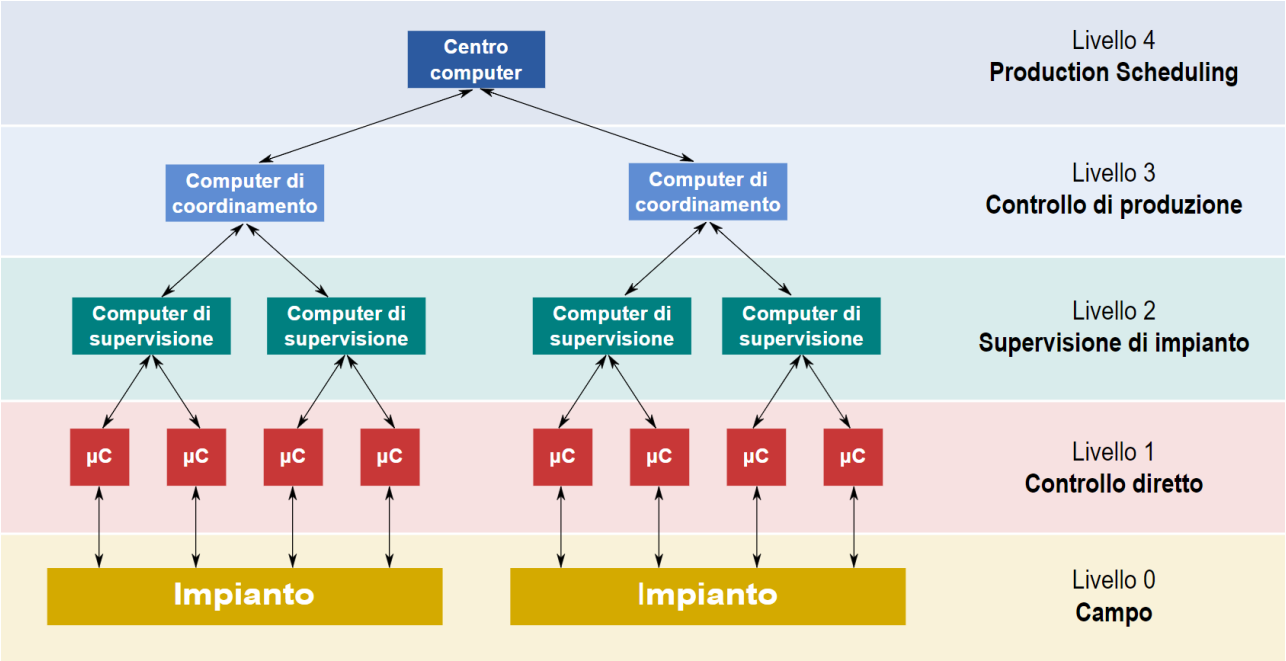


Figura 7: Architettura di un tipico sistema di controllo industriale.

Un DCS (*Distributed Control System)* è un sistema in grado di gestire un processo industriale continuo deterministicamente e controllando migliaia di punti, ma all'interno di una rete LAN (*Local Area Network)*, cioè in una sola località geografica. La comunicazione LAN è più affidabile e veloce rispetto ai sistemi di comunicazione a lunga distanza usati nei sistemi SCADA, del resto quest'ultimi sono ideati per far fronte ai principali problemi che caratterizzano le comunicazioni a lungo raggio, come ad esempio la perdita di dati ed i ritardi dovuti alla comunicazione stessa.

I DCS nascono per rispondere alle esigenze di processi produttivi assai complessi come quelli dell'industria petrolchimica, o comunque di tutte quelle applicazioni in cui le tecniche di controllo necessarie siano molto sofisticate; sono sistemi contraddistinti sia da un gran numero di I/O sia da molteplici anelli di controllo, i quali, attraverso un network, comunicano le priorità, gli allarmi e le richieste del sistema. Presentano una struttura gerarchica dove l'intelligenza del sistema è distribuita su vari livelli, e non centralizzata su un unico sistema di supervisione, questo conferisce elevata affidabilità e sicurezza al sistema per cui, in genere, viene adoperato nei processi continui dove tali caratteristiche sono indispensabili.

Il successo dei DCS è legato alla loro grande flessibilità e alla facilità con cui è possibile apportare modifiche, inoltre quando il sistema diventa molto complesso e con tanti elementi da interfacciare è l'unica soluzione davvero efficace; altri punti a favore sono la semplicità di manutenzione e la notevole affidabilità del sistema, nonché le intuitive HMI tramite cui è possibile comunicare col sistema [17].

Uno SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition)* viene adoperato per il controllo di un sistema distribuito dove è richiesta un'acquisizione dei data centralizzata, a differenza dei DCS usa una rete di telecomunicazione geografica WAN (*Wide Area Network)*. I due sistemi possiedono molte funzionalità e caratteristiche comuni, con la differenza che nei DCS il controllo dell'impianto non è remotizzato, ma sempre in locale (gestito da una control room), mentre uno SCADA può controllare un processo che coinvolge siti produttivi geograficamente separati, consentendo uno scambio di informazione tra quest'ultimi. I sistemi SCADA hanno una notevole scalabilità, infatti sono in grado di gestire impianti di qualsiasi taglia raccogliendo, elaborando e immagazzinando tutte le informazioni in situ. In tali sistemi il monitoraggio e la supervisione del sistema sono centralizzati, al contrario un DCS tende ad avere una struttura più gerarchica [14], inoltre bisogna aggiungere che i DCS si basano su sistemi operativi deterministici, ovvero in grado di rispondere in un tempo prefissato, per cui è necessario che il sistema si sviluppi su una rete LAN; la diretta conseguenza di un sistema in *real time* è il suo notevole costo che giustifica la spesa soltanto in quegli ambiti in cui è richiesta un'altissima affidabilità e sicurezza [18].

I sistemi SCADA sono principalmente utilizzati nel settore manifatturiero, trattamento acque, trasmissione e distribuzione dell'energia elettrica e gestione di sistemi HVAC [18].

Un sistema di supervisione fa riferimento ad un'architettura a più livelli, dove il supervisore non controlla direttamente i vari processi, che sono affidati ai singoli controllori, ma gestisce i parametri fondamentali per il loro funzionamento, ad esempio set point, accensioni e spegnimenti. I controllori ai livelli più bassi funzionano in maniera indipendente dal sistema centrale, ma periodicamente comunicano, tramite delle interfacce col supervisore, sia per trasmettere i dati dal campo sia per recepire i comandi; in questo modo il supervisore funziona da intermediario tra i diversi loop di controllo fornendo una panoramica globale sul monitoraggio e sulla gestione del sistema.

Un sistema SCADA è costituito dalle seguenti parti principali:

- Il computer centralizzato;
- I sistemi di misura, controllo e attuazione in campo;
- Un network che consenta la comunicazione sia tra campo e supervisione, che tra i vari device in campo;
- Un'interfaccia HMI che consenta l'acceso del sistema ad un operatore;

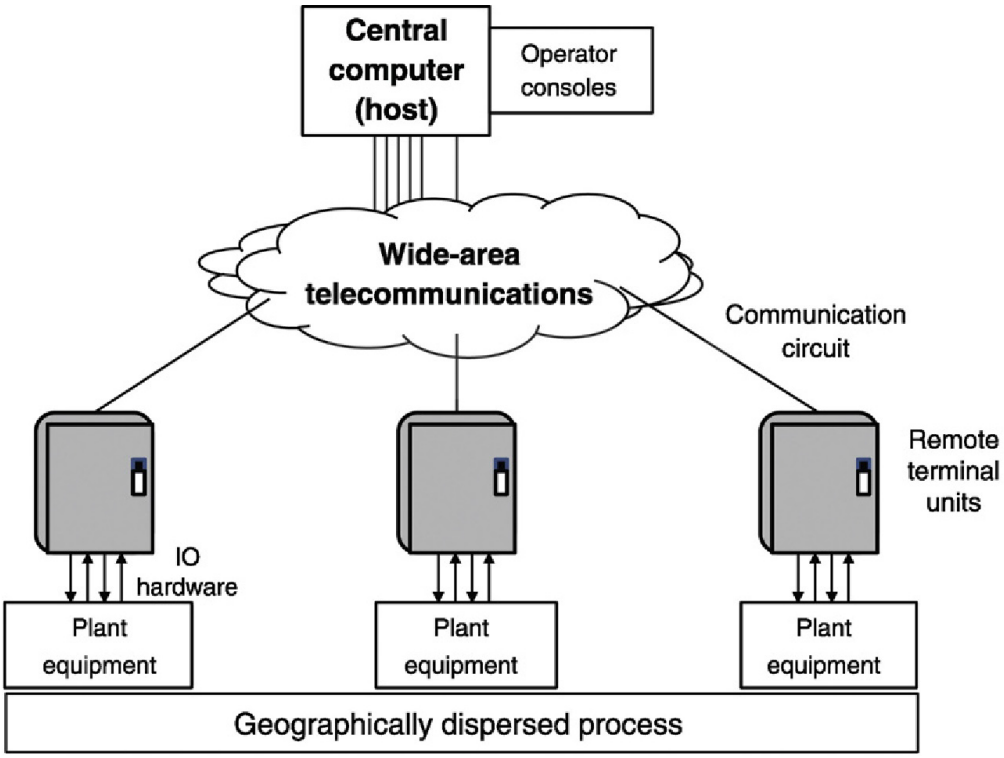


Figura 8: Schema base di uno SCADA, tratto dal libro "Industrial Process Automation Systems" pagina 238.

Le principali funzioni vanno dall'acquisizione dei dati dal campo, alla rilevazione di allarmi, sino al comando del sistema in campo da remoto. Uno degli aspetti fondamentali è l'immagazzinamento dei dati: questo processo consente la creazione di un archivio storico con cui poter monitorare e analizzare le performance del sistema. Come accennato in precedenza, questi sistemi presentano una supervisione centrale che interroga i dispositivi in campo, quest'ultimi sono chiamati RTU (*Remote Terminal Unit*) cioè dispositivi con capacità di calcolo in grado di interfacciare gli I/O fisici col sistema SCADA e, ad esempio, sono in grado di leggere e comunicare alla supervisione il segnale in corrente di un trasduttore di pressione. In molti casi gli RTU sono stati sostituiti dai PLC poiché più economici e versatili.

Inizialmente presentavano un'architettura fortemente centralizzata, un unico calcolatore si occupava di tutte le operazioni, dall'interrogazione degli oggetti in campo fino alla generazione di report, tuttavia questi sistemi aveva notevoli limiti in termini di affidabilità, potenza di calcolo e scalabilità. Lo sviluppo delle tecnologie hardware e delle reti ha significato il passaggio ad un'architettura distribuita in cui parte delle funzioni venivano delegate agli elementi in campo, mentre la supervisione e il comando dei setpoint restava accentrata, consentendo l'archiviazione di grosse moli di dati utilizzabili dal data science, con tutti i vantaggi che possono derivare da tale lavoro in ambito industriale.

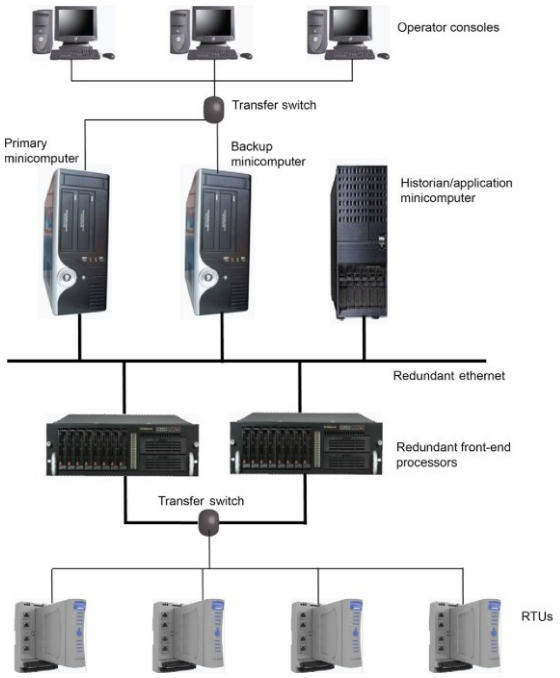


Figura 9: Sistema SCADA con architettura distribuita, da "Industrial Process Automation" pagina 246.

Se i primi due sistemi descritti costituiscono la prima e seconda generazione di sistemi SCADA, la terza generazione nasce dalle rinnovate esigenze di connessione tra i vari sistemi: a tutti gli effetti non si discosta molto dall'architettura distribuita già presente, ma ha la novità di essere un sistema completamente aperto e non più proprietario, dove dispositivi di qualsiasi tipo possono interfacciarsi tra loro. Lo sviluppo dell'IT e delle reti di comunicazioni come TCP/IP ha scavalcato i vecchi sistemi *stand alone* realizzando un sistema molto più affidabile e scalabile [17]. L'avvento del *cloud computing* ha consentito di fondere i sistemi SCADA all'interno delle reti IoT, migliorando l'integrazione e l'interconnessione dei sistemi; con questi scompare l'interfaccia HMI dove l'operatore va a monitorare o controllare il processo, l'architettura in questione consente la visualizzazione e l'interazione col sistema in remoto, accessibile da qualsiasi posizione e su qualsiasi PC [18]. I nuovi principali punti a favore sono la semplicità, la riduzione dei costi e l'aumento delle potenze di calcolo grazie al *Cloud*, tuttavia questi nuovi sistemi aprono a nuove questioni come quella della *cyber security* e del *data science*.

Le tecnologie nate in ambito industriale sono alla base della nascita dei più recenti BMS (*Building Management System*), sistemi definiti nel 1990 da Brown come *"un sistema progettato e implementato per il controllo e monitoraggio delle funzioni di un edificio e degli impianti ad esso associati"* [19]. L'automazione nata essenzialmente nell'ambito industriale grazie allo sviluppo

della tecnologia ha assunto un ruolo sempre più diffuso e presente nella vita di tutti i giorni, sino ad arrivare ad essere parte integrante della vita quotidiana: si pensi banalmente alle luci di un edificio, che "automaticamente" si accendono o spengono. Tali aspetti sono entrati significativamente a far parte della gestione degli edifici ed è qui che nasce il mondo dell'automazione e sistemi di controllo degli edifici [20]. Il termine BMS è spesso usato in sostituzione di termini quali: BAS (*Building Automation System*), BCS (*Building Control System*), DDC (*Direct Digital Controls*), IB (*Intelligent Building*) oppure Smart Building. Tali distinzioni sono spesso legate alla tecnologia utilizzata che in un contesto dinamico come quello della *Building Automation* sono in continua evoluzione, ma pur sempre sistemi riconducibili per funzionalità e scopo all'unica macrocategoria dei BMS. Un edificio presenta diverse tipologie di apparecchiature, che sono raggruppabili in:

- Impianto meccanico (generazione – distribuzione – terminali);
- Impianto di illuminazione;
- Impianto antincendio;
- Sistema di sicurezza.

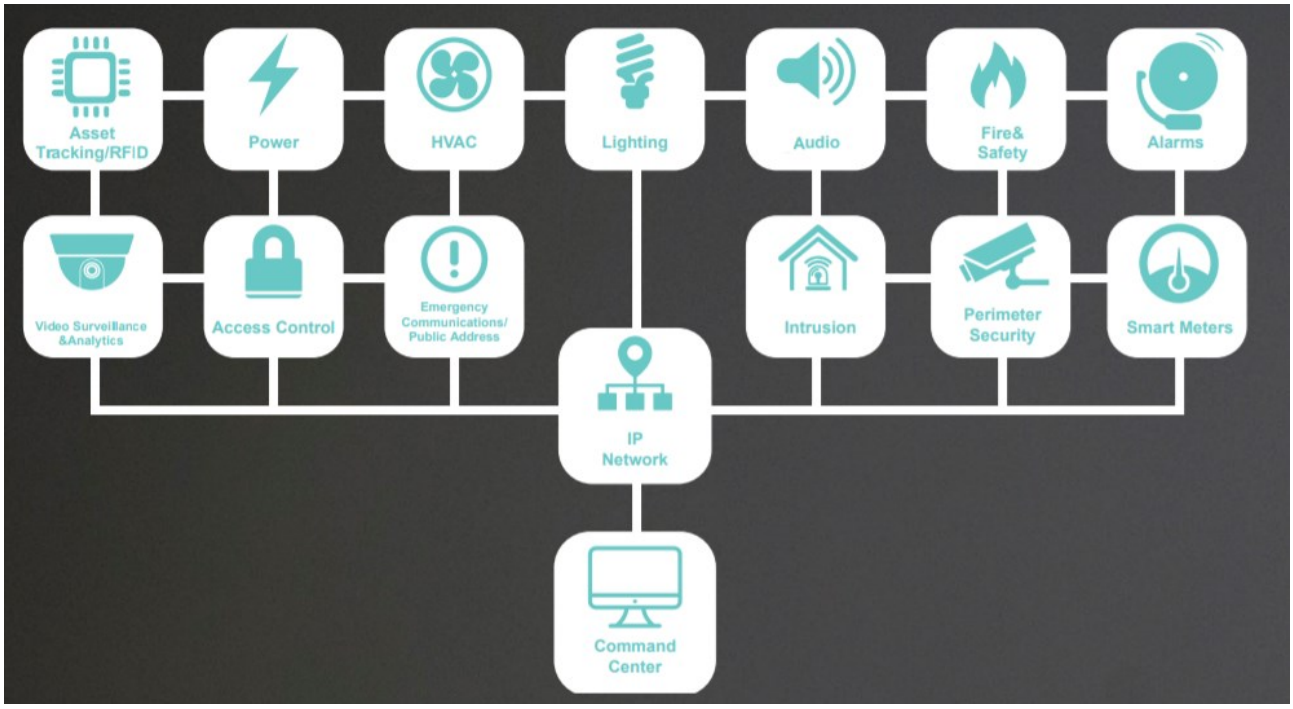


Figura 10: Possibili elementi controllati da un sistema BMS.

Questi impianti possono essere gestiti da un unico sistema in grado di interfacciarsi con ciascuno di questi elementi, in tal modo tutti i dispositivi tecnici possono comunicare tra loro operando in maniera integrata. I BMS ereditano molti aspetti dalla realtà industriale per cui hanno molti punti in comune con i sistemi sopra descritti, e anche in questo caso si parla di strumenti in campo, attuazione, rete di comunicazione e sistema di supervisione.

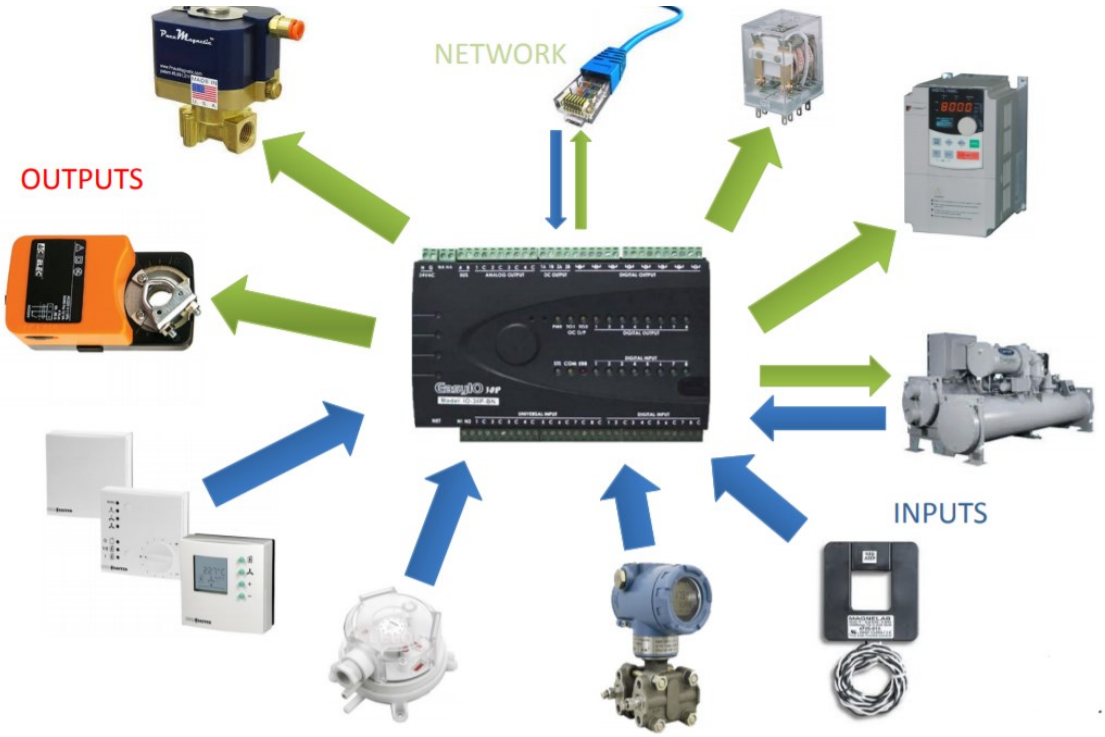


Figura 11: Esempio di alcuni componenti presenti in un BMS.

I BMS monitorano e gestiscono gli impianti meccanici ed elettrici degli edifici attraverso una parte sia hardware che software in grado di immagazzinare e gestire grosse quantità di dati necessari per l'ottimizzazione e riduzione dei consumi. Un BMS è un sistema composto da molteplici dispositivi al cui vertice è presente un computer in grado di monitorare, coordinare e organizzare il controllo dell'edificio, raggiungendo gli obiettivi prefissati. La struttura in questione è distribuita lungo l'intero fabbricato, tali elementi dislocati nell'edificio sono in grado di comunicare tra di loro tramite una rete, quest'ultima consente il trasferimento delle informazioni sia in lettura, ad esempio per leggere le misure dei sensori, sia in scrittura, quando il BMS va ad agire sulla componente di attuazione.

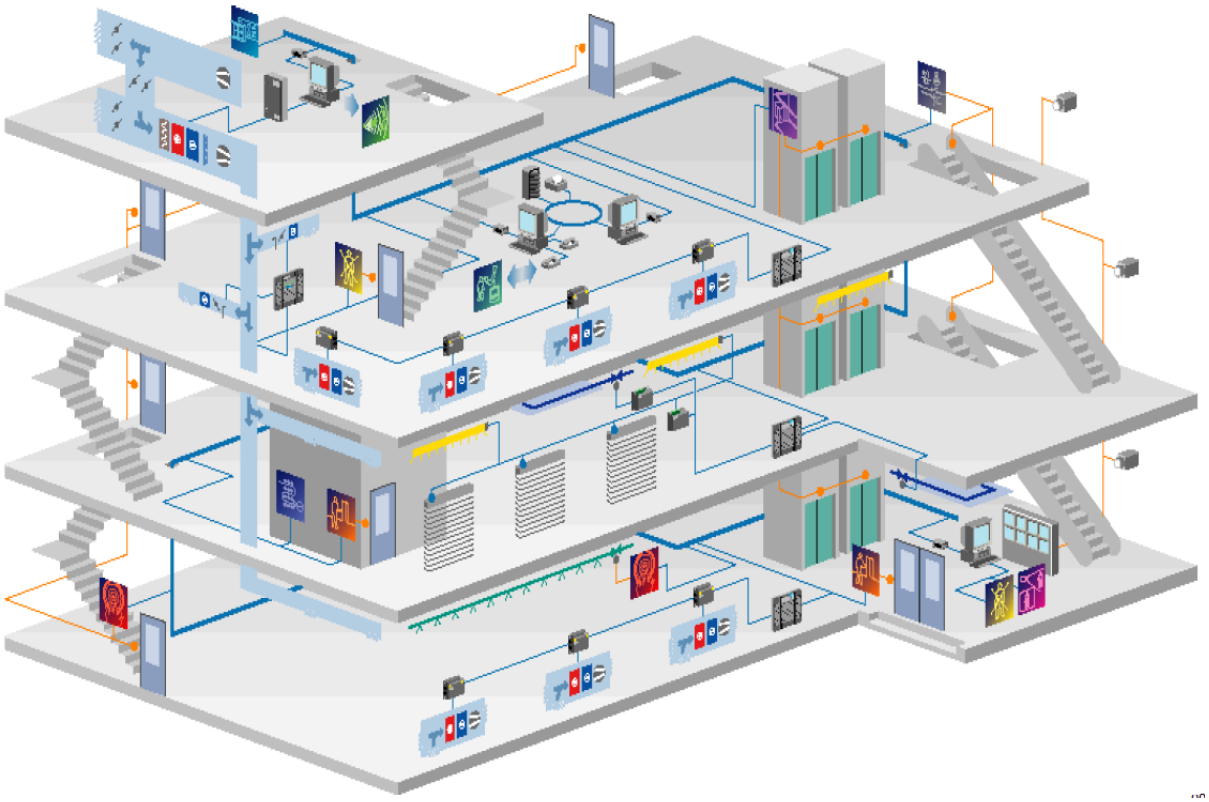


Figura 12: Esempio di integrazione di un BMS in un edificio.

Lo scopo principale di un BMS è quello di gestire razionalmente un edificio in modo da minimizzare i costi aumentando l'efficienza dello stabile, ma allo stesso tempo consente anche una più veloce diagnosi dei guasti, tutti fattori che portano ad una drastica riduzione dei costi energetici ed operativi.

La struttura tipica di un BMS ricalca alcuni aspetti principali degli SCADA e DCS, tuttavia i componenti presenti possono essere molto diversi, in genere vengono distinti in tre livelli fondamentali:

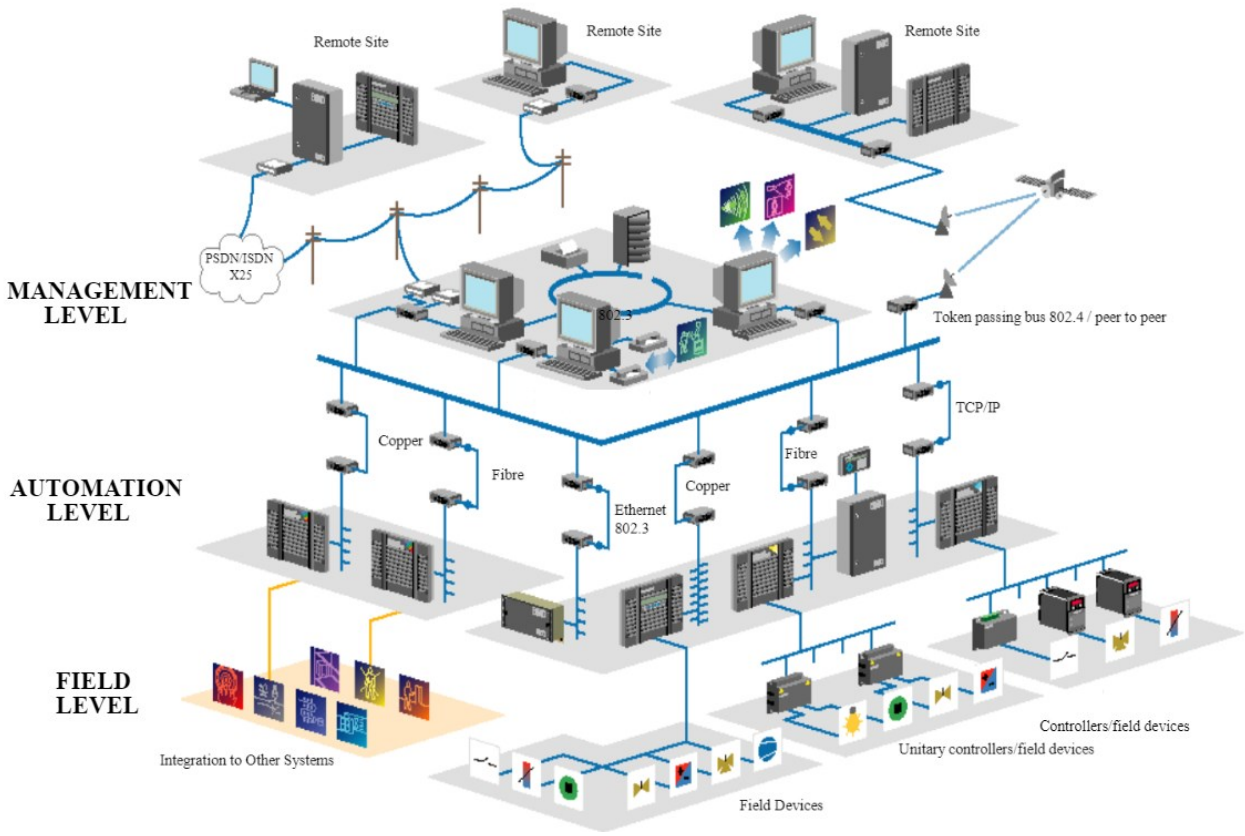


Figura 13: Componenti tipici di un BMS e relativa architettura disposta su tre livelli.

- **Field Level**: è la parte del sistema che collega il BMS con il campo, in pratica attuatori, sensori, termostati e così via;
- **Automation Level**: è costituito da controllori di livello più alto, ma soprattutto da gateway/router; in altre parole raggruppa tutti quei dispositivi in grado di interfacciare e far comunicare componenti di terze parti; comprende il network necessario per garantire la connettività, la comunicazione e il controllo automatico del sistema [20];
- **Management Level**: è caratterizzato dalle interfacce tra il sistema e il gestore dell'impianto, può essere una workstation installata nell'edificio controllato, oppure, facendo fede alle tendenze del momento, può essere costituita da una piattaforma su browser consultabile in real-time e dovunque.

Un sistema BMS non è costituito esclusivamente da hardware, ma presenta un software e un protocollo di comunicazione necessari per il funzionamento del sistema. Gli standard più comuni sono: BACnet, KNX, M-bus, Modbus, EnOcean, OPC, DALI, ZigBee e tanti altri [20]. In genere

un'architettura sfrutta più protocolli, questi variano a seconda del livello in cui ci si trova, l'immagine seguente illustra tale approccio:

Figura 14: Architettura Software di un BMS dal libro "Building Automation & Control Systems di Brooks", Coole pagina 30.

I BMS sono dei sistemi aperti e scalabili, tale aspetto è molto dibattuto poiché da un lato consente di espandere il sistema con componenti di qualsiasi marca e modello aventi le funzionalità più disparate, dall'altro conduce a delle strutture assai arzigogolate e complesse che richiedono l'intervento di System Integrator. La figura professionale in questione ha il compito di far interagire i vari sottosistemi assicurando tutte le funzionalità o creandone delle nuove. Tale aspetto vincola la corretta messa a punto di un sistema all'esperienza e alle competenze dell'integratore; tuttavia negli ultimi anni lo sviluppo dei componenti IoT direttamente accessibili alla rete ha semplificato drasticamente questo passaggio, ma la questione resta aperta poiché la maggioranza dei sistemi presenti sono basati su hardware e software degli anni passati. Il lavoro di integrazione risulta assai complesso, se non impossibile in alcune situazioni, quando ci si confronta non solo con un hardware obsoleto, ma soprattutto con un software di BMS in disuso: si evidenzia a fini illustrativi di seguito un'interfaccia BMS antiquata e una più moderna.

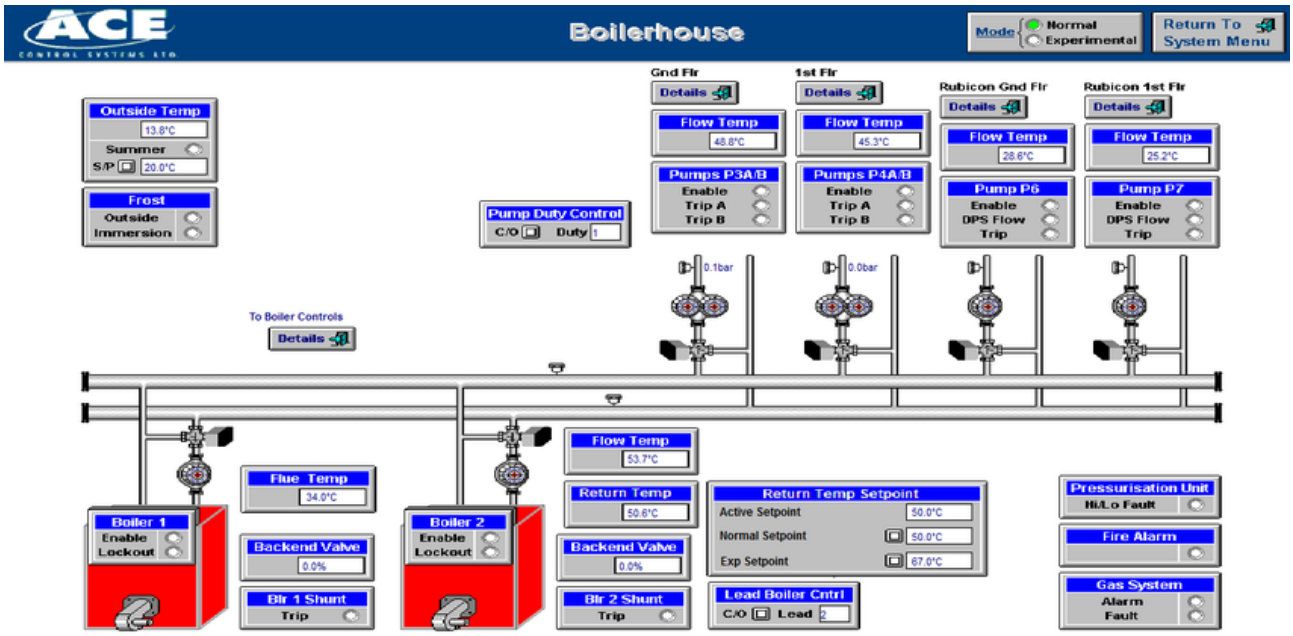


Figura 15: HMI di un sistema BMS in disuso.

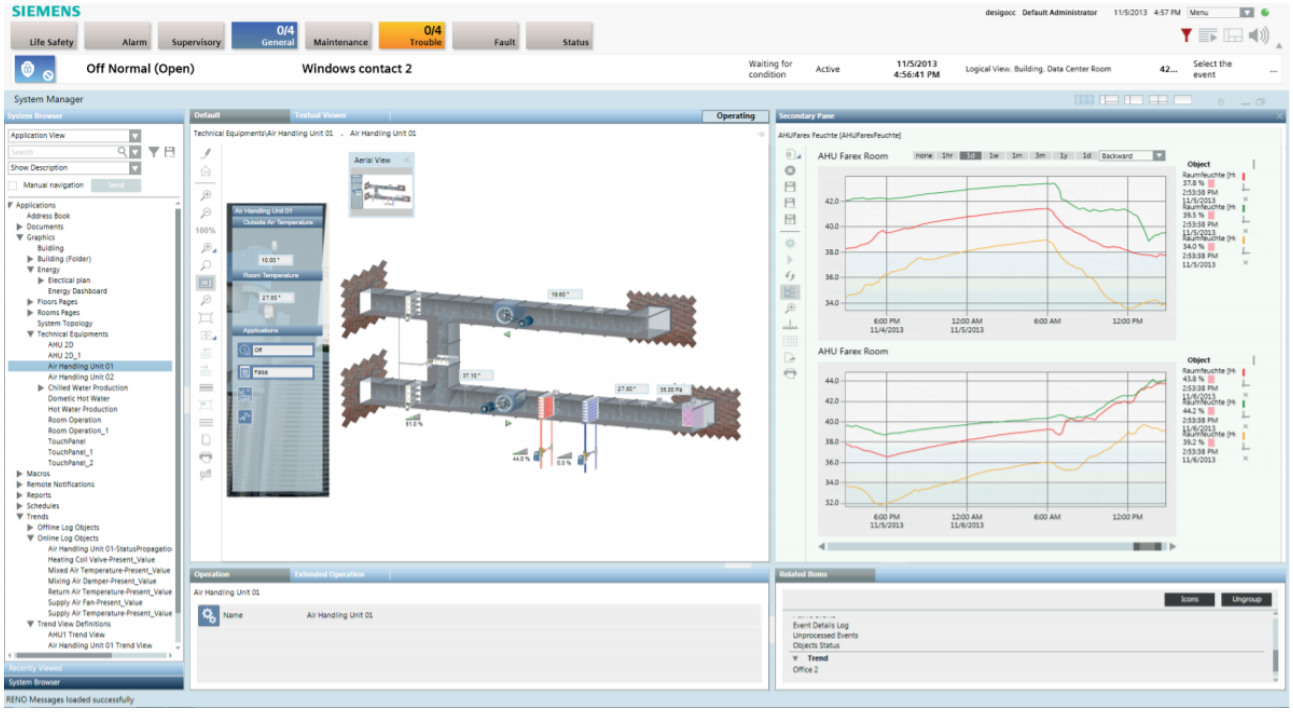


Figura 16: HMI di un sistema BMS Desigo-Siemens in uso tutt'ora.

In genere i BMS si differenziano sulla base delle capacità che possiedono, le principali distinzioni riguardano:

- Capacità di calcolo e di immagazzinamento dei dati;
- Grandezze monitorare in campo;
- Peculiarità della rete installata;
- Interfaccia col sistema;
- Configurazione del sistema di allarmi;
- Definizione di reportistica automatica.

I sistemi BMS vengono largamente usati in virtù dei numerosi vantaggi che conferiscono, infatti l'adozione di questi sistemi porta ad una drastica riduzione dei consumi grazie ad un uso più consapevole degli impianti, ad esempio con accensioni e spegnimenti programmate in modo da garantire le condizioni di comfort ambientale. Un altro vantaggio considerevole è la possibilità di monitorare i consumi in tempo reale in modo da poter analizzare e ottimizzare il comportamento dell'impianto. La gestione oculata degli impianti consente di allungarne la vita utile contribuendo alla semplificazione della loro manutenzione, anche attraverso una fitta rete di allarmi in grado di segnalare le anomalie, mentre allo stesso tempo la gestione locale dell'impianto risulta enormemente semplificata poiché azioni tipicamente manuali sono impostabili da una semplice interfaccia in remoto; tutti questi aspetti combinati e sommati tra loro fanno sì che l'impianto sia più sicuro e performante. La scalabilità di questi sistemi rende l'edifico più flessibile, facilmente è possibile integrare nuove funzionalità o stravolgerne di già esistenti. I più grossi vantaggi si hanno sul livello di benessere e sui costi operativi e di manutenzione: il primo aspetto è intrinseco agli impianti meccanici, ma allo stesso tempo è il principale punto di forza dei BMS che consentono un reale monitoraggio delle condizioni ambientali e quindi una verifica puntuale del rispetto delle condizioni di benessere desiderate. La riduzione dei costi sostiene la fattibilità economica di questi sistemi [19] con tempi di rientro dell'investimento modesti, e in aggiunta l'aumento di efficienza dell'edificio accresce il valore dell'immobile.

Di seguito si riportano una serie di BMS utilizzati nella pratica professionale:

- Siemens Desigo;
- Johnson Control;
- Progea Movicon;

- Eliwell;
- Automated Logic WebControl;
- LG AC SMART IV.

Ciascuna tipologia di BMS presenta le sue peculiarità, i suoi linguaggi di programmazione e le sue logiche di controllo.

5.3. TIPOLOGIE DI COMUNICAZIONE PER I SISTEMI DI CONTROLLO

Lo sviluppo di sistemi industriali sempre più articolati e complicati ha messo in luce le necessità di comunicazione dei dispositivi in campo, con l'aumento della mole dei dati tale esigenza è diventata sempre più determinante. Si immagini un sistema come un BMS in cui tutti gli strumenti siano collegati ad un unico controllore centrale, ciò si tradurrebbe in un cablaggio molto dispendioso e imponente con notevoli problemi durante l'installazione e la manutenzione e persino risalire ad un semplice guasto risulterebbe assai faticoso [15]; tali esigenze, combinate all'aumento del numero di grandezze monitorate, ha incoraggiato la nascita e lo sviluppo delle rete di comunicazione e dei relativi protocolli. Nel 1984 l'ISO approvò un modello di rete OSI (*Open Systems Interconnection*), ovvero uno standard unico di comunicazione tra diverse reti, in grado quindi di interfacciare elementi hardware e software di terze parti. Il modello OSI è basato su sette livelli:

1. Fisico;
2. Collegamento;
3. Rete;
4. Trasporto;
5. Sessione;
6. Presentazione;
7. Applicazione.

I livelli 5, 6 e 7 sono i livelli più alti, cioè relativi all'applicazione e al sistema operativo, i restanti livelli si occupano di trasformare un dato proveniente dai livelli superiori in un output fisico. Questi livelli non devono essere necessariamente presenti in tutte le reti di comunicazione, molte utilizzano un modello semplificato costituito soltanto dai livelli: fisico, collegamento e applicazione. Quello fisico si occupa della trasmissione dei dati attraverso un mezzo fisico (cavo) tra diversi elementi della rete, fattore molto importante perché a seconda del mezzo utilizzato cambiano le capacità di

trasmissione in termini di distanza e voltaggio/corrente [17]. Il livello applicazione contiene i servizi che consentono l'utilizzo della rete, ovvero di interfacciarsi con tutti i livelli successivi affinché sia possibile inviare dati, un esempio possono essere i terminali [15]. Senza entrare nel dettaglio di ciascun *layer*, la struttura multilivello si basa sull'impacchettamento delle informazione dal livello superiore a quello immediatamente sottostante e così via attraverso l'uso di un particolare protocollo; l'ultimo anello di questa catena è il mezzo fisico con cui avviene la trasmissione reale dei dati, per cui se si desidera mandare un dato da un elemento ad un altro bisogna prima attraversare tutti i livelli da ambo i lati della comunicazione, solo attraversando tutti i livelli nelle due direzioni i dati saranno disponibili alle utenze.

Figura 17: Funzionamento modello OSI.

Il modello OSI è soltanto un riferimento per le architetture di rete, non è un vincolo rigido e invalicabile, piuttosto una base su cui andare a costruire una rete di comunicazione. Un esempio è la suite di protocolli Internet, chiamata spesso suite di protocolli TCP/IP, che seppur abbia le stesse funzionalità presenta un numero inferiore di livelli:

- Applicazione (comprendente il livello 5,6 e 7 dell'OSI);
- Trasporto;
- Internet (corrispondente al livello 3 dell'OSI);
- Accesso alla rete (corrispondente al livello 1 e 2 dell'OSI).

Il discorso in merito alle reti di comunicazioni risulta assai complesso e ampio, per cui non è possibile nel presente elaborato trattare l'intera questione, piuttosto si pone una particolare attenzione sul primo livello di questo modello, ovvero il livello fisico. Quest'ultimo nelle

applicazioni industriali e dei BMS svolge un ruolo chiave nelle performance del sistema installato. Nel livello fisico sono definite le caratteristiche elettriche e meccaniche del mezzo di trasmissione, queste influenzano l'intensità del segnale elettrico, la distanza di trasmissione, i disturbi e così via.
Prima di entrare nello specifico, bisogna distinguere tra trasmissione in parallelo e trasmissione seriale, nella prima più bit vengono trasmessi in contemporanea su canali diversi, mentre nella seriale i bit vengono spediti in successione uno dopo l'altro. È evidente che la prima soluzione consente una riduzione dei tempi di trasmissione, ma porta con sé delle complicanze relative al numero dei conduttori e alle interferenze che nella pratica ne impediscono l'uso [15]. La seriale può essere sincrona o asincrona, nel primo caso i bit vengono trasmessi con una cadenza definita da un secondo segnale detto *clock*, questa scelta richiede un conduttore aggiuntivo, motivo per cui è raramente utilizzata; nel caso asincrono, invece, si utilizza un bit prima del messaggio effettivo, chiamato *bit di parità*, consente la sincronizzazione tra trasmettitore e ricevitore; realizzata la sincronizzazione viene trasmesso il dato che si conclude con uno o due tempi di bit per predisporre il sistema al dato successivo. Il sistema asincrono può essere soggetto a disturbi per cui per evitare tale condizione si usano dei sistemi di verifica CRC (*Cyclic Redundancy Check*), ovvero una checksum che calcola la somma dei bit in partenza e in arrivo per verificare l'esattezza del messaggio inviato, in tal modo è possibile scoprire la presenza di disturbi lungo la rete [17].
Un'ultima caratteristica fondamentale della trasmissione tra due elementi è la direzione della comunicazione, si definisce:

- **Simplex** se avviene in una sola direzione;
- **Full-duplex** se consente la trasmissione in contemporanea in ambo i versi;
- **Half-duplex** se coinvolge ambo le direzioni, ma non nello stesso istante.

