



# Politecnico di Torino

FACOLTÀ DI INGEGNERIA

LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA  
ENERGETICA E NUCLEARE

---

TESI MAGISTRALE

Applicazione di un sistema in *Cloud* per la  
regolazione di un impianto HVAC in un ospedale  
esistente: gestione della regolazione durante la  
pandemia da Covid-19

Relatore

Prof. Marco Carlo MASOERO

Correlatore

Ing. Jacopo TONIOLO

Tutor aziendale

Ing. Anna Marta FRIGERIO

Laureando

Riccardo FRASSANITO

---

Anno Accademico 2020/2021

*Fasten your seatbelts, it's going to be a bumpy night.*

Margo Channing

*All About Eve*, 1950

# Indice

Introduzione .....	1
1. La crisi energetica .....	4
1.1 Fabbisogno energetico.....	4
1.2 Efficientamento energetico nel settore edile .....	5
1.2.1 Edifici residenziali .....	7
1.2.2 Edifici non residenziali .....	9
1.2.3 Edifici a energia quasi zero .....	10
1.3 Effetti della pandemia COVID-19 sul consumo energetico .....	10
1.4 Richiesta energetica delle Strutture Ospedaliere .....	13
1.5 Condizionamento nelle Strutture Ospedaliere .....	15
1.5.1 Specifiche di prevenzione da COVID-19 .....	19
2. Impianti di riscaldamento, ventilazione e condizionamento HVAC.....	22
2.1 Impianti HVAC .....	22
2.2 Sistemi di riscaldamento e raffrescamento decentralizzati .....	23
2.3 Sistemi di riscaldamento e raffrescamento centralizzati .....	24
2.3.1 Sistema di distribuzione .....	26
2.3.2 Sistema di produzione .....	29
2.4 Sistema di trattamento dell'aria .....	31
2.4.1 Sistema di distribuzione dell'aria .....	35
2.5 Sistemi di emissione .....	40
2.5.1 Fancoil e ventilconvettori .....	40
2.5.2 Unità a flusso refrigerato variabile .....	41
2.5.3 Pannelli radianti .....	43
2.6 Sistemi di controllo .....	44
3. Caso studio Ospedale del nord Italia.....	48
3.1 Descrizione edificio.....	48
3.2 Struttura impiantistica dell'edificio .....	50
3.2.1 Centrale termica.....	50
3.2.2 Unità di trattamento dell'aria .....	55

3.3	Analisi consumi termici .....	57
3.3.1	Baseline di consumo .....	66
3.4	Analisi dei costi .....	67
4.	Applicazione sistema di controllo .....	70
4.1	La società Enerbrain s.r.l. ....	70
4.2	Gestione Enerbrain .....	72
4.3	Analisi preliminare .....	73
4.4	Applicazione del sistema di <i>energy cloud</i> .....	76
4.5	Monitoraggio ambientale.....	78
4.5.1	Monitoraggio altri padiglioni .....	83
4.6	Monitoraggio e controllo attuazione .....	83
5.	Analisi dei risultati .....	92
5.1	Mantenimento del comfort ospedaliero.....	90
5.2	Risparmio energetico.....	92
5.3	Risparmio economico.....	95
5.4	Analisi di redditività.....	97
	Conclusioni.....	100
	Bibliografia.....	102
	Sitografia .....	105

# Lista di figure

Figura 1: Impieghi finali di energia per settore (%), anno 2018. Fonte dati Eurostat.....	5
Figura 2: Consumo energetico del residenziale in Italia in Mtep, anni 1990-2018 (Fonte: Eurostat) .....	8
Figura 3: Consumo energetico per tipologia di consumo in tep/appartamento anni 2000-2018 (Fonte: ODYSSEE).....	8
Figura 4: Consumo energetico del non residenziale in Italia in Mtep, anni 1990-2018 (Fonte: Eurostat).....	9
Figura 5: Proiezione della riduzione di domanda pe regione nel 2020. (Fonte: IEA) .....	11
Figura 6: Confronto del tasso di crescita della domanda energetica tra il 2019 e il 2020. (Fonte: IEA) .....	12
Figura 7: Consumi medi annui dei presidi ospedalieri del Piemonte.....	14
Figura 8: Spesa meda annua dei presidi ospedalieri del Piemonte. ....	15
Figura 9: Profilo energetico per un edificio amministrativo a Bratislava secondo le linee guida ASHRAE.....	21
Figura 10: Sistema refrigerante con tipologia a flusso variabile tramite valvole di controllo automatico e VFD. ....	27
Figura 11: Sistema produzione acqua calda con tipologia a flusso variabile con controllo della pressione di distribuzione.....	27
Figura 12: Sistema refrigerante con tipologia a flusso primario con un secondario variabile. ....	28
Figura 13: Sistema produzione acqua calda con tipologia a flusso primario con un secondario variabile.....	29
Figura 14: Unità di trattamento aria ad aspirazione. ....	33
Figura 15: Unità di trattamento aria a spinta.....	33
Figura 16: Sistema a singolo condotto a volume costante con pre e post riscaldamento. ....	35
Figura 17: Sistema a singolo condotto a volume variabile con pre e post riscaldamento. ....	36
Figura 18: Sistema a doppio condotto a volume costante con singolo ventilatore. ....	37
Figura 19: Sistema a doppio condotto a volume variabile con doppio ventilatore.....	38
Figura 20: Sistema multi-zona. ....	39
Figura 21: Unità fancoil o ventilconvettore. ....	41

Figura 22: Unità VRF da interno di uso comune. ....	42
Figura 23: Pannello radiante a pavimento. ....	43
Figura 24: Pannello radiante a soffitto a tubi in lega di rame. ....	43
Figura 25: Esempio di crono termostato. ....	46
Figura 26: Generatori di vapore della centrale termica dell’Ospedale.....	52
Figura 27: Generatore di acqua calda della centrale termica dell’Ospedale. ....	52
Figura 28: Collettore di mandata centrale termica. ....	53
Figura 29: Pompe di circolazione del fluido vettore della centrale termica.....	53
Figura 30: Valvola a tre vie della caldaia d’acqua. ....	54
Figura 31: Sistema BMS delle UTA dialisi e ginecologia dell’Ospedale.....	57
Figura 32: Andamento giornaliero gradi giorno nei 4 anni di riferimento stazione di monitoraggio ARPA.....	59
Figura 33: Andamento medio mensile gradi giorno nei 4 anni di riferimento stazione di monitoraggio ARPA.....	59
Figura 34: Andamento consumo mensile medio di gas naturale del presidio Ospedaliero. ....	62
Figura 35: Andamento effetto termico utile medio di gas naturale del presidio Ospedaliero. ....	63
Figura 36: Suddivisione metratura servita dalla stessa centrale termica del complesso Ospedaliero.....	64
Figura 37: Ricostruzione consumi sterilizzazione e ACS, riscaldamento altri padiglioni e riscaldamento pad. Verde.....	65
Figura 38: Ricostruzione effetto termico utile sterilizzazione e ACS, riscaldamento altri padiglioni e riscaldamento pad. Verde.....	66
Figura 39:Baseline ricostruita in Smc .....	66
Figura 40: Baseline ricostruita in mc. ....	67
Figura 41: Andamento spesa mensile per la fornitura di gas metano dei quattro anni in esame del presidio Ospedaliero.....	67
Figura 42: Andamento spesa mensile media dei quattro anni per la fornitura di gas metano del presidio Ospedaliero.....	68
Figura 43: Ricostruzione spesa sterilizzazione e ACS, riscaldamento altri padiglioni e riscaldamento pad. Verde.....	69
Figura 44: Schema della connettività dei componenti connessi al Cloud Service di Enerbrain. ....	71

Figura 45: In ordine partendo dall'alto in senso orario V2V pre AC-vapore (UTA muraria), V3V post AC nord/sud (UTA muraria) e V3V pre/post AC (UTA medicina nucleare). .....	74
Figura 46: Esempio schematizzato di applicazione del sistema Enerbrain.....	76
Figura 47: Curva climatica caldaia di acqua calda.....	78
Figura 48: Distribuzione media oraria delle temperature al piano interrato -2 del padiglione Verde. ....	79
Figura 49: Distribuzione media oraria delle temperature al piano interrato -1 del padiglione Verde. ....	79
Figura 50: Distribuzione media oraria delle temperature al piano 0 del padiglione Verde. ....	80
Figura 51: Distribuzione media oraria delle temperature al piano 1 del padiglione Verde. ....	80
Figura 52: Distribuzione media oraria delle temperature al piano 3 del padiglione Verde. ....	81
Figura 53: Distribuzione media oraria delle temperature al piano 5 del padiglione Verde. ....	81
Figura 54 :Distribuzione media oraria delle temperature al piano 6 del padiglione Verde. ....	81
Figura 55: Distribuzione media oraria delle temperature al piano 2 del padiglione Verde. ....	82
Figura 56: Distribuzione media oraria delle temperature al piano 4 del padiglione Verde. ....	82
Figura 57: Videata della dashboard Tableau dell'area A003 UTA Muraria post-NORD realizzata per il monitoraggio dell'Ospedale. ....	84
Figura 58: Videata della dashboard Tableau dell'area A005-Pannelli Radianti NORD realizzata per il monitoraggio dell'Ospedale. ....	85
Figura 59: Videata della dashboard Tableau dell'area A007- UTA Medicina Nucleare OVEST realizzata per il monitoraggio dell'Ospedale. ....	86
Figura 60: Videata della dashboard Tableau dell'area A008- UTA Diagnostica OVEST realizzata per il monitoraggio dell'Ospedale. ....	86
Figura 61: Estratto dashboard della temperatura di mandata della caldaia d'acqua calda.....	87
Figura 62: Monitoraggio curva climatica su valvola deviatrice caldaia. ....	87
Figura 63: Rilevazioni temperature tramite diversi strumenti di misura per validazione misure sonde.....	88
Figura 64: Carpet plot delle temperature interne dell'area UTA Muraria pre (A002).....	90
Figura 65: Carpet plot delle temperature interne dell'area UTA Ginecologia (A011). ....	91
Figura 66: Scatter plot Umidità relativa e Temperature interne nel periodo pre-attuazione....	91
Figura 67: Scatter plot Umidità relativa e Temperature interne nel periodo post-attuazione ..	92
Figura 68: Confronto consumo effettivo e consumo da baseline di dicembre 2020.....	92

Figura 69: Confronto consumo effettivo e consumo da baseline di gennaio 2021.....	92
Figura 70: Confronto consumo effettivo e consumo da baseline di febbraio 2021. ....	93
Figura 71: Confronto consumo effettivo e consumo da baseline fino all'11 marzo 2021. ....	93
Figura 72: Andamento temperature esterne nel mese di febbraio 2021 prese dalla stazione ARPA di riferimento. ....	94
Figura 73: Andamento saving settimanale del periodo di efficientamento.....	94
Figura 74: Andamento saving mensile del periodo di efficientamento. ....	94
Figura 75: Valore percentuale di saving energetico delle diverse voci di consumo.....	95
Figura 76: Andamento costi mensili del periodo di efficientamento. ....	96
Figura 77: Valore percentuale di saving economico delle diverse voci di consumo. ....	96
Figura 78: Andamento flusso di cassa in funzione del tempo.....	98
Figura 79: Andamento del Valore Attuale Netto in funzione del tempo. ....	99

# Lista di tabelle

Tabella 1: Edifici residenziali, numero e superficie al 2018, per epoca di costruzione e per zona climatica.....	7
Tabella 2: Edifici residenziali, numero e superficie al 2018, per zona climatica .....	7
Tabella 3: Edifici non residenziali, numero e superficie al 2018, per zona climatica .....	9
Tabella 4: Parametri e valori di temperatura e umidità definiti nella circolare ministeriale 13011 e nelle UNI 10339. ....	16
Tabella 5: Parametri e valori di ventilazione definiti nella circolare ministeriale 13011 e nelle UNI 10339.....	16
Tabella 6: Requisiti minimi condizioni igrometriche dal D.P.R. 14/01/97.....	17
Tabella 7: Parametri operativi per un edificio amministrativo a Bratislava. ....	20
Tabella 8: Domanda energetica HVAC per un edificio amministrativo a Bratislava secondo le linee guida dell'ASHRAE.....	20
Tabella 9: Parametri per la progettazione di un sistema HVAC secondo la norma ANSI/ASHRAE STANDARD 55.....	22
Tabella 10: Sistemi idronici afferenti ai padiglioni del complesso come rilevati durante il sopralluogo Enerbrain. ....	51
Tabella 11: Elenco UTA del padiglione Verde del complesso fornito dal cliente.....	55
Tabella 12: Andamento medio mensile gradi giorno nei 4 anni di riferimento stazione di misura ARPA. ....	59
Tabella 13: Fabbisogno termico Totale 2017.....	60
Tabella 14: Fabbisogno termico Totale 2018.....	61
Tabella 15: Fabbisogno termico Totale 2019.....	61
Tabella 16: Fabbisogno termico Totale 2020.....	62
Tabella 17: Ricostruzione consumi sterilizzazione e ACS, solo riscaldamento e solo riscaldamento pad. Verde.....	64
Tabella 18: Ricostruzione effetto termico utile solo riscaldamento e solo riscaldamento pad. Verde. ....	65
Tabella 19: Ricostruzione spesa sterilizzazione, solo riscaldamento e solo riscaldamento pad. Verde. ....	68

Tabella 20: Lista componentistica preesistente di controllo dei componenti oggetti del pilota. .....	73
Tabella 21: Lista componentistica di nuova installazione di controllo dei componenti oggetti del pilota.....	74
Tabella 22: Dispositivi Enerbrain installati.....	75
Tabella 23: Valori di temperatura ambiente di set point e orari di accensione dei circuiti.....	77
Tabella 24: Rilevazioni temperature tramite diversi strumenti di misura per validazione misure sonde.....	88
Tabella 25: Quotazione progetto di efficientamento del padiglione Verde dell’Ospedale.....	97
Tabella 26: Flusso di cassa cliente e valore attuale netto.....	98
Tabella 27: Risultati economico finanziari del progetto di investimento. ....	99

# Introduzione

Le evidenze scientifiche sul riscaldamento globale sono oggi sostenute da modelli previsionali basati sulle condizioni climatiche e atmosferiche, sulla composizione della superficie terrestre e degli oceani e sulla radiazione solare. Secondo queste previsioni i maggiori livelli di riscaldamento globale si potrebbero avere tra il 2027 e il 2042.<sup>1</sup> Questo significa che le diverse politiche adottate dai governi dei principali Paesi industrializzati avranno un margine di manovra limitato entro il quale dovranno raggiungere dei risultati determinanti.

È noto come le emissioni di gas (GHG) in atmosfera quali CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O siano la principale causa dell'effetto serra poiché assorbono e reimmettono energia a bassa quota nell'atmosfera provocando l'innalzamento delle temperature. Questo provoca gravi danni a tutto l'ecosistema e all'assetto socio-economico del pianeta.

Il metano e l'ossido di diazoto sono più dannosi rispettivamente di 34 e 298 volte rispetto agli effetti causati dall'anidride carbonica sul potenziale di riscaldamento globale (GWP) su una scala di 100 anni.<sup>2</sup>

A seguito della limitata partecipazione al protocollo di Kyoto e alla mancanza di un accordo a Copenaghen nel 2009, l'Unione Europea ha lavorato alla costruzione di un'ampia coalizione di Paesi sviluppati e in via di sviluppo a favore di obiettivi ambiziosi che ha determinato il risultato positivo della conferenza sul clima di Parigi del dicembre 2015, durante la quale 195 Paesi hanno adottato il primo accordo universale e giuridicamente vincolante sul clima mondiale. L'accordo definisce un piano d'azione globale per evitare cambiamenti climatici pericolosi, stabilendo la limitazione del riscaldamento globale ben al di sotto dei 2 °C e riducendo le emissioni almeno del 40% entro il 2030.

Ciò potrà avvenire comprendendo la stretta interdipendenza tra il mercato della produzione energetica e quello delle riserve all'aumentare della quota di energie rinnovabili intermittenti

---

<sup>1</sup>[https://www.repubblica.it/green-and-blue/2020/12/28/news/la\\_soglia\\_limite\\_del\\_riscaldamento\\_globale\\_superata\\_tra\\_2027\\_e\\_2042-280188385/](https://www.repubblica.it/green-and-blue/2020/12/28/news/la_soglia_limite_del_riscaldamento_globale_superata_tra_2027_e_2042-280188385/)

<sup>2</sup> Li Y, Shang J., Zhang C. Zhang W., Niu L., Wang L. Zhang H., *The role of freshwater eutrophication in greenhouse gas emissions: A review*, in *Science of the Total Environment* (2021), <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144582>.

dipendenti dalle condizioni atmosferiche. Queste ultime, infatti, necessitano di impianti di produzione di piccola o media scala con sistemi di stoccaggio dinamico e a breve termine.<sup>3</sup>

Nel panorama di un utilizzo sempre più massivo delle risorse rinnovabili trova spazio anche il tema dell'efficientamento energetico. Infatti, se da una parte l'obiettivo è quello di ridurre la produzione di energia da fonte fossile, dall'altra l'obiettivo è quello di aumentare l'efficienza dei sistemi fisici per ottenere un risparmio energetico.

