



POLITECNICO DI TORINO

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA ENERGETICA

*Laurea magistrale in ingegneria energetica e nucleare*

Tesi in

“Impiego industriale dell’energia”

*Sistema IoT negli impianti di riscaldamento*

**Relatori:**

Prof. Marco Badami

**Tutor aziendale:**

Dott. Giuseppe De Luca

**Candidato:**

Grasso Ivan

**Matr.278534**

**Anno accademico 2020/2021**

# Indice

<i>Abstract</i> .....	3
<i>Introduzione</i> .....	4
<i>Capitolo 1 - Stato di fatto anteoperam centrale termica I.T.I.S “Giulio Riva”</i> .....	5
<i>Capitolo 2 - Progetto di riqualifica centrale termica</i> .....	13
<i>Generatori di calore a condensazione</i> .....	15
<i>Scambiatore di calore a piastre</i> .....	18
<i>Elettropompe</i> .....	21
<i>Contabilizzatore, defangatore e condotto fumario</i> .....	26
<i>Capitolo 3 – Risparmi energetici e possibile incentivazione TEE</i> .....	30
<i>Capitolo 4 – Sistemi di trasmissione dati Lora e Sigfox e applicazioni IoT in ambito Energy</i> .....	34
<i>Sistema di trasmissione dati Lora</i> .....	37
<i>Sistema di trasmissione dati Sigfox</i> .....	43
<i>Analogie e differenze tra Sigfox e Lora</i> .....	48
<i>Capitolo 5 - Tecnologia 5G: analogie e differenze con le tecnologie LPWAN</i> .....	49
<i>Capitolo 6 – Presentazione offerta IoT per l’edificio scolastico</i> .....	53
<i>Offerta implementazione IoT</i> .....	54
<i>Analisi qualitativa dell’algoritmo di calcolo del risparmio</i> .....	57
<i>Capitolo 7 – Confronto tra valvole termostatiche ed IoT per la regolazione dell’impianto</i> .....	63
<i>Conclusioni</i> .....	79
<i>Appendice 1</i> .....	81
<i>Appendice 2</i> .....	82
<i>Bibliografia</i> .....	84

## *Abstract*

La tesi è incentrata sulla riqualifica tecnologica della centrale termica dell'I.T.I.S “Giulio Riva” situato a Saronno (VA). Innanzitutto, è stato analizzato lo stato di fatto anteoperam della centrale termica al fine di comprenderne la struttura funzionale e le caratteristiche dei componenti di impianto in essa presenti. Successivamente si è scesi nel dettaglio del progetto di riqualifica, esaminando tutte le modifiche effettuate al layout di centrale che si esplicano nella sostituzione di vecchie apparecchiature e nella rettifica effettuata agli elementi presenti. Parallelamente sono stati analizzati i risparmi energetici conseguiti dalla sostituzione delle due caldaie e delle pompe, affiancati al calcolo dei titoli di efficienza energetica eventualmente ricavabili, derivanti dal suddetto risparmio. Conseguentemente si è entrati nel vivo dell'IoT, descrivendo i due sistemi di trasmissione dati LPWAN Lora e Sigfox, ricercando affinità e differenze tra di loro e con la tecnologia emergente 5G, ponendo l'accento anche sulle loro applicazioni in ambito Energy negli edifici. È stata poi presentata l'offerta proposta da Enerbrain, per il controllo automatizzato IoT dell'edificio scolastico, sia dal punto di vista economico che tecnico, discutendo del funzionamento del sistema Enerbrain e di come promuova strategie di efficientamento su tutti i vettori energetici utilizzati nell'edificio al fine di condurre ad un risparmio energetico. Infine, è stato posto l'accento sulle differenze tra il classico sistema utilizzato per la regolazione termica degli ambienti tramite valvole termostatiche e la nuova tecnologia IoT, esaminando per ogni possibilità vantaggi e svantaggi, il risparmio energetico ed economico ricavabile nonché il simple pay back dell'investimento.

## *Introduzione*

La seguente tesi è incentrata sullo studio della tecnologia IoT eventualmente implementabile durante la riqualifica funzionale e tecnologica della centrale termica dell'I.T.I. S "Giulio Riva" situato in via Carso 10, Saronno (VA) ed è stata svolta in collaborazione con l'azienda Enenso SRL con sede operativa in Via Duccio Galimberti 5, Casalpusterlengo (LO). Mediante una serie di sopralluoghi in loco congiunti all'analisi delle relazioni tecniche e specialistiche si è scesi nel dettaglio di tutti gli interventi realizzati volti alla riqualificazione della centrale termica in esame, confrontando lo stato anteoperam con quello di progetto al fine di mettere in risalto le modifiche effettuate e spiegarne la motivazione soprattutto dal punto di vista del risparmio energetico conseguito. L'attenzione della tesi è poi stata spostata sulla tecnologia emergente IoT, con lo scopo sia di evidenziare i vantaggi di un suo utilizzo per il controllo intelligente unito all'automazione dell'edificio scolastico oltre che per discutere del risparmio energetico conseguibile tramite la tecnologia installabile di Enerbrain. Trattandosi di una tecnologia che si sta sviluppando recentemente, il focus è stato spostato inevitabilmente sul confronto qualitativo e quantitativo dal punto di vista economico tra l'utilizzo più tradizionale per la regolazione dell'impianto di valvole termostatiche connesse ai terminali di impianto e l'implementazione dell'IoT, per capire se effettivamente sia conveniente o meno utilizzare sistemi che fanno uso di intelligenza artificiale al fine di automatizzare il controllo dell'edificio scolastico in questione.

# Capitolo 1 - Stato di fatto anteoperam centrale termica

## I.T.I.S “Giulio Riva”

All'interno di questo capitolo si esamina lo stato di fatto anteoperam della centrale termica, fornendo una panoramica generale della sua configurazione e del sistema impiantistico in essa esistente prima dell'inizio della riqualificazione. La centrale termica è situata nel piano interrato della scuola, accessibile tramite una scala interna all'edificio scolastico. Lo schema funzionale completo della centrale termica anteoperam è visibile all'Appendice 1.

Nella seguente figura si riporta uno schema semplificato nei componenti principali in modo da supportare la descrizione del layout di centrale termica prima di eseguire la riqualifica.

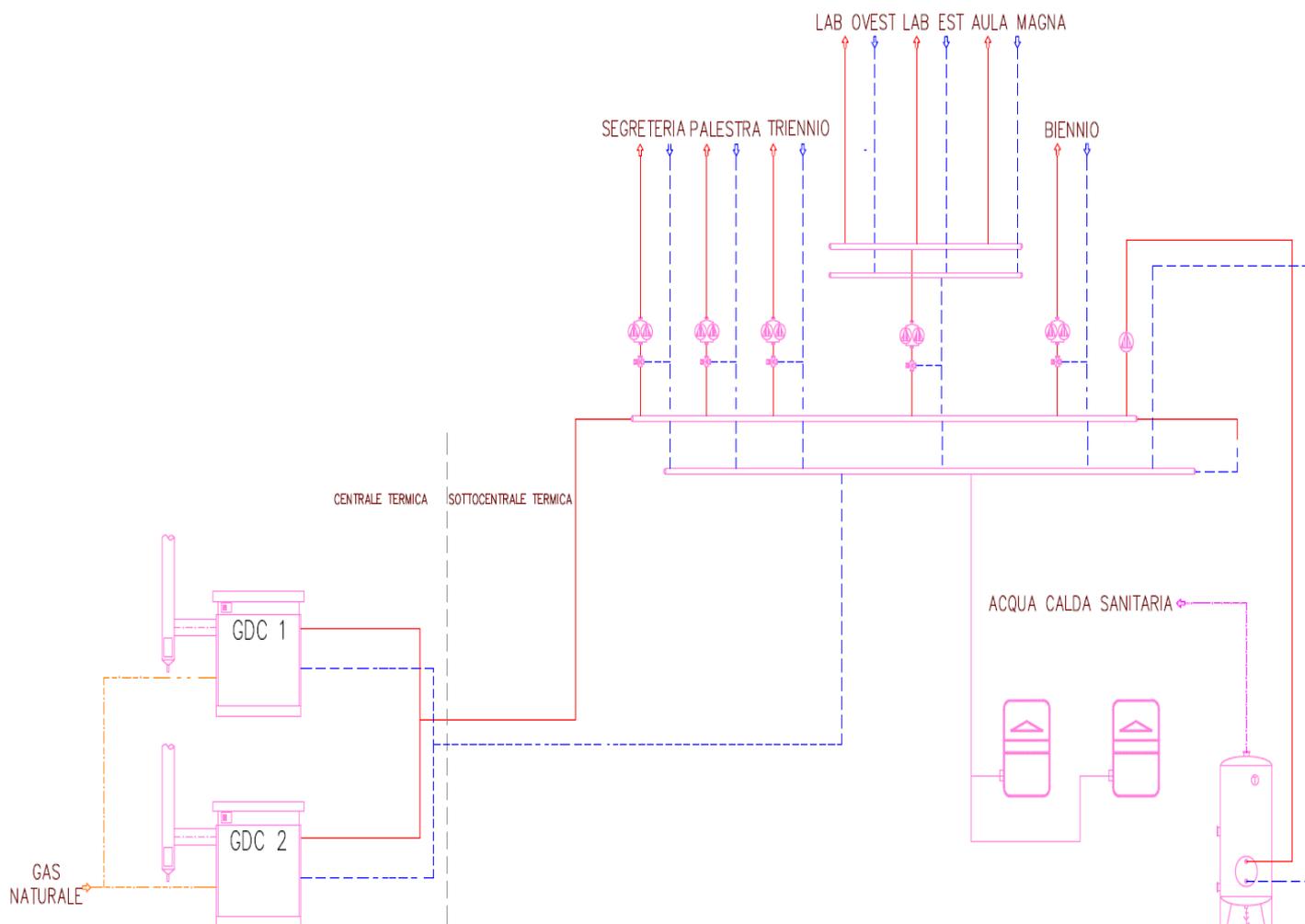


Figura 1 Schema funzionale semplificato centrale termica anteoperam

Da esso si evince innanzitutto come vi sia distinzione tra due ambienti distinti, centrale e sottocentrale termica: nella prima si evince la presenza di due caldaie alimentate dalla linea

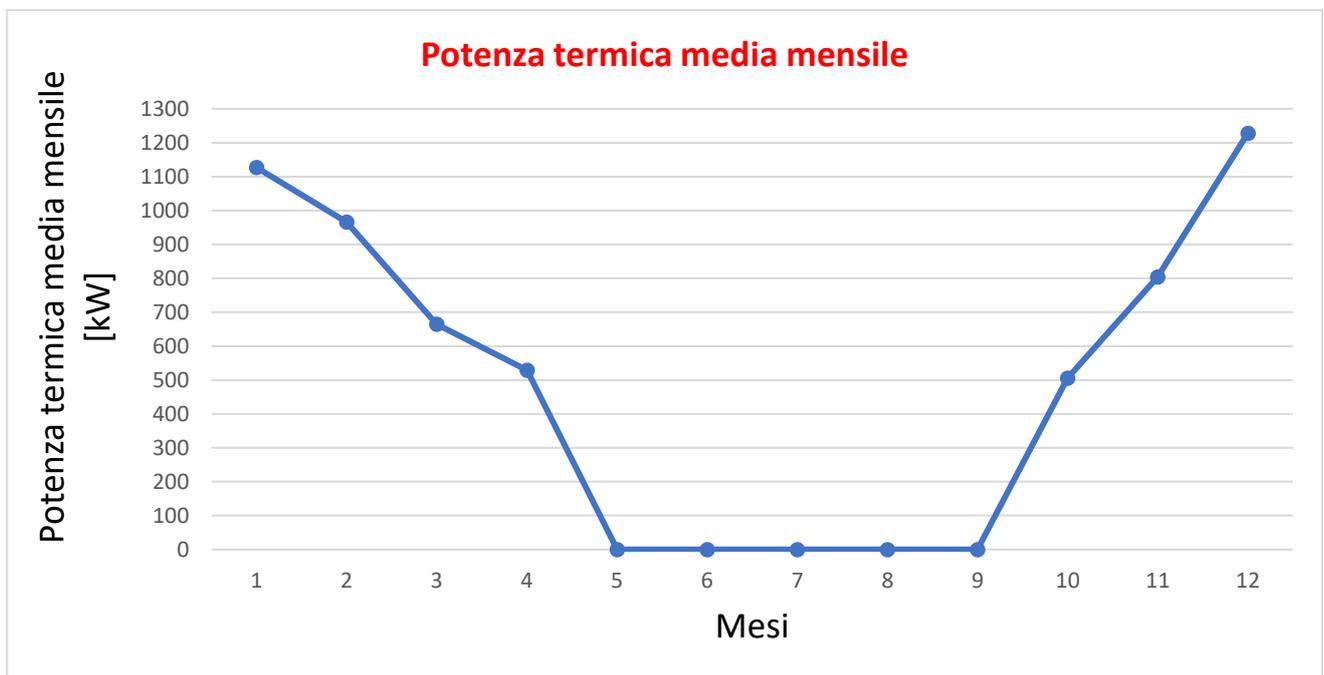
del gas naturale e collegate in maniera diretta con il grande collettore di centrale di mandata, che ha il compito di distribuire tutta la mandata calda verso le varie zone compresa l'ACS, mediante una coppia di pompe gemellari accoppiate all'uso di valvole miscelatrici a tre vie poste a monte di esse. Questo tipo di configurazione vale per tutti gli ambienti dell'edificio scolastico ad eccezione del Laboratorio Ovest, Est ed Aula magna, dove si evince chiaramente che è un'unica pompa a dover gestire il flusso del fluido termovettore da un altro piccolo collettore di mandata verso le zone appena citate e che quindi deve farsi carico non solo delle perdite di carico triplicate derivanti dal circuito di mandata verso i tre ambienti, ma anche del ritorno verso le caldaie, data la mancanza di circolatori sia sulla mandata che sul ritorno stesso verso i generatori di calore. Si nota inoltre la presenza del bollitore per l'ACS, alimentato dal grande collettore di centrale di mandata mediante una pompa singola.

Tramite un sopralluogo effettuato in centrale termica si è riscontrata la presenza di due caldaie a condensazione, di tipologia a tubi di fumo alimentate a gas naturale, alimentate da due bruciatori con potenza massima pari a 1200 kW ognuno. La potenza termica totale disponibile dalle vecchie caldaie è stata calcolata tramite un foglio di calcolo Excel, mediante la lettura del consumo di gas naturale in  $m^3$  desunta dal contatore mese per mese. In particolare, il consumo di gas totale annuo è pari a  $148663 m^3$ . Successivamente è stata calcolata la percentuale di combustibile utilizzata ogni mese, e una volta inserita nel foglio Excel l'energia in MWh contabilizzata anteoperam consumata mese per mese, è stata calcolata la potenza consumata, ottenuta dividendo l'energia per le ore di riscaldamento mensili, stimate realisticamente sulla base dei giorni più freddi dell'anno presenti in ogni mese. Si riporta nella seguente figura uno stralcio del foglio Excel in questione.

*Tabella 1: Stima di massima potenza termica vecchia caldaia*

DA CONGUAGLIO								
	giorni tot	giorni riscaldati	h/g risc	ore tot risc	Consumo [ $m^3$ ]	% combustibile	Energia [MWh]	Potenza termica consumata da contabilizzatore [kW]
gennaio	31	20	12	240	31502	21.1	270.5	1127
febbraio	28	22	12	264	27456	18.4	255	966
marzo	31	20	10	200	13700	9.2	133	665
aprile	30	14	10	140	8431	5.6	74	528
maggio	31	0	0	0	0	0	0	0

giugno	30	0	0	0	0	0	0	0
luglio	31	0	0	0	0	0	0	0
agosto	31	0	0	0	0	0	0	0
settembre	30	0	0	0	0	0	0	0
ottobre	31	14	10	140	6156	4.1	70.8	506
novembre	30	24	10	240	32636	21.9	193	804
dicembre	31	20	12	240	28782	19.3	294.7	1227
TOT		134	76	1464	148663	100	1291	1227



*Figura 2 Potenze termiche medie mensili contabilizzate*

In figura 2 è stato rappresentato il grafico che mette in relazione le potenze termiche medie mensili ricavate dall'energia in MWh misurata dal contabilizzatore in funzione dei mesi dell'anno. Chiaramente nei mesi di maggio, giugno, luglio, agosto e settembre, l'impianto termico non è in funzione e la potenza contabilizzata è nulla, Nei restanti mesi e soprattutto in quelli invernali con clima rigido, essa aumenta. Chiaramente si tratta di una potenza media mensile poiché è stata divisa la somma dell'energia termica contabilizzata mensilmente per il numero di ore totali di riscaldamento mensili.

La potenza media maggiore consumata come prevedibile risulta nei mesi invernali, in particolare a dicembre ed è pari a

$$P_{media\ cons\ max} = 1227\ kW$$

ottenuta dividendo l'energia consumata contabilizzata a dicembre per le ore totali di riscaldamento nel medesimo mese.

L'energia termica totale consumata annualmente e contabilizzata è pari a:

$$E_{cons\ tot} = 1291\ MWh$$

Infine, il rendimento della vecchia caldaia è stato calcolato come segue:

$$\eta_{ante} = \frac{E_{cons\ tot}}{V_{gas\ cons} * Hi} = 0.91$$

Il valore di rendimento così ottenuto pari a 0.91 testimonia come le due caldaie precedenti siano state dimensionate correttamente in base alla potenza totale massima da fornire, in questo caso a dicembre. A questo punto la potenza primaria necessaria è stata così ottenuta:

$$P_{primaria\ necessaria} = \frac{P_{cons\ max}}{\eta_{ante}} = 1356\ kW$$

Considerando una riserva del 30% sulla potenza installata, in modo da cautelarsi sulla potenza termica installata precedentemente, la potenza primaria necessaria reale ante-operam è pari a:

$$P_{primaria\ necessaria} = 1762\ kW$$

Ciò ha portato, a scegliere come 880 kW il valore di potenza primaria necessaria per ogni vecchia caldaia, naturalmente scegliendo opportunamente un valore commerciale tra quelle disponibili da catalogo. Il calcolo appena eseguito è un dimensionamento di massima approssimativo, ma necessario non solo al calcolo del rendimento della vecchia caldaia, ma anche per capire qual è il valore delle potenze in gioco nell'edificio scolastico sulla base di dati reali contabilizzati nel periodo precedente alla riqualificazione.

Attraverso le testimonianze degli occupanti della scuola si è riscontrato come essi si trovassero in una condizione di discomfort dovuta alla sensazione di freddo avvertita, nonostante le vecchie caldaie funzionassero a un rendimento relativamente elevato, indice di un malfunzionamento generale delle caldaie stesse.



*Figura 3 Vecchia Caldaia anteoperam*



*Figura 4 Etichetta bruciatore a gas naturale anteoperam*

Per questo motivo si è pensato ad una loro sostituzione oltre che alla modifica sostanziale di tutto il layout di centrale. Infatti, nella vecchia configurazione della centrale termica non vi era nessuna separazione tra il circuito del primario e quello del secondario, ovvero tra la caldaia e i terminali di impianto. Essendo l'acqua che circolava nelle tubazioni sempre la stessa, i normali residui di polvere insiti nei radiatori presenti nelle varie aule e il calcare formatosi nel tempo, a lungo andare hanno portato l'acqua tecnica stessa a sporcarsi notevolmente e di conseguenza ad una perdita di rendimento da parte delle caldaie che non

riescono più a sviluppare e quindi destinare all'acqua la potenza termica stabilita in fase di progetto. Le due vecchie caldaie sono state dapprima estratte dalla centrale termica e successivamente rimosse mediante una gru posizionata all'esterno dell'edificio scolastico.

All'interno della centrale termica era presente anche un bollitore per acqua calda sanitaria (ACS), alimentato dalle due caldaie, con capacità pari a 500 litri, dalle specifiche tecniche riportate nelle seguenti immagini.

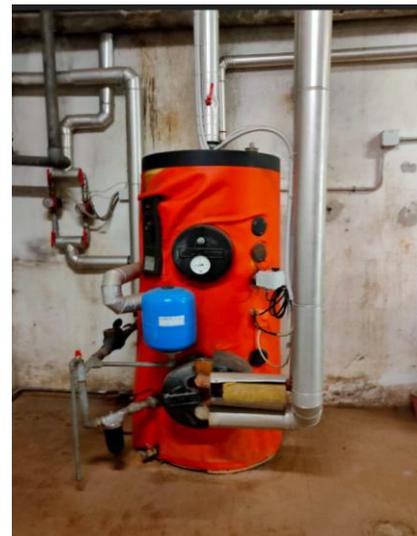
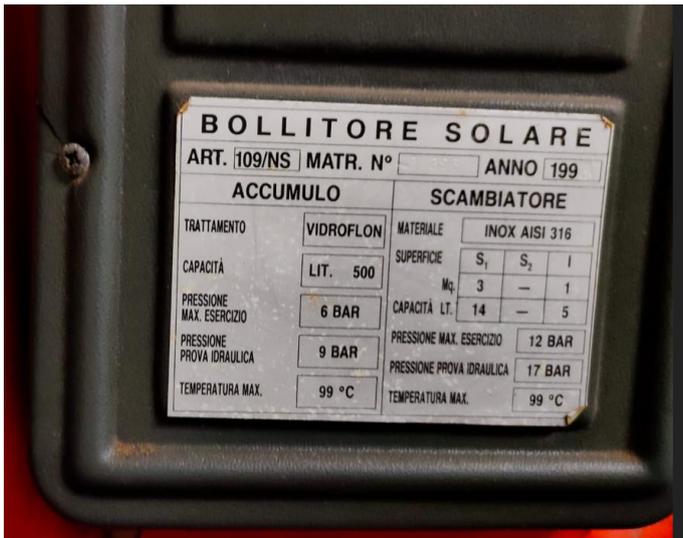


Figura 5 Targhetta vecchio bollitore

Figura 6 Bollitore solare ACS

Successivamente si è passati alla disamina delle pompe alimentate da motore elettrico, che a partire dai collettori di mandata presenti in centrale termica, servono le seguenti zone scolastiche: biennio, bollitore ACS, laboratorio est, ovest ed aula magna, palestra, segreteria e triennio, per un totale di sei elettro-pompe gemellari. Inoltre, è presente per ogni gruppo pompa una valvola miscelatrice a tre vie montata sulla mandata che consente di miscelare il fluido freddo diretto verso il collettore di ritorno con quello caldo di mandata per regolarne la temperatura.

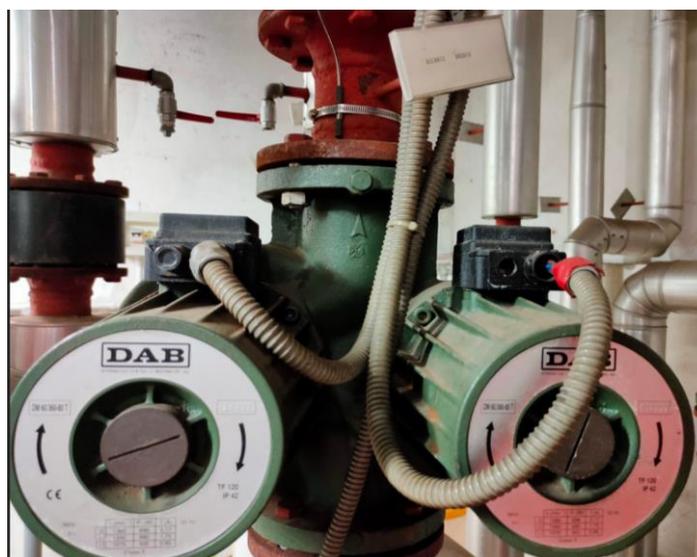
Le pompe gemellari funzionano in maniera alternata e in casi eccezionali di portata richiesta maggiore si riscontra un funzionamento combinato delle due.

Tabella 2: Lista delle vecchie pompe presenti in centrale termica

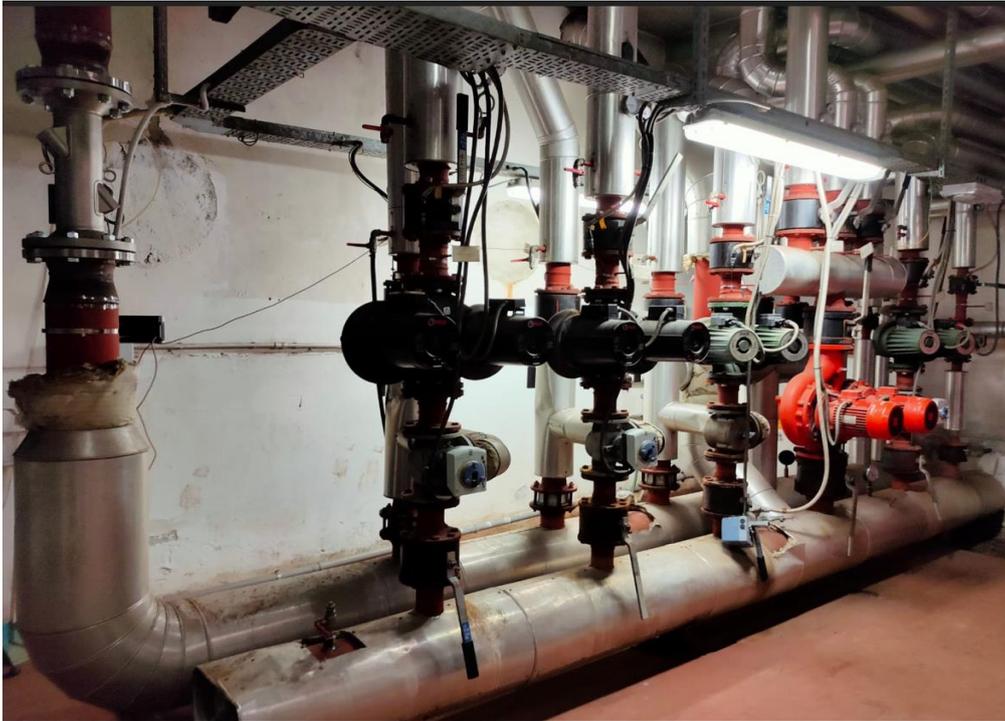
Locale servito	Potenza elettrica [kW]	Tensione di alimentazione
Biennio	0.8	1-230V / 50 Hz
Bollitore ACS	0.12	1-230V / 50 Hz

Laboratorio Est-Ovest-Aula Magna	7.5	3-400V / 50 Hz
Palestra	0.49	1-230V / 50 Hz
Segreteria	0.49	1-230V / 50 Hz
Triennio	1.55	1-230V / 50 Hz

Dalla precedente tabella si nota come la pompa che serve i tre ambienti Laboratorio Est-Ovest e Aula Magna, assorbe una potenza maggiore rispetto alle altre, dovendo assicurare il passaggio di acqua calda in tutti i terminali delle suddette zone e dovendo vincere le perdite di carico relative a tutto il condotto di tubazioni che arrivano alle caldaie, non essendo presenti altri circolatori. Inoltre, è l'unica che presenta un'alimentazione trifase che viene dunque utilizzata per sopportare un carico elettrico importante, senza causare squilibri elettrici nella rete.