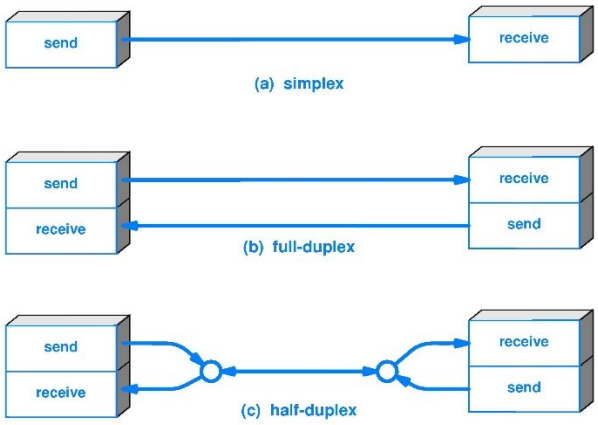


Figura 18: Tipologie di trasmissione tra due dispositivi.

Gli standard più utilizzati nell'ambito dell'automazione sono [21]:

- **RS-232**, appartiene allo standard EIA (*Eletronic Industries Alliance*), utilizza due fili in *full duplex*, caratteristiche che lo rendono da un lato fortemente soggetto ai disturbi elettrici (distanza massima 10/15 metri), dall'altro consente velocità di trasmissione piuttosto basse (155 Kbps);
- **RS-422**, appartiene allo standard EIA, utilizza due coppie di fili in *full duplex*, proprietà che consentono velocità fino a 10 Mbps e distanze anche fino a 1500 m grazie all'alta immunità ai disturbi;
- **RS-485**, appartiene allo standard EIA, è analogo al precedente con la differenza che è *half duplex*, ovvero una trasmissione multipunto che consente di collegare più elementi sulla stessa linea;
- **USB** (*Universal Serial Bus*), possiede due coppie di cavi schermati, una per l'alimentazione, la seconda per trasmissione del segnale, la versione 3.0 consente velocità di trasmissione anche fino a 4.8 Gbps per un massimo di 5 metri;
- **TIA/EIA 568**, appartiene allo standard EIA, esistono varie versioni di questo cavo quello attualmente utilizzate per reti Ethernet sono la Cat5e che arriva a velocità di 100 Mbps e Cat6 a 1000 Mbps, con distanze anche fino a 100 m.
- **Fibra ottica**, le potenzialità sono molto alte, consentirebbe velocità e distanze elevate, ma non esistono ancora standard industriali affermati.
- **Wireless**, esistono diversi standard industriali come IEEE 802.11 (Wi-fi), IEEE 802.15.4 (PAN), IEEE 802.15.1 (Bluetooth), SigFox e così via.

Una rete è costituita sia da elementi hardware che software collegati tra loro sia attraverso un cavo sia attraverso dispositivi quali: *bridge, router, gateway* e *repeater*; l'insieme di queste entità consente la comunicazione all'interno della rete, anche tra dispositivi che "parlano" lingue diverse. Le caratteristiche di una rete sono strettamente legate alla sua topologia, essa è il modello geometrico rappresentativo della rete, cioè come sono collegati gli elementi che la costituiscono. La rete viene schematizzata in nodi e rami, i nodi sono i vari dispositivi, mentre i rami sono gli elementi che collegano i primi; è possibile distinguere una topologia fisica, legata al cablaggio che collega i nodi, e una topologia logica, collegata a come i dati vengono trasferiti senza tener conto della connessione hardware esistente; in genere la prima è legata al mezzo fisico, mentre la seconda al protocollo di comunicazione adottato [17].

Le principali topologie fisiche sono [22]:

- Lineare semplice;
- Lineare complesse;
  - Punto a punto;
  - A maglia;
  - Bus.

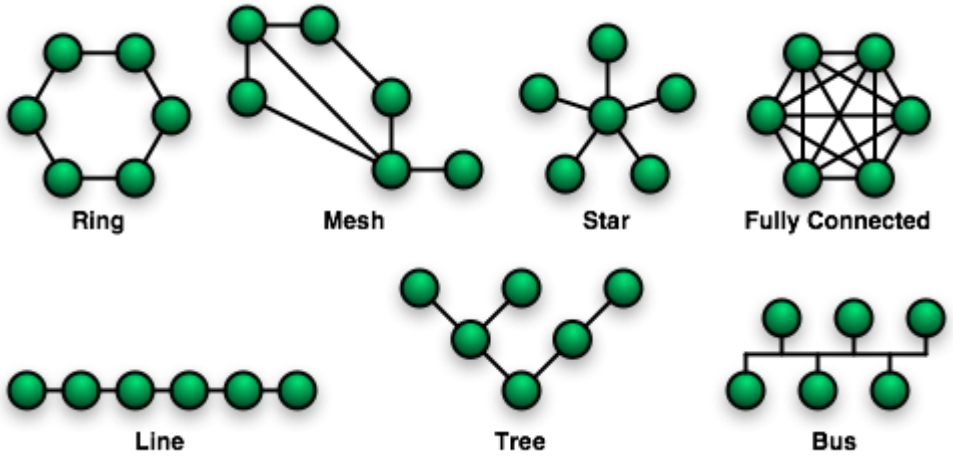


Figura 19: Possibili configurazioni di una rete.

Le **topologie lineari semplici** sono quelle in cui ogni nodo è collegato a quelli adiacenti con un solo ramo, sono un esempio le reti ad anello che hanno il vantaggio di essere più semplici e con ridotto cablaggio, ma allo stesso tempo hanno lo svantaggio di avere un elevato traffico in rete e risulta complicato introdurre nuovi dispositivi.

Le **topologie lineari complesse,** per queste reti il collegamento tra due nodi avviene sempre con un solo ramo, ma a differenza del caso precedente è presente una gerarchia predefinita tra i varie nodi, in cui l'elemento al livello superiore è collegato direttamente a tutti quelli inferiori, un esempio sono le reti a stella, quest'ultime consentono notevoli velocità di collegamento e immediata ricerca di guasti, di contro la rottura del nodo centrale comporta l'arresto dell'intero sottolivello che controlla, inoltre il cablaggio per tale configurazione risulta estremamente dispendioso.

La **topologia punto a punto** mette in comunicazione diretta due dispositivi per cui è utilizzata solo in particolari ambiti dove è richiesta la presenza di un canale dedicato tra due elementi.

Nella **topologia a maglia** i nodi sono collegati tra loro attraverso un ramo, per cui esiste sempre un collegamento diretto tra 2 nodi, questo complica molto la rete, ma allo stesso tempo la rende una topologia estremamente resistente ai guasti potendo raggiungere un nodo attraverso molteplici

strade. Inoltre, l'aggiunta di nuovi dispositivi è piuttosto complicata dovendo collegare ogni nuovo elemento a tutti quelli esistenti, per tali ragioni è realizzabile solo se parziale o comunque su un numero significativamente piccolo di nodi, un'eccezione sono le reti mesh sviluppate per i sistemi wireless e IoT che consentono una rapida e semplice comunicazione.

Nella **topologia bus** tutti i nodi sono collegati per mezzo di un unico ramo, cioè condividono lo stesso canale di comunicazione, ciò si traduce in una notevole semplificazione del cablaggio e dell'installazione della rete, allo stesso tempo la rete risulta estremamente scalabile, tra gli svantaggi di questa rete si annovera sicuramente l'unica via di comunicazione tra i nodi che può essere un problema in caso di guasti. Il pregio principale di queste reti sono i costi ridotti e la notevole semplicità, allo stesso tempo l'uso di un solo cavo riduce le velocità di trasmissione e necessità di regole necessarie per evitare conflitti tra diversi dispositivi che accedono in contemporanea alla rete [15].

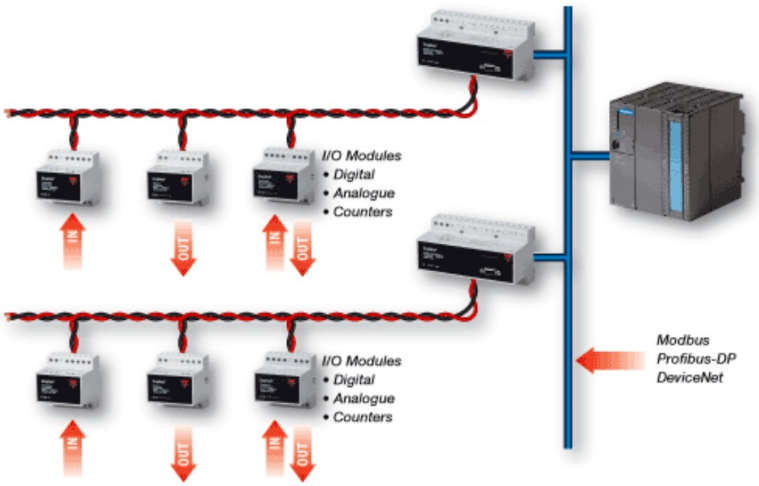


Figura 20: Esempio di una rete Bus.

Il livello 2 OSI definisce il metodo di accesso dei dispositivi alla rete, questo è necessario onde evitare che nascano conflitti tra dispositivi che cercano di comunicare contemporaneamente attraverso un unico canale di comunicazione, nel caso dei Bus i sistemi più comunemente adottati sono [15]:

- **Master/slave**;
- **Multi-master**;
- **Token-passing**.

Nella configurazione *master/slave* in genere si parla di accesso centralizzato o polling, un unico nodo funge da *master,* che è l'unico in grado di accedere alla rete e ciclicamente interroga i nodi *slave* (a valle del master) che possono trasmettere dati o ricevere comandi solo in seguito all'interrogazione del master. Di conseguenza gli *slaves* possono accedere alla rete solo in risposta al master anche nel caso in cui abbiano un'informazione da trasmettere al sistema centrale. Il vantaggio è una rete molto semplice e affidabile, ma con tempi di risposta più lenti poiché i nodi non possono accedere autonomamente alla rete.
Nei sistemi *Multi-master* esistono più master che comandano i rispettivi nodi slaves consentendo l'accesso al bus comune, in tal caso bisogna definire dei criteri che regolino l'accesso dei dispositivi master alla rete, ad esempio può essere utilizzato un accesso di tipo random CSMA/CD, dove in caso di conflitto i nodi coinvolti attendono un intervallo di tempo casuale per poi riprovare l'accesso alla rete; in genere nelle reti di campo non è molto usato poiché non garantisce tempi definiti di trasmissione. Un alternativo metodo di accesso è quello con priorità CSMA/BA e CSMA/CA in cui, una volta definiti dei livelli gerarchici tra i nodi, il messaggio con priorità superiore viene trasmesso con precedenza sugli altri.
Il sistema *token-passing* viene utilizzato nelle reti *multi-master*, ma solo in quelle reti che hanno un solo master attivo nello stesso istante, un token, ovvero una stringa, viene "passato" da un nodo ad un altro conferendogli la possibilità di accedere al bus secondo le usuali regole master-slaves*,* in genere il token può restare in possesso solo per un intervallo di tempo limitato.
Le configurazioni sopra descritte sono le principali presenti sul mercato, ma non mirano ad essere esaustive, le possibili configurazioni sono molteplici e spesso assai diverse, per sommi capi riprendono gli schemi base precedentemente descritti, ad esempio lo schema *Client/Server,* seppure con le debite differenze, ricalca la relazione asimmetrica *master/slaves.*

All'interno di una rete di comunicazione non conta soltanto l'aspetto fisico della comunicazione, ma altrettanta importanza è rivestita dalla parte software identificata con il protocollo di comunicazione, quest'ultimo definisce l'insieme di norme che regolano la comunicazione tra più elementi. Il protocollo si occupa di definire le modalità con cui vengono trasmessi i dati; nell'ambito dei BMS esempi dei sistemi più comunemente adottati sono il BACnet, CAN, DALI, EnOcean, KNX, LonTalk, LonWorks, OPC, M-bus, Modbus oppure ZigBee.

Figura 21: Protocolli di rete utilizzati nelle Building Automation.

Si intuisce come esistano protocolli di tipologie più varie: seriali, TCP/IP, cablati, wireless e così via, ciascuno avente particolari funzioni e scopi, a seconda delle entità interessate e del mezzo di comunicazione utilizzato.

5.4. TIPI DI REGOLAZIONE IN CAMPO BMS

In campo Building Management System i controllori vengono ampiamente utilizzati. Le tipologie maggiormente commercializzate e comuni verranno descritte in questo paragrafo, mentre nel successivo Paragrafo 5.5 verrà fornito un focus sui soli PLC (*Programmable Logic Controller*) installati presso il Cliente e pertanto si rende necessario portare un ulteriore approfondimento in merito.

Per l'analisi delle diverse tipologie di regolazione presenti sul mercato si è fatto riferimento, tra le altre fonti bibliografiche, anche alle slide di un webinar organizzato e condotto da professionisti Schneider [23].

5.4.1. *Controllo ON/OFF*

È la regolazione più semplice presente in campo BMS. Si realizza con anelli di regolazione semplici o con macchinari che funzionano per mezzo di un sistema start-stop, come ad esempio i bruciatori di una caldaia o i sistemi di sicurezza a soglia.

Lo schema presente di seguito in Figura 22 mostra in modo chiaro come questo tipo di regolazione funzioni: il sistema rimane acceso finchè non viene raggiunto il set point w, dopo di che viene spento e rimane in questo stato finchè non si raggiunge la soglia w-x_D che permette la riaccensione del sistema. Per via del suo comportamento questo tipo di regolazione è anche detta a due posizioni.

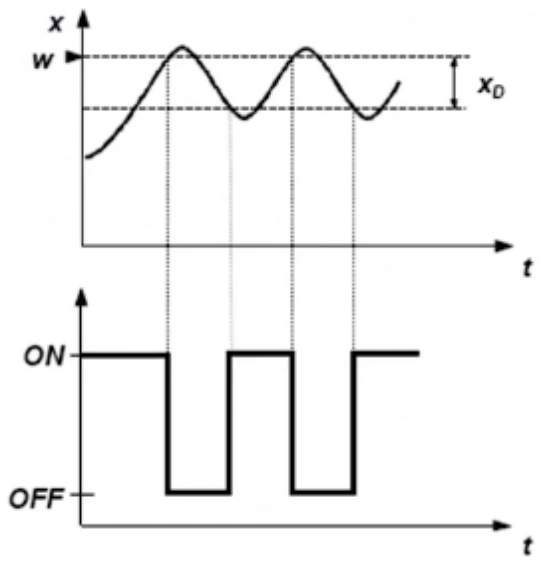


Figura 22: Funzionamento del sistema di controllo ON/OFF. Dalla figura risulta chiaro il motivo per cui questo sistema viene denominato anche "controllo a due posizioni".

Il differenziale x_D è fondamentale per il sistema al fine di evitare continue riaccensioni e spegnimenti, che porterebbero un notevole stress agli organi meccanici in gioco, diminuendone di conseguenza affidabilità e durata. Grazie a questo il sistema ha una certa tolleranza intrinseca che evita problematiche dovute ad un abuso del controllo ON/OFF.

Uno dei sistemi più noti che utilizzano questo tipo di regolazione è il termostato di tipo domestico: una volta impostato il set point, il sistema si accende o si spegne a seconda della temperatura ambientale presente in quel momento.

Alcune apparecchiature in commercio possono essere multistadio, queste sono costituite da una serie di moduli in grado di accendersi o spegnersi singolarmente; in tal caso è possibile, tramite una serie di ON/OFF, effettuare una regolazione a gradino in modo da adeguare il funzionamento della macchina a condizioni di funzionamento più ampie e migliorandone l'efficienza, dispositivi che sfruttano questo genere di regolazione possono essere compressori o bruciatori a gas a più stadi.

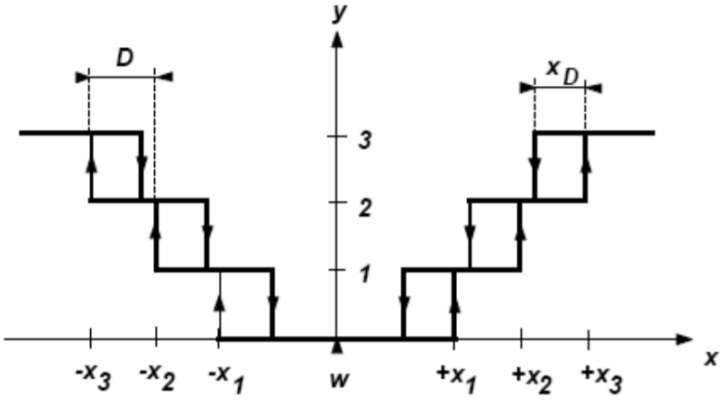


Figura 23: Funzionamento di una regolazione a gradino.

5.4.2. *Controllo flottante*

Rispetto al controllo a due posizioni, questa regolazione permette di azionare un servocomando in tre modi possibili: verso l'apertura, verso la chiusura o lo mantiene fermo in posizione. Per questa ragione il controllo in questione è definito anche controllo a tre posizioni.

Quando la variabile si trova al set point, oppure in quella che è denominata come "zona neutra" in Figura 24, il servocomando rimane nella posizione in cui si trovava al momento dell'ingresso nella zona neutra, dove resta bloccato fin quando non la oltrepassa, lo stesso processo si ripete più volte e con posizioni differenti della valvola a seconda dei carichi in gioco. Le oscillazioni della variabile sono ancora presenti a causa dei transitori termici e meccanici dell'otturatore, ma sono meno accentuate rispetto al controllo ON/OFF, il che permette di non aumentare l'instabilità del sistema.

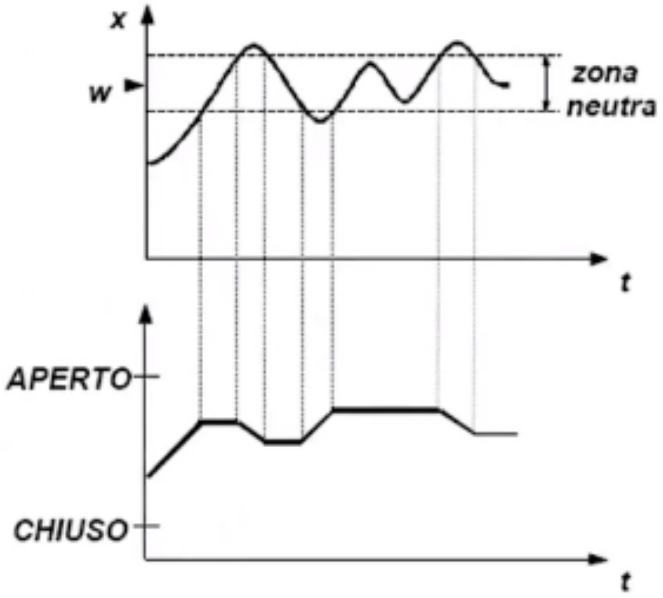


Figura 24: Funzionamento del sistema di controllo flottante, anche detto "a tre posizioni".

Grazie a ad una maggior efficienza di questo controllo rispetto a quello visto in precedenza, nonché ad una relativa economicità dello stesso, questa tipologia di regolatore viene ampiamente utilizzata in ambito HVAC.

5.4.3. *Controllo PID*

I regolatori PID sono una particolare tipologia di regolatori che consentono di effettuare un controllo sulle variabili di interesse. I controllori PID prendono il loro nome dalle modalità di regolazione che gli stessi possono apportare al sistema controllato, vale a dire:

- **P**: controllo per mezzo di un'azione *proporzionale;*
- **I**: controllo per mezzo di un'azione *integrativa;*
- **D**: controllo per mezzo di un'azione *derivativa.*

Questo tipo di controllore è caratterizzato da una funzione di trasferimento, che a fronte di un input *e(t)* fornisce un output *u(t),* che non è nient'altro che la legge di controllo del PID:

$$u(t) = k_p \cdot e(t) + k_i \cdot \int_{t_0}^{t} e(t)dt + k_d \cdot \frac{de(t)}{dt} \tag{1}$$

Le costanti esplicitate nella legge di controllo k_p, k_i e k_d vengono definite rispettivamente come i guadagni dell'azione proporzionale, integrativa e derivativa.

La loro logica di funzionamento [24] viene descritta nel seguito:

- <u>Azione proporzionale:</u> in Figura 25 è visibile il comportamento dell'azione proporzionale del controllore PID, che ha lo scopo di riportare il più possibile vicino ai valori di regime *r(t)* il parametro considerato dopo che questo ha subito una deviazione. Si avvicinerà al valore di *r(t)* sempre con un certo *offset*: con la sola azione proporzionale <u>non</u> è possibile raggiungere i valori di regime. Questa è una problematica comune a tutte le azioni proporzionali dei controllori.

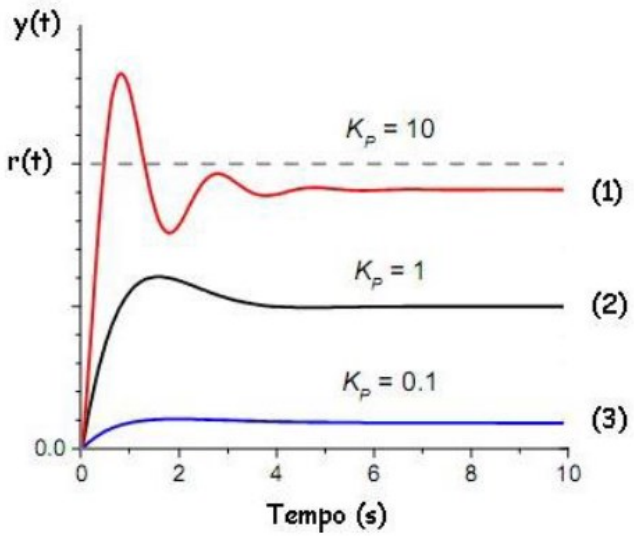


Figura 25: Andamento dell'azione proporzionale del PID. Al crescere della costante Kp diminuisce l'offset ma aumenta l'instabilità del sistema.

$$offset = r(t) - y(t) \tag{2}$$

Aumentando il valore della costante proporzionale è possibile ridurre l'offset e il tempo di salita, ma si instaureranno delle oscillazioni ed il sistema diventerà instabile, come è possibile verificare dalla precedente figura confrontando le curve 1 (a minor k_p) e 3 (a maggior k_p).

- <u>Azione integrale:</u> in Figura 26 è visibile l'effetto dell'azione integrale del controllore PID. A differenza del caso proporzionale, viene definita una costante di tempo integrativa come:

$$T_i = \frac{k_p}{k_i} \tag{3}$$

L'azione integrale ha il compito di ridurre l'offset ed è quindi in grado di portare a regime *r(t)* il sistema. Qualora i tempi di esecuzione fossero rapidi, lo fa portando con sé alcune oscillazioni e instaurando quindi instabilità all'interno del sistema.

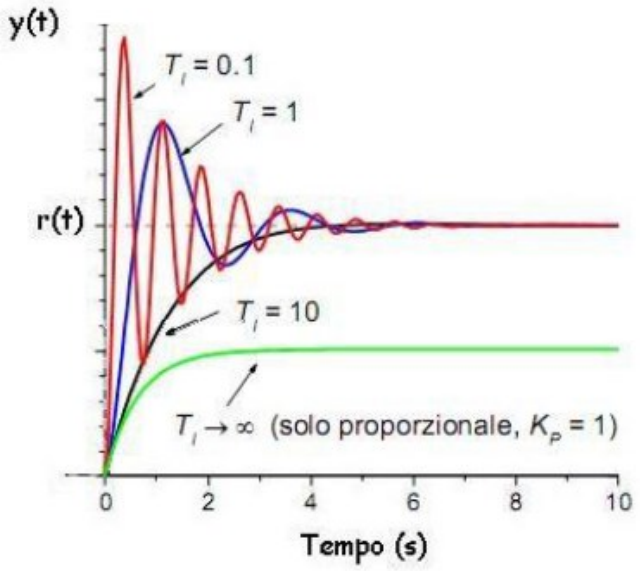


Figura 26: Andamento dell'azione integrale del PID. Al diminuire della costante di tempo integrativa Ti il sistema diventa più instabile provocando oscillazioni.

Grazie a questa sua peculiarità sono spesso utilizzati per sistemi con dinamiche lente dei controllori di tipo PI, quindi che sfruttano le sole azioni proporzionale ed integrale. I sistemi con dinamiche lente sono, ad esempio, i sistemi termici.

- Azione derivativa: in Figura 27 è visibile l'andamento dell'azione derivativa del controllore PID. Similarmente all'azione integrativa, anche in questo caso viene definita una costante temporale:

$$T_d = \frac{k_d}{k_p} \tag{4}$$

Il compito dell'azione derivativa è quello di appianare le oscillazioni ed eliminare, di conseguenza, le instabilità interne al sistema. Maggiori saranno le oscillazioni, maggiore sarà lo smorzamento che questa azione apporterà. Inoltre, contribuisce alla riduzione del transitorio e riduce la sovra elongazione, per tali ragioni in genere è adatto a quei sistemi che richiedono una risposta molto rapida; nelle applicazioni HVAC dove i fenomeni sono piuttosto lenti, tale fattore in genere non è presente ed è sufficiente un controllore PI.

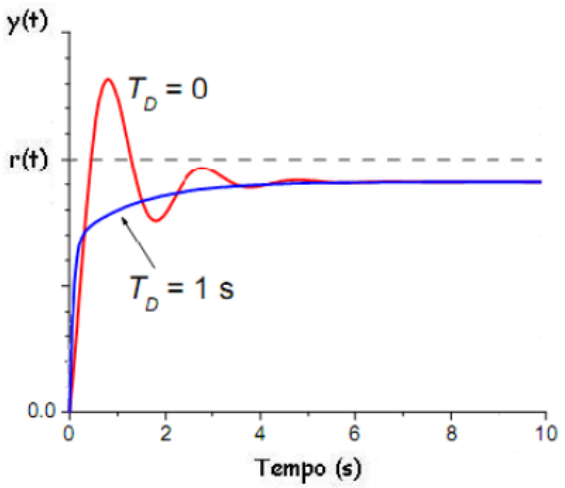


Figura 27: Andamento dell'azione derivativa del PID. Con la costante di tempo presente (linea blu), il blocco derivatore permette di annullare le oscillazioni nel sistema.

A seconda del tipo di applicazione è possibile utilizzare controllori P, PI oppure PID, quest'ultimi sfruttano l'unione congiunta delle tre azioni proporzionale, integrale e derivativa. Attraverso la taratura dei parametri visti in questo capitolo, il controllore PID permette di poter disporre di uno strumento versatile e affidabile che sia in grado di minimizzare le perturbazioni prodotte, di eliminare le instabilità del sistema e di riportare il processo a regime nei tempi più consoni.

5.5. CONTROLLO CON PLC

L'avvento dei Controllori Logici Programmabili, abbreviati con la sigla PLC. scaturisce da una necessità sempre più crescente di flessibilità nel campo dell'automazione industriale: nati nel 1968 in risposta ad una direttiva emessa da General Motors verso i propri fornitori per uniformare la gestione della catena di montaggio, i controllori programmabili risposero egregiamente alle esigenze di robustezza, facilità di utilizzo e configurazione, bassa manutenzione, scarso ingombro e costi contenuti.

L'azienda che rispose meglio a queste esigenze fu la Bedford Associates Inc., che vinse il contratto grazie al modello 084, meglio conosciuto come MODICON (*MOdular DIgital CONtroller*). Solo qualche anno più tardi questa tipologia di controllori cambiarono nome, grazie ad un modello della Allen-Bradley Company, che a metà degli anni '70 lanciò sul mercato il primo PLC con microprocessore [15].

Il maggior vantaggio introdotto dai PLC fu la grande capacità di adattamento a diverse condizioni del ciclo produttivo, sempre in continua evoluzione, senza che si dovesse intervenire su componenti impiantistici, ma semplicemente apportando una modifica software: è sufficiente infatti cambiare il programma per adattare il controllore al nuovo ciclo produttivo.
Questo tipo di controllori sostituì presto l'utilizzo del computer nelle fasi di controllo dei processi produttivi per diverse ragioni: essendo costruiti ad hoc per lavorare in ambito industriale, risultano essere meccanicamente più robusti e più resistenti a temperature elevate rispetto ai PC, inoltre sono isolati da disturbi di tipo elettrico ed elettromagnetico e presentano numerosi input e output, che garantiscono flessibilità e capacità di adattamento a diversi tipi di impianti. Possono lavorare in continuo e rispondono 24h su 24, 365 giorni l'anno in *real time* a cambiamenti di stato del processo. Infine, richiedono poca progettazione elettrica e ciò su cui è necessario porre una maggior attenzione è la sola sequenza di operazioni che vanno programmate ed inserite nella memoria del PLC.

Rispetto ad altri sistemi di controllo i PLC vengono di norma utilizzati in applicazioni dove è necessaria una personalizzazione elevata e per cui un controllore ad hoc risulterebbe avere un costo molto più elevato di quello di un PLC. Per lo stesso motivo, vengono utilizzati di rado in caso di produzione di massa, dove il costo di un controllore personalizzato può essere redistribuito su numeri elevatissimi di unità prodotte [25].

Unitamente al costo contenuto ed agli altri pregi elencati in precedenza, i numerosi input e output di un PLC e la sua capacità di leggere dati, istruzioni o scrivere comandi, a seconda di quanto richiesto dal programma e seguendo una logica predefinita facilmente implementabile o sostituibile, permettono a questo particolare strumento di controllo di venire ampiamente utilizzato in ambito industriale per processi produttivi non di massa.

5.5.1. *Specifiche dei PLC*

I PLC si basano su una tecnologia consolidata e standard, ragioni che lo rendono un prodotto agevolmente integrabile in una struttura di controllo più complessa. Un PLC è in grado di interfacciarsi con qualsiasi tipologia di dispositivo industriale, utilizza una memoria programmabile per immagazzinare le informazioni e le istruzioni di carattere logico, sequenziale o temporale che

dovrà applicare per gestire gli oggetti in campo. La logica che utilizzano è di natura booleana strettamente correlata al linguaggio binario dominante nell'attuale era tecnologica.

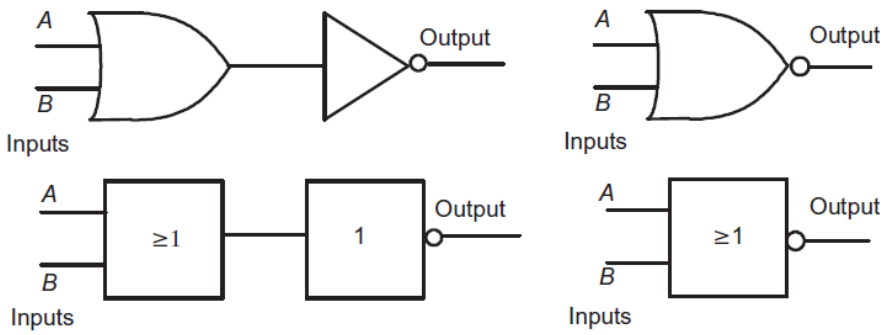


Figura 28: Esempi di rappresentazione simbolica di alcune funzioni booleane da norma IEEE.

Un PLC legge gli input dal campo, a seconda dei loro valori sceglie quali logiche debbano essere implementate e ne verifica l'attuazione.

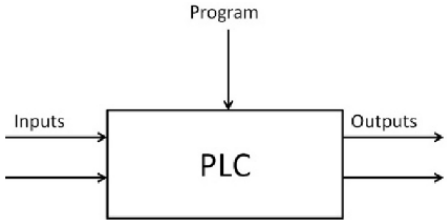


Figura 29: Schema logico funzionamento PLC.

Questo loop generico di controllo è realizzabile attraverso due parti estremamente differenti, ma interconnesse: software e hardware. La prima si occupa delle logica di controllo e quindi delle istruzioni da eseguire, la seconda di tutta l'elettronica e delle apparecchiature necessarie per eseguirle [15]. La parte hardware consta di:

- **CPU** (*Central Processing Unit*), è il microprocessore del PLC, si occupa dell'interpretazione degli input, li elabora ciclicamente sulla base del programma in memoria e restituisce i comandi da eseguire;
- **Memoria**, divisa in ROM (*Read Only Memory*) e RAM (*Random Access Memory*), la prima conserva i programmi del sistema operativo, la seconda invece i dati e i programmi utente; la capacità di memoria è definita dal numero di *word* in grado di immagazzinare.
- **BUS** è lo strumento che consente la comunicazione tra i vari componenti del PLC, a titolo di esempio consente la comunicazione della CPU con i moduli di I/O.

- **Moduli di I/O**, consentono l'interfacciamento con gli elementi in campo sia in lettura (input) che in scrittura (output); ciò è possibile perché questi moduli si occupano della traduzione dei segnali analogici e digitali in ingresso in grandezze binarie comprensibili al processore e viceversa trasformano il valore binario in una tensione o una corrente adatta agli attuatori.
- **Moduli funzionali** sono schede utilizzate per particolari funzionalità svincolate dal funzionamento ciclico della CPU, a titolo esplicativo si annoverano moduli per: contatori veloci, controllo assi o PWM.
- **Porta di programmazione** è utilizzata per programmare il PLC tramite un PC, il programma così redatto viene memorizzato all'interno della memoria.
- **Alimentatore** si occupa della conversione della AC in DC, tale funzionalità è necessaria poiché i componenti del PLC vengono alimentati ad una tensione continua e stabilizzata, in genere 5V.
- **CM** (*Communication Interface)* permettono la comunicazione con altri elementi della rete, un esempio sono le connessioni standard tipo RS485 o Ethernet.

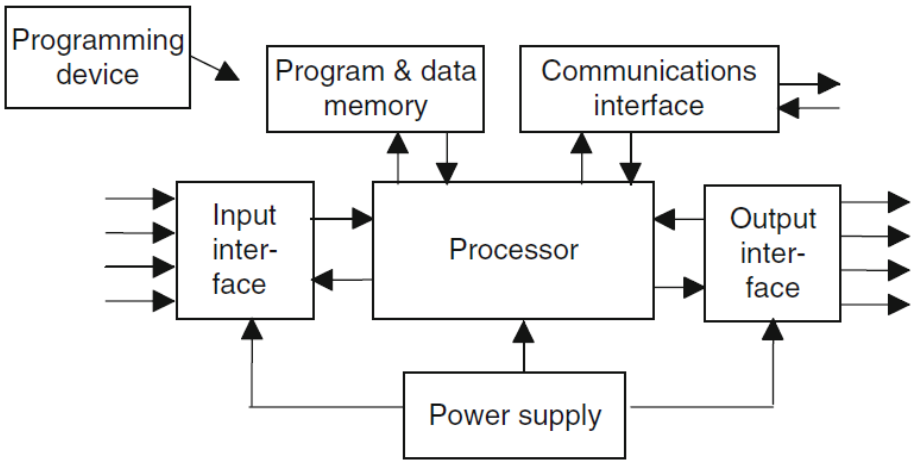


Figura 30: Schema hardware di un PLC.

Gli input sono elettricamente isolati in modo da evitare il danneggiamento del PLC nel caso di guasto di un elemento in campo, tale necessità è realizzata attraverso l'uso di un optoisolatore, di seguito è riportata una sua schematizzazione:

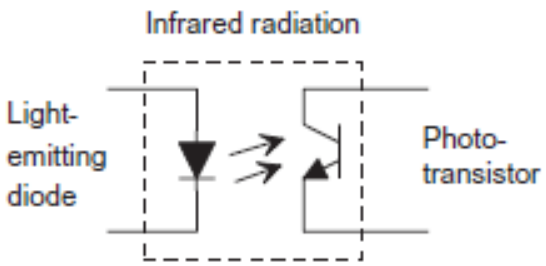


Figura 31: Optoisolatore dal libro "Instrumentation and control systems", pagina 157.

L'optoisolatore è un disaccoppiatore ottico, è costituito da un led e da un fototransistor, il primo emette una luce la cui intensità è modulata a seconda del segnale in ingresso, proveniente ad esempio da un finecorsa; l'onda luminosa così generata viene trasformata dal fototransistor in un segnale elettrico il cui valore dipenderà dall'intensità emessa dal led. In tal modo è possibile preservare il PLC che non presenta una continuità galvanica con gli ingressi fisici.
Le uscite del PLC possono essere di tre tipologie: *transistor, triac* e *relè*, la scelta in genere è legata alla tipologia di carico in gioco. Le uscite con relè sfruttano il segnale proveniente dalla CPU per eccitare o meno il relè che andrà a commutare un contatto, l'uscita effettiva. L'utilizzo di un relè presenta il vantaggio di poter usare una piccola corrente per azionare grandi carichi, essendo resistenti ad elevate tensioni e correnti. Le uscite di tipo *transistor* e *triac* presentano un optoisolatore che garantisce l'isolamento galvanico, ma non sono in grado di resistere a sovracorrenti o picchi di tensione, per cui in genere sono dotati di fusibili o altri sistemi di protezione elettronica. La differenza tra le due classi di sistemi riguarda i tempi di commutazione: un relè è un dispositivo elettromeccanico per cui richiede un intervallo di tempo che oscilla tra pochi sino ad una decina millisecondi, mentre per quelli di natura elettronica ci si attesta nell'ordine di decine di microsecondi, questo implica che l'applicazione in questione ne determina l'uso.
Per gli I/O analogici il discorso è simile, infatti i segnali analogici in ingresso di tensione o corrente vengono convertiti in una *word* digitale, la quale viene trasportata dal Bus fino alla CPU; il discorso è analogo per le uscite che presenteranno un convertitore digitale/analogico in grado di trasformare la *word* in un segnale di tensione o corrente. In entrambi i casi, sia convertitore A/D o D/A, è presente un optoisolatore che protegge il PLC.

La risoluzione della grandezza misurata è strettamente legata alla capacità del PLC: maggiore è il suo numero di bit e maggiore sarà la precisione rilevata. A titolo esplicativo: un PLC con 8 bit,

riesce a dividere un segnale 0-10 V in 256 intervalli, per cui la risoluzione sarà di 0,039 V; ciò significa che una variazione al di sotto di 0,039 V non sarà percepita dal sistema [15].
I PLC presentano un'area della memoria dedicata all'immagazzinamento dei programmi, è possibile suddividere quest'ultima in due aree: la PROM (*Programmable Read Only Memory*) programmabile solo una volta dall'utente, utilizzata per avere una copia del programma su supporto non riscrivibile, e le memorie programmabili di lettura-scrittura, come ad esempio EEPROM, EAROM, *flash memory* utilizzate dall'utente per la scrittura dei programmi.
In genere esistono due configurazioni principali per PLC, la prima compatta, costituita da una singola unità, usata in genere per piccole applicazioni dove tutti gli elementi sono integrati in unico dispositivo. La singola unità consente la lettura fino a 24 input e 16 output, con una memoria fino a 300 – 1000 istruzioni. La seconda configurazione è articolata in vari moduli, ciascuno avente una particolare funzione; questi moduli vengono installati all'interno di un rack in specifiche locazioni dell'impianto a seconda delle esigenze; tale soluzione viene adottata per qualsiasi dimensione o complessità del sistema da controllare, il maggior vantaggio è la semplicità con cui è possibile aggiungere moduli, ad esempio, nel caso in cui aumentino gli I/O oppure si necessiti di maggior memoria [17].

Da un punto di vista *software* il funzionamento di un PLC è ciclico, di natura sequenziale, la sua CPU compie delle operazioni ripetute nel tempo con una cadenza fissa; l'intervallo necessario a realizzare tale ciclo prende il nome di ciclo di scansione, durante il quale vengono eseguite tutte le istruzioni previste dal programma. Ciascuna istruzioni necessita di particolare input, tuttavia questi mutano nel tempo: per tale motivo ad ogni ciclo di scansione è necessario che le grandezze lette siano aggiornate. Lo stesso discorso si ripete nel caso degli output, che ad ogni ciclo verranno riscritti in accordo con le elaborazioni eseguite dal programma.

Esistono diverse strade per programmare un PLC, in genere i principali linguaggi adottati possono essere di natura testuale. A titolo esemplificativo e non esaustivo se ne riportano alcuni nel seguito: IL (*Instruction List*) e ST (*Structured Text*), oppure di natura grafica: LD (*Laddre Diagram*), FB (*Functional Block Diagram*) e SFC (*Sequential Function Chart*).

5.5.2. *Tipologie di controllori PLC presenti*

Come già ampiamente discusso, negli ultimi anni è cresciuto sempre più l'interesse verso la possibilità di applicare un controllo a qualunque tipo di dispositivo, sia questo sviluppato per rispondere ad esigenze professionali, sia per semplice utilizzo hobbistico. I pionieri dei sistemi di controllo permisero di svelare un mondo ricco di possibilità, che furono esplorate negli anni e portarono a rivoluzioni vere e proprie nel mondo dei regolatori.

Uno dei prodotti di maggior interesse è senza dubbio il famoso ed italiano Arduino, sviluppato nel 2005 presso l'Interaction Design Institute di Ivrea. Il progetto è completamente open-source, sia dal punto di vista software che hardware, ed ha la sua forza nella semplice componentistica e programmazione. Questo ha reso per la prima volta accessibile a chiunque il mondo dei sistemi di controllo: con qualche sensore e periferica ed una scheda madre con installato un microcontrollore programmabile attraverso un ambiente di sviluppo proprietario e gratuito, semplice ed intuitivo, Arduino permette di creare in modo rapido dispositivi di automazione di modeste dimensioni per scopi professionali o meno [26], [27].

Figura 32: Scheda Arduino UNO, tra le più usate e commercializzate dei sistemi Arduino, la prima a montare un'interfaccia USB. Si notino i pin di input ed output analogici e digitali preseti sulla scheda.

Nella pratica, questi sono sistemi vengono molto utilizzati per progetti studenteschi, di bricolage, di programmazione e perfino per usi professionali come, a titolo esemplificativo, controllo dell'irrigazione, controllo dell'illuminazione, controllo della velocità di motori elettrici, analisi delle condizioni ambientali o applicazioni IoT.

La crescita di questo tipo di sistema è stata agevolata anche da fattori quali il costo irrisorio delle schede e relativi sensori, il programma open-source e, soprattutto, una community di appassionati

disposti a condividere i propri progetti, i codici, le idee, i consigli e l'esperienza di programmazione acquisita con tutti gli altri utenti.

Un secondo sistema degno di nota ed altrettanto semplice è il Raspberry Pi, anch'esso ormai incredibilmente diffuso ed utilizzato per le più disparate applicazioni. Presentato nel 2012, si differenzia dell'Arduino in quanto non è una semplice board con microcontrollore programmabile, bensì è paragonabile ad un computer in miniatura: ha a sua disposizione hardware ed interfacce analoghe a quelle che si potrebbero trovare su un qualunque calcolatore; punto di partenza è l'installazione di un sistema operativo, normalmente basato sul Raspbian OS proprietario di derivazione Linux [28], [29].

Figura 33: Scheda Rasberry Pi 1 Model A+, presentata nel 2014 è la sostituta del Model A originale. Si notino, a differenza dell'Arduino, tutte le porte di interfaccia presenti che sostituiscono gli I/O analogici e digitali.

La Raspberry Pi viene usata più come un piccolissimo computer, grazie anche alla sua interfaccia uomo-macchina simile a quella nota di un calcolatore, e può essere programmato nel medesimo modo. Questa scheda è spesso adoperata per gestire il flusso di dati, sovente di tipo video; tale predisposizione permette di utilizzarla anche per la configurazione di Gateway.

Gli scopi per cui queste due diverse schede sono state progettate sono dunque differenti: l'Arduino sfrutta le proprie interfacce di input e output per acquisire, elaborare ed inviare segnali, similarmente a quanto fanno i PLC; d'altro canto la scheda Raspberry Pi permette di avere un vero e proprio microcomputer, configurabile come tale con un'interfaccia più user-friendly.

Ciò che viene utilizzato maggiormente in ambito industriale è però una tipologia di controllore più evoluta di quella che è possibile ritrovare in schede come l'Arduino o la Raspberry Pi. I controllori più utilizzati sono quelli della tipologia cui appartiene MT NET di Controlli, di cui è presente in Figura 34 un'immagine esemplificativa.