Secondo il rapporto europeo del 17 febbraio 2020 sull'efficienza energetica dell'edilizia, tale settore rappresenta circa il 40% del consumo energetico e produce il 36% delle emissioni di CO<sub>2</sub> legate all'energia a livello mondiale.<sup>4</sup>

All'interno del settore edile le strutture ospedaliere rilevano consumi tre volte superiori rispetto a quello civile residenziale con le medesime condizioni climatiche.<sup>5</sup>

Per questo motivo migliorare l'efficienza energetica in questo settore è necessario per ottenere la neutralità in termini di emissioni di carbonio entro il 2050 secondo il Green Deal Europeo.

La climatizzazione degli edifici di grandi dimensioni viene fatta attraverso sistemi HVAC (riscaldamento, ventilazione e condizionamento d'aria) e rappresenta un'importante voce di consumo.

Nell'ottica della regolazione di questi sistemi nel modo più efficiente possibile, si ricorre all'impiego di sistemi di controllo con sistemi di gestione di tipo BMS (*Building Management System*), i quali, correttamente configurati, possono condurre allo scopo di migliorare le performance dei sistemi HVAC.

Questi sistemi di controllo si possono basare anche su algoritmi predittivi e tecnologie di *machine learning* che, grazie a dispositivi IoT adoperati come sensori, software e altre tecnologie, acquisiscono dati esterni ed interni agli edifici entro *cloud* destinati a garantire il miglior utilizzo e il minor dispendio energetico.

Lo scopo del seguente lavoro di tesi è quello di studiare la fattibilità della soluzione di gestione energetica della società Enerbrain S.r.l. attraverso l'utilizzo di periferiche hardware innovative ad alto valore tecnologico e di un sistema software, che utilizza algoritmi predittivi, residente su diverse piattaforme *cloud*.

---

<sup>3</sup> Van den Bergh K., Delarue E., *Energy and reserve markets: interdependency in electricity systems with a high share of renewables*, in *Electric Power Systems Research* 189 (2020).

<sup>4</sup> Efficienza energetica nell'edilizia - Commissione Europea - 17 febbraio 2020.

<sup>5</sup> Grassi W., Testi D., Menchetti E., Della Vista D., Bandini M., Niccoli L., Grassini G. L., Fasani G., *Valutazione dei consumi nell'edilizia esistente e benchmark mediante codici semplificati: analisi di edifici ospedalieri*, ENEA Report RSE 2009/117.

L'obiettivo è quello di migliorare il comfort e regolare e ridurre i consumi attraverso un servizio di *Energy Cloud* applicato all'esistente sistema HVAC di un presidio ospedaliero del nord Italia per la stagione termica invernale 2020-2021. Occorre prendere in considerazione l'attuale periodo di pandemia da COVID-19, durante il quale risulta ancora più importante garantire la corretta ventilazione dei locali ospedalieri, al fine di garantirne la riduzione dei contagi.

I servizi di efficientamento energetico basato sui prodotti Enerbrain sono stati comprati da una ESCo (*Energy Service Company*), attraverso un progetto pilota.

# Capitolo 1

## 1.1 Fabbisogno energetico

La rapida crescita economica seguita dall'aumento della popolazione e della prosperità in tutto il mondo ha portato ad un conseguente aumento della domanda di energia, di acqua e di cibo, soprattutto nei Paesi più industrializzati. L'*International Renewable Energy Agency* (IRENA)<sup>6</sup> ha previsto che entro il 2050 il fabbisogno energetico arriverà a raddoppiare fino al 80% mentre la domanda di acqua e cibo crescerà più del 50%. Il freno di questa crescita è rappresentato dalle limitate risorse presenti sul nostro Pianeta e dall'impatto che questa evoluzione ha sul cambiamento climatico.

L'aumento nell'utilizzo di acqua è dovuto, non solo, alla crescente richiesta da parte delle attività umane, come l'agricoltura o l'allevamento, ma anche all'estrazione ed al trattamento dei combustibili fossili e alla produzione di energia elettrica tramite centrali termoelettriche. L'approvvigionamento energetico rappresenta oggi il 15% dell'utilizzo di acqua dolce ogni anno. Inoltre, la mancanza di acqua dovuta ad una crisi energetica influenza negativamente tutto il settore agroalimentare che detiene il 70% delle risorse idriche e rappresenta il 30% del fabbisogno energetico. Questa delicata interconnessione tra questi tre temi ha portato ad oggi i governi e gli istituti di ricerca a cercare soluzioni per un uso sempre più sostenibile ed efficiente delle risorse che ad oggi risultano limitate.

Questo significa che fra i temi più importanti dell'ultimo decennio l'efficienza energetica detiene sicuramente un posto di rilievo per superare la crisi energetica in atto.

In Italia, secondo il Ministero dello Sviluppo Economico<sup>7</sup>, il consumo interno lordo di energia nel 2018 è stato di 157 Mtep<sup>8</sup>, ovvero del -1,6% rispetto all'anno precedente e in linea con l'andamento decrescente osservato dal 2011. Fa eccezione il 2019, durante il quale si è avuto

---

<sup>6</sup> Ferroukhi R., Nagpal D., Lopez Peña A., Hodges T., Mohtar R. H., Daher B. Mohtar S., Keulertz M., *Renewable energy in the water, energy & food nexus 2015*, IRENA, International Renewable Energy Agency, January 2015.

<sup>7</sup> *Relazione annuale sull'efficienza energetica, risultati conseguiti e obiettivi al 2020*, Ministero dello Sviluppo Economico, Direzione generale per l'approvvigionamento, l'efficienza e la competitività energetica, aprile 2020.

<sup>8</sup> tep, tonnellata equivalente di petrolio.

un lieve aumento del 0,7% rispetto al 2017, generato dal settore dei servizi e dei trasporti con una sensibile riduzione del consumo residenziale e dell'industria.

Facendo un'analisi settoriale, nel 2018 sono stati i trasporti e il residenziale ad assorbire la maggior parte dei consumi, a questi sono seguiti poi l'industria, il settore dei servizi e l'agricoltura.

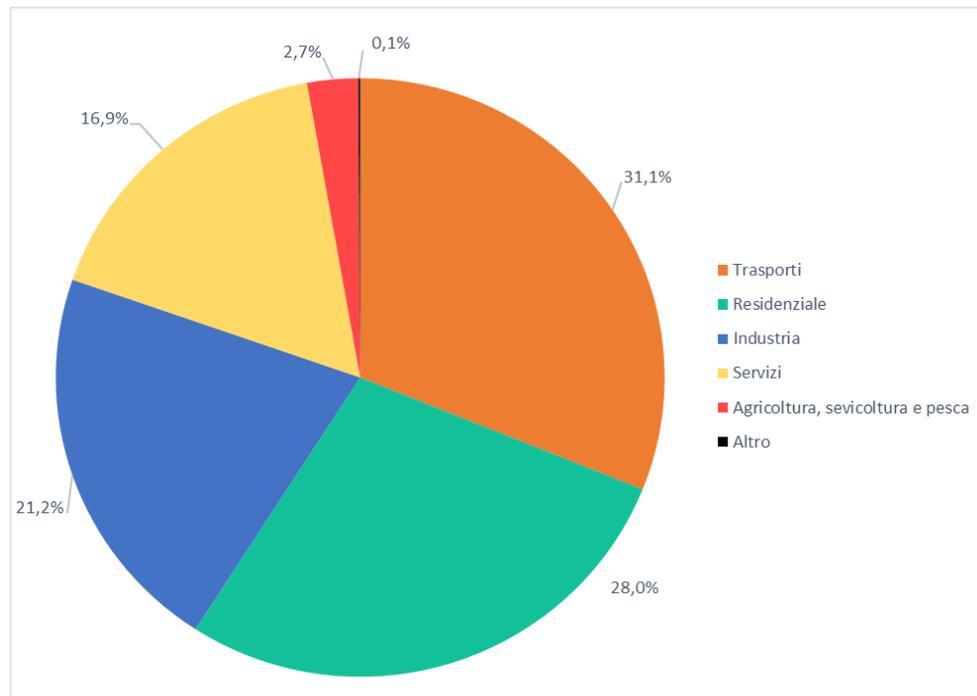


Figura 1: Impieghi finali di energia per settore (%), anno 2018. Fonte dati Eurostat

## 1.2 Efficientamento energetico nel settore edile

Minimizzare l'utilizzo di energia del settore edile è quindi un fattore importante per la sostenibilità ambientale ed economica nel mondo.

Nelle diverse politiche di efficientamento si prendono in considerazione non solo gli edifici di nuova costruzione, per i quali è fondamentale una progettazione sostenibile, ma anche edifici preesistenti. Per questi ultimi, infatti, spesso è più sostenibile il mantenimento della struttura con una ristrutturazione a basso costo, piuttosto che una demolizione seguita dalla sua ricostruzione.

Inoltre, in molti casi, la peculiare qualità architettonica ed il suo significato come parte del tessuto urbano costituiscono un motivo sufficiente per conservare le strutture, sebbene queste qualità siano difficili da quantificare rispetto alla richiesta energetica.

La Commissione europea ha adottato la strategia e la legislazione più adeguata per riformare il parco immobiliare dell'UE. Oggi circa il 75% delle strutture edificate è inefficiente sotto il profilo energetico, il che implica un enorme spreco di energia. La ristrutturazione di questi edifici potrebbe portare alla riduzione del 5-6% del consumo totale e del 5% delle emissioni di biossido di carbonio, ma solo l'1% di tutto il parco immobiliare riceve questo trattamento.

Con pubblicazione sulla Gazzetta ufficiale dell'Unione Europea, la direttiva 2010/31/UE sulla prestazione energetica nell'edilizia e la direttiva 2012/27/UE sull'efficienza energetica sono state riviste nel 2018 con la direttiva 2018/844 e il Regolamento (UE) 2018/1999 sulla governance dell'Unione dell'energia e dell'azione per il clima, che modifica le direttive e il regolamento precedenti con l'obiettivo di rappresentare meglio la transizione verso l'energia pulita dell'Unione Europea.

A questo proposito ogni Stato europeo dovrà proporre la propria strategia per affrontare il consumo energetico nell'edilizia per il periodo 2021-2030, in modo tale che alla fine di questo ventennio venga raggiunta un'efficienza energetica del 32,5% per l'intera UE<sup>9</sup>.

In Italia, il Ministero dello Sviluppo Economico ha pubblicato il testo del Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima (PNIEC) che recepisce le novità contenute nella legge di bilancio 2020 del 30 dicembre 2019.

Il PNIEC<sup>10</sup> è stato inviato alla Commissione europea in attuazione del Regolamento (UE) 2018/1999. L'Italia intende perseguire un obiettivo indicativo di riduzione dei consumi al 2030 pari al 43% dell'energia primaria e al 39,7% dell'energia finale rispetto allo scenario di riferimento PRIMES 2007. In termini di livello assoluto di consumo di energia primaria e finale al 2020 si stima che verranno superati gli obiettivi indicativi fissati ai sensi della Direttiva 2012/27/UE, pari rispettivamente a 158 Mtep e 124 Mtep. Per quanto riguarda, invece, il livello assoluto di consumo di energia al 2030, l'Italia persegue un obiettivo di 125,1 Mtep di energia primaria e 103,8 Mtep di energia finale.

Con il recepimento della Direttiva 2018/844/UE sarà inoltre redatta la strategia di lungo termine per la ristrutturazione del parco immobiliare, che conterrà, una rassegna completa degli edifici sul territorio nazionale, sia pubblici che privati, e una tabella di marcia basata su indicatori, per il conseguimento dell'obiettivo di decarbonizzazione al 2050, con tappe intermedie al 2030 e al 2040.

---

<sup>9</sup> *Efficienza energetica nell'edilizia*, Commissione Europea, 17 febbraio 2020.

<sup>10</sup> *Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima (PNIEC)*, Ministero dello Sviluppo Economico, dicembre 2019.

Per quanto concerne la consistenza delle strutture edificate si possono distinguere diverse categorie.

### 1.2.1 Edifici residenziali

Gli edifici residenziali sono 12,42 milioni con 32 milioni di abitazioni. Oltre il 60% di questi ha più di 45 anni, ovvero è precedente alla prima legge sul risparmio energetico (Legge 373/1976). Di questi edifici oltre il 25% registra consumi annuali da un minimo di 160 kWh/m<sup>2</sup> a oltre 220 kWh/m<sup>2</sup> anno. Di seguito si rappresenta la situazione del parco immobiliare del settore residenziale.

Epoca di costruzione	Numero edifici	m <sup>2</sup>
<1919	1.832.503	824.318.007
1919-1945	1.327.007	596.929.863
1946-1960	1.700.834	765.089.112
1961-1970	2.050.830	922.528.420
1971-1980	2.117.649	952.585.727
1981-1990	1.462.766	657.998.570
1991-200	871.017	391.811.090
2001-2005	465.092	209.213.142
2006-2011	359.991	161.935.377
2012-2018	232.714	104.682.143
<b>Totale</b>	<b>12.420.403</b>	<b>5.587.091.451</b>

Tabella 1: Edifici residenziali, numero e superficie al 2018, per epoca di costruzione e per zona climatica

Zona climatica	Gradi Giorno	Numero edifici	m <sup>2</sup>
zona A	GG ≤ 600	5.217	2.327.200
zona B	600 ≤ GG ≤ 900	710.079	298.025.940
zona C	900 ≤ GG ≤ 1400	2.737.222	1.127.236.450
zona D	1400 ≤ GG ≤ 2100	2.896.204	1.355.373.650
zona E	2100 ≤ GG ≤ 3000	5.340.672	2.535.572.770
zona F	GG > 3000	731.009	268.555.440
<b>Totale</b>		<b>12.420.403</b>	<b>5.587.091.450</b>

Tabella 2: Edifici residenziali, numero e superficie al 2018, per zona climatica

Il consumo energetico finale di questo settore è stato nel 2018 di 32,1 Mtep in diminuzione del 2,6% rispetto al 2017. Nella figura successiva se ne riporta nel dettaglio l'andamento tra gli anni 1990-2018.

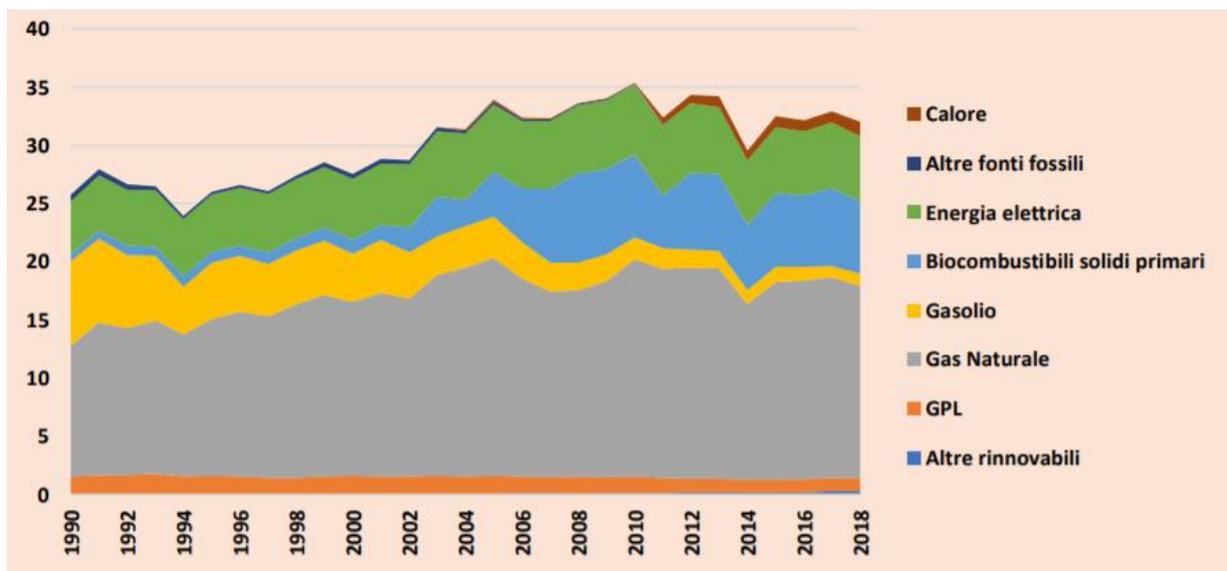


Figura 2: Consumo energetico del residenziale in Italia in Mtep, anni 1990-2018 (Fonte: Eurostat)

Si può osservare che, mentre il consumo di biocombustibili solidi, gas naturale e GPL ha cominciato a ridursi solo dal 2004 in poi rispettivamente del 7,6%, 4,4% e 2,8%, il resto delle fonti rinnovabili, al contrario, è aumentato del 3,6%<sup>11</sup>.

Il gas naturale risulta essere sempre la principale forma di energia adoperata detenendo il 50% del consumo finale. Di questa energia circa il 70% è assorbita dalla necessità di raffreddare e riscaldare mentre una quota minore è riservata per l'acqua calda sanitaria e l'illuminazione, come si osserva in figura 3.