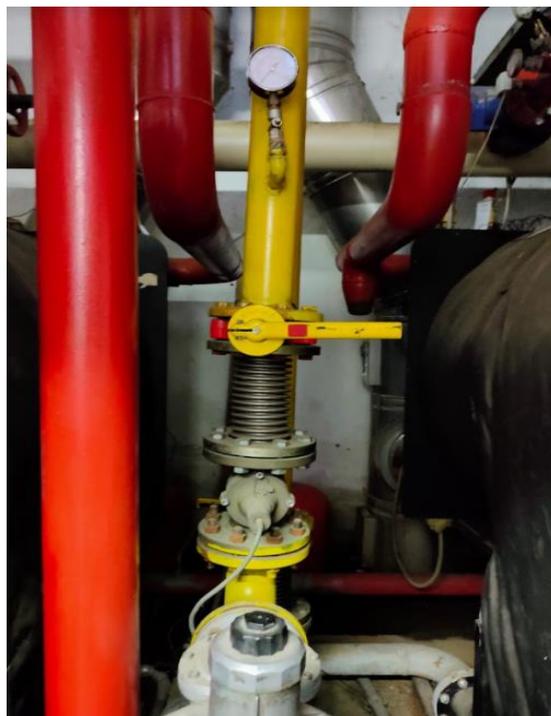


*Figura 7 Vecchie elettropompe gemellari 'DAB' mandata verso Biennio*



*Figura 8 Collettore di mandata e di ritorno*

In centrale termica è presente anche la linea di adduzione del gas naturale verso il bruciatore delle due caldaie, sulla quale si è previsto di intervenire sia per la modifica del diametro nominale della tubazione che per il posizionamento di nuove apparecchiature sulla linea stessa.



*Figura 9 Condotta vecchia gas naturale*

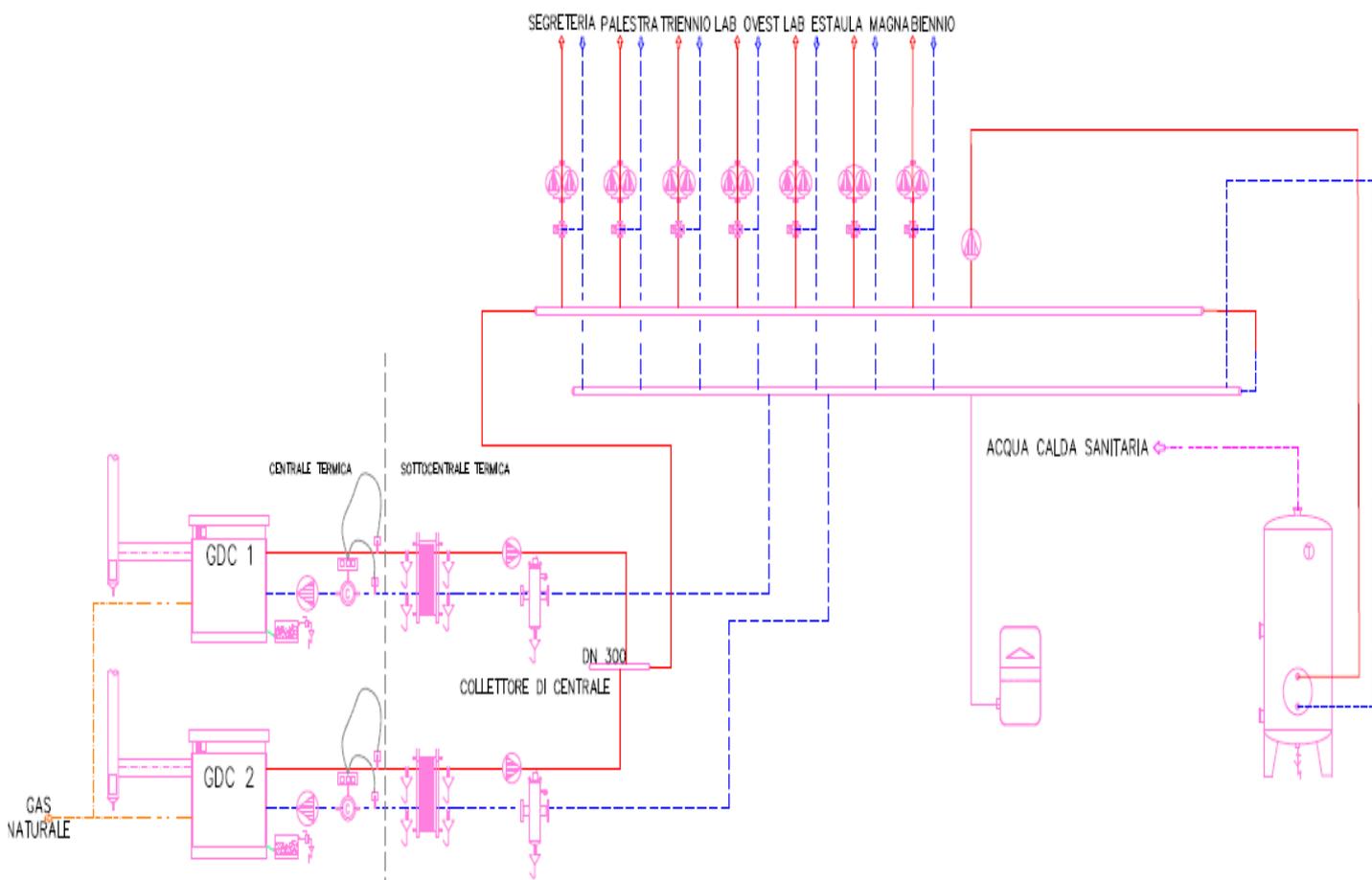
Ispezionando visivamente la zona adiacente alla centrale termica al piano superiore, si riscontra la presenza delle due condotte fumarie delle caldaie, soggette ad un adattamento per il raccordo in centrale termica in uscita dalle caldaie.



*Figura 10 Condotte fumarie caldaia*

## ***Capitolo 2 - Progetto di riqualifica centrale termica***

All'interno di questo capitolo vengono analizzati gli interventi realizzati del progetto di riqualifica della centrale termica e le modifiche effettuate in corso d'opera rispetto allo stato di progetto. Lo schema funzionale completo della nuova configurazione della centrale termica e la lista delle nuove pompe installate, risulta visibile in Appendice 2. Nella seguente figura è raffigurato uno schema semplificato utile a mostrare le differenze sostanziali tra il vecchio e il nuovo layout di centrale termica.



*Figura 11 Schema semplificato centrale termica post operam*

Dallo schema si nota come vi sia la presenza dei due scambiatori di calore a piastre, alimentati dalle caldaie ma posizionati in un locale adiacente a quello delle caldaie, la sottocentrale termica. Una delle modifiche che più salta all'occhio è la scissione rispetto al precedente schema funzionale delle seguenti zone: Laboratorio est, Laboratorio Ovest ed Aula Magna, ognuna servita da un gruppo singolo di due nuove pompe gemellari alimentate da motori elettrici dotati di inverter per regolare il numero di giri di rotazione del motore stesso e fornite anche di display per interfacciarsi con l'utente. Si nota infine la presenza di nuove valvole miscelatrici a tre vie al posto delle precedenti, disposte sulla mandata verso le varie aule scolastiche al fine di regolare la temperatura di mandata del fluido termovettore. Per quanto concerne gli scambiatori di calore a piastre, essi consentono nella nuova configurazione di delimitare il circuito del primario da quello del secondario, risolvendo almeno in parte il problema relativo alla qualità del fluido termovettore descritto precedentemente. Inoltre, nella configurazione post lavori è presente in sottocentrale termica un collettore  $D_n$  300 mm, non presente nella precedente configurazione, che permette di distribuire più agevolmente la mandata calda verso il grande collettore di centrale che serve le varie zone dello stabile. Da

notare è la nuova posizione del contabilizzatore di calore, che viene installato per legge sul ritorno freddo delle caldaie a monte dello scambiatore a piastre per non contabilizzarne le perdite. Di notevole interesse è l'installazione rispetto al caso precedente di nuove pompe, sulla mandata e ritorno rispettivamente a valle e a monte dello scambiatore a piastre. La pompa posizionata sul ritorno dallo scambiatore a piastre verso le caldaie è necessaria per la l'identificazione del cosiddetto circuito primario: avendo inserito lo scambiatore, è stato necessario inserire una pompa per far in modo che l'acqua fredda ritorni verso la caldaia per essere nuovamente riscaldata. La pompa installata invece sulla mandata calda a valle dello scambiatore è necessaria per far in modo che rispetto al precedente schema di impianto, le pompe che servono le varie zone debbano vincere solo le perdite di carico legate al circuito delle zone stesse e non debbano anche caricarsi delle perdite necessarie per trasportare il fluido termovettore al collettore di sottocentrale una volta riscaldato in caldaia. Inoltre, nella nuova configurazione è presente un unico vaso di espansione a livello variabile e pressione costante da 800 litri rispetto al caso precedente dove si avevano due vasi da 500 litri. Infine, vi è la presenza di due defangatori magnetici posizionati sul ritorno freddo del circuito secondario verso gli scambiatori a piastre utili per mantenere elevata la qualità dell'acqua tecnica soggetta a sporcarsi notevolmente passando nei terminali di impianto.

## ***Generatori di calore a condensazione***

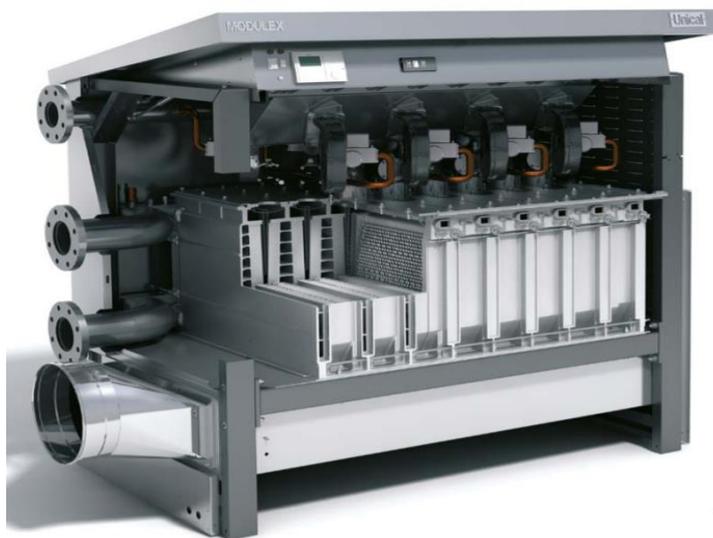
Come descritto nel precedente capitolo, il primo intervento di riqualifica riguarda la sostituzione delle due caldaie. I due nuovi generatori di calore inseriti UNICAL Modulex-EXT 770 sono anch'essi a condensazione, ciascuno dei quali composto da singoli elementi termici preassemblati realizzati in alluminio, silicio e magnesio. Ogni generatore è dotato di un bruciatore ad irraggiamento premiscelato modulante sito all'interno alla caldaia, ovvero un corpo ad elevata temperatura che trasmette calore per irraggiamento attraverso una radiazione elettromagnetica. Questo tipo di bruciatore conduce a diversi vantaggi rispetto ai bruciatori tradizionali [1]:

- ✓ Elevata efficienza che consente di trasferire potenza termica senza dispersioni di calore nell'ambiente circostante
- ✓ Direzionalità, ovvero il calore viene trasferito perpendicolarmente alla piastra radiante indipendentemente dalla posizione del bruciatore

- ✓ Ridotte emissioni rispetto ai bruciatori tradizionali
- ✓ Velocità di riscaldamento elevate, fino ad 850 °C raggiungibili in un minuto

I nuovi generatori a condensazione sono dotati di valvola gas modulante doppio stadio che ha il compito di gestire la quantità di gas che giunge al bruciatore, di conseguenza gestisce la fiamma e la combustione. Il suo funzionamento è legato alla temperatura impostata dall'utente: se essa aumenta, maggiore sarà la portata di gas che fluisce verso il bruciatore [2].

Inoltre, le nuove caldaie dispongono di una sonda NTC ('Negative Temperature Coefficient') di controllo della temperatura. Le sonde in generale sono dei termoresistori, quindi apparecchi creati per captare la temperatura. In particolare, la sonda NTC è un termoresistore con un coefficiente di temperatura negativo, quindi riduce la sua resistenza all'aumentare della temperatura rilevata. La sonda a contatto con il bruciatore analizza la temperatura di combustione e la trasmette alla scheda madre senza alcuna rielaborazione. Solo successivamente i dati verranno confrontati con quanto impostato tramite display sulla caldaia; quando la temperatura arriva al valore stabilito il modulo elettronico fa in modo di diminuire la portata di combustibile alla camera di combustione e analogamente la portata di aria, mentre nel caso in cui la caldaia non sia alla temperatura fissata porterà la potenza termica ad un valore superiore modificando altri parametri [3].



*Figura 12 Generatore di calore UNICAL Modulex - Ext 770*

Per una maggiore comodità di installazione, gli scarichi degli elementi termici (fumi e condense acide) confluiscono in un collettore di drenaggio, sottostante, realizzato in acciaio inox, vicino al quale è presente anche un neutralizzatore di condense che consente di ridurre il ph per consentire il loro scarico nel condotto fognario. Le caldaie risultano complete di coibentazione integrale con lana sintetica anallergica di spessore pari a 50 mm. Il sistema di aspirazione dell'aria comburente dal locale caldaia risulta completamente filtrata mediante un filtro a maglie strette visibile alzando il carter superiore della nuova caldaia.

Nell'immagine seguente sono evidenziate le principali caratteristiche tecniche dei nuovi generatori di calore a condensazione. In particolare, la potenza termica utile nominale in condizioni di temperatura di mandata e ritorno pari a 80/60 °C è pari a 742.6 kW.



MODULEX			EXT 348	EXT 440	EXT 550	EXT 660	EXT 770	EXT 900
Categoria della caldaia			II <sub>2H3P</sub>					
Rapporto di modulazione			1:15,8	1:19,6	1:24,5	1:29,4	1:34,3	1:39,2
Portata termica nominale su P.C.I. Qn	kW		348	432	540	648	756	864
Portata termica minima su P.C.I. Qmin	kW		22					
Potenza utile nominale (Tr 60 / Tm 80 °C) Pn	kW		341,7	424,3	530,4	636,5	742,6	849,0
Potenza utile minima (Tr 60 / Tm 80 °C) Pn min	kW		20,6					
Potenza utile nominale (Tr 30 / Tm 50 °C) Pcond	kW		359,2	445,0	557,8	670,1	783,2	900,3
Potenza utile minima (Tr 30 / Tm 50 °C) Pcond min	kW		23,9					
Rendimento a potenza nominale (Tr 60 / Tm 80°C)	%		98,2					
Rendimento a potenza minima (Tr 60 / Tm 80°C)	%		93,5					
Rendimento a potenza nominale (Tr 30 / Tm 50°C)	%		104					
Rendimento al potenza minima (Tr 30 / Tm 50°C)	%		109					
Rendimento al 30% del carico (Tr 30°C)			106,8	107,3	107,5	108,3	107,8	107,6
Rendimento di combustione a carico nominale	%		97,8					
Rendimento di combustione a carico ridotto	%		98,5					
Perdite al mantello bruciatore funzionante (Qmin)	%		5,04					

*Figura 13 Scheda tecnica UNICAL Modulex-EXT 770*

Un bruciatore a modulazione con un rapporto di modulazione basso 1:34,3 come visibile dalla scheda tecnica in figura 13 consente rispetto ad un bruciatore tradizionale di aumentare o diminuire la dimensione della fiamma che riscalda l'acqua in funzione del fabbisogno termico richiesto dall'edificio, consentendo una maggiore efficienza ai carichi parziali. In particolare,

questa caldaia consente di funzionare fino ad un minimo del 2.94 % ( $1/34,3 = 0.0291$ ) rispetto alla massima potenza, indice di un'elevata modulabilità di questi nuovi generatori di calore.

Un bruciatore tradizionale invece, per carichi termici ridotti, funziona secondo il principio dello "stop and go", cioè accende e spegne la fiamma in modo ciclico, facendo di fatto funzionare la caldaia alla massima potenza.

## ***Scambiatore di calore a piastre***

Come accennato nel precedente capitolo, la sostanziale novità nello schema funzionale della centrale termica sta nell'introduzione di due scambiatori di calore a piastre UNICAL E100L-133H connessi ai generatori di calore da un elettropompa a portata variabile per fare in modo che l'acqua tecnica ricircoli solo nel circuito primario dello scambiatore di calore e di conseguenza risulti più pulita rispetto alla precedente configurazione impiantistica grazie al fatto che essa non viene a contatto con il circuito dei terminali di impianto.



*Figura 14 Scambiatore di calore a piastre UNICAL E100L-133H*

Lo scambiatore a piastre è uno scambiatore di calore a superficie in cui due correnti fluide a temperatura diversa scambiano il loro contenuto termico attraverso delle superfici lavorate a rilievo disposte l'una accanto all'altra, dove i fluidi si avvicinano con flusso in controcorrente. Le piastre sono separate l'una dall'altra ad una distanza di circa 1,5–5 mm attraverso una guarnizione in gomma, che garantisce la tenuta idraulica verso

l'esterno e intorno ai fori di passaggio del fluido. I fluidi caldo e freddo percorrono lo scambiatore a canali alterni in modo che una piastra sia sempre a contatto da un lato con il fluido caldo e dall'altro col fluido freddo.

Gli scambiatori a piastre hanno il vantaggio, rispetto allo scambiatore a fascio tubiero e mantello, di avere un ingombro ridotto e coefficienti di scambio termico più elevati. A causa dei valori elevati dei coefficienti di scambio termico possono essere utilizzati quando la minima differenza di temperatura tra le due correnti è minore di 1 °C, mentre gli scambiatori a fascio tubiero e mantello permettono di raggiungere valori intorno a 5-10 °C.

Gli scambiatori a piastre sono più flessibili di quelli a fascio tubiero e mantello, in quanto sono facilmente ampliabili in caso di mutate esigenze di processo aumentando il numero di piastre poste in successione. Tuttavia, questo tipo di scambiatori presenta lo svantaggio di essere particolarmente sensibile allo sporco delle superfici di scambio, dovuto al passaggio dei fluidi nelle intercapedini, ma al contrario degli scambiatori a fascio tubiero permettono lo smontaggio completo e quindi l'operazione di pulizia delle superfici di scambio risulta più agevole. Inoltre, rispetto agli scambiatori a fascio tubiero possono sopportare temperature e pressioni di esercizio più basse.

Lo scambiatore verrà dotato di coibentazione, costituita da due carter in lamierino zincato rivestiti internamente da pannelli di lana di roccia dello spessore di 30 mm per ridurre le dispersioni termiche in sottocentrale. Le specifiche tecniche relative alla temperatura di ingresso e uscita del fluido termovettore lato caldo e freddo sono riportate nella seguente figura.

		Lato Caldo	Lato Freddo
Potenza termica scambiata	kW	770.0	
Portata	m <sup>3</sup> /h	45.4	61.4
Temperatura ingresso	°C	75.0	59.0
Temperatura uscita	°C	60.0	70.0
Perdite di carico	kPa	8.4	14.9
L.M.T.D.	K	2.5	
K coefficiente pulito	W/(m <sup>2</sup> ·K)	6757	
Superficie di scambio	m <sup>2</sup>	45.8	
Sovradimensionamento	%	6.2	
<hr/>			
Dati termodinamici		Acqua	Acqua
Densità	kg/m <sup>3</sup>	979.9	981.0
Calore specifico	kJ/(kg·K)	4.18	4.17
Conducibilità termica	W/(m·K)	0.657	0.655
Viscosità ingresso	cP	0.377	0.472
Viscosità uscita	cP	0.465	0.403
<hr/>			
Direzione flusso		Controcorrente	
Numero di piastre		133	
Numero di passaggi		1	1
Materiale piastre/ spessore		AISI 304 / 0.50 mm	
Materiale guarnizioni		EPDM Clip	EPDM Clip
Materiale connessioni		Acciaio	Acciaio
Diametro connessioni		100 mm	100 mm
Orientamento connessioni		S1 -> S2	S4 <- S3
Tipo connessioni		DN100 flangia DIN	
Normativa		PED, Cat 0	
Pressione di progetto	bar	10.0	10.0
Pressione di prova	bar	13.0	13.0
Temperatura di progetto	°C	90.0	90.0
Volume di fluido	dm <sup>3</sup>	51.4	51.4
Peso netto, vuoto	kg	490	

*Figura 15 Scheda tecnica scambiatore a piastre UNICAL E100L-133H*

La potenza termica scambiata pari a 770 kW è in linea con quella prodotta a partire dalle caldaie. Infatti, la potenza utile nominale fornita dalle caldaie è pari a 742.6 kW con temperatura di mandata/ritorno pari a 80/60 °C, ma lo scambiatore di calore è stato sovradimensionato per un 6.2 % sulla potenza scambiabile. Per cui la reale potenza di dimensionamento tenendo conto di quella della caldaia è pari a 722.6 kW, inferiore a quella nominale della caldaia stessa.

La caldaia produce acqua calda in mandata alla temperatura di 80°C, infatti lo scambiatore è stato dimensionato per una temperatura di ingresso lato caldo pari a 75°C considerando che l'acqua deve percorrere un certo tratto di tubazione dalla sottocentrale alla centrale termica e di conseguenza e la temperatura potrebbe diminuire di qualche grado. Una particolare attenzione meritano le perdite di carico a cui è soggetto il flusso di acqua proveniente dalle caldaie verso lo scambiatore e viceversa nel ritorno.

Esse possono essere dovute a:

- attrito fluidodinamico del fluido con le pareti dell'apparecchiatura;
- perdita di carico localizzata all'imbocco e allo sbocco dell'apparecchiatura o in corrispondenza di altre variazioni dell'area di passaggio;
- differenza di quota tra l'imbocco e lo sbocco.

Le perdite di carico sono state opportunamente considerate e compensate in fase di progetto dall'inserimento di un circolatore sul ritorno dagli scambiatori verso le caldaie come visibile dalla figura in Appendice 2.

## *Elettropompe*

Per quanto concerne le nuove elettropompe installate, esse saranno del tipo a rotore bagnato, ovvero caratterizzate dall'aver il motore alloggiato nel corpo pompa. La parte mobile del motore (il rotore) è immersa direttamente nel fluido. Per il loro funzionamento non sono pertanto richiesti organi di tenuta idraulica fra le parti in movimento.



*Figura 16 Elettropompa a portata variabile*

Le pompe avranno motore intelligente EC (Electronic Commutation) alimentato in corrente continua. Il movimento del rotore non è generato dall'inversione del senso della corrente, ma dalla commutazione intelligente degli avvolgimenti del motore. Di conseguenza, nell'azionamento non si verificano perdite nel ferro che consumano energia. Al contrario, grazie alla sincronizzazione della corrente trifase è possibile controllare la velocità del rotore effettivamente richiesta. Quindi rispetto ai motori tradizionali AC, l'elettronica controlla il motore EC in tutti i punti di lavoro, impostando la frequenza di commutazione ottimale per

ogni range di velocità e di pressione. Ciò significa che il motore EC è facilmente regolabile in velocità e soprattutto estremamente efficiente in condizione di carico parziale. Non sono necessari selettori di velocità esterni, inoltre questa tecnica può essere integrata molto facilmente nelle strategie IoT attraverso la comunicazione Modbus [4].

Le nuove elettropompe saranno caratterizzate da:

- Campo di temperature consentito da -10 °C a +110 °C
- Alimentazione di rete 1~230 V, 50 Hz
- Max. pressione di esercizio versione standard: 6/10 bar
- Corpo pompa: ghisa grigia rivestita in cataforesi (KTL)
- Albero: Acciaio inossidabile
- Cuscinetti: Carbone
- Girante: Materiale sintetico

Per quanto riguarda le modalità di regolazione, si è preferito concentrarsi esclusivamente su quelle innovative disponibili per i modelli di pompe ‘stratos’, che servono i due laboratori est e ovest, l’ACS e la linea di ritorno dallo scambiatore a piastre alla caldaia. Queste pompe risultano tra l’altro più costose rispetto all’altro modello (‘yonos’) di pompa Wilo installato,

- *Dynamic Adapt plus* per l'adattamento continuo e dinamico della portata al fabbisogno effettivo: la nuova funzione di regolazione adatta automaticamente la prevalenza al fabbisogno idraulico senza che sia necessario inserire un valore di consegna. Dopo la prima messa in servizio, Wilo-Stratos MAXO seleziona un punto di lavoro al centro della curva caratteristica della pompa. A seconda della variazione della portata in mandata vengono definiti nuovi punti di lavoro. Il sistema di regolazione intende così selezionare il punto di lavoro ottimale in modo tale da garantire sempre la massima apertura delle valvole. In questo modo l’impianto può funzionare sempre con minime perdite di pressione.
- *Multi-Flow Adaptation*: tale modalità di regolazione opera affinché la pompa di adduzione adatti la propria portata alle necessità delle pompe circuito utente collegate. La pompa di adduzione ottiene da ognuna delle pompe secondarie la mandata di volta in volta necessaria a intervalli brevi e costanti. La somma delle mandate necessarie di ogni singola pompa secondaria definisce la mandata di consegna della pompa di

adduzione e garantisce che questa pompa l'esatta portata di cui le pompe secondarie hanno bisogno. Questo sistema offre il vantaggioso risparmio di energia elettrica della pompa. La temperatura di ritorno così ridotta grazie all'ottimizzazione della portata, migliora il grado di utilizzo del generatore di calore a condensazione con un conseguente e positivo risparmio di combustibile. La temperatura di ritorno ridotta garantisce inoltre una sicurezza di funzionamento maggiore evitando l'attivazione del limitatore della temperatura di ritorno.

- *No flow-stop*: la funzione di risparmio energetico spegne automaticamente la pompa quando rileva un valore della portata pari a zero. I modelli 'stratos' riconoscono quando, nonostante il numero di giri continuo, si sta pompando una portata eccessivamente limitata. Questo significa che le valvole del circuito utente sono chiuse. Grazie a tale funzione, la pompa arresta il motore al superamento in negativo del valore minimo di portata impostato. A intervalli regolari la pompa controlla quindi l'eventuale raggiungimento e superamento in positivo del valore minimo di portata e prosegue secondo il modo di regolazione impostato nel funzionamento di regolazione. In questo modo la Wilo-Stratos previene un'inutile durata del funzionamento consentendo tra l'altro anche un risparmio di energia elettrica necessaria per il funzionamento della pompa.