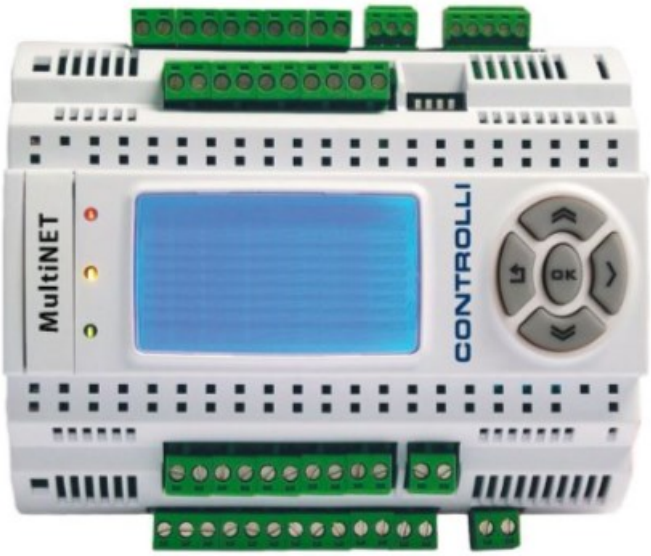


Figura 34: Controllore MT NET BD1 di Controlli, un esempio di quelli che sono i più utilizzati in ambito industriale.

Questi PLC sono di norma installati all'interno dei quadri elettrici presenti sul campo.
Rispetto alle più semplici schede descritte in precedenza, questi moduli programmabili vantano numerose possibilità di configurazione e di comunicazione: possono essere infatti accoppiati ad espansioni del controllore base, di norma attraverso un protocollo di comunicazione denominato CANopen, in modo tale da poter controllare un maggior numero di punti di input ed output, sia digitali che analogici. Inoltre, sono predisposti per le comunicazioni che vengono definite di tipo software, quelle che sfruttano un protocollo bus seriale, come ad esempio il MODBUS. Questo tipo di comunicazione, già largamente descritto in precedenza, permette di utilizzare un'infrastruttura di rete a singolo bus in modalità entra-esci, con notevoli risparmi economici e di configurazione: dovendo mettere in comunicazione il controllore con le sonde e periferiche presenti in campo attraverso segnali digitali e/o analogici, si renderebbero necessari dei cablaggi andata e ritorno per ognuno degli elementi con cui il controllore vuole comunicare. Attraverso i bus seriali si realizza una rete che mette in comunicazione il controllore e le periferiche grazie ad un singolo doppino, appunto il bus.

Un'ultima tipologia rappresentativa dei sistemi presenti in commercio è quella dei controllori più evoluti, come ad esempio quello sviluppato da Siemens, il Simatic S7-1200, di cui in Figura 35 è mostrato un esempio.

Figura 35: Siemens Simatic S7-1200, il controllore di punta per applicazioni di piccola e media taglia sviluppato da Siemens.

Questo tipo di controllori sono modulari e possono essere combinati come più si ritiene opportuno, sono in grado di interfacciarsi con una vasta lista di protocolli di comunicazione, hanno a disposizione un'interfaccia in cloud e sono anche in grado di spedire e-mail criptate con i dati raccolti. La serie S7 di Siemens è in grado di sviluppare tempi di risposta ed elaborazione dei dati incredibilmente brevi, fino ad 1ns [30].

5.5.3. *Futuri sviluppi possibili*

La progettazione dei sistemi di controllo, sia degli ultimi anni che del presente, è largamente dominata dai controllori PID, la loro semplicità e praticità hanno favorito la crescita e l'evoluzione di questa logica, spingendo verso modelli più raffinati ed evoluti; un esempio in tale ottica è stato segnato dall'avvento della tecnica del *gain scheduling* appartenente alla famiglia dei controlli adattivi. Uno dei limiti di un PID a parametri fissi è l'impossibilità di agire su sistemi non lineari, il gain scheduling consente di aggirare tale problema andando a linearizzare di volta in volta il sistema nell'intorno di un punto. Il vantaggio di questi sistemi è di potersi adattare sia alle caratteristiche di non linearità del sistema, ma anche alla variazione delle condizioni esterne al

sistema stesso, che opportunamente rilevate possono essere usate per allineare il comportamento del sistema alle nuove condizioni.

Un controllore PID risulta molto efficace quando il sistema ha delle leggi di evoluzioni semplici e di conseguenza facilmente modellabili, tuttavia se il sistema diventa complesso oppure di difficile schematizzazione tali logiche non sono più implementabili senza incorrere in errori, rallentamenti, instabilità, disturbi e problemi di vario genere. Queste criticità sono ancora più marcate quando si considerano dei sistemi a più variabili e con più anelli di controllo, per cui entrano in gioco controlli di natura predittiva, adattiva, fuzzy o basati su algoritmi di Machine Learning; d'altro canto questi sistemi sono in grado di funzionare soltanto con potenze ben più importanti di quelle a disposizione di un PLC standard e proprio questo limite, insieme alla loro economicità, giustifica la ragione per cui nelle applicazioni odierne i PID sono ancora ampiamente usati.

Tra i sistemi di controllo di processo avanzato APC (*Advanced Process Control*) rientrano:

- **MPC** (*Model Predective Control)*, sono controllori che hanno la capacità di prevedere il comportamento del sistema, ciò consente di agire in anticipo rispetto ad un controllore tradizionale, migliorando le performance del sistema.
- **SPC** (*Statistical Process Control)*, utilizza metodi di analisi statistica consentendo di gestire sistemi con molteplici variabili, garantendo maggiori funzionalità nell'ambito delle ispezioni, rilevazione e correzione degli errori.
- **Fuzzy**: è una logica di funzionamento basata non più su una semplice logica binaria, ma su un certo grado di verità variabile attraverso una funzione tra 0 e 1. Tale concetto consente lo sviluppo di un sistema di controllo adatto a fenomeni di natura complessa e non lineare.

Le tecniche e le logiche sopra illustrate non si escludono vicendevolmente, anzi spesso coesistono e cooperano per la gestione di processi con molteplici variabili e assai complessi; in tale ottica oggigiorno lo sviluppo dell'IT e delle infrastrutture collegate alle reti ha permesso la nascita di algoritmi complessi, i quali coinvolgono importanti potenze di calcolo e in grado di ottenere risultati ben più soddisfacenti rispetto al passato. Lo sviluppo lungo questo percorso ha portato alla nascita di algoritmi di intelligenza artificiale in grado di inglobare al loro interno i punti di forza di ciascun metodo, a titolo esplicativo si riporta di seguito una breve descrizione dell'algoritmo utilizzato da Enerbrain S.r.l., il quale racchiude al suo interno numerosi aspetti delle tecniche sopra citate.

Enerbrain S.r.l. utilizza una serie di dispositivi proprietari (eNode, eSense, eGateway…) in grado di comunicare da e verso il *cloud*, consentendo l'intera regolazione dei sistemi, dalla rilevazione dei dati in campo sino all'attuazione dei comandi; l'algoritmo *che risiede in cloud* si occupa dell'elaborazione degli input restituendo gli output al campo.

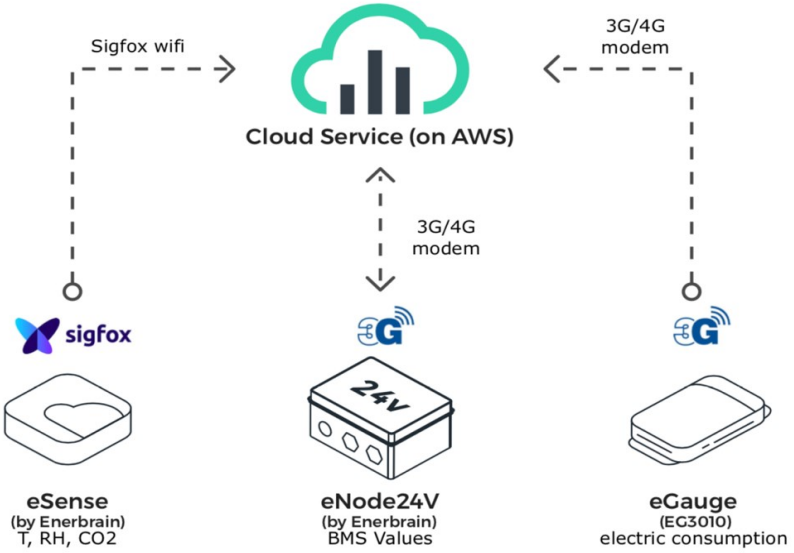


Figura 36: Schema dei componenti e dei relativi collegamenti utilizzati da Enerbrain.

Gli algoritmi cloud-based di Enerbrain sono di natura adattiva, predittiva e sfruttano le logiche di autoapprendimento. Gli *input* che riceve sono:

- S***etpoint*** desiderati, ad esempio la temperatura interna impostata di un locale;
- **Variabili esterne** come le previsioni meteo;
- **Variabili in *real-time*** a titolo di esempio: temperatura ambiente o temperatura mandata.

La componente adattiva garantisce il funzionamento ottimale al variare delle condizioni dell'edificio, a questa si aggiunge la componente predittiva, ottenuta tramite gli algoritmi di Machine Learning, che consente il corretto utilizzo dell'impianto gestendo, ad esempio, in maniera consona la preaccensione degli impianti sulla base delle previsioni metereologiche. La convivenza dei due aspetti permette la costante ricalibrazione del modello adattivo in modo da renderlo più performante e accurato di volta in volta. Infine, l'utilizzo dei *Reinforcement Learning Algorithms* permette la definizione della migliore strategia che possa garantire le condizioni termoigrometriche ottimali e al contempo ridurre al minimo i consumi.

Il controllo dinamico ottimizzato così realizzato garantisce le ottimali condizioni in ambiente realizzando un risparmio energetico pari almeno al 20% rispetto al consumo energetico da baseline

degli impianti HVAC, questo dato può variare a seconda della particolare applicazione, ma in ogni caso è un dato estremamente significativo se si valuta che in Europa circa il 40% del consumo finale di energia è attribuito agli edifici [31]. In quest'ottica sono incoraggianti le potenzialità di tali sistemi innovativi e l'impatto che possono avere sulla riduzione dei consumi energetici nel contrasto ai cambiamenti climatici.

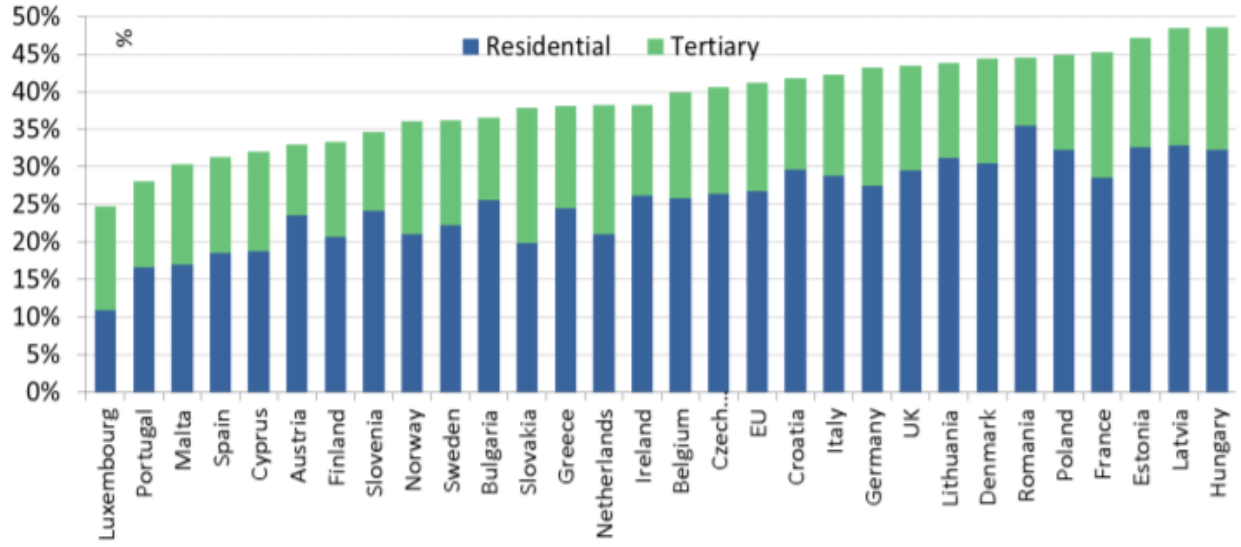


Figura 37: Consumo di energia (2012) per edifici residenziali e terziari, tratta da D. Bosseboeuf, "Energy Efficiency Trends and Policies in the Household and Tertiary Sectors An Analysis Based on the ODYSSEE and MURE Databases", 2015.

6. CASO STUDIO: LEONARDO S.p.A.

6.1. STORIA DEL GRUPPO

Il 18 Marzo 1948 venne fondata a Roma, in quella che fu l'Italia del secondo dopoguerra, la holding di Stato "Finmeccanica", creata e supportata dall'IRI (Istituto per la Ricostruzione Industriale) e che ebbe come scopo iniziale quello di fornire un futuro nell'ambito della ricostruzione post-bellica al mal ridotto settore industriale del Paese, nonché a tutte quelle imprese che subirono considerevoli danni e trasformazioni negli anni precedenti.
In Finmeccanica furono inglobate numerose aziende meccaniche dell'epoca e negli anni Sessanta iniziò un rapido processo di industrializzazione del Paese. Cavalcando l'ondata del boom economico il Gruppo incominciò a concentrarsi su settori ad alto contenuto tecnologico, termo-elettro-meccanico ed aerospaziale, settori su cui decise di dedicarsi in seguito alla crisi energetica dei primi anni Settanta, rinunciando ad alcune attività marginali.

A seguito della Guerra Fredda e conseguentemente alla riduzione del budget economico nei settori di difesa e spazio, Finmeccanica intraprende una politica di accordi nazionali ed internazionali che la porteranno ad avere salde alleanze per far fronte alla crescente concorrenza, focalizzandosi alle porte del secondo millennio sempre più sui settori Aerospazio, Difesa e Sicurezza e su un piano di internazionalizzazione ormai ben avviato [32].

La crisi finanziaria del 2009 costringe Finmeccanica ad una revisione delle proprie attività ed all'introduzione di nuove iniziative che permettano di fronteggiare la crisi in atto. Questo processo di cambiamento porta Finmeccanica a strutturarsi come una *One Company* e, dal 1° Gennaio 2017, a cambiare il proprio nome in Leonardo, omaggiando il grande Leonardo da Vinci, simbolo in tutto il mondo di innovazione e creatività [33].

Oggi Leonardo S.p.A. è leader nei settori su cui ha focalizzato il proprio core business, coprendo ogni tipo di scenario di intervento: navale, spaziale, aereo, terrestre e cyberspaziale. Grazie ad una presenza globale che conta più di 49.000 dipendenti, realizzano tecnologie all'avanguardia in campo militare e civile [32].

6.2. LO STABILIMENTO DI GENOVA

L'edificio oggetto di questo elaborato di Tesi Magistrale è lo stabilimento di Leonardo sito a Genova.

Figura 38: Foto satellitare dell'edificio oggetto di questo elaborato. Foto effettuata grazie a Google Earth Pro.

Questo sito è sede della Divisione Cyber Security presso cui vengono sviluppati e prodotti sistemi di automazione e sistemi di comunicazione militare. [32] La destinazione d'uso di tale stabile è riconducibile ad uffici per via della tipologia di processi produttivi che vengono svolti al suo interno.

È considerato un edificio di importanza strategica per lo Stato Italiano, e pertanto soggetto a vincoli di segretezza riguardanti le lavorazioni che vengono svolte all'interno e le strutture interne, comprensive di disposizione dei locali e planimetrie. Per questo elaborato di Tesi sono stati presi i dati necessari allo svolgimento del lavoro, ma essendo parte di questi non divulgabili non è possibile riportare in questo scritto alcuni dei dati che possono agevolare la comprensione dello stato di fatto dell'edificio in oggetto.

Lo stabile oggetto di intervento da parte di Enerbrain è uno stabile costruito negli anni '40 e presenta una superficie in pianta di 2820 m^2, suddivisa in numero 6 piani. Tra questi, il lavoro di introduzione del sistema di monitoraggio e controllo BMS effettuato da Enerbrain avverrà solo nei piani 1°, 3° e 4°, ognuno dei quali presenta una propria Unità di Trattamento Aria per aria primaria,

descritta nel successivo Capitolo 6.4, ed un impianto idronico che garantisce le condizioni di comfort interno, descritto nel Capitolo 6.5.

6.2.1. *Dati climatici*

La città di Genova presenta i valori medi mensili di temperatura media giornaliera dell'aria esterna riportati in Figura 39 alla riga N° 35. Tali dati sono stati estratti alla norma UNI 10349 [34], standard nazionale di riferimento per quanto concerne la lettura dei dati climatici per il riscaldamento ed il raffrescamento degli edifici.

Prospetto VI — Valori medi mensili della temperatura media giornaliera dell'aria esterna

N°	Sigla Provincia	Località	Altitudine m	GEN. °C	FEB. °C	MAR. °C	APR. °C	MAG. °C	GIU. °C	LUG. °C	AGO. °C	SET. °C	OTT. °C	NOV. °C	DIC. °C
1	AG	Agrigento	230	10,4	10,8	12,7	15,6	19,4	24,1	26,9	26,5	24,0	19,9	15,9	12,2
2	AL	Alessandria	95	0,0	2,8	8,1	13,1	17,3	22,0	24,7	23,6	19,9	13,1	6,9	1,9
3	AN	Ancona	16	6,3	7,1	9,9	13,4	17,0	21,8	24,4	24,1	21,3	16,5	12,1	7,8
4	AO	Aosta	583	−0,3	2,6	6,7	11,0	14,7	18,7	20,5	19,4	15,9	10,3	4,8	0,8
5	AP	Ascoli Piceno	154	5,5	6,6	9,5	13,3	17,2	21,7	24,4	24,3	21,1	15,8	10,9	7,0
6	AQ	L'Aquila	714	2,0	3,6	7,1	11,4	15,0	19,1	22,0	21,8	18,6	13,1	8,2	3,8
7	AR	Arezzo	246	5,1	5,9	9,2	12,6	16,4	20,9	24,0	23,4	20,3	15,0	10,2	6,1
8	AT	Asti	123	−0,4	2,7	7,9	13,0	17,0	21,6	24,2	22,9	18,9	12,7	6,1	1,3
9	AV	Avellino	348	5,5	6,5	8,8	12,4	16,0	20,3	23,1	22,6	19,6	14,8	10,4	6,8
10	BA	Bari	5	8,6	9,2	11,1	14,2	18,0	22,3	24,7	24,5	22,0	17,9	14,0	10,2
11	BG	Bergamo	249	3,1	4,9	8,9	13,3	17,0	21,3	23,7	23,2	19,9	14,2	8,6	4,5
12	BL	Belluno	383	0,1	2,3	6,8	11,2	14,9	18,9	21,2	20,8	17,7	12,4	6,5	1,7
13	BN	Benevento	135	6,8	7,7	10,3	13,7	17,5	22,1	24,8	24,3	21,4	16,5	12,1	8,0
14	BO	Bologna	54	2,1	4,6	9,4	14,2	18,2	22,9	25,4	24,9	21,2	14,9	8,7	4,0
15	BR	Brindisi	15	9,3	9,6	11,4	14,2	18,0	22,0	24,5	24,5	22,1	18,3	14,4	10,9
16	BS	Brescia	149	1,5	4,2	9,3	13,5	17,7	22,0	24,4	23,7	19,9	14,0	7,8	3,5
17	BZ	Bolzano	262	1,2	4,2	9,0	13,4	16,9	21,0	22,7	22,0	18,8	12,9	6,7	2,2
18	CA	Cagliari	4	10,3	10,8	12,8	15,1	18,4	22,9	25,5	25,5	23,3	19,4	15,5	11,7
19	CB	Campobasso	701	3,7	4,8	7,3	11,1	14,8	19,6	22,5	22,2	18,9	13,5	9,0	5,0
20	CE	Caserta	68	8,7	9,4	12,0	15,3	19,1	23,5	26,2	26,1	23,0	18,2	13,9	10,3
21	CH	Chieti	330	5,8	6,8	9,6	13,5	17,2	22,0	24,7	24,3	21,2	15,9	11,3	7,2
22	CL	Caltanissetta	568	7,2	7,8	9,9	13,1	17,3	22,5	25,7	25,2	22,1	17,3	12,8	8,9
23	CN	Cuneo	534	1,1	2,9	6,9	11,3	14,8	19,4	21,9	21,0	17,7	11,7	6,2	2,5
24	CO	Como	201	2,9	5,0	8,8	12,7	16,7	21,1	23,6	23,1	19,6	13,7	8,4	4,4
25	CR	Cremona	45	0,7	3,3	8,4	13,3	17,4	21,9	24,3	23,4	19,7	13,4	7,2	2,5
26	CS	Cosenza	238	8,1	8,8	11,3	14,4	18,1	23,1	26,0	25,8	22,7	17,8	13,4	9,4
27	CT	Catania	7	10,7	11,2	12,9	15,5	19,1	23,5	26,5	26,5	24,1	19,9	15,9	12,3
28	CZ	Catanzaro	320	8,3	8,7	10,4	13,4	17,0	21,7	24,4	24,8	22,3	17,9	13,7	10,1
29	EN	Enna	931	4,5	5,1	7,1	10,7	14,9	20,6	23,9	23,2	19,9	14,5	9,8	6,4
30	FE	Ferrara	9	1,4	3,3	7,8	12,8	17,3	21,6	23,9	23,5	20,1	14,0	8,2	3,2
31	FG	Foggia	76	6,4	7,3	10,0	13,8	17,9	23,2	26,0	25,5	22,1	16,9	12,2	7,9
32	FI	Firenze	40	5,3	6,5	9,9	13,8	17,8	22,2	25,0	24,3	20,9	15,3	10,2	6,3
33	FO	Forlì	34	3,0	4,6	9,0	13,7	17,8	22,6	25,3	24,8	21,1	15,1	9,3	4,4
34	FR	Frosinone	291	5,8	6,2	8,0	11,0	15,2	18,5	21,5	20,9	18,8	13,4	9,2	5,0
35	GE	Genova	19	7,9	8,9	11,6	14,7	17,8	21,9	24,5	24,6	22,3	17,1	12,9	9,3
36	GO	Gorizia	84	4,7	5,6	8,2	11,9	16,7	19,9	22,0	22,2	18,6	13,2	9,2	4,7
37	GR	Grosseto	10	6,8	8,1	10,3	13,2	17,1	21,2	24,1	23,9	21,3	16,4	11,7	8,1

(segue prospetto)

Figura 39: Prospetto VI della norma nazionale UNI 10349: valori medi mensili di temperatura media giornaliera dell'aria esterna.

Per capire quali condizioni climatiche medie sono presenti ed insistono su un edificio si fa riferimento alla **zona climatica**. In Italia esistono 6 zone climatiche, che vanno dalla zona A, la più calda, alla zona F, la più fredda, definite attraverso il D.P.R. 26 agosto 1993 n. 412 [35]. Ogni zona climatica contribuisce a caratterizzare e definire le condizioni di progetto di un edificio, oppure, più in generale, permette di avere un dato di input con cui accedere alle norme che regolamentano il

calcolo del fabbisogno energetico di un edificio, quali norme UNI o ISO, progetti Europei prEN o norme tecniche ASHRAE.

Al fine di individuare la zona climatica di riferimento di un edificio si fa fede al concetto di **Gradi Giorno.** Un Grado Giorno è definito nell'Art. 1, comma z del suddetto Decreto del Presidente della Repubblica come: *"la somma, estesa a tutti i giorni di un periodo annuale convenzionale di riscaldamento, delle sole differenze positive giornaliere tra la temperatura dell'ambiente, convenzionalmente fissata a 20°C, e la temperatura media esterna giornaliera; l'unità di misura utilizzata è il grado giorno (GG)."*.

Il Grado Giorno è quindi definito matematicamente attraverso la seguente equazione:

$$GG = \sum_{ext\,=1}^{n} (T_0 - T_{ext}) \tag{5}$$

Con:

- n = durata in giorni del periodo convenzionale di riscaldamento dell'anno;
- T_0 = Temperatura interna di riferimento, convenzionalmente fissata a 20°C, così come definito nel Decreto;
- T_{ext} = Temperatura esterna media calcolata con periodo di riferimento un giorno, da prendere solo in caso in cui questa sia minore della T_0.

Definiti dunque i Gradi Giorno, il D.P.R. 26 agosto 1993 n. 412 passa a definire nell'Art. 2 come si identificano le zone climatiche in Italia: indipendentemente dalla posizione geografica in cui si trova il luogo oggetto dell'analisi, la zona termica è individuata dai soli Gradi Giorno e determina non solo i dati di progetto cui fare riferimento, come già accennato in precedenza, ma anche i periodi di accensione degli impianti termici nella stagione invernale. Questi dati sono sinteticamente riportati in Tabella 1.

Tabella 1: Zone termiche e Gradi Giorno in Italia, con le rispettive indicazioni riguardanti il periodo di accensione degli impianti di riscaldamento.

GG	***Zona climatica***	***Data inizio periodo riscaldamento***	***Data fine periodo riscaldamento***	***Ore giornaliere di accensione riscaldamento***
0 – 600	A	01/12	15/03	6
601 – 900	B	01/12	31/03	8
901 – 1400	C	15/11	31/03	10
1401 – 2100	D	01/11	15/04	12
2101 – 3000	E	15/10	15/04	14
> 3000	F	Nessun limite		Nessun limite

Dati di progetto e dati climatici sono riassunti in norme come quella di cui è raffigurato un estratto in Figura 40, che riprende l'allegato nazionale A del progetto di norma Europeo prEN 12831 [36], essenziale al fine di ottenere valori e parametri nazionali utili per il calcolo del carico termico di progetto. Da questa particolare norma tecnica si ottiene dunque che Genova è caratterizzata da 1435 Gradi Giorno e pertanto rientra nella fascia climatica D. La temperatura di progetto da utilizzare nel calcolo del Design Heat Load è anch'essa fornita da norme e allegati tecnici, per Genova è pari a 0°C, così come indicato dal già citato allegato nazionale A del prEN 12831.

Prov.	Comune	Alt.	z	GG	θ_e (°C)	$\theta_{m,e}$ (°C)
CN	Cuneo	534	F	3012	- 10	11,4
CO	Como	201	E	2228	- 5	13,3
CR	Cremona	45	E	2389	- 5	13,0
CS	Cosenza	238	C	1317	- 3	16,6
CT	Catania	7	B	833	5	18,2
CZ	Catanzaro	320	C	1328	- 2	16,1
EN	Enna	931	E	2248	- 3	13,4
FE	Ferrara	9	E	2326	- 5	13,1
FG	Foggia	76	D	1530	0	14,1
FI	Firenze	40	D	1821	0	14,8
FO	Forlì	34	D	2087	- 5	14,2
FR	Frosinone	291	E	2196	0	11,8
GE	Genova	19	D	1435	0	16,1
GO	Gorizia	84	E	2333	- 5	13,1
GR	Grosseto	10	D	1550	0	15,2
IM	Imperia	10	C	1201	0	14,7
IS	Isernia	423	D	1866	- 2	13,7
KR	Crotone	8	B	899	0	16,5
LC	Lecco	214	E	2383	- 5	13,4
LO	Lodi	87	E	2592	- 5	13,1
LE	Lecce	49	C	1153	0	17,1
LI	Livorno	3	D	1408	0	15,7
LT	Latina	21	C	1220	2	15,7
LU	Lucca	19	D	1715	0	14,8
MC	Macerata	315	D	2005	- 2	13,6
ME	Messina	3	B	707	5	18,5
MI	Milano	122	E	2404	- 5	13,7
MN	Mantova	19	E	2388	- 5	13,9
MO	Modena	34	E	2258	- 5	13,3
MS	Massa Carrara	65	D	1525	0	14,9
MT	Matera	200	D	1418	- 2	16,6
NA	Napoli	17	C	1034	2	18,2
NO	Novara	159	E	2463	- 5	12,8
NU	Nuoro	546	D	1602	0	14,6
OR	Oristano	9	C	1059	3	16,6
PA	Palermo	14	B	751	5	18,0
PC	Piacenza	61	E	2715	- 5	12,1
PD	Padova	12	E	2383	- 5	12,8

Figura 40: Estratto della Tabella N.A.1. – "Temperatura esterna di progetto e temperatura esterna media annuale" dell'allegato nazionale A del prEN 12831, riportante, tra gli altri dati, i Gradi Giorno e la zona climatica della città di riferimento.

6.3. IMPIANTO DI CLIMATIZZAZIONE ESISTENTE

Il complesso industriale presenta un impianto misto aria-acqua articolato, come detto, su 6 piani; l'edificio è costituito principalmente da uffici ma fanno eccezione alcune zone che presentano peculiari accorgimenti, ad esempio camere bianche o laboratori specializzati. L'impianto misto installato è adatto alle caratteristiche dell'edificio e alla sua destinazione d'uso, seppur presenti delle evidenti inefficienze, dovute, per lo più, ad una cattiva gestione dello stesso.

Ciascun piano possiede un'unità di trattamento aria (UTA), una serie di Fan Coil e radiatori. L'UTA assolve la richiesta di aria primaria assicurando i ricambi d'aria necessari a garantire la salubrità dei luoghi di lavoro. Una fitta rete di canali consente l'immissione e l'estrazione dell'aria, quest'ultime avvengono attraverso opportuni terminali, rispettivamente diffusori e griglie di ripresa. Il restante fabbisogno energetico è affidato ad un sistema di Fan Coil, in grado di veicolare entrambi i vettori energetici, sia caldo che freddo, con cadenza stagionale: l'impianto in analisi è dunque un impianto a due tubi. L'unica eccezione è costituita dai bagni, ove sono presenti, come di consueto nell'impiantistica, dei radiatori. Nei locali sono presenti dei termostati ambiente domotici, con impostazione remota del set point e regolazione della temperatura locale (± 3°C) e/o spegnimento dei ventilconvettori. L'impianto idronico alimenta i Fan Coil, i radiatori e le batterie delle UTA; la suddetta rete di distribuzione presenta una configurazione a collettori che verrà descritta nei capitoli successivi.

Figura 41: Esempio di stazione di pompaggio.

I due fluidi termovettori, rispettivamente aria per l'UTA ed acqua per i Fan Coil, sono ottenuti attraverso un sistema di generazione del caldo e del freddo: sebbene ogni piano abbia la sua UTA, il sistema è centralizzato. La Centrale Termica è costituita da due generatori di calore Hoval Ultragas 1150D, ciascuno con una potenzialità termica massima pari a 1150 kW. Il vettore energetico del freddo è ottenuto con un gruppo frigo Carrier 30XA0802-A avente una potenza frigorifera nominale pari a 758,9 kW.

6.4. IMPIANTO AERAULICO

L'impianto di distribuzione aeraulica di aria primaria vede il suo fulcro nell'UTA, presente in ogni piano in un'area tecnica; quest'ultima è adibita ad ospitare il processo di trattamento di aria di immissione negli ambienti ed alcune pompe di circolazione dell'acqua.

Al quarto piano è installata un'unità Loran CTL100, di cui è disponibile la scheda tecnica nella sezione ALLEGATI, in grado di processare 10.000 m^3/h di aria, il cui schema funzionale è visibile in Figura 42.

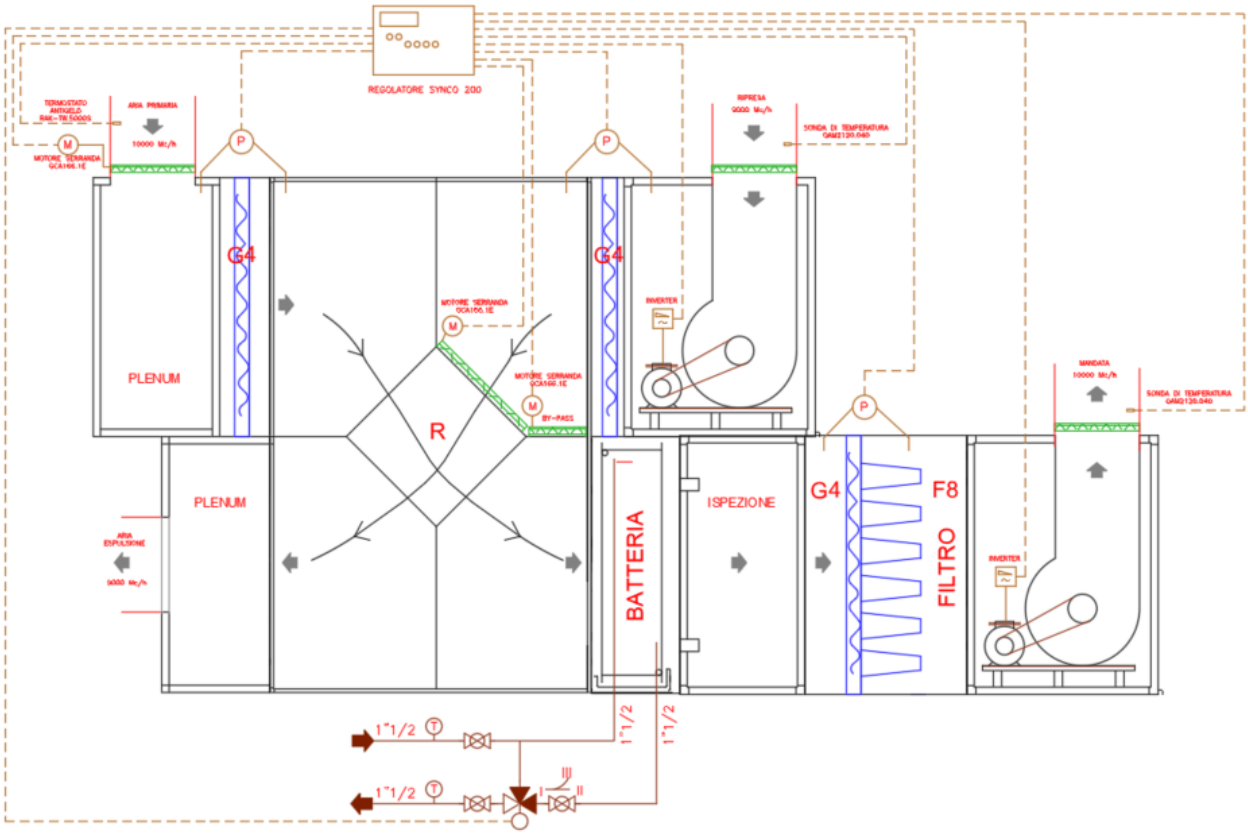


Figura 42: Schema funzionale UTA del quarto piano, redatto dall'ufficio tecnico Alfa Engineering S.r.l.

È composta da due ventilatori a pale rovesce, uno di mandata e l'altro di ripresa, che sono entrambi messi sotto inverter della Siemens SED2, di cui si mostra un esempio in Figura 43.

Figura 43: Inverter Siemens Sed2 - quarto piano.

A valle del ventilatore di ripresa e in corrispondenza del plenum della presa aria esterna sono presenti i filtri piani a setti sintetici pieghettati, rappresentati in blu nello schema, grazie ai quali viene garantita una corretta pulizia dell'aria di immissione, la quale verrebbe, eventualmente, ricircolata. Un ulteriore filtro piano ed un filtro a tasche rigide ad alta efficienza F7 sono posizionati a monte del ventilatore di mandata, portando un'aggiuntiva pulizia all'aria trattata prima che questa venga immessa in ambiente.

A cavallo di ogni filtro sono posizionati dei pressostati differenziali che comunicano in modo digitale con il controllore dell'impianto. Per questo motivo sfruttano una logica "a soglia", fornendo al PLC l'input solo nel caso in cui il delta di pressione registrato sia superiore ad un certo valore. Difatti, una differenza di pressione elevata a cavallo del filtro è sintomo dell'intasamento del filtro stesso, e pertanto risulta essere un buon parametro per capire quando intervenire ed effettuarne la pulizia.

L'UTA presenta un recuperatore di calore a di aria a flussi incrociati, a cui l'aria può accedere o meno attraverso delle serrande motorizzate con motore Siemens GCA 126.1E, riportato in Figura 44.

Figura 44: Servocomando delle serrande Siemens GCA 126.1E.

La serranda di bypass è invece gestita da un servocomando similare, ma modello Siemens GCA 166.1E.

Questi servocomandi operano a 24V e controllano per mezzo di due posizioni disponibili: aperta o chiusa. Per questa ragione ricevono dal controllore un input di tipo digitale.

Questa tipologia di motore regola anche la serranda di bypass, che permette il ricircolo totale dell'aria di ripresa dagli ambienti.

Una volta passata per il recuperatore di calore a flussi incrociati, l'aria incontra una singola batteria di scambio termico prima di essere immessa in ambiente dal ventilatore di mandata. La batteria viene alimentata dall'impianto idronico e grazie alla presenza di un selettore estate-inverno e ad una valvola caldo-freddo essa è in grado di far circolare acqua calda nel periodo invernale ed acqua fredda in quello estivo.

A completamento della sensoristica equipaggiata sull'Unità di Trattamento Aria sono presenti sonde di temperatura sui canali immissione e ripresa dell'aria ed un termostato antigelo sul canale di presa d'aria esterna. Mentre le sonde comunicano con il controllore attraverso segnali analogici, il termostato antigelo fornisce un segnale digitale e pertanto sfrutta il medesimo meccanismo "a soglia" già descritto per i pressostati differenziali: esso invia un avviso di allarme qualora la temperatura registrata risulti essere inferiore ad un certo valore, in modo tale che la centralina di controllo possa effettuare modifiche cautelative alla gestione dell'impianto.

Al primo e al terzo piano sono presenti due UTA, anch'esse modello Loran CTL100, una per ogni livello, che similarmente a quella descritta in precedenza forniscono aria primaria sul piano di riferimento.

La centrale di trattamento aria anche in questo caso processa fino a 10.000m^3 di aria primaria, presenta anch'essa due ventilatori sotto inverter, quest'ultimo della Siemens Sinamics e visibile in Figura 45.

Figura 45: Inverter Sinamics - piano terzo.

Le serrande sono le medesime utilizzate nell'UTA del quarto piano, motorizzate per mezzo dello stesso servocomando Siemens modello GCA 126.1E descritto in precedenza.

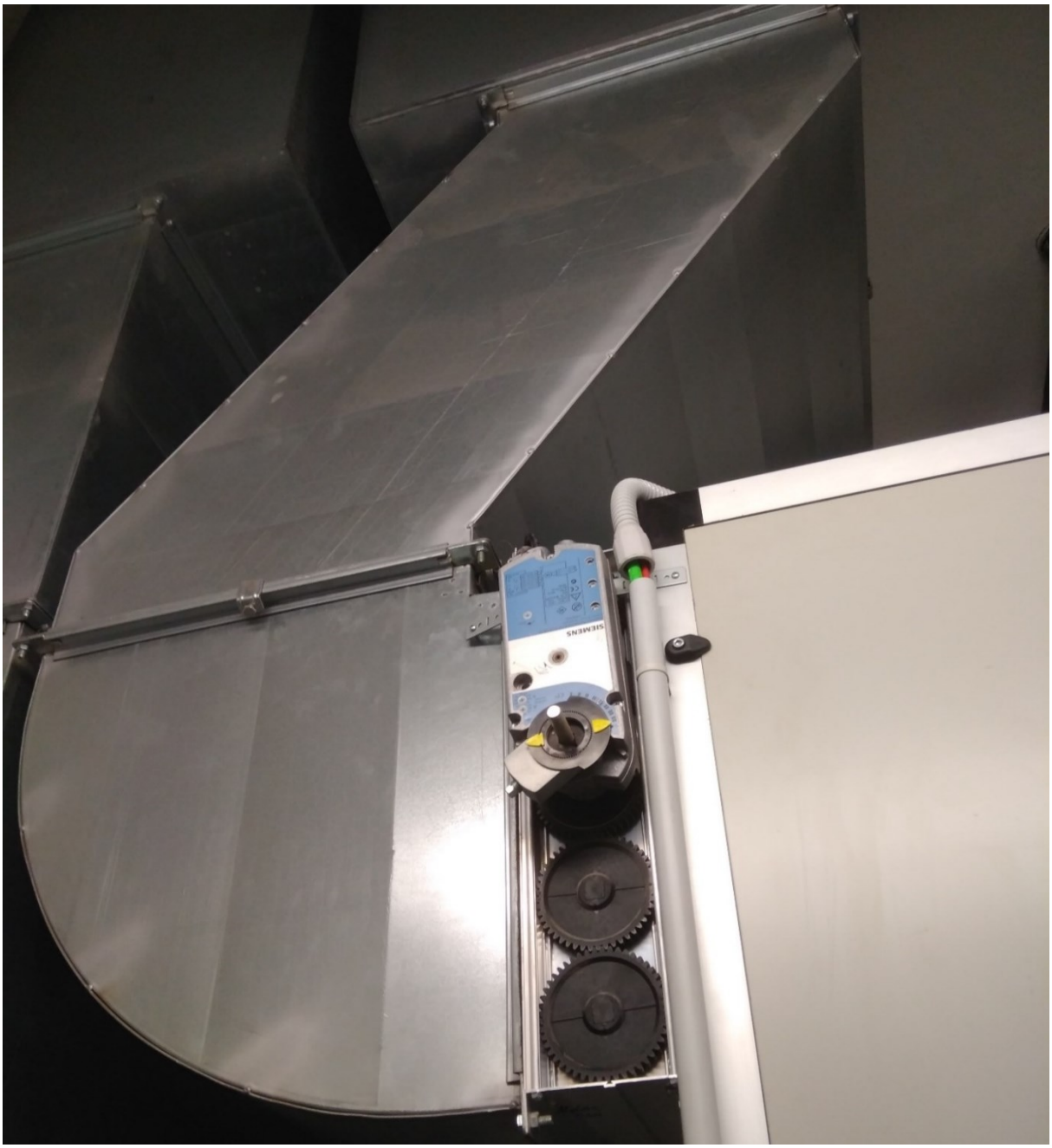


Figura 46: Serranda GCA 126.1E sulla presa aria esterna.

La distribuzione aeraulica avviene al piano, motivo per cui ogni piano ha la sua centrale tecnica con Unità di Trattamento Aria dedicata. Ogni impianto di ciascun piano, similarmente a quello degli altri piani, viene diviso in due zone principali: la *Zona Est* e la *Zona Ovest*: la mandata si separa in due canali poco dopo essere uscita dall'UTA, mentre la ripresa si ricongiunge in un solo canale appena prima di immettersi nell'UTA.

Una porzione dello schema dello stato di fatto della distribuzione aeraulica è visibile nella Figura 47 presente di seguito.

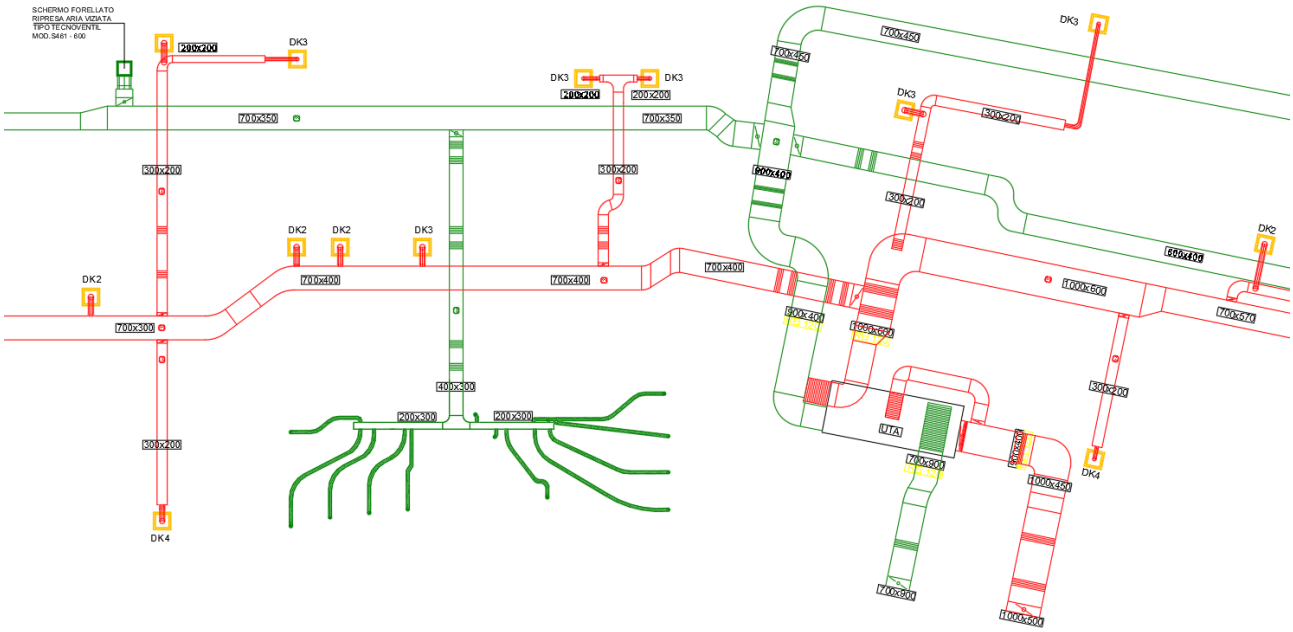


Figura 47: Porzione dello schema dell'impianto aeraulico oggetto d'esame.