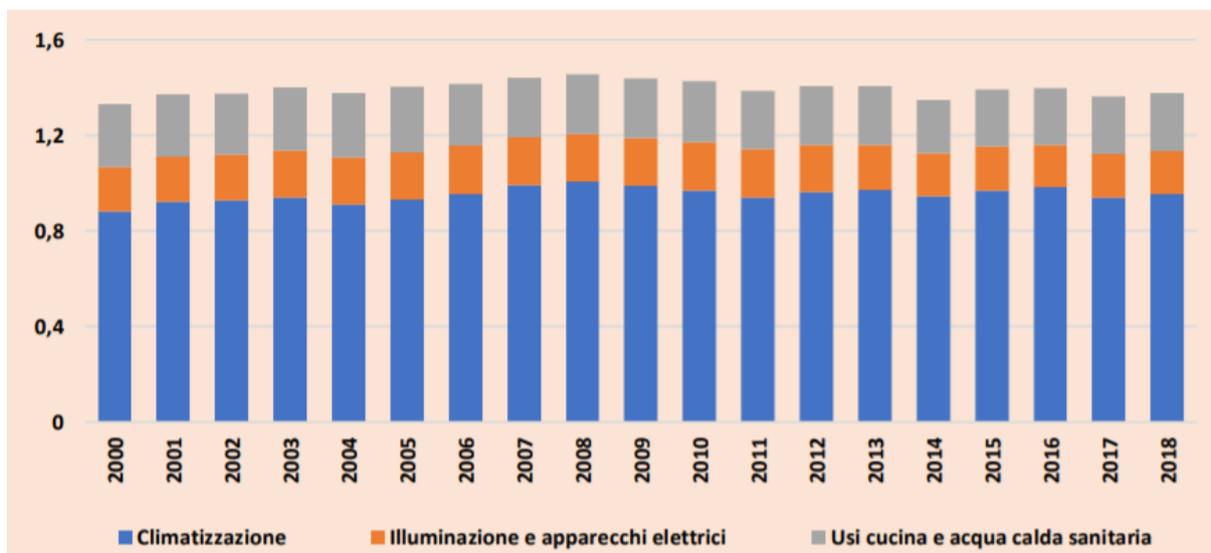


Figura 3: Consumo energetico per tipologia di consumo in tep/appartamento anni 2000-2018 (Fonte: ODYSSEE).

<sup>11</sup> Rapporto annuale efficienza energetica 2020, Dipartimento Unità l'Efficienza Energetica dell'Agenzia Nazionale Efficienza Energetica ENEA.

## 1.2.2 Edifici non residenziali

Gli edifici non residenziali sono stati raggruppati nelle classi di maggior diffusione: scuole, uffici, centri commerciali, alberghi e edifici legati al settore sanitario. Sul territorio italiano sono presenti circa 435.000 edifici non residenziali appartenenti alle destinazioni d'uso scuole, uffici, centri commerciali e alberghi con una superficie complessiva di circa 340 mln m<sup>2</sup>, di cui il 37% in zona climatica E, e in generale quasi il 70% in zone temperate o fredde.

Epoca di costruzione	Numero edifici	m <sup>2</sup>
zona A	148	173.490
zona B	22.515	23.421.687
zona C	84.233	83.915.666
zona D	102.264	95.050.723
zona E	206.451	125.487.887
zona F	19.119	13.231.516
<b>Totale</b>	<b>434.730</b>	<b>341.280.969</b>

Tabella 3: Edifici non residenziali, numero e superficie al 2018, per zona climatica

Per quanto invece riguarda le strutture ospedaliere, dall'annuario statistico del Servizio Sanitario Nazionale (SSN) in Italia risultano 11.600 edifici pubblici e 15.400 edifici privati accreditati per un totale di 27.000 strutture.

Per tutto il settore non residenziale il consumo energetico è stato di 19.3 Mtep nel 2018 in aumento rispetto al 2017 del 6%, il che lo rende il settore trainante con un consumo che nell'ultimo trentennio si è più che raddoppiato con un tasso di incremento medio annuo del 3,1%.

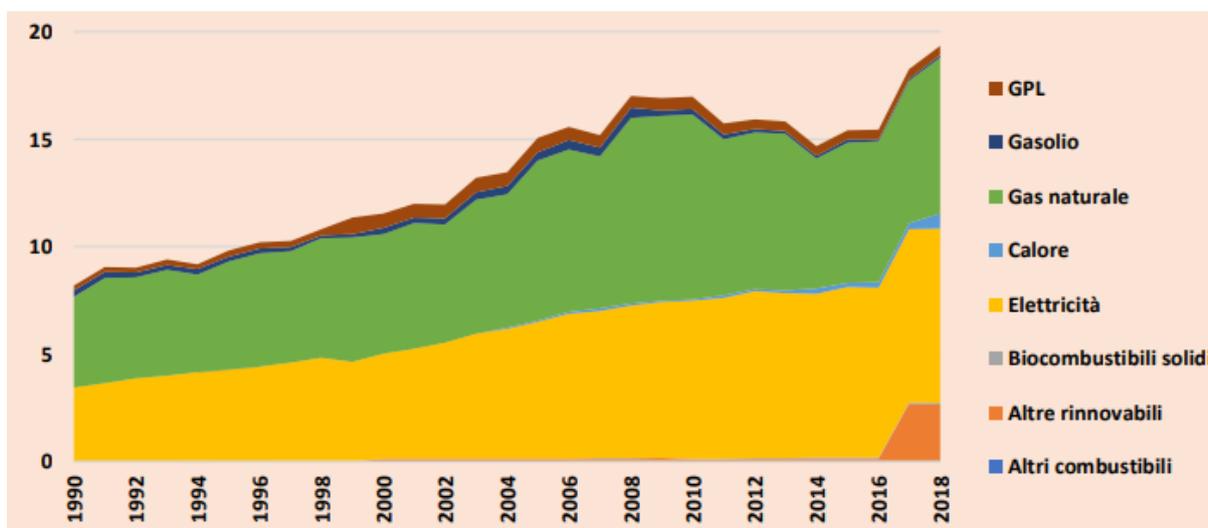


Figura 4: Consumo energetico del non residenziale in Italia in Mtep, anni 1990-2018 (Fonte: Eurostat).

Come si evince dalla figura precedente, l'energia elettrica e il gas naturale rappresentano il 90% sulla domanda complessiva con una riduzione al 80% grazie all'incremento delle fonti rinnovabili.

### 1.2.3 Edifici a energia quasi zero

Gli edifici a energia quasi zero (NZEB, *Nearly Zero Energy Building*) sono edifici ad elevatissima efficienza energetica che riducono drasticamente i consumi e abbattano le emissioni. In Italia nel 2018 si contavano 1400 di questi edifici, al 90% di nuova costruzione. Nel 2020 è stata prevista la ristrutturazione di oltre 130 edifici pubblici di questa categoria ma la loro percentuale, rispetto a tutto il parco edifici, è solo del 0,03% su base regionale.

## 1.3 Gli effetti della pandemia da COVID-19 sui consumi energetici

La malattia da coronavirus, conosciuta come COVID-19, è una patologia infettiva respiratoria causata da un virus denominato SARS-CoV-2 che ha colpito il mondo intero con i primi pazienti colpiti a Wuhan in Cina nel mese di dicembre 2019<sup>12</sup>.

In questa grave pandemia a gennaio 2021 sono stati confermati circa 110 Mln di casi e 2,19 Mln di decessi in 220 paesi<sup>13</sup>, tali numeri, secondo le previsioni di Faust et al<sup>14</sup>, potrebbero superare quelli dell'influenza spagnola, nota come la grande influenza tra il 1918 e il 1920, che è considerata, ad oggi, la pandemia più severa dell'ultimo secolo con 17,6 Mln di morti.<sup>15</sup> È noto<sup>16</sup> quanto il COVID-19 abbia influenzato molteplici settori, tra cui quello agricolo e manifatturiero insieme alle principali attività connesse ai servizi come l'istruzione, la sanità, la finanza, lo sport, il turismo e l'alimentazione.

La domanda del settore energetico nel mondo, secondo l'International Energy Agency (IEA)<sup>17</sup>, ha subito nel 2020 l'impatto più importante degli ultimi 70 anni con una riduzione

---

<sup>12</sup> *Pneumonia of unknown cause – China, Disease outbreak news*, World Health Organization.

<https://www.who.int/csr/don/05-january-2020-pneumonia-of-unknown-cause-china/en/>

<sup>13</sup> Fonte: Health Emergency Dashboard, 29 gennaio '21 ore 10.06 am.

<sup>14</sup> Faust J. S., Lin Z., Del Rio C., *Comparison of estimated excess deaths in new york city during the COVID-19 and 1918 influenza pandemics*. JAMA Network Open, 3(8), e2017527-e2017527, 2020.

<sup>15</sup> Spreeuwenberg P., Kroneman M., Paget J., *Reassessing the Global Mortality Burden of the 1918 Influenza Pandemic*, *American Journal of Epidemiology*, vol. 187 N°12, 2018.

<sup>16</sup> Nicola M., Alsafi Z., Sohrabi C., Kerwan A., Al-Jabir A., Iosifidis C., Agha, R., Agha, R., *The socio-economic implications of the coronavirus and COVID-19 pandemic: a review*, *International Journal of Surgery*, 78, 185-193, 2020.

del 6% rispetto all'anno precedente e sette volte più grande rispetto alla riduzione subita nella crisi finanziaria del 2009. Ad aprile 2020 si è registrata una riduzione del 9% (25 GW) sulla generazione media totale di energia elettrica su 16 paesi europei con una riduzione di energia da fonte fossile del 28% (24 GW) e di energia nucleare del 14% (11 GW) mentre si è riscontrato un aumento della produzione da fonte rinnovabile del 15 % (15 GW).

Durante i diversi periodi di *lockdown* parziali o totali la riduzione di domanda energetica dovuta alla chiusura di molte attività ha provocato gravi danni a tutto il settore energetico, negli Stati Uniti, ad esempio, si contano almeno 19 società che sono finite in bancarotta<sup>18</sup>.

I dati di luglio 2020, confrontati con il 2019, mostrano una riduzione dei consumi in Italia, Francia, Germania, Spagna, Regno Unito, Cina e India del 10%.

Le figure successive mostrano la proiezione su tutto il 2020 della variazione di domanda di otto regioni del mondo, in alto si calcola un totale di riduzione di 627 Mtep mentre in basso si osserva un tasso di crescita medio annuo di circa l'1% nel 2019 e -6% nel 2020.

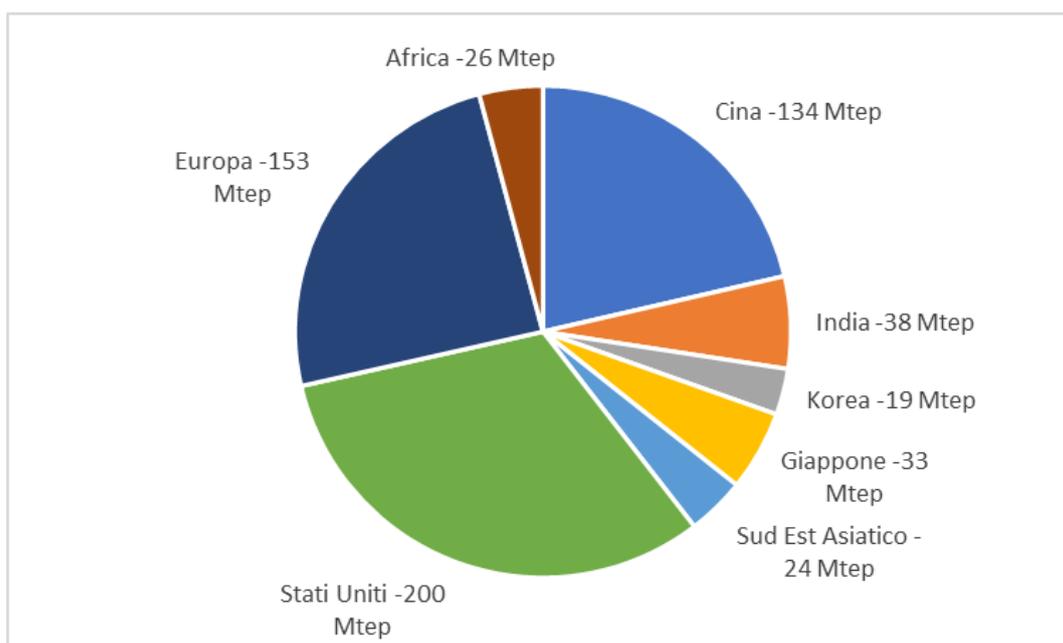


Figura 5: Proiezione della riduzione di domanda pe regione nel 2020. (Fonte: IEA)

<sup>17</sup> <https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2020>.

<sup>18</sup> Jiang P., Van Fan Y. Jaromír Klemeš J., *Impacts of COVID-19 on Energy Demand and Consumption Challenges, Lessons and Emerging Opportunities*, in *Applied Energy* (2021).

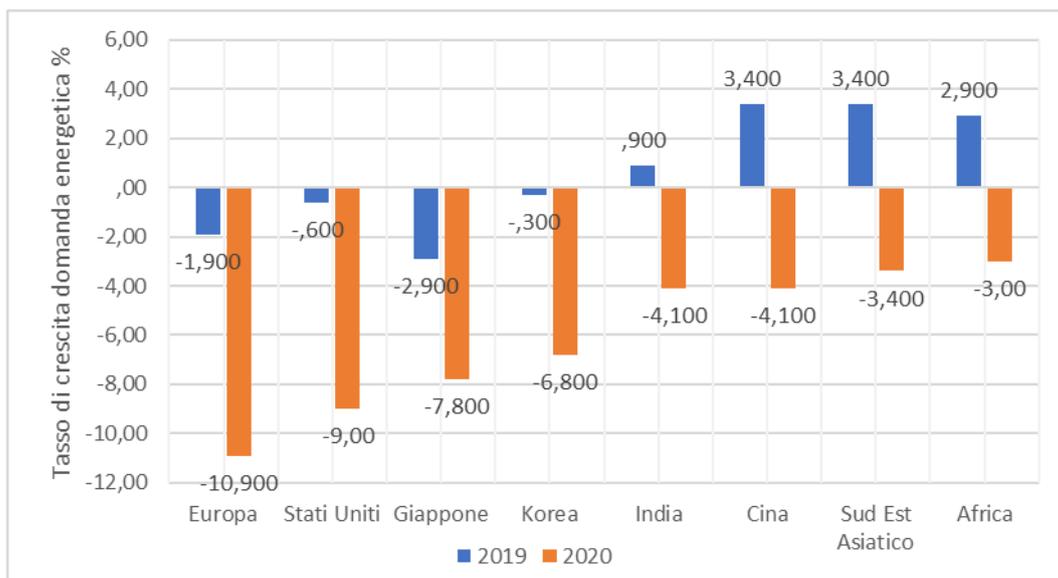


Figura 6: Confronto del tasso di crescita della domanda energetica tra il 2019 e il 2020. (Fonte: IEA)

Sebbene sia evidente la forte riduzione energetica globale è da sottolineare come nel settore residenziale e sanitario risulta esserci un andamento opposto. La chiusura della maggior parte delle aziende, degli uffici e delle scuole ha infatti causato un aumento del lavoro da casa con un aumento del consumo di energia termica ed elettrica da parte di questi utenti.

Per quanto riguarda il settore sanitario invece la produzione massiva di dispositivi di protezione individuale (DPI), disinfettanti e altri dispositivi necessari per la prevenzione del COVID-19 hanno portato ad un extra energetico nel 2020 di 237 [PJ].

Inoltre, la somministrazione e la raccolta dei campioni, insieme alla loro conservazione in ambienti refrigerati e l'attività di ricerca, sviluppo, produzione e distribuzione su vasta scala dei vaccini per la cura di questa malattia, secondo lo Schatz Energy Research Center, porteranno ad un ulteriore surplus energetico.

Infine, sempre nel settore sanitario è stato evidenziato come l'aumento dei pazienti, dell'uso di apparecchiature mediche e di requisiti più stringenti sulla qualità dell'aria per il controllo della malattia abbiano causato insieme l'aumento della richiesta energetica da parte delle strutture ospedaliere. I sistemi HVAC, nell'ottica di una ventilazione più incentrata sul totale ricambio dell'aria interna con sola aria esterna, hanno portato ad un considerevole aumento dei consumi energetici non potendo usufruire di un parziale recupero di calore attraverso la ricircolazione in inverno, portando tutto il sistema di condizionamento a lavorare sotto carichi termici più elevati, non sempre supportati dall'impianto esistente nella struttura.

## 1.4 Richiesta energetica delle strutture ospedaliere

Gli ospedali sono strutture sanitarie complesse le quali possono essere costituite da diversi edifici ognuno dei quali con elevati consumi energetici. La cura delle persone malate, ad opera dei servizi ospedalieri, richiede un alto consumo di risorse energetiche che sia costante nel tempo, poiché la continuità dell'assistenza sanitaria non deve essere messa a rischio. La tipologia di queste strutture, infatti, è caratterizzata da diversi profili energetici, da quello alberghiero che si accosta al servizio di degenza in funzione 24 ore e per 365 giorni all'anno a quello della generazione che si associa alle grandi centrali di cogenerazione o trigenerazione presenti nei grandi presidi ospedalieri.

Il consumo energetico complessivo si distribuisce tra:

- energia termica;
- energia frigorifera;
- energia elettrica.

Queste sono adoperate per il riscaldamento, il raffreddamento e la ventilazione degli ambienti, la preparazione dell'acqua calda sanitaria, le operazioni di sterilizzazione e disinfezione (se non esternalizzate) e il raffreddamento di macchinari speciali.