Le nuove elettropompe gemellari WILO, modello YONOS MAXO DN 65/0,5-16 PN10 servono separatamente le seguenti zone: segreteria, palestra, triennio, aula magna e biennio.

**Dati idraulici**

Pressione d'esercizio massima $P_N$	10 bar
Prevalenza $H_{max}$	16,0 m
Altezza di ingresso minima a 50 °C	7 m
Altezza di ingresso minima a 95 °C	15 m
Altezza di ingresso minima a 110 °C	23 m
Temperatura fluido min. $T_{min}$	-20 °C
Temperatura max. del fluido $T_{max}$	110 °C
Temperatura ambiente min. $T_{min}$	-20 °C
Temperatura ambiente max. $T_{max}$	40 °C

**Dati motore**

Indice di efficienza energetica IEE	0,23
Alimentazione di rete	1~230 V ±10%, 50/60 Hz
Corrente nominale $I_N$	0,3 A
Corrente nominale $I_N$	6,4 A
Potenza nominale $P_2$	1,2 kW
Velocità min. $n_{min}$	800 giri/min
Velocità max. $n_{max}$	3400 giri/min
Potenza assorbita (min) $P_{1min}$	40 W
Potenza assorbita $P_{1max}$	1450 W
Emissione disturbi elettromagnetici	EN 61800-3;2004+A1;2012 / ambiente residenziale (C1)

Figura 17 Scheda tecnica YONOS MAXO D 65/0,5-16 PN10

Invece, quelle a servizio del Laboratorio est, di quello ovest e della condotta di ritorno verso le due caldaie, WILO STRATOS MAXO DN80/0.5-16 PN16 assorbono chiaramente una potenza maggiore data la superficie maggiore dei laboratori.

### Stratos MAXO-D 80/0,5-16 PN 10

**Foglio dati****Dati idraulici**

Indice di efficienza energetica IEE	0,17
Pressione d'esercizio massima $P_N$	10 bar
Prevalenza $H_{max}$	15,5 m
Mandata $Q_{max hr}$	73,0 m³/h
Mandata $Q_{max add}$	112,0 m³/h
Altezza di ingresso minima a 50 °C	7 m
Altezza di ingresso minima a 95 °C	15 m
Altezza di ingresso minima a 110 °C	23 m
Temperatura fluido min. $T_{min}$	-10 °C
Temperatura max. del fluido $T_{max}$	110 °C
Temperatura ambiente min. $T_{min}$	-10 °C
Temperatura ambiente max. $T_{max}$	40 °C

**Dati motore**

Alimentazione di rete	1~230 V ±10%, 50/60 Hz
Corrente nominale $I_N$	0,3 A
Corrente nominale $I_N$	7,14 A
Velocità min. $n_{min}$	500 giri/min
Velocità max. $n_{max}$	3200 giri/min
Potenza assorbita (min) $P_{1min}$	20 W
Potenza assorbita $P_{1max}$	1645 W
Emissione disturbi elettromagnetici	EN 61800-3;2004+A1;2012 / ambiente residenziale (C1)
Immunità alle interferenze	EN 61800-3;2004+A1;2012 / ambiente industriale (C2)
Classe isolamento	F
Grado di protezione	IPX4D

Figura 18 Scheda tecnica WILO STRATOS MAXO DN80/0.5 - 16 PN 10

L'altra pompa sostituita è quella a servizio del bollitore di ACS, WILO STRATOS MAXO DN40/0.5 - 12 PN 10 con potenza assorbita ridotta rispetto al caso precedente.

#### Stratos MAXO 40/0,5-12 PN 6/10

#### Foglio dati

Dati idraulici		Dati motore	
Pressione d'esercizio massima $P_N$	10 bar	Indice di efficienza energetica IEE	0,17
Prevalenza $H_{max}$	12,0 m	Alimentazione di rete	1~230 V $\pm$ 10%, 50/60 Hz
Mandata $Q_{max}$	27,0 m <sup>3</sup> /h	Corrente nominale $I_N$	0,2
Altezza di ingresso minima a 50 °C	5 m	Corrente nominale $I_N$	2,49
Altezza di ingresso minima a 95 °C	12 m	Potenza nominale $P_2$	479 W
Altezza di ingresso minima a 110 °C	18 m	Velocità min. $n_{min}$	650 giri/min
Temperatura fluido min. $T_{min}$	-10 °C	Velocità max. $n_{max}$	3600 giri/min
Temperatura max. del fluido $T_{max}$	110 °C	Potenza assorbita (min) $P_{1min}$	10 W
Temperatura ambiente min. $T_{min}$	-10 °C	Potenza assorbita $P_{1max}$	570 W
Temperatura ambiente max. $T_{max}$	40 °C	Emissione disturbi elettromagnetici	EN 61800-3;2004+A1;2012 / ambiente residenziale (C1)
		Immunità alle interferenze	EN 61800-3;2004+A1;2012 / ambiente industriale (C2)

Figura 19 Scheda tecnica WILO STRATOS MAXO DN40/0.5 - 12 PN 10

Infine, le elettropompe installate sulle condotte di mandata dalle due caldaie verso il collettore di centrale risultano WILO VEROLINE Modello: IP-E 80/105 - 3/2.

#### VeroLine-IP-E 80/105-3/2

#### Foglio dati

Dati idraulici		Materiali	
Indice di efficienza minimo (MEI)	0,4	Corpo pompa	Cast iron
Pressione d'esercizio massima $P_N$	10 bar	Girante	PPE/PS-GF30
Temperatura fluido min. $T_{min}$	-20 °C	Albero	acciaio inossidabile
Temperatura max. del fluido $T_{max}$	120 °C	Guarnizione per alberi	AQ1EGG
Temperatura ambiente min. $T_{min}$	0 °C	Lanterna	Cast iron
Temperatura ambiente max. $T_{max}$	40 °C		
		Liquidi consentiti (altri liquidi su richiesta)	
		Acqua di riscaldamento (secondo VDI 2035)	sì
		Olio diatermico	Versione speciale con sovrapprezzo
		Acqua fredda e di raffreddamento	sì
		Miscela acqua/glicole (a 20 - 40 vol.-% glicole e temperatura fluido $\leq$ 40 °C)	sì
		Quota di montaggio	
		Lunghezza costruttiva $L_0$	360 mm
		Raccordo per tubi sul lato aspirante	DN 80
		Raccordo per tubi sul lato pressione	DN 80
Dati motore			
Alimentazione di rete	3~380 V, 50/60 Hz		
Classe di efficienza energetica motore	IE4		
Potenza nominale del motore $P_2$	3 kW		
Corrente nominale $I_N$	9,3 A		
Numero giri nominale $n$	2900 giri/min		
Velocità max. $n_{max}$	2900 giri/min		
Emissione disturbi elettromagnetici	EN 61800-3		
Immunità alle interferenze	EN 61800-3		

Figura 20 Scheda tecnica WILO VEROLINE Modello: IP-E 80/105 - 3/2

## ***Contabilizzatore, defangatore e condotto fumario***

Inoltre, si prevede l'installazione di due nuovi contabilizzatori di calore clamp-on montati rispettivamente sulle condotte di ritorno dagli scambiatori a piastre verso le due caldaie a condensazione in modo tale da non contabilizzare anche le perdite legate allo scambiatore di calore a piastre. I contabilizzatori sono del tipo Kamstrup Multical 603, dispongono di due ingressi per la misura della portata e di due sonde di temperatura, montate sulla mandata e sul ritorno del circuito primario generatori di calore – scambiatori a piastre. Con la soluzione clamp-on il contabilizzatore è posizionato all'esterno della tubazione, in modo tale da non interrompere il funzionamento dell'impianto dovuto all'inserimento di sensori ad ultrasuoni all'interno del tubo per eseguire la contabilizzazione. Tramite un display retroilluminato è possibile visualizzare il consumo energetico in kWh, MWh o GJ, ma anche quello istantaneo in kW, oltre che le temperature di mandata e ritorno misurate dai sensori: attraverso il misuratore di portata ad ultrasuoni viene calcolata la portata volumetrica in transito nel circuito, successivamente viene ricavata quella massica e dalla sua moltiplicazione per il calore specifico del fluido termovettore e per la differenza di temperatura rilevata dalle sonde, si ottiene la potenza termica misurata.



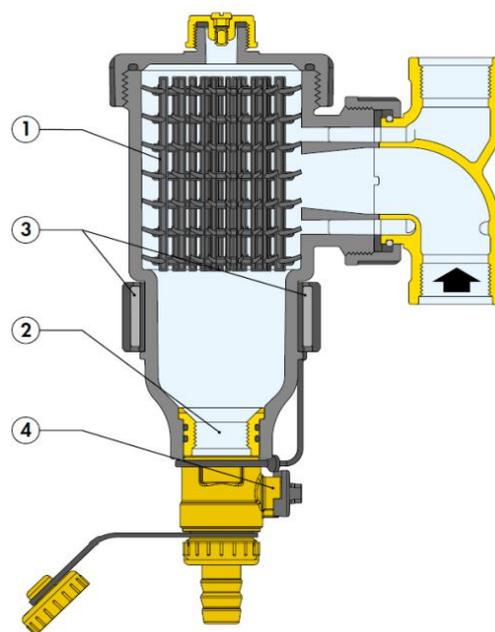
*Figura 21 Contabilizzatore Kamstrup Multical 603*

Il contabilizzatore di calore prevede un intervallo di integrazione di due secondi, al termine dei quali è possibile quindi passare dalla potenza termica all'energia termica contabilizzata, espressa in una delle unità di misura precedentemente illustrate. I Data Loggers sono completamente programmabili per salvare i valori di consumo annuali, mensili, giornalieri, orari e al minuto.

I dati dei contatori di calore intelligenti permettono di fatturare correttamente i consumi, ma il loro valore va ben oltre le bollette. Questi dati possono infatti essere utilizzati per ottimizzare la resa della rete; per sfruttare questo potenziale è necessario che il contabilizzatore sia dotato di estrema precisione.

Il protocollo di comunicazione seriale utilizzato è esadecimale di tipo Modbus RTU, che consente la comunicazione fra diversi dispositivi connessi alla stessa rete, oltre che trasferire tramite il quadro di telecontrollo le misure del contabilizzatore su un computer, memorizzarle e renderle visibili all'utente tramite un display.

Per preservare l'integrità delle nuove caldaie e degli scambiatori di calore a piastre, si prevede la posa di defangatori con magneti sulla rete di ritorno dal collettore grande di centrale verso gli scambiatori a piastre.



*Figura 22 Defangatore magnetico*

Il principio di funzionamento dei componenti si basa sull'azione combinata di più fattori fisici. L'elemento interno (1) è costituito da un insieme di superfici reticolari disposte a raggiera. Le impurità presenti nell'acqua, collidendo con tali superfici, vengono separate precipitando nella parte inferiore del corpo (2) dove vengono raccolte. Le impurità ferrose vengono anche trattenute all'interno del corpo del defangatore grazie all'azione dei due magneti (3) inseriti in un apposito anello estraibile. L'ampio volume interno fa sì che la velocità del flusso del fluido termovettore venga ridotta in modo tale che sia favorita, per

gravità, la separazione delle particelle in esso contenute. Lo scarico delle impurità raccolte viene effettuato aprendo il rubinetto di scarico (4). Chiaramente il defangatore da solo non può rimuovere in maniera efficace tutte le impurità presenti, per cui è necessario un controllo ad intervalli regolari del fluido termovettore al fine di scongiurare il più possibile la sua riduzione di qualità e di conseguenza il calo di rendimento da parte delle nuove caldaie.

Infine, a valle della sostituzione dei generatori di calore, si prevede l'adeguamento esclusivamente dei raccordi degli attuali due sistemi di evacuazione dei fumi delle caldaie.



*Figura 23 Raccordo tra la nuova caldaia e la condotta per evacuazione fumi*

Nelle seguenti due figure è visibile lo stato della centrale termica durante i lavori di rifacimento.

In figura 24, sono visibili le due nuove caldaie in sottocentrale termica; in particolare per quella a destra si notano anche le tre tubazioni rispettivamente dall'alto verso il basso: alimentazione gas naturale (da riverniciare in giallo), mandata completa di alloggi in nero per dispositivi appartenenti al kit INAIL, completo di tutti i dispositivi conformi alle specifiche applicative INAIL (ex ISPESL), e ritorno in basso. La caldaia di sinistra invece è stata posizionata in modo speculare, per cui le tre tubazioni sono disposte sul retro della caldaia stessa.

In figura 25 invece è mostrata la parte di circuito che comprende i due scambiatori a piastre alimentati dalle mandate calde provenienti dalle caldaie in sotto centrale termica. Sono inoltre visibili i due defangatori magnetici e in basso i circolatori posizionati sul ritorno del circuito primario verso le caldaie.



*Figura 24 Nuove Caldaie UNICAL Modulex 770*



*Figura 25 Scambiatori di calore a piastre, collettore di centrale e defangatori*

### ***Capitolo 3 – Risparmi energetici e possibile incentivazione TEE***

All'interno di questo capitolo si esaminano i risparmi energetici conseguiti a valle della riqualificazione e la possibile incentivazione mediante titoli di efficienza energetica (TEE) successivamente alla sostituzione delle due caldaie con le nuove a condensazione UNICAL MODULEX 770 e delle pompe con le nuove dotate di inverter.

Tuttavia, bisogna fare una premessa fondamentale: i TEE ricavati sia per la caldaia che per le pompe, costituiscono un'incentivazione ideale, ora non più possibile in quanto i titoli di efficienza energetica possono ovviamente per loro natura essere richiesti prima che le caldaie e le pompe vengano acquistate e installate in centrale termica. Dato che ciò è già avvenuto, viene meno il meccanismo di incentivazione attraverso i TEE. Nonostante ciò, si riporta la procedura che avrebbe consentito di calcolare quanti TEE si sarebbero potuti richiedere se la condizione precedentemente descritta non fosse avvenuta.

I Certificati bianchi sono titoli negoziabili che certificano i risparmi energetici conseguiti negli usi finali di energia, realizzando specifici interventi di efficientamento e costituiscono uno dei meccanismi per incentivare progetti di efficienza energetica. Gli interventi per cui richiederli possono essere sia per contesti privati che aziendali e riguardano sia efficientamenti elettrici che termici. Il GSE specifica che per ogni tonnellata equivalente di petrolio TEP di risparmio ottenuto grazie alla realizzazione dell'intervento di efficienza energetica, viene riconosciuto un Certificato per tutta la sua vita utile stabilita dalla normativa per ogni tipo di progetto. Tutti i soggetti scambiano i titoli sulla piattaforma di mercato gestita dal GME o attraverso transazioni bilaterali.

I vantaggi derivanti dalla richiesta di titoli sono principalmente di tipo economico: infatti, la richiesta per i certificati bianchi presuppone sia stato eseguito un ampio lavoro di ammodernamento ed efficientamento dell'impianto. Innanzitutto, questo comporta un consistente abbattimento dei consumi di materia prima come ad esempio metano, elettricità, gpl etc. In seconda battuta, il nuovo impianto sarà necessariamente e meticolosamente monitorato dal punto di vista dei consumi, registrando i kWh elettrici o termici risparmiati rispetto alla configurazione precedente. Siccome non esiste un limite al numero di certificati che si possono ricevere, più è grande l'impianto e più lo si fa lavorare, maggiore sarà il numero di TEE conseguibili.

I titoli di efficienza energetica riguardo la sostituzione delle caldaie sono di tipo 2 che certificano il conseguimento di risparmi di energia attraverso una riduzione dei consumi di gas naturale. Al fine di accedere al meccanismo di incentivazione TEE è necessario sostituire un'apparecchiatura già esistente (in questo caso la caldaia) con una nuova che abbia un rendimento minimo superiore a quello di riferimento indicato nell'Appendice B all'Allegato 1 al D.M. 26/06/2015. In questo caso, avendo il generatore di calore una potenza nominale maggiore di 400 kW, il decreto prevede che il valore di  $P_N$  sia impostato proprio pari al valore limite di 400 kW. Per cui, il rendimento minimo vale:

$$\eta_{MIN} = 90 + \log(P_N) = 92.6 \% = 0.926$$

Il rendimento della nuova caldaia è pari a 0.982 da scheda tecnica, per cui è possibile accedere al meccanismo di incentivazione.

Per quanto concerne le caldaie, mediante la Guida Operativa dell'Allegato 1 del Decreto Direttoriale 30 aprile 2019, si è individuato l'algoritmo che consente di calcolare il risparmio energetico in TEP da associare alla sostituzione di ogni caldaia. La formula utilizzata risulta:

$$Risparmio = \left( \frac{1}{\eta_{BASELINE}} - \frac{1}{\eta_{EX POST}} \right) * E_{th} * f_t \simeq 121 [TEP/anno]$$

dove  $\eta_{BASELINE}$  coincide nel caso di sostituzione di un'apparecchiatura già esistente con il rendimento EX ANTE già calcolato precedentemente e pari a 0.91. Invece  $\eta_{EX POST}$  coincide con il rendimento della nuova caldaia nelle condizioni di mandata a 80 °C e ritorno a 60°C ed è pari a 98.2 % da scheda tecnica.

$E_{th}$  rappresenta l'energia termica ceduta all'utenza anch'essa ricavata precedentemente da contatori e pari a 1291 MWh mentre  $f_t$  è il fattore di conversione da MWh a TEP ed è pari a 0.086.

Considerando l'uguaglianza:

$$1 TEP = 1 TEE$$

e il prezzo attuale di ogni titolo pari a 260  $\frac{euro}{TEE}$ , il risparmio totale ottenuto è pari a 31584 euro.

Per quanto riguarda le elettropompe, i titoli di efficienza energetica sono di tipo 1, che certificano il conseguimento di risparmi di energia attraverso una riduzione dei consumi di energia elettrica. Al fine di calcolare il risparmio energetico in TEP associato alla sostituzione delle pompe è stato utilizzato l'algoritmo previsto dal progetto standardizzato relativo all'installazione dei nuovi motori elettrici IE4 a 4 poli che alimentano le nuove pompe presenti in centrale termica. Il progetto standard prevede il confronto tra il consumo energetico nel caso post e quello di riferimento determinato in base al regolamento CEN 640/2009. In particolare, l'algoritmo utilizzato per il calcolo del risparmio risulta:

$$Risparmio = P_n * h * \left( \frac{1}{\eta_{BASELINE}} - \frac{1}{\eta_{EX POST}} \right) * C_c * 0.187 * 10^{-3} \quad [TEP/anno]$$

dove con  $P_n$  si indica la potenza nominale in kW del motore elettrico che alimenta le pompe, desumibile dalle schede tecniche delle pompe stesse. Il termine  $h$  rappresenta le ore di

funzionamento dei motori elettrici, ed è stato imposto pari a  $12 \frac{h}{gg}$ , considerando come nei periodi invernali con clima rigido l'impianto debba funzionare per gran parte della giornata per garantire il comfort agli occupanti. I giorni di funzionamento all'anno sono stati scelti in maniera ponderata considerando solo i giorni settimanali, nei quali la scuola è occupata, nei mesi dove è richiesta la messa in funzione dell'impianto di riscaldamento: da metà ottobre a metà aprile.

$C_c$  rappresenta il fattore di carico dei motori elettrici ed è stato scelto pari al valore unitario in considerazione del fatto che quando l'impianto di riscaldamento va in funzione, le pompe devono ovviamente funzionare. Per quanto riguarda i rendimenti presenti nell'algoritmo del risparmio si ha:

$\eta_{BASELINE}$  che rappresenta il rendimento di riferimento di un motore IE2, dato che si tratta di installazione contestuale di motore e inverter e  $\eta_{EX POST}$  che invece rappresenta il rendimento dei nuovi motori elettrici IE4 desunti dalle tabelle armonizzate tratte dallo standard IEC/EN 60034-30-1:2014 in funzione della potenza nominale e del numero di poli (4) dei nuovi motori elettrici.

Utilizzando l'algoritmo relativo al risparmio per i motori elettrici che servono i seguenti ambienti (segreteria, palestra, triennio, aula magna, biennio, bollitore ACS e laboratorio considerato una sola volta data la suddivisione operata nella nuova configurazione di impianto) si perviene ad un risparmio energetico totale in TEP pari a  $0.198 \frac{TEP}{anno}$  e quindi ugualmente lo stesso numero di titoli ottenibili.

Tabella 3: Titoli di efficienza energetica possibili per le pompe

Pompa Segreteria			Pompa Palestra			Pompa Triennio	
Pn nuova [kW]	1.2		Pn nuova [kW]	1.2		Pn nuova [kW]	1.2
h/gg funz	12.00		h/gg funz	12.00		h/gg funz	12.00
gg/anno	134		gg/anno	134		gg/anno	134
$\eta$ baseline	0.814		$\eta$ baseline	0.814		$\eta$ baseline	0.814
$\eta$ post	0.872		$\eta$ post	0.872		$\eta$ post	0.872
Cc	1		Cc	1		Cc	1
Risp En [TEP]	0.029		Risp En [TEP]	0.029		Risp En [TEP]	0.029
TEE	0.029		TEE	0.029		TEE	0.029

Pompa Aula Magna		Pompa Biennio		Laboratorio est		ACS	
Pn nuova [kW]	1.2	Pn nuova [kW]	1.2	Pn nuova [kW]	1.6	Pn nuova [kW]	0.57
h/gg funz	12.00	h/gg funz	12.00	h/gg funz	12.00	h/gg funz	12.00
gg/anno	134	gg/anno	134	gg/anno	134	gg/anno	134
$\eta$ baseline	0.814	$\eta$ baseline	0.814	$\eta$ baseline	0.828	$\eta$ baseline	0.796
$\eta$ post	0.872	$\eta$ post	0.872	$\eta$ post	0.882	$\eta$ post	0.857
Cc	1	Cc	1	Cc	1	Cc	1
Risp En [TEP]	0.029	Risp En [TEP]	0.029	Risp En [TEP]	0.035	Risp En [TEP]	0.015
TEE	0.029	TEE	0.029	TEE	0.035	TEE	0.015

Tuttavia, per accedere al meccanismo dei TEE, il PS deve aver generato una quota di risparmio addizionale non inferiore a 5 TEP nel corso dei primi 12 mesi del periodo di monitoraggio. Ciò non accade per cui non sarebbe stato possibile ottenere TEE a valle di questo intervento di sostituzione.

La differenza come ordine di grandezza rispetto al risparmio, e quindi ai titoli possibili ottenibili mediante la sostituzione delle caldaie, si spiega con il fatto che in questo caso le potenze in gioco dei motori sono nell'ordine del kW, molto minori di quelle delle caldaie. Per ottenere lo stesso ordine di grandezza di titoli si dovrebbero avere a disposizione motori con potenze molto più elevate, non caratteristici della centrale termica in analisi.

## ***Capitolo 4 – Sistemi di trasmissione dati Lora e Sigfox e applicazioni IoT in ambito Energy***

La crescente innovazione tecnologica degli ultimi anni unita ad una spinta digitalizzazione ha portato alla nascita ed affermazione del concetto di IoT, Internet of Things. Con quest'ultimo termine si fa riferimento ad una serie di oggetti e dispositivi relativi a diversi ambiti, industria, domotica, servizi urbani, che hanno la capacità di connettersi tra loro scambiando informazioni tramite una rete di connessione ad Internet. Il concetto di IoT rappresenta una possibile evoluzione dell'uso della rete internet: gli oggetti si rendono riconoscibili e acquisiscono intelligenza grazie al fatto di poter comunicare dati sul loro funzionamento e accedere ad informazioni aggregate da parte di altri oggetti connessi alla medesima rete di comunicazione. Questi oggetti interconnessi si definiscono più propriamente smart object (oggetti intelligenti) e si contraddistinguono per alcune proprietà o funzionalità, tra le

quali vi sono: sono identificazione, connessione, localizzazione, capacità di elaborare dati e interagire con l'ambiente esterno. I campi di applicabilità sono molteplici: dalle case intelligenti che regolano autonomamente la temperatura e illuminazione in base alle condizioni esterne, alle applicazioni industriali nei processi produttivi, alla logistica e all'infomobilità, fino all'efficienza energetica, all'assistenza remota e alla tutela ambientale; ad esempio, le sveglie suonano prima in caso di traffico, le scarpe da ginnastica trasmettono tempi, velocità e distanza per gareggiare in tempo reale con persone dall'altra parte del globo, i vasetti delle medicine avvisano i familiari se si dimentica di prendere il farmaco etc.



*Figura 25 Esempi di applicazioni IoT*

Molti operatori industriali, ad esempio hanno inserito centinaia o migliaia di sensori nelle proprie filiere produttive con l'obiettivo di scoprire che cosa succede nelle varie fasi di lavorazione. Queste sonde forniscono dati relativi a migliaia di parametri fisici, chimici e ambientali che permettono agli esperti di intervenire in tempo reale per modificare, per esempio, la composizione di una miscela o la temperatura di cottura di un alimento. Oppure possono inviare informazioni sulle misure di ogni pezzo prodotto così da eliminare quelli difettosi e avere una qualità che si avvicina al 100%. I dati raccolti da queste reti di sensori possono servire anche per ottimizzare l'impiego di risorse scarse come l'acqua o l'energia. Basta ad esempio collegare l'elettrovalvola che apre e chiude l'acqua a un feed che riceve le previsioni del tempo per quella specifica zona e a una serie di sensori che misurano l'umidità del terreno per evitare di sprecare acqua per innaffiare un terreno.

Per quanto riguarda l'utilizzo di IoT all'interno di edifici (insieme alle tecnologie LPWAN), si può affermare come negli ultimi anni il risparmio energetico è diventato il focus principale sul quale concentrarsi quando si parla di obiettivi green e transizione energetica.



## *Sistema di trasmissione dati Lora*

Quando si parla di IoT e di Smart Objects, Smart Building, con elementi interconnessi e comunicanti con l'ambiente circostante tramite una rete di connessione internet, non si può trascurare la tecnologia di trasmissione dati LoRa, a maggior ragione negli scenari riguardanti Smart City, Smart factory o industria 4.0 con sistemi mirati all'ottimizzazione dei risultati e alla massima efficienza operativa [5].

LoRa è un sistema di telecomunicazioni wireless a lungo raggio, a bassa potenza e basso bitrate, promosso come soluzione infrastrutturale per l'Internet of Things [6]. La tecnologia LoRaWAN, infatti, riesce a trasmettere a grande distanza utilizzando una potenza confrontabile a quella di un comune telecomando apri-cancello.