Con la colorazione verde vengono raffigurati i canali e i terminali di ripresa, con la colorazione rossa i canali ed i terminali di mandata. Dall'Unità si diramano anche i due canali di espulsione e presa aria esterna, anch'essi rispettivamente in verde e in rosso.

I terminali di ripresa dell'aria viziata sono due:

- Schermi forellati prodotti da Tecnoventil, modello S461-600, di cui un esempio è visibile in Figura 48;
- Valvole di ventilazione Φ160 prodotte da Tecnoventil modello V/A – B160, di cui si riporta un esempio in Figura 49.

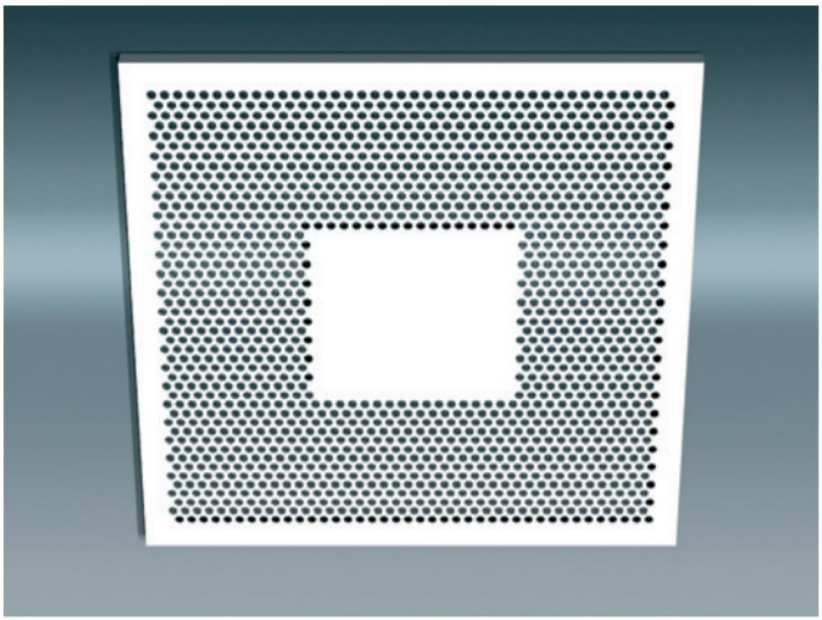


Figura 48: Schermo forellato Tecnoventil S461-600 per ripresa aria viziata.

Figura 49: Valvola di ventilazione Tecnoventil V/A-B160 per ripresa aria viziata.

L'aria di mandata viene invece immessa attraverso terminali dello stesso modello, ma di tre distinte dimensioni:

- Diffusore quadrato a schermo piatto regolabile prodotto da Tecnoventil, modello DK 250x250;
- Diffusore quadrato a schermo piatto regolabile prodotto da Tecnoventil, modello DK 350x350;
- Diffusore quadrato a schermo piatto regolabile prodotto da Tecnoventil, modello DK 400x400.

Un esempio di questo tipo di diffusore è presente in Figura 50 .

Figura 50: Diffusore quadrato a schermo regolabile Tecnoventil DK per immissione aria di mandata.

L'interesse del presente elaborato ricade nel controllo del comfort climatico unitamente a quello dei consumi nel suo complesso. In tale ottica, l'Unità di Trattamento d'Aria è una delle principali protagoniste e richiede interventi di controllo su più fronti simultaneamente per raggiungere in modo efficace quanto desiderato. A tal fine, le componenti dell'UTA di cui è necessaria un'approfondita conoscenza sulle modalità di lavoro, di comunicazione e di controllo sono certamente gli inverter, le serrande, i termostati e le sonde ed i pressostati differenziali.
Di questi componenti, quelli su cui è necessario agire per effettuare il controllo sono principalmente i primi due. Data la loro importanza, sono disponibili nel capitolo ALLEGATI le rispettive schede tecniche. Gli altri componenti sono utili al monitoraggio dei dati di campo, quest'ultimi fondamentali per poter conoscere la condizione fisica reale dei fluidi di processo e dunque tarare le operazioni di controllo.

Una volta descritto l'impianto aeraulico è necessario parlare di quello idronico, che coinvolge sia la batteria dell'UTA, sia le componenti che forniscono la rimanente quota energetica di riscaldamento o raffrescamento negli ambienti tramite appositi terminali ad acqua.

6.5. IMPIANTO IDRONICO

Il sistema di distribuzione idronico è costituito da un impianto a collettori e consente la distribuzione del fluido termovettore acqua dai locali tecnici adibiti alla produzione di energia termica o frigorifera a ciascuna utenza dell'edificio. Queste sono costituite sia dai terminali presenti in ciascun locale, come Fan Coil e radiatori, sia dalle batterie delle UTA descritte nel precedente capitolo.

L'impianto è a due tubi e presenta un collettore principale collegato alla Centrale Termica (CT) o al Gruppo Frigo (GF) a seconda della stagione, da cui partono le colonne montanti destinate a servire ognuna un piano.

Il collettore del circuito primario ha un diametro nominale di 300 mm, è collegato alla mandata e al ritorno della CT e del GF attraverso tubi di diametro nominale pari a 200 mm, ciascuno intercettabile attraverso una valvola.

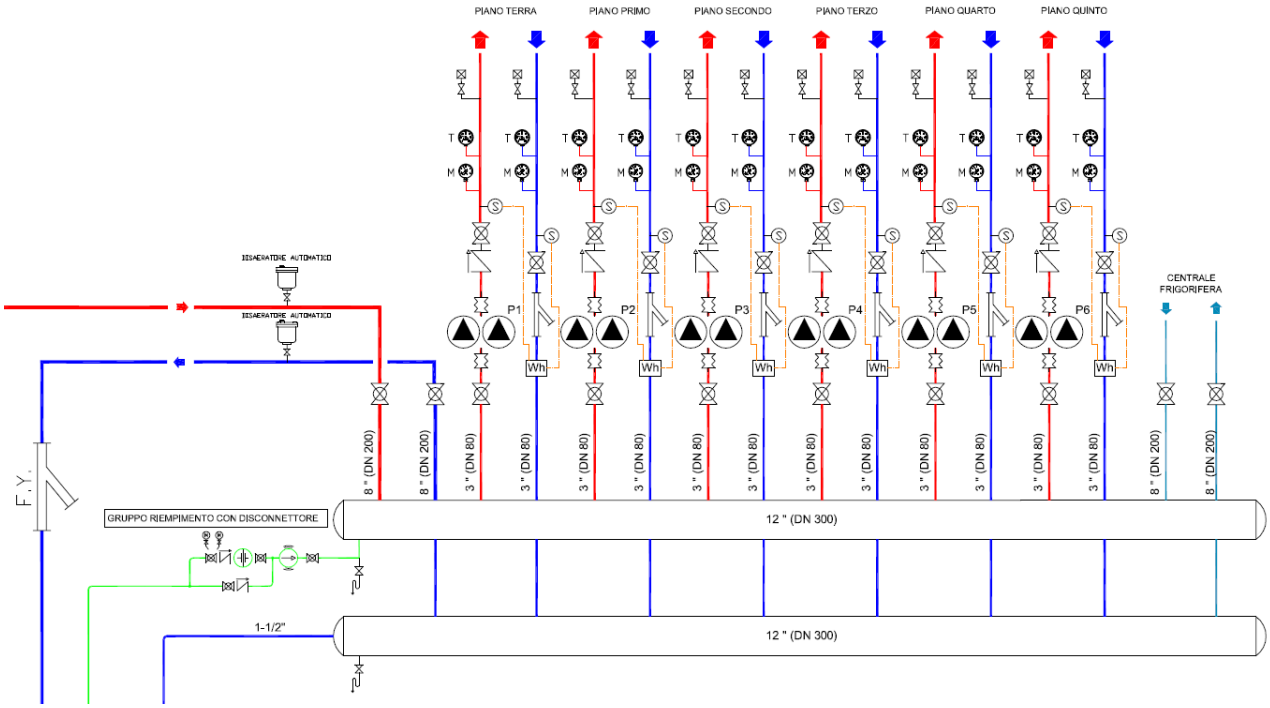


Figura 51: Schema funzionale collettori di mandata e ritorno del circuito primario.

Un gruppo di riempimento reintegra eventuali perdite del circuito e ne consente la messa in servizio in fase di collaudo; allo stesso tempo lo svuotamento dei collettori, ad esempio in caso di manutenzione, è garantito attraverso delle valvole di scarico dotate di uno scarico sifonato e convogliato. L'impianto idronico è a vaso chiuso, ragion per cui sono presenti dei vasi di espansione sia a supporto dei sistemi di generazione del caldo e del freddo che del circuito dei

collettori; per quest'ultimi sono previsti tre vasi di espansione, ognuno con una capacità di 500 lt, una pressione massima di 10 bar e un precarico minimo di 3 bar.
In aggiunta, la presenza dei disaeratori automatici permette di eliminare le bolle e microbolle d'aria presenti all'interno del circuito. L'utilizzo di un impianto a collettore ha garantito dei vantaggi rilevanti quali: la possibilità di creare impianti a zone termiche distinte, una facile messa in opera dell'impianto e migliori condizioni di funzionamento per i terminali in ambiente; in questo modo la regolazione è semplificata e aumenta la resa termica [37].
Dall'analisi della Figura 51 è possibile notare che ogni colonna montante nel locale pompe si contraddistingue per la presenza di:

- Circolatori gemellari;
- Due giunti antivibranti;
- Valvola di non ritorno;
- Due valvole di intercettazione;
- Manometro;
- Termometro;
- Dispositivi sfogo aria;
- Contatermie con relativi sensori di temperatura;
- Filtro a Y.

In particolare, i circolatori sono gli stessi per ogni colonna montante, il modello installato è il SALMSON DCX65-90N.

Figura 52: Circolatori gemellari Salmson DCX65-90N.

Il fluido termovettore attraverso le colonne raggiunge ciascun piano, dove grazie ad un separatore idraulico si garantisce l'indipendenza tra circuito primario e secondario. Il bilanciamento del circuito tra i vari piani è assicurato tramite valvole di bilanciamento. La mandata proveniente dal collettore primario in CT raggiunge un collettore di piano, questo a sua volta alimenta sia le linee Fan Coil che la batteria dell'UTA.

Prima di passare alla descrizione dell'impianto idronico dei singoli piani, bisogna riproporre la precisazione già fatta in precedenza per quel che riguarda l'impianto aeraulico: nel presente elaborato si porrà attenzione soltanto su due configurazioni principali, una prima relativa al 1° e 3° piano, di fatto identici, ed una seconda riferita al 4° piano.

Le tubazioni del collettore di mandata sono provviste di un gruppo di pompaggio, necessario per garantire la circolazione del fluido. I collettori di piano alimentano una serie di fan coil suddivisi in due zone principali: *Zona Est* e *Zona Ovest*, come già avviene per l'impianto aeraulico. Nella Figura 53, a titolo di esempio, è visibile la distribuzione nella *Zona Ovest*.

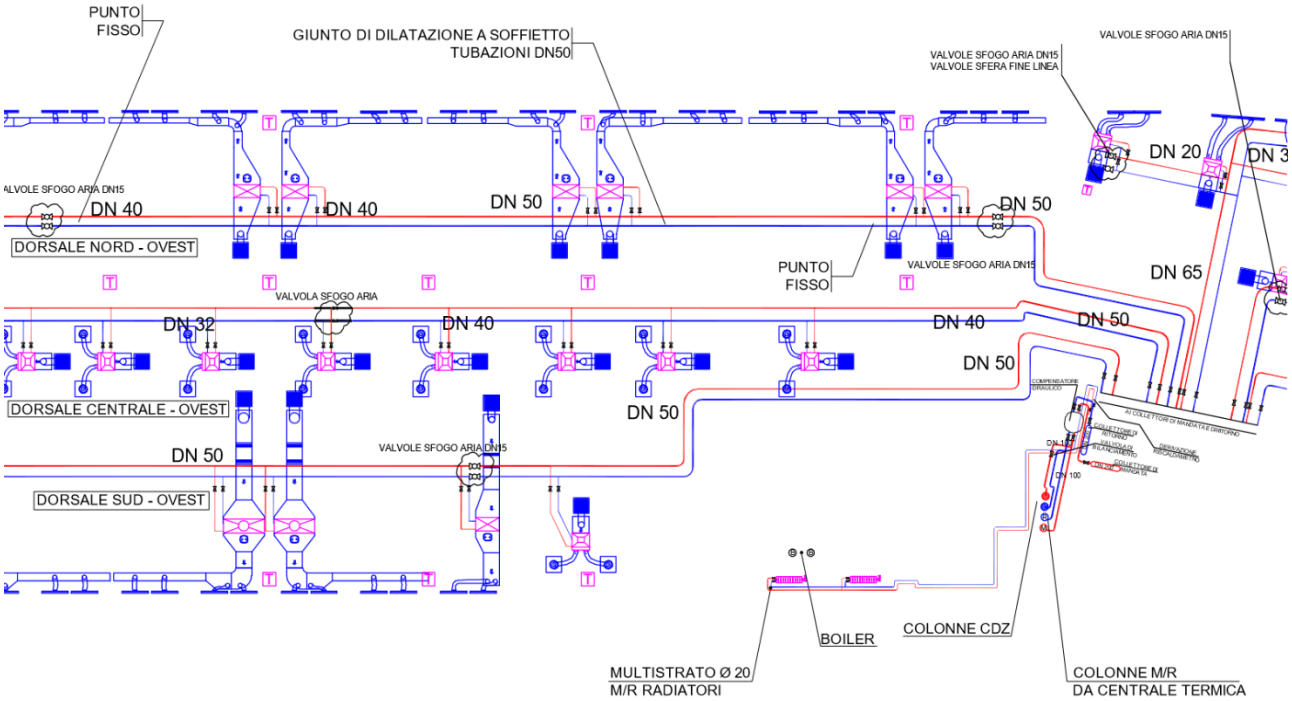


Figura 53: Impianto idronico 1° piano - Dorsali Ovest.

I Fan Coil installati fanno parte della linea Sabiana CRS, visibili in Figura 54, sono dei ventilconvettori da incasso in controsoffitto canalizzabili. Nell'edificio ne sono stati installati tre modelli differenti: il CRS 44, CRS 24 e CRS 14, che insieme contribuiscono a soddisfare al meglio il fabbisogno di ogni locale.

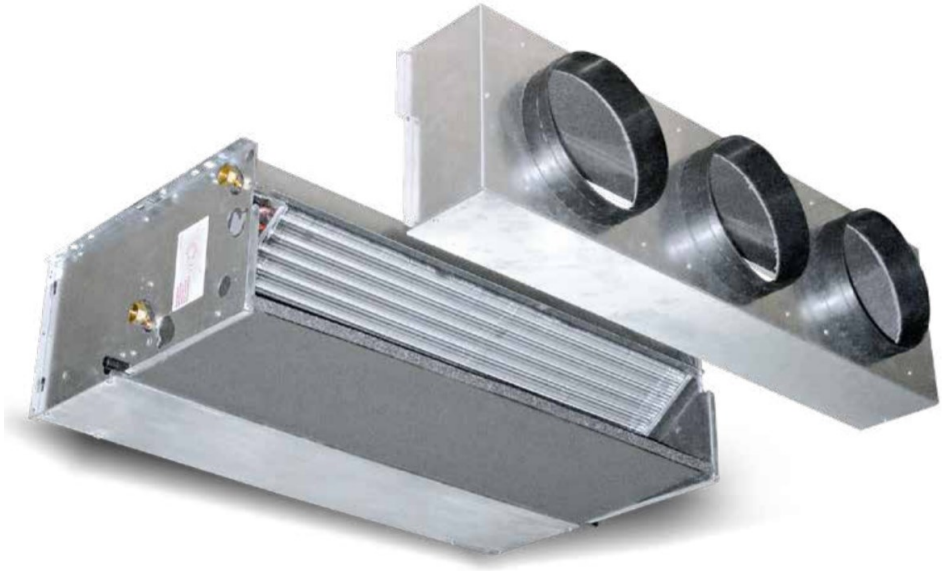


Figura 54: Fan Coil Sabiana CRS.

I circuiti dei Fan Coil sono affiancati da una derivazione dedicata ai radiatori, necessari per il riscaldamento dei bagni nella stagione invernale, oltre questi si rileva la presenza di boiler elettrici e a gas per la produzione di acqua calda sanitaria per tutto l'anno.

Le due configurazioni presentano due differenti layout per le sottostazioni di pompaggio, infatti quella del quarto piano presenta soltanto tre pompe come mostrato in Figura 55, mentre le restanti hanno uno schema concettualmente analogo ma articolato su più circuiti, ciò porta ad avere un numero più elevato di pompe (cinque), come del resto è visibile in Figura 56.

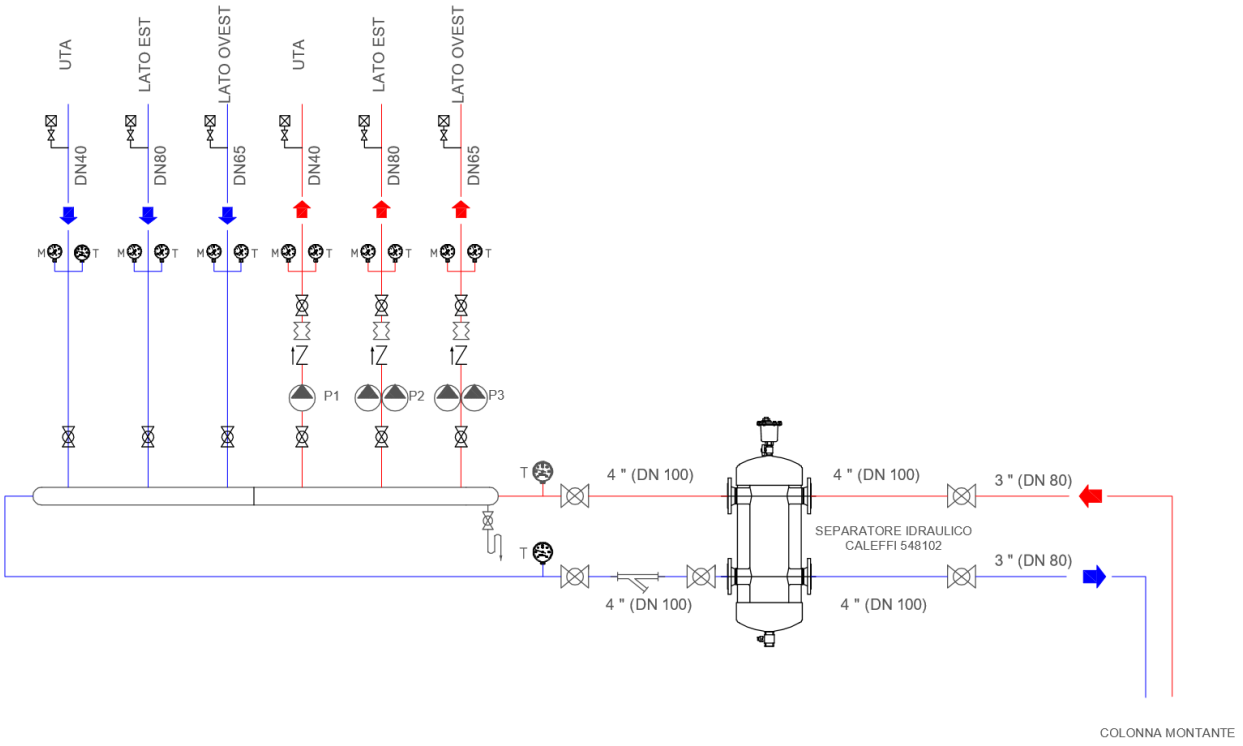


Figura 55: Schema sottostazione di pompaggio 4° piano.

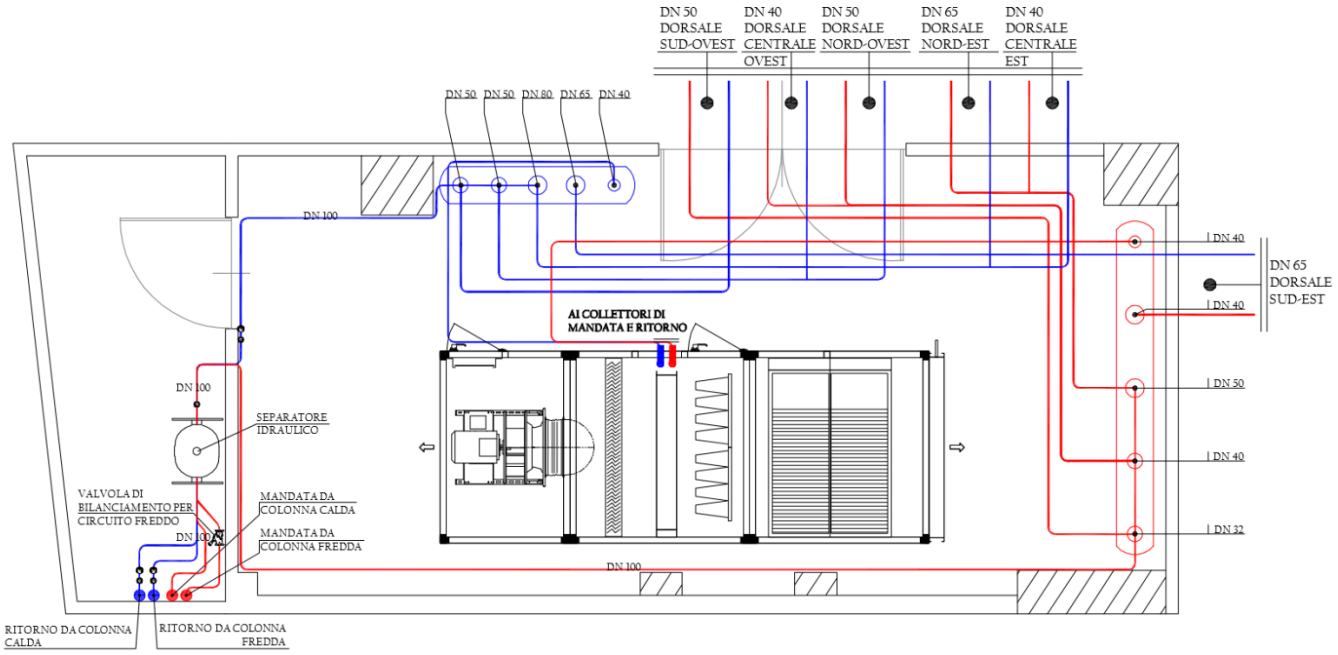


Figura 56: Sezione locale tecnico con UTA e collettori di mandata/ritorno 1° e 3° piano.

Nella successiva Tabella 2 sono indicate i modelli delle pompe Grundfos installate, nonché il circuito a cui fanno riferimento, riprendendo la stessa nomenclatura indicata nella Figura 55.

Tabella 2: Pompe installate 4° piano.

	Destinazione	***Modello***
P1	Batteria UTA	Grundfos UPS 40-120F
P2	FC Lato Est	Grundfos UPED 80-120F
P3	FC Lato Ovest	Grundfos MAGNA D 65-120F

In Tabella 3 sono riportate anche le pompe installate nell'altra possibile configurazione, cioè quella del primo e del terzo piano:

Tabella 3: Pompe installate al 1° e 3° piano.

	Destinazione	***Modello***
P1	Batteria UTA	Grundfos MAGNA1 40-120F
P2	FC Dorsale Sud-Est	Grundfos MAGNA3D 40-120F
P3	FC Dorsale Centrale Est/Nord-Est	Grundfos MAGNA3D 50-180F
P4	FC Dorsale Centrale Ovest/Nord-Ovest	Grundfos MAGNA3D 40-120F
P5	FC Dorsale Sud-Ovest	Grundfos MAGNA3D 32-120F

In questa parte dell'elaborato sono state descritte le peculiarità dell'impianto idronico, particolare attenzione meritano le sottostazioni di pompaggio poiché le pompe, essendo controllabili, sono un elemento cruciale per la regolazione dell'impianto. Pertanto, nella sezione ALLEGATI dell'elaborato sono riportate le schede tecniche di tali componenti.

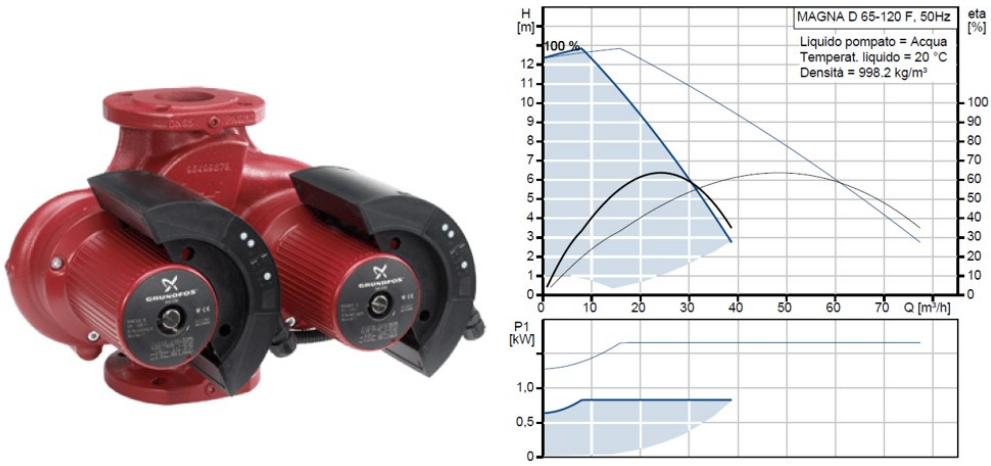


Figura 57: MAGNA D 65-120 F con relativa caratteristica interna e consumi.

L'ultimo componente da richiamare facente parte il sistema idronico è la valvola a tre vie motorizzata modello Siemens SKD62, di cui è visibile un esempio in Figura 58 e la cui scheda tecnica è disponibile nella sezione ALLEGATI.

Figura 58: Valvola motorizzata con comando 0-10V della Siemens, modello SDK62.

La valvola in questione è una valvola a 3 vie controllabile attraverso un input analogico 0-10V: questo permette di regolare l'energia termica in ingresso alla batteria di scambio termico dell'UTA agendo sulla portata e sulla temperatura dell'acqua che viene fatta circolare all'interno della stessa.

6.6. SISTEMA DI GENERAZIONE

La generazione dei fluidi di processo necessari all'impianto per la climatizzazione avviene in due componenti distinti: il Gruppo Frigo ha il compito di produrre il vettore energetico freddo, mentre in Centrale Termica si trovano gli organi di produzione di quello caldo.

L'impianto idronico presente nello stabile in esame, precedentemente descritto nell'omonimo capitolo, è come detto un impianto a due tubi, pertanto la generazione dei fluidi in questione avverrà in momenti differenti dell'anno. Come spiegato in precedenza, i vettori energetici vengono convogliati presso un unico collettore di mandata, illustrato nello schema funzionale presente in Figura 51, e la distribuzione degli stessi è garantita da un sistema di pompe di circolazione gemellari.

Nel seguito di questo capitolo verranno descritti in modo esaustivo gli impianti presenti nello stabile che svolgono il compito di generazione dei vettori energetici.

6.6.1. *Gruppo frigo*

Il vettore energetico freddo è prodotto tramite un gruppo frigo della Carrier avente una potenzialità frigorifera pari a 758,9 kW. Il modello è 30XA0802-A, di cui è presente la scheda tecnica nella sezione ALLEGATI. Si noti come nell'impianto sia presente un secondo gruppo frigo di RC Group, il quale non verrà trattato nell'elaborato in quanto dismesso. Il GF della Carrier è un sistema a compressione di vapore aria-acqua, il fluido refrigerante utilizzato è R-134; il chiller è dotato di compressore a vite che garantisce un'elevata affidabilità e livelli di rumore estremamente bassi. Il modello installato, inoltre, presenta delle caratteristiche opzionali quali: protezione antigelo (è garantita una resistenza dell'evaporatore fino a -20 °C), dispositivi di riduzione del rumore ed isolamento delle linee frigorifere.

Figura 59: Chiller Carrier mod. 30XA.

Nella Tabella 4 sono riportate le prestazioni dichiarate dal costruttore per una temperatura di mandata dell'acqua di 7,2 °C e una temperatura dell'aria esterna pari a 30 °C.

Tabella 4: Performance del chiller in accordo con la norma EN 14511.

	Valore	***Unità***
Potenza frigorifera	821	kW
Potenza compressore	213	kW
Alimentazione unità (compressore+fans+circuito)	234	kW
Portata evaporatore	39	l/s
Caduta di pressione evaporatore	36	kPa
Salto di temperatura evaporatore	5	K
ERR	3,51	-

Il GF ha la possibilità di essere equipaggiato con una scheda Modbus RS485 che consente un controllo remoto multiplo, monitoraggio e possibilità di diagnostica.

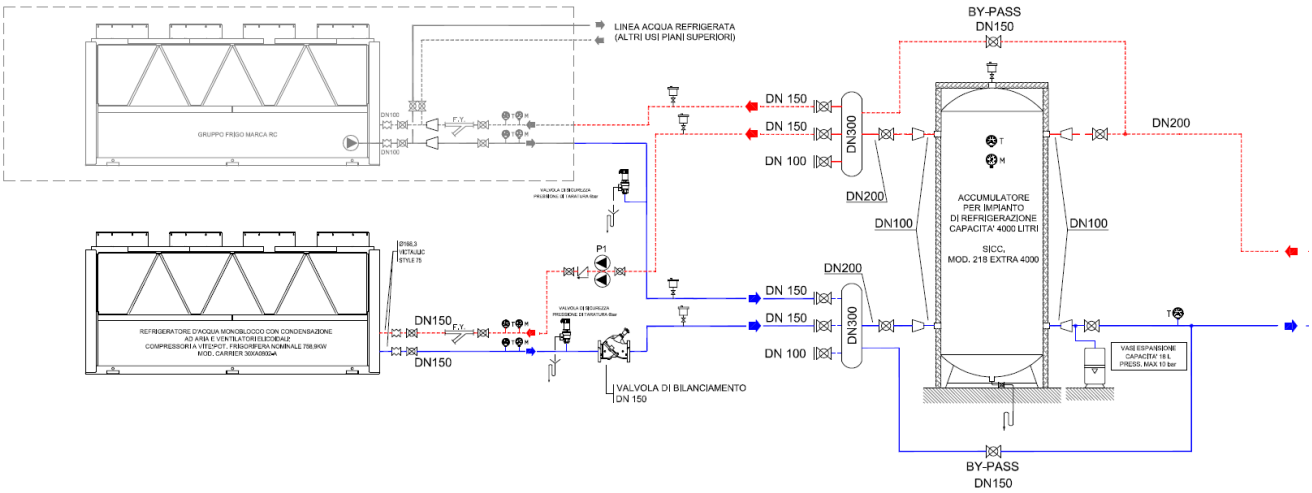


Figura 60: Schema funzionale centrale frigorifera.

È presente un accumulatore per impianto di refrigerazione con capacità di 4000 litri della SICC, modello 218 extra 4000, che consente di far fronte ai picchi di domanda. La presenza di una valvola di by-pass permette, una volta riempito l'accumulo, di mandare acqua refrigerata all'impianto direttamente dal GF. In Figura 60 sono visibili i due gruppi frigoriferi (come già accennato nella realtà l'unico in funzione è quello della Carrier) e sempre dalla stessa figura si nota la presenza degli usuali dispositivi degli impianti meccanici quali: valvolame, pressostati e termometri, filtri a Y, vaso di espansione, dispositivi di sicurezza e disaeratori.

La circolazione del fluido è assicurata grazie all'utilizzo di una serie di pompe.

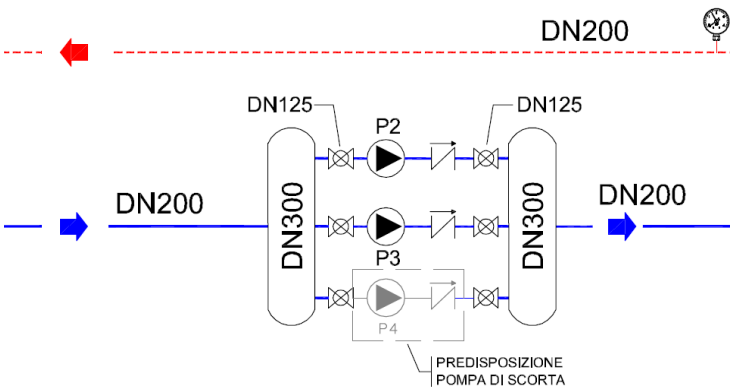


Figura 61: Pompe della centrale frigorifera.

6.6.2. *Centrale termica*

Il fluido caldo, usato prettamente nella stagione fredda, è prodotto tramite una coppia di caldaie gemellari a condensazione della Hoval, modello UltraGas 1150D, avente potenza termica nominale pari a 1150kW. I dati di targa della caldaia in questione sono visibili nella Tabella 5 presente di seguito:

Tabella 5: Dati di targa della caldaia a condensazione.

	Valore	***Unità***
Intervallo di potenza termica a 40/30°C	136 - 1150	kW
Intervallo di potenza termica a 80/60°C	122 - 1066	kW
Rendimento a carico parziale (30%)	108.1 - 97.4	%
Pressione di esercizio massima	6	bar
Contenuto di acqua in caldaia	1098	l

Nella Figura 62 sottostante è visibile lo schema funzionale di una delle caldaie gemellari. La linea arancione indica la linea del gas in arrivo dalla reta nazionale, che prima di essere convogliata nella caldaia incontra sia la valvola manuale di intercettazione del combustibile esterna che quella automatica comandata dal termostato di sicurezza.

Le due linee azzurre indicano il ritorno dell'acqua fredda dal collettore, mentre le mandate calde convergono in una sola da DN pari a 200 mm, che porta l'acqua fino al collettore di mandata.

Sono ovviamente visibili anche i noti componenti impiantistici sempre presenti a bordo delle caldaie e delle tubazioni in CT, quali vasi di espansione, valvole di sicurezza e di spurgo rapido, valvole di intercettazione e scarichi sifonati e convogliati.

Come di consueto nella progettazione termotecnica, sono previsti per questo particolare componente anche tutta una serie di dispositivi atti a garantire la sicurezza delle persone e degli organi stessi di generazione. Vengono quindi previsti anche pressostati di sicurezza e termostati di sicurezza sulla mandata calda, che messi in comunicazione con il sistema di controllo garantiscono lo shut down automatico nel caso in cui insorgano problemi.

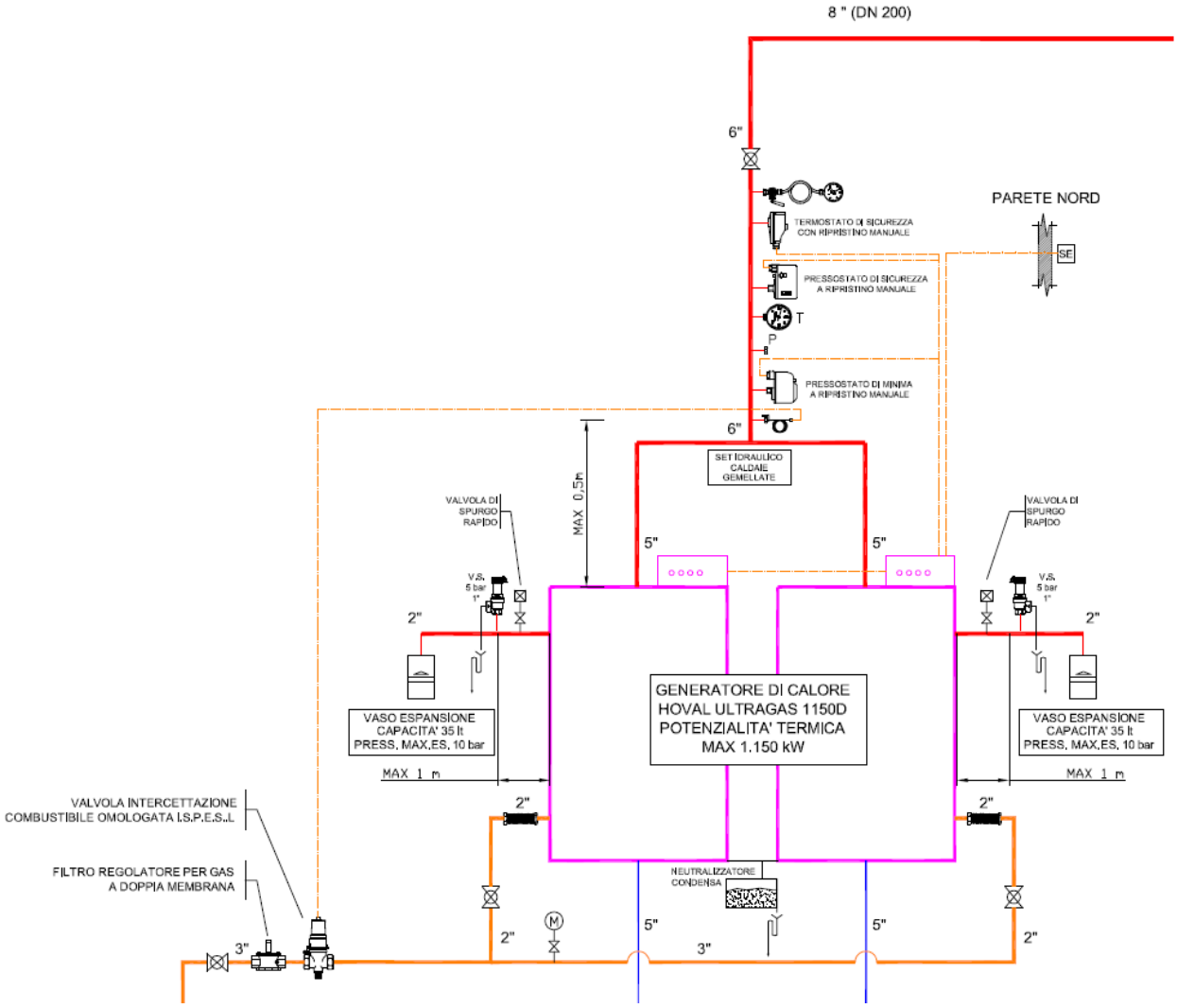


Figura 62: Schema funzionale di una caldaia a condensazione gemellare presente in centrale termica.

Il controllo del gruppo caldaie non verrà effettuato in una prima parte del progetto, e pertanto non sarà descritto nel presente elaborato, ma sarà demandato ad un futuro intervento.

Per non incorrere in futuri problemi legati alla mancanza di punti di controllo, nel dimensionamento del controllore sono stati considerati una serie di output e input aggiuntivi; in questo modo il comando delle caldaie gemellari sarà realizzato senza dover cambiare nuovamente il controllore, così da concretizzare un notevole risparmio economico.

7. STATO DI FATTO DELL'EDIFICIO

Una volta descritti gli impianti presenti nello stabile oggetto d'esame, è necessario farsi un'idea chiara di quale sia la domanda energetica dello stabile e a quanto ammontino i consumi dei vettori energetici utilizzati. Per farlo diventa fondamentale l'utilizzo di uno strumento di analisi della struttura energetica aziendale quale la Diagnosi Energetica.
Essa è definita nel D.Lgs. 115/2008, Art. 2, comma n [38] come la *"procedura sistemica volta a definire un'adeguata conoscenza del profilo di consumo energetico di un edificio o gruppo di edifici, di un'attività o impatto industriale o di servizi pubblici o privati, ad individuare e quantificare le opportunità di risparmio energetico sotto il profilo di costi – benefici e riferire in merito ai risultati".*

Nel D.Lgs. 102/2014 [39] vengono specificate alcune regole essenziale per la stesura della Diagnosi Energetica (DE):

- Grandi imprese e quelle a forte consumo di energia sono tenute a presentare Diagnosi Energetiche ogni 4 anni. Le grandi imprese sono definite come imprese con più di 250 dipendenti ovvero con un fatturato di almeno 50 mln € annui e bilancio annuo di almeno 43 mln €; le imprese a forte consumo di energia sono quelle imprese con consumo di energia elettrica maggiore di 1 GWh/anno ovvero con rapporto consumo di energia/VAL maggiore o uguale di 0.2;
- Devono essere svolte da soggetti certificati, per poterle svolgere oggi è necessaria la certificazione UNI 16247;
- Devono essere consegnate ad ENEA, che riceve le DE e le conserva;
- Viene richiesto a imprese energivore di attuare gli interventi di efficientamento individuati in tempi ragionevolmente brevi.

Pur essendo obbligatoria, è un documento che risulta essere molto utile nell'analisi energetica di un edificio per il committente, poiché permette di definire quali interventi di risparmio energetico attuare. I suoi obiettivi, infatti, sono:

- Fornire un quadro della situazione in cui si trova l'edificio al fine di individuare inefficienze;
- Ridurre i costi di mantenimento andando ad aumentare l'efficienza del sistema;

- Migliorare la sostenibilità ambientale;
- Riqualificare un sistema energetico.

Grazie alla DE fornita da Leonardo è possibile recuperare i dati necessari all'analisi dei consumi dell'edificio, che verranno dettagliatamente descritti nel seguito.
La Diagnosi fornita è la più recente effettuata, datata 2018. Essendo un'analisi da effettuare ogni quattro anni, le analisi svolte prendono in esame il quadriennio passato, quindi per gli anni 2015, 2016, 2017 e 2018.

7.1. Consumi di Energia Elettrica

I consumi di Energia Elettrica sono stati ricavati attraverso l'analisi delle fatture di fornitura energetica. Il prezzo medio di acquisto della fornitura elettrica nei quattro anni è pari a **0.14 €/kWh.** Nella Tabella 6 di seguito sono riportati i consumi mensili nei quattro anni valutati a metro quadro di superficie:

Tabella 6: Dati espressi in kWh elettrici a metro quadro di consumo di Energia Elettrica nel quadriennio 2015-2018.

Anno	*GEN*	*FEB*	*MAR*	*APR*	*MAG*	*GIU*	*LUG*	*AGO*	*SET*	*OTT*	*NOV*	*DIC*	***Tot***
2015	41,20	39,19	42,84	39,79	41,67	44,56	56,77	47,87	43,05	37,49	36,32	35,64	**506,39**
2016	36,21	35,91	37,64	35,14	36,65	39,65	47,00	46,75	44,19	36,34	35,65	36,16	**467,30**
2017	36,98	34,41	37,43	34,55	39,64	46,21	49,49	45,90	41,13	39,53	35,88	34,33	**475,48**
2018	34,87	32,89	36,17	34,65	40,15	45,18	49,73	46,78	41,78	38,23	34,66	34,91	**470,00**

Questi dati sono riportati anche in Figura 63, da cui è possibile ricavare gli andamenti di consumo nei quattro anni di analisi effettuata.
I consumi dell'anno 2015 risultano più elevati di quelli degli altri anni, in particolare nei primi sette mesi dell'anno; mentre per quanto riguarda 2016, 2017 e 2018 i consumi sono rimasti piuttosto costanti: lo scostamento percentuale tra i consumi del 2016 e del 2017 risulta di +1.75%, mentre tra 2017 e 2018 c'è stata una riduzione di consumi che si attesta a -1.15%.
Data la destinazione d'uso dello stabile, lo scarso scostamento dei consumi elettrici nel corso degli anni è un dato che rispecchia le attese. Parlando di uffici, infatti, non è presente un impiego di

Energia Elettrica per alimentare processi particolarmente energivori e dipendenti da fattori esterni come, ad esempio, il principio economico di domanda ed offerta. Saranno invece presenti elementi di consumo costanti come l'illuminazione, il condizionamento, il funzionamento di apparati elettrici ed elettronici quali, a titolo di esempio, computer, monitor, fotocopiatrici e CED. Al più è presente qualche consumo variabile dovuto alla stagionalità.