All'interno delle strutture la divisione per livello di consumo si distingue tra le zone ad alta densità di cura, come reparti di terapia intensiva e blocchi operatori, dove la dimensione degli impianti di climatizzazione è di grande dimensione. Seguono poi le diagnostiche di laboratorio che hanno un numero cospicuo di apparecchiature biomediche dalla forte richiesta energetica sia per l'alimentazione che per il raffreddamento per garantire la dissipazione termica. Ci sono infine le degenze e gli ambulatori con consumi legati alla sola climatizzazione e all'illuminazione.

Nell'efficientamento energetico non si può prescindere dal conoscere i flussi energetici, in modo tale da avere una baseline dei consumi e delle spese per poterne quantificare una riduzione.

A questo scopo IRES PIEMONTE<sup>19</sup> ha prodotto un database che evidenzia i consumi medi annui di energia termica ed elettrica per i presidi ospedalieri regionali in sette anni di rilevazioni, che ha determinato un valore medio pari a 110,5 ktep/anno. In figura si vede come la suddivisione percentuale delle due forme di energia sia pressoché costante negli anni ed egualmente suddivisa. Tale andamento è inoltre confermato a livello nazionale<sup>20</sup>.

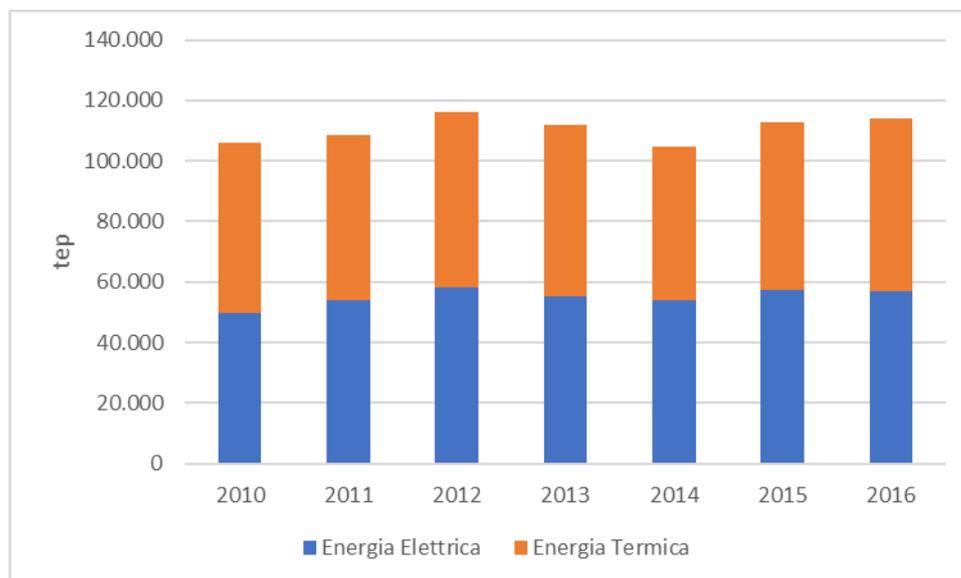


Figura 7: Consumi medi annui dei presidi ospedalieri del Piemonte.

(Fonte: Il monitoraggio energetico delle strutture sanitarie regionali, 2018, IRES).

Risulta che in Piemonte il costo dell’approvvigionamento dei vettori energetici primari relativo ai soli presidi ospedalieri è in media pari a circa 83,5 milioni di euro l’anno<sup>21</sup>.

La produzione di energia termica è principalmente ottenuta dal gas naturale (73%) con una quota di teleriscaldamento (TLR) pari solamente a circa il 17% e la restante parte è invece fornita dal gasolio. Questo si traduce in una spesa media di circa 41,4 milioni di euro l’anno.

<sup>19</sup> IRES, ente di ricerca della Regione Piemonte disciplinato dalla Legge Regionale 43/91 e s.m.i. Pubblica una relazione annuale sull’andamento socioeconomico e territoriale della regione ed effettua analisi, sia congiunturali che di scenario, dei principali fenomeni socioeconomici e territoriali del Piemonte.

<sup>20</sup> *Rapporto sugli energy manager in Italia. Indagine, evoluzione del ruolo e statistiche*, FIRE Federazione Italiana per l’uso Razionale dell’Energia, 2017.

<sup>21</sup> Carpinelli M., Macagno S., *Il monitoraggio energetico delle strutture sanitarie regionali*, 2018, IRES Piemonte.

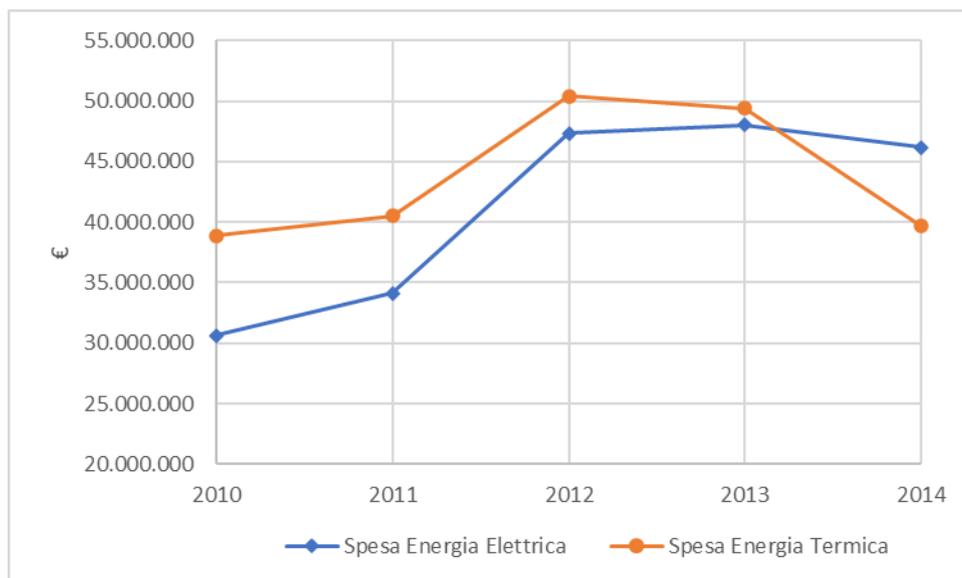


Figura 8: Spesa meda annua dei presidi ospedalieri del Piemonte.

(Fonte: Ricognizione Sui Consumi Energetici Del Patrimonio Edilizio Ospedaliero Sanitario, 2015, IRES).

Eseguendo inoltre un'analisi di ripartizione dei consumi energetici dei diversi vettori e la spesa complessiva per il loro approvvigionamento si evidenzia che, nella regione Piemonte, i presidi ospedalieri coprono il 90% di queste voci mentre la restante parte è data dalle strutture sanitarie territoriali. Questo implica che fare efficientamento su edifici energivori come le grandi strutture ospedaliere può essere di enorme vantaggio per il risparmio energetico.

## 1.5 Condizionamento nelle strutture ospedaliere

Come osservato nel paragrafo precedente la climatizzazione delle strutture ospedaliere è tra le maggiori voci di costo ma è al contempo fondamentale affinché la cura delle persone sia efficiente. Essa deve garantire<sup>22</sup>:

- il mantenimento delle condizioni di comfort igrometrico e delle qualità dell'aria affinché siano flessibili e diversificate per le diverse aree;
- la rimozione o la riduzione di inquinanti e contaminanti biologici;
- il controllo dei flussi d'aria nei diversi spazi attraverso il corretto ricircolo con aria esterna.

<sup>22</sup> *Uso razionale dell'energia negli ospedali. La climatizzazione degli ospedali*, Gruppo Soges, Ises Italia, Fire e ENEA.

In Italia la legislazione in materia si basa sulla Circolare Ministeriale LL.PP. n°13011/22.11.1974<sup>23</sup> e sulle norme UNI 10339<sup>24</sup> e UNI 8199<sup>25</sup> per la definizione degli impianti aeraulici e valutazione del rumore prodotto dagli impianti. La circolare ministeriale e la UNI 10339 forniscono le seguenti direttive:

Parametro	Valore	Categoria locale
Temperatura	20 ± 2 [°C]	Degenza
Umidità relativa	40 ± 5 [%]	Degenza

Tabella 4: Parametri e valori di temperatura e umidità definiti nella circolare ministeriale 13011 e nelle UNI 10339.

Parametro	Fattore ricambio	Portata minima di aria esterna	Categoria locale
Ventilazione	2 – 30 [vol/h]	11 · 10 <sup>-3</sup> [m <sup>3</sup> /ora]	Degenza
	6 [vol/h]	Da definire nel caso specifico	Diagnostica e reparti speciali (sale operatorie, rianimazioni ecc.)
	12 [vol/h]	Da definire nel caso specifico	Reparti di isolamento (infettivi)
	10 [vol/h]	Estrazioni	Servizi
	30 [m <sup>3</sup> /ora] per persona	8.5 · 10 <sup>-3</sup> [m <sup>3</sup> /ora]	Soggiorni

Tabella 5: Parametri e valori di ventilazione definiti nella circolare ministeriale 13011 e nelle UNI 10339.

La norma UNI 8199 per i requisiti acustici riporta genericamente solo il dato di riferimento per il livello di rumore di fondo in ambienti ospedalieri ad utilizzazione notturna pari a 25 - 30 dB(A) che corrisponde ad un limite di accettabilità del livello sonoro con impianti in funzione pari a 34 dB(A).

Nella normativa nazionale si può ancora citare il D.P.R. del 14 gennaio 1997<sup>26</sup> che definisce i requisiti minimi relativi a diversi aspetti organizzativi tra i quali la gestione, la valutazione e il miglioramento della qualità secondo linee guida e regolamenti interni che devono essere applicati ad una struttura ospedaliera. Questi sono distinti in base alla destinazione d'uso delle diverse zone del presidio per la stagione invernale ed estiva, come riportato di seguito.

<sup>23</sup> Circolare Ministero dei Lavori Pubblici del 22/11/1974, n. 13011, *Requisiti fisico-tecnici per le costruzioni edilizie ospedaliere. Proprietà termiche, igrometriche, di ventilazione e di illuminazione.*

<sup>24</sup> Norma UNI 10339, *Impianti aeraulici ai fini di benessere. Generalità, classificazione e requisiti. Regole per la richiesta d'offerta, l'offerta, l'ordine e la fornitura.*

<sup>25</sup> Norma UNI 8199, *Misura in opera e valutazione del rumore prodotto negli impianti di riscaldamento, condizionamento e ventilazione.*

<sup>26</sup> D.P.R. del 14/01/97, *Approvazione dell'atto di indirizzo e coordinamento alle regioni e alle province autonome di Trento e di Bolzano, in materia di requisiti strutturali, tecnologici ed organizzativi minimi per l'esercizio delle attività sanitarie da parte delle strutture pubbliche e private.*

Zona	Temperatura [°C]	Umidità Relativa [%]	Ricambio aria esterna [vol/ora]
Reparto operatorio	20-24	40-60	15 (senza ricircolo e con filtraggio completo)
Blocco parto	20-24	30-60	6 (senza ricircolo)
Rianimazione e terapia intensiva	20-24	40-60	6 (senza ricircolo)
Medicina Nucleare	n.d.	n.d.	Adeguate ricambio d'aria
Day-hospital	n.d.	n.d.	n.d.
Servizio farmacia	20-26	50 ± 5	2 (filtrazione con filtri a media efficienza)
Servizio sterilizzazione	20-27	40-60	15
Servizio disinfezione	20-27	40-60	15
Servizio mortuario	18	60 ± 5	15

Tabella 6: Requisiti minimi condizioni igrometriche dal D.P.R. 14/01/97.

Nella progettazione di un sistema HVAC<sup>27</sup> (riscaldamento, ventilazione e condizionamento d'aria) si utilizzano, oltre ai parametri progettuali legati alle condizioni ambientali esterne e quelle richieste negli ambienti interni definite dalle diverse norme nazionali ed europee, anche parametri legati al costo dell'acquisto delle diverse apparecchiature le quali possono richiedere sistemi ridondanti per la sicurezza e tali da garantire un sistema sempre attivo anche in condizioni di emergenza con l'ausilio di sistemi di *backup*.

Per la corretta selezione e per l'adeguato dimensionamento degli impianti occorre inoltre prendere in considerazione lo stato dell'involucro termico dell'edificio e le sue prestazioni termiche.

L'ASHRAE<sup>28</sup> fornisce diverse pubblicazioni e prodotti software come supporto per i progettisti dove molti criteri di progettazione richiedono l'utilizzo della temperatura di bulbo secco ASHRAE 0,4% e della temperatura media di bulbo umido coincidente per l'applicazione della climatizzazione estiva e della temperatura di bulbo secco del 99,6% per il riscaldamento invernale soprattutto per gli ambienti dove le condizioni ambientali sono particolarmente critiche per il benessere dei pazienti (sale operatorie e terapie intensive).

Nella stagione estiva il massimo carico di raffrescamento si ha nelle condizioni di picco della temperatura di bulbo umido, quando la richiesta di ricambio d'aria dall'esterno è elevata. Occorre perciò considerare le condizioni climatiche di picco totali sia di carico latente che

<sup>27</sup> HVAC Design Manual for Hospitals and Clinics (2nd Edition), capitol 1, ASHRAE Technical Committee 2013.

<sup>28</sup> American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.

sensibile nel dimensionamento delle apparecchiature del sistema di condizionamento, anche se sono condizioni con una bassa frequenza.

Per quanto riguarda invece i criteri per la determinazione della capacità di *backup*, per le apparecchiature essenziali delle strutture chirurgiche ambulatoriali si determina una capacità del 100%, mentre per il sistema HVAC si utilizza una percentuale minore, infatti sebbene una parziale perdita di funzionamento del condizionamento non metta in pericolo la vita o la salute di pazienti e del personale sanitario essa può comportare l'impossibilità di condurre alcune procedure mediche portando ad un impatto economico inaccettabile per la struttura.

Per evitare quindi di avere un sistema di *backup* che abbia una capacità unitaria su tutta la struttura è essenziale che sia definita una manutenzione ordinaria su base stagionale o annuale che riconosca la possibilità di mettere *offline* le principali apparecchiature per periodi anche prolungati.

Infine, i sistemi di alimentazione di emergenza devono essere assolutamente garantiti per tutti i dispositivi, compreso il sistema HVAC, per tutte le aree considerate critiche, attraverso l'utilizzo di circuiti prioritari.

Per quando riguarda la ventilazione, generalmente adoperata attraverso UTA (Unità di Trattamento dell'Aria) essa deve garantire la corretta quantità di aria fresca dall'esterno attraverso un tasso minimo di ricambio completo dell'aria per fare in modo che l'ambiente interno sia privo di contaminanti e odori molesti. All'interno di questa apparecchiatura si adoperano dei filtri con un valore di efficienza minimo, nella scala di valutazione MERV<sup>29</sup>, pari a 14 o maggiore, che risultano molto efficaci nel rimuovere i microrganismi e i particolati di dimensioni simili. In alcune località, inoltre, la qualità dell'aria esterna è contaminata dall'inquinamento dato dai fumi di scarico della combustione o altri gas nocivi o sgradevoli (come l'ozono) che richiedono l'utilizzo di carbone attivo o altra filtrazione ad assorbimento per l'aria esterna.

Per le emissioni esterne di sostanze potenzialmente molto pericolose, come quelle provenienti dalle cappe per i fumi delle sostanze chimiche radioisotopiche o dagli spazi di isolamento delle malattie infettive, le norme e i regolamenti possono richiedere la filtrazione HEPA<sup>30</sup> sugli scarichi, in particolare se essi si trovano troppo vicini ad un'area pedonale o ad una presa d'aria esterna.

---

<sup>29</sup> MERV, Minimum Reporting Reporting Value creata dal ASHRAE.

<sup>30</sup> Filtro HEPA, High Efficiency Particulate Air filter.

## 1.5.1 Specifiche di prevenzione per il COVID-19

Nella prevenzione del contagio da SARS-CoV-2 le principali associazioni professionali nel campo dell'HVAC, come l'ASHRAE e la REHVA<sup>31</sup>, hanno emesso alcune raccomandazioni sul funzionamento dei sistemi di condizionamento in questa pandemia.

Entrambe le associazioni concordano nell'affermare<sup>32</sup> che la ventilazione e la filtrazione dell'aria possono ridurre la concentrazione del virus negli ambienti interni riducendone la diffusione secondo le seguenti linee guida:

- dare priorità e intensificare la ventilazione di tutti gli ambienti;
- aumentare l'intensità della ventilazione forzata durante le ore di funzionamento dell'edificio ed evitare di spegnerla al di fuori di queste ore riducendone solo l'intensità;
- evitare completamente la ricircolazione dell'aria;
- nel caso in cui i sistemi HVAC abbiano il recupero di calore o di freddo dall'aria in uscita attraverso scambiatori di calore a contatto diretto disattivarne la funzione;
- mantenere i sistemi HVAC sempre puliti e operativi;
- mantenere un'adeguata pressione tra gli ambienti per evitare il trasferimento di contaminanti;
- filtrazione meccanica.