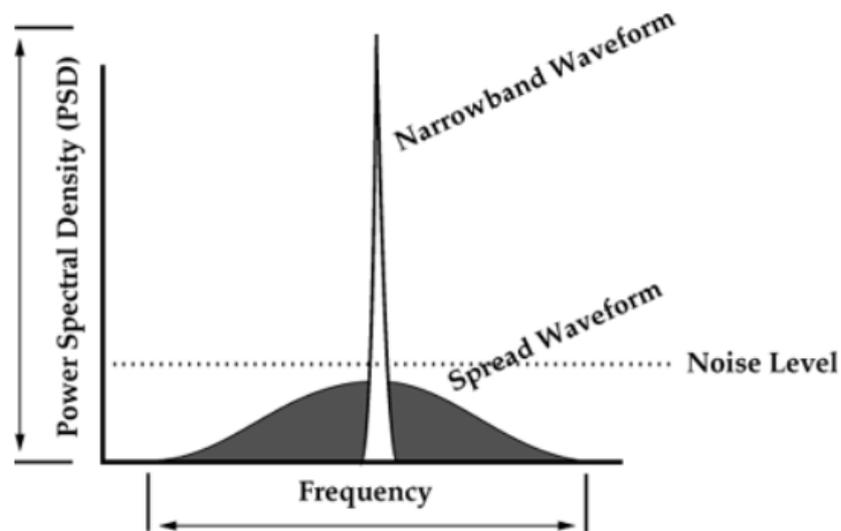
La differenza essenziale tra "Internet" e "IoT" sta nel fatto che il concetto di IoT esplica la propria funzionalità mediante un singolo dispositivo connesso alla rete; ciò implica meno memoria, meno potenza di elaborazione, meno larghezza di banda e meno energia disponibile dato che gli oggetti sono alimentati tramite una batteria e massimizzare la durata è sicuramente una loro priorità. Ciò ha condotto a vincoli che limitano l'applicabilità delle reti cellulari tradizionali, nonché delle tecnologie WiFi, a causa dei requisiti energetici. Negli ultimi anni è però emersa un'altra gamma di tecnologie per soddisfare i requisiti di comunicazione dell'IoT: Low-Power Wide Area Networks (LPWAN).

LoRa è uno di questi protocolli LPWAN e consente di mettere in comunicazione dispositivi che hanno energia limitata (ad esempio, alimentati a batteria), e che non devono trasmettere più di pochi byte alla volta.

Dal punto di vista fisico, viene utilizzata la banda di frequenza libera 868 MHz e una modulazione radio per la quale il segnale informativo viene trasmesso su una banda di frequenze decisamente più ampia di quella strettamente necessaria. Questo ha due importanti effetti:

1. la possibilità di trasmettere con potenze di trasmissione inferiori alla soglia del rumore: un qualsiasi sistema che debba trasportare o trattare informazioni è infatti affetto da rumore non eliminabile, caratterizzato da una certa potenza.

2. quella di elevare notevolmente l'immunità alle interferenze.



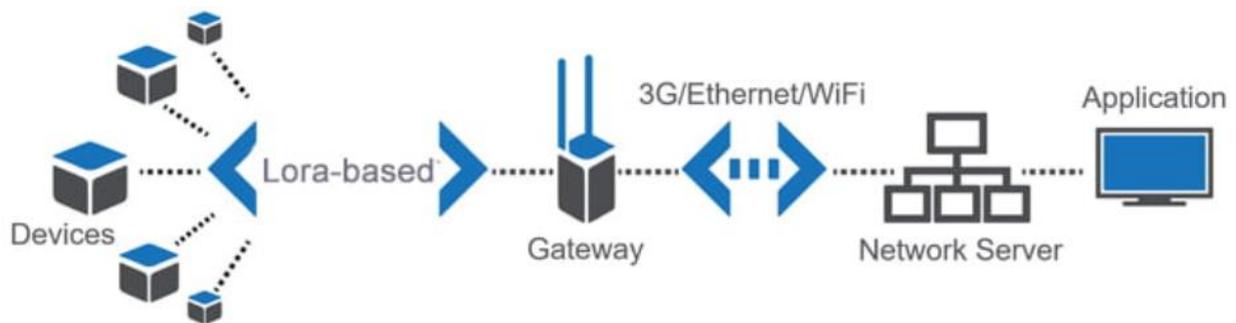
*Figura 27 Sistema Lora, frequenze e potenza di trasmissione*

Questo sistema di comunicazione offre quindi copertura wireless su un'area molto ampia tramite stazioni base in grado di adattare velocità di trasmissione, potenza di trasmissione e modulazione del segnale in modo tale che i dispositivi finali subiscano un consumo energetico molto basso a causa del loro collegamento alla rete.

La comunicazione dei dati può essere avviata sia dal dispositivo finale (se esso è ad esempio un sensore) o da un'entità esterna che desidera comunicare con il dispositivo finale (se il dispositivo finale è un attuatore). La natura a lungo raggio e a bassa potenza della tecnologia LoRa lo rende un candidato interessante per la smart technology nelle infrastrutture civili (come monitoraggio sanitario, smart metering, monitoraggio ambientale, etc.), nonché nelle applicazioni industriali.

LoRa è una tecnologia di comunicazione sviluppata in Francia e utilizza bande di radiofrequenza sub-gigahertz riservate (tra le più diffuse troviamo 868 MHz in Europa) che le consentono trasmissioni a lungo raggio (oltre 10 km nelle zone rurali, 3–5 km in zone fortemente urbanizzate) grazie a cui un emettitore a bassa potenza, detto nodo, che trasmette piccoli pacchetti di dati (da 0.3 a 5.5 kbps) ad un ricevitore. La tecnologia LoRa è suddivisa in due livelli: LoRa rappresenta il primo livello (lo strato fisico) mentre LoRaWAN (Long Range Wide Area Network) rappresenta il livello superiore. Esso è un protocollo di routing bidirezionale (uplink e downlink) che non supporta la comunicazione diretta tra nodi.

Una tipica rete LoRa è di tipo “a stella”, e include tre diversi tipi di dispositivi, come mostrato nella seguente figura [7].

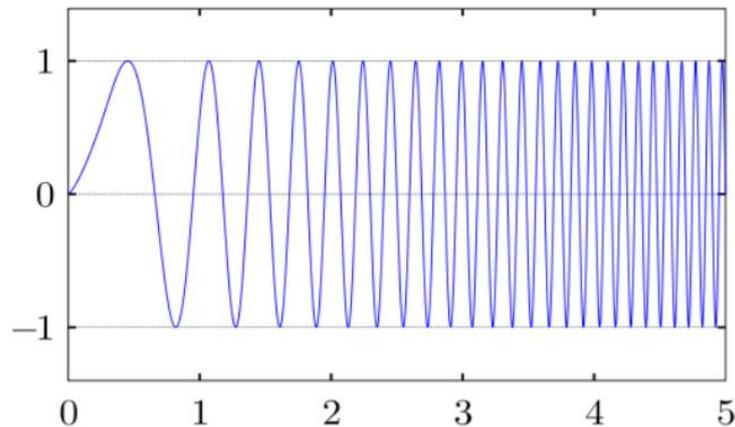


*Figura 28 Schema rete Lora*

Una rete LoRa utilizza il protocollo LoRaWAN per inviare e ricevere dati dai sensori; infatti, esso definisce l'architettura di sistema e il protocollo di comunicazione per la rete LoRa. LoRaWAN consente la gestione della comunicazione tra gateway LoRa e dispositivi LoRa, ovvero i nodi, gestendo anche le velocità dei dati, le frequenze di comunicazione, e l'ottimizzazione della potenza per tutti i dispositivi LoRa.

I nodi LoRa si basano su una comunicazione asincrona, e iniziano a trasmettere quando hanno i dati disponibili. Ciò consente ad una rete LoRa di compensare la bassa velocità di trasmissione dati con una larghezza di banda fissa. I dati trasmessi da un nodo sono ricevuti da più gateway, che inoltrano i pacchetti di dati ricevuti a un server di rete centralizzato (Server IoT). Esso riceve e archivia dati da più dispositivi, oltre che filtrare i pacchetti duplicati, gestire la rete ed eseguire i controlli di sicurezza. Il server invia quindi questi dati ai pannelli di controllo, o può rispedirli ai dispositivi intelligenti connessi. Questi dati possono quindi essere accessibili da qualsiasi dispositivo intelligente, ad esempio un computer, cellulare, o tablet necessario per interfacciarsi con l'utente. In aggiunta, se si vuole scalare le prestazioni dei sensori LoRa aumentandone o diminuendone la gamma delle loro misurazioni, ciò è consentito tramite il Server IoT, pertanto, si inviano i comandi dal pannello di controllo al server IoT. Il server IoT invia il comando al gateway, che a sua volta lo invia al nodo. Il comando viene interpretato nel nodo, e i sensori lo eseguono. Inoltre, LoRa utilizza la codifica ‘Forward Error Correction’: ciò migliora la resilienza della rete contro qualsiasi tipo di elevata interferenza.

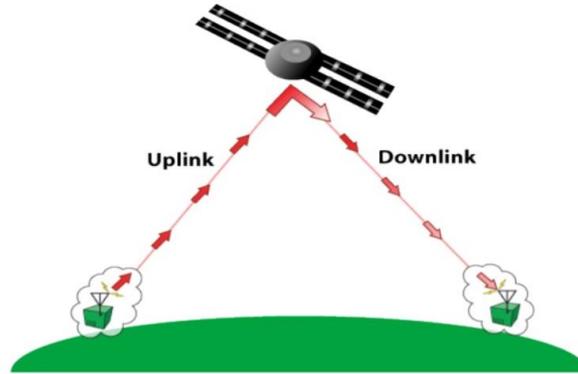
LoRa utilizza CSS (Chirp Spread Spectrum) come tecnica di dispersione dello spettro. I punti di forza di questo tipo di modulazione sono la potenza relativamente bassa e l'elevata robustezza intrinseca a meccanismi di degrado del canale di comunicazione da interferenze. CSS codifica i dati con un "chirp", essenzialmente un segnale sinusoidale modulato in frequenza a banda larga che varia linearmente con il tempo, crescendo (up-chirp) o decrescendo (down-chirp).



*Figura 29 Rappresentazione di un chirp*

Sebbene CSS sia una tecnica di dispersione dello spettro e quindi garantisce una migliore qualità di trasmissione, per poter garantire un buon compromesso tra performance di trasmissione ed impiego minimo di risorse, i canali LoRa dispongono di una bandwidth ristretta.

LoRaWAN ha tre diverse classi di dispositivi finali per soddisfare le diverse esigenze delle applicazioni in base alla possibilità di trasmettere in uplink e downlink ovvero verso e dal dispositivo in questione:



*Figura 30 Trasmissione in uplink e downlink*

- Classe A, bidirezionale: i dispositivi finali di classe A possono programmare una trasmissione uplink in base alle loro esigenze. Questa classe di dispositivi consente comunicazioni bidirezionali, per cui ogni trasmissione in uplink è seguita da due brevi finestre di ricezione in downlink. La trasmissione in downlink dal server in qualsiasi momento deve attendere fino a quando non si verifica la successiva trasmissione in uplink. I dispositivi di classe A hanno il consumo energetico più basso, ma offrono anche una minore flessibilità sulle trasmissioni in downlink.
- Classe B, bidirezionale con slot di ricezione downlink programmati: i dispositivi finali di classe B aprono una finestra di ricezione ad orari prestabiliti. È quindi necessaria una sincronizzazione dal gateway, in modo che il server di rete è in grado di sapere quando il dispositivo finale è in ascolto.
- Classe C, bidirezionale con slot di ricezione massimi: i dispositivi finali di classe C hanno quindi il massimo consumo di energia.

Va notato che LoRaWAN non consente comunicazioni da dispositivo a dispositivo: i pacchetti possono essere trasmessi solo da un dispositivo finale al server di rete o viceversa. La comunicazione da dispositivo a dispositivo, se richiesta, deve quindi essere ottenuta attraverso il server di rete e di conseguenza, tramite due trasmissioni gateway. Quindi, si può affermare come la tecnologia LoRa si inserisce nel mondo dell'IoT mediante l'uso di pochissima energia e consentendo la comunicazione di dati a lungo raggio. LoRaWAN colma il divario tecnologico delle reti Wi-Fi e cellulari, che richiedono alta potenza o larghezza di

banda elevata e hanno l'incapacità di penetrare negli ambienti interni schermati o hanno un raggio d'azione limitato.

Il principale vantaggio di Lora è quello di coniugare un ottimo rapporto tra prestazioni e consumi, attraverso una lunga portata di trasmissione e la possibilità di collegare fino ad un migliaio di nodi mantenendo consumi ridotti. Il secondo vantaggio riguarda la natura aperta del protocollo che permette di non dipendere da alcun operatore esterno, dando così la possibilità di integrare LoRa all'interno di moduli pre-esistenti senza la necessità di riprogettare il sistema da zero, con conseguenti risparmi di tempo e di investimenti per chi decide di passare a questa tecnologia. L'altro grande vantaggio del protocollo LoRa è la bidirezionalità della trasmissione dei dati; in questo modo è possibile acquisire e allo stesso tempo trasmettere dati, con la conseguente possibilità di rilevare eventuali problematiche a distanza e di apportare le dovute operazioni di correzione. Infine, l'elevata immunità al rumore di questa tecnologia consente di raggiungere facilmente luoghi "nascosti" come, ad esempio, i contatori dell'acqua che tipicamente si trovano nelle cantine, sotto ai tombini o nei cavedi. Questo è un elemento di grandissimo rilievo per molte applicazioni IoT.

Tra le principali applicazioni del sistema Lora ritroviamo [8]:

✓ *Agricoltura intelligente*

L'IoT è ampiamente utilizzato in agricoltura per la misurazione delle condizioni ambientali che incidono sulla produzione agricola, oltre al monitoraggio degli indicatori sanitari del bestiame. Ciò consente la massimizzazione della resa e minimizzazione delle spese. Alcuni casi studio hanno dimostrato che l'uso dei sensori LoRa ha ridotto il consumo di acqua delle aziende agricole commerciali fino a 50%. Tali sensori hanno connettività a lungo raggio e consumano bassa potenza. Quindi, sono in grado di inviare dati da aziende agricole al Cloud Server. I dati vengono poi elaborati e analizzati per consentire risparmio energetico.

✓ *Qualità dell'aria nei luoghi chiusi*

Monitoraggio e controllo della qualità dell'aria nei luoghi chiusi risultano fondamentali per la qualità della vita di chi li occupa, sia che si tratti di edifici commerciali, di luoghi di lavoro o di abitazioni private. Grazie ai sistemi Lora è possibile misurare la qualità dell'aria indoor in termini di  $CO_2$  e di umidità rilevata. In ambito energy ciò consente di risparmiare sulla

quota di energia termica relativa alla ventilazione ed utilizzarla solo quando necessario in base anche alla presenza massiccia di occupanti nell'ambiente ventilato.

✓ *Soluzioni di refrigerazione intelligenti*

La tecnologia LoRa può aiutare nelle soluzioni di refrigerazione intelligenti, che mira a tenere traccia delle temperature degli alimenti per l'industria della vendita al dettaglio. I sensori possono anche aiutare i ristoranti a ridurre gli sprechi alimentari e ottimizzare i costi operativi della gestione degli alimenti.

✓ *Illuminazione intelligente*

Quello sul risparmio dell'energia elettrica per l'illuminazione è un tema sempre più attuale e dibattuto nei comuni italiani. La contromisura più comunemente adottata per far fronte al problema della spesa energetica legata all'illuminazione è quella di spegnerla, a turno, in diverse aree. Questo metodo presenta forti limiti, soprattutto dal punto di vista della sicurezza, lasciando strade o interi quartieri al buio. La tecnologia LoRa permette di gestire accensione e spegnimento dell'illuminazione in funzione della quantità di luce da garantire per la sicurezza. Inoltre, il sistema raccoglie informazioni sul funzionamento dei sistemi d'illuminazione e segnala la necessità di interventi di manutenzione mirati. Ciò conduce ad una riduzione della spesa energetica grazie all'utilizzo intelligente dell'illuminazione: accensione e spegnimento delle lampade avvengono in funzione della quantità di luce rilevata invece che ad orari prestabiliti. Inoltre, si ha una riduzione dei costi di manutenzione e maggior efficienza grazie ai dati sul funzionamento raccolti dai sensori.

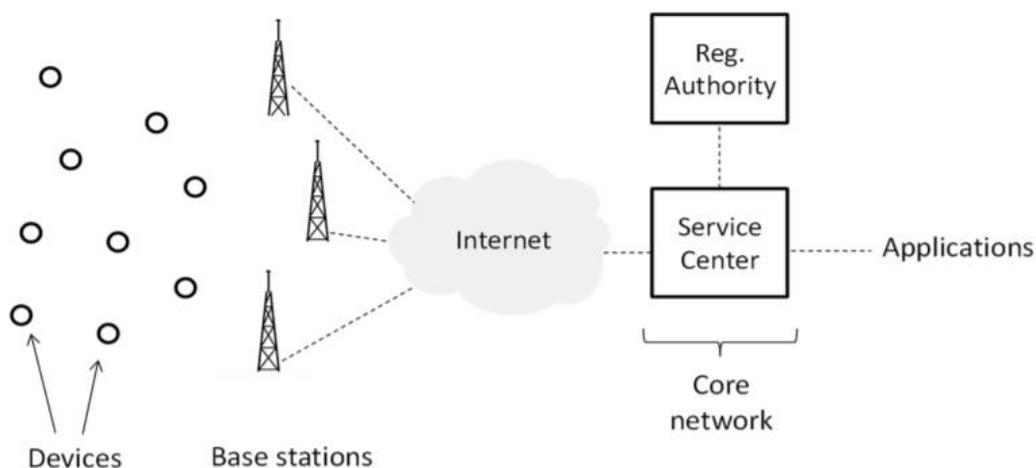
## ***Sistema di trasmissione dati Sigfox***

Come accennato precedentemente, le reti LPWAN sono emerse di recente come una categoria di tecnologie wireless adatte ad abilitare applicazioni IoT in una varietà estesa di domini [9]. Le tecnologie LPWAN sono state progettate per supportare un basso consumo energetico, poiché i dispositivi IoT (ad esempio sensori e attuatori) si basano spesso su una fonte di energia limitata, come una batteria. Tuttavia, in contrasto con il raggio piuttosto breve di molte tecnologie IoT consolidate, le tecnologie LPWAN forniscono un raggio di collegamento esteso fino a diversi chilometri. Inoltre, un singolo gateway può offrire

connettività di rete a centinaia di migliaia di dispositivi IoT. Di conseguenza, le reti LPWAN richiedono l'implementazione e la manutenzione di una bassa quantità di infrastrutture, il che ha alimentato il loro slancio negli ultimi anni.

Un altro sistema di trasmissione dati che si affianca a Lora nell'ambito dei sistemi Low-Power Wide Area Networks (LPWAN) è il sistema Sigfox. Esso offre una soluzione di comunicazione end-to-end innovativa, l'anello di congiunzione perfetto tra i dispositivi remoti installati nei sistemi elettronici e i device dedicati al monitoraggio e al controllo a distanza [10]. Così come Lora, Sigfox permette di realizzare una rete di comunicazione senza allestire specifiche infrastrutture per ogni applicazione, evitando alle aziende di investire in apparati di rete.

Sigfox rappresenta la rete sulla quale qualunque dispositivo può comunicare, purché sia equipaggiato di scheda modem a bassissimo consumo, compatibile e certificata. I modem sono integrati nell'oggetto fisico come ad esempio un sensore, che fornisce i dati da trasmettere alla rete di stazioni radio base operative sul territorio. Questi dati sono resi disponibili via internet agli utenti che devono controllare i loro dispositivi. Sigfox offre una connettività, simile alla rete cellulare, che si adatta ad applicazioni fisse e mobili: una rete a lunga portata e a bassa velocità, che permette la comunicazione di pochi dati tra gli apparecchi connessi, senza passare da modem 2G, 3G o 4G o da infrastrutture wireless complesse. In questo modo si riducono significativamente i costi e il consumo di energia delle periferiche collegate. La struttura di una rete Sigfox comprende i dispositivi, le stazioni base e una rete centrale:



*Figura 31 Architettura di una rete Sigfox*

I dispositivi, sensori o attuatori, sono dotati di connettività wireless con la stazione base vicina. Inoltre, un dispositivo non è vincolato a una particolare stazione; pertanto, non è necessaria una specifica associazione. Le stazioni base sono collegate tramite internet con un'unica rete centrale. La rete centrale è composta dal Centro Servizi e dalla Registration Authority. Il Centro Servizi controlla e gestisce le stazioni base e i dispositivi che si collegano a queste ultime. La Registration Authority è responsabile dell'autorizzazione all'accesso alla rete da parte dei dispositivi.

Sigfox usa bande di frequenze libere da diritti e disponibili nel mondo, come ad esempio la banda ISM (Banda industriale scientifica e medica), riservata alle applicazioni di radiocomunicazioni non commerciali, ma per uso industriale, scientifico e medico, che in Europa opera a 868 MHz.

Questa banda di frequenze ha un grande potere di penetrazione, anche in ambito urbano, nelle condizioni ambientali più ostiche e remote. I dispositivi collegati comunicano tra loro condividendo comandi e dati: in pratica dialogano con poche parole, soltanto quelle necessarie. Per device collegati si intendono dispositivi semplici come ad esempio frigoriferi, distributori automatici di bevande, contatori di elettricità o di acqua e tutte quelle apparecchiature che montano a bordo sensori di ogni genere. Non si considerano gli smartphone, i computer e i tablet che già hanno propri sistemi di comunicazione (3G/4G, Wi-Fi, ethernet).

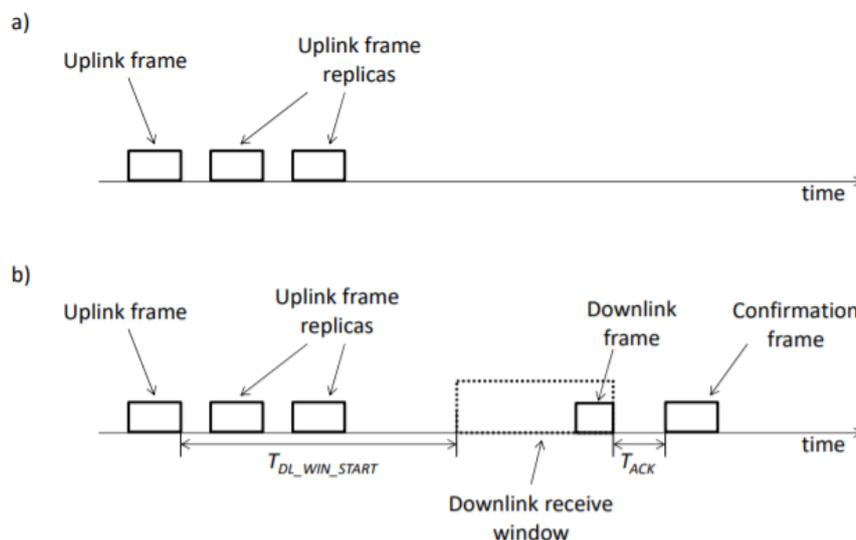
Al fine di consentire un lungo raggio di collegamento wireless, limitando la potenza di trasmissione utilizzata, Sigfox utilizza la radio Ultra Narrow Band (UNB) sia per comunicazione in uplink che downlink. La larghezza di banda di un canale uplink è 100 Hz in Europa, mentre per il canale downlink la larghezza di banda è di 1,5 kHz. L'informazione trasmessa dall'oggetto in uplink può contenere al massimo 96 bit ovvero 12 byte; questo frame di dati viene preceduto da un frame di altrettanti 12 byte all'interno dei quali vi è l'identificativo ID del dispositivo, altri eventuali metadata e bit dedicati all'autenticazione. Il pacchetto intero è quindi formato da un massimo di 24 byte e viene trasmesso in circa 2 secondi.

Sigfox come detto utilizza la banda UNB senza licenza, ed è quindi soggetto alle normative sull'accesso alla stessa. Infatti, il fine di rispettare le normative sull'utilizzo della banda,

Sigfox in genere consente fino a 140 messaggi in uplink e quattro messaggi in downlink al giorno. Utilizzando la modulazione Ultra Narrow Band, Sigfox opera nella banda pubblica e senza licenza per scambiare messaggi radio via etere. Ciascun messaggio ha una larghezza di banda pari a 100 Hz ed è trasferito con velocità che vanno dai 100 ai 600 bit al secondo. La comunicazione Sigfox avviene in maniera asincrona tra dispositivo e stazione base ed è avviata dal dispositivo, il che gli consente di rimanere in stato di attesa riducendo al minimo il consumo energetico.

Una delle caratteristiche che differenzia Sigfox da altri sistemi di trasmissione dati, sta nel fatto che esso abilita si due tipi diversi di scambi di dati: unidirezionali e bidirezionali, tuttavia in maniera molto più limitante rispetto al sistema Lora. Infatti, il sistema Sigfox consente la trasmissione dati bidirezionale ma in modalità half-duplex.

Un sistema *half-duplex* fornisce una comunicazione in entrambe le direzioni, ma con la possibilità di usare soltanto una direzione alla volta quindi non simultaneamente. Quando un dispositivo comincia a ricevere un segnale deve poi aspettare che il trasmettitore interrompa la trasmissione prima di poter rispondere, simile al funzionamento del walkie-talkie.



*Figura 32 Trasmissione unidirezionale e bidirezionale half-duplex Sigfox*

Nella prima, il dispositivo trasmette un frame di uplink tramite una frequenza selezionata casualmente e successivamente invia due repliche di quel frame, utilizzando altri canali di frequenza casuali in intervalli di tempo diversi per evitare la collisione con dati inviati da altri eventuali device. Ciò contribuisce alla robustezza della comunicazione in presenza di

problemi come interferenza. Tuttavia, nelle transazioni unidirezionali, non c'è risposta alla trasmissione del frame in uplink, pertanto, non sono confermate. Nelle transazioni bidirezionali, invece un messaggio di uplink viene prima trasmesso dal dispositivo utilizzando la stessa procedura delle transazioni unidirezionali, ma dopo un tempo, indicato con  $T_{DL\ WIN\ START}$  dalla fine della prima trasmissione in uplink, il dispositivo avvia una finestra di ricezione, di durata massima indicata con  $T_{DL\ WIN\ MAX}$  destinata ad abilitare la ricezione di un frame in downlink inviato da una stazione base. Successivamente alla ricezione del messaggio di downlink, il dispositivo invia una conferma di uplink dopo il tempo  $T_{ACK}$ . Si noti che, a differenza di altre tecnologie, in Sigfox non esistono ritrasmissioni dovute all'assenza di feedback dall'altro estremo di un collegamento.

I messaggi di ritorno verso il dispositivo permettono di eseguire regolazioni o cambiare la configurazione del modo in cui operano i dispositivi; ad esempio: regolare la scala del sensore, impostare la frequenza dei messaggi, o richiedere dati aggiuntivi.

Uno dei vantaggi principali di Sigfox sta nel fatto che i dispositivi trasmettenti hanno un bassissimo consumo energetico, circa 40 volte di meno di un telefono cellulare; un aspetto che garantisce un'elevata autonomia alle batterie che alimentano i dispositivi.