In generale è anche possibile vedere come i consumi di Energia Elettrica dello stabilimento siano maggiori nei mesi estivi. La ragione di questo andamento è da ricercarsi nel maggior utilizzo di Energia Elettrica per alimentare elementi quali i Gruppi Frigo, fondamentali nel periodo caldo al fine di fornire i fluidi necessari al mantenimento delle condizioni di comfort interno.

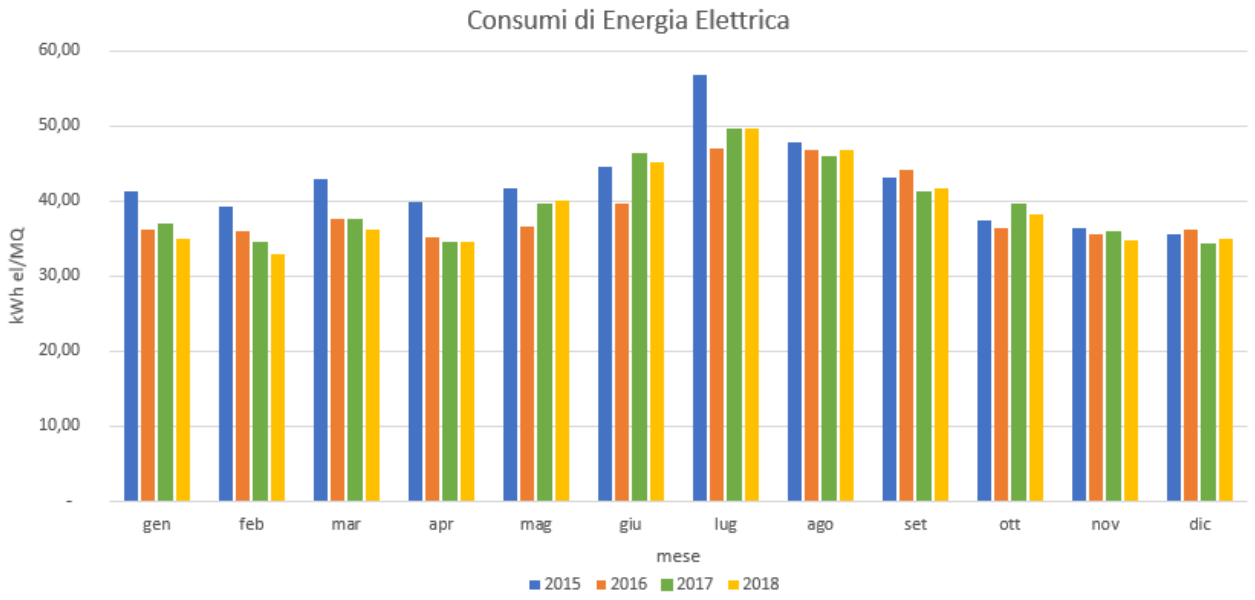


Figura 63: Consumi mensili di Energia Elettrica al metro quadro nel quadriennio 2015 - 2018.

Per poter fare un confronto anche con i consumi di Gas Naturale che verranno trattati nel seguito, occorre trasformare i consumi da kWh a Tonnellate Equivalenti di Petrolio (TEP), in modo tale da valutare e confrontare l'Energia Primaria.

Ogni fonte di energia ha un suo fattore di conversione definito da circolare del MISE del 18/12/2014. In particolare, il fattore di conversione dell'Energia Elettrica è pari a **0.187 TEP/MWh**. Di seguito una tabella riassuntiva dei consumi elettrici valutati in kWh elettrici al metro quadro e TEP al metro quadro.

Tabella 7: Consumi di Energia Elettrica riportati in kWh/m² e TEP/m² nel quadriennio 2015 - 2018.

	Anno 2015		***Anno 2016***		***Anno 2017***		***Anno 2018***	
	kWh/m²	TEP/m²	kWh/m²	TEP/m²	kWh/m²	TEP/m²	kWh/m²	TEP/m²
Energia Elettrica	506,39	0,095	467,30	0,087	475,48	0,089	470,00	0,088

Vengono riportati anche graficamente i consumi complessivi annuali di Energia Primaria nella:

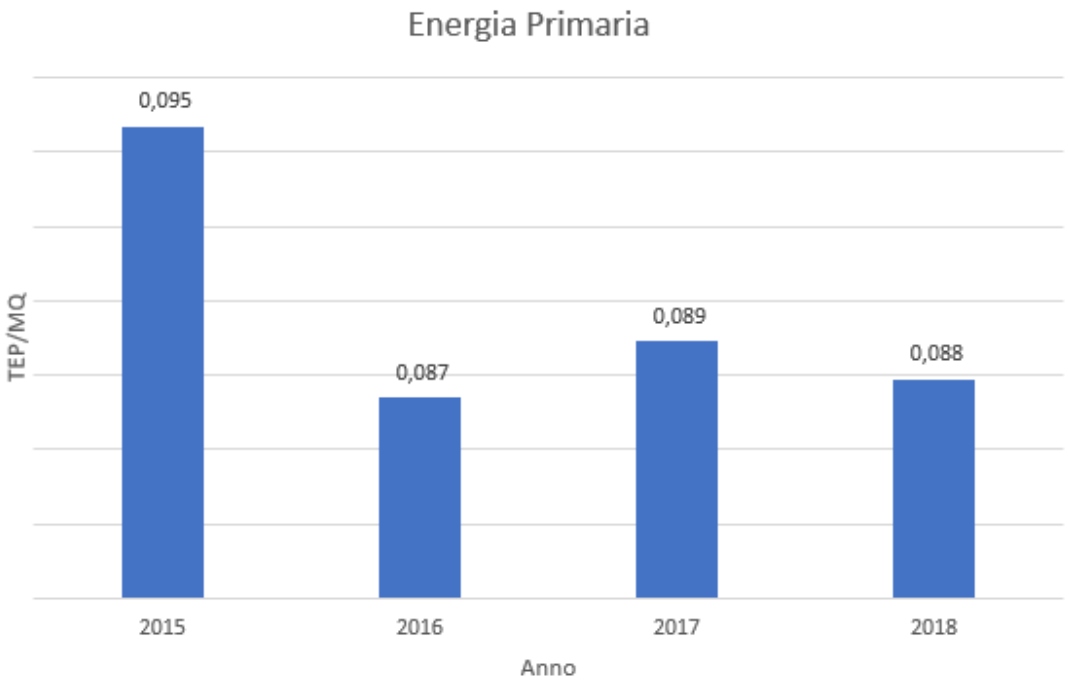


Figura 64: Energia Primaria valutata in TEP/m² nel quadriennio 2015 - 2018.

Da tale figura si ricava nuovamente un andamento pressoché costante anche di Energia Primaria per gli anni 2016, 2017 e 2018.

7.2. Consumi di Gas Naturale

Similarmente a quanto fatto per l'analisi del vettore Energia Elettrica, anche per l'analisi dei consumi di Gas Naturale si fa riferimento alle fatture di fornitura del vettore energetico in esame. Sempre dalle stesse fatture si può ricavare il costo medio della fornitura, pari a **0.33 €/Sm³**.

Nella Tabella 8 nel seguito sono indicati i consumi di Gas Naturale nei quattro anni di analisi valutati già in kWh termici a metro quadro di superficie. Il fattore di conversione utilizzato per eseguire tale calcolo tiene conto del tipo di risorsa ed è pari a **10,6 kWh termici/Sm^3**.

Tabella 8: Dati espressi in kWh termici/m^2 di consumo di Gas Naturale nel quadriennio 2015 - 2018.

Anno	*GEN*	*FEB*	*MAR*	*APR*	*MAG*	*GIU*	*LUG*	*AGO*	*SET*	*OTT*	*NOV*	*DIC*	***Tot***
2015	43,40	64,60	35,81	12,10	5,01	2,25	2,21	1,06	1,21	2,49	20,83	29,61	**220,59**
2016	48,46	40,08	33,26	5,39	5,18	1,47	1,61	1,10	12,52	3,06	26,48	44,55	**223,18**
2017	56,38	52,48	17,32	8,01	2,96	1,23	1,07	0,44	0,45	0,82	32,03	52,47	**225,67**
2018	49,45	64,53	56,64	16,41	3,98	1,10	0,39	0,23	0,38	0,39	30,67	48,81	**272,98**

Tali consumi sono riportati anche in forma grafica nella Figura 65.

In questo caso si può notare come i consumi estivi di Gas Naturale siano molto bassi a partire da aprile e fino ad ottobre compreso. Tutto ciò trova riscontro in quanto specificato nella Tabella 1: nella zona climatica di appartenenza, la zona D, il periodo di accensione degli impianti termici va dall'01/11 al 15/04. Per metà del mese di aprile e fino a fine ottobre, infatti, i consumi di Gas Naturale sono molto bassi e questa risorsa viene impiegata solo per la produzione di ACS attraverso alcuni boiler presenti all'interno dello stabilimento.

Tra questi dati spicca in modo piuttosto evidente il dato di consumo di settembre dell'anno 2016. Si tratta certamente di un'anomalia e sarebbe necessario investigarne le cause in modo concreto. I consumi sono infatti 10 volte superiori quelli avuti l'anno precedente nello stesso mese, e non rispecchiano il trend evolutivo riscontrato negli altri tre anni.

È importante ricercare le motivazioni di questo tipo di scostamenti poiché sono dati importanti nella ricerca di guasti, perdite o utilizzi errati e poco efficienti di vettori energetici, ma potrebbe perfino trattarsi di un errore contabile, il che porterebbe ad avere un credito nei confronti dell'Azienda fornitrice della risorsa incriminata. Più verosimilmente in questo caso quello evidenziato riporta un conguaglio, dunque non risulta essere un errore.

È infine visibile chiaramente come i consumi dell'anno 2018 risultino mediamente maggiori nei mesi di febbraio, marzo ed aprile, verosimilmente dovuti ad un inverno più rigido di quello degli anni precedenti.

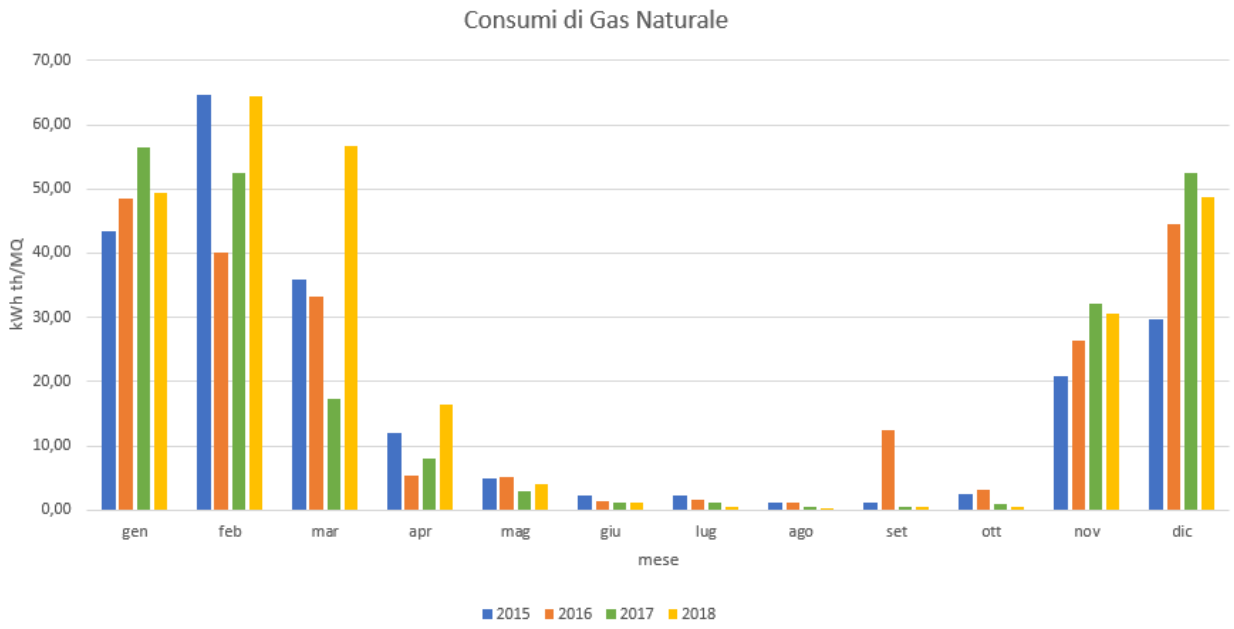


Figura 65: Consumi di Gas Naturale in kWh termici/m² nel quadriennio 2015 - 2018.

Come fatto per il vettore di Energia Elettrica occorre ora trasformare i consumi elencati in TEP, al fine di valutare il consumo di Energia Primaria della fonte fossile in questione. Il coefficiente di conversione utilizzato per il Gas Naturale è pari a **0.000836 TEP/Sm³**.

Di seguito una tabella riassuntiva dei consumi di Gas Naturale valutati in kWh termici al metro quadro e in TEP al metro quadro.

Tabella 9: Consumi di Gas Naturale riportati in Sm3 e TEP nel quadriennio 2015 - 2018.

	Anno 2015		***Anno 2016***		***Anno 2017***		***Anno 2018***	
	kWh/m²	TEP/m²	kWh/m²	TEP/m²	kWh/m²	TEP/m²	kWh/m²	TEP/m²
Gas Naturale	220,59	0,017	223,18	0,018	225,67	0,018	272,98	0,022

Riportati a seguire anche graficamente:

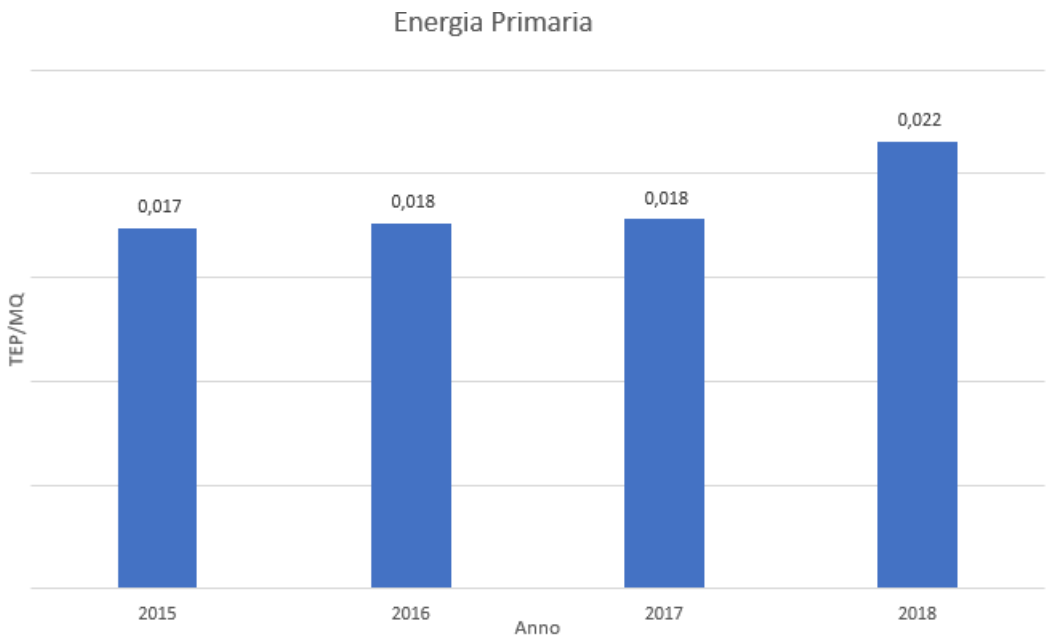


Figura 66: Consumi di Energia Primaria di Gas Naturale nel quadriennio 2015 - 2018.

Nuovamente, si riscontra un andamento pressoché costante di consumo di Gas Naturale, ad eccezione del 2018, dove si può vedere un consumo più elevato della risorsa.

7.3. Consumi complessivi e analisi dei costi

Complessivamente lo stabile vede dunque consumi di due vettori energetici: l'Energia Elettrica e il Gas Naturale.

Rimane da valutare il contributo di ciascuno di questi consumi sulla spesa economica sostenuta dal Cliente per alimentare energeticamente lo stabile oggetto d'analisi. Si fa dunque riferimento ai costi medi ricavati dalle bollette e forniti nei paragrafi precedenti per calcolare i costi parziali e complessivi di ciascun anno.

Si riportano tali valori medi annuali:

- Costo medio vettore Energia Elettrica:
    - Anno 2015: 0.15 €/kWh;
    - Anno 2016: 0.14 €/kWh;
    - Anno 2017: 0.13 €/kWh;
    - Anno 2018: 0.14 €/kWh;

- Costo medio vettore Gas Naturale:
    - Anno 2015: 0.36 €/Sm^3;
    - Anno 2016: 0.38 €/Sm^3;
    - Anno 2017: 0.33 €/Sm^3;
    - Anno 2018: 0.33 €/Sm^3;

Questa valutazione viene fatta moltiplicando i dati di consumo per il costo medio appena illustrato, i risultati sono visibili nella tabella che segue:

Tabella 10: Riepilogo di consumi e costi per vettore energetico, nel quadriennio 2015 - 2018.

	Anno 2015		***Anno 2016***		***Anno 2017***		***Anno 2018***	
	kWh	€	kWh	€	kWh	€	kWh	€
Energia Elettrica	1.428.019	214.203	1.317.776	184.489	1.340.853	174.311	1.325.400	185.556
	Sm^3	€	Sm^3	€	Sm^3	€	Sm^3	€
Gas Naturale	58.685	21.127	59.375	22.562	60.037	19.812	72.624	23.966

Da cui si ottengono i seguenti costi complessivi:

- Anno 2015: 235.330 €;
- Anno 2016: 207.051 €;
- Anno 2017: 194.123 €;
- Anno 2018: 209.522 €.

Il cui andamento, come supponibile, è molto simile a quello del vettore Energia Elettrica, poiché il più impattante dei due. Di seguito, in Figura 67, si riporta un confronto tra l'andamento economico dei diversi vettori e quello totale, tutti valutati per metro quadro di superficie.
Un andamento come quello riscontrato è certamente verosimile e prevedibile se si considera la destinazione d'uso dell'edificio in questione: il vettore energetico maggiormente utilizzato negli Uffici è senza dubbio alcuno l'Energia Elettrica, usata per l'alimentazione delle postazioni,

dell'illuminazione, dei sistemi di sicurezza, dei server, dei gruppi frigo, delle pompe e dei ventilatori degli impianti termici.

La componente Gas Naturale negli Uffici autonomi è spesso e volentieri usata solamente per la generazione di acqua calda necessaria al riscaldamento degli ambienti interni all'edificio.

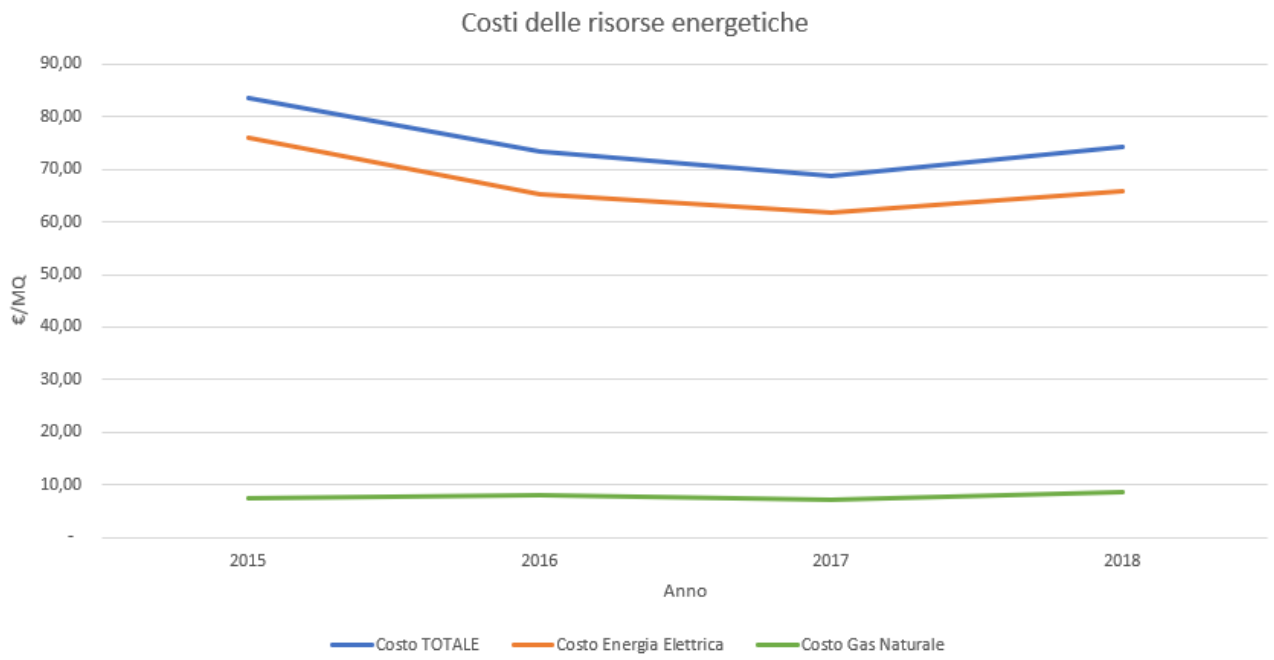


Figura 67: Confronto dei costi al metro quadro di Energia Elettrica, Gas Naturale e Totali sostenuti per l'approvvigionamento energetico dello stabilimento.

7.4. Analisi dei consumi e dei costi dell'area oggetto di intervento

La Diagnosi Energetica fornita permette di scendere molto nel dettaglio dei consumi, portandosi fino al Livello di consumo D. Com'è noto, la DE esamina la struttura energetica aziendale dividendola in tre macroaree e in quattro livelli. Le macroaree di competenza sono:

- Attività principali: tutte quelle attività che compongono il processo che porta alla produzione del prodotto finito;
- Servizi ausiliari: ne fanno parte tutti i consumi che derivano da macchinari o processi a servizio dell'attività principale;
- Servizi generali: sono consumi indipendenti dall'attività principale, ma che possono essere considerati come effettuati per fornire un servizio all'intero stabile. Rientrano in questa categoria tutti i consumi di illuminazione e di climatizzazione.

I livelli di analisi della DE, invece, sono catalogati con lettere dalla A alla D nel modo che segue:

A. Livello complessivo di consumo, è il consumo totale di Energia Primaria dello stabilimento, di tutte le risorse energetiche, espresso in TEP;
B. Livello dei contatori fiscali delle risorse energetiche, è il consumo suddiviso per tipologia di vettore energetico consumato dallo stabile;
C. Livello che analizza, per ogni vettore energetico, come questo viene impiegato in ognuna delle tre macroaree descritte in precedenza;
D. Livello più fine possibile, si va ad analizzare il singolo macchinario quanto consuma di un particolare vettore energetico.

Potendo approfittare, quantomeno sulla componente Energia Elettrica, del Livello di analisi D, è possibile ricavare qual è il consumo energetico di pompe e UTA a servizio dei piani oggetto di intervento, che si ricordano essere il primo, il terzo ed il quarto piano.
L'analisi sulla sola Energia Elettrica è in realtà quella più utile ai fini di questo elaborato: non andando ad integrare un sistema direttamente sulla generazione, ed essendo i consumi elettrici, come visto, di gran lunga superiori a quelli di Gas Naturale, i consumi di questo tipo sono proprio quelli su cui si vuole intervenire maggiormente.
Di seguito si mostrano i dati di consumo di ognuna delle tre sotto centrali termiche, che comprendono pompe e ventilatori UTA, ricavati da campagne di misura effettuate da gennaio ad agosto 2018.

Tabella 11: Dati di consumo ricavati da campagna di misura nelle tre sottostazioni termiche, espressi in kWh elettrici.

	GEN	***FEB***	***MAR***	***APR***	***MAG***	***GIU***	***LUG***	***AGO***
UTA 1	9.808,54	10.043,47	10.348,39	8.967,00	12.261,60	13.218,27	13.909,49	13.346,98
UTA 3	10.088,79	8.721,96	10.144,91	10.192,31	10.131,95	12.818,81	15.188,52	13.798,14
UTA 4	8.127,08	7.664,75	8.575,21	8.688,52	9.873,81	10.276,84	10.871,79	10.452,00

Di seguito riportati anche in forma grafica:

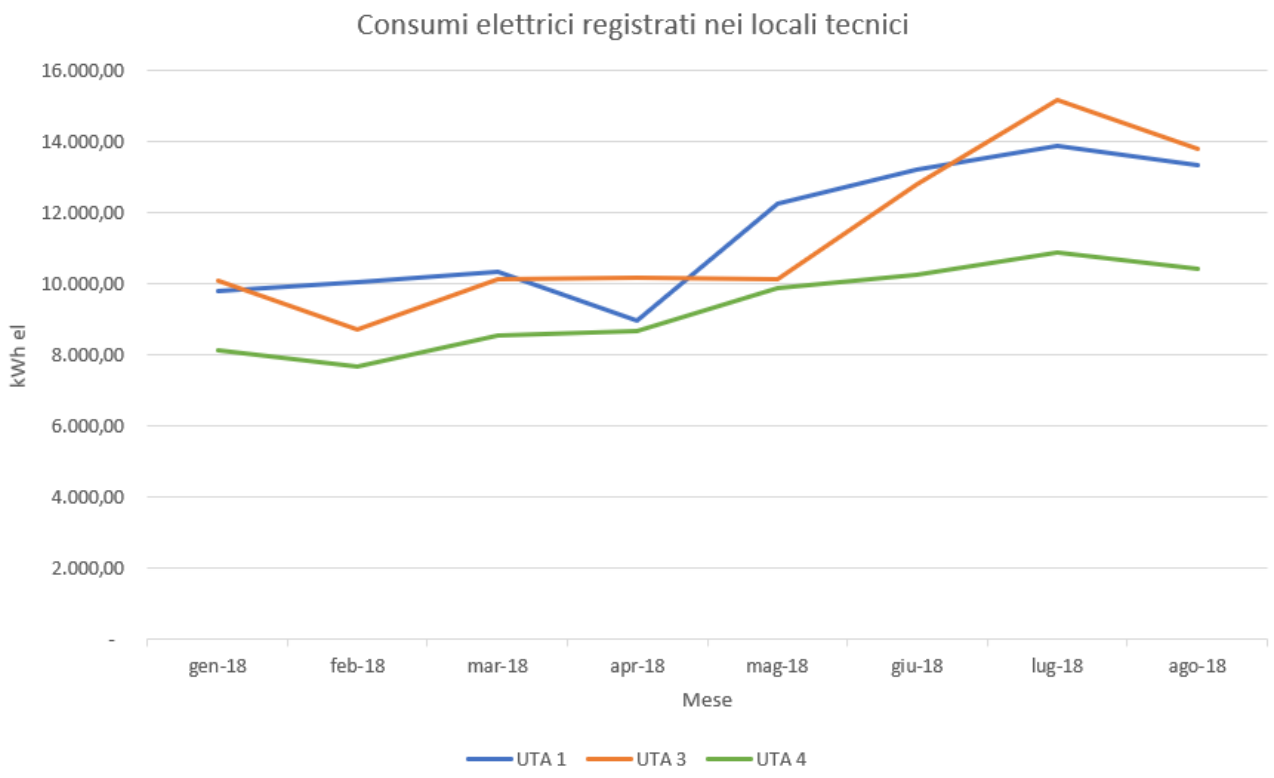


Figura 68: Consumi elettrici ricavati da campagna di misura nelle sottostazioni termiche di piano.

Da questi dati è possibile quantificare i consumi effettivi della zona di intervento all'interno dello stabile: per mezzo di una semplice proporzione si sono stimati i kWh elettrici consumati annualmente da ognuna delle tre sotto centrali, riportati puntualmente:

- Sotto centrale UTA 1: 137.856 kWh;
- Sotto centrale UTA 3: 136.628 kWh;
- Sotto centrale UTA 4: 111.795 kWh

Per un totale di consumo elettrico pari a 386.279 kWh.

Com'è possibile notare nei dati sopra forniti, e già visibili nel grafico in Figura 68, la sotto centrale termica ospitante l'UTA del quarto piano possiede consumi leggermente inferiori a quelli riscontrati nelle altre due sotto centrali. Questo andamento è certamente giustificabile dalla presenza di due pompe in più in ognuna delle sotto centrali presenti ai piani inferiori.

Utilizzando il medesimo dato medio di costo del vettore Energia Elettrica fornito nei paragrafi precedenti, è possibile stimare il costo annuo di ognuna di queste sotto centrali:

- Sotto centrale UTA 1: 19.300 €;
- Sotto centrale UTA 3: 19.128 €;
- Sotto centrale UTA 4: 15.651 €

Per un ammontare complessivo pari a 54.079 €.

Per quanto riguarda i costi del Gas Naturale, essi vengono associati alla sola componente di climatizzazione. Non avendo come per l'Energia Elettrica anche una misura dei kWh termici consumati, si procede con i dati presenti e si fa una stima basata sulla media di consumi e di costi sostenuti nei quattro anni di Diagnosi Energetica.
Il consumo medio in quattro anni è stato pari a 62.680 Sm^3, a cui è associato un costo medio pari a 21.866 €. Dal momento che il controllo viene effettuato soltanto sulla metà dell'edificio, si stima che la bolletta termica facente capo ai tre piani controllati sia la metà, ovvero 10.933 €.

Complessivamente dunque, la spesa per alimentare elettricamente e termicamente le tre sottostazioni termiche dei piani oggetto di riqualifica ammonta a 65.012 € all'anno.

Questi descritti sono i costi ed i consumi che costituiranno la base dell'analisi che verrà svolta nel Capitolo successivo. La parte di analisi dello stato di fatto dell'edificio è fondamentale e permette di fornire una *baseline* su cui lavorare e che faccia da riferimento per monitorare l'abbattimento dei consumi energetici e tutto ciò che ne consegue, sovente compresi anche i guadagni economici che se ne ricavano ed il corrispettivo spettante ad Aziende che fanno dell'efficientamento energetico il proprio core business.

8. PROPOSTA DI EFFICIENTAMENTO ENERGETICO

Descritto lo stato di fatto dell'edificio e compresa quale sia la baseline di partenza, è ora di fondamentale importanza stimare quale possa essere l'efficientamento energetico che si può apportare a questo tipo di edificio.
Agli inizi di luglio il team di Enerbrain ha installato presso i locali uffici del primo, terzo e quarto piano della sede di Leonardo le sonde eSense, che da subito hanno iniziato a comunicare dati di Temperatura, Umidità Relativa e CO_2. Da questi dati può iniziare l'analisi di quelli che sono stati i comportamenti virtuosi tenuti da Leonardo e dove invece l'algoritmo in cloud Enerbrain, una volta che sarà implementato, potrà portare dell'efficienza e in quale misura.

Tutto ciò che si descriverà nel presente Capitolo, dunque, si basa sui dati misurati ed ipotesi di efficienza ricavate dall'esperienza quinquennale di Enerbrain e dalla normativa di riferimento, che impone limiti di temperature estive e invernali da rispettare.

8.1. Caso Studio di riferimento

La stima del risparmio energetico si intende essere basata anche, come detto, su esperienza acquisita dal team Enerbrain in edifici di destinazione d'uso simile.
In particolare, una delle lavorazioni divenute Caso Studio di Enerbrain è stata effettuata su una serie di uffici siti in un complesso denominato come supercondominio, in cui sono presenti altre diverse entità lavorative quali negozi e ristoranti. Enerbrain non ha ricevuto il consenso a pubblicare i dati di efficientamento energetico di questo Cliente, per cui verranno presi come riferimento ma resteranno anonimi.
Gli uffici in questione sono fondamentali per apprendere quanto il sistema di controllo proposto in questo elaborato possa contribuire nel saving energetico di Leonardo, poiché possiedono diverse caratteristiche comuni a quelle dello stabilimento oggetto di Tesi. Innanzi tutto, come già accennato, la destinazione d'uso è la stessa, per cui la progettazione termotecnica degli ambienti ha tenuto conto delle medesime regole di riferimento. In secondo luogo, i due edifici sono stati costruiti a distanza di pochi anni l'uno dall'altro, e sono paragonabili per tipologia, struttura e componenti opache e vetrate. Sono altresì posti nella medesima zona climatica e dunque confrontabili anche dal punto di vista delle condizioni climatiche cui sono soggetti.

Un punto fondamentale di unione è anche la presenza di impianti simili e di un sistema di controllo precedentemente applicato molto simile. Il Caso Studio presenta infatti 6 UTA di aria primaria, che vengono controllate sia per mezzo di un ON/OFF sulla ventilazione che attraverso uno 0 – 10 V sulla valvola a tre vie delle batterie di scambio termico. È presente anche in questo caso un circuito di fan coil che fornisce le condizioni di comfort termico, regolato non sulle pompe complete di inverter come nel caso di Leonardo, ma su una valvola di regolazione della portata.
L'efficienza apportata in questa situazione è stata molta, come si vedrà dai dati forniti nel seguito, ma dovuta principalmente ad una cattiva gestione impiantistica presente in precedenza: la valvola di regolazione della portata d'acqua al circuito fan coil, ad esempio, veniva lasciata in modalità manuale e sempre aperta. La valvola di regolazione dello scambiatore di calore dell'UTA, invece, veniva regolata da un PID interno. Mettendo in comunicazione anch'essa con l'algoritmo in cloud Enerbrain, si è visto come nonostante la regolazione efficiente già presente in precedenza, l'algoritmo sia riuscito a portare risultati migliori.
Dal punto di vista del controllo elettrico, invece, il controllo è avvenuto per mezzo di un nodo 0 – 10 V installato direttamente sui ventilatori, che ha permesso di modularne il consumo.

Per effettuare un test completo dell'efficienza energetica che il controllo inserito porta ai sistemi che comanda, si procede ad effettuare due mesi di test a settimane alterne di sistema Enerbrain attivo (EB ON) e sistema Enerbrain disattivo (EB OFF), registrando i consumi elettrici e termici con appositi meters e contatermie.
Di seguito si mostrano direttamente i risultati dell'analisi su questo Cliente preso come Caso Studio: nel complesso il sistema installato ha garantito un saving elettrico estremamente importante, pari al 75%, mentre un saving termico più ridotto e pari al 36%.

Questi dati sono da analizzare attentamente per essere interpretati nel modo corretto: come è possibile vedere dalla Figura 69, il controllo sulla componente elettrica che viene apportato dal Cliente è fondamentalmente un ON/OFF manuale, senza parzializzazione e senza utilizzo di sensori di CO_2 che permettevano ai ventilatori di azionarsi solo in caso di necessità. In questo caso il controllo Enerbrain ha apportato un forte saving elettrico grazie alla precedente assenza di controllo.

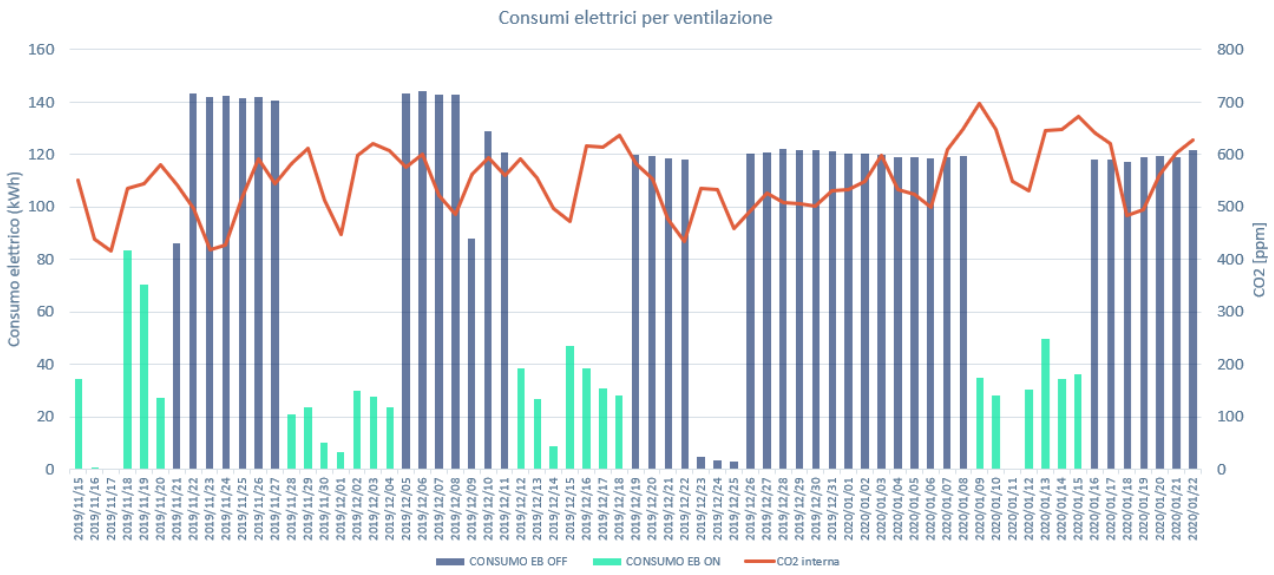


Figura 69: Consumi elettrici registrati durante il periodo di EB ON e di EB OFF.

Il caso Leonardo non è elettricamente confrontabile con questo, in quanto i ventilatori delle UTA sono già sotto inverter, mentre i motori delle pompe non presentano regolazione e anch'essi sono controllati per mezzo di un semplice ON/OFF. D'altro canto, viene comandato anche il Gruppo Frigo, il cui controllo permette di avere forti impatti sul saving energetico elettrico.

In un terzo intervento, qui non descritto poiché la tipologia di edificio risulta molto diversa e di nuova realizzazione rispetto a quella oggetto di analisi, il controllo sulla componente elettrica già presente era molto simile a quello che andrà sostituito presso Leonardo, e in quel caso, a seguito dell'installazione del sistema, è stato possibile ottenere un 27% di saving elettrico.

Il saving termico ritrovato nel Caso Studio, invece, è di minor entità e visibile nella Figura 70.
Agire sulle valvole di regolazione della portata dei fan coil e sulla valvola dell'UTA ha permesso di fornire la potenza termica necessaria a mantenere le condizioni di comfort interno agli ambienti, senza eccessi e senza sprechi.

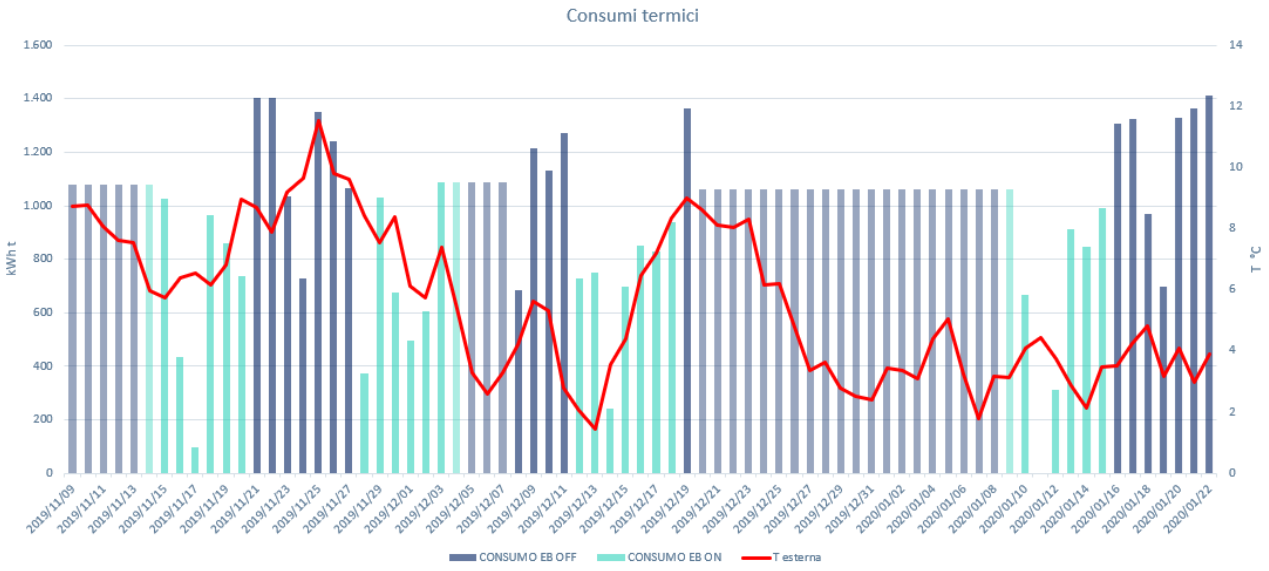


Figura 70: Consumi termici registrati durante il periodo di EB ON e di EB OFF.

I dati ricavati da questa implementazione risultano essere molto utili al fine della valutazione dell'ipotetico saving ottenibile e delle prestazioni che il sistema è in grado di fornire.

Come già detto però, il saving che si andrà ad ipotizzare terrà debitamente conto delle condizioni particolari di questo edificio, ed in via precauzionale si valuterà una percentuale verosimile anche a seguito delle considerazioni che verranno fatte nel prossimo paragrafo.

8.2. Risparmi energetici conseguibili su Leonardo

Al fine della stima del risparmio energetico conseguibile in questo stabile per mezzo del sistema che si andrà ad implementare, si passa ora ad analizzare l'andamento delle temperature interne registrate dal momento dell'installazione delle sonde eSense fino alla seconda metà di settembre nei tre piani oggetto di analisi.

Quelli che seguiranno sono i grafici ricavati dalla Dashboard Enerbrain che illustrano l'andamento di temperatura interna nel periodo di tempo considerato. L'obiettivo di tale verifica è quello di ottenere le reali temperature interne e verificare che rispettino l'attuale normativa vigente e che siano concordi con regole pratiche di gestione d'impianto.

Il sistema di controllo è in grado di mantenere le temperature di set point mantenendo ±1°C di tolleranza.

Ciò comporta che le temperature garantite dal sistema installato, considerando anche le indicazioni da normativa termotecnica, saranno:

- Periodo estivo: 26°C ±1°C;
- Periodo invernale: 20°C ±1°C.

Dal momento che gli unici dati attualmente disponibili riguardano il periodo estivo, ogni volta che il sistema porterà la temperatura interna al di sotto dei 25°C, si valuterà l'energia utilizzata per tale scopo come risparmiabile e dunque rientra nel saving energetico apportabile. Certamente per fare questa considerazione si terrà conto della temperatura esterna presente in quel momento.

Inoltre, questa verifica permette di valutare anche l'utilizzo che si fa dell'impianto, specie dal punto di vista dell'orario in cui questo viene utilizzato: la fascia oraria in cui gli uffici di Leonardo risultano essere occupati è 09:00 – 18:00, da lunedì al venerdì. Il sistema di controllo andrà a regolare anche le accensioni degli impianti, in modo tale che sia garantito comfort nei periodi di tempo in cui è necessario, ma non al di fuori degli stessi.
Qualora le sonde riscontrassero accensioni notturne o al di fuori dell'orario descritto, diverse dalla preaccensione impiantistica propedeutica al raggiungimento delle condizioni di comfort interno degli ambienti in orario mattutino, il nuovo sistema di controllo non permetterebbe tale accensione e per questa ragione la quota energetica utilizzata per queste accensioni verrebbe considerata come ulteriore saving.

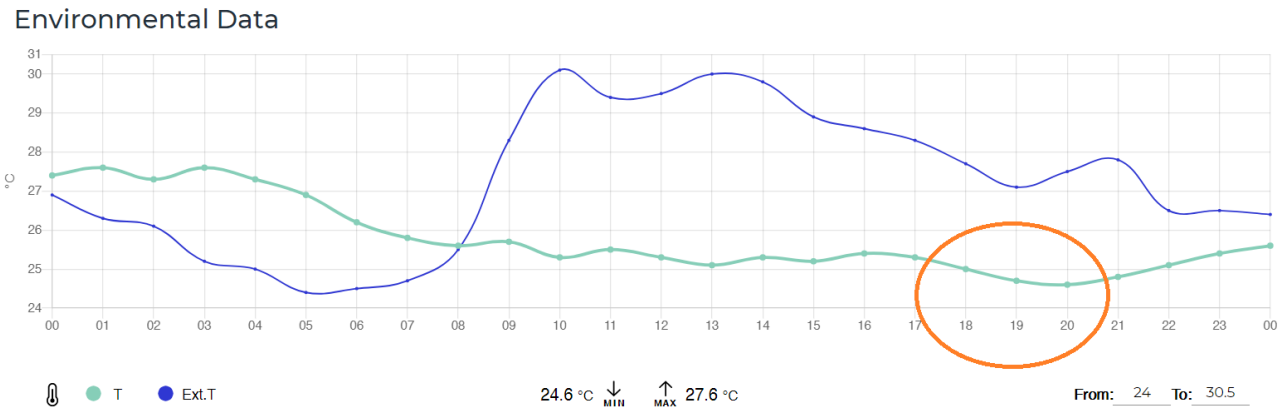


Figura 71: Dati di temperature riferiti a lunedì 10 agosto 2020, terzo piano dello stabile. Nel cerchio arancione si può notare come il sistema di climatizzazione resti acceso anche oltre l'orario di chiusura.