Frantisek et al. riportano un esempio di progettazione di sistema di ventilazione HVAC per il trattamento di 1000 m<sup>3</sup>/h di aria esterna basato sul clima di Bratislava, capitale della Slovacchia. Tale sistema richiederebbe in inverno, con temperature esterne di -11°C e interne di 20°C 14,5 kWh mentre nel periodo estivo, con temperature esterne di 32°C e temperature interne di 26 °C, necessiterebbe di 3.2 kWh e per il solo riscaldamento e raffreddamento dell'aria. Tale richiesta energetica sarebbe più alta se non si facesse ricircolazione e si avesse una ventilazione continua, al 50% solo nelle ore di non funzionamento dell'edificio come raccomandato dal ASHRAE e da REHVA. Con una portata d'aria totale di 100.000 m<sup>3</sup>/h si avrebbe un aumento fino a 1858 MWh in inverno e 77 MWh in estate.

---

<sup>31</sup> Federation of European Heating, Ventilation and Air Conditioning associations.

<sup>32</sup> Vranay F., Pirsal L., Kacik R., Vranayova Z., *Adaptation of HVAC Systems to Reduce the Spread of COVID-19 in Buildings*, in *Sustainability*, 2020.

Vranay et al. riportano il dispendio energetico per un edificio amministrativo con un impianto con i seguenti parametri operativi:

Parametri Operativi		Ore di funzionamento	Ore di non funzionamento
Aria di mandata	m <sup>3</sup> /h	24.000	12.000
Aria esterna di mandata	m <sup>3</sup> /h	24.000	12.000
Aria ricircolata	m <sup>3</sup> /h	0	0
Ventilazione	kW	20,6	0
Umidificazione	%	40	20
Temperatura riscaldamento	°C	22	11
Temperatura raffrescamento	°C	24	22
Recupero di Calore	%	0	0

Tabella 7: Parametri operativi per un edificio amministrativo a Bratislava.

Prendendo in considerazione il profilo di temperatura e umidità relativa di Bratislava in inverno e in estate si ottiene il seguente profilo energetico diviso per le diverse funzionalità di un sistema HVAC, come riportato nella tabella e nella figura seguente.

Mesi	Riscaldamento kWh	Raffrescamento kWh	Umidificazione kWh	Ventilazione kWh	Totale kWh
Gennaio	110.135	-	43.990	9.677	<b>163.802</b>
Febbraio	83.188	-	36.591	8.775	<b>128.554</b>
Marzo	69.445	-	26.690	9.562	<b>105.697</b>
Aprile	44.054	-	19.057	9.216	<b>72.327</b>
Maggio	-	-	-	9.562	<b>9.562</b>
Giugno	-	12	-	9.216	<b>9.228</b>
Luglio	-	1.617	-	9.677	<b>11.294</b>
Agosto	-	1.322	-	9.562	<b>10.884</b>
Settembre	-	-	-	9.331	<b>9.331</b>
Ottobre	47.088	-	21.130	9.792	<b>78.010</b>
Novembre	70.798	-	29.839	9.216	<b>109.853</b>
Dicembre	92.476	-	39.394	9.331	<b>141.201</b>
<b>Totale</b>	<b>517.184</b>	<b>2.951</b>	<b>216.691</b>	<b>112.917</b>	<b>849.743</b>
	<b>60,9%</b>	<b>0,3%</b>	<b>25,5%</b>	<b>13,3%</b>	<b>100%</b>

Tabella 8: Domanda energetica HVAC per un edificio amministrativo a Bratislava secondo le linee guida dell'ASHRAE.

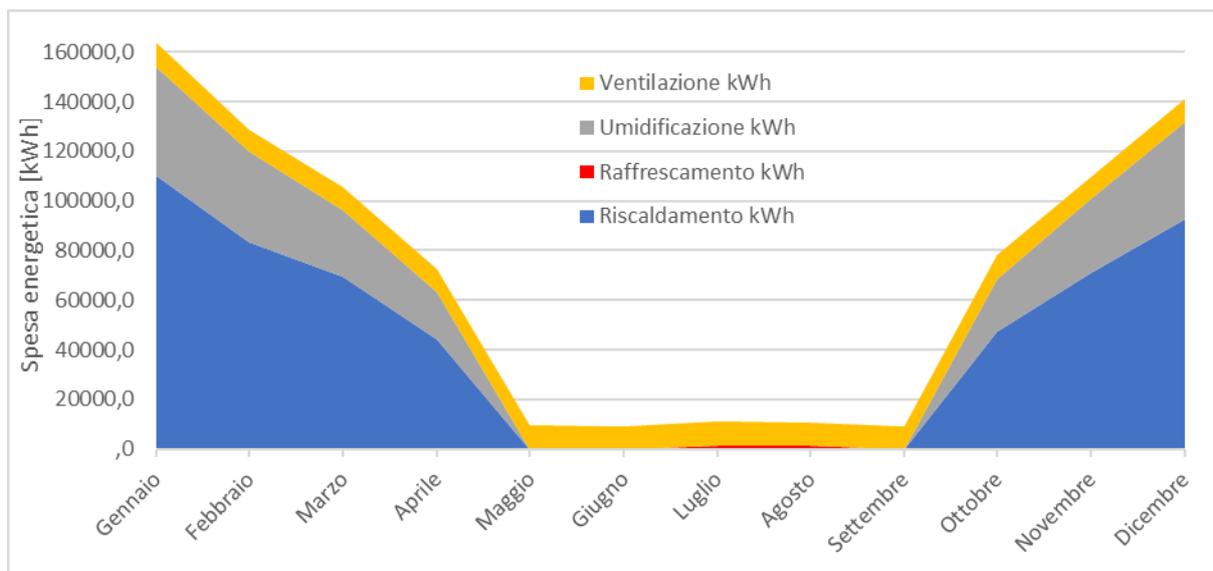


Figura 9: Profilo energetico per un edificio amministrativo a Bratislava secondo le linee guida ASHRAE.

In definitiva, se si considera, ad esempio, un grande edificio ospedaliero, con 24 ore alla settimana di funzionamento, questa maggiore richiesta di energia rappresenterebbe un aumento considerevole del costo di esercizio, il che implica che un intervento di efficientamento in questa nuova ottica di pandemia è ancora più importante.

# Capitolo 2

## 2.1 Impianti HVAC

Nel capitolo precedente è stato introdotto il sistema HVAC, definito con l'acronimo di *Heating, Ventilation and Air Conditioning* ovvero riscaldamento, ventilazione e condizionamento dell'aria. Non essendoci l'equivalente sigla in italiano sovente, per definire questa tipologia impiantistica, si ricorre all'uso più semplificato di sistema di condizionamento dell'aria, includendo tutte e tre le sue funzionalità.

I diversi impianti HVAC si caratterizzano in funzione del metodo adoperato per la produzione, la distribuzione ed il controllo del riscaldamento, della ventilazione e del raffrescamento nell'area designata. Tali varianti vengono selezionate in base alla specifica applicazione prendendo in considerazione diversi parametri associati alla progettazione, alla costruzione, alla messa in servizio, al funzionamento e alla manutenzione ordinaria e straordinaria del sistema.

Secondo la norma ANSI/ASHRAE STANDARD 55, sul comfort termico ambientale per gli occupanti, nel processo di condizionamento occorre prendere in considerazione diversi parametri sotto riportati.

Parametri	
Temperatura	Costi di investimento
Umidità	Costi energetici
Movimentazione dell'aria	Costo forza lavoro degli operatori
Purezza e qualità dell'aria	Costi di manutenzione
Cambi d'aria orari	Affidabilità
Requisiti di velocità dell'aria e/o dell'acqua	Flessibilità
Clima locale	Controllabilità
Requisiti di pressione degli spazi	Analisi al ciclo di vita
Requisiti di capacità dei carichi	Sostenibilità del progetto
Ridondanza	Acustica e vibrazioni
Requisiti dell'ambiente	Prevenzione di muffe e funghi
Requisiti di sicurezza	

Tabella 9: Parametri per la progettazione di un sistema HVAC secondo la norma ANSI/ASHRAE STANDARD 55.

Nella progettazione di un sistema HVAC la preoccupazione principale del committente è legata al costo di investimento anziché al costo di esercizio, ma anche all'entità e alla cadenza

della manutenzione insieme alla frequenza prevista dei diversi guasti e il tempo necessario alla riparazione.

Alla base del dimensionamento di questi sistemi ci sono il riscaldamento, raffreddamento, il controllo dell'umidità e i requisiti di ventilazione soprattutto in casi in cui siano necessarie grandi portate d'aria esterna per sostituire l'aria interna.

Nella progettazione è fondamentale un'erogazione efficace, infatti un sistema di distribuzione efficace nel raffrescamento può risultare insufficiente per il riscaldamento in differenti condizioni climatiche.

Infine, poiché il costo dell'impianto nella sua totalità pone un vincolo sul committente, un buon progettista fornirà sempre tre distinte soluzioni progettuali:

1. con prestazioni orientate sui costi, per una soluzione con costi di investimento ridotti;
2. sostenibile per tutta la vita utile di un impianto, per una soluzione con un costo di investimento superiore ma costi di manutenzioni contenuti;
3. di compromesso per avere un ragionevole ritorno di investimento.

## 2.2 Sistemi di riscaldamento e raffrescamento decentralizzati

I sistemi di riscaldamento e raffrescamento decentralizzati sono sovente classificati<sup>33</sup> come sistemi ad unità confezionate, sebbene non sempre siano costituiti da singole unità e possono essere utilizzati con grande versatilità. Sono adatti anche per applicazioni su edifici di piccola taglia garantendo un basso costo iniziale e una facile installazione.

Nel caso di sistemi HVAC più grandi si ricorre a più unità singole tutte dotate di ciclo refrigerante, di una fonte di riscaldamento e un sistema di ventilazione con circolazione diretta o indiretta. Ogni produttore mette in vendita diversi modelli di sistemi decentralizzati ma differenti capacità basate però su parametri prestazionali definiti, come la quantità di calore latente per delle assegnate condizioni ambienti di un'area oppure il flusso d'aria per una data capacità di refrigerazione.

Le singole unità, chiamate in molti casi *rooftop*, utilizzano più compressori per gestire una maggiore quantità di refrigerazione; nei sistemi a volume d'aria variabile (VAV) tali compressori sono accesi e spenti in modo tale da garantire una temperatura costante in

---

<sup>33</sup> *HVAC Systems and Equipment*, 2016 ASHRAE HANDBOOK, Technical Committees.

ambiente e nel caso in cui siano progettati per lavorare a velocità variabile possono ridurla e direzionarla verso l'alto per garantire un minimo ricambio d'aria senza provocare sensibili variazioni di temperatura.

Le unità decentralizzate possono essere combinate con altri sistemi di riscaldamento come scambiatori di calore a gas o elettrici oppure il calore può essere prodotto tramite una fonte centralizzata, come una caldaia, e mandato alle batterie di vapore o ad acqua calda tramite sistemi di tubazioni già presenti nell'edificio.

Si possono avere diversi sistemi decentralizzati singoli o multipli alimentati a gas o elettrici che devono essere accuratamente selezionati in base all'edificio e al costo dell'installazione.

Possiamo distinguere:

- condizionatori da finestra e condizionatori da camera;
- sistemi a pompa di calore ad acqua;
- sistemi split per impianti residenziali e commerciali leggeri;
- sistemi commerciali autonomi distribuiti su più piani.

Ognuno di questi sistemi ha il vantaggio dell'indipendenza nel funzionamento, poiché possono riscaldare e raffrescare spazi serviti da differenti unità e in caso di malfunzionamento preservare aree differenti. Inoltre, l'utilizzo di unità indipendenti permette di gestire ambienti diversamente occupati attraverso diverse condizioni di comfort.

Occorre però sottolineare che le prestazioni di tali sistemi sono limitate poiché spesso sono equipaggiati da parametri fissi che non possono essere modificati che portano ad un maggiore consumo energetico.

## 2.3 Sistemi di riscaldamento e raffrescamento centralizzati

I sistemi di riscaldamento e raffrescamento centralizzati generano il riscaldamento e il raffrescamento in un unico luogo per poi distribuirlo in diverse parti di un edificio, come un campus universitario o un intero quartiere. Tali sistemi possono essere applicati ovunque ma sono raccomandati per edifici complessi di grandi dimensioni e con un'alta densità di consumo energetico. In questi sistemi si utilizzano grandi apparecchiature per la produzione energetica situate in una struttura dedicata oppure possono essere costituite da parti più piccole connesse tra loro per lavorare come unica grande unità. La configurazione di tali

apparecchiature è definita in base alla specifica applicazione e in molti contesti, spesso, si utilizza una combinazione di sistemi centralizzati e decentralizzati per un sistema più funzionale ed energeticamente più sostenibile.

L'energia necessaria per il condizionamento può essere un insieme di energia elettrica, energia termica da gas naturale, gasolio o carbone e da fonte rinnovabile. Queste differenti forme energetiche vengono convertite in acqua refrigerata, acqua calda o vapore che vengono poi distribuite attraverso i diversi impianti.

Un impianto centralizzato può essere standardizzato mantenendo la flessibilità e le prestazioni necessarie per gestire le diverse unità di condizionamento e riscaldamento anche attraverso dispositivi ausiliari forniti di controllo automatico per la gestione dell'edificio. La progettazione di questi sistemi può risultare più complessa e costosa ma permette di creare un impianto con delle specifiche ideali per una determinata finalità d'uso.

Quando si calcola il carico di picco per un edificio servito da un HVAC questo risulta inferiore alla somma dei carichi individuali di riscaldamento e raffrescamento poiché i carichi di picco nelle diverse aree di un edificio non sono raggiunti nello stesso momento, ad esempio a causa della differente esposizione tra est e ovest. Si definisce quindi il fattore di diversità che rappresenta la differenza tra la somma dei carichi di progetto dell'intera area e il carico di picco reale. Tale fattore di diversità, anche inferiore al 5%, può essere fortemente influenzato dall'occupazione dell'edificio e risulta quindi fondamentale tracciare un profilo di carico adeguato allo specifico ambiente.

Per aumentare l'efficienza di questi sistemi può risultare utile:

- utilizzare più refrigeratori o caldaie per avere la funzionalità di carico parziale;
- applicare azionamenti a frequenza variabile (VFD) su un refrigeratore primario per avere un carico di base;
- attivare le torri di raffreddamento con il refrigeratore per aumentare l'efficienza e l'affidabilità con la massimizzazione della superficie scambiante;
- utilizzare recuperatori di calore per trasferire energia di scarto da un fluido ad un altro per fermare le macchine in determinati orari durante la giornata.

### 2.3.1 Sistema di distribuzione

- Flusso primario costante

La tipologia a flusso primario costante è costituita da un sistema idronico che attraverso l'utilizzo di pompe trasmette il fluido vettore direttamente al punto di utilizzo. L'energia di pompaggio insieme al flusso di distribuzione sarà quindi costante e necessiterà di un circuito tale da garantire la portata di progetto durante tutto il suo funzionamento. Per la corretta gestione della portata si utilizzano valvole di controllo a tre vie con una valvola a farfalla che interrompe il flusso quando la domanda è soddisfatta.

Questi sistemi risultano generalmente più costosi e poco usati nell'ottica di un sistema centralizzato e poco efficienti dal punto di vista del risparmio energetico che richiede come requisito minimo motori delle pompe a frequenza variabile per poter lavorare all'occorrenza con un carico ridotto.

- Flusso primario variabile

Nella tipologia a flusso primario variabile all'interno del sistema di produzione di energia (refrigeratore o caldaia) è utilizzato un flusso variabile che viene pompato fino al punto di utilizzo. Tale varietà di flusso si può ottenere tramite valvole di controllo automatico a due vie sul terminale ed un pompaggio con azionamento a frequenza variabile (VFD) come schematizzato nella figura 10 oppure con il controllo della pressione di distribuzione tramite valvola di bypass come in figura 11.

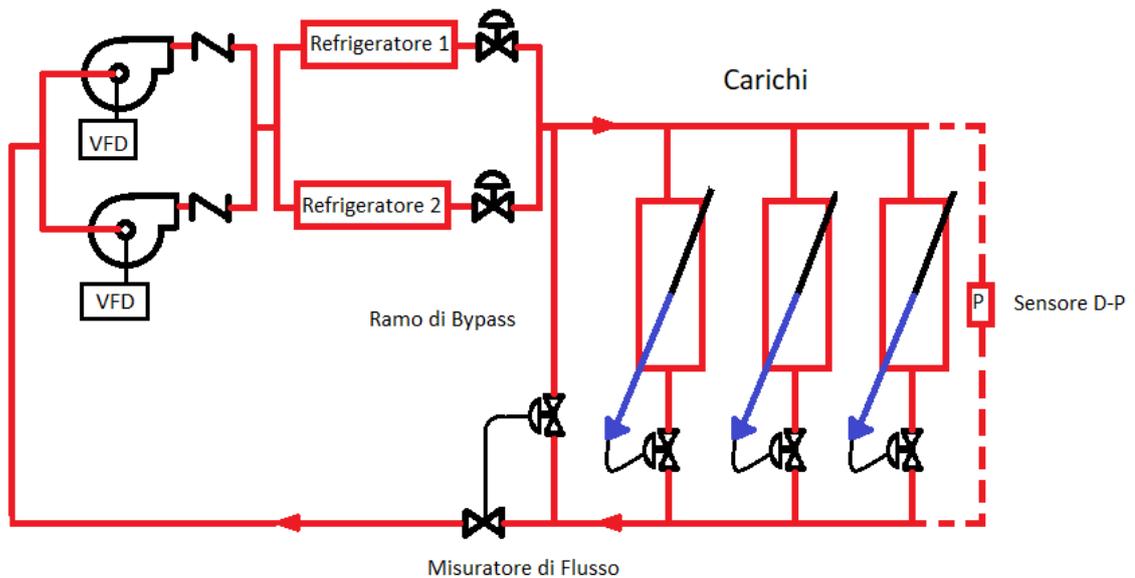


Figura 10: Sistema refrigerante con tipologia a flusso variabile tramite valvole di controllo automatico e VFD.