Sigfox opera in tutti i domini di attività possibili e immaginabili. Ad esempio, si può utilizzare nell'ambito di domotica, sicurezza, trasporti, logistica, smart home, energia (smart grid), fino a servizi di tracciamento e geo-localizzazione. Anche solo facendo riferimento all'ambiente indoor possiamo identificare parametri quali la temperatura, l'umidità, la qualità dell'aria, la velocità del vento, l'intensità luminosa, e tutti quelli che possiamo immaginare collegati all'ambiente, al funzionamento di apparecchiature e sistemi, alla sicurezza.

Tra le principali applicazioni di Sigfox si ritrovano [11]:

- ✓ Ottimizzare e anticipare la manutenzione di dispositivi: il sistema Sigfox avvisa quando il cliente ha bisogno di supporto e ciò conduce a minori costi operativi, maggiore sicurezza e soddisfazione del cliente
- ✓ Monitoraggio da remoto delle caldaie che consente di migliorare i cicli di manutenzione riducendo i costi di riparazione in caso di improvvisa rottura
- ✓ Parcheggi smart: monitoraggio dei punti di parcheggio, ottimizzazione del traffico

- ✓ Gestione dei rifiuti, ottimizza i costi di raccolta

## *Analogie e differenze tra Sigfox e Lora*

In figura 33 si evincono le maggiori differenze tra i sistemi Lora e Sigfox.

PROTOCOLLO DI COMUNICAZIONE	Bluetooth	Wifi	Zigbee	Sigfox	LoraWan
Range Network	Short Range Network LR - WPAN	Short Range Network LR - WPAN	Short Range Network LR - WPAN	Long Range Network LP-WAN	Long Range Network LP-WAN
Range in km	50 metri	80 metri	100 metri MESH	10km urbani 50km rurali	2/5km urbani 15km suburbani 45km rurali
Frequenza di banda	2.4Ghz	2.4Ghz	868Mhz / 2.4Ghz	868 Mhz	Varie, Sub Ghz
Bidirezionale	SI	SI	SI	NO	SI
Data Rate	1 mbt / 3mbt	11 mbt / 54mbt	250kbps	100 bps	0.3 - 50 kbps
Quantità di nodi	Decine	Migliaia	Migliaia	Milioni	Milioni
Consumo di energia	Alto	Alto	Basso	Basso	Basso
Tipologia di infrastruttura	Nodo-nodo stella albero	Stella Albero	Nodo-nodo stella albero	Stella	Stella
Standard	Bluetooth 4.0	IEEE 802.11	IEEE 802.15.14	NO	LoraWan

*Figura 33 Differenze tra sistemi Lora e Sigfox*

Entrambi, come detto sono sistemi LPWAN. Come ordine di grandezza sulle distanze raggiungibili i sistemi sono simili, mentre per quanto riguarda la frequenza di banda sulla quale operano, Sigfox presenta un'unica banda (UNB) con frequenza minore rispetto a Lora.

Per quanto concerne invece il Data Rate, ovvero la capacità del segnale di comunicazione, il sistema Lora consente di trasmettere una quantità di dati maggiore per secondo grazie alla banda più larga che riesce a realizzare per la trasmissione. Inoltre, consente la trasmissione dati in maniera bidirezionale dai dispositivi verso il server di rete centralizzato e viceversa, cosa che Sigfox consente solo in modalità half-duplex asincrona. Ciò consente a Lora di acquisire e contemporaneamente trasmettere dati, con la possibilità di rilevare eventuali problematiche a distanza riportate dai sensori e di apportare le dovute operazioni di correzione e modifica del comportamento di azione dei dispositivi finali collegati. Come prevedibile, entrambe le reti di comunicazione chiaramente presentano un basso consumo energetico da parte dei dispositivi così connessi, il che rappresenta il punto di forza principale di tali sistemi di comunicazione rispetto a quelli tradizionali. Per entrambi i sistemi la tipologia di

infrastruttura di rete è di tipo a stella, con una serie di dispositivi (nella maggior parte dei casi sensori) che si connettono con una stazione di ricevimento (gateway). La gittata del segnale e quindi la distanza massima di raggiungimento del segnale è nell'ordine dei km per entrambi i sistemi, in maniera leggermente maggiore per Sigfox. Tuttavia, la principale differenza tra i sistemi risiede nel fatto che il sistema Lora prevede uno standard di comunicazione tra dispositivi e stazione di ricevimento, ovvero LoraWan, cosa che Sigfox non ha.

Una delle opportunità che offre la tecnologia LoRaWAN rispetto a Sigfox è che non necessariamente il dispositivo deve comunicare con un gateway di un operatore di rete LoRaWAN per trasferire i dati in cloud e renderli infine accessibili tramite smartphone, pc o tablet all'utente. Si potrebbe infatti utilizzare un gateway da interno (analogo a quello del WiFi di casa), installare un network server open source sul PC e magari sviluppare una semplice app da installare su cellulare. La possibilità di questo IoT-fai-da-te somiglia molto a quelle che si avevano nell'epoca di forte crescita dei computer in cui in tanti assemblavano un proprio PC, prima di diventare fortemente antieconomico. Sigfox invece richiede un operatore mobile per trasportare il traffico generato, in Italia Net Trotter.

In conclusione, SigFox funziona molto bene in tutte quelle situazioni in cui gli oggetti da monitorare devono ricevere limitati set di dati ed inviano poche informazioni ad intervalli irregolari: sensori di allarme, contatori, etc.

LoRa è invece l'opzione migliore in tutte quelle situazioni in cui si necessita di una vera trasmissione bidirezionale, perché è una tecnologia simmetrica: dispositivi per il telecontrollo, attuatori, acquisizione massiccia di dati etc; se si vuole sviluppare una rete privata LoRa è l'unica opzione.

## ***Capitolo 5 - Tecnologia 5G: analogie e differenze con le tecnologie LPWAN***

Questo capitolo si incentra sulla descrizione della nuova tecnologia emergente 5G per la trasmissione dati ad alta velocità. Essa rappresenta la quinta generazione della tecnologia cellulare ed è stata progettata per incrementare la velocità di trasmissione dati, ridurre la latenza tra l'emissione e la ricezione di un comando e migliorare la flessibilità dei servizi

wireless. Questa nuova tecnologia, attesa per il 2022, consentirà il passaggio a quella che viene chiamata “gigabit society”, con una rapida implementazione di concetti e funzionalità che si stanno già scoprendo in questi anni: Industria 4.0, smart city, smart home, veicoli a guida autonoma e molto altro.



*Figura 34 Applicazioni tecnologia 5G*

La tecnologia 5G ha una velocità di trasmissione dati di circa 100 Mbit/s in download e di circa 50 Mbit/s in upload, superiori rispetto a quelle della tecnologia antecedente 4G [12]. 5G consente quindi di avere una latenza inferiore, il che può migliorare le prestazioni delle applicazioni aziendali, oltre a quelle di altre esperienze digitali, quali gaming, videoconferenze e sistemi di guida senza conducente. Inoltre, la rete 5G semplificherà la mobilità, con funzionalità ottimali di open roaming tra l'accesso via cellulare e tramite Wi-Fi. Gli utenti mobili potranno rimanere connessi mentre si spostano dalle connessioni wireless esterne a quelle delle reti wireless all'interno degli edifici, senza che occorra la necessità di eseguire nuovamente l'autenticazione. Le nuove antenne 5G incorporeranno una tecnologia nota come Massive MIMO (multiple input, multiple output), che consente a più trasmettitori e ricevitori di trasferire più dati in contemporanea.

Il nuovo standard offre il grande vantaggio di appoggiarsi sulla rete cellulare di ultima generazione, superando così tutti i problemi di connettività che una classica rete internet ‘wired’ porta con sé: nessun cablaggio quindi, ma ogni sito industriale può essere raggiunto in modalità wireless con velocità di connessione altissima paragonabile alla fibra. Il tutto a

beneficio dei sistemi basati sull'IoT. Esso, infatti potrà quindi ricevere la sua effettiva consacrazione, dato che la nuova rete mobile consentirà la connessione di un numero molto più elevato di dispositivi, con un aumento delle prestazioni e un utilizzo più semplice e sicuro [13].

Per far funzionare correttamente l'Internet of Things affinché sia davvero utile, è importante processare, raccogliere e analizzare grandi volumi di dati in tempo reale (ad esempio dai sensori di una flotta aziendale in costante movimento, oppure dai semafori o dalle centraline per lo smog di una città o ancora da una linea di produzione industriale, e da qualsiasi dispositivo connesso), e questo sia in un'azienda, per migliorare sicurezza e produttività, sia in qualsiasi ambito e per qualsiasi tipo di oggetto connesso in ambienti urbani o rurali. Si pensi a quali problemi potrebbero insorgere se dovesse venir meno la connessione tra diversi macchinari che devono dialogare tra loro per ultimare la procedura a loro assegnata, oppure se il segnale di errore o di rottura lanciato da un sensore non dovesse arrivare in tempo reale alla centrale di controllo. Per tutti questi motivi c'è bisogno di una connessione stabile, veloce e di facile implementazione, il 5G.

Questo capitolo si incentra anche sulle analogie e differenze tra le tecnologie LPWAN e la tecnologia 5G. Come appare evidente dalle caratteristiche appena descritte, esistono sostanziali differenze tra il 5G e le tecnologie LPWAN, Lora e Sigfox.

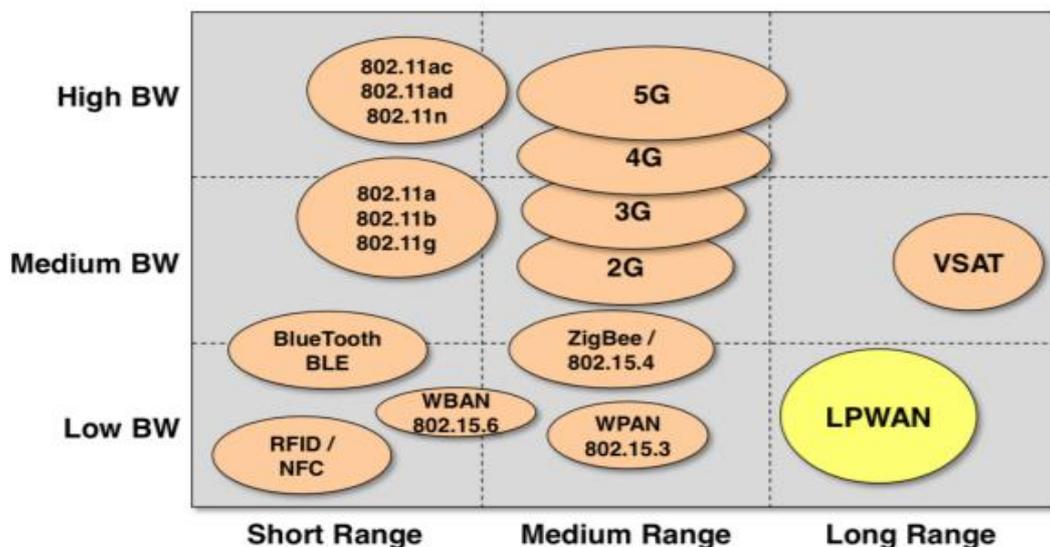


Figura 35 Confronto tra diverse tecnologie wireless

Se un progetto IoT richiede solo l'invio di piccole quantità di dati (bassa BW = band width) a lungo raggio e bassa velocità attraverso la rete wireless o se i dati devono essere inviati a

intervalli di tempo specifici, anziché in tempo reale, usare il 5G risulta dispendioso dal punto di vista energetico ed economico, per cui viene utilizzata una delle tecnologie LPWAN.

Per poter trasferire una maggiore quantità di dati a parità di tempo (elevato bit-rate) è necessario che l'ampiezza di banda in trasmissione sia sufficientemente capiente, come accade per il 5G. Solitamente si parla di broadband per velocità superiori a 1 Mbps, mentre al di sotto di questa velocità si parla di narrowband. Per le applicazioni che richiedono un elevato data rate come quelle 5G bisogna utilizzare connessioni broadband che vanno accompagnate con elevate frequenze. Per le applicazioni che richiedono una copertura di segnale a lungo raggio (LPWAN) bisogna usare trasmissioni narrowband, in quanto queste concentrano l'energia in una porzione di spettro più piccola risultando meno suscettibili alla presenza di rumore.

Inoltre, i dispositivi utilizzano il 5G solo in aree densamente popolate grazie alla presenza di antenne di ricezione del segnale; aree remote e piccole città risulteranno al di fuori di quest'ambito tecnologico a meno che tali aree non implementino la propria infrastruttura 5G privata. Ciò diventa estremamente complesso e costoso da implementare e sostenere. Le carenze del 5G si esplicano proprio dove il wireless a lungo raggio Lora e Sigfox iniziano ad avere un senso applicativo.

Inoltre, LoRaWAN prevede che la batteria del dispositivo che sta trasmettendo i dati debba avere una durata dai 5 ai 10 anni senza connessione via cavo, il che risulta impossibile per dispositivi che utilizzano tecnologia 5G a causa dell'elevato consumo energetico ad essi associato. Il raggio di comunicazione per i sistemi LPWAN può raggiungere facilmente più di 10 km, irraggiungibile per i sistemi Wi-Fi e 5G. Tuttavia, LoRa e Sigfox non sono utilizzabili per le applicazioni che richiedono lo streaming, né per quelle a latenza bassa.

Ad esempio, alcune delle applicazioni Lora più banali sono la misurazione a lungo termine con sensori e contatori dell'acqua, del gas naturale e il parcheggio intelligente in cui i dispositivi devono essere alimentati a batteria, a basso costo e durino sul tempo dai 5 ai 10 anni. L'installazione di dispositivi a batteria a basso costo all'interno di un edificio è molto meno costosa rispetto all'installazione di dispositivi cablati o all'utilizzo di una tecnologia wireless mal equipaggiata per un raggio più lungo e una bassa potenza (5G). In particolare, il settore LPWAN conduce ad una soluzione implementabile con un costo totale estremamente

basso, affinché molti casi di trasmissione dati aziendali siano fattibili. I costi di approvvigionamento, installazione e manutenzione giocheranno tutti un ruolo importante nel costo totale. La differenza tra due e sette anni di durata della batteria potrebbe facilmente portare ad un aumento delle spese a causa di costi di manutenzione chiaramente aggiuntivi. Quindi, a seconda dell'applicazione, a volte il 5G può rappresentare la soluzione migliore, e a volte i sistemi LPWAN [14].

## ***Capitolo 6 – Presentazione offerta IoT per l'edificio scolastico***

In questo capitolo viene analizzata l'offerta proposta Enerbrain (sistema Sigfox) su richiesta di Enenso per rendere la scuola 'intelligente' attraverso l'utilizzo dell'IoT. L'offerta riguarda l'installazione all'interno dell'edificio che si vuole telecontrollare e monitorare in maniera automatizzata di una serie di sensori e apparecchiature hardware e software volte a migliorare l'efficienza energetica del sistema in esame e ridurre gli sprechi. Per raggiungere gli obiettivi preposti, si analizzano i valori su una serie di variabili esogene, come ad esempio la temperatura e l'umidità esterna, il costo dell'energia di cui il sistema ha bisogno e si controllano ad esempio variabili indoor, come ad esempio la qualità dell'aria indoor e la temperatura riscontrata nei vari ambienti. All'interno della scuola è già presente, oltre il quadro di potenza, un quadro di telecontrollo a partire dal quale si distaccano i fili di segnale (ovvero i cavi bus) che si dirigono verso le pompe e gli altri componenti di impianto da controllare. Attraverso il quadro di telecontrollo già esistente possono essere scelte da remoto, mediante interfaccia da PC, variabili quali per esempio temperatura di mandata dell'acqua verso i terminali, gestendo quindi la miscelazione, il tempo di accensione di caldaie e pompe, etc. Ciò viene ottenuto grazie ad una connessione wireless tra il PC e il controllore presente nel quadro di telecontrollo; l'installazione di sistemi IoT permette invece di superare il vincolo legato al fatto che è l'utente a controllare l'impianto da remoto. Infatti, in entrambi i casi viene installato un 'cervello intelligente' nel quadro di telecontrollo, che prende decisioni in maniera automatizzata sulle variabili precedentemente descritte analizzando le informazioni derivanti dai sensori posti in ambiente. Il segnale procede dal sensore verso il cervello nel quadro di controllo che invia il segnale automatizzato al componente a cui è

collegato. In questo modo si ottiene l'implementazione di un sistema IoT vero e proprio, in quanto le azioni di controllo vengono scelte da un cervello intelligente.

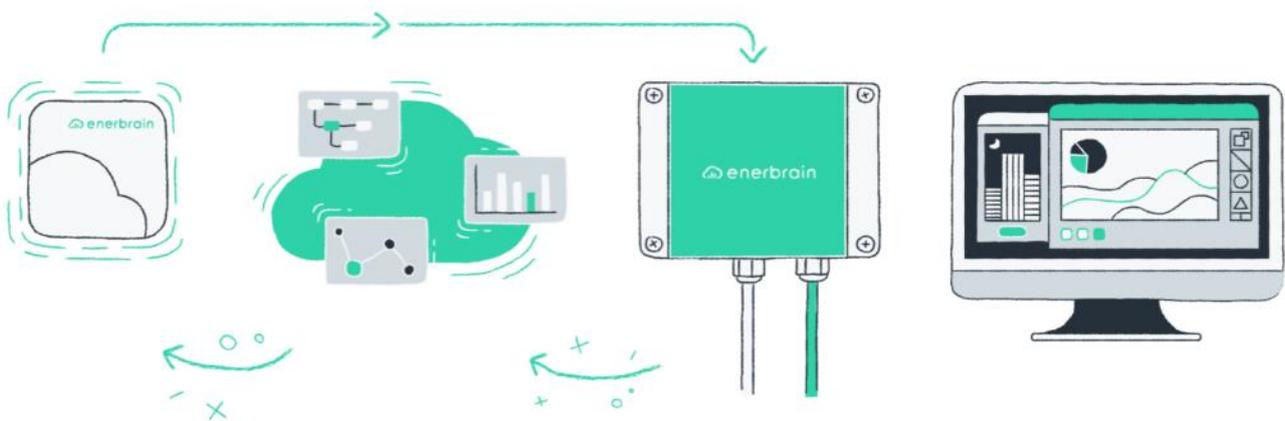
## ***Offerta implementazione IoT***

Enerbrain utilizza il sistema di comunicazione dati Sigfox e fornisce servizi di efficientamento energetico con riferimento agli impianti di riscaldamento, ventilazione e condizionamento (HVAC) mediante un sistema semplice plug & play che non richiede configurazione dei dispositivi collegati e che consente di risparmiare fino al 25% di costi operativi senza dover effettuare nessuna modifica sostanziale agli impianti di aria condizionata, ventilazione e riscaldamento.

Il sistema IoT prevede l'installazione di un sistema di monitoraggio (ovvero dei sensori) e attuazione in grado di acquisire i parametri ambientali e analizzare i vettori energetici relativi all'edificio. Tutti i dati raccolti vengono inviati al Cloud, senza cavi. La regolazione avviene in modo automatizzato tramite il Cloud stesso, in cui operano algoritmi di controllo avanzati (machine learning) che gestiscono il funzionamento degli impianti e ne ottimizzano le prestazioni. Il cloud, infatti riceve i dati dall'ambiente e utilizzando algoritmi di machine learning, costruisce i modelli previsionali elaborando strategie di efficientamento di tutti i vettori energetici in modo tale da mantenere il massimo comfort con il minimo dispendio di energia. La stessa piattaforma è in grado di elaborare e analizzare i livelli di performance dell'edificio. Una volta elaborate strategie di risparmio energetico, esse vengono date in pasto all'attuatore, che agisce su componenti quali ad esempio valvole miscelatrici, ventilatori, serrande, inverter, pompe, etc. Infine tramite una dashboard, senza bisogno di installazione software, è possibile visualizzare i dati attuali, quelli storici ed eseguire il monitoraggio visivo dei vettori energetici.

Il risultato risiede nel fatto che un sistema può essere controllato in tempo reale utilizzando un'applicazione software per PC accessibile via web browser, tramite la quale è anche possibile visualizzare tutti i dati monitorati. Il team di manutenzione e conduzione dell'edificio trarrà dunque vantaggio dall'uso di uno strumento di gestione avanzato, personalizzabile con allarmistica, KPI e strumenti di analisi dedicati in grado di dare supporto a decisioni aziendali strategiche.

Un generico sistema IoT non sostituisce il sistema di gestione in locale (sia esso esistente e di nuova realizzazione), ma agisce come un supervisore che modifica i parametri di regolazione sulla base di logiche adattive e predittive, definendo il segnale al controllore/attuatore in campo. Una volta impostati i parametri ambientali desiderati nelle diverse aree dell'edificio, l'algoritmo elabora i segnali di controllo basandosi su una moltitudine di dati indoor rilevati in tempo reale, interpolandoli con dati esogeni quali ad esempio le previsioni meteorologiche o dati storici di consumo e temperature esterne.



*Figura 36 Schema funzionamento sistema IoT, da sx a dx: sensore IoT, algoritmi di machine learning, Controllore IoT e Web App*

La soluzione proposta per l'ITIS G.Riva include:

- servizi di analisi energetica e di progettazione;
- sensori IoT per il monitoraggio delle condizioni ambientali interne;
- misuratori di energia e datalogger;
- controllori e gateway IoT per la gestione degli impianti di climatizzazione;
- la Piattaforma Web per la gestione remota degli impianti;
- algoritmi di intelligenza artificiale basati su logiche di Machine Learning;

L'algoritmo tramite l'utilizzo di tecniche di intelligenza artificiale adattive e predittive, ottimizza in tempo reale le prestazioni degli impianti, garantendo risultati in termini di [15]:

- risparmio energetico
- miglioramento del comfort ambientale interno
- riduzione di  $CO_2$  emessa

Nel caso dell'I.T.I.S G.Riva l'offerta economica pervenuta in azienda si esplica nei seguenti costi, stimati orientativamente, sulla base dei prezzi di mercato oggi giorno disponibili:

Totale: CAPEX + PRIMO ANNO OPEX  $\approx$  33 k€

Nel caso in questione, il Sistema IoT consente di monitorare e controllare:

- 2 caldaie
- 7 circuiti miscelati e le relative pompe (Triennio, Laboratorio Ovest, Laboratorio Est, Aula Magna, Biennio, Segreteria, Palestra)
- 1 circuito ACS
- monitoraggio ambientale (temperatura, umidità relativa e CO2)

Per questi sistemi sono previsti due livelli di controllo:

- ✓ Controllo in locale attraverso il BMS che si sta installando contestualmente. Verranno apportate le modifiche necessarie all'integrazione e comunicazione con la piattaforma IoT installata. Ciò non apporterà modifiche sostanziali all'interfaccia, numero di punti controllati, logiche on site di telecontrollo.
- ✓ Controllo in cloud attraverso la Piattaforma Enerbrain. L'algoritmo di controllo in cloud assicura al sistema HVAC un funzionamento dinamico e adattivo. L'algoritmo andrà ad agire su accensioni e spegnimenti degli impianti e sul controllo dei componenti dei sistemi selezionati leggendo e/o scrivendo le variabili selezionate nel BMS.

In generale, per rendere possibile il dialogo tra il BMS esistente ed Enerbrain, è necessario che esso disponga dei codici sorgente del BMS presente al fine di consentire al personale Enerbrain di effettuare l'attività di programmazione necessaria. Lo scambio dati avverrà tramite protocollo di comunicazione Modbus.

In particolare, il BMS esistente dovrà essere in grado di leggere le variabili scritte dall'algoritmo Enerbrain, che consentirà la gestione ottimizzata del componente impiantistico selezionato e la visualizzazione di stato / comando e feedback. Tramite l'interfacciamento tra BMS e Enerbrain sarà possibile per quest'ultimo ricevere i segnali del BMS, che, insieme ai dati ambientali interni e meteorologici disponibili in cloud, verranno elaborati dall'algoritmo di machine learning per re-inviare al BMS segnali di controllo che ottimizzino le prestazioni dei sistemi coinvolti.

Inoltre, dalla Web App sarà possibile impostare orari e set-point e gestire, per ogni impianto controllato, i seguenti parametri: accensione/spegnimenti, modulazione, set-point mandata/ritorno fluidi oltre che monitorare lo stato delle variabili monitorate, nonché quello dei ventilatori, valvole, serrande etc.

L'offerta prevede la fornitura di dispositivi IoT per il monitoraggio ambientale e, se richiesto, energetico e per il controllo degli impianti.

#### SENSORI AMBIENTALI:

- 40 sensori standard – Sensori di temperatura e umidità relativa, con connettività SigFox
- 13 sensori PRO – Sensori di temperatura, umidità relativa e CO2, con connettività SigFox

#### GATEWAY DI COMUNICAZIONE

- 1 Gateway Modbus – Gateway di comunicazione BMS/ Piattaforma Enerbrain
- 1 Gateway Modbus – Gateway di comunicazione Lettore Mbus/ Piattaforma Enerbrain

#### MISURATORI

- 1 Lettore Mbus– Lettura dei consumi di gas

## ***Analisi qualitativa dell'algoritmo di calcolo del risparmio***

Dopo aver analizzato l'offerta proposta da Enerbrain, sia dal punto di vista tecnico che commerciale, si è voluto analizzare come effettivamente esso calcola il risparmio energetico successivo all'installazione del sistema all'interno dell'edificio scolastico. Chiaramente, essendo un sistema privato e soggetto quindi a licenza, non è stato possibile avere a disposizione in maniera esclusiva l'algoritmo di calcolo vero e proprio. Tuttavia, mediante una riunione in videoconferenza tenuta con i rappresentanti di Enerbrain, si è potuti scendere comunque ad un livello interessante di approfondimento dell'algoritmo di calcolo del risparmio energetico.

Esso è calcolato in maniera analitica, basandosi sulle bollette relative ai consumi di energia elettrica e gas naturale per l'edificio scolastico relativi agli anni precedenti. In particolare, mediante l'analisi dettagliata delle bollette, si cerca di capire come effettivamente i suddetti vettori energetici siano stati usati all'interno dell'edificio; ad esempio, se il gas naturale venga stato usato solo per il riscaldamento e quindi come alimentazione per le due caldaie oppure,

nel caso di presenza di una mensa scolastica, se viene utilizzato anche per la cottura del cibo. Discorso analogo riguarda l'uso dell'energia elettrica, utilizzata sia per quanto riguarda l'illuminazione, che per l'alimentazione di una pompa di calore se ci fosse nella scuola anche raffrescamento oppure per la ventilazione meccanica per esempio all'interno della palestra. Nel caso in cui non ci fosse una corretta suddivisione dei consumi energetici associati all'edificio, è lo stesso Enerbrain ad occuparsene.

Successivamente, si passa al calcolo del risparmio conseguito vero e proprio: in particolare esso avviene tramite un confronto tra il consumo energetico pre e post installazione del sistema IoT. Ovviamente per far sì che la comparazione sia consistente, i consumi sono solitamente normalizzati rispetto ai gradi giorno (GG) oppure mediante la temperatura esterna nel caso di confronto mediante l'utilizzo di firma energetica.