In Figura 71 si può chiaramente vedere evidenziato come il sistema di climatizzazione rimanga acceso nonostante lo stabile risulti essere chiuso. Questo è uno dei primi interventi di saving che il sistema di controllo è in grado di produrre: evitare inutili accensioni del sistema quando non è necessario il suo intervento.

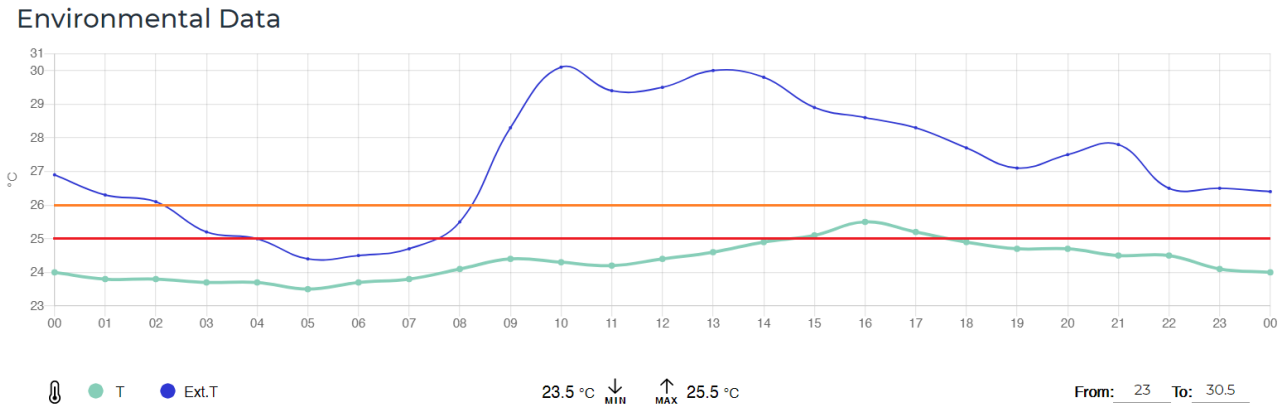


Figura 72: Dati di temperature riferiti a lunedì 10 agosto 2020, quarto piano dello stabile. Con la linea arancione è evidenziata la temperatura di set point, con quella rossa la temperatura minima garantita dal sistema di controllo.

Nella Figura 72 è possibile notare una seconda grande occasione di saving: con la linea arancione viene individuata la temperatura di set point interno agli ambienti, che dovrebbe essere impostata secondo normativa vigente a 26°C. La linea rossa, invece, indica la temperatura minima raggiungibile dal sistema garantita dal controllo, pari a 25°C e sotto la quale la regolazione che si intende installare non permette di andare. Come è possibile vedere, per praticamente tutto l'arco della giornata le temperature registrate all'interno degli ambienti sono state minori di questa temperatura minima, sintomo di un eccessivo utilizzo di raffrescamento. Il saving apportabile a tale situazione, come si può immaginare, non è indifferente, poiché il sistema di controllo interverrebbe modulando la portata d'acqua fredda alla batteria di scambio termico di UTA e Fan Coil ed evitando ulteriori consumi elettrici agendo anche sulla scheda di controllo del Gruppo Frigo.

Di seguito, in Figura 73 e Figura 74, sono invece presenti due esempi su archi temporali più lunghi e composti da più giornate consecutive. Come è possibile notare, la problematica appena descritta viene ripetuta in settimane differenti, sintomo di un problema diffuso.

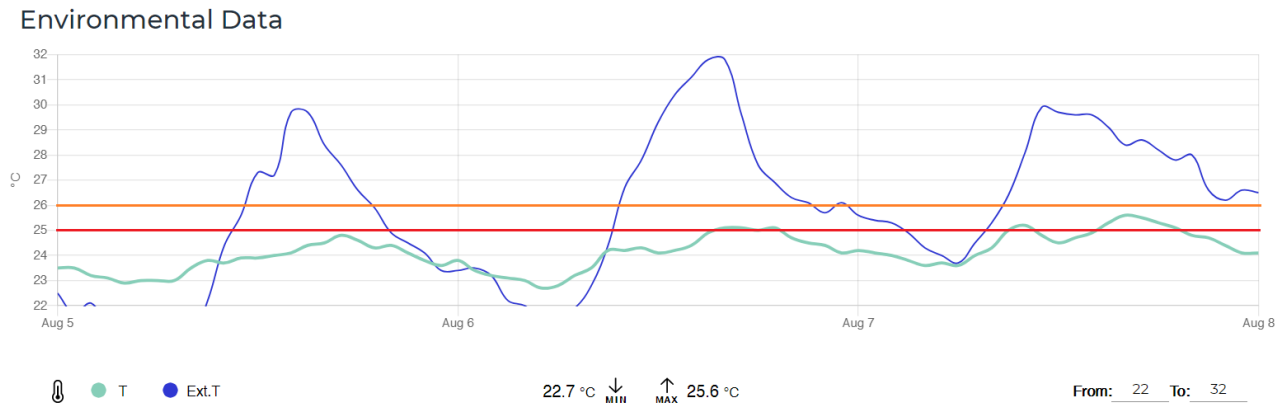


Figura 73: Dati di temperature riferiti al periodo temporale da mercoledì 5 agosto a venerdì 7 agosto 2020. Con la linea arancione è evidenziata la temperatura di set point, con quella rossa la temperatura minima garantita dal sistema di controllo.

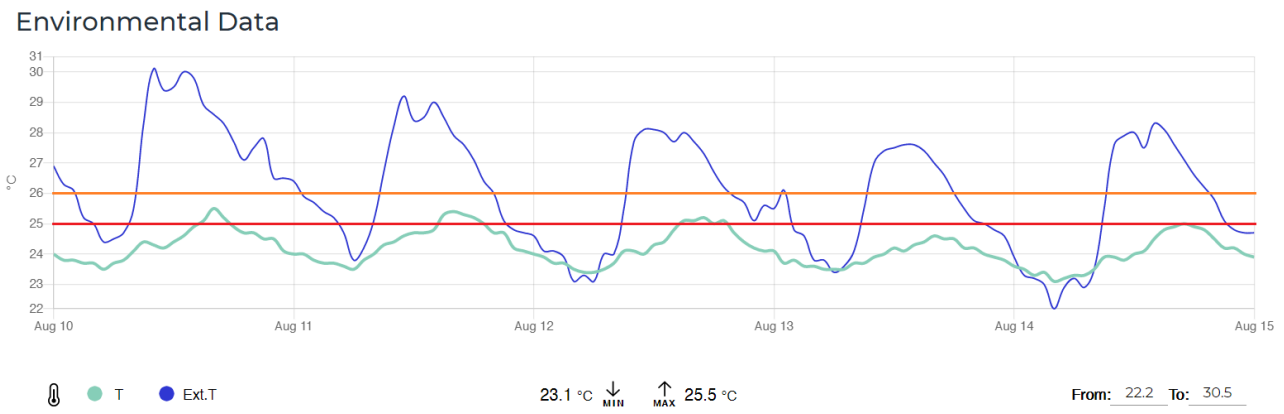


Figura 74: Dati di temperature riferiti al periodo temporale da lunedì 10 agosto a venerdì 14 agosto 2020. Con la linea arancione è evidenziata la temperatura di set point, con quella rossa la temperatura minima garantita dal sistema di controllo.

In entrambi i casi sopra riportati, la temperatura interna dell'edificio si trova quasi sempre al di sotto della temperatura minima garantita dal sistema, e nonostante le alte temperature esterne, essa non riesce mai a raggiungere la temperatura di set point di 26°C. Verosimilmente il set point impostato in questo caso è stato più basso, circa 24°C. Questa diversa impostazione, oltre ad insistere maggiormente sul sistema generando costi e consumi eccessivi, è ai limiti della legalità: al di sotto di questa temperatura non è possibile portarsi, e dunque le normali oscillazioni di temperatura presenti portano la temperatura interna ad oltrepassare i limiti di legge. Il sistema di controllo avrebbe mantenuto condizioni di comfort legali e riportato le temperature minime entro i 25°C, con un conseguente risparmio energetico.

Dati gli sprechi energetici presenti appena visti, la tipologia di edificio, il sistema di controllo precedentemente installato e l'esperienza su altri casi simili, si può stimare un saving energetico sulla componente elettrica pari al 20%.

L'esperienza di Enerbrain dimostra che su un edificio come quello in esame si sono ottenuti risultati anche superiori introducendo logiche di controllo simili. Facendo una stima di saving è però importante valutare quale sia la bontà della gestione degli impianti prima dell'introduzione dei nuovi sistemi, e per tale ragione risulta più avveduto fornire una stima al ribasso, che permetta di non sbilanciarsi fornendo al Cliente aspettative non corrispondenti a quanto si possa effettivamente ottenere.

La stima di 20% è senza dubbio cautelativa, poiché, come verrà spiegato nel successivo paragrafo, il controllo degli organi per come si intende effettuare ha sempre fornito ad Enerbrain risultati molto soddisfacenti e superiori al 20% sulla componente elettrica.

Con l'ipotesi appena definita, i consumi elettrici annuali delle sottocentrali termiche del primo, terzo e quarto piano si modificherebbero come segue:

- UTA 1: da 137.856 kWh/anno a 110.284 kWh/anno;
- UTA 2: da 136.628 kWh/anno a 109.302 kWh/anno;
- UTA 4: da 111.795 kWh/anno a 89.436 kWh/anno;

Per un consumo totale di 309.023 kWh/anno, che corrispondono ad un costo di 43.236 €/anno. Il risparmio sulla componente elettrica è dunque di 77.256 kWh elettrici all'anno, pari a 10.816 €.

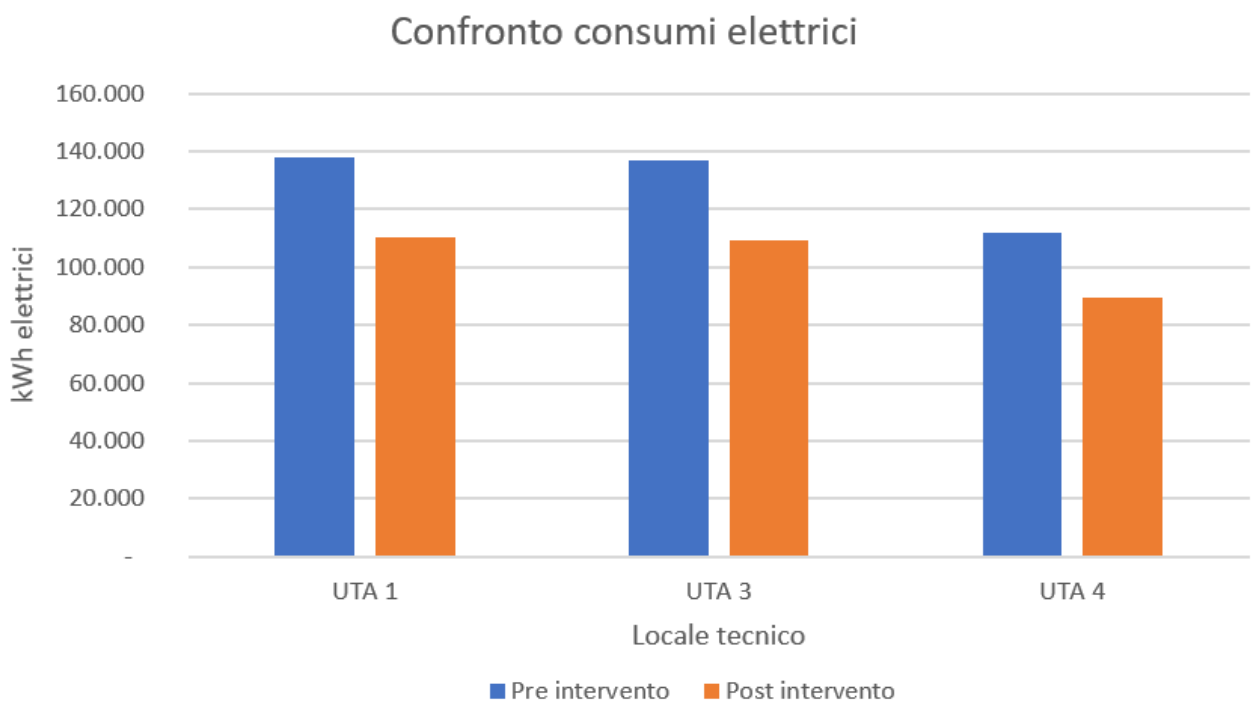


Figura 75: Confronto dei consumi elettrici pre e post intervento con ipotesi di risparmio energetico pari a 20%.

Per stimare il risparmio energetico sulla componente termica si ricorre nuovamente all'esperienza sul campo conseguita negli anni: per ogni kWh elettrico risparmiato il sistema di controllo, se regola anche le componenti che sfruttano la parte termica, permette di far risparmiare dai 3 ai 5 kWh termici.

Nuovamente, al fine di affrontare la stima del risparmio energetico in modo più cauto possibile, si prende il dato minore per supporre i risparmi termici che possono essere conseguiti. Avendo ipotizzato un saving di 77.256 kWh elettrici, si stima un risparmio di 231.768 kWh termici, pari a 21.865 Sm^3 di gas, che in termini economici valgono 7.215 € all'anno. Questo dato è molto simile a quello del Caso Studio descritto in precedenza: in tali condizioni infatti, il saving termico è pari a circa 35%.

Il risparmio economico complessivo si attesta quindi a 18.031 € all'anno, dato con cui nel successivo Capitolo si costruirà il Business Case.

8.3. Il controllo di Enerbrain

Per conseguire i risparmi energetici precedentemente descritti, il team di Enerbrain intende installare un sistema che prevede l'utilizzo di un controllore logico programmabile per ognuna delle tre centrali di piano. Per ciascuna di queste, il PLC viene programmato al fine di gestire l'UTA e le pompe presenti con le modalità che verranno descritte nel corso di questo paragrafo, ma soprattutto sarà in grado di interfacciarsi con l'algoritmo in cloud di Enerbrain che ottimizzerà il funzionamento di ogni singolo parametro e componente.

Quando l'algoritmo in cloud comunica, il PLC si comporterà fondamentalmente come un ponte (farà infatti da *bridge*) di trasmissione di dati, ricevendo gli input dall'algoritmo e comunicandoli agli organi che presenta a valle.

Se la comunicazione con il cloud dovesse in qualche modo interrompersi, il PLC seguirà le proprie logiche interne programmate dal team di Enerbrain, affinchè non ci siano disservizi, interruzioni o problemi, e che le macchine a valle del controllore vengano comunque comandate in modo da apportare risparmio energetico, con logiche non tanto efficienti quanto quelle dell'algoritmo in cloud, ma comunque soddisfacenti. Non appena la comunicazione viene ristabilita, il cloud Enerbrain riprenderà il controllo della comunicazione. L'utente è sempre in grado di capire quale dei due organi sta comunicando grazie ad una comunicazione emessa dall'algoritmo ogni cinque minuti, che indica se è esso stesso a pilotare il sistema o meno.

Come già detto, il PLC verrà messo in comunicazione con UTA di piano e le pompe presenti nel medesimo locale tecnico. Più precisamente le pompe sono:

- Numero 5 pompe al primo piano, di cui quattro controllano il circuito fan coil ed una i fluidi che vengono inviati all'UTA;
- Numero 5 pompe al terzo piano, di cui quattro controllano il circuito fan coil ed una i fluidi che vengono inviati all'UTA;
- Numero 3 pompe al quarto piano, di cui due controllano il circuito fan coil ed una i fluidi che vengono inviati all'UTA.

Ognuna di queste pompe è equipaggiata con inverter. L'algoritmo in cloud è in grado di comandarne la frequenza, che viene modificata in base alla temperatura interna rilevata dalle sonde eSense di Enerbrain poste in ambiente, con le quali l'algoritmo è in grado di comunicare. Qualora l'algoritmo fosse offline, il PLC subentrerebbe con un controllo di sola accensione e spegnimento di queste pompe.

Le sonde eSense di Enerbrain sono in grado di rilevare, oltre la temperatura, anche l'umidità relativa e la CO_2 presente in ambiente. Grazie a quest'ultimo dato, in particolare, l'algoritmo è capace di impostare la corretta frequenza per gli inverter che comandano i ventilatori dell'UTA: maggiore è la concentrazione di CO_2 all'interno degli ambienti, maggiore sarà il numero di occupanti e maggiore dovrà essere la portata d'aria primaria di rinnovo per mantenere intatte le condizioni di salubrità dell'aria. Qualora mancasse la comunicazione, il PLC gestirebbe tale componente per mezzo di sole accensioni e spegnimenti.
Un altro dato gestito dal sistema di controllo è quello della regolazione della valvola a tre vie posta a monte delle batterie di scambio termico dell'UTA: l'algoritmo interpola i dati delle sonde eSense poste in ambiente per poter controllare in tempo reale la temperatura. Senza comunicazione questo tipo di procedura viene affidato ad un PID interno al PLC. In entrambi i casi si ha un controllo della valvola per mezzo di segnale 0 – 10 V.
In ultimo, viene controllata da algoritmo anche l'aperura delle serrande. Queste regolano l'apertura della presa d'aria esterna, della mandata dell'aria in ambiente e del bypass aeraulico. Tutte le serrande sono installate con controllo 0/1, il che rende possibile controllarne la sola apertura e chiusura. La serranda della presa d'aria esterna, in particolare, viene comandata anche nel caso scatti il termostato antigelo: se la temperatura d'aria esterna fosse troppo fredda, al fine di preservare i componenti meccanici il sistema, a seconda della configurazione, subisce uno spegnimento automatico o attua solo ricircolo escludendo tale presa d'aria.

Infine, viene controllato anche il Gruppo Frigo precedentemente descritto attraverso una scheda Modbus tramite un ePLC che non richiede programmazione da parte del Team di Enerbrain poiché presenta già una sua regolazione con PID interno precalibrato.

9. BUSINESS CASE E RISULTATI ATTESI

Quali vantaggi permette di conseguire un sistema di controllo come quello progettato e discusso nel corso di questo elaborato?
Sicuramente affinchè sia considerato un investimento appetibile dal punto di vista dell'Azienda, questo deve avere un tempo di recupero ragionevole e fornire un risparmio economico rilevante rispetto alla situazione precedente la sua introduzione. Ma il vantaggio economico non è il solo conseguibile, né l'unico che possa incentivare l'installazione di tali sistemi. Nel seguito verranno descritti tutti i risultati che ci si aspetta di ottenere da tale installazione.

9.1. Calcolo del ROI e risultati economici

Il calcolo del Business Case viene effettuato sui soli consumi e costi che è possibile riscontrare nei tre piani dell'edificio oggetto di analisi.
In questo paragrafo si analizzeranno la parte dei costi imputati a conto economico, vale a dire i costi operativi e di sistema che si dovranno sostenere, nonché la controparte del risparmio che l'implementazione del controllo porterà sotto forma di saving energetico e dunque economico.

I costi che Leonardo dovrà sostenere per l'installazione del sistema descritto sono di due tipi:

- **CAPEX**: la spesa capitale, vale a dire i costi fissi ed una tantum, di progettazione, acquisto ed installazione del sistema;
- **OPEX**: costi operativi del sistema, ripetuti annualmente, sono costi necessari al mantenimento del prodotto.

Il CAPEX per Leonardo ammonta a 25.232 € più il costo di installazione pari a 6.800 €, per un totale complessivo di investimento pari a 32.032 €.
L'OPEX per l'utilizzo della piattaforma Enerbrain, dell'algoritmo in cloud e della struttura di comunicazione dati implementata in campo ammonta invece a 2.972 €/anno, che Leonardo dovrà iniziare a riconoscere dopo il primo anno di utilizzo del sistema.

Prendendo la stima dei risparmi fatta nel Capitolo precedente, è stato effettuato il calcolo del ROI (*Return On Investment*) considerando un saving economico complessivo che tenga conto sia del saving elettrico, sia del saving termico, così come già descritto.

Questo saving complessivo viene considerato come risparmio sulla spesa per l'approvvigionamento energetico, che per i soli locali tecnici cui si fa riferimento è stata stimata pari a 65.012 € all'anno. Il saving di 18.031 € viene dunque scontato da tale bolletta su un periodo di tempo di riferimento preso pari a 5 anni. Dall'anno 1 si dovrà infine aggiungere come voce di spesa anche la componente OPEX.

Di seguito si riporta l'andamento del Cash Flow del cliente:

- Anno 0: pagamento del CAPEX, ammontare complessivo pari a -32.032 €;
- Anno 1: Ritorno del saving di 18.031 € e pagamento OPEX pari a 2.972 €, per un totale di +15.059 €;
- Anno 2: Ritorno del saving di 18.031 € e pagamento OPEX pari a 2.972 €, per un totale di +15.059 €;
- Anno 3: Ritorno del saving di 18.031 € e pagamento OPEX pari a 2.972 €, per un totale di +15.059 €;
- Anno 4: Ritorno del saving di 18.031 € e pagamento OPEX pari a 2.972 €, per un totale di +15.059 €;
- Anno 5: Ritorno del saving di 18.031 € e pagamento OPEX pari a 2.972 €, per un totale di +15.059 €.

Il bilancio di tale operazione vedrà un andamento come quello che segue in Figura 76, e si riscontrerà uno ritorno dell'investimento pari a 2 anni ed 1 mese.

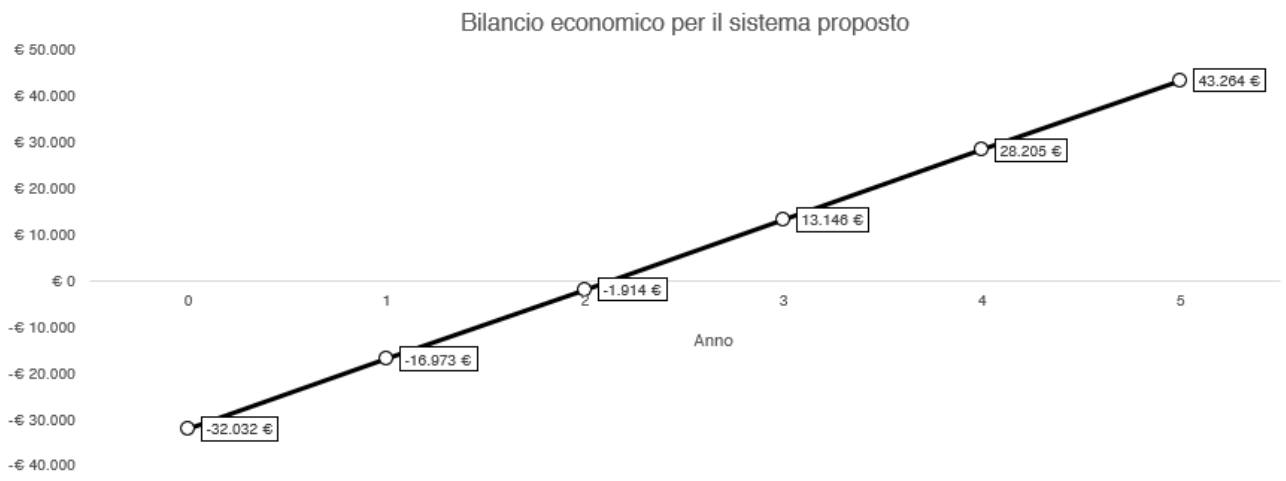


Figura 76: Bilancio economico e tempo di ritorno dell'investimento con Saving elettrico stimato a 20%.

I risultati economici, specie considerando le riflessioni effettuate durante la stima del saving, dove viene esplicitata una certa attenzione a non fornire ipotesi estremamente ottimistiche, sono molto soddisfacenti e capaci di attrarre l'attenzione dell'Azienda, la quale può considerare l'installazione di un sistema di controllo come un investimento da effettuare per il proprio edificio.

9.2. Risultati sociali ed ambientali

I risultati di tipo economico sono certamente fondamentali e trainanti per quanto riguarda la disponibilità di un'Azienda ad attuare quello che a tutti gli effetti è un investimento da effettuare nel proprio stabile piuttosto che nel core business aziendale. Ma oltre a quanto descritto nel paragrafo precedente, i vantaggi che offre questo tipo di soluzione non si fermano alla questione economica, bensì affrontano in modo eccellente tematiche quali il comfort degli occupanti, lo spreco di risorse energetiche e, non certamente ultime, tematiche ambientali come l'emissione di sostanze climalteranti in atmosfera.

È ormai ampiamente dimostrato come esista una correlazione non trascurabile tra la produttività delle persone e le condizioni ambientali in cui le stesse sono inserite [40]. Risulta dunque chiaro che uno dei vantaggi più importanti portati da questa soluzione è certamente il comfort interno degli occupanti: essendo la regolazione basata sulle effettive condizioni interne di temperatura, umidità relativa e CO_2, si potrà usufruire di un ambiente confortevole sotto ognuno di questi aspetti, che porterà a vivere in un luogo di lavoro più sano, in cui gli occupanti percepiranno un maggior benessere fisico e psicologico, e di conseguenza sperimenteranno una maggior soddisfazione e collaborazione dal punto di vista produttivo.
La salute stessa degli occupanti è messa al primo posto implementando un sistema di controllo che tenga in considerazione anche la qualità dell'aria presente all'interno dei locali. Questo fattore risulta essere di primaria importanza anche e soprattutto in un periodo storico come quello che stiamo attraversando, dove la presenza di un agente patogeno quale il COVID-19 porta l'attenzione di tutti sulla salubrità degli ambienti in cui ci si trova.
In casi come quello del Coronavirus il sistema di controllo verrà impostato al fine di garantire una maggior portata d'aria di rinnovo nei locali, massimizzando la qualità e la salubrità degli ambienti interni introducendo sola aria esterna e trascurando il risparmio energetico a beneficio della salute degli occupanti.

Non sono certamente di secondaria importanza anche i vantaggi ambientali che si possono ricavare da un'installazione come quella descritta nel corso di questo elaborato. L'attuazione di logiche di controllo che massimizzino il comfort e minimizzino gli sprechi fanno sì che si utilizzi meno energia per riscaldare o raffrescare un ambiente, e di conseguenza vengano impiegate meno risorse da cui viene estratta l'Energia Primaria impiegata nei processi di climatizzazione. Ne deriva dunque un miglior utilizzo energetico ed un minor sfruttamento di risorse, spesso e volentieri di tipo fossile, per cui vengono impiegati processi di combustione.

Come descritto nella parte introduttiva, al Capitolo 4.1, i processi di combustione sono i maggiori colpevoli del fenomeno di cambiamento climatico. Abbattere gli sprechi nel settore HVAC comporta un minor utilizzo di fonti fossili e dunque un minor impatto ambientale, specie considerando quanto detto nel primo Paragrafo del Capitolo 5: i sistemi HVAC sono tra i maggiori utilizzatori di energia, con una percentuale di utilizzo pari all'80% per il campo residenziale ed una quota certamente proporzionalmente minore ma comunque non trascurabile di utilizzo energetico in campo industriale.

Attraverso un rapido conto è possibile ricavare la quantità di CO_2 emessa in atmosfera prima e dopo l'intervento.
Questo parametro fornisce un'idea di quello che è l'impatto di questo sistema sull'ambiente e dunque quanto un sistema di controllo sia in grado di mitigarne gli effetti nocivi.
Per questo calcolo si è presa una stima media di emissione di CO_2 effettuata sul Sistema Nazionale di produzione di Energia Elettrica dall'Istituto Superiore per la Ricerca e la Protezione Ambientale [41]. In tale report viene fornito il valore di 93,6 Mt di CO_2 emessa all'anno per produrre 283 TWh di Energia Elettrica dal Sistema Elettrico Nazionale. Approssimativamente si parla quindi di 315 g di CO_2 emessa per ogni kWh prodotto dal Sistema Elettrico Italiano.
Per quanto riguarda il Gas Naturale, invece, si utilizza un fattore di emissione pari a 1,93 kg CO_2 emessa per ogni Sm^3 di combustibile bruciato.

Nella Tabella 12 di seguito si mostra il paragone tra le emissioni stimate attraverso questo valore prima e dopo l'intervento:

Tabella 12: Confronto consumi e anidride carbonica emessa pre e post intervento.

	Consumi UTA 1, 3 e 4 pre-intervento	***CO_2 emessa all'anno per alimentare UTA 1, 3 e 4 pre-intervento [t CO_2/anno]***	***Ipotesi di consumi UTA 1, 3 e 4 post-intervento***	***CO_2 emessa all'anno per alimentare UTA 1, 3 e 4 post-intervento [t CO_2/anno]***
Energia Elettrica	386.279 kWh/anno	121,68	309.023 kWh/anno	97,34
Gas Naturale	62.680 Sm^3/anno	120,97	40.815 Sm^3/anno	78,77

La differenza tra prima e dopo l'intervento è netta ed evidente: in un anno è possibile non emettere in atmosfera circa 24,34 tonnellate di CO_2 per miglior efficienza elettrica e circa 42,20 tonnellate di CO_2 per una miglior efficienza termica, per un totale complessivo di 66,53 tonnellate di CO_2 all'anno non emesse in atmosfera.
Questo dato può risultare di difficile comprensione, dunque si propone un confronto con qualcosa di più affine e chiaro a tutti: un'automobile odierna produce dai 100 ai 130 grammi di CO_2 per ogni km effettuato [42]. Prendendo anche il dato peggiore di emissione, quindi 130 gr/km, un risparmio di 66,53 tonnellate di CO_2 all'anno vuol dire che tale macchina non ha percorso circa 511.805 km.

Se su larga scala venissero utilizzati efficienti sistemi di controllo come quello proposto da Enerbrain, verrebbero immesse in atmosfera diverse tonnellate di CO_2 in meno ogni anno, portando un forte giovamento alla salute del Pianeta e di noi tutti.

10. INTERVENTI FUTURI

In questo Capitolo verranno trattati quelli che sono gli interventi consigliabili da attuare in futuro, ma anche quelle che sono delle buone pratiche di gestione, che permettano di perseguire due obiettivi principali, ormai già ampiamente discussi:

- Rendere ancor più performante il sistema di controllo installato e, più in generale, l'edificio in sé, abbattendo i costi di gestione dello stesso pur mantenendo invariate le condizioni di comfort presenti;
- Ridurre il proprio impatto sull'ecosistema e migliorare la sostenibilità ambientale delle scelte energetiche che vengono effettuate.

Innanzi tutto, si consiglia di effettuare il controllo non solo sugli organi che utilizzano i vettori termici ed il Gruppo Frigo, ma direttamente su quelli che hanno il compito di produrre calore come la Centrale Termica.
Una regolazione ben effettuata sulla generazione, con le medesime logiche in cloud descritte in precedenza, permetterebbe di avere un controllo preciso e puntuale delle risorse primarie e come queste vengono impiegate. Al momento, infatti, il controllo sul loro utilizzo è soddisfacente ed è in grado di fornire i risultati descritti in precedenza, ma la generazione dei fluidi rimane costante e a livello nominale, o comunque ad un livello preimpostato dall'utente.
Attuando un efficientamento anche di questa, la percentuale di efficientamento energetico in grado di conseguire crescerebbe certamente, così come l'abbattimento degli sprechi e degli inquinanti immessi in atmosfera.

Un secondo importante intervento è certamente quello di Relamping dell'edificio: i corpi illuminanti presenti possono essere sostituiti con corpi illuminanti a LED, tecnologia ormai diffusa e collaudata che permette di ottenere vantaggi notevoli e rientri di investimento molto brevi. Inoltre, se affiancato alla sostituzione delle lampade viene introdotto un sistema di accensione e spegnimento comandato da un sensore di luminosità, i risparmi possono essere ancora maggiori.
Il rimpiazzo dei corpi illuminanti deve però garantire le stesse condizioni di comfort luminoso già fornite: è fondamentale che l'illuminamento, la resa cromatica e l'ampiezza del fascio luminoso forniti dalla nuova lampada soddisfino i requisiti minimi esplicitati da normativa, e comunque apportino condizioni di comfort minime per l'ambiente di lavoro in cui ci si trova.

Un altro possibile intervento riguarda le componenti trasparenti ed opache dell'edificio: essendo un edificio di non recente realizzazione, alcuni interventi strutturali di coibentazione termica apporterebbero notevoli vantaggi. Sebbene gli infissi siano stati recentemente sostituiti con vetri doppi e frame di più recente costruzione e minor trasmittanza termica, è comunque consigliabile intervenire sui componenti che presentano maggiori dispersioni termiche, anche approfittando di vantaggiosi incentivi statali messi a disposizione per questa tipologia di interventi. Gli incentivi principali a cui poter far riferimento sono fondamentalmente due: il Conto Termico [43] e la Detrazione Fiscale 65% [44].

Un importante investimento che può garantire risparmio e indipendenza è quello dell'installazione di impianti adatti all'autoproduzione di parte dell'energia consumata dallo stabile in questione.
Piuttosto che prevedere una microturbina o un piccolo motore a combustione interna, tipologia di macchinari che spesso vengono utilizzati quando devono essere instaurati processi di cogenerazione elettrica e termica, sarebbe preferibile valutare l'implementazione di pannelli solari fotovoltaici, in quanto in questo specifico caso il vettore energetico maggiormente richiesto è l'Energia Elettrica, come ampiamente visto nel precedente Capitolo 7.
L'installazione di pannelli solari fotovoltaici potrebbe sfruttare l'ampia superficie orizzontale costituita dalla soletta dell'edificio e in gran parte inutilizzata. Sarebbe consigliabile una valutazione dell'investimento necessario ad attrezzarsi di tale strumentazione e del relativo tempo di rientro, ma dati i consumi precedentemente descritti, questa tipologia di impianti potrebbe migliorare ancora di più le prestazioni energetiche dell'edificio una volta affiancato al sistema di controllo.

Infine, non si deve sottovalutare l'apporto che sono in grado di fornire le buone pratiche di Operation and Maintenance (O&M) correttamente eseguite. Una conduzione e manutenzione impiantistica puntuale e precisa permette di mantenere in buono stato gli impianti, preservandone l'efficienza e aumentandone la durata nel tempo. Una squadra di esperti manutentori idraulici, meccanici ed elettrici è fondamentale per la buona gestione degli impianti e per effettuare tutte quelle pratiche quotidiane necessarie al corretto funzionamento di tutti gli apparati.

11. CONCLUSIONI

I sistemi di controllo sono sempre più considerati nei processi di efficientamento energetico all'interno del settore della climatizzazione. Certamente questa maggior attenzione deriva dal loro rapporto benefici/costi molto elevato: sono sistemi generalmente non molto costosi, che permettono però di ottenere notevoli vantaggi sotto forma di riduzione di consumi e sprechi, degli inquinanti immessi in atmosfera e dei costi associati all'esercizio degli impianti.
Grazie a controllori sempre più efficienti, l'atto di riformare un sistema energetico permette di prendere in considerazione ulteriori possibilità precedentemente non esplorate: prima era sinonimo di sostituzione degli impianti con nuovi elementi più efficienti, intervento non sempre scontato dato il costo delle componenti. Adesso è invece possibile efficientare il proprio sistema con una spesa minore, introducendo apparecchi intelligenti di gestione delle risorse energetiche.

In questo elaborato si descrivono le fasi preliminari di progettazione di uno di questi sistemi. I dati su cui si basa questa analisi, ed in particolare il calcolo dell'efficientamento energetico conseguibile, sono dati che fanno riferimento ad una solida esperienza conseguita in altri edifici di simile tipologia e destinazione d'uso, ulteriormente supportati dalle indicazioni della legislazione termotecnica cui gli impiantisti fanno riferimento.
Al fine di verificare la validità delle ipotesi fatte e confermare i risultati attesi risulta essere necessario attendere l'installazione e la configurazione del sistema di PLC comandato da algoritmo in cloud, nonché l'acquisizione di dati comfort ambientale e di consumi energetici, questi ultimi disponibili, ad esempio, per mezzo di bollette di fornitura di Energia Elettrica e Gas Naturale, o ancora attraverso concentratori di dati installati direttamente in campo.
Come si può certamente comprendere, tale attesa è condizione necessaria affinchè si abbiano a disposizione i dati di consumo reale, con i quali sarà possibile in futuro verificare l'esattezza di quanto stimato e confermare la bontà dell'efficienza energetica che il sistema di controllo che si intende installare è in grado di fornire all'edificio.

Nonostante, per completezza, i numeri forniti nel corso di questa Tesi Magistrale richiedano un loro riscontro nei dati che si andranno a raccogliere ed analizzare in futuro e la stima del saving effettivo richieda la stesura della firma energetica dello stabile anche a posteriori dell'intervento, i risultati ottenibili sono certamente di ottima fattura.

Per mezzo di una stima effettuata, con le dovute precauzioni, si possono riconoscere effetti positivi in campo economico, sociale, ambientale e di comfort personale.
I sistemi di controllo già installati stanno portando benefici all'ambiente e a tutti coloro che usufruiscono di tale tecnologia. I risultati conseguibili, rispetto ai costi dell'intero sistema da installare, sono senza dubbio meritevoli di attenzione e il panorama industriale sta diventando sempre più consapevole di ciò.
Per i grandi complessi energivori, così come per le piccole imprese, il sistema di controllo può diventare una risorsa per combattere sprechi e massimizzare le risorse, sia di tipo energetico che di tipo economico.
L'utilizzo di PLC comandati da un algoritmo in cloud contribuisce a limare le situazioni di discomfort presenti andando a fare un controllo puntuale di tutte le componenti con cui comunica in tempo reale, mentre le logiche di machine learning affinano sempre più questa capacità analizzando dati di utilizzo storico abituale e prevedendo quindi l'utilizzo degli ambienti interni. Inoltre, le logiche residenti in cloud sono *fail safe* in quanto non residenti in un singolo computer o controllore che può rompersi o essere guastato, ma appunto in una serie di server disseminati in tutto il mondo.

I sistemi di controllo, in definitiva, permettono di limitare sprechi e consumi. Un taglio netto delle risorse non può essere considerata una soluzione, poiché verrebbero meno le condizioni di comfort che devono essere garantite, e che sono il primario scopo di ogni impianto termico. Le risorse energetiche si possono, tuttavia, sfruttare meglio, utilizzandole solo quando necessario e massimizzando il loro contributo. Per farlo in modo puntuale e in tempo reale non è più pensabile affidare la regolazione all'uomo e serve sfruttare le risorse oggi presenti in campo tecnologico.
In questo modo si potrà davvero contribuire ad un futuro più sostenibile, raggiungendo quegli obiettivi di abbattimento degli inquinanti senza privarsi dello stato di benessere cui siamo abituati.

12. BIBLIOGRAFIA:

[1] G. T. Farmer and John Cook, *Climate change science: a modern synthesis*, vol. 1. 2013.

[2] C. D. Thomas *et al.*, "Extinction risk from climate change," *Nature*, vol. 427, no. 6970, pp. 145–148, 2004, doi: 10.1038/nature02121.

[3] Wikipedia, "Buco nell'ozono wiki." https://it.wikipedia.org/wiki/Buco_nell%27ozono (accessed Jun. 08, 2020).

[4] D. Solomon, S. *et al.*, "Summary for Policymakers. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change," *D Qin M Manning Z Chen M Marquis K Averyt M Tignor HL Mill. New York Cambridge Univ. Press pp*, vol. Geneva, p. 996, 2007, doi: 10.1038/446727a.

[5] Wikipedia, "Riscaldamento globale Wiki." https://it.wikipedia.org/wiki/Riscaldamento_globale#Retroazioni (accessed Jun. 08, 2020).

[6] IPCC, "Climate change causes." https://web.archive.org/web/20070501031449/http://ipcc-wg1.ucar.edu/wg1/wg1-report.html (accessed Jun. 10, 2020).

[7] Wikipedia, "Protocollo di Kyoto wiki." https://it.wikipedia.org/wiki/Protocollo_di_Kyoto (accessed Jun. 10, 2020).

[8] EU, "European Climate Action." https://ec.europa.eu/clima/policies/eu-climate-action_en (accessed Jun. 10, 2020).

[9] Enerbrain, "Enerbrain website." https://www.enerbrain.com/ (accessed Aug. 30, 2020).

[10] R. McDowall, *Fundamentals of HVAC Control Systems*. 2006.

[11] L. Keviczky, R. Bars, J. Hetthéssy, and C. Bányász, *Control Engineering*. 2019.

[12] V. M. Hernández-Guzmán and R. Silva-Ortigoza, *Automatic Control with Experiments*. 2019.

[13] S. Bennett, "Nicolas Minorsky and the Automatic Steering of Ships," *IEEE Control Syst. Mag.*, vol. 4, no. 4, pp. 10–15, 1984, doi: 10.1109/MCS.1984.1104827.

[14] W. Bolton, *Instrumentation and Control Systems*. 2015.

[15] V.Viktorov and F.Colombo, *Automazione dei sistemi meccanici-corso di base*. 2005.

[16] EU, "European report energy consuming." https://ec.europa.eu/energy/topics/energy-efficiency/heating-and-cooling_en (accessed Jul. 01, 2020).

[17] B. R. Mehta and Y. J. Reddy, *Industrial process automation systems: Design and implementation*. 2014.

[18] Wikipedia, "SCADA." https://it.wikipedia.org/wiki/SCADA (accessed Jul. 19, 2020).

[19] W. H. C. D. Kumara and K. G. A. S. Waidyasekara, "Contribution of Building Management System towards Sustainable Built Environment," *Second World Costr. Symp. 2013 Socio-Economic Sustain. Constr.*, vol. 0, p. 11, 2013.

[20] D. J. Brooks, M. Coole, P. Haskell-Dowland, M. Griffiths, and N. Lockhart, "Building Automation &

Control Systems: An Investigation into Vulnerabilities, Current Practice & Security Management Best Practice," no. August, p. 210, 2017, [Online]. Available: https://goo.gl/RM7ukP.

[21] D. Caro, *Industrial data communications protocols and application layers*. 2016.

[22] Wikipedia, "Topologia_di_rete." https://it.wikipedia.org/wiki/Topologia_di_rete (accessed Jul. 27, 2020).

[23] P. Ehrlich, "Building automation - Schneider," 2014. doi: 10.1016/b978-075067999-2/50015-2.

[24] D. Meneghel, "REGOLATORI PID: TECNICHE DI SINTESI E PROBLEMATICHE IMPLEMENTATIVE," 2010.

[25] Wikipedia, "PLC wiki." https://it.wikipedia.org/wiki/Controllore_logico_programmabile (accessed Jul. 16, 2020).

[26] Arduino, "Arduino web page." https://www.arduino.cc (accessed Jul. 29, 2020).

[27] Wikipedia, "Arduino wiki." https://it.wikipedia.org/wiki/Arduino_(hardware) (accessed Jul. 30, 2020).

[28] Raspberry Pi, "Raspberry Pi web page." https://www.raspberrypi.org/help/what- is-a-raspberry-pi/ (accessed Jul. 31, 2020).

[29] Wikipedia, "Raspberry Pi wiki." https://it.wikipedia.org/wiki/Raspberry_Pi (accessed Jul. 31, 2020).

[30] Siemens, "Siemens S7 web page." https://new.siemens.com/global/en/products/automation/systems/industrial/plc/simatic-s7-1500.html (accessed Aug. 07, 2020).

[31] Bosseboeuf et al., "Energy Efficiency Trends and Policies in the Household and Tertiary Sectors," no. June, p. 97, 2015, doi: DOI 10.1089/pho.2012.3369.

[32] Leonardo S.p.A., "Leonardo S.p.A. homepage." https://www.leonardocompany.com/it/home (accessed May 05, 2020).

[33] Wikipedia, "Leonardo S.p.A. Wiki." https://it.wikipedia.org/wiki/Leonardo_(azienda) (accessed May 05, 2020).