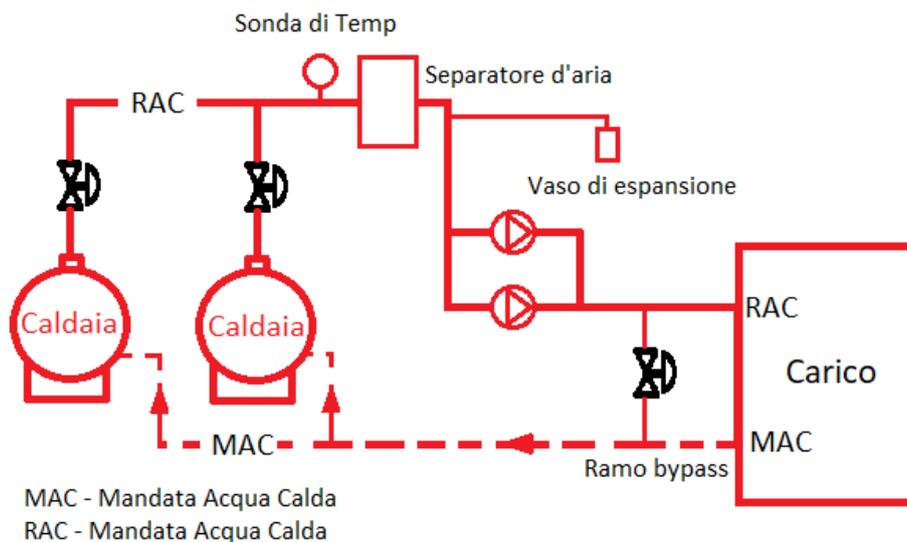


Figura 11: Sistema produzione acqua calda con tipologia a flusso variabile con controllo della pressione di distribuzione.

Entrambi i sistemi schematizzati sopra funzionano in base al mantenimento della pressione del sistema nel punto più lontano del circuito idraulico ma occorre prestare attenzione alla variazione di flusso tra l'accensione e lo spegnimento delle pompe ed è necessario controllare il flusso minimo e massimo di ogni refrigeratore per garantire il funzionamento delle pompe sia a carico parziale che totale.

La velocità delle pompe si controlla con un sensore differenziale di pressione oppure con il rilevamento elettronico della posizione della valvola di controllo. Se la pressione parziale

aumenta oppure la valvola viene chiusa il sensore invia un segnale al VFD che riduce la velocità di rotazione in modo direttamente proporzionale

– Flusso primario con un secondario variabile

Nella tipologia con un secondo flusso variabile il sistema separa idraulicamente l'apparato di produzione primaria (refrigeratore o caldaia) che risulta costante mentre un secondo sistema di tubazioni a portata variabile distribuisce il fluido processato nel punto di utilizzo.

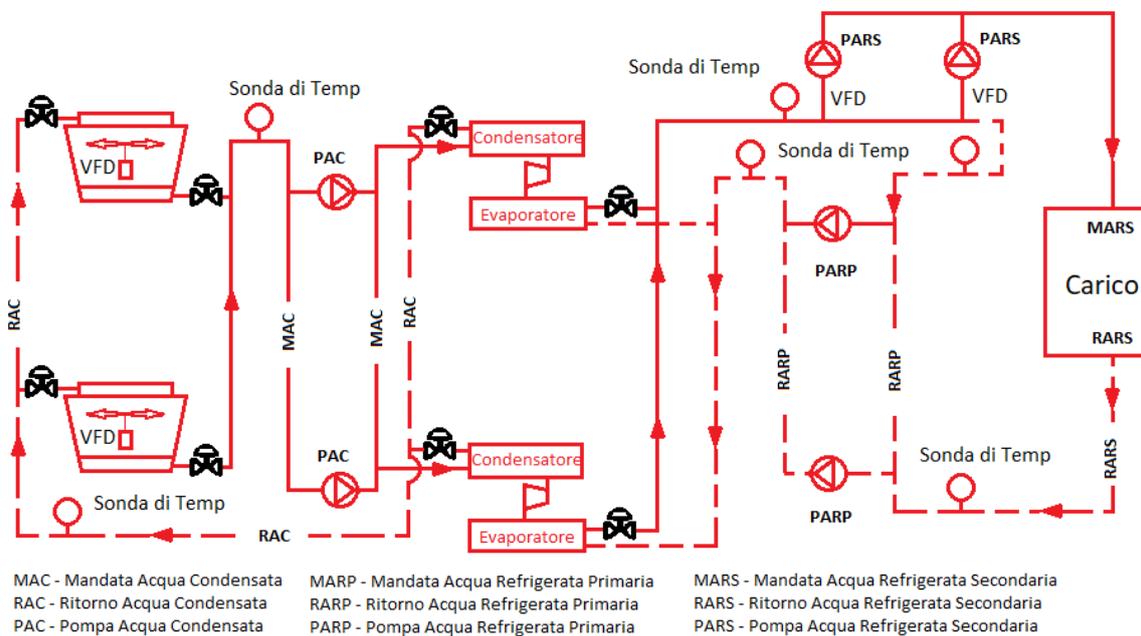


Figura 12: Sistema refrigerante con tipologia a flusso primario con un secondario variabile.

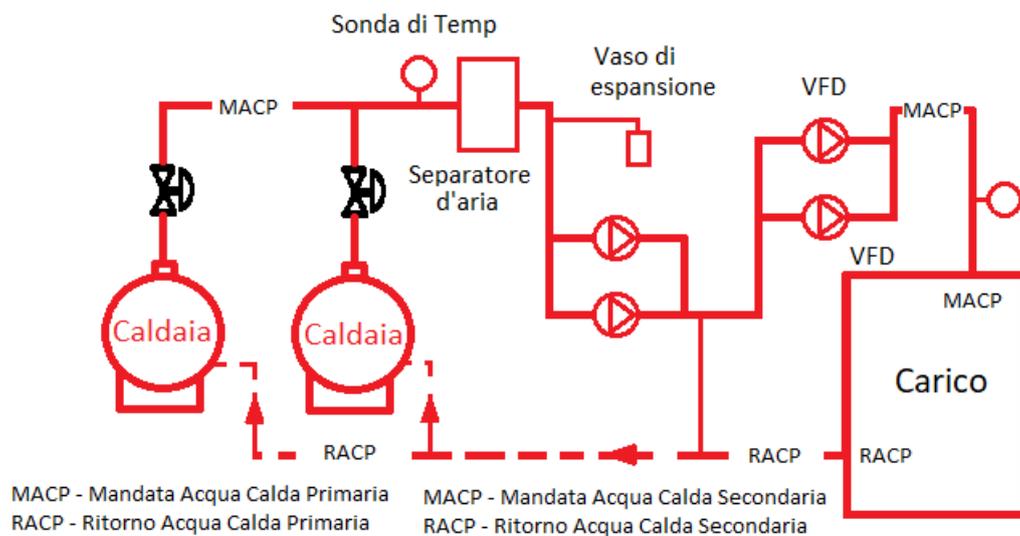


Figura 13: Sistema produzione acqua calda con tipologia a flusso primario con un secondario variabile.

Il flusso minimo per il raffrescamento o il riscaldamento si ottiene utilizzando un sistema di bypass disaccoppiatore tra le due linee che permette al circuito primario di lavorare a volume costante, definito come flusso operativo di progetto, mentre il sistema secondario varia la sua portata per soddisfare la domanda nei diversi momenti della stagione termica. È fondamentale progettare una pompa primaria di circolazione che garantisca il flusso minimo per la richiesta di carico parziale, il quale non deve mai superare il volume di produzione che porterebbe ad un calo delle temperature poiché il vettore energetico non trasporterebbe un carico termico sufficiente.

### 2.3.2 Sistema di produzione

#### – Riscaldamento primario

Le caldaie sono la componente principale di un sistema di riscaldamento centralizzato e possono essere distinte per tipologia e applicazione e possono essere di tipo combinato ovvero contemporanea produzione di calore ed energia elettrica (CHP). Il fluido vettore può essere acqua o vapore classificato in base a temperatura e pressione. In genere il vapore è utilizzato per il trasporto di energia su lunghe distanze che poi è convertito in acqua calda a bassa temperatura in uno scambiatore di calore (collettore) in prossimità del punto di utilizzo. L'acqua calda è comunque il vettore più comune per fornire riscaldamento e calore di processo, come ad esempio per l'acqua calda sanitaria a circa 90 °C.

Le caldaie ad acqua calda in ghisa possono essere di tipo modulabile e assemblabile sul campo mentre le caldaie a tubi di fumo sono generalmente unità già confezionate.

Il combustibile per riscaldare l'acqua può essere elettricità, gas naturale, olio combustibile e più raramente materiale di scarto combustibile. Un importante parametro progettuale è il sistema di ritorno della condensa che deve sempre risultare efficiente e manutenibile poiché aumenta l'efficienza complessiva dell'impianto e riduce l'uso di sostanze chimiche e di acqua di reintegro.

#### – Refrigerazione primaria

I refrigeratori, o *chiller*, sono il componente principale degli impianti di raffrescamento, essi sottraggono calore al fluido che scorre all'interno dell'impianto e si possono distinguere per tipologia e applicazione in refrigerazione con ciclo a compressione di vapore e ad assorbimento. L'energia necessaria per la movimentazione del fluido all'interno del circuito può essere assorbita dal calore di scarto un sistema di cogenerazione CHP.

La refrigerazione a compressione si ottiene grazie all'utilizzo di un compressore che può essere alternativo, rotativo, a vite, centrifugo o di tipo scroll che può essere azionato da motori elettrici o a combustione. La scelta è fatta in base alla taglia della macchina, al costo di investimento e alla vita utile che si vuole ottenere per l'impianto.

Nel ciclo ad assorbimento si può avere il singolo o doppio effetto con alimentazione tramite vapore oppure altra fonte come gas, olio e calore di scarto. Questi refrigeratori utilizzano un ciclo dove il fluido refrigerante è una miscela di acqua e bromuro di litio.

Per eliminare il calore assorbito dall'impianto si possono utilizzare torri di raffreddamento oppure condensatori raffreddati ad aria o per condensazione.

Le torri di raffreddamento utilizzano l'aria esterna per raffreddare direttamente il fluido del condensatore e possono avere un tiraggio naturale oppure meccanico, quest'ultimo risulta più funzionale poiché raffredda indipendentemente dalle condizioni esterne di vento. Tale sistema va dimensionato in base alla quantità di calore da trattare ed è praticamente a capacità illimitata sebbene risulti di notevole ingombro.

I condensatori raffreddati ad aria fanno fluire l'aria esterna su una serpentina asciutta per far condensare il fluido refrigerante, il che significa che la maggiore potenza assorbita e la temperatura di condensazione più elevata si hanno nelle ore di picco della stagione estiva. Il

pregio di questo sistema è il basso costo e la ridotta manutenzione che si accostano ad una minore efficienza.

I condensatori raffreddati per evaporazione fanno fluire l'aria esterna su una serpentina irrorata d'acqua che riduce la temperatura di condensazione traendo vantaggio dalla saturazione adiabatica. Per un corretto funzionamento occorre prevenire il fenomeno del congelamento sulle tubazioni e condurre uno stretto controllo sul trattamento dell'acqua. Sebbene questo sistema sia energeticamente più sostenibile e richieda, a parità di potenza sottratta, un minor ingombro, il costo dell'acqua ed il suo trattamento accrescono però i costi di manutenzione.

## 2.4 Sistema di trattamento dell'aria

I sistemi di ventilazione negli edifici devono essere progettati non solo per il ricambio d'aria ma anche per fornire il preriscaldamento, il raffreddamento, la deumidificazione e l'umidificazione all'aria che viene fatta circolare nell'impianto. Il riscaldamento dell'aria ventilata può essere effettuato attraverso la stessa fonte dell'impianto di riscaldamento centrale oppure tramite un sistema separato come ad esempio batterie elettriche del caldo.

Nei sistemi a tutt'aria si distribuisce aria all'interno degli ambienti in modo tale che tale portata assorba il calore latente e sensibile già presente nella stanza portando le condizioni ambientali a quelle di comfort evitando shock termici. Poiché il calore latente e sensibile in una zona può variare nel tempo, poiché dipendente da diversi fattori come le condizioni esterne ed il carico endogeno, occorre utilizzare un meccanismo che rimuova tale energia termica in modo diversificato. Esistono due meccanismi di base:

- la variazione della quantità di aria di mandata attraverso una portata variabile o intermittente;
- la variazione della temperatura dell'aria immessa in modo variabile oppure intermittente.

I sistemi a tutt'aria sono molto versatili e possono essere adoperati in edifici di taglia variabile con un controllo differenziato a seconda della zona servita, risultano inoltre sistemi affidabili anche per applicazioni speciali con controllo serrato della temperatura, dell'umidità, della ventilazione e della qualità dell'aria come sale operatorie degli ospedali, strutture di ricerca o particolari strutture industriali e di produzione.

Nei sistemi di ventilazione è fondamentale il ricambio d'aria, questo è generalmente stabilito dalle norme nazionali e locali che determinano la portata di aria esterna minima che deve essere garantita. I progettisti, nel determinare i carichi di riscaldamento e raffreddamento, devono primariamente affidarsi alla temperatura dell'aria di mandata che deve essere garantita e la corrispondente quantità d'aria minima che deve essere ricambiata con l'aria esterna. La differenza di temperatura tra l'aria di mandata e l'aria ambiente di comfort è definita  $\Delta T$  del sistema ad aria. In genere, il rapporto tra questo  $\Delta T$  e il volume d'aria di processo è lineare e inverso. Secondo lo standard ASHRAE 55 un sistema tradizionale fornisce aria di alimentazione a circa 13°C per una temperatura ambiente di comfort pari a circa 24 °C.

Nei sistemi ad aria fredda l'aria di mandata può essere di circa 7 °C per ridurre le dimensioni dei condotti e dei ventilatori ma occorre valutare eventuali problemi di distribuzione, di condensazione, di vibrazione nonché di insufficiente ricambio d'aria orario soprattutto in ambienti dove devono essere rimossi odori sgradevoli oppure contaminanti gassosi e particolati. Il vantaggio di questo sistema è il minore tasso di umidità dell'aria circolata che essendo più fredda ha un contenuto di umidità assoluto inferiore che richiede una minore richiesta energetica per la ventilazione. Nel complesso però il consumo energetico del sistema può aumentare poiché l'aria più fredda non solo riduce l'umidità ma anche il calore latente che deve essere effettivamente rimosso per le condizioni di comfort richieste.

Un sistema di trattamento dell'aria all'interno di un impianto HVAC è costituito da un'unità di trattamento dell'aria (UTA) e un sistema di distribuzione dell'aria.

L'UTA può elaborare una portata costante o variabile con differenti velocità a seconda della destinazione d'uso, nelle figure successive sono schematizzate due differenti configurazioni di sistemi di prelievo d'aria per il condizionamento per singola zona o per zone multiple dove il sistema di ventilazione si trova in differenti posizioni a seconda dello spazio e delle condizioni da garantire. Nella prima configurazione la ventilazione è a valle delle batterie e quindi l'aria è aspirata e indotta a passarci attraverso in maniera più uniforme e con un effetto deumidificante più efficace poiché l'aria prima si raffredda e poi si scalda con il calore del ventilatore. Nella seconda configurazione invece la ventilazione è posta a monte delle serpentine e il passaggio del fluido si ha per spinta, ma occorre progettare con criterio questa spinta poiché può portare ad avere un'alta percentuale di aria su una piccola superficie di batteria non sufficiente a scaldarla o raffreddarla. Per questo motivo possono essere introdotti nei condotti dei diffusori o deviatori d'aria che portano però ad un aumento della lunghezza

dei condotti. Tale configurazione è obbligatoria però quando per il sistema di riscaldamento si utilizzano scambiatori di calore alimentati a gas naturale.

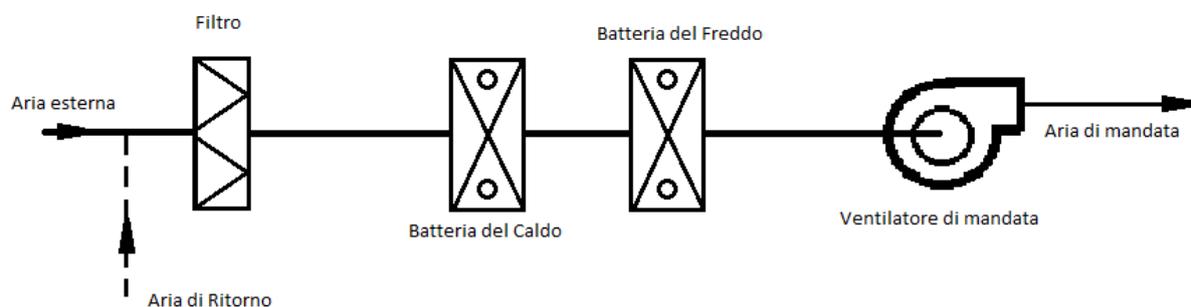


Figura 14: Unità di trattamento aria ad aspirazione.