Il grado giorno di una località è la somma estesa a tutti i giorni, in un periodo annuale convenzionale di riscaldamento, delle sole differenze positive giornaliere tra la temperatura interna fissata convenzionalmente per ogni Paese, e la temperatura media esterna giornaliera, in formule:

$$GG = \sum_{i=1}^n (T_{int} - T_{m,ext})$$

Un valore di gradi giorno basso indica un breve periodo di riscaldamento e temperature medie giornaliere prossime alla temperatura fissata per l'ambiente. Al contrario, valori di gradi giorno elevati, indicano periodi di riscaldamento prolungati e temperature medie giornaliere nettamente inferiori rispetto alla temperatura convenzionale di riferimento.

La firma energetica invece è un modello di regressione lineare con forte connotazione interpretativa, cucito ad hoc per ogni singolo edificio, che esprime il consumo energetico in funzione della temperatura esterna. Il modello di firma viene costruito come detto mediante modelli di regressione lineare in funzione dei consumi e delle condizioni al contorno a cui è sottoposto l'edificio stesso. La firma energetica solitamente viene utilizzata maggiormente da al fine di eseguire il confronto tra condizione di pre e post installazione del sistema IoT, in quanto la sua costruzione matematica e grafica fornisce diverse semplici informazioni utili per comprendere le potenze di picco in gioco nell'edificio per una temperatura esterna pari a quella di progetto per la zona climatica in esame (E), oltre che la temperatura di accensione

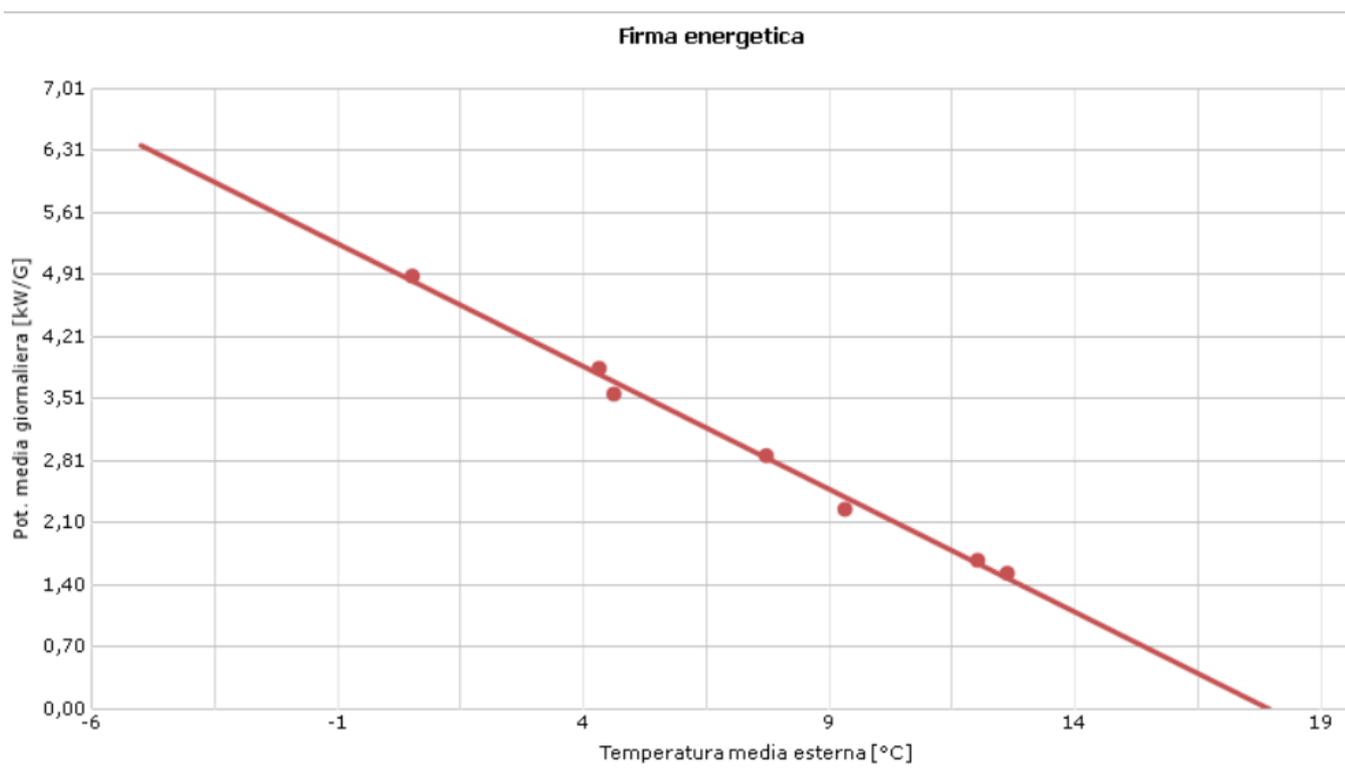
dell'impianto di riscaldamento, influenzata ovviamente dagli apporti gratuiti presenti in ambiente.

Una generica espressione di firma energetica risulta:

$$C = C_0 - H_{tot} * T_{ext}$$

dove C rappresenta il consumo energetico per il riscaldamento associato all'edificio in esame,  $C_0$  è il termine noto, ovvero il consumo di picco per una temperatura esterna pari a quella di progetto, mentre  $H_{tot}$  rappresenta il coefficiente di scambio termico dell'edificio nonché la pendenza della retta di regressione.

Il primo passo per la sua costruzione sta nel definire la potenza media giornaliera: per farlo si divide il valore del fabbisogno energetico per la durata dell'intervallo di calcolo. Si definiscono i punti sul diagramma cartesiano mettendo in ascisse la temperatura esterna media nell'intervallo di calcolo e sulle ordinate la potenza media giornaliera. Infine, si traccia la retta che rappresenta la regressione lineare dei punti.



*Figura 37 Esempio di firma Energetica*

Come nel caso in esame, se l'edificio ha da poco subito un intervento di revamping, relativo alla riqualificazione dell'intera centrale termica al fine di aumentare l'efficienza energetica della scuola, Enerbrain adotta un sistema per il calcolo del risparmio denominato *Stop*. In particolare, installa il suo sistema e ad intervalli regolari di due o tre mesi, mette in pausa

(*Stop*) il suo sistema di monitoraggio ed ottimizzazione dei consumi. In questo modo è possibile verificare come l'edificio scolastico si comporta normalmente, senza l'ausilio del pacchetto IoT, analizzando e monitorando anche il consumo dei vari vettori energetici in esame. Viene quindi creata una baseline di firma energetica durante il periodo di *Stop* in funzione delle condizioni al contorno a cui è soggetto l'edificio e successivamente viene proiettata nelle condizioni al contorno di post retrofit (ovvero con il sistema IoT funzionante) per effettuare il confronto di consumo tra le due diverse configurazioni di impianto. Il residuo positivo se presente indica un'inefficienza dell'edificio e di conseguenza la bontà dell'installazione di un sistema di questo tipo al fine di ridurre i consumi energetici associati all'edificio.

Il vantaggio principale di questo algoritmo sta nel fatto che si riesce a svincolare dalla geometria dell'edificio, per cui si tratta di una tecnologia versatile che funziona su diverse tipologie di edifici: scuole, uffici, ospedali, magazzini etc.

Per quanto concerne la procedura step by step attraverso la quale tutti i componenti di Enerbrain concorrono nel calcolo dei risparmi energetici, essa si esplica in maniera simile ad una catena di montaggio, dove ogni componente svolge un determinato compito.

Innanzitutto, la regolazione dei componenti che dovrebbe portare ad un risparmio energetico ha come punto di partenza fondamentale il raggiungimento delle condizioni di comfort desiderate dal cliente. I segnali di controllo di cui fa uso Enerbrain sono decisi considerando quanto si è distanti dalle condizioni di comfort e quanto velocemente ci si muove nella direzione di quest'ultime. Il cliente può decidere il setpoint e quando essere in comfort attraverso un'interfaccia che consente di modificare in modo rapido questi parametri. L'algoritmo del risparmio una volta lette le nuove preferenze impostate dall'utente, provvederà a adattare i suoi segnali di controllo in uscita alle condizioni appena impostate.

Enerbrain fa uso di sensori ambientali wireless che misurano temperatura, umidità relativa e  $CO_2$  presenti in ambiente. Essi sono dotati di connettività Sigfox, presentano una durata della batteria fino a 4 anni e hanno un intervallo di misurazione tra una misura e l'altra di 12 minuti.



*Figura 38 Sensore ambientale*

I sensori ogni cinque minuti comunicano con il Cloud, che ha al suo interno gli algoritmi di ottimizzazione basati su intelligenza artificiale in grado di ottimizzare l'utilizzo di tutti i vettori energetici nell'edificio tramite strategie e modelli di efficientamento energetico posti in output. Essi si basano sul confronto tra la variabile controllata in ambiente e quella impostata dall'utente e decidono se agire tramite un segnale di controllo sulla base dello scarto tra le due. Se il sistema IoT decide di intervenire sulla scuola in esame, ciò si attua tramite un altro componente, chiamato eNode.



*Figura 39 Componente eNode*

Esso consente di pilotare in modo dinamico e adattivo qualsiasi dispositivo e/o attuatore (serrande, valvole, inverter, modulazione caldaie etc), connettendosi al Cloud grazie al Modem 3G/4G. Esso, inoltre, è compatibile con l'altro dispositivo (Gateway) per massimizzare la connettività anche in aree remote. I suoi due ingressi sottostanti permettono

il collegamento di e-node sia con l'attuatore che con il BMS o telecontrollo eventualmente esistente, utilizzando quindi in maniera intelligente le risorse a disposizione; quindi, non sono solo i dati ricavati dai sensori posti in ambiente a confluire verso il Cloud, ma anche quelli rilevati dal BMS. Ciò contribuisce a rafforzare la rete di comunicazione all'interno dell'edificio poiché utilizzando solo il BMS potrebbero esserci molti protocolli di comunicazione chiusi e poco sicuri. Inoltre, il BMS potrebbe raccogliere dati spesso non accurati dai sensori normali posti in ambiente.

Il Gateway è un componente disegnato per fornire connessione WI-FI o ethernet ai diversi dispositivi Enerbrain

Nel momento in cui il sistema IoT si mette in funzione, applicando una modifica all'impianto già esistente, essa può agire o sulla centralina delle due caldaie oppure, nel caso della scuola in esame sui servomotori dei circuiti di distribuzione dell'acqua, ovvero sulle valvole miscelatrici a tre vie.

I servomotori abbinabili alle valvole di regolazione sono i componenti che, opportunamente comandati, hanno la funzione di determinare il grado di apertura delle valvole, determinandone quindi la posizione dell'otturatore. Sono essenzialmente composti da:

- un motore elettrico, in grado di fornire l'energia meccanica utile al movimento;
- una trasmissione meccanica, che ha la funzione principale di amplificare la coppia del motore;
- contatti elettrici, per l'alimentazione del motore e la gestione dei comandi di apertura o chiusura

Come descritto, le valvole miscelatrici a 3 vie sono dotate di servocomandi e in base alle informazioni derivanti dai sensori ambientali posti in ambiente, riguardo ad esempio la temperatura, il segnale che normalmente procede verso il servocomando viene intercettato e modificato in base all'algoritmo di machine learning, aprendo o chiudendo la valvola a 3 vie per favorire o meno la miscelazione del fluido termovettore caldo in mandata con quello freddo di ritorno. Gli algoritmi di intelligenza artificiale inoltre studiano anche l'inerzia termica dell'edificio, seguendo grazie alla capacità di immagazzinare e conservare dati l'andamento e la dinamica della temperatura in ambiente. Ciò consente ad esempio di anticipare o ritardare un'azione di controllo su una valvola a tre vie oppure agire direttamente

sul tempo di accensione delle due caldaie in base anche alla temperatura esterna, riducendo gli sprechi di calore e sfruttando quello insito accumulato nelle pareti dell'edificio.

## ***Capitolo 7 – Confronto tra valvole termostatiche ed IoT per la regolazione dell'impianto***

All'interno di questo capitolo si effettua un confronto tra i sistemi di regolazione dell'impianto IoT appena descritti e quelli che invece prevedono l'utilizzo tradizionale di valvole termostatiche installate sui terminali di impianto. Innanzitutto, è bene descrivere il funzionamento di tali valvole ed esporne i principali vantaggi e svantaggi in un impianto di riscaldamento.

La valvola termostatica è un regolatore di temperatura del corpo scaldante sul quale è applicata, agendo sulla portata d'acqua che lo attraversa.

In base al modello, ogni valvola possiede una parte rotonda su cui è inserita una numerazione progressiva che va da 1 a 5: essa funge da livello di regolazione, ovvero un dispositivo per impostare la temperatura che si vuole raggiungere. Il dispositivo è collegato a una testina termostatica (sensore di temperatura), che serve a regolare l'afflusso d'acqua calda verso il terminale di impianto e mantenere la temperatura impostata manualmente sulla ghiera di regolazione. Ogni valvola è accompagnata dal suo manuale di utilizzo, dove vengono riportate le corrispondenze tra temperatura e valore numerico; in genere, il numero 3 corrisponde ai 20 gradi centigradi ma ci sono più fattori da tenere in considerazione quando si regola la manopola, come l'inerzia termica dell'edificio, l'esposizione, grandezza della stanza da riscaldare, potenza del radiatore, etc.

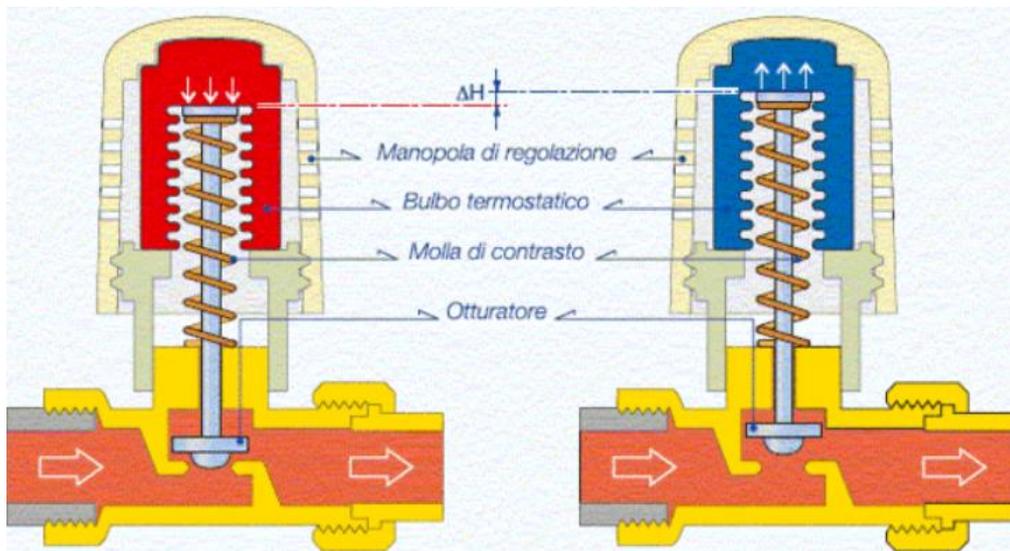
Pur non essendoci una correlazione diretta tra la temperatura ambiente e i numeri corrispondenti alle diverse posizioni sulla manopola, per temperature ambiente comprese tra 16/17 °C e 22/23 °C si può stimare la seguente configurazione:

- posizione n° 5 = temperatura ambiente voluta di oltre 22 °C;
- posizione n° 4 = temperatura ambiente voluta di circa 20-22 °C;
- posizione n° 3 = temperatura ambiente voluta di circa 18-20 °C;
- posizione n° 2 = temperatura ambiente voluta di circa 17-18 °C;

- posizione n° 1 = temperatura ambiente voluta di circa 16-17 °C.

L'otturatore della valvola è comandato dalla dilatazione della sostanza contenuta nella testina termostatica. Le testine termostatiche comuni hanno un sensore che contiene cera o un liquido; impostando la temperatura desiderata attraverso la manopola graduata si registra la posizione dell'attuatore sul corpo valvola. Quando la testina termostatica (sensore) verifica una temperatura superiore a quella impostata sulla ghiera il liquido presente nel sensore si dilata "caricando" la molla che manda in chiusura (parziale o totale) l'otturatore nel corpo valvola finché questo non andrà in battuta e chiuderà completamente la valvola in corrispondenza della temperatura, e quindi del numero, impostato sulla ghiera di regolazione, diminuendo così il flusso d'acqua circolante nel radiatore e di conseguenza ottenendo una riduzione di emissione di calore da parte del corpo scaldante.

Se invece la temperatura ambiente risulta inferiore a quella impostata, il liquido presente nel sensore diminuisce di volume contraendosi e "scaricando" la molla consente la salita dell'otturatore e di conseguenza l'apertura della valvola. In questo modo aumenta la portata d'acqua calda nel radiatore che determina una maggiore quantità di calore ceduto all'ambiente.



*Figura 40 Valvola in chiusura (sx) e apertura (dx)*

In altre parole, si può considerare che la valvola termostatica sia un regolatore di tipo P, cioè proporzionale. Ciò significa che la potenza erogata dal corpo scaldante sarà all'incirca

proporzionale alla differenza di temperatura fra il valore desiderato, impostato sulla manopola, ed il valore reale sentito dalla testina. Le testine termostatiche si distinguono in base alla tecnologia del sensore:

**Cera:** la cera presente nel sensore, al variare della temperatura ambiente misurata e della temperatura impostata sulla ghiera, ottiene delle variazioni volumetriche che determinano l'apertura e la chiusura della valvola termostatica. Ormai non più in commercio a causa dei suoi lunghissimi tempi di reazione, si riscalda solo per conduzione

**Liquido:** È la valvola termostatica più comune in circolazione e ha prezzi modesti; i tempi di reazione sono ridotti rispetto alla cera e il riscaldamento avviene per conduzione e convezione

**Gas:** La valvola termostatica con sensore a gas di ultima generazione ha anch'essa lo stesso principio fisico di quelle precedenti, ma con una bassissima inerzia termica che determina tempi di reazioni di pochi minuti. È una tipologia di valvola termostatica di ultima generazione che ha dei prezzi superiori a quelle a liquido. Il gas inoltre è sensibile alle alte pressioni differenziali sulla valvola.

Le testine a gas sono adatte per gli impianti che non sono sottoposti a grossi differenziali di pressione, quelle a cera vanno utilizzate solo negli impianti di riscaldamento a conduzione, mentre quelle a liquido sono adeguate a tutte le tipologie di sistemi.

Le caratteristiche principali del corpo valvola sono [16]:

-**Il valore  $k_v$** , ovvero una cifra espressa in numeri che indica quanta acqua transita dal corpo valvola

-**La pressione differenziale massima**, essenziale affinché la valvola non diventi rumorosa, ovvero la differenza fra i valori massimi e minimi della pressione che possono essere gestiti dalla valvola; al momento dell'acquisto di quest'ultima, bisogna controllare che gli estremi siano coerenti con quelli che si registrano all'interno delle proprie tubazioni.



*Figura 41 Valvola termostatica*

La valvola termostatica consente di:

- Controllare l'emissione di calore dell'impianto per ogni singolo locale in maniera indipendente dagli altri, mediante il controllo sui terminali posizionati nei locali stessi
- Bilanciare automaticamente l'impianto, in quanto i regolatori posti su ciascun corpo scaldante provvedono a regolare il flusso d'acqua indipendentemente da quanto accade agli altri corpi scaldanti.
- Recuperare ogni tipo di apporto gratuito, sia di origine interna che esterna, grazie alla regolazione sulla valvola, con un ulteriore risparmio di combustibile alla caldaia.
- Ridurre estremamente le portate (consumi elettrici minimi e basso consumo della pompa)
- Non preoccuparsi dell'eventuale sovradimensionamento dei corpi scaldanti, anzi trasformarlo in un vantaggio automatico
- Avere manutenzione nulla. L'unico accorgimento è quello di tenere pulito l'impianto il più possibile, dato che, restringendo il passaggio di acqua, è possibile che eventuali depositi e impurità possano ostruire i condotti, non consentendo al fluido di transitare regolarmente. In estate, quando si spegne l'impianto di riscaldamento, è bene posizionare tutte le manopole nella posizione più aperta (ovvero al livello 5), in modo da lasciare passaggi ampi al fine di evitare proprio la formazione di depositi.

- Controllare in maniera indiretta, la temperatura di ritorno di un impianto a radiatori favorendo lo sfruttamento di caldaie a condensazione

In relazione all'ultimo punto riguardo il controllo della temperatura di ritorno dai terminali verso le caldaie, se la temperatura voluta in ambiente è relativamente bassa, l'apertura della valvola è modesta e la piccola portata di acqua circolante fa in tempo a raffreddarsi quasi completamente nell'attraversare il corpo scaldante, cosa che non accade quando la portata è massima in condizioni di progetto e la valvola è completamente aperta. La bassa temperatura di ritorno che si ottiene, che tende ad avvicinarsi alla temperatura del locale, determina una bassa temperatura media del corpo scaldante e quindi una bassa potenza emessa da quest'ultimo, anche se la sua superficie e la temperatura di ingresso rimangono costanti. Ciò favorisce lo sfruttamento delle caldaie a condensazione che vedranno i fumi condensare maggiormente grazie alla temperatura di ritorno dell'acqua inferiore.

Nella seguente figura si riporta un'esemplificazione del concetto appena esposto.

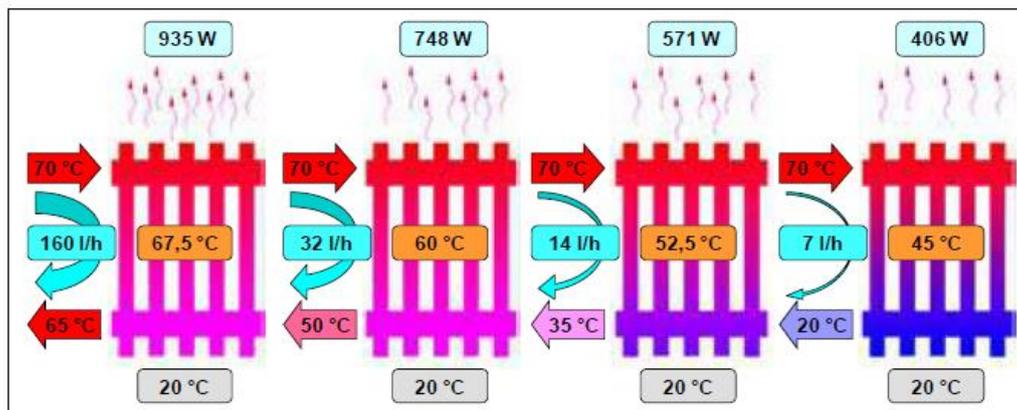
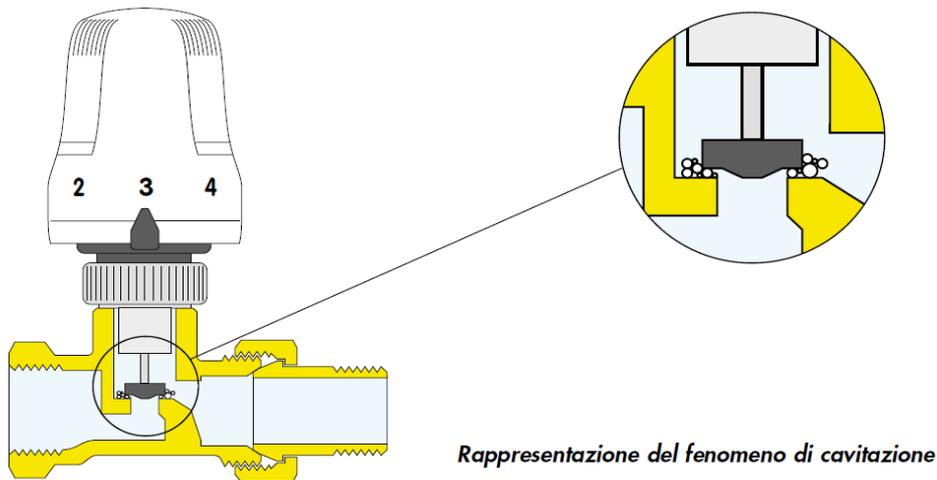


Figura 42 Variazione di portata e temperatura di ritorno del fluido termovettore

Tra i principali svantaggi nell'utilizzo di valvole termostatiche ritroviamo:

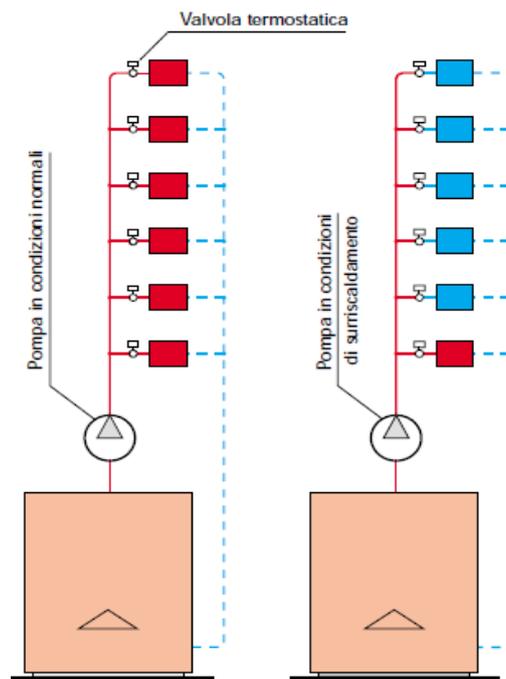
**Rumorosità:** il calorifero potrebbe emettere qualche rumore che precedentemente all'installazione non veniva avvertito, ma è la naturale conseguenza di un passaggio calibrato di acqua. Aprendo o chiudendo la sezione di entrata è possibile avvertire una rumorosità più accentuata dovuta ad una diversa quantità del liquido in ingresso rispetto al momento precedente. In particolare, col chiudersi delle valvole a due vie aumenta la 'spinta' (o meglio la pressione differenziale) che la pompa cede ai circuiti rimasti aperti. E questo avviene perché la pompa "spende" nei circuiti rimasti aperti l'energia che non può più "spendere" nei circuiti

che le valvole hanno chiuso in modo parziale o totale; ciò porta ad un aumento di rumorosità. Inoltre, in corrispondenza delle valvole (cioè nelle zone di massimo strozzamento del fluido), tali incrementi di pressione differenziale  $\Delta p$  dovuti alla caduta di pressione locale in corrispondenza della valvola possono far insorgere facilmente fenomeni di cavitazione.



*Figura 43 Rappresentazione del fenomeno di cavitazione*

**Squilibrio idraulico:** se le valvole termostatiche portano maggiore equilibrio termico, è anche vero che modificano quello idraulico. Ciò significa che le pompe sono sollecitate in maniera differente rispetto ad una situazione più omogenea sotto l'aspetto della portata di acqua. Per ovviare a tali scompensi è necessario prevedere l'installazione nell'impianto di sistemi in grado di compensare in tempo reale le diverse situazioni, mediante valvole by-pass e di bilanciamento, collettori particolari, pompe a portata variabile e regolatori di pressione.