[34] E. I. di Normazione, "UNI 10349." 1994.

[35] G. U. della R. Italiana, "D.P.R. 26 agosto 1193 n 412." https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/1993/10/14/093G0451/sg (accessed Aug. 10, 2020).

[36] E. I. di Normazione, "Allegato nazonale A del prEN 12831 - 2000-08 E." 2002.

[37] M. Doninelli and G. L. I. Impianti, "Gli impianti a collettori."

[38] G. U. della R. Italiana, "Decreto legislativo 30 maggio 2008 n 115." https://www.gazzettaufficiale.it/atto/serie_generale/caricaDettaglioAtto/originario?atto.dataPubblicazioneGazzetta=2008-07-03&atto.codiceRedazionale=008G0137&elenco30giorni=false (accessed Sep. 05, 2020).

[39] G. U. della R. Italiana, "Decreto legislativo 4 luglio 2014, n 102." https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2014/07/18/14G00113/sg (accessed Sep. 05, 2020).

[40] S. Schiavon and R. Zecchin, “Clima Interno e Produttività negli Uffici,” pp. 40–56, 2008.

[41] ISPRA, *Fattori di emissione atmosferica di CO2 e altri gas a effetto serra nel settore elettrico*, vol. 11, no. 3. 2017.

[42] Sole 24 Ore, “L’automobile, la CO2 e la disinformazione targata Greenpeace.” https://www.ilsole24ore.com/art/l-automobile-co2-e-disinformazione-targata-greenpeace-ACG8yNI?refresh_ce=1 (accessed Sep. 29, 2020).

[43] GSE, “Conto Termico.” https://www.gse.it/servizi-per-te/efficienza-energetica/conto-termico (accessed Sep. 28, 2020).

[44] Agenzia delle Entrate, “Detrazione Fiscale 65%.” https://www.agenziaentrate.gov.it/portale/schede/agevolazioni/detrazione-riqualificazione-energetica-55-2016/cosa-riqualificazione-55-2016 (accessed Sep. 28, 2020).

13. ALLEGATI

13.1. Scheda tecnica – UTA quarto piano

SCHEDA TECNICA

Scheda tecnica **936-11-002** **Data offerta 29-11-2011**
Cliente
RS SERVICE srl

RIFERIMENTO:	4° PIANO	PORTATA:	10000 m³/h	N° UNITA'	1
REVISIONE:	00	DATA:	29-11-2011		
UNITA' TIPO:	CTL 100	SERIE N°:	151711-93611		

Caratteristiche generali AHU e Opzioni costruttive

SINISTRA
DESTRA

ISPEZIONI:
SINISTRA ☐
DESTRA ☑

ATTACCHI:
SINISTRA ☐
DESTRA ☑

PANNELLO: Lato esterno in acciaio prevernic. sp 6/10 Lato interno in acciaio zincato sp 6/10 Spessore 48 [mm]

PROFILO Profilo in alluminio anodizzato
COIBENTE: in poliuretano iniettato densità 40 kg/m³.
ANGOLI: Alluminio pressofuso verniciato nero
MATERIALE CARPENTERIA: Acciaio zincato
Basamento : lamiera zincata

PROF. ANGOLO: 50
PROF. OMEGA: 50

Lunghezza mm 4500 **Profondità mm** 1550 **Altezza mm** 2100 + 150 **Peso Kg** 1080

Attenuazione acustica della pannellatura analisi in frequenza

F [Hz]	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
db	3	8	8	13	15	16	32	36

Caratteristiche meccaniche struttura secondo EN1886			
Resistenza meccanica	Tenuta	Trasmittanza termica	Taglio Termico
D1(M)	L2	T3	TB4

Codice	Filtro sintetico/metallico	
n° pz.	**Descrizione**	**Marca - Codice**
2	Filtro piano, a setto sintetico pieghettato, celle filtranti 48 mm, eff. EU4 - 90% 625x500x48 mm	
2	Filtro piano, a setto sintetico pieghettato, celle filtranti 48 mm, eff. EU4 - 90% 625x400x48 mm	
	Perdita di carico filtro iniziale 50 Pa - Perdita di carico filtro media 100 Pa - Perdita di carico filtro finale 150 Pa	

11/29/11 10:25:31
Mod. 027 Rev.0 data 06/04/09

Loran S.r.l. - Via Brugnoli, 3 37063 Isola della Scala (VR)
Tel +39 045 6631042 - Fax +39 045 6631039
http://www.loranair.it - email:loran@loranair.it

Off. N° 11936-11/B
Software CTAPRO Rel. 2.13 03-03-2011
Page 1/5

SCHEDA TECNICA

Scheda tecnica **936-11-002** **Data offerta 29-11-2011**
Cliente
RS SERVICE srl

RIFERIMENTO:	4° PIANO	PORTATA:	10000 m³/h	N° UNITA'	1
REVISIONE:	00	DATA:	29-11-2011		
UNITA' TIPO:	CTL 100	SERIE N°:	151711-93611		

Codice		**Ventilatore di ripresa**	
n° pz.	**Descrizione**		**Marca - Codice**
1	Grandezza 400	Tipo ventilatore Pale avanti	TLZ 400 R
	Portata aria 9000 m³/h, Press. Statica utile 140+50 Pa, Press. Statica totale 555 Pa		Comefri/ABB
	N.Giri 954 RPM, Potenza sonora Lw (Asp.) 80.9 db(A), Rendimento 65.91 %		
	Press. Dinamica 57 Pa, Press. Totale 612 Pa, Potenza richiesta 2.32 kW		
	Velocità aria su bocca ventilatore 9.73 m/s		
	Dimensioni bocca 507 x 507 mm		
1	**MOTORE **IE2****		
	3 kW	4 Poli 230-400/3/50 V/ph/Hz	
	Taglia	100L	
	Rendimento	83 %	
	Potenza in ingresso	2.3 kW	
	Potenza motore assorbita	2.9 kW	
	Con motore Standard		
	Motore classe 1		
	TRASMISSIONE		
1	Puleggia motore SPB 125x1 Diametro albero 28 mm		
1	Bussola 1610 foro 28 mm		
1	Puleggia ventilatore SPB 190x1 Diametro albero 30 mm		
1	Bussola 2012 foro 30 mm		
1	Cinghia mod. B		
1	Slitta motore 63/100 SC100		
1	Microinterruttore di sicurezza + rete antinfortunistica		
	Ammortizzatori in gomma		

Livello di potenza sonora per bande d'ottava (dB)

F [Hz]	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
dB	83	82	79	77	76	74	70	66

Loran S.r.l. - Via Brugnoli, 3 37063 Isola della Scala (VR)
Tel +39 045 6631042 - Fax +39 045 6631039
http://www.loranair.it - email:loran@loranair.it

SCHEDA TECNICA

Scheda tecnica **936-11-002** **Data offerta 29-11-2011**
Cliente
RS SERVICE srl

RIFERIMENTO:	4° PIANO	PORTATA:	10000 m³/h	N° UNITA'	1
REVISIONE:	00	DATA:	29-11-2011		
UNITA' TIPO:	CTL 100	SERIE N°:	151711-93611		

Codice	**Recuperatore statico**				
n° pz.	**Descrizione**				**Marca - Codice**
1	BI AL 07 N 1100 M 1 AR CD SC				RECUPERATOR
	Aria Espulsa				
	Temperatura aria espulsione in	20 °C	Umidità relativa espulsione in	50 %	
	Temperatura aria espulsione out	8.41 °C	Umidità relativa espulsione out	91 %	
	Portata aria di espulsione	9000 m³/h	Perdita carico lato espulsione	228 Pa	
	Aria rinnovo				
	Temperatura aria esterna in	-5 °C	Umidità relativa esterna in	80 %	
	Temperatura aria esterna out	7.72 °C	Umidità relativa esterna out	30 %	
	Portata aria esterna	10000 m³/h	Perdita carico lato esterna	263 Pa	
	Potenzialità di recupero	42.6 kW	Rendimento	56.5 %	
			Rapp. Temperature	50.9 %	
	Pacco scambiatore in lamiere di alluminio				
	Bacinella in acciaio zincato				
	Con telaio in alluminio				
	Filtro su aria rinnovo				
2	Filtro piano, a setto sintetico pieghettato, celle filtranti 48 mm, eff. EU4 - 90% 625x500x48 mm				
2	Filtro piano, a setto sintetico pieghettato, celle filtranti 48 mm, eff. EU4 - 90% 625x400x48 mm				
	Perdita di carico filtro iniziale 57 Pa - Perdita di carico filtro media 103 Pa - Perdita di carico filtro finale 150 Pa				
	Serranda di ricircolo				
1	Serranda di regolazione, telaio in alluminio, alette in alluminio,dimensioni 1210x310 mm.				PDR
	Serranda di presa aria esterna				
1	Serranda di regolazione, telaio in alluminio, alette in alluminio,dimensioni 1460x510 mm.				PDR
	Serranda di espulsione				
1	Serranda di regolazione, telaio in alluminio, alette in alluminio,dimensioni 1460x410 mm.				PDR

Codice	**Filtro a tasche rigide**	
n° pz.	**Descrizione**	**Marca - Codice**
2	Filtro a tasche rigide efficienza F7 - 85% N° 592x287x292 mm	
2	Filtro a tasche rigide efficienza F7 - 85% N° 592x592x292 mm	
	Perdita di carico filtro iniziale 145 Pa - Perdita di carico filtro media 223 Pa - Perdita di carico filtro finale 300 Pa	
	Estrazione filtri a cassetto	

SCHEDA TECNICA

Scheda tecnica **936-11-002** **Data offerta 29-11-2011**
Cliente
RS SERVICE srl

RIFERIMENTO:	4° PIANO	PORTATA:	10000 m³/h	N° UNITA'	1
REVISIONE:	00	DATA:	29-11-2011		
UNITA' TIPO:	CTL 100	SERIE N°:	151711-93611		

Codice	**Batteria di raffreddamento**	
n° pz.	**Descrizione**	**Marca - Codice**
1	BAF30x12 T28 L1250 R4 C28 P2.5 **(coperchi sup/inf da 15 mm)** Materiale Rame x 0.35 mm - Alluminio 0.12 mm - 4 Ranghi - 28 Circuiti - Telaio in ferro zincato mm 1.50 Portata aria 10000 [m³/h], Velocità aria 2.65 [m/s], Perdita di carico aria 121 [Pa] Densità aria 1.157 [Kg/m³] Aria entrante: TBS 32.0 [C°], TBU 25.6 [°C], UR 60 [%], entalpia 78.5 [kj/kg] Aria uscente: TBS 19.4 [C°], TBU 18.6 [°C], UR 93 [%], entalpia 52.8 [kj/kg] Tipo fluido:Acqua Fluido entrante: 7.0 [°C], Fluido uscente: 12.0 [C°] Portata Fluido: 14781 [dm³/h], Velocità Fluido: 1.4 [m/s], Perdite di carico: 20.2 [kPa] Potenza totale: 86.0 [kW] Potenza sensibile: 43.0 [kW] Diametro collettori: 2" Superficie di scambio 78.69 [m²] Volume interno (escluso collettore) 22.70 [l] Separatore di gocce 2 pieghe in PVC Bacinella in acciaio zincato **Dimensionata per condizioni umide**	DBM

SCHEDA TECNICA

Scheda tecnica **936-11-002** **Data offerta 29-11-2011**
Cliente
RS SERVICE srl

RIFERIMENTO:	4° PIANO	PORTATA:	10000 m³/h	N° UNITA'	1
REVISIONE:	00	DATA:	29-11-2011		
UNITA' TIPO:	CTL 100	SERIE N°:	151711-93611		

Codice	**Ventilatore di mandata**	
n° pz.	**Descrizione**	**Marca - Codice**
1	Grandezza 400 Tipo ventilatore Pale rovesce	THLZ 400 R
	Portata aria 10000 m³/h, Press. Statica utile 150+70 Pa, Press. Statica totale 989 Pa	Comefri/ABB
	N.Giri 2346 RPM, Potenza sonora Lw (Asp.) 90.0 db(A), Rendimento 77.90 %	
	Press. Dinamica 70 Pa, Press. Totale 1059 Pa, Potenza richiesta 3.78 kW	
	Velocità aria su bocca ventilatore 10.81 m/s	
	Dimensioni bocca 507 x 507 mm	
1	**MOTORE **IE2****	
	5.5 kW 4 Poli 400/3/50 V/ph/Hz	
	Taglia 132S	
	Rendimento 86 %	
	Potenza in ingresso 3.8 kW	
	Potenza motore assorbita 4.6 kW	
	Con motore Standard	
	Motore classe 1	
	TRASMISSIONE	
1	Puleggia motore SPB 212x2 Diametro albero 38 mm	
1	Bussola 2517 foro 38 mm	
1	Puleggia ventilatore SPB 140x2 Diametro albero 30 mm	
1	Bussola 2012 foro 30 mm	
2	Cinghia mod. B	
1	Slitta motore 90/132 SC132	
1	Microinterruttore di sicurezza + rete antinfortunistica	
	Ammortizzatori in gomma	

Livello di potenza sonora per bande d'ottava (dB)

F [Hz]	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
dB	90	87	88	85	87	81	75	71

		Banda ottava (Hz)						
Potenza sonora	Tot.dB(A)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Potenza sonora aspirazione (mandata)	85	89	85	85	81	82	75	68	63
Potenza sonora mandata (mandata)	90	90	86	89	86	87	81	75	71
Potenza sonora aspirazione (ripresa)	76	82	80	76	73	71	68	63	58
Potenza sonora mandata (ripresa)	82	80	79	78	81	77	75	73	66
Potenza sonora irradiata	77		78	81	73	72	65	43	35

13.2. Scheda tecnica – Serrande Siemens

SIEMENS **4613**

OpenAir™

Air damper actuators GCA..1

Rotary version with spring return,
AC 24 V / DC 24…48 V / AC 230 V

Electronic motor driven actuators for two-position, three-position, and modulating control, nominal torque 18 Nm, with spring return, self-centering shaft adapter, mechanically adjustable span between 0...90°, pre-wired with 0.9 m long connection cables.
Type-specific variations with adjustable offset and span for the positioning signal, position indicator, feedback potentiometer and adjustable auxiliary switches for supplementary functions.

Remarks

This data sheet provides a brief overview of these actuators. Please refer to the Technical Basics in document Z4613en for a detailed description as well as information on safety, engineering notes, mounting and commissioning.

Use

- For damper areas up to 3 m^2, friction-dependent.
- In ventilation sections where the actuator must move to the zero position (emergency position) during power failure.
- For dampers having two actuators on the same damper shaft (tandem-mounted actuators or Powerpack).

Type summary

GCA...	121.1E	126.1E	321.1E	326.1E	131.1E	135.1E	161.1E	163.1E	164.1E	166.1E
Control type	Two-position control				Three-position control		Modulating control			
Operating voltage AC 24 V / DC 24...48 V	X	X			X	X	X	X	X	X
Operating voltage AC 230 V			X	X						
Positioning signal Y DC 0...10 V							X			X
DC 0...35 V with characteristic function Uo, ΔU								X	X	
Position indicator U = DC 0...10 V							X	X	X	X
Feedback potentiometer 1 kΩ						X				
Auxiliary switches (two)		X		X		X			X	X
Powerpack (2 actuators)	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Functions

Type	GCA12..1 / GCA32..1	GCA13..1	GCA16..1
Control type	Two-position control	Three-position control	Modulating control
Positioning signal with adjustable characteristic function			DC 0...35 V at Offset Uo = 0...5 V Span ΔU = 2...30 V
Rotary direction	Clockwise or counter-clockwise movement depends on the mounting position of the damper shaft...		
		and on the type of control	
Spring return function	On power failure or when the operating voltage is switched off, the spring return moves the actuator to its mechanical zero position.		
Position indication: Mechanical	Rotary angle position indication by using a position indicator.		
Position indication: Electrical		The feedback potentiometer can be connected to external voltage to indicate the position.	Output voltage U = DC 0...10 V is generated proportional to the rotary angle.
Auxiliary switch	The switching points for auxiliary switches A and B can be set independent of each other in increments of 5° within 5° to 90°.		
Powerpack (two actuators, tandem-mounted)	Mounting two of the same actuator types on the same damper shaft results in a double torque (with accessories ASK73.1).		Mounting two of the same actuator types on the same damper shaft results in a double torque (with accessories ASK73.2).
Rotary angle limitation	The rotational angle of the shaft adapter can be limited mechanically at increments of 5°.		

Ordering

Note — Potentiometer **cannot be added in the field**. For this reason, order the type that includes the required options.

Delivery — Individual parts such as position indicator and other mounting materials for the actuator are **not mounted** on delivery.

Accessories, spare parts — Accessories to functionally extend the actuators are available, e.g., linear/rotary sets, auxiliary switches (1 or 2 switches) and weather protection cover; see data sheet **N4699**.

Technical data

⚠ AC 24 V / DC 24...48 V supply (SELV/PELV)	Operating voltage AC / Frequency	AC 24 V ± 20 % / 50/60 Hz
	Operating voltage DC	DC 24...48 V ± 20 %
	Power consumption Running	AC: 7 VA / 5 W
	Running	DC: 4 W
	Holding	AC: 5 VA / 3 W
	Holding	DC: 3 W
⚠ AC 230 V supply	Operating voltage / Frequency	AC 230 V ± 10 % / 50/60 Hz
	Power consumption Running	8 VA / 6 W
	Holding	6 VA / 4 W
Function data	Nominal torque	18 Nm
	Maximum torque (blocked)	50 Nm
	Nominal rotary angle / Max. rotary angle	90° / 95° ± 2°
	Runtime for rotary angle 90° (motor operation)	90 s
	Closing time with return spring (on power failure)	15 s
Positioning signal *for GCA13..1*	Switching current (at AC 24 V) for "Open"/"Close" (wires 6, 7)	typical 8 mA
Positioning signal *for GCA16..1*,	Input voltage Y (wires 8-2)	DC 0...10 V
	Max. permissible input voltage	DC 35 V
Characteristic functions *for GCA161.1, 166.1* *for GCA163.1, 164.1*	Input voltage Y (wires 8-2)	DC 0...35 V
	Non-adjustable characteristic function	DC 0...10 V
	Adjustable characteristic function Offset Uo	DC 0...5 V
	Span ΔU	DC 2...30 V
Position indicator *for GCA16..1*	Output voltage U (wires 9-2)	DC 0...10 V
	Max. output current	DC ± 1 mA
Feedback potentiometer *for GCA132.1*	Change of resistance (wires P1-P2)	0...1000 Ω
	Load	< 1 W
⚠ Auxiliary switch *for GCA..6.1, 164.1*	AC power supply	
	Switching voltage	AC 24...230 V
	Nominal current res./ind.	AC 6 A / 2 A
	DC power supply	
	Switching voltage	DC 12...30 V
	Nominal current	DC 2 A
	Switching range for auxiliary switches / Setting increments	5°...90° / 5°
Connection cables	Cross-section	0.75 mm^2
	Standard length	0.9 m
Degree of protection of housing	Degree of protection as per EN 60 529 (note mounting instructions)	IP 54
Protection class	Insulation class	EN 60 730
	AC 24 V, feedback potentiometer	III
	AC 230 V, auxiliary switch	II
Environmental conditions	Operation / Transport	IEC 721-3-3 / IEC 721-3-2
	Temperature	–32...+55 °C / –32...+70 °C
	Humidity (non-condensing)	< 95% r. F. / < 95% r. F.
Norms and directives	Product safety: Automatic electrical controls for household and similar use	EN 60 730-2-14 (Type 1)
	Electromagnetic compatibility (Application)	For residential, commercial and industrial environments
	EU Conformity (CE)	A5W00004370 [1]
	RCM Conformity	A5W00004371 [1]
	Product environmental declaration [2]	CE1E4613en [1]
Dimensions	Actuator B x H x T (see "Dimensions")	100 x 300 x 67.5 mm
	Damper shaft: Round / square	8...25.6 / 6...18 mm
	Min. shaft length	20 mm
Weight	Without packaging: GCA1..1 / GCA32..1	2 kg / 2.1 kg

[1] The documents can be downloaded from http://siemens.com/bt/download

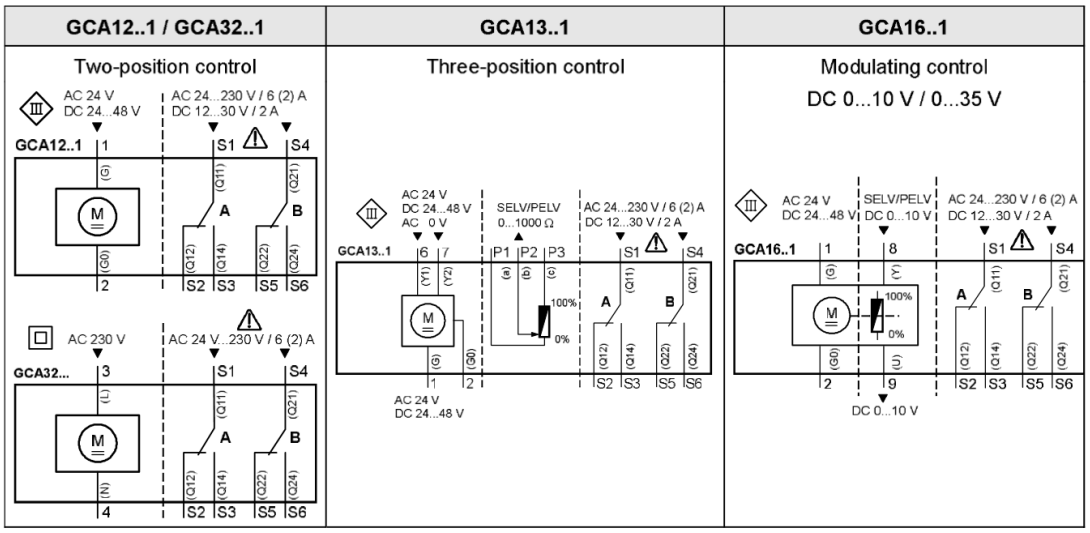
[2] The product environmental declaration contains data on environmentally compatible product design and assessments (RoHS compliance, materials composition, packaging, environmental benefit, disposal).

Disposal

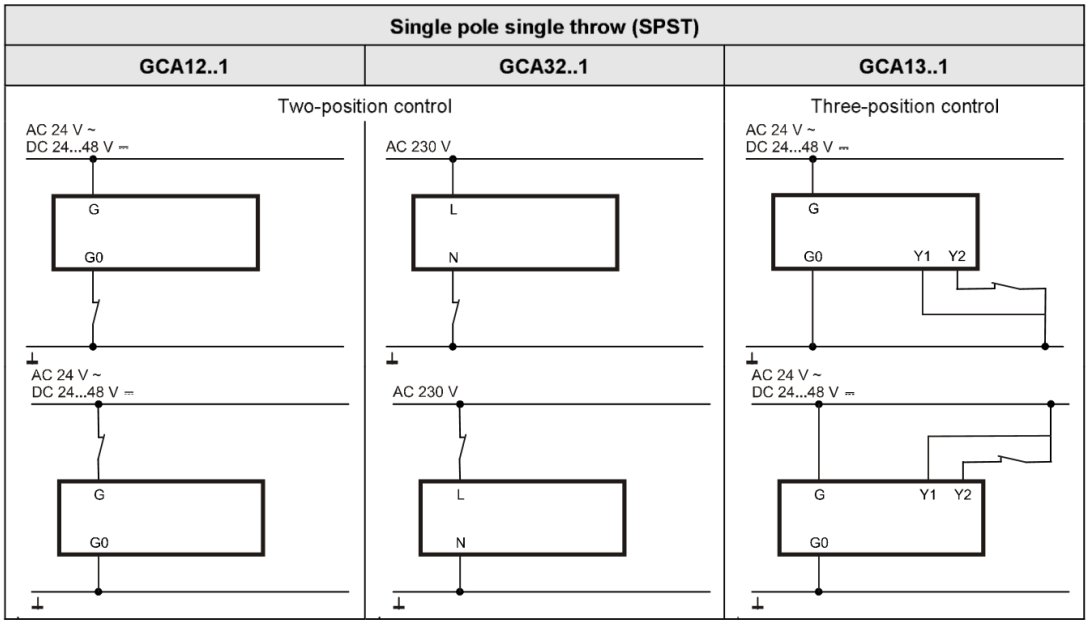
The device is considered an electronics device for disposal in terms of European Directive 2012/19/EU and may not be disposed of as domestic garbage.

- Dispose of the device through channels provided for this purpose.
- Comply with all local and currently applicable laws and regulations.

Internal diagrams

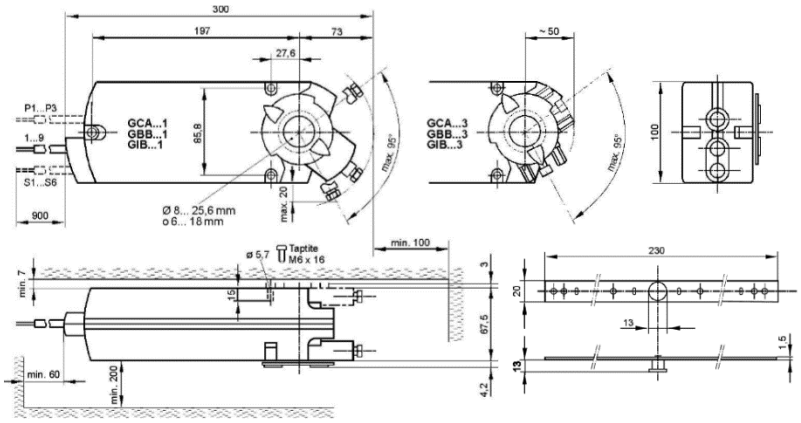


Connection diagrams



Pin	Cable labeling				Meaning
	Code	No.	Color	Abbreviation	
Actuators	G	1	red	RD	System potential AC 24 V / DC 24…48 V
AC 24 V	G0	2	black	BK	System neutral
DC 24…48 V	Y1	6	purple	VT	Pos. signal AC 0 V / AC 24 V / DC 24…48 V, "open"
	Y2	7	orange	OG	Pos. signal AC 0 V / AC 24 V / DC 24…48 V, "close"
	Y	8	grey	GY	Pos. signal DC 0...10 V, 0...35 V
	U	9	pink	PK	Position indication DC 0...10 V
Actuators	L	3	brown	BN	Phase AC 230 V
AC 230 V	N	4	blue	BU	Neutral conductor
Auxiliary switch	Q11	S1	grey/red	GY RD	Switch A input
	Q12	S2	grey/blue	GY BU	Switch A normally-closed contact
	Q14	S3	grey/pink	GY PK	Switch A normally-open contact
	Q21	S4	black/red	BK RD	Switch B input
	Q22	S5	black/blue	BK BU	Switch B normally-closed contact
	Q24	S6	black/pink	BK PK	Switch B normally-open contact
Feedback	a	P1	white/red	WH RD	Potentiometer 0...100 % (P1-P2)
potentiometer	b	P2	white/blue	WH BU	Potentiometer pick-off
	c	P3	white/pink	WH PK	Potentiometer 100...0 % (P3-P2)

Dimensions



Dimensions in mm

13.3. Scheda tecnica – Pompe Grundfos

GRUNDFOS

Nome Società: -
Creato da: -
Telefono: -
Fax: -
Data: -

Posizione	Q.tà	Descrizione
	1	**UPS 40-120 F**

Attenzione: le foto e i disegni sono solo indicativi

Codice prodotto: 96401942
La pompa è del tipo a canotto separatore con rotore bagnato,cioè pompa e motore formano un corpo unico senza tenuta meccanica e con solo due guarnizioni .
E' stata posta particolare attenzione nel limitare la tipologia dei materiali di costruzione.
I cuscinetti sono lubrificati dallo stesso liquido pompato.

La pompa è caratterizzata da:

* motore a tre velocità
* cuscinetti radiali in ceramica
* cuscinetto reggispinta in grafite
* canotto separatore,supporto cuscinetto e placcatura rotore in acciaio inox
* cassa statore in lega di alluminio
* corpo pompa in Ghisa
* statore con protezione termica incorporata

Il motore è del tipo asincrono 1.

La pompa viene fornita con il modulo standard inserito nella scatola di controllo

Il modulo standard deve essere connesso all'alimentazione tramite contattori esterni.

Controlli:
Relé: senza relè

Liquido:
Liquido pompato: Acqua
Gamma temperatura del liquido: -10 .. 120 °C
Temp. liquido: 20 °C
Densità: 998.2 kg/m³
Viscosità cinematica: 1 mm²/s

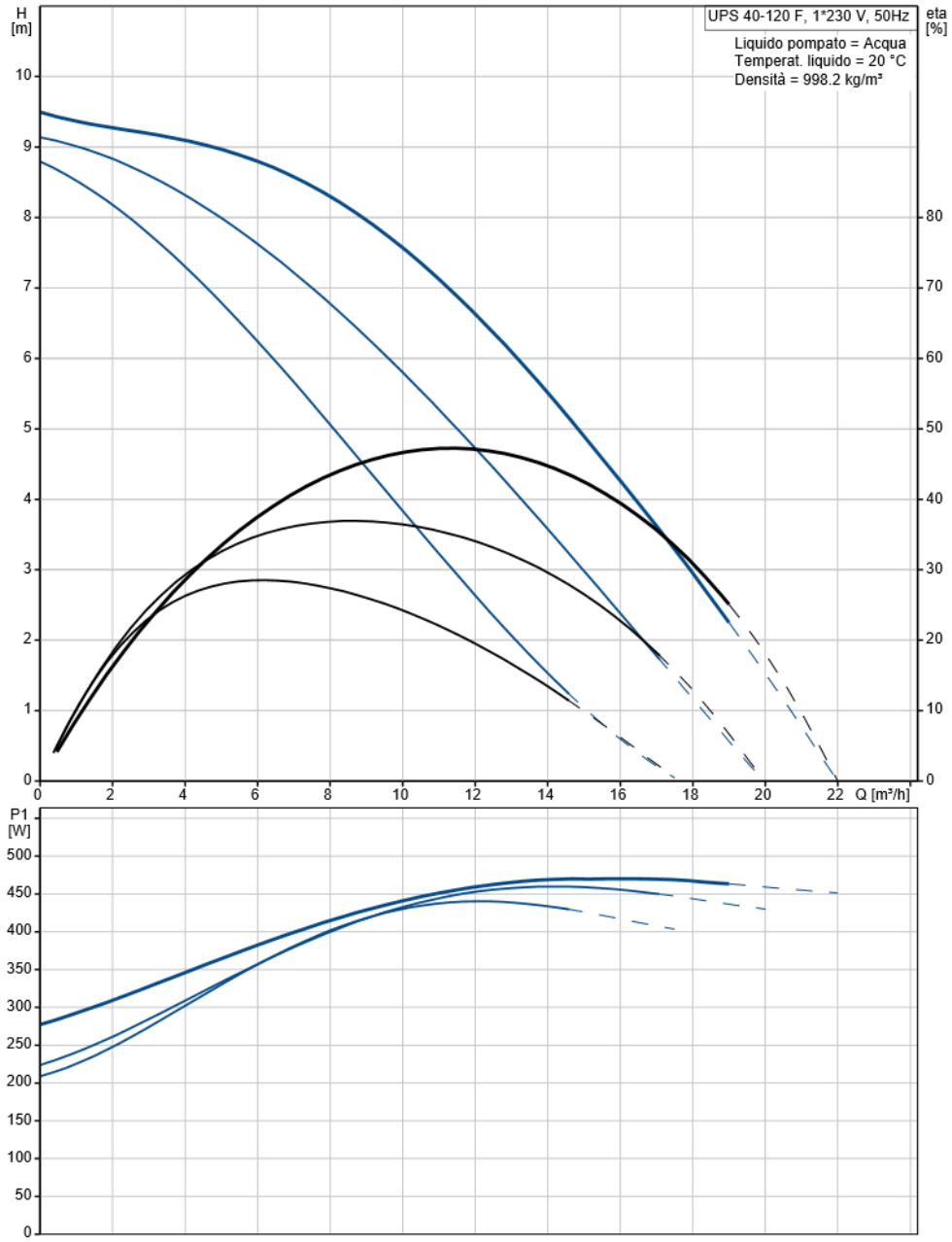
Tecnico:

Stampato da Grundfos CAPS [2012.05.063] GRUNDFOS 1/6

Posizione	Q.tà	Descrizione
		Approvazioni sulla targhetta: CE,TSE
		Materiali:
		Corpo pompa: Ghisa
		Corpo pompa: EN-JL1040
		Corpo pompa: ASTM 35 B - 40 B
		Girante: Acciaio inox
		Girante: DIN W.-Nr. 1.4301
		Girante: AISI 304
		Installazione:
		Limite temperatura ambiente: 0 .. 40 °C
		Max pressione d'esercizio: 10 bar
		Flangia standard: DIN
		Attacco tubazione: DN 40
		Pressione d'esercizio: PN 6 / PN 10
		Interasse: 250 mm
		Dati elettrici:
		Potenza assorbita alla velocità 1: 440 W
		Potenza assorbita alla velocità 2: 460 W
		Potenza assorbita alla velocità 3: 470 W
		Frequenza di rete: 50 Hz
		Voltaggio: 1 x 230-240 V
		Corrente a velocità 1: 2.2 A
		Corrente a velocità 2: 2.3 A
		Corrente a vel. 3: 2.2 A
		cos phi velocità 1: 0,87
		cos phi velocità 2: 0,87
		Cos phi velocità 3: 0,93
		Capacità condensatore - marcia: 12 µF/400 V
		Classe di protezione (IEC 34-5): X4D
		Classe di isolamento (IEC 85): H
		Altri:
		Peso netto: 19.1 kg
		Peso lordo: 19.6 kg
		Volume imballo: 0.026 m³
		Classificazione Energetica: C

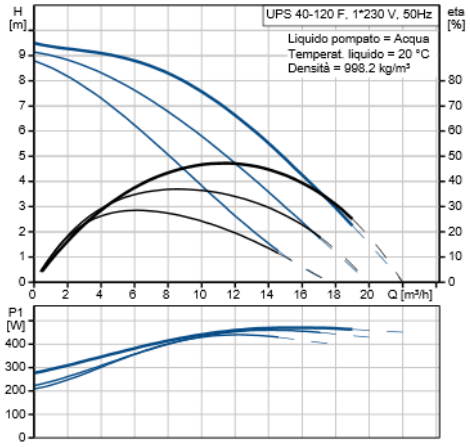
Nome Società: -
Creato da: -
Telefono: -
Fax: -
Data: -

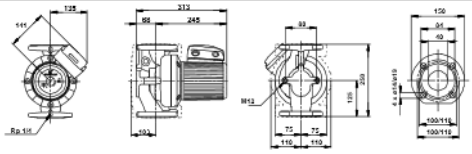
96401942 UPS 40-120 F 50 Hz

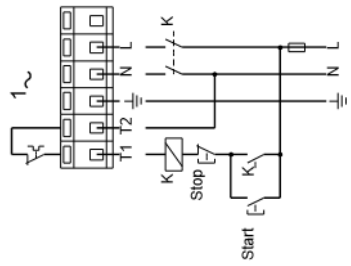


Nome Società: -
Creato da: -
Telefono: -
Fax: -
Data: -

Descrizione	Valore
Nome modello:	UPS 40-120 F
Codice prodotto:	96401942
Codice EAN:	5700390655297
Controlli:	
Relé:	senza relè
Pos. scatola di controllo:	1.30H
Liquido:	
Liquido pompato:	Acqua
Gamma temperatura del liquido:	-10 .. 120 °C
Temp. liquido:	20 °C
Densità:	998.2 kg/m³
Viscosità cinematica:	1 mm²/s
Tecnico:	
Velocità nr:	3
Prevalenza max:	120 dm
Approvazioni sulla targhetta:	CE,TSE
Materiali:	
Corpo pompa:	Ghisa
	EN-JL1040
	ASTM 35 B - 40 B
Girante:	Acciaio inox
	DIN W.-Nr. 1.4301
	AISI 304
Installazione:	
Limite temperatura ambiente:	0 .. 40 °C
Max pressione d'esercizio:	10 bar
Flangia standard:	DIN
Attacco tubazione:	DN 40
Pressione d'esercizio:	PN 6 / PN 10
Interasse:	250 mm
Dati elettrici:	
Potenza assorbita alla velocità 1:	440 W
Potenza assorbita alla velocità 2:	460 W
Potenza assorbita alla velocità 3:	470 W
Frequenza di rete:	50 Hz
Voltaggio:	1 x 230-240 V
Corrente a velocità 1:	2.2 A
Corrente a velocità 2:	2.3 A
Corrente a vel. 3:	2.2 A
cos phi velocità 1:	0,87
cos phi velocità 2:	0,87
Cos phi velocità 3:	0,93
Capacità condensatore - marcia:	12 µF/400 V
Classe di protezione (IEC 34-5):	X4D
Classe di isolamento (IEC 85):	H
Protezione motore:	Contatto
Protezione termica:	esterna
Altri:	
Peso netto:	19.1 kg
Peso lordo:	19.6 kg
Volume imballo:	0.026 m³
Classificazione Energetica:	C

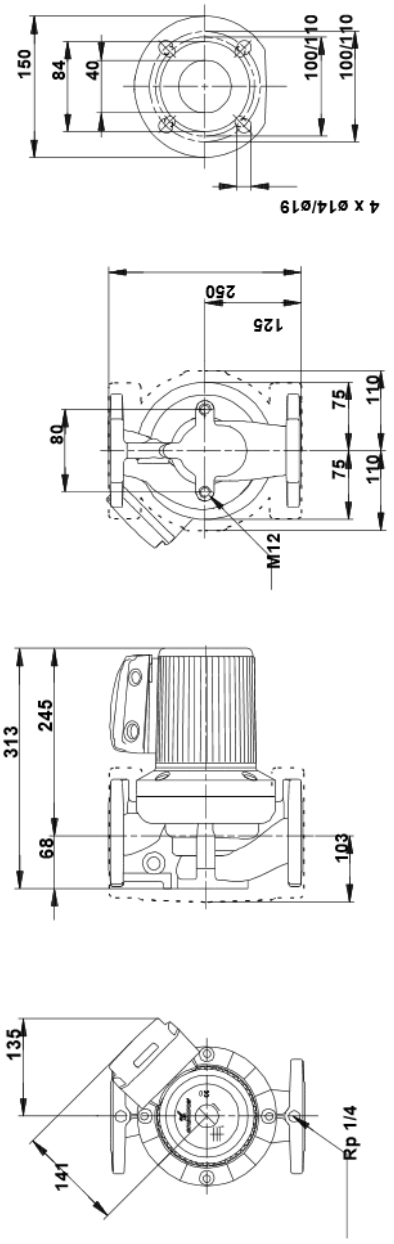






Nome Società:	-
Creato da:	-
Telefono:	-
Fax:	-
Data:	-

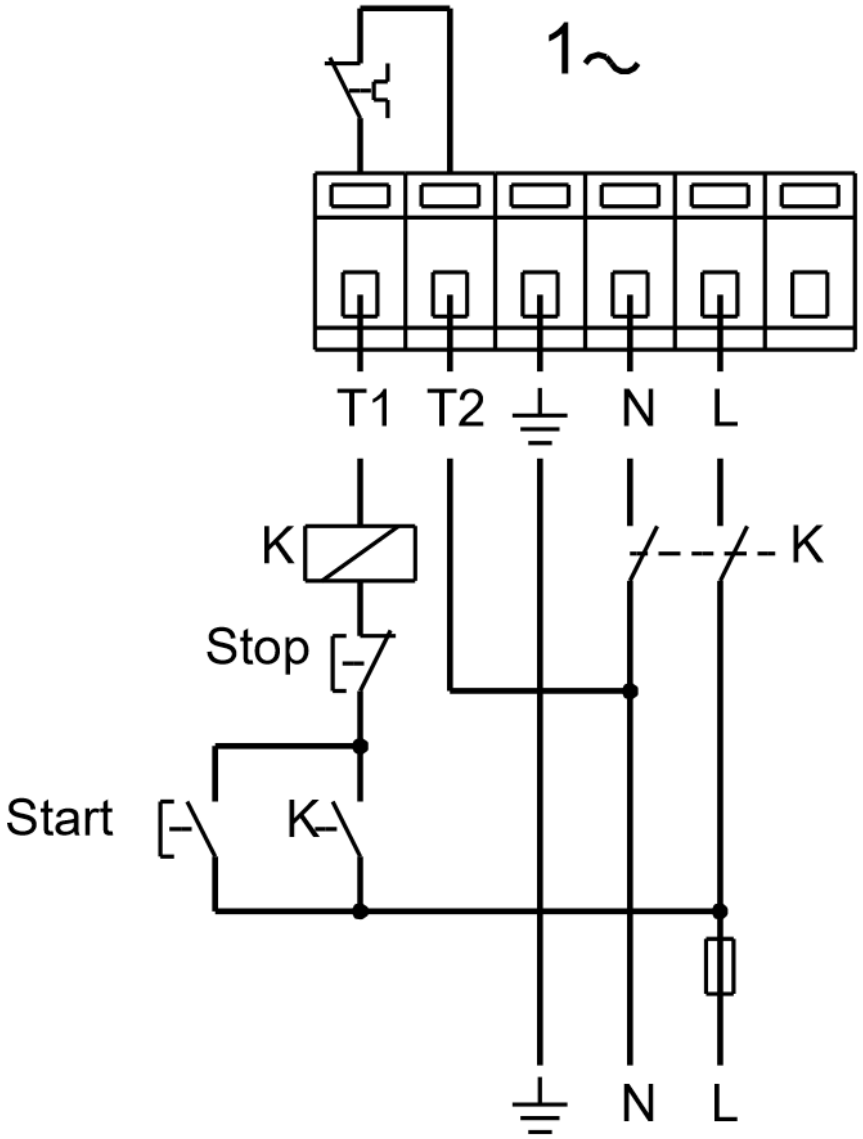
96401942 UPS 40-120 F 50 Hz



Nota, tutte le misure sono in mm se non diversamente specificato.

Nome Società: -
Creato da: -
Telefono: -
Fax: -
Data: -

96401942 UPS 40-120 F 50 Hz



Unità in [mm] salvo altre indicazioni

Stampato da Grundfos CAPS [2012.05.063]

6/6

GRUNDFOS

Nome Società: -
Creato da: -
Telefono: -
Fax: -
Data: -

Posizione	Q.tà	Descrizione
	1	**UPED 80-120 F**

Attenzione: le foto e i disegni sono solo indicativi

Codice prodotto: 96403134

La pompa è del tipo a canotto separatore con rotore bagnato,cioè pompa e motore formano un corpo unico senza tenuta meccanica e con solo due guarnizioni .
E' stata posta particolare attenzione nel limitare la tipologia dei materiali di costruzione.
I cuscinetti sono lubrificati dallo stesso liquido pompato.

La pompa è caratterizzata da:

* controllo integrato della pressione differenziale
* cuscinetti radiali in ceramica
* cuscinetto reggispinta in grafite
* canotto separatore,supporto cuscinetto e placcatura rotore in acciaio inox
* cassa statore in lega di alluminio
* corpo pompa in Ghisa
* statore con protezione termica incorporata

Il motore è del tipo asincrono 3 e non richiede la protezione esterna.