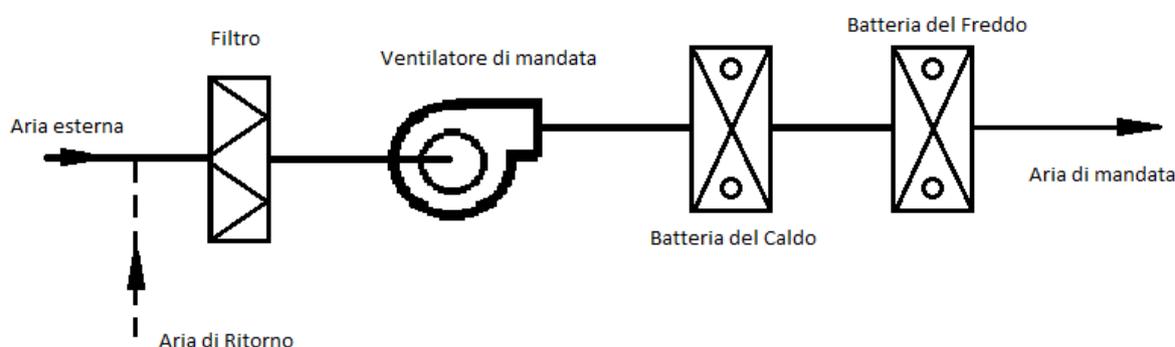


Figura 15: Unità di trattamento aria a spinta.

Il flusso d'aria è prima filtrato secondo le norme specifiche e successivamente è riscaldato o raffreddato tramite serpentine elettriche o a fluido caldo o refrigerante. In caso in cui l'aria ricircolata sia già alla temperatura di comfort richiesta il flusso attraversa i condotti senza attraversare le batterie con un percorso di bypass. È fondamentale che la miscelazione tra l'aria esterna e quella di ritorno sia adeguata per avere le massime prestazioni dalle superfici di scambio termico e per evitare la stratificazione e temperature non uniformi nel flusso d'aria di mandata.

Per il raffreddamento dell'aria le UTA di grandi dimensioni utilizzano un impianto di refrigerazione centralizzato mentre per unità ridotte si può avere il raffreddamento ad espansione diretta con sistema di condensazione centralizzato (torre di raffreddamento) oppure con raffreddamento ad aria completamente autonomo.

Per il riscaldamento dell'aria invece si possono avere sistemi di riscaldamento centralizzati alimentati a combustibili in caso di grandi strutture oppure per impianti con un carico di

riscaldamento limitato risulta più ottimale l'utilizzo di riscaldamento elettrico per ridurre la spesa ed avere allo stesso tempo un sistema energeticamente efficiente. Se nella stagione termica invernale è introdotta una grande quantità di aria esterna a bassa temperatura si può incorrere nel congelamento del fluido vettore nelle serpentine con danneggiamento dei condotti.

Per quanto riguarda invece l'umidificazione del flusso d'aria si può ricorrere all'irrorazione diretta di acqua ricircolata che riduce la temperatura di bulbo secco mantenendo una temperatura di bulbo umido quasi costante. Un'alternativa è quella di distribuire l'acqua direttamente su un mezzo poroso come quelli dei refrigeratori evaporativi, ma occorre monitorare attentamente le condizioni dell'acqua per eliminare i contaminanti biologici dal flusso d'aria.

Per la deumidificazione si utilizzano serpentine refrigerate che fanno condensare l'umidità quando la temperatura superficiale è inferiore al punto di rugiada dell'aria. Lo stesso effetto si ottiene irrorando direttamente il flusso d'aria con un fluido con temperatura inferiore al punto di rugiada. Esiste anche la deumidificazione chimica ottenuta facendo scorrere l'aria su di un essiccante solido oppure si utilizza una miscela acquosa con essiccante spruzzata direttamente sull'aria.

Il ventilatore per l'aria di ritorno può essere omesso per i sistemi di piccola taglia ma è fondamentale in generale per garantire il corretto funzionamento degli economizzatori nel *free cooling* dove si utilizza l'aria esterna per raffreddare. Risulta molto utile soprattutto nelle mezze stagioni e in inverno quando le serrande miscelatrici consentono il raffreddamento con l'aria esterna. Inoltre, previene la sovrappressione causata dall'eccessiva introduzione di aria dall'esterno, superiore alla minima, riducendo la pressione statica contro la quale deve lavorare il ventilatore di mandata.

Per la ventilazione di mandata si possono usare ventilatori di tipo assiale o centrifugo per un flusso diretto. Per ridurre al minimo le perdite di carico la distanza tra le pareti del condotto e l'ingresso del ventilatore deve essere almeno pari al diametro della sua palettatura.

## 2.4.1 Sistema di distribuzione dell'aria

### – Sistemi a singolo condotto

Questi sistemi possono essere a volume costante e variano la temperatura dell'aria di mandata in funzione del carico richiesto nel volume di controllo. In caso di singola zona, come nello schema in figura, si ha un'unità di alimentazione installata all'interno dello spazio da climatizzare oppure in un locale dedicato con l'utilizzo di specifici canali di distribuzione. Se ben progettati, questi sistemi hanno un controllo efficiente della temperatura e dell'umidità ed inoltre, avendo dei sistemi di condutture non molto estesi, riducono le perdite di carico richiedendo una minore potenza di ventilazione e un maggior risparmio energetico.

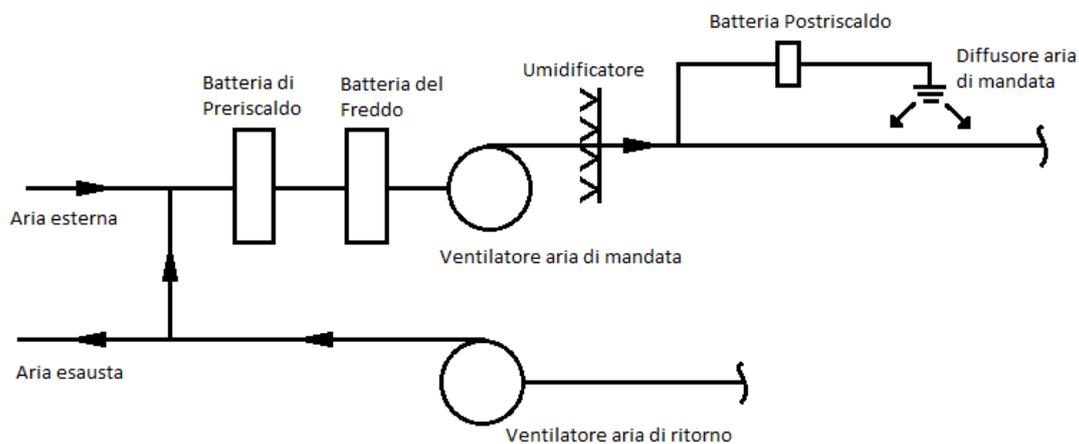


Figura 16: Sistema a singolo condotto a volume costante con pre e post riscaldamento.

I sistemi per zone multiple hanno lo stesso funzionamento dell'impianto precedente ma aggiungono un controllo del carico per zone con richieste differenti, un condizionamento simultaneo di aree perimetrali con differente esposizione e uno stretto controllo del comfort di tutti gli spazi.

Gli impianti a flusso costante in genere producono l'aria di alimentazione riscaldata o raffreddata in un'unità centralizzata con temperatura fissa, la portata generata è sempre la stessa, indipendentemente dal carico e viene aggiunta al flusso d'aria di ciascuna zona in proporzione al carico richiesto tranne nella zona dove è richiesto il carico di picco. Questa produzione sempre costante porta ovviamente ad un alto consumo energetico, che solo in caso di strutture specifiche come ospedali o laboratori è necessaria per garantire un flusso d'aria sempre costante che altrimenti provocherebbe danni, ad esempio, al controllo delle infezioni. Nelle applicazioni commerciali, l'utilizzo di un sistema a volume costante è altamente

sconsigliato poiché il carico richiesto è sempre disomogeneo e non occorre avere un controllo particolarmente serrato sulle condizioni di comfort ambiente.

I sistemi a volume variabile (VAV, *Variable Air Volume*) controllano la temperatura e l'umidità in ambiente modificando la portata d'aria piuttosto che la sua temperatura che viene invece mantenuta a valori pressoché costanti in relazione alla richiesta di picco dell'edificio in una determinata zona (figura 17). Questi impianti possono essere progettati con una ventilazione in comune oppure differenziata e con o senza l'utilizzo di batterie secondarie di post riscaldamento. La superiore efficienza energetica di questa tipologia impiantistica si ha nel condizionamento di zone perimetrali dove la variazione del carico solare e delle temperature esterne consentono, in determinati momenti, di ridurre o aumentare la quantità d'aria di mandata.

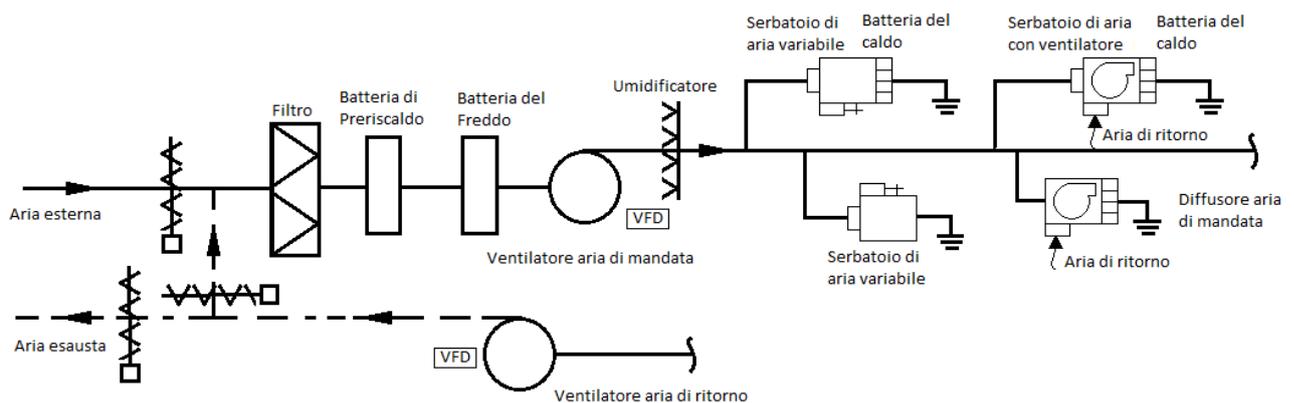


Figura 17: Sistema a singolo condotto a volume variabile con pre e post riscaldamento.

Con un sistema VAV può risultare più complicato mantenere valori di umidità pressoché costanti ma mantenendo una circolazione d'aria minima negli ambienti si può superare questo limite. Per mantenere tale livello minimo si può:

- aumentare la temperatura di mandata dell'aria dell'intero sistema o differenziare per zona per aumentare l'umidità;
- fornire del calore ausiliario indipendente dal sistema centrale;
- utilizzare il ricircolo dell'aria ambiente in modo tale da mandare in ambiente sola una parte di aria esterna per non alterare il comfort preesistente;
- applicare una ventilazione di ricircolo dedicata per aumentare la portata complessiva.

## – Sistemi a doppio condotto

Il sistema a doppio condotto tratta l'aria da ricircolare in un'unità centrale e poi la distribuisce differenziandola in aria calda e fredda. In ognuna delle arie condizionate le valvole di miscelazione proporzionano insieme i due flussi per soddisfare la temperatura e la pressione di controllo. Anche in questa tipologia impiantistica si può lavorare con una portata costante o variabile.

I sistemi a portata costante con singola ventola di alimentazione erano in voga fino alla metà degli anni '80 ed erano un'alternativa ampiamente diffusa rispetto a quelli a singolo condotto. Nella tipologia con post riscaldamento (figura 18) il riscaldamento primario è fatto a monte del ventilatore mentre il raffreddamento è applicato solo ad una parte dell'aria (eccetto al picco della richiesta di raffreddamento). Il resto del riscaldamento è effettuato con una batteria di post riscaldamento per la portata restante di aria che è successivamente miscelata prima di essere mandata in ambiente. Questa separazione dei flussi permette di ridurre il consumo energetico poiché per controllare l'umidità non si raffredda tutto il flusso d'aria ma solo una parte, rimuovendo l'umidità in eccesso. Il consumo della ventilazione rimane invece costante poiché lo è la portata. Oggi l'applicazione certamente più diffusa è quella a doppia ventola di alimentazione per i due flussi in modo da avere un controllo più efficiente e consumi ridotti,

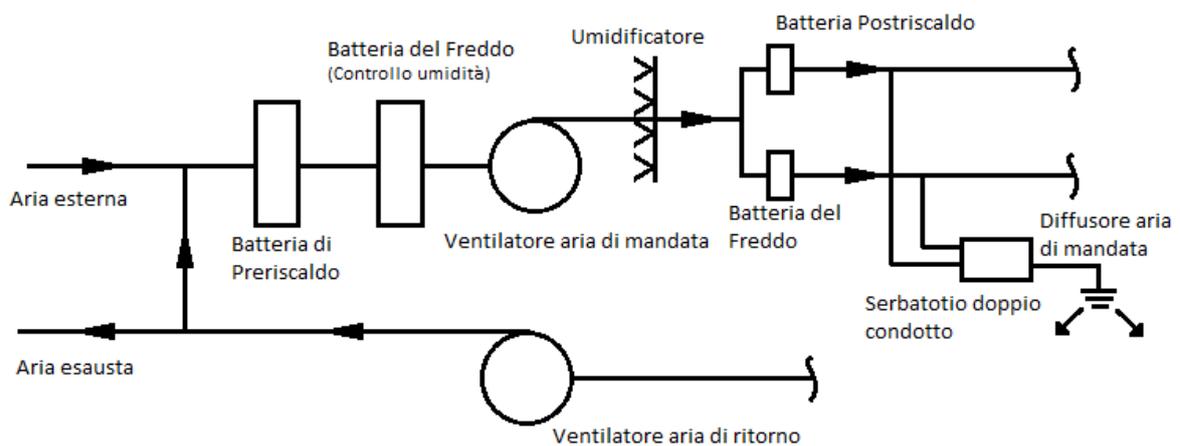


Figura 18: Sistema a doppio condotto a volume costante con singolo ventilatore.

I sistemi a volume variabile possono miscelare l'aria calda e fredda con diverse combinazioni di volume e hanno delle unità terminali che possono essere collegate soltanto al singolo condotto in caso di aree che necessitano di solo riscaldamento o raffreddamento oppure possono avere un serbatoio di miscelazione. Questo permette un controllo più preciso delle

singole zone e un risparmio energetico poiché si evitano miscelazioni non necessarie riducendo la portata senza modificare le temperature dei flussi.

Nei terminali del sistema sono presenti doppie serrande e doppia ventilazione che permettono all'unità di funzionare come un condotto singolo VAV per il solo raffrescamento o per il solo riscaldamento, questo permette di avere una doppia funzionalità dell'impianto che può elaborare flussi distinti oppure miscelati grazie al serbatoio di miscelazione. I sistemi a doppio condotto con portata variabile garantiscono una riduzione di consumo energetico non solo grazie alla ridotta ventilazione ma anche grazie ad un uso più razionale e mirato delle batterie del caldo e del freddo garantendo sempre un flusso controllato.

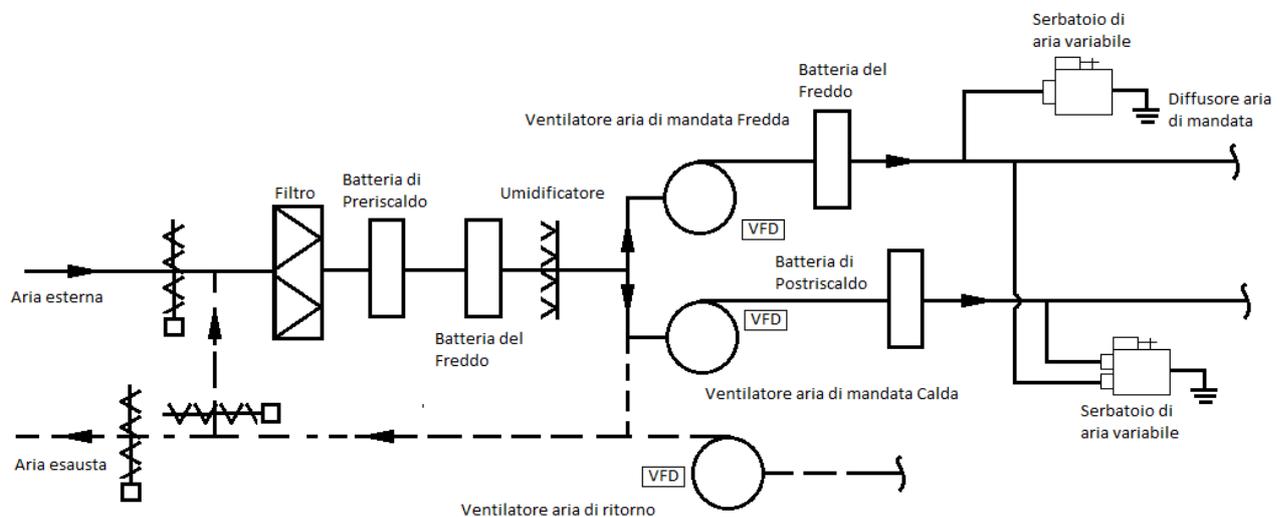


Figura 19: Sistema a doppio condotto a volume variabile con doppio ventilatore.