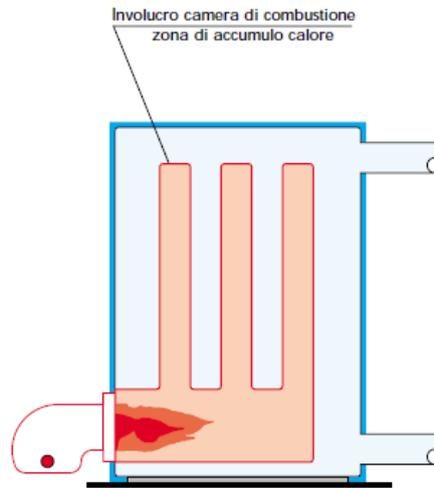


*Figura 44 Schema esemplificato surriscaldamento pompa*

Con portate molto più piccole di quelle per cui sono state dimensionate, le pompe normali (cioè quelle senza regolatori automatici di velocità) “lavorano fuori curva”: di conseguenza si surriscaldano e corrono il rischio di bruciarsi. Con le pompe dotate di inverter invece, lo squilibrio idraulico si riduce poiché esse modulano il numero di giri in funzione della minore portata d’acqua da fornire al circuito in fase di regolazione tramite valvole termostatiche.

**Difficoltà di raggiungere la temperatura ottimale:** potrebbe essere che talvolta si verifichi la situazione in cui un radiatore non riscaldi adeguatamente e il locale sia freddo oppure troppo caldo a causa di un errata valutazione da parte dell’occupante del numero sul quale posizionare l’indicatore sulla ghiera di regolazione presente sulla valvola.

**Surriscaldamento dell’acqua:** con portate molto piccole non solo si ha un funzionamento irregolare delle pompe, ma sussiste anche il pericolo che si surriscaldi l’acqua in zona caldaia. Infatti, con portate molto piccole (al limite nulle) l’impianto non è più in grado di asportare il calore che rimane immagazzinato nel corpo caldaia dopo lo spegnimento del bruciatore. E questo calore può surriscaldare l’acqua fino a causare il “blocco” dell’impianto per l’intervento dei dispositivi di sicurezza a riarmo manuale. L’acqua surriscaldata può inoltre danneggiare la membrana dei vasi di espansione.



*Figura 45 Surriscaldamento dell'acqua in caldaia*

Dopo aver elencato gli svantaggi nell'utilizzo delle valvole termostatiche, si è voluto eseguire un'analisi quantitativa sul risparmio economico conseguibile mediante l'utilizzo di un sistema IoT rispetto a quello che fa uso delle valvole termostatiche.

*Tabella 4: Confronto economico quantitativo tra IoT e valvole termostatiche*

	IoT	VALVOLE TERMOSTATICHE
prezzo gas naturale [euro/m <sup>3</sup> ]	0.55	0.55
Gas consumato annuo ante [m <sup>3</sup> /anno]	148663	148663
Spesa per riscaldamento ante [euro/anno]	81800	81800
Risparmio sul costo del gas naturale	fino al 25%	fino al 10 %
Risparmio scelto	18%	9%
Costo singola valvola medio nazionale [euro/valvola]	-	78
Costo installazione singola valvola [euro/valvola]	-	40
Costo valvola + installazione [euro/valvola]	-	118
Costo per manutenzione [euro/valvola]	-	40
Numero radiatori stimato	-	110
Opex manutenzione [euro/anno]	3500	4400
Costo totale iniziale [euro]	30000	12980

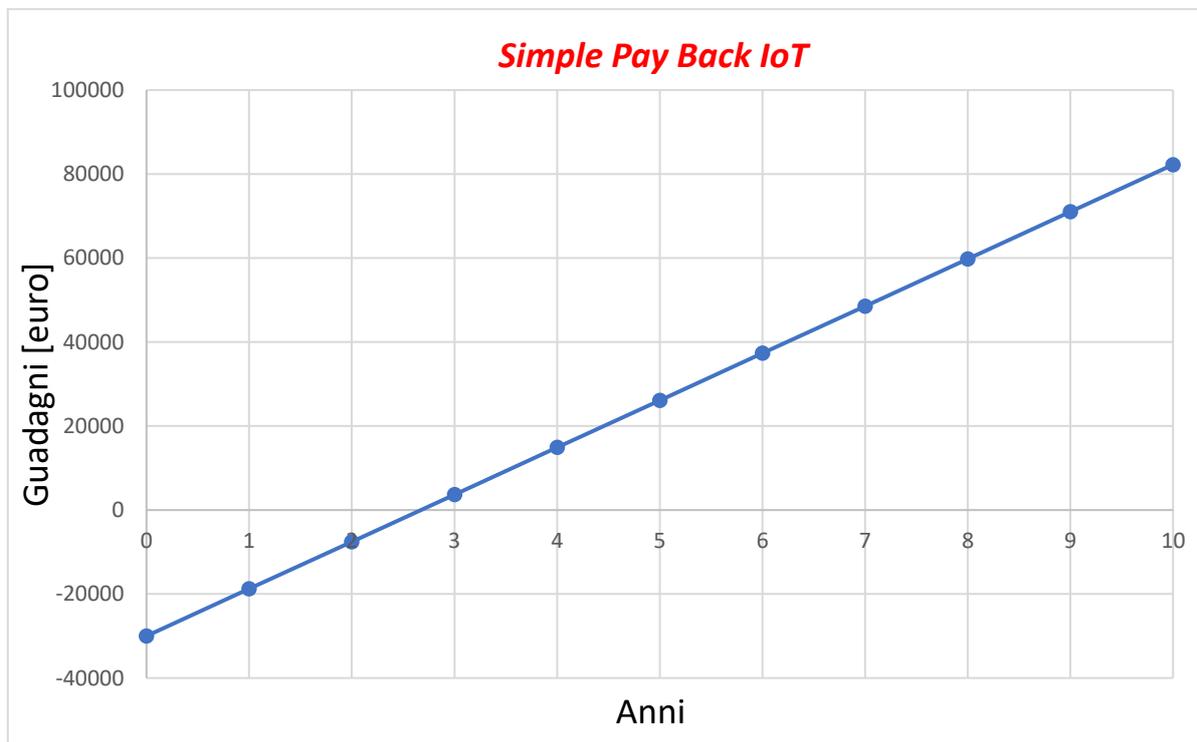
Risparmio annuo [euro/anno]	14724	7362
Spesa per riscaldamento annuo [euro/anno]	67076	74438
Risparmio economico percentuale [%]	≈+10%	-
Simple Pay Back a 10 anni [anni]	2.69	4.38

Il prezzo del gas naturale è stato stimato in base agli attuali prezzi del mercato attuale e alle offerte dei principali fornitori di questo vettore energetico in Italia. Il volume annuo di gas consumato è un dato disponibile, contabilizzato ed utilizzato già precedentemente per il dimensionamento delle caldaie anteoperam. Un sistema IoT come quello di Enerbrain consente di arrivare ad un risparmio sul costo del gas naturale fino ad un massimo del 25%. Volendo chiaramente cautelarsi rispetto ad un risparmio così elevato promesso, si è scelto di condurre l'analisi con un risparmio sui costi pari al 18%. Grazie a questi dati di input è stato possibile calcolare sia il risparmio economico annuale mediante uso dell'IoT sia la spesa per il riscaldamento annuale, sottraendo al costo di 81800 euro/anno il risparmio appena calcolato. Nel caso delle valvole termostatiche, considerando che dal 1° luglio 2017 l'installazione di tali valvole è obbligatoria nei condomini con riscaldamento centralizzato, è stato possibile dedurre da letteratura un valore del risparmio sul costo del gas naturale che è stato trovato essere fino ad un massimo del 10%. Come nel caso precedente, per cautelarsi è stato scelto un valore medio pari al 9%, ed è stato calcolato sia il risparmio annuo che la spesa per il riscaldamento mediante l'uso di valvole. Si evince chiaramente come mediante l'utilizzo di un sistema IoT il risparmio annuale risulta maggiore e di conseguenza anche la spesa necessaria per il riscaldamento si abbatta notevolmente. Il risparmio economico percentuale dato dall'utilizzo di un sistema IoT rispetto alle valvole termostatiche vale:

$$\text{Risparmio economico \%} = \frac{\text{Spesa per risc con valvole} - \text{Spesa per risc con IoT}}{\text{Spesa per risc con valvole}} * 100 \approx 10 \%$$

Inoltre, per rendere l'analisi più consistente è stato calcolato il SPB (Simple Pay Back) ovvero il tempo di ritorno dell'investimento su un arco temporale pari a 10 anni. Ciò è stato fatto considerando un costo medio nazionale per l'acquisto e installazione delle valvole, oltre ad un costo operativo annuo (OPEX) riguardante la manutenzione di entrambi i sistemi,

stimando anche un numero medio di radiatori e quindi di valvole presenti nell'edificio scolastico, pari a 110. Ciò ha portato al calcolo dei SPB, indice che risulta inferiore per l'installazione di un sistema IoT che quindi risulta maggiormente conveniente. Dal valore del SPB si evince come l'investimento iniziale maggiore nel caso di installazione con sistema IoT rispetto alle valvole termostatiche rientra nel giro di un tempo leggermente superiore ai due anni e mezzo, a seguito dei quali si riscontra un vantaggio economico futuro maggiore di anno in anno, fino ad arrivare dopo 10 anni ad un guadagno economico di circa 80k€.



*Figura 46 Simple Pay Back IoT*

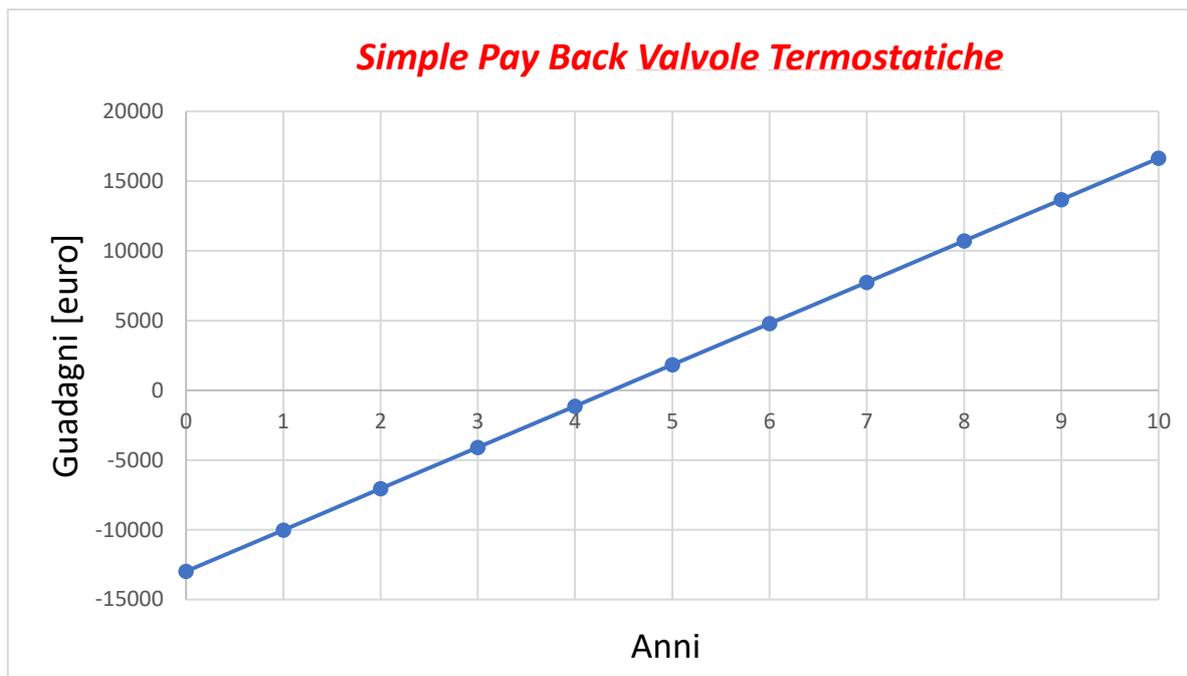


Figura 47 Simple Pay Back Valvole Termostatiche

Di seguito si riporta una tabella dalla quale si evincono le principali differenze qualitative tra un sistema di regolazione tradizionale che fa uso di valvole termostatiche installate sui terminali di impianto e un sistema di regolazione di nuova tecnologia IoT.

Tabella 5: Confronto qualitativo tra valvole termostatiche e regolazione IoT

<i>Vantaggi</i>	<b>Valvole Termostatiche</b>	<b>Sistema di regolazione IoT</b>
Regolazione smart		✓
Controllo da remoto		✓
Basso costo dell'hardware	✓	
Basso costo di installazione		✓

Velocità di installazione		✓
Espandibilità del sistema		✓
Monitoraggio ambientale		✓
Monitoraggio dei consumi		✓
Regolazione manuale in loco	✓	
Semplicità utenti non esperti	✓	
Vandalismo		✓
Regolazione della distribuzione		✓
Regolazione della generazione		✓
Diagnostica su problemi all'impianto		✓
Rumorosità		✓

Dalle caratteristiche visibili in tabella emerge come l'IoT presenta una serie di vantaggi rispetto all'utilizzo di valvole termostatiche: innanzitutto appare chiaro come la differenza maggiore tra le due tecnologie sta nel fatto che con l'IoT si riesce ad ottenere una regolazione smart e un controllo da remoto automatizzato grazie all'uso del 'cervello intelligente' nel quadro di telecontrollo che invece non risulta possibile con l'utilizzo di valvole termostatiche, dove l'utente in base alla propria sensazione di caldo/freddo in ambiente regola manualmente la manopola presente sulle valvole; ciò però va a vantaggio di utenti non esperti nella regolazione e che basano la regolazione delle valvole unicamente sulla loro sensazione fisica in ambiente. A proposito di tale concetto l'utilizzo di valvole termostatiche non garantisce sempre un risparmio energetico. Infatti, gli utenti non esperti tendono a regolare la valvola in continuazione in apertura e chiusura a seconda della loro sensazione di caldo o freddo in ambiente. Ciò è fortemente controproducente sul risparmio energetico, anzi porterà ad un aumento del consumo. Mediante l'utilizzo della valvola si ottiene risparmio energetico solo se la si lascia in una posizione fissa corrispondente ad un determinato numero sulla ghiera di regolazione in base alla temperatura voluta e misurata con un sensore lontano dal radiatore, e non modulando manualmente in continuazione la sua apertura/chiusura. Ciò costituisce uno dei principali svantaggi delle valvole.

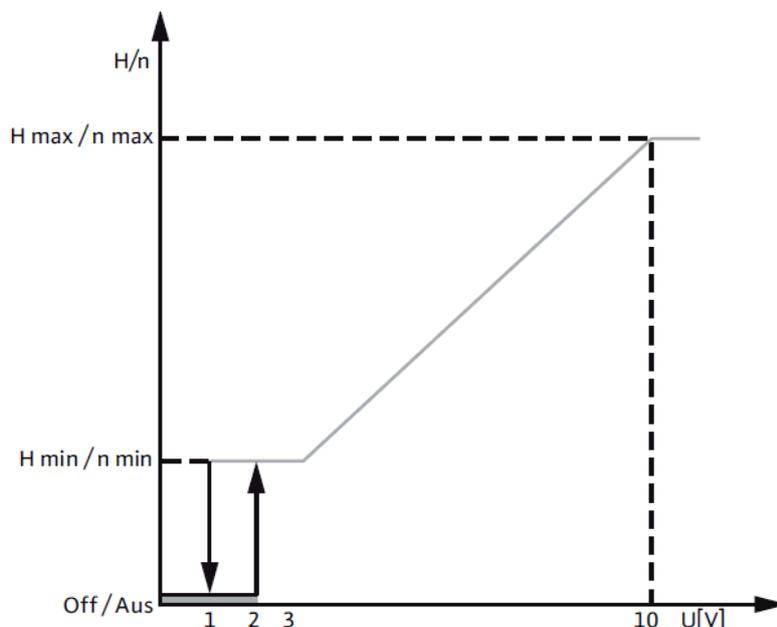
Inoltre, un sistema di regolazione IoT, qualunque esso sia, consente un monitoraggio costante delle variabili in ambiente quali ad esempio temperatura, umidità relativa,  $CO_2$  etc, affiancando a ciò anche un monitoraggio dei consumi energetici visibili all'utente mediante la piattaforma installata sul PC. Si tratta inoltre di un sistema espandibile, mediante l'aggiunta di altri sensori o gateway. Tuttavia, a favore dell'utilizzo di valvole va sicuramente il costo iniziale riguardante la regolazione e l'installazione: se solo si fa riferimento all'offerta commerciale precedentemente descritta si evince come l'utilizzo delle valvole, che hanno un costo unitario attuale medio nazionale di 78 euro, risulta sicuramente più conveniente dal punto di vista economico.

Mentre l'uso delle valvole termostatiche consente unicamente la regolazione della portata di acqua che attraversa il terminale in maniera indipendente dal resto dell'impianto e degli ambienti, mediante l'utilizzo di una tecnologia IoT si riesce a regolare in maniera specifica sia la generazione di calore per esempio mediante la centralina sulle caldaie a condensazione e quindi il consumo di gas naturale ad esse associato, che la distribuzione agendo sul

servomotore delle valvole miscelatrici a 3 vie, riducendo o aumentando la temperatura di mandata calda del fluido in base a quanta portata di acqua calda e fredda si fa miscelare tramite la regolazione sulla valvola. Tuttavia, agendo sulla valvola a 3 vie si ottiene una variazione della temperatura del fluido in mandata, ma la portata in mandata verso i terminali rimane sempre la stessa per cui non si riscontra un risparmio energetico associato alle pompe.

Inoltre, a vantaggio dell'IoT va la diagnostica su problemi all'impianto; questo vantaggio è intrinseco nella definizione di IoT, in quanto questa tecnologia consente di individuare in tempo reale i guasti che possono accadere sull'impianto termico e ne consente la visualizzazione sullo schermo del PC all'utente. Ciò consente di ridurre gli sprechi energetici.

Un'altra regolazione IoT che si pone come alternativa a quella che agisce sul servomotore delle valvole miscelatrici, consiste nella possibilità di modificare il numero di giri del motore elettrico che alimenta le pompe Wilo modello 'Stratos', ovvero quelle che servono i due laboratori est e ovest, l'ACS e la linea di ritorno dallo scambiatore a piastre alla caldaia. Per questo tipo di pompe, acquistando il modulo IF-EXT della Wilo è possibile ottenere una regolazione del numero di giri  $n$  del motore elettrico in funzione di un segnale di tensione 0-10 V che a partire dal quadro di telecontrollo tramite una comunicazione Modbus giunge fino al motore elettrico che alimenta le pompe.



*Figura 47 Regolazione pompe Wilo Stratos tramite modulo IF-EXT*

La pompa funziona come attuatore ad un numero di giri costante impostato mediante la tensione 0-10 V. Se la tensione in ingresso risulta pari a 10 V, la pompa è in funzione e il numero di giri corrisponde a quello massimo; se invece la tensione in ingresso su 2 V la pompa è in funzione e il numero di giri visualizzato corrisponde a quello minimo. Per una tensione in ingresso inferiore a 1V, la pompa è a riposo. In base al valore di temperatura riscontrato da un sensore posto in ambiente, potrebbe essere possibile scegliere la portata volumetrica da pompare nelle tubazioni e quindi nei terminali per garantire il comfort termico degli occupanti. Considerando inoltre il diagramma H-Q della Wilo Stratos MAXO-D 80/0,5-16 PN 10 che alimenta il Laboratorio Est (così come quello Ovest e il ritorno verso le caldaie) si possono trarre interessanti conclusioni riguardo questa modalità di regolazione alternativa.

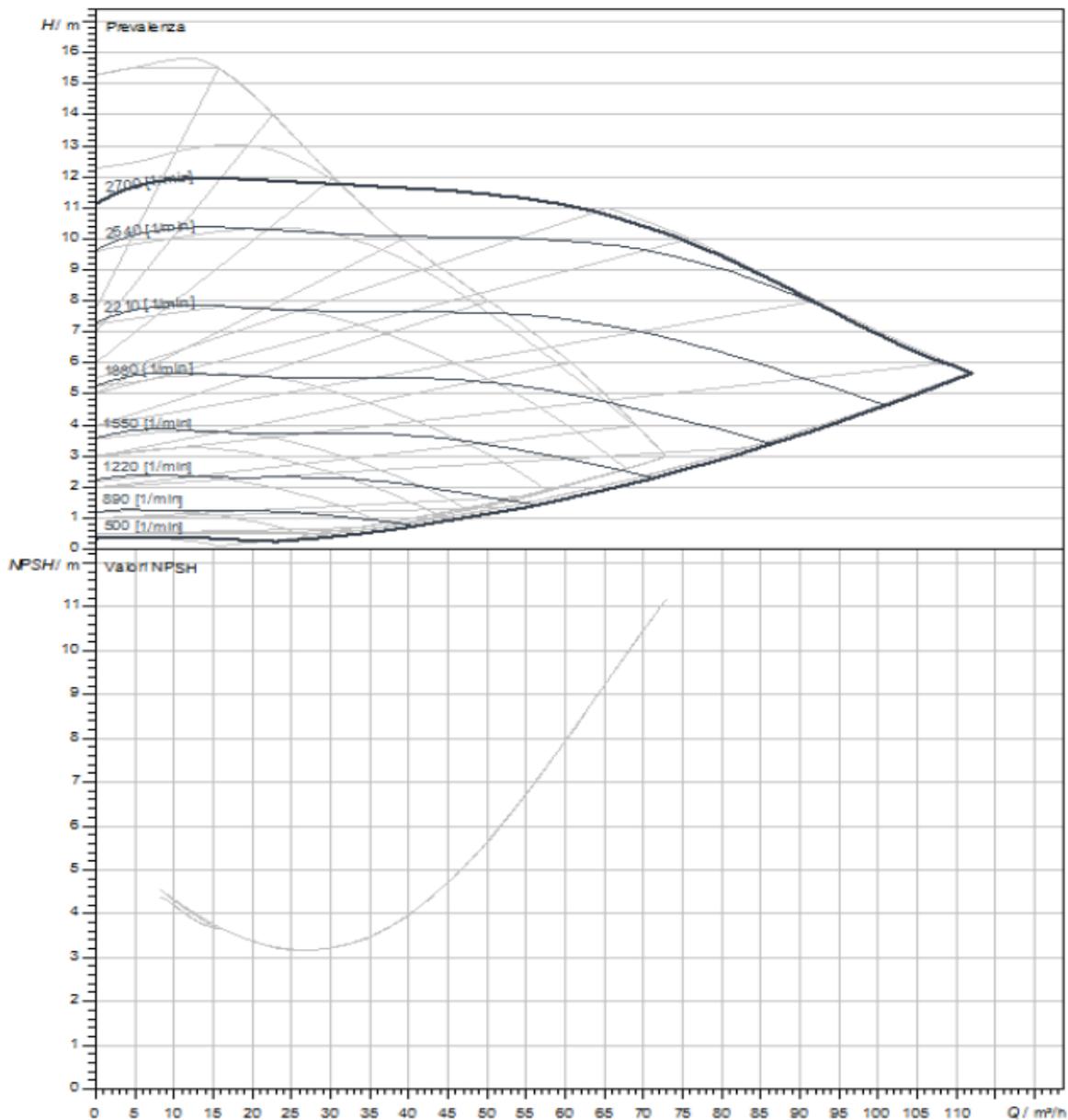


Figura 48 Grafico H-Q Stratos MAXO-D 80/0,5-16 PN 10

In particolare, dal grafico relativo alla pompa si evince come per ridurre la portata  $Q$  a parità di prevalenza  $H$  da dover soddisfare, è necessario ridurre il numero di giri  $n$ . Quindi procedendo in cascata, in base alla temperatura misurata dal sensore in ambiente, potrebbe essere possibile scegliere la portata  $Q$ , successivamente il numero di giri  $n$  e in base ad esso il segnale di tensione 0-10 V da applicare alla pompa tramite il modulo IF-EXT per ottenerlo. Questo tipo di regolazione IoT permette di avere una spiegazione fisica più lineare e dettagliata rispetto a quella applicata sui servomotori delle valvole miscelatrici a tre vie. Inoltre, rispetto alla regolazione IoT basata sui servomotori, questo tipo di regolazione non modifica la temperatura del fluido caldo in mandata, ma ne varia la portata, attraverso una riduzione del numero di giri  $n$ . Ciò conduce ad un risparmio energetico aggiuntivo per quanto riguarda la pompa rispetto al caso precedente, in quanto essa deve pompare meno fluido e di conseguenza lavora ad un numero di giri inferiore. Inoltre, questo approccio consente di ridurre al minimo le perdite exergetiche legate alla regolazione: infatti regolando  $n$  e quindi esclusivamente la portata, il contenuto energetico di quella portata di fluido termovettore sarà massimo grazie al fatto che la temperatura non viene modificata tramite l'uso di una valvola a tre vie; ciò comporta una minore distruzione di exergia disponibile.

## *Conclusioni*

In questa tesi, oltre allo studio della riqualifica tecnologica della centrale termica dell'edificio scolastico sia a livello impiantistico di layout, che di componenti installati, si è voluto dare enfasi alla possibile implementazione di un sistema IoT all'interno della scuola in questione, successivamente all'intervento di riqualifica stesso. La riqualifica della centrale termica ha consentito di mettere in luce quali sono i vantaggi relativi all'inserimento di uno scambiatore di calore a piastre in sottocentrale in modo da suddividere in due i circuiti di scambio termico, oltre l'inserimento di un collettore di sottocentrale tale da rendere più omogenea la distribuzione del fluido termovettore verso il grande collettore di distribuzione che serve le zone termiche. Successivamente si è voluto approfondire un aspetto della riqualifica in corso: l'IoT.

L'IoT è una tecnologia in crescente sviluppo negli ultimi anni, che viaggia di pari passo con la prorompente digitalizzazione che si sta diffondendo a macchia d'olio nelle realtà industriali e non. Chiaramente, tutti i sensori intelligenti che formano un sistema IoT sono installati all'interno della scuola in esame e prevedono un sistema di comunicazione dati ben definito, che può essere di tipo Lora o Sigfox. L'elevata immunità al rumore di queste tecnologie di comunicazione rende possibile la trasmissione dati tra sensori anche se posti in ambienti poco accessibili, come cavedi o cantine dove sono presenti i contatori di acqua e gas naturale, facendo così acquistare alla tecnologia IoT elevata utilità pratica.