La UPE Serie 2000 controlla automaticamente la pressione differenziale al variare del carico dell' impianto,senza l'impiego di componenti esterni.
Due modalità di regolazione sono disponibili:

* Pressione proporzionale
* Pressione costante

Per le pompe gemellari sono disponibili, mediante R100 ,quattro modalità di funzionamento.
La scelta dipende dalla priorità che vogliamo dare alla affidabilità, alla durata nel tempo e alla portata massima.
Le modalità di funzionamento sono le seguenti:

* Funzionamento alternato
* Funzionamento in stand-by

Posizione	Q.tà	Descrizione

* Funzionamento sincrono
* Funzionamento a pompa singola

Liquido:

Liquido pompato:	Acqua
Gamma temperatura del liquido:	15 .. 95 °C
Temp. liquido:	20 °C
Densità:	998.2 kg/m³
Viscosità cinematica:	1 mm²/s

Tecnico:

Classe TF:	110
Approvazioni sulla targhetta:	CE,TSE,PCT

Materiali:

Corpo pompa:	Ghisa
Corpo pompa:	EN-JL1040
Corpo pompa:	ASTM 35 B - 40 B
Girante:	Acciaio inox
Girante:	DIN W.-Nr. 1.4301
Girante:	AISI 304

Installazione:

Limite temperatura ambiente:	0 .. 40 °C
Max pressione d'esercizio:	10 bar
Flangia standard:	DIN
Attacco tubazione:	DN 80
Pressione d'esercizio:	PN 10
Interasse:	360 mm

Dati elettrici:

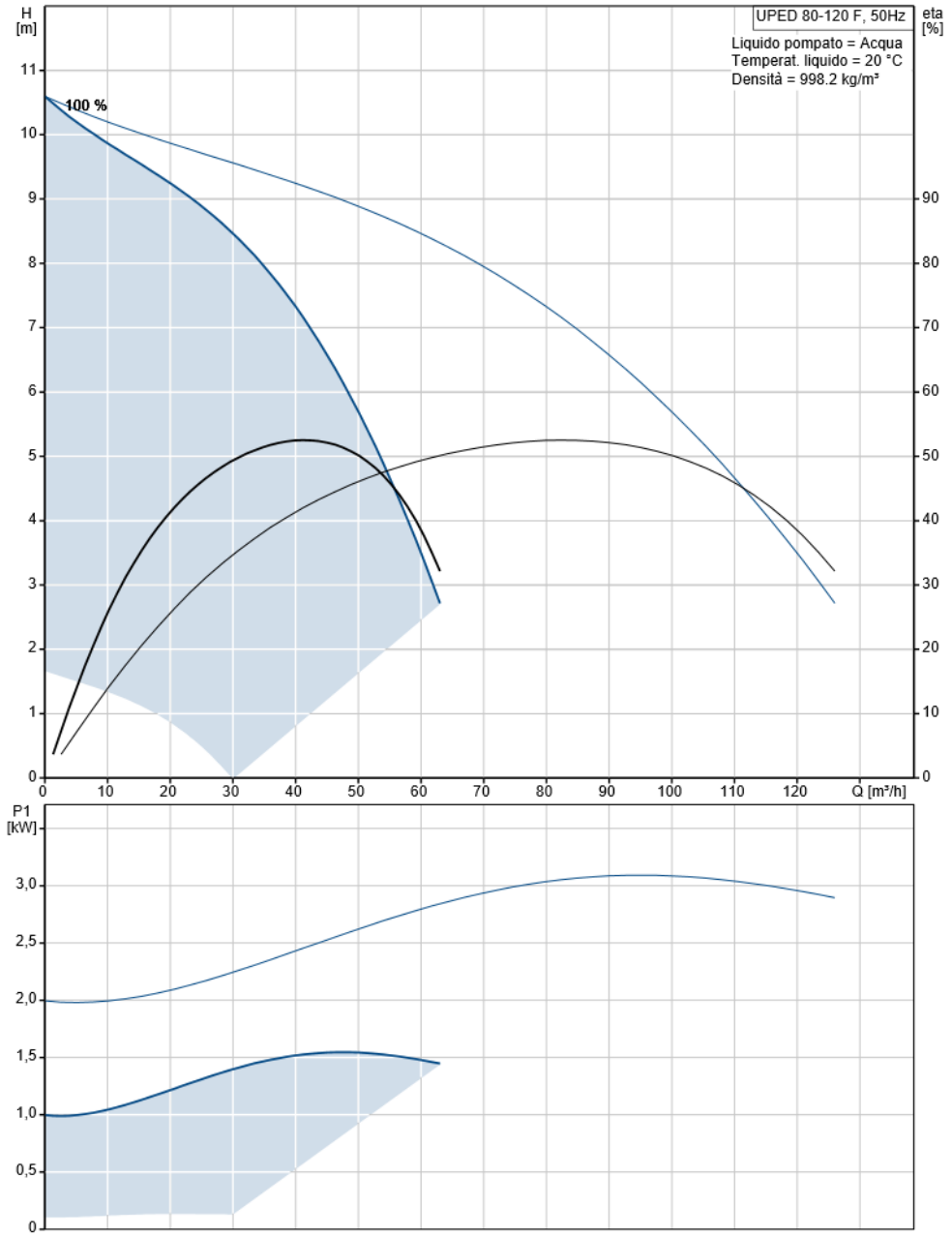
Pot. ingr. - P1:	110 .. 1550 W
Consumo massimo di corrente:	0.27 .. 2.56 A
Frequenza di rete:	50 Hz
Voltaggio:	3 x 400-415 V
Classe di protezione (IEC 34-5):	42
Classe di isolamento (IEC 85):	H

Altri:

Peso netto:	64.9 kg
Peso lordo:	68.9 kg
Volume imballo:	0.112 m³
Classificazione Energetica:	B

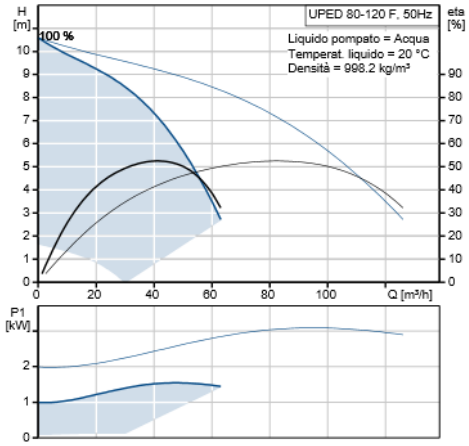
Nome Società: -
Creato da: -
Telefono: -
Fax: -
Data: -

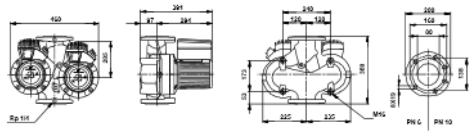
96403134 UPED 80-120 F 50 Hz

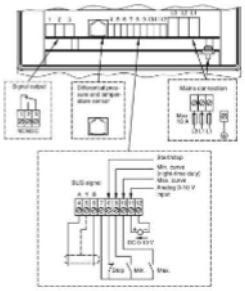


Nome Società: -
Creato da: -
Telefono: -
Fax: -
Data: -

Descrizione	Valore
Nome modello:	UPED 80-120 F
Codice prodotto:	96403134
Codice EAN:	5708601066313
Controlli:	
Pos. scatola di controllo:	12H
Liquido:	
Liquido pompato:	Acqua
Gamma temperatura del liquido:	15 .. 95 °C
Temp. liquido:	20 °C
Densità:	998.2 kg/m³
Viscosità cinematica:	1 mm²/s
Tecnico:	
Prevalenza max:	120 dm
Classe TF:	110
Approvazioni sulla targhetta:	CE,TSE,PCT
Modello:	D
Materiali:	
Corpo pompa:	Ghisa
	EN-JL1040
	ASTM 35 B - 40 B
Girante:	Acciaio inox
	DIN W.-Nr. 1.4301
	AISI 304
Installazione:	
Limite temperatura ambiente:	0 .. 40 °C
Max pressione d'esercizio:	10 bar
Flangia standard:	DIN
Attacco tubazione:	DN 80
Pressione d'esercizio:	PN 10
Interasse:	360 mm
Dati elettrici:	
Pot. ingr. - P1:	110 .. 1550 W
Consumo massimo di corrente:	0.27 .. 2.56 A
Frequenza di rete:	50 Hz
Voltaggio:	3 x 400-415 V
Classe di protezione (IEC 34-5):	42
Classe di isolamento (IEC 85):	H
Altri:	
Peso netto:	64.9 kg
Peso lordo:	68.9 kg
Volume imballo:	0.112 m³
Classificazione Energetica:	B





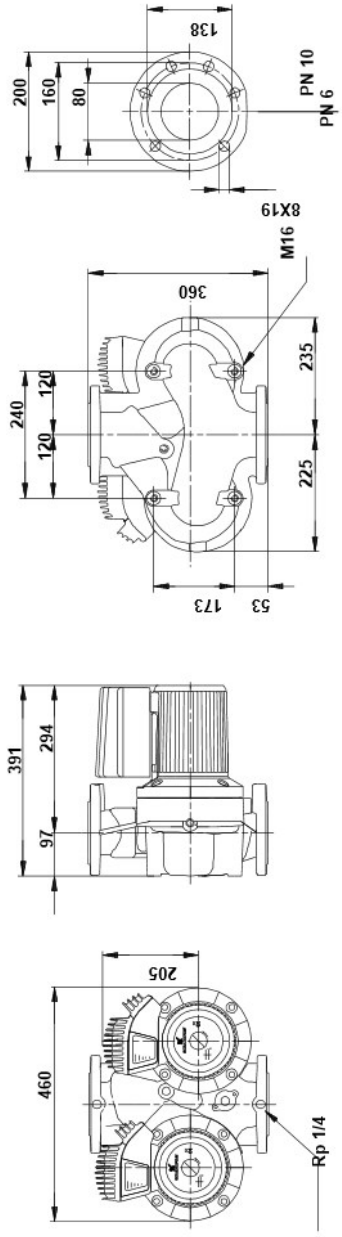


Stampato da Grundfos CAPS [2012.05.063]

4/6

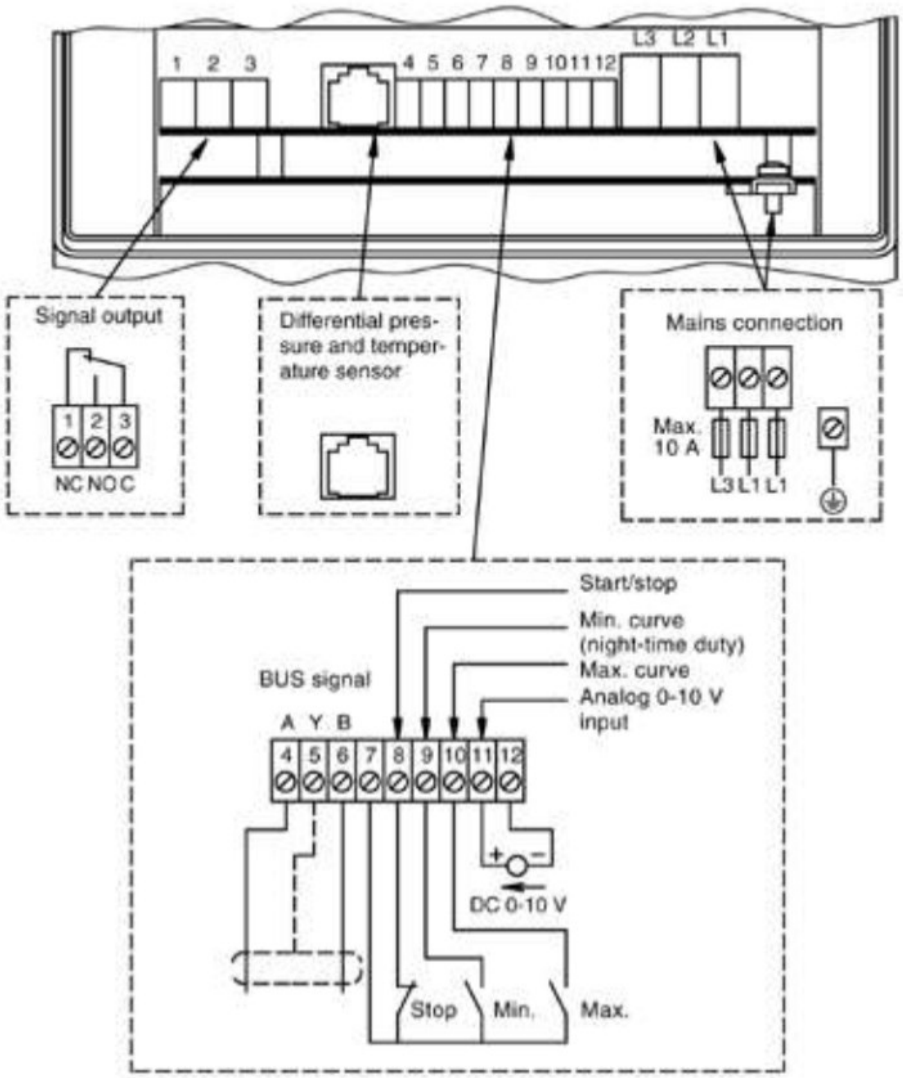
Nome Società:	-
Creato da:	-
Telefono:	-
Fax:	-
Data:	-

96403134 UPED 80-120 F 50 Hz



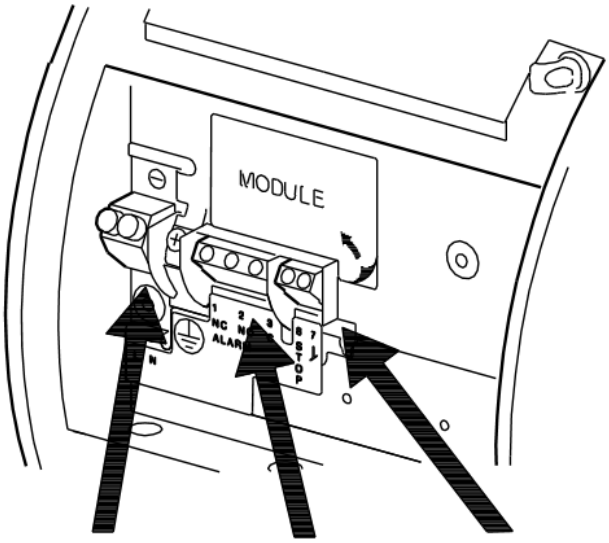
Nota, tutte le misure sono in mm se non diversamente specificato.

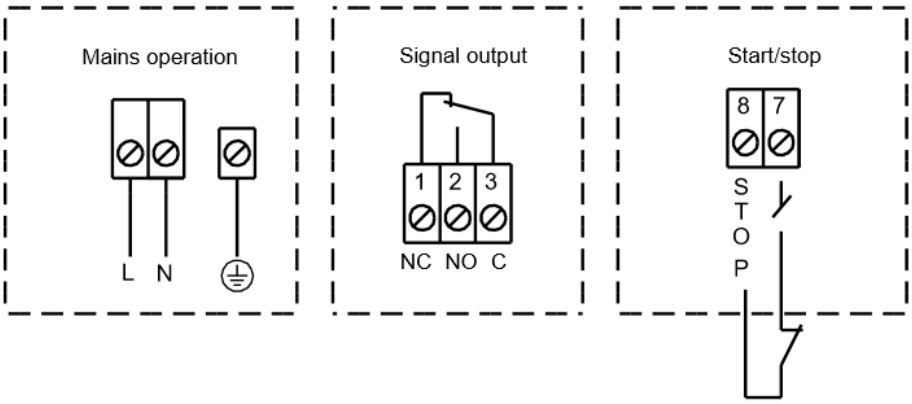
96403134 UPED 80-120 F 50 Hz



Unità in [mm] salvo altre indicazioni

96504875 MAGNA D 65-120 F 50 Hz





Unità in [mm] salvo altre indicazioni

13.4. Scheda tecnica – GF 30XA-0802-A

Carrier

Air-Cooled Liquid Chillers
High Outdoor Temperature Version

AQUAFORCE™

Quality Management System Approval

30XA 252-1702

Nominal cooling capacity 270-1700 kW

The Aquaforce liquid chillers are the premium solution for industrial and commercial applications where installers, consultants and building owners require optimal performances and maximum quality.

The Aquaforce liquid chillers are designed to meet current and future requirements in terms of energy efficiency, operating sound levels and reliability. They use the best technologies available today:
- Twin-rotor screw compressors with a variable capacity valve.
- R134a refrigerant with zero ozone depletion potential.
- Low-noise generation IV Flying Bird fans made of composite material.
- Aluminium micro-channel heat exchangers (MCHX) or copper/aluminium coils (option).
- Touch-screen Pro-Dialog control system.

The high outdoor temperature version has been specially designed to assure reliable and durable operation in areas with extreme climatic conditions: high outdoor temperature, sand storms etc.

Features and advantages

Very economical operation

■ Extremely high full load and part load energy efficiency:
- Average Eurovent energy efficiency class "A", average COP of 3.20 kW/kW at nominal conditions
- Average integrated part load value (IPLV) of 4.50 kW/kW (high-efficiency option)
- New twin-rotor screw compressor equipped with a high-efficiency motor and a variable capacity valve that permits exact matching of the cooling capacity to the load.
- All aluminium condenser with micro-channels (standard version).
- Flooded multi-pipe evaporator to increase the heat exchange efficiency.
- Electronic expansion device permitting operation at a lower condensing pressure and improved utilisation of the evaporator heat exchange surface (superheat control).
- Economizer system with electronic expansion device for increased cooling capacity.

Low operating sound levels

■ Compressors
- Discharge dampers integrated in the oil separator (Carrier patent).
- Silencer on the evaporator return line.
- Suction piping with flexible connections to prevent noise and vibration transmission.
- Acoustic compressor and oil separator enclosure reducing radiated noise.

■ Condenser section
- Condenser coils in V-shape with an open angle, allowing quieter air flow across the coil

- Low-noise 4th generation Flying Bird fans, made of a composite material (Carrier patent) are now even quieter and do not generate intrusive low-frequency noise
- Rigid fan mounting preventing start-up noise (Carrier patent)

Easy and fast installation

- Integrated hydronic module (option)
  - Centrifugal low or high-pressure water pump (as required), based on the pressure loss of the hydronic installation
  - Single or dual pump (as required) with operating time balancing and automatic changeover to the back-up pump if a fault develops
  - Water filter protecting the water pump against circulating debris
  - High-capacity membrane expansion tank ensures pressurisation of the water circuit
  - Thermal insulation and aluminium protection
  - Pressure gauge to check filter pollution and measure the system water flow rate
  - Water flow control valve
- Simplified electrical connections
  - Main disconnect switch with high trip capacity
  - Transformer to supply the integrated control circuit (400/24 V)
- Fast commissioning
  - Systematic factory operation test before shipment
  - Quick-test function for step-by-step verification of the instruments, expansion devices, fans and compressors

Environmental care

- R134a refrigerant
  - Refrigerant of the HFC group with zero ozone depletion potential
  - 30% reduction in the refrigerant charge through the use of micro-channel heat exchangers
- Leak-tight refrigerant circuit
  - Reduction of leaks as no capillary tubes and flare connections are used
  - Verification of pressure transducers and temperature sensors without transferring refrigerant charge
  - Discharge shut-off valve and liquid line service valve for simplified maintenance.

Absolute reliability

- Screw compressors
  - Industrial-type screw compressors with oversized bearings and motor cooled by suction gas.
  - All compressor components are easily accessible on site minimising down-time.
  - Electronic motor protection against overloads and power supply faults (loss of phase, phase reversal).
- Air condenser
  - The all aluminium micro-channel heat exchanger (MCHX) is not very sensitive to fouling by sand and offers a corrosion resistance that is 3.5 times higher than that of traditional coils or coils with copper tubes and aluminium fins.
- Evaporator
  - Thermal insulation with aluminium sheet finish for perfect resistance against outside aggression (mechanical and UV protection).
- Auto-adaptive control
  - Control algorithm prevents excessive compressor cycling (Carrier patent)
  - Automatic compressor unloading based on the condensing pressure. If the outside temperature is too high, the condenser coil is fouled or if there is a fan fault, the Aquaforce continues to operate at a reduced capacity.
- Control box with reinforced air tightness
  - Reinforced air tightness to protect against sand penetration (protection level IP54)
  - Forced ventilation to prevent overheating of the electrical components.
- Exceptional endurance tests
  - Partnerships with specialised laboratories and use of limit simulation tools (finite element calculation) for the design of critical components.
  - Transport simulation test in the laboratory on a vibrating table. The test is based on a military standard and equivalent to 4000 km by truck.
  - Salt mist corrosion resistance test in the laboratory for increased corrosion resistance.

Pro-Dialog control

Pro-Dialog combines intelligence with operating simplicity. The control constantly monitors all machine parameters and precisely manages the operation of compressors, electronic expansion devices, fans and of the evaporator water pump for optimum energy efficiency.

- Energy management
  - Internal time schedule clock: controls chiller on/off times and operation at a second set-point
  - Set-point reset based on the outside air temperature or the return water temperature
  - Master/slave control of two chillers connected in parallel with operating time equalisation and automatic change-over in case of a unit fault.
- Ease-of-use
  - User interface with large touch screen (120 x 99 mm) for intuitive access to the operating parameters. The information is in clear text and can be displayed in local language (please contact your distributor).

Remote management (standard)

Aquaforce is equipped with an RS485 serial port that offers multiple remote control, monitoring and diagnostic possibilities. Carrier offers a vast choice of control products, specially designed to control, manage and supervise the operation of an air conditioning system. Please consult your Carrier representative for more information.

Aquaforce also communicates with other building management systems via optional communication gateways. A connection terminal allows remote control of the Aquaforce by wired cable:

- Start/stop: opening of this contact will shut down the unit
- Dual set-point: closing of this contact activates a second set-point (example: unoccupied mode)
- Demand limit: closing of this contact limits the maximum chiller capacity to a predefined value
- Heat reclaim (option): closing of this contact allows heat reclaim mode operation
- Water pump 1 and 2 control*: these outputs control the contactors of one or two evaporator water pumps
- Water pump on reversal*: these contacts are used to detect a water pump operation fault and automatically change over to the other pump
- Operation indication: this volt-free contact indicates that the chiller is operating (cooling load) or that it is ready to operate (no cooling load)
- Alert indication: this volt-free contact indicates the need to carry out a maintenance operation or the presence of a minor fault
- Alarm indication: this volt-free contact indicates the presence of a major fault that has led to the shut-down of one or several refrigerant circuits

* not available for units with the hydronic module option

Physical data

Unit with Cu/Al heat exchanger (option 255)

30XA high-ambient temperature version		252	302	352	402	452	502	602	702	752	802	852	902	1002	1102	1202	1302	1352	1402	1502	1702
Nominal cooling capacity*																					
Standard unit	kW	272	297	325	388	449	501	616	671	724	787	829	893	980	1134	1237	1344	1439	1448	1507	1656
	Tons	77	84	92	110	128	142	175	191	206	224	236	254	279	322	352	382	409	412	428	471
Cooling capacity**																					
Standard unit	kW	246	267	291	355	410	457	564	613	665	719	757	818	895	1039	1135	1212	1244	1328	1380	1518
	Tons	70	76	83	101	117	130	160	174	189	204	215	233	254	295	323	345	354	378	392	432
Operating weight***																					
Standard unit	kg	4160	4190	4710	5190	5260	5830	6870	7030	7820	8140	8260	9010	9260	11470	11890	12250	12640	9180 4650	9340 4650	8270 8270
Refrigerant		R134a																			
Standard unit																					
Circuit A	kg	60	64	70	85	85	102	102	100	129	112	130	129	140	102	112	112	112	140	140	130
Circuit B	kg	64	64	56	56	56	56	88	95	88	95	95	103	129	92	92	92	98	103	129	95
Circuit C	kg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	130	130	130	117	130	130	130
Circuit D	kg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	95
Compressors		06T semi-hermetic screw compressors, 50 r/s																			
Circuit A		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Circuit B		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Circuit C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	1	1	1	1	1
Circuit D		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
Minimum capacity	%	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	10	10	10	10	10	10	8
Control		PRO-DIALOG, electronic expansion valve (EXV)																			
Condensers		Copper/aluminium heat exchanger																			
Fans		Axial Flying Bird 4 with rotating shroud																			
Quantity		6	6	7	8	8	9	11	12	13	13	14	15	16	19	20	20	20	24	24	28
Standard total air flow	l/s	27083	27083	27083	36111	36111	40625	49653	54167	54167	54167	63194	63194	72222	85764	90278	90278	90278	108333	108333	126389
Standard speed	r/s	15.7	15.7	15.7	15.7	15.7	15.7	15.7	15.7	15.7	15.7	15.7	15.7	15.7	15.7	15.7	15.7	15.7	15.7	15.7	15.7
Evaporator		Flooded multi-pipe type																			
Water content	l	58	61	61	66	70	77	79	94	98	119	119	130	140	168	182	203	224	230	240	240
Maximum pressure****	kPa	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Water connections		Victaulic																			
Without hydronic module, inlet/outlet																					
Diameter	in	5	5	5	5	5	5	5	6	6	6	6	6	8	6	6	6	6/8	6/8	6/8	6
Outside diameter	mm	141.3	141.3	141.3	141.3	141.3	141.3	141.3	168.3	168.3	168.3	168.3	168.3	219.1	168.3	168.3	168.3	168.3/ 219.3	168.3/ 219.3	168.3/ 219.3	168.3
With hydronic module (option), inlet/outlet																					
Diameter	in	4	4	4	5	5	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Outside diameter	mm	114.3	114.3	114.3	139.7	139.7	139.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Expansion tank volume	l	50	50	50	50	50	80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Max. water-side operating pressure with hydronic module	kPa	400	400	400	400	400	400	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Legend:

* Nominal conditions: evaporator entering/leaving water temperature = 12°C/7°C. Outdoor air temperature = 35°C, evaporator fouling factor = 0.000018 m² K/W

** Operating conditions: evaporator entering/leaving water temperature = 12.7°C/7.2°C (45°F/55°F). Outdoor air temperature = 46.1°C (115°F)

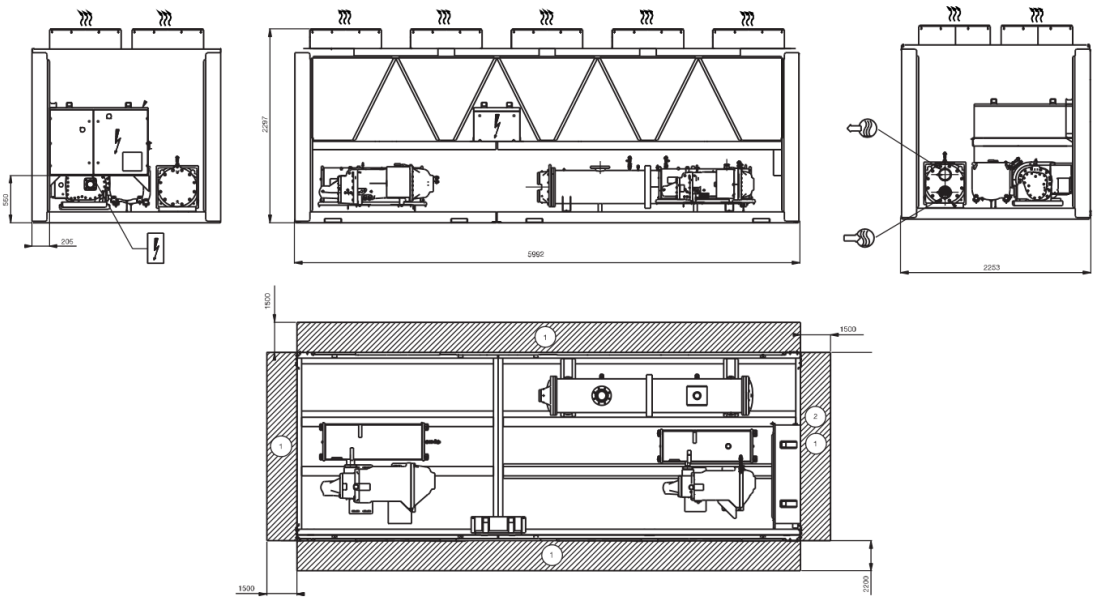
*** Weights are guidelines only. The refrigerant charge is also given on the unit nameplate.

**** Max. water-side operating pressure without hydronic module

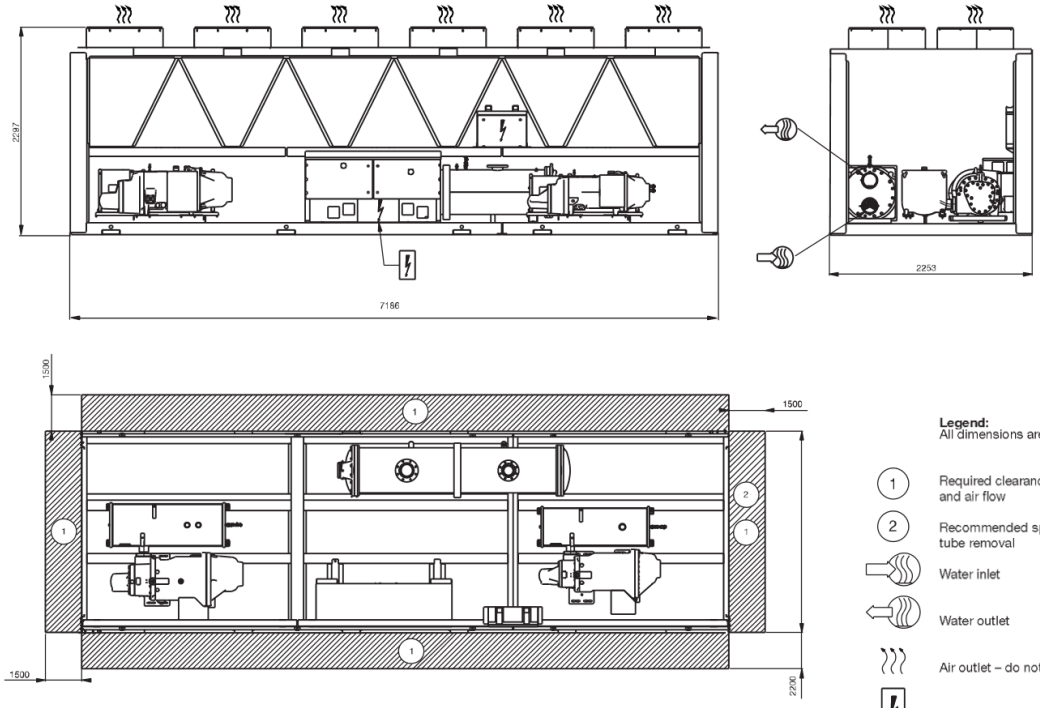
Note:
Unit sizes 30XA 1402 to 1702 are supplied in two field-assembled modules.
Contact your Carrier representative to obtain the performances

Dimensions/clearances

30XA 502 - MCHX heat exchanger (standard)
30XA 502 - Cu/Al heat exchanger (option 255)



30XA 602-802 - MCHX heat exchanger (standard)
30XA 602-702 - Cu/Al heat exchanger (option 255)



Legend:
All dimensions are given in mm.

- (1) Required clearances for maintenance and air flow
- (2) Recommended space for evaporator tube removal
- Water inlet
- Water outlet
- Air outlet – do not obstruct
- Power supply connection
- (C) Control circuit connection

NOTE:
Drawings are not contractually binding. Before designing an installation, consult the certified dimensional drawings, available on request.

Cooling capacities (SI)

Unit with MCHX heat exchanger (standard)

High ambient temperature unit - LWT = 5°C

	Air temperature, °C																															
	30					35					40					46					49					52				
30XA	CAP kW	COMP kW	UNIT kW	COOL l/s	COOL kPa	CAP kW	COMP kW	UNIT kW	COOL l/s	COOL kPa	CAP kW	COMP kW	UNIT kW	COOL l/s	COOL kPa	CAP kW	COMP kW	UNIT kW	COOL l/s	COOL kPa	CAP kW	COMP kW	UNIT kW	COOL l/s	COOL kPa	CAP kW	COMP kW	UNIT kW	COOL l/s	COOL kPa
252	267	69	79	13	13	257	76	85	12	12	247	84	93	12	12	233	93	102	11	10	225	99	107	11	10	217	104	113	10	9
302	294	77	86	14	14	282	84	93	13	13	269	93	102	13	12	253	104	112	12	10	244	110	118	12	10	235	116	124	11	9
352	320	84	93	15	16	307	93	102	15	15	292	101	110	14	14	273	114	123	13	12	264	121	129	13	11	254	128	136	12	11
402	382	96	108	18	31	369	105	117	18	30	355	115	127	17	28	338	128	140	16	25	328	135	147	16	24	318	143	154	15	23
452	440	113	125	21	34	425	124	136	20	32	408	136	148	19	30	387	153	164	18	27	376	161	173	18	26	364	171	182	17	24
502	496	124	138	24	34	479	136	150	23	31	459	149	163	22	29	435	166	180	21	26	422	176	190	20	25	407	186	200	19	23
602	599	154	171	29	42	578	169	186	28	39	556	185	202	26	36	527	206	223	25	33	512	218	234	24	31	496	231	247	24	29
702	660	163	182	31	34	637	178	197	30	32	612	195	214	29	29	581	218	237	28	27	564	230	249	27	25	546	244	262	26	24
752	708	190	209	34	35	683	208	226	33	32	658	228	246	31	30	625	254	273	30	28	607	269	287	29	26	567	271	289	27	23
802	773	202	223	37	33	746	222	242	36	31	717	243	263	34	28	681	271	291	32	26	662	287	307	32	25	612	285	305	29	21
852	818	206	230	39	36	789	226	249	38	34	758	248	271	36	32	720	277	299	34	29	699	293	315	33	27	654	296	318	31	24
902	878	232	256	42	34	847	254	278	40	32	815	279	302	39	30	774	312	334	37	27	752	330	352	36	26	677	317	340	32	21
1002	976	249	278	46	34	942	272	301	45	32	905	299	327	43	30	859	334	362	41	27	835	354	381	40	26	773	353	380	37	22
1102	1119	281	312	53	39	1080	307	338	51	36	1038	336	367	49	34	985	376	405	47	31	957	397	427	46	29	895	401	430	43	26
1202	1216	314	347	58	40	1174	344	376	56	38	1129	376	409	54	35	1073	421	452	51	32	1043	445	476	50	30	956	438	468	46	26
1302	1322	346	379	63	44	1275	379	412	61	41	1226	416	449	58	38	1163	466	498	55	35	1106	478	509	53	32	994	460	491	47	26
1352	1411	380	411	67	41	1360	417	448	65	38	1306	457	488	62	35	1238	512	542	59	32	1124	494	524	54	27	901	424	453	43	18
1402	1433	363	404	68	43	1383	397	437	66	40	1330	436	475	63	37	1263	487	526	60	34	1228	515	554	58	32	1067	477	514	51	25
1502	1489	375	416	71	44	1436	411	451	68	41	1380	450	490	66	38	1309	504	543	62	35	1272	533	572	61	33	1087	487	525	52	24
1702	1635	413	459	78	53	1578	452	498	75	50	1517	495	541	72	46	1440	554	598	69	42	1399	586	630	67	40	1252	565	608	60	32

High ambient temperature unit - LWT = 6°C

	Air temperature, °C																															
	30					35					40					46					49					52				
30XA	CAP kW	COMP kW	UNIT kW	COOL l/s	COOL kPa	CAP kW	COMP kW	UNIT kW	COOL l/s	COOL kPa	CAP kW	COMP kW	UNIT kW	COOL l/s	COOL kPa	CAP kW	COMP kW	UNIT kW	COOL l/s	COOL kPa	CAP kW	COMP kW	UNIT kW	COOL l/s	COOL kPa	CAP kW	COMP kW	UNIT kW	COOL l/s	COOL kPa
252	276	71	80	13	14	266	77	86	13	13	255	85	94	12	12	240	95	104	11	11	232	100	109	11	10	224	105	114	11	10
302	303	78	87	14	14	291	86	95	14	13	278	94	103	13	12	261	105	114	12	11	252	111	120	12	10	243	118	126	12	10
352	330	86	95	16	17	316	94	103	15	16	301	103	112	14	14	282	116	124	13	13	272	123	131	13	12	262	130	139	12	11
402	395	97	109	19	33	381	106	118	18	31	367	116	128	17	29	349	130	142	17	26	339	137	149	16	25	329	145	156	16	24
452	454	115	127	22	36	438	127	138	21	34	421	139	150	20	31	399	155	166	19	28	387	164	175	18	27	372	171	182	18	25
502	511	126	140	24	35	493	138	152	23	33	473	151	165	23	31	448	169	183	21	28	435	179	193	21	26	412	186	199	20	24
602	619	157	174	29	44	597	172	189	28	41	574	188	205	27	38	545	210	226	26	35	529	222	238	25	33	513	234	250	24	31
702	681	165	185	32	36	657	181	200	31	33	632	198	217	30	31	599	221	240	29	28	581	234	253	28	27	563	248	266	27	25
752	730	193	212	35	36	705	211	230	34	34	678	231	250	32	32	644	258	277	31	29	626	273	291	30	27	577	270	288	27	24
802	797	206	226	38	34	769	225	245	37	32	739	247	267	35	30	702	276	295	33	27	682	291	311	33	26	623	285	304	30	22
852	843	210	233	40	38	813	230	253	39	36	782	252	275	37	33	741	281	304	35	30	720	298	320	34	29	667	297	319	32	25
902	905	236	260	43	36	873	259	282	42	33	839	283	306	40	31	797	316	339	38	28	775	335	357	37	27	681	313	335	32	21
1002	1007	253	282	48	36	971	277	306	46	33	933	304	332	44	31	885	340	367	42	28	860	359	387	41	27	715	320	347	34	19
1102	1153	285	316	55	41	1113	312	343	53	38	1070	342	372	51	35	1015	382	411	48	32	986	404	433	47	31	908	398	427	43	26
1202	1254	319	352	60	42	1210	349	382	58	40	1164	383	415	55	37	1105	427	459	53	33	1074	452	483	51	32	962	431	462	46	26
1302	1362	352	385	65	46	1314	386	419	63	43	1263	423	456	60	40	1198	473	505	57	36	1133	481	513	54	33	1012	460	491	48	27
1352	1454	388	419	69	43	1401	425	455	67	40	1345	466	496	64	37	1274	521	551	61	34	1084	463	493	52	25	914	421	450	44	18
1402	1478	370	410	70	45	1425	404	444	68	42	1370	443	482	65	39	1301	495	534	62	35	1264	524	562	60	34	1088	477	514	52	25
1502	1534	382	422	73	46	1479	418	458	70	43	1421	458	498	68	40	1348	512	551	64	36	1309	542	580	62	34	1053	464	501	50	23
1702	1684	420	466	80	56	1625	459	505	77	52	1562	503	549	74	49	1483	562	607	71	44	1440	595	639	69	42	1285	570	613	61	34

Legend

- **LWT** Leaving water temperature
- **CAP kW** Cooling capacity
- **COMP kW** Compressor power input
- **UNIT kW** Unit power input (compressors, fans and control circuit)
- **COOL l/s** Evaporator water flow rate
- **COOL kPa** Evaporator pressure drop

Application data:

Standard units, refrigerant: R134a
Evaporator temperature rise: 5 K
Evaporator fluid: chilled water
Fouling factor: 0.18 x 10^{-4} (m^2 K)/W

Performances in accordance with EN 14511.

13.5. Scheda tecnica – valvola motorizzata Siemens SDK62

SIEMENS

4561

acvatix

Electrohydraulic actuators for valves

with a 20 mm stroke

SKD32..
SKD82..
SKD62..
SKD60..

- **SKD32..** Operating voltage AC 230 V, 3-position control signal
- **SKD82..** Operating voltage AC 24 V, 3-position control signal
- **SKD6..** Operating voltage AC 24 V, control signal DC 0…10 V, 4…20 mA or 0...1000 Ω
- **SKD6..** Choice of flow characteristic, position feedback, stroke calibration, LED status indication, override control
- **SKD62UA** with functions choice of direction of operation, stroke limit control, sequence control with adjustable start point and operating range, operation of frost protection monitors QAF21.. and QAF61..
- Positioning force 1000 N
- Actuator versions with or without spring-return function
- For direct mounting on valves; no adjustments required
- Manual adjuster and position indicator
- Optional functions with auxiliary switches, potentiometer, stem heater and mechanical stroke inverter
- SKD..U are UL-approved

CM1N4561en
2019-12-17

Smart Infrastructure

Use

For the operation of Siemens 2-port and 3-port valves, types VVF.., VVG.., VXF.. and VXG.. with a 20 mm stroke as control and safety shut-off valves in heating, ventilation and air conditioning systems.

Types

	Type	Operating voltage	Positioning signal	Spring-return Function	Spring-return Time	Positioning time Opening	Positioning time Closing	Auxiliary functions
	SKD32.50 [1]	AC 230 V	3-position			120 s	120 s	
	SKD32.51 [1]			yes	8 s			
	SKD32.21 [1]					30 s	10 s	
	SKD82.50 [1]	AC 24 V				120 s	120 s	
	SKD82.50U [2]							
	SKD82.51 [1]			yes	8 s			
	SKD82.51U [2]							
Standard electronics	**SKD62** [1]		DC 0...10 V, 4...20 mA, or 0...1000 Ω	yes	15 s	30 s	15 s	
	SKD62U [2]							
	SKD60 [1]							
	SKD60U [2]							
Enhanced electronics	**SKD62UA** [2]			yes	15 s			[3]

[1] Approbation: CE
[2] Approbation: CE, UL
[3] Direction of operation, stroke limit control, sequence control, signal addition

Accessories

Type	Description	For actuator	Mounting location
ASC1.6	Auxiliary switch	SKD6..	1 x ASC 1.6
ASC9.3	Dual auxiliary switches	SKD32.. SKD82..	1 x ASC9.3 and 1 x ASZ7.3
ASZ7.3	Potentiometer 1000 Ω		
ASZ6.6	Stem heater AC 24 V	SKD..	1 x ASZ6.6
ASK50	Mechanical stroke inverter		1 x ASK50

Ordering

When ordering please specify the quantity, product name and type code.
Example: **1 actuator, type SKD32.50** and
1 potentiometer, type ASZ7.3 and
1 dual auxiliary switches ASC9.3

Delivery

The actuator, valve and accessories are supplied in separate packaging and not assembled prior to delivery.

Spare parts

See overview, section «Replacement parts», page 19.

Equipment combinations

Valve type		DN	PN-class	k_{vs} [m^3/h]	data sheet
Two-port valves VV... (control valves or safety shut-off valves)):					
VVF21.. [1]	Flange	25...80	6	1.9...100	4310
VVF22..	Flange	25...80	6	2.5...100	4401
VVF31.. [1]	Flange	15...80	10	2.5...100	4320
VVF32..	Flange	15...80	10	1.6...100	4402
VVF40.. [1]	Flange	15...80	16	1.9...100	4330
VVF42..	Flange	15...80	16	1.6...100	4403
VVF41.. [1]	Flange	50	16	19...31	4340
VVF53..	Flange	15…50	25	0.16…40	4405
VVF52.. [1]	Flange	15...40	25	0,16...25	4373
VVF61..	Flange	15...50	40	0.19...31	4382
VVG41..	Threaded	15...50	16	0.63...40	4363
Three-port valves VX... (control valves for «mixing» and« distribution»):					
VXF21.. [1]	Flange	25...80	6	1.9...100	4410
VXF22..	Flange	25...80	6	2.5...100	4401
VXF31.. [1]	Flange	15...80	10	2.5...100	4420
VXF32..	Flange	15...80	10	1.6...100	4402
VXF40.. [1]	Flange	15...80	16	1.9...100	4430
VXF42..	Flange	15...80	16	1.6...100	4403
VXF41.. [1]	Flange	15...50	16	1,9...31	4440
VXF53..	Flange	15…50	25	1.6…40	4405
VXF61..	Flange	15...50	40	1.9...31	4482
VXG41..	Threaded	15...50	16	1.6...40	4463

For admissible differential pressures Δp_{max} and closing pressures Δp_s, refer to the relevant valve data sheets.
[1] Valves are phased-out

Note

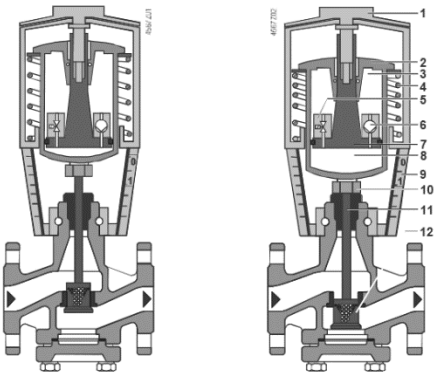
Third-party valves with strokes between 6…20 mm can be motorized, provided they are «closed with the de-energized» fail-safe mechanism and provided that the necessary mechanical coupling is available. For SKD32.. and SKD82.. the Y1 signal must be routed via an additional freely-adjustable end switch (ASC9.3) to limit the stroke.
We recommend that you contact your local Siemens office for the necessary information.

Rev. no.

Overview table, see page 20.

Technology

Principle of electro-hydraulic actuators



Valve closed Valve open

1 Manual adjuster
2 Pressure cylinder
3 Suction chamber
4 Return spring
5 Solenoid valve
6 Hydraulic pump
7 Piston
8 Pressure chamber
9 Position indicator (0 to 1)
10 Coupling
11 Valve stem
12 Plug