## – Sistemi multi-zona

Nei sistemi multi-zona, come si vede in figura 20, si ha la produzione centralizzata presso un'unica UTA che serve poi più aree con diversi requisiti. La miscelazione del flusso caldo e freddo viene fatta con diverse percentuali grazie all'utilizzo di serrande che parzializzano le portate d'aria.

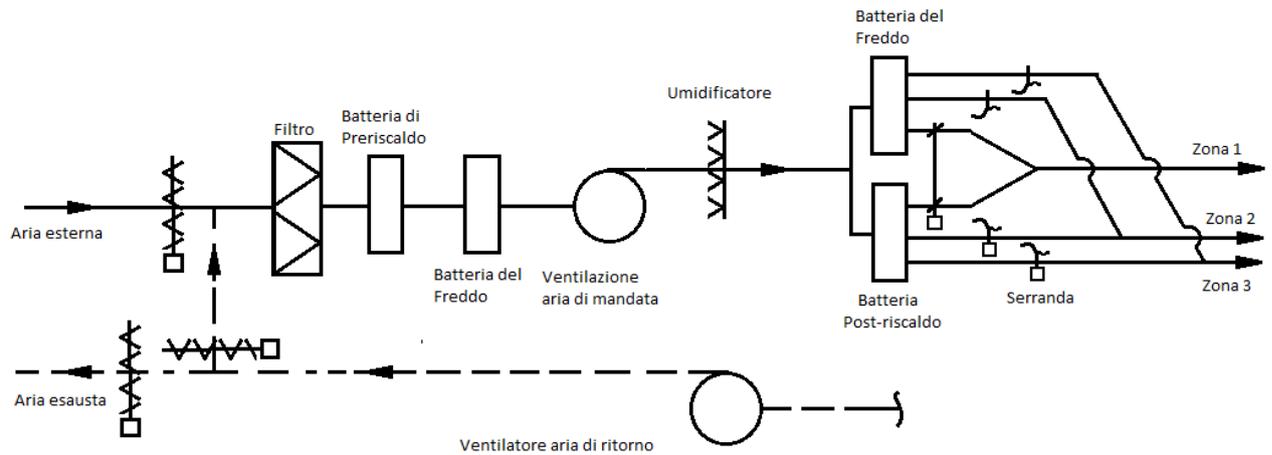


Figura 20: Sistema multi-zona.

Questo apparato è molto simile a quello a doppio condotto e come questo presenta lo stesso potenziale problema sui livelli di umidità. Si differenzia dal precedente impianto per la maggiore semplicità costruttiva che permette di applicarlo a edifici più o meno complessi dove l'utilizzo parzializzato dei flussi termici permette una leggera riduzione dei consumi. Per la ventilazione invece non c'è riduzione poiché la portata è costante e quindi anche il flusso d'aria che attraversa il ventilatore.

Si possono distinguere due tipologie di sistemi multi-zona, il sistema multi-zona a tre ponti dove le serrande di ogni zona sono installate nell'UTA parallelamente a quelle del flusso caldo e freddo, il flusso termico è quindi intercettato quando le serrande della specifica zona vengono aperte.

Nel sistema multi-zona del tipo Texas, invece, la batteria del riscaldamento è sostituita da una piastra che aumenta la resistenza dell'aria per assorbire la caduta di pressione del refrigeratore. La serranda della zona, quindi, miscela l'aria di mandata con quella deumidificata senza riscaldarla mentre si fornisce calore quando l'aria di ricircolo non è sufficiente a raggiungere il set point. Quest'ultimo sistema è indicato per i climi umidi dove nella batteria del freddo si producono temperature di 9-12 °C per mantenere i livelli di umidità sotto controllo e risulta energeticamente più sostenibile poiché riscalda l'aria solo quando necessario.

## 2.5 Sistemi di emissione

Nei paragrafi precedenti si è discusso dei diversi sistemi per la produzione di calore e del raffrescamento e si è descritto il sistema di distribuzione a tutt'aria. Tuttavia, esistono i sistemi di distribuzione ad acqua oppure misti.

Negli impianti ad acqua si usano sistemi di emissione situati nelle diverse aree che includono fancoils, ventilconvettori, radiatori e pannelli radianti. Con meccanismi differenti questi apparecchi forniscono o sottraggono calore all'ambiente con l'utilizzo di acqua come fluido termovettore. In genere gli impianti ad acqua per il solo riscaldamento degli ambienti sono combinati con impianti ad aria che servono a pretrattare gli ambienti mantenendo l'aria pulita e una temperatura minima di riscaldamento o raffreddamento. Quest'ultima combinazione definisce gli impianti misti aria-acqua. Queste unità terminali in genere sono situate in ogni ambiente più o meno spazioso e quando il sistema è ben progettato ognuna di esse è dotata di termostati che servono a garantire il controllo della temperatura della zona.

### 2.5.1 Fancoil e ventilconvettori

I fancoil e i ventilconvettori sono unità di emissione molto simili che possono fornire sia riscaldamento che raffrescamento e ventilano l'aria per sola convezione forzata all'interno dell'ambiente condizionato. Possono essere dotati di aria per la ventilazione interna che possono filtrare così come l'aria interna che ricircolano. Le configurazioni dei fancoil possono essere delle più svariate mentre i termoconvettori possono essere solo a pavimento per essere posizionati sotto una finestra, a soffitto con canalizzazione esterna e unità assemblabili verticalmente. La differenza maggiore tra questi due sistemi è che mentre il fancoil è progettato per spazi dove la ventilazione richiesta è minima oppure fornita da UTA, i ventilconvettori sono ideati per fornire fino al 100% di ricambio d'aria esterna negli ambienti. I componenti principali delle unità sopra definite sono le batterie per il riscaldamento e il riscaldamento a tubi alettati, i filtri e un ventilatore come si vede in figura.

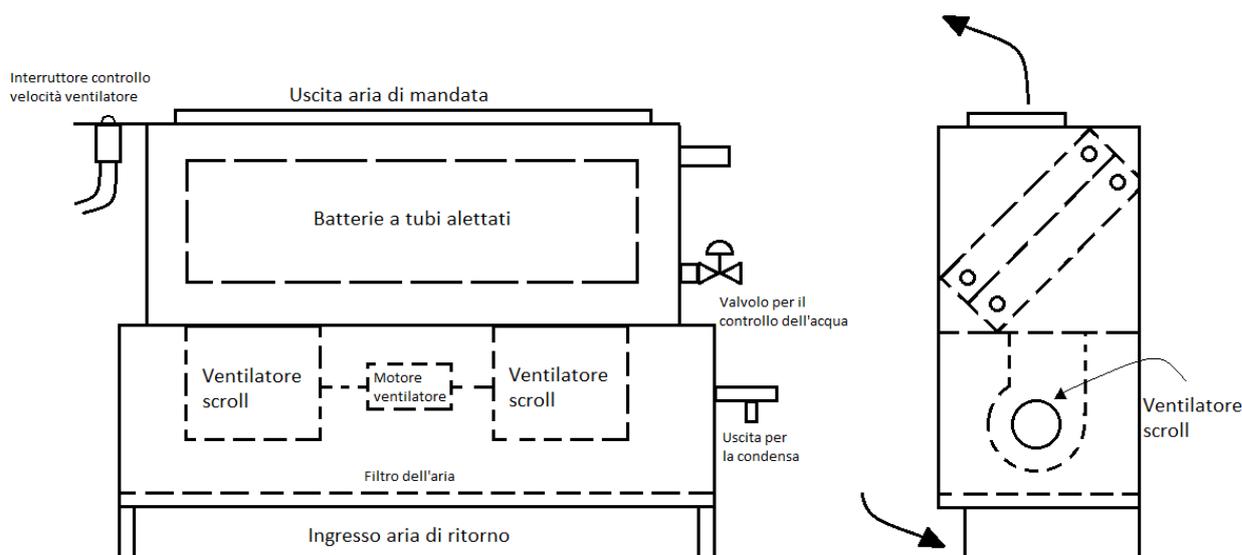


Figura 21: Unità fancoil o ventilconvettore.

All'interno della batteria ci può essere non solo passaggio di acqua calda o vapore ma anche una resistenza elettrica aggiuntiva che nelle mezze stagioni è utilizzata per evitare cambiamenti di fluido frequenti all'interno della serpentina.

L'utilizzo di un filtro nell'apparecchio che sia pulibile e sostituibile è fondamentale per prevenire la riduzione di efficienza del ventilatore che può ostruirsi e distribuire aria sporca nell'aria di ricircolo.

I ventilconvettori a pavimento hanno più predisposizioni per la canalizzazione dell'aria di ventilazione mentre le unità a soffitto e quelle impilabili verticalmente possono essere a vista oppure completamente incassate e avere le canalizzazioni per l'esterno nella parte posteriore. Entrambi questi sistemi sono ottimali in caso di ammodernamento di edifici esistenti dove risulta più facile installare tubazioni e cablaggi anziché grandi condutture richieste per le unità a tutt'aria.

## 2.5.2 Unità a flusso refrigerato variabile

Chiamati anche VRF, ovvero *Variable Refrigerant Flow*, questi sistemi sfruttano il progresso nel controllo dei compressori e le valvole di espansione controllate elettronicamente per utilizzare il meccanismo della compressione diretta per condurre un fluido refrigerante in più sistemi di emissione per più aree. La configurazione è simile a quella dei fancoil sopra

descritti ma utilizza al posto della batteria ad acqua una batteria ad espansione diretta. I condotti in cui scorre il refrigerante verso le unità di emissione sono chiamati primari mentre il compressore per la circolazione si può trovare a più di 30 metri dall'ambiente da condizionare.

Poiché queste unità sono in grado di raffrescare e riscaldare allo stesso tempo aree adiacenti è necessario utilizzare una pompa di calore, un'unità di condensazione per il recupero del calore e tre distinte tubazioni per il refrigerante ovvero per l'aspirazione, la condensazione e la vaporizzazione. Inoltre, deve essere prevista una valvola di inversione per ciascuna delle unità per permettere il passaggio di refrigerante liquido per raffreddare e gassoso per riscaldare.

In figura 22 sono rappresentati unità a flusso variabile di diversa tipologia che possono essere adoperate per diverse applicazioni che richiedano unità a vista oppure a scomparsa con ingombro in generale ridotto. Gli svantaggi di questa tecnologia sono l'alto consumo energetico poiché utilizzano energia elettrica come alimentazione e la ridotta efficienza d'estate. Rispetto ai fancoil hanno prestazioni minori nel mantenimento del comfort e una manutenzione più complessa.

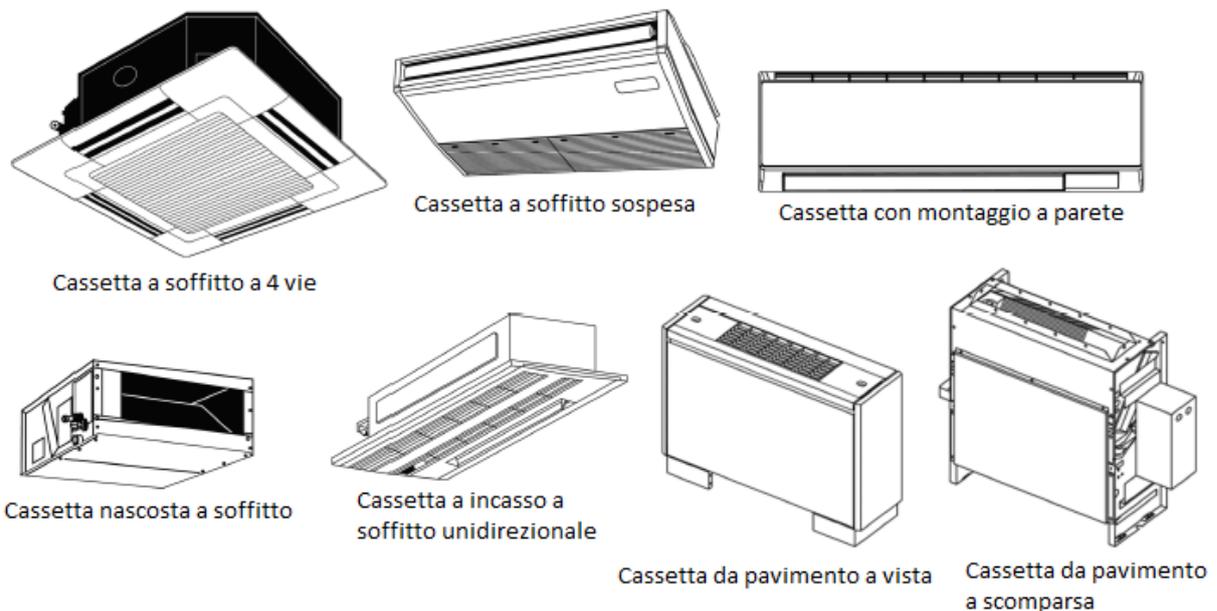


Figura 22: Unità VRF da interno di uso comune.

### 2.5.3 Pannelli radianti

Sono costituiti da tubazioni collocate dietro delle superfici da scaldare e possono essere suddivisi in tre categorie, pannelli radianti a pavimento (figura 23), a parete e a soffitto (figura 24).

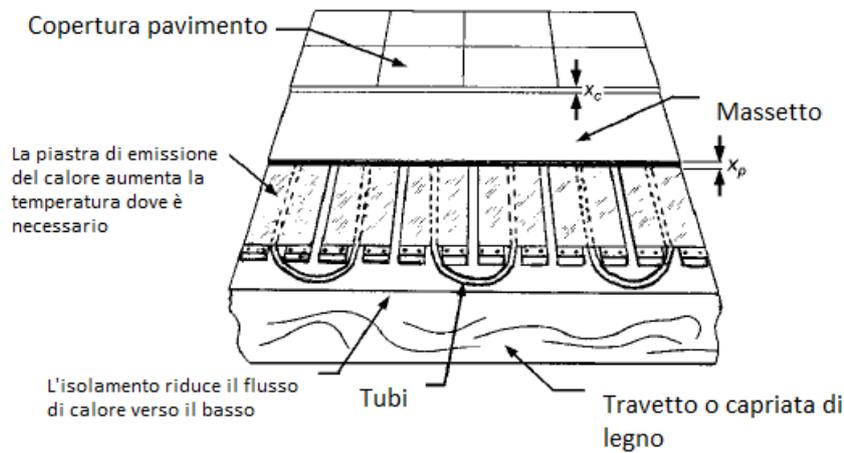


Figura 23: Pannello radiante a pavimento.

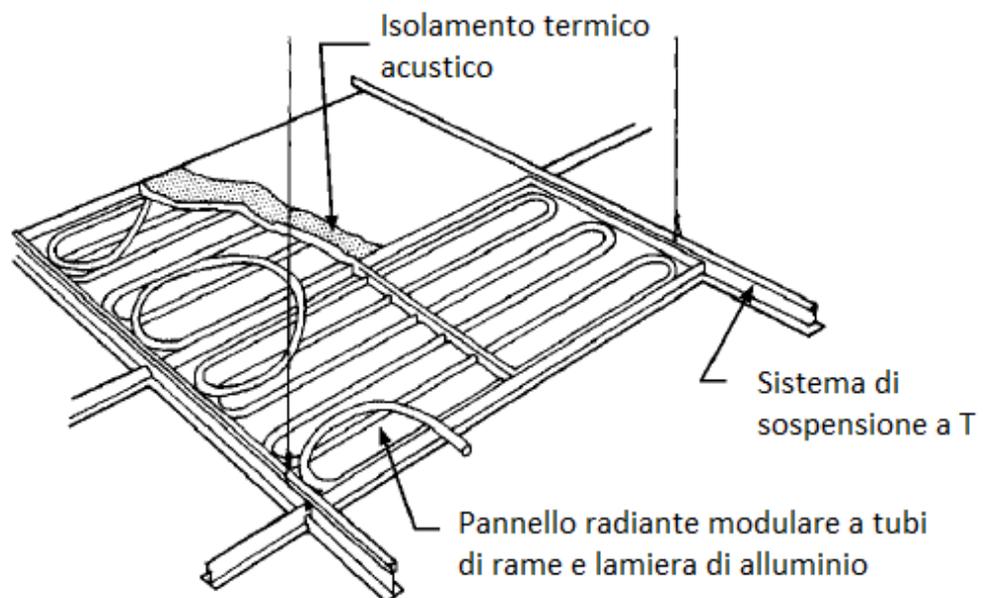


Figura 24: Pannello radiante a soffitto a tubi in lega di rame.

Sono molto efficienti dal punto di vista energetico e scaldano l'ambiente senza ridurre il contenuto di umidità dell'aria come invece succede con gli impianti a tutt'aria poiché il

trasferimento di calore dal fluido termovettore all'ambiente circostante avviene