L'implementazione di un sistema IoT all'interno di un edificio, di qualsiasi destinazione d'uso e tipologia esso sia, ha consentito non solo di evidenziare una serie di vantaggi relativi all'uso di questo sistema, come ad esempio la possibilità di automatizzare quasi completamente le azioni manuali di regolazione che prima venivano svolte dagli occupanti grazie alla presenza di un cervello 'intelligente' nel quadro di telecontrollo, ma anche condurre a quello che è l'obiettivo fondamentale per ogni realtà industriale odierna, ovvero il risparmio energetico. Ciò consente all'edificio di adattarsi alle mutevoli condizioni al contorno a cui è sottoposto, sia meteorologiche esterne che interne a livello di trend occupazionali di utilizzo dell'edificio, al fine di utilizzare esclusivamente le risorse energetiche strettamente necessarie a garantire il comfort interno degli occupanti, abbattendo i costi e gli sprechi energetici riguardo quelle superflue. Il confronto è stato condotto rispetto ad un tradizionale metodo utilizzato per la

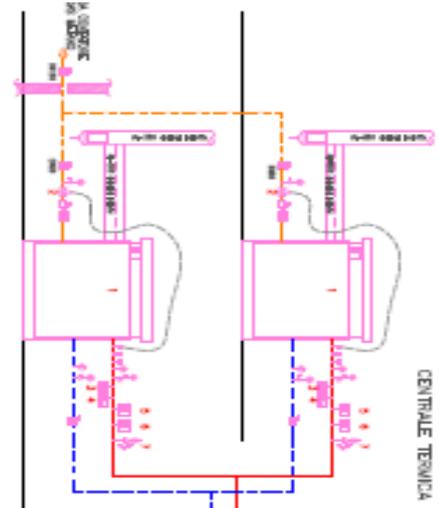
regolazione dell'edificio, ovvero tramite l'uso di valvole termostatiche. Ovviamente se ci si volesse concentrare esclusivamente su un discorso di tipo economico, almeno a primo impatto, le valvole termostatiche risulterebbero maggiormente convenienti, ma il livello di regolazione che esse rendono possibile risulta molto labile e sicuramente meno consistente rispetto all'implementazione di un sistema IoT. Inoltre, l'investimento iniziale maggiore per l'installazione di un sistema IoT viene ripagato nel giro di un tempo di poco superiore ai due anni e mezzo, come testimoniato dal valore di simple payback calcolato, con un risparmio economico percentuale rispetto all'uso delle valvole che si assesta intorno al 10%.

# Appendice 1

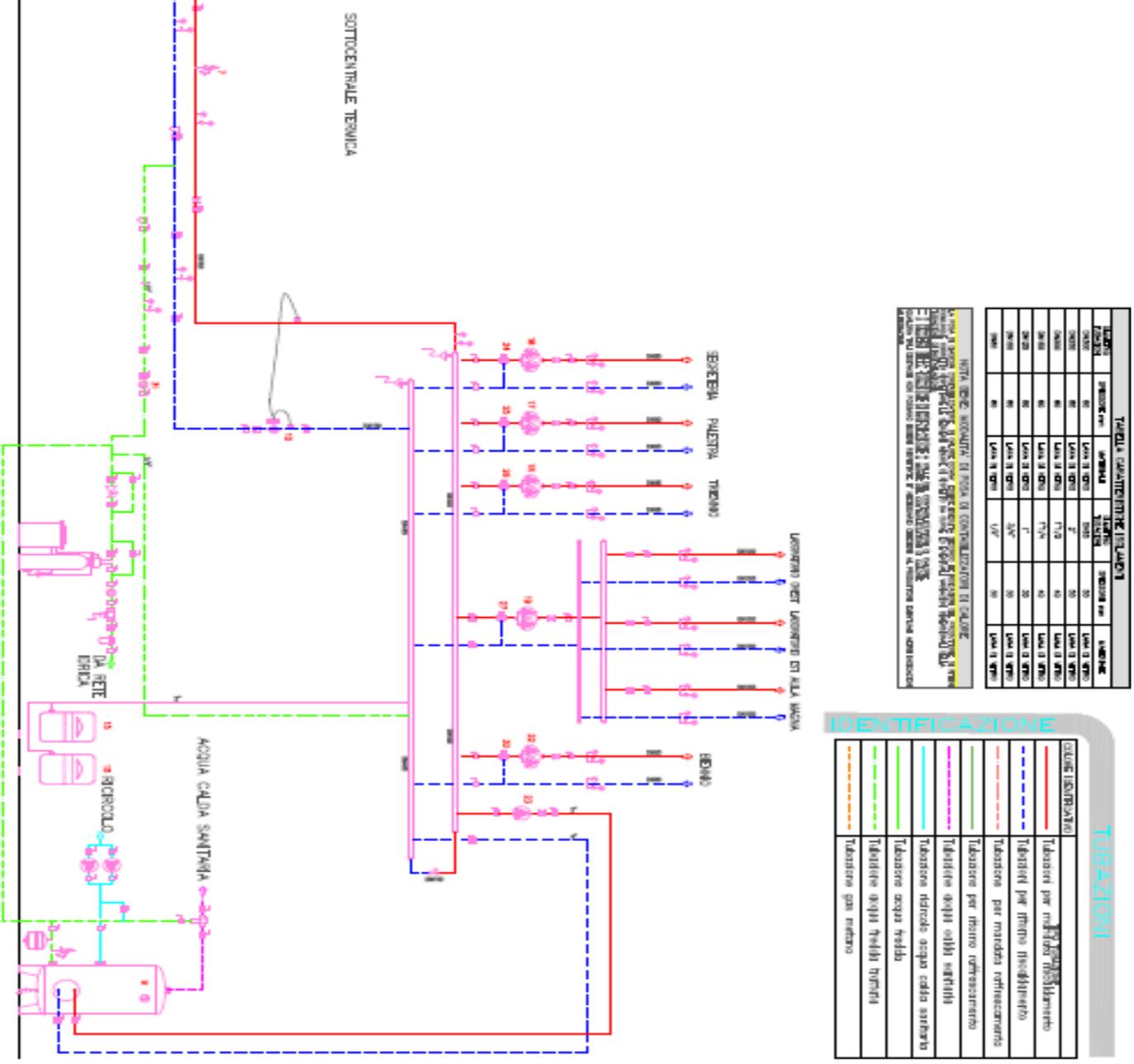
## IDENTIFICAZIONE

NUMERO	DESCRIZIONE	POSIZIONE
1	VALVOLA	PER COLLETTORI
2	VALVOLA	PER COLLETTORI
3	VALVOLA	PER COLLETTORI
4	VALVOLA	PER COLLETTORI
5	VALVOLA	PER COLLETTORI
6	VALVOLA	PER COLLETTORI
7	VALVOLA	PER COLLETTORI
8	VALVOLA	PER COLLETTORI
9	VALVOLA	PER COLLETTORI
10	VALVOLA	PER COLLETTORI
11	VALVOLA	PER COLLETTORI
12	VALVOLA	PER COLLETTORI
13	VALVOLA	PER COLLETTORI
14	VALVOLA	PER COLLETTORI
15	VALVOLA	PER COLLETTORI
16	VALVOLA	PER COLLETTORI
17	VALVOLA	PER COLLETTORI
18	VALVOLA	PER COLLETTORI
19	VALVOLA	PER COLLETTORI
20	VALVOLA	PER COLLETTORI
21	VALVOLA	PER COLLETTORI
22	VALVOLA	PER COLLETTORI
23	VALVOLA	PER COLLETTORI
24	VALVOLA	PER COLLETTORI
25	VALVOLA	PER COLLETTORI
26	VALVOLA	PER COLLETTORI
27	VALVOLA	PER COLLETTORI
28	VALVOLA	PER COLLETTORI
29	VALVOLA	PER COLLETTORI
30	VALVOLA	PER COLLETTORI
31	VALVOLA	PER COLLETTORI

## APPARECCHIATURE



CENTRALE TERMICA



SOTTOCENTRALE TERMICA

**TABELLA CARATTERISTICHE ISOLANTI**

TIPOLOGIA	PROFONDITA'	COND. TERMICA	RESISTENZA	RESISTENZA
ISOLANTE	50	0,040	1,250	31,250
ISOLANTE	50	0,040	1,250	31,250
ISOLANTE	50	0,040	1,250	31,250
ISOLANTE	50	0,040	1,250	31,250
ISOLANTE	50	0,040	1,250	31,250
ISOLANTE	50	0,040	1,250	31,250
ISOLANTE	50	0,040	1,250	31,250
ISOLANTE	50	0,040	1,250	31,250
ISOLANTE	50	0,040	1,250	31,250
ISOLANTE	50	0,040	1,250	31,250

**NOTA:** PER INFORMAZIONI IN MATERIA DI CERTIFICAZIONI E CALCOLO...

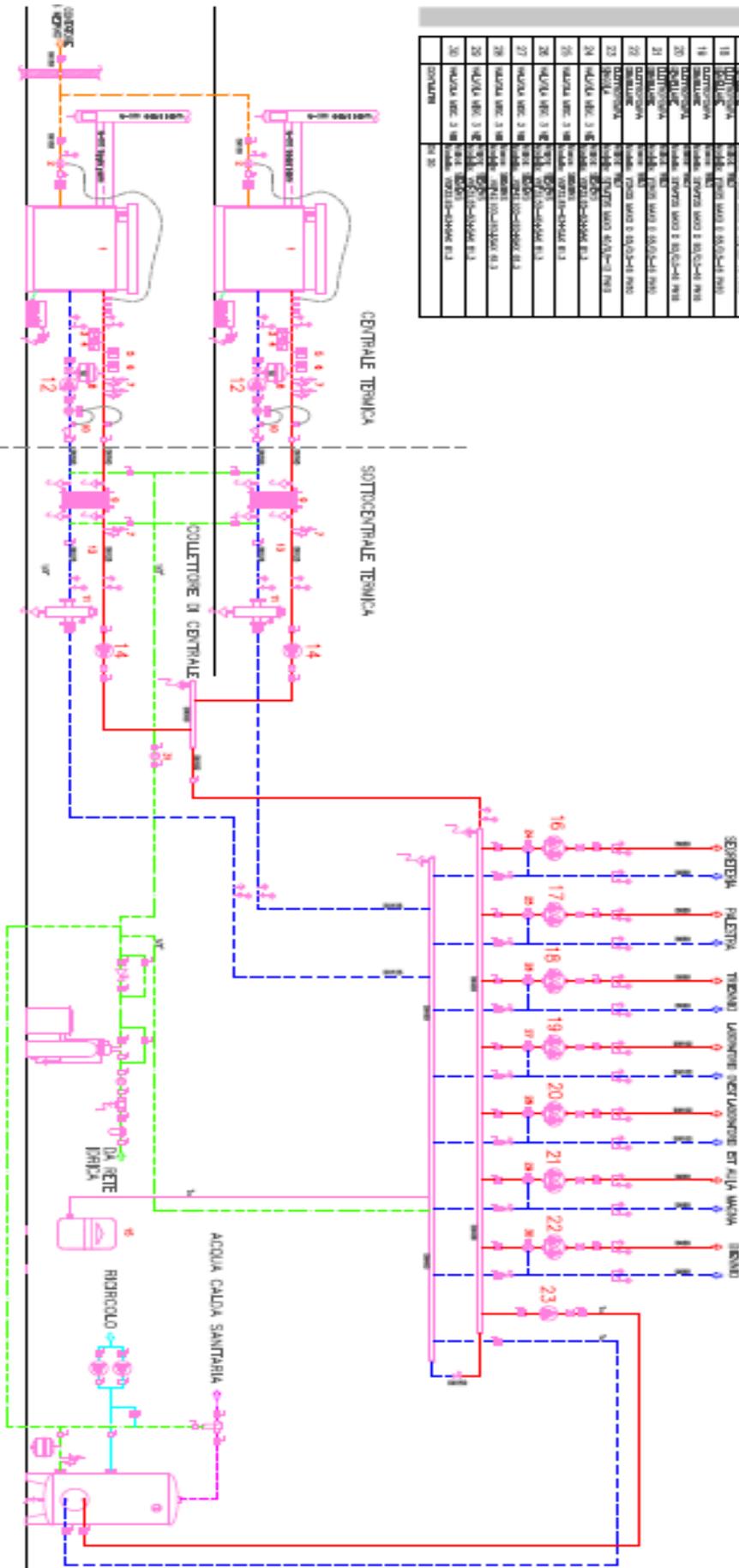
## LEGENDA

TIPOLOGIA	DESCRIZIONE
—	Isolante per manto impermeabile

# Appendice 2

## APPARECCHIATURE

POSIZIONE	DESCRIZIONE	QUANTITA'	RELAZIONE
1	CONDIZIONER D' ARIA	1	1
2	ALC.	1	1
3	INTELL. 3 ANNI	1	1
4	INTELL. 3 ANNI	1	1
5	INTELL. 3 ANNI	1	1
6	INTELL. 3 ANNI	1	1
7	INTELL. 3 ANNI	1	1
8	INTELL. 3 ANNI	1	1
9	INTELL. 3 ANNI	1	1
10	INTELL. 3 ANNI	1	1
11	INTELL. 3 ANNI	1	1
12	INTELL. 3 ANNI	1	1
13	INTELL. 3 ANNI	1	1
14	INTELL. 3 ANNI	1	1
15	INTELL. 3 ANNI	1	1
16	INTELL. 3 ANNI	1	1
17	INTELL. 3 ANNI	1	1
18	INTELL. 3 ANNI	1	1
19	INTELL. 3 ANNI	1	1
20	INTELL. 3 ANNI	1	1
21	INTELL. 3 ANNI	1	1
22	INTELL. 3 ANNI	1	1
23	INTELL. 3 ANNI	1	1
24	INTELL. 3 ANNI	1	1
25	INTELL. 3 ANNI	1	1
26	INTELL. 3 ANNI	1	1
27	INTELL. 3 ANNI	1	1
28	INTELL. 3 ANNI	1	1
29	INTELL. 3 ANNI	1	1
30	INTELL. 3 ANNI	1	1
31	INTELL. 3 ANNI	1	1
32	INTELL. 3 ANNI	1	1
33	INTELL. 3 ANNI	1	1
34	INTELL. 3 ANNI	1	1
35	INTELL. 3 ANNI	1	1
36	INTELL. 3 ANNI	1	1
37	INTELL. 3 ANNI	1	1
38	INTELL. 3 ANNI	1	1
39	INTELL. 3 ANNI	1	1
40	INTELL. 3 ANNI	1	1
41	INTELL. 3 ANNI	1	1
42	INTELL. 3 ANNI	1	1
43	INTELL. 3 ANNI	1	1
44	INTELL. 3 ANNI	1	1
45	INTELL. 3 ANNI	1	1
46	INTELL. 3 ANNI	1	1
47	INTELL. 3 ANNI	1	1
48	INTELL. 3 ANNI	1	1
49	INTELL. 3 ANNI	1	1
50	INTELL. 3 ANNI	1	1
51	INTELL. 3 ANNI	1	1
52	INTELL. 3 ANNI	1	1
53	INTELL. 3 ANNI	1	1
54	INTELL. 3 ANNI	1	1
55	INTELL. 3 ANNI	1	1
56	INTELL. 3 ANNI	1	1
57	INTELL. 3 ANNI	1	1
58	INTELL. 3 ANNI	1	1
59	INTELL. 3 ANNI	1	1
60	INTELL. 3 ANNI	1	1
61	INTELL. 3 ANNI	1	1
62	INTELL. 3 ANNI	1	1
63	INTELL. 3 ANNI	1	1
64	INTELL. 3 ANNI	1	1
65	INTELL. 3 ANNI	1	1
66	INTELL. 3 ANNI	1	1
67	INTELL. 3 ANNI	1	1
68	INTELL. 3 ANNI	1	1
69	INTELL. 3 ANNI	1	1
70	INTELL. 3 ANNI	1	1
71	INTELL. 3 ANNI	1	1
72	INTELL. 3 ANNI	1	1
73	INTELL. 3 ANNI	1	1
74	INTELL. 3 ANNI	1	1
75	INTELL. 3 ANNI	1	1
76	INTELL. 3 ANNI	1	1
77	INTELL. 3 ANNI	1	1
78	INTELL. 3 ANNI	1	1
79	INTELL. 3 ANNI	1	1
80	INTELL. 3 ANNI	1	1
81	INTELL. 3 ANNI	1	1
82	INTELL. 3 ANNI	1	1
83	INTELL. 3 ANNI	1	1
84	INTELL. 3 ANNI	1	1
85	INTELL. 3 ANNI	1	1
86	INTELL. 3 ANNI	1	1
87	INTELL. 3 ANNI	1	1
88	INTELL. 3 ANNI	1	1
89	INTELL. 3 ANNI	1	1
90	INTELL. 3 ANNI	1	1
91	INTELL. 3 ANNI	1	1
92	INTELL. 3 ANNI	1	1
93	INTELL. 3 ANNI	1	1
94	INTELL. 3 ANNI	1	1
95	INTELL. 3 ANNI	1	1
96	INTELL. 3 ANNI	1	1
97	INTELL. 3 ANNI	1	1
98	INTELL. 3 ANNI	1	1
99	INTELL. 3 ANNI	1	1
100	INTELL. 3 ANNI	1	1



### TABELLA QUANTITATIVE TUBAZIONI

POSIZIONE	TIPO	DIAMETRO	QUANTITA'	RELAZIONE
1	CONDIZIONER D' ARIA	1/2"	1	1
2	ALC.	1/2"	1	1
3	INTELL. 3 ANNI	1/2"	1	1
4	INTELL. 3 ANNI	1/2"	1	1
5	INTELL. 3 ANNI	1/2"	1	1
6	INTELL. 3 ANNI	1/2"	1	1
7	INTELL. 3 ANNI	1/2"	1	1
8	INTELL. 3 ANNI	1/2"	1	1
9	INTELL. 3 ANNI	1/2"	1	1
10	INTELL. 3 ANNI	1/2"	1	1
11	INTELL. 3 ANNI	1/2"	1	1
12	INTELL. 3 ANNI	1/2"	1	1
13	INTELL. 3 ANNI	1/2"	1	1
14	INTELL. 3 ANNI	1/2"	1	1
15	INTELL. 3 ANNI	1/2"	1	1
16	INTELL. 3 ANNI	1/2"	1	1
17	INTELL. 3 ANNI	1/2"	1	1
18	INTELL. 3 ANNI	1/2"	1	1
19	INTELL. 3 ANNI	1/2"	1	1
20	INTELL. 3 ANNI	1/2"	1	1
21	INTELL. 3 ANNI	1/2"	1	1
22	INTELL. 3 ANNI	1/2"	1	1
23	INTELL. 3 ANNI	1/2"	1	1
24	INTELL. 3 ANNI	1/2"	1	1
25	INTELL. 3 ANNI	1/2"	1	1
26	INTELL. 3 ANNI	1/2"	1	1
27	INTELL. 3 ANNI	1/2"	1	1
28	INTELL. 3 ANNI	1/2"	1	1
29	INTELL. 3 ANNI	1/2"	1	1
30	INTELL. 3 ANNI	1/2"	1	1
31	INTELL. 3 ANNI	1/2"	1	1
32	INTELL. 3 ANNI	1/2"	1	1
33	INTELL. 3 ANNI	1/2"	1	1
34	INTELL. 3 ANNI	1/2"	1	1
35	INTELL. 3 ANNI	1/2"	1	1
36	INTELL. 3 ANNI	1/2"	1	1
37	INTELL. 3 ANNI	1/2"	1	1
38	INTELL. 3 ANNI	1/2"	1	1
39	INTELL. 3 ANNI	1/2"	1	1
40	INTELL. 3 ANNI	1/2"	1	1
41	INTELL. 3 ANNI	1/2"	1	1
42	INTELL. 3 ANNI	1/2"	1	1
43	INTELL. 3 ANNI	1/2"	1	1
44	INTELL. 3 ANNI	1/2"	1	1
45	INTELL. 3 ANNI	1/2"	1	1
46	INTELL. 3 ANNI	1/2"	1	1
47	INTELL. 3 ANNI	1/2"	1	1
48	INTELL. 3 ANNI	1/2"	1	1
49	INTELL. 3 ANNI	1/2"	1	1
50	INTELL. 3 ANNI	1/2"	1	1
51	INTELL. 3 ANNI	1/2"	1	1
52	INTELL. 3 ANNI	1/2"	1	1
53	INTELL. 3 ANNI	1/2"	1	1
54	INTELL. 3 ANNI	1/2"	1	1
55	INTELL. 3 ANNI	1/2"	1	1
56	INTELL. 3 ANNI	1/2"	1	1
57	INTELL. 3 ANNI	1/2"	1	1
58	INTELL. 3 ANNI	1/2"	1	1
59	INTELL. 3 ANNI	1/2"	1	1
60	INTELL. 3 ANNI	1/2"	1	1
61	INTELL. 3 ANNI	1/2"	1	1
62	INTELL. 3 ANNI	1/2"	1	1
63	INTELL. 3 ANNI	1/2"	1	1
64	INTELL. 3 ANNI	1/2"	1	1
65	INTELL. 3 ANNI	1/2"	1	1
66	INTELL. 3 ANNI	1/2"	1	1
67	INTELL. 3 ANNI	1/2"	1	1
68	INTELL. 3 ANNI	1/2"	1	1
69	INTELL. 3 ANNI	1/2"	1	1
70	INTELL. 3 ANNI	1/2"	1	1
71	INTELL. 3 ANNI	1/2"	1	1
72	INTELL. 3 ANNI	1/2"	1	1
73	INTELL. 3 ANNI	1/2"	1	1
74	INTELL. 3 ANNI	1/2"	1	1
75	INTELL. 3 ANNI	1/2"	1	1
76	INTELL. 3 ANNI	1/2"	1	1
77	INTELL. 3 ANNI	1/2"	1	1
78	INTELL. 3 ANNI	1/2"	1	1
79	INTELL. 3 ANNI	1/2"	1	1
80	INTELL. 3 ANNI	1/2"	1	1
81	INTELL. 3 ANNI	1/2"	1	1
82	INTELL. 3 ANNI	1/2"	1	1
83	INTELL. 3 ANNI	1/2"	1	1
84	INTELL. 3 ANNI	1/2"	1	1
85	INTELL. 3 ANNI	1/2"	1	1
86	INTELL. 3 ANNI	1/2"	1	1
87	INTELL. 3 ANNI	1/2"	1	1
88	INTELL. 3 ANNI	1/2"	1	1
89	INTELL. 3 ANNI	1/2"	1	1
90	INTELL. 3 ANNI	1/2"	1	1
91	INTELL. 3 ANNI	1/2"	1	1
92	INTELL. 3 ANNI	1/2"	1	1
93	INTELL. 3 ANNI	1/2"	1	1
94	INTELL. 3 ANNI	1/2"	1	1
95	INTELL. 3 ANNI	1/2"	1	1
96	INTELL. 3 ANNI	1/2"	1	1
97	INTELL. 3 ANNI	1/2"	1	1
98	INTELL. 3 ANNI	1/2"	1	1
99	INTELL. 3 ANNI	1/2"	1	1
100	INTELL. 3 ANNI	1/2"	1	1

## TUBAZIONI

TIPO TUBAZIONE	TIPO LINEA
Tubazione per mandata riscaldamento	---
Tubazione per ritorno riscaldamento	---
Tubazione per mandata raffrescamento	---
Tubazione per ritorno raffrescamento	---
Tubazione acqua calda sanitaria	---
Tubazione miscela acqua calda sanitaria	---
Tubazione acqua fredda	---
Tubazione acqua fredda igienica	---
Tubazione gas metano	---

16	ELETTROPOMPA GEMELLARE	Marca: WILO Modello: YONOS MAXO D 65/0,5-16 PN10
17	ELETTROPOMPA GEMELLARE	Marca: WILO Modello: YONOS MAXO D 65/0,5-16 PN10
18	ELETTROPOMPA GEMELLARE	Marca: WILO Modello: YONOS MAXO D 65/0,5-16 PN10
19	ELETTROPOMPA GEMELLARE	Marca: WILO Modello: STRATOS MAXO D 80/0,5-16 PN16
20	ELETTROPOMPA GEMELLARE	Marca: WILO Modello: STRATOS MAXO D 80/0,5-16 PN16
21	ELETTROPOMPA GEMELLARE	Marca: WILO Modello: YONOS MAXO D 65/0,5-16 PN10
22	ELETTROPOMPA GEMELLARE	Marca: WILO Modello: YONOS MAXO D 65/0,5-16 PN10
23	ELETTROPOMPA SINGOLA	Marca: WILO Modello: STRATOS MAXO 40/0,5-12 PN10

## ***Bibliografia***

- [1] «SKG ITALIA,» [Online]. Available: <https://www.skgitalia.it/it-IT/bruciatori-ad-infrarossi.aspx>.
- [2] S. RICAMBI, «SMR RICAMBI,» [Online]. Available: <https://www.smicambi.com/it/cat/valvole-gas-caldaie-15>.
- [3] Biocalor, «Sonda NTC Caldaia,» [Online]. Available: <https://www.biocalor.it/10564/che-cosa-sonda-ntc-caldaia/> .
- [4] «Consistently-EC,» [Online]. Available: <https://www.consistently-ec.com/it-it/EC-Technologie.html> .
- [5] Digimax, 14 09 2020. [Online]. Available: <https://www.digimax.it/it/blog/tutti-i-vantaggi-del-protocollo-lora-nel-nuovo-contesto-di-smart-factory-n243>.
- [6] J. Y. C. W. M. T. Aloÿs Augustin, «A Study of LoRa: Long Range & Low Power Networks for the Internet of Things,» 09 9 2016.
- [7] «Moko Smart,» [Online]. Available: <https://www.mokosmart.com/it/how-does-lora-sensor-send-and-receive-data/> .
- [8] «TIot,» [Online]. Available: <https://www.tiot.it/project/illuminazione-intelligente/>.
- [9] J. C. V. R. V. L. C. a. J. P. Carles Gomez, «A Sigfox Energy Consumption Model,» 2019.
- [10] «SIGFOX Monitoraggio dove la rete non arriva,» in *Sistemi Integrati*, vol. 1, 2017, pp. 26-29.
- [11] R. & Schwarz, «Are you ready to connect to Sigfox».
- [12] «Cisco,» [Online]. Available: [https://www.cisco.com/c/it\\_it/solutions/what-is-5g.html](https://www.cisco.com/c/it_it/solutions/what-is-5g.html).
- [13] «Intercomp,» [Online]. Available: <https://www.intercomp.it/perche-5g-e-iot-rappresentano-davvero-una-svolta-epocale-2/> .
- [14] R. Hickey, «5G and LoRaWAN Co-Exist to Serve the Internet of Things,» 2019.
- [15] «Enerbrain,» [Online]. Available: <https://www.enerbrain.com/soluzioni/>.
- [16] Ulteria, «Ulteria,» [Online]. Available: <https://www.ulteria.it/prodotti-risparmio-energetico/valvole-termostatiche/come-funziona-la-valvola-termostatica/>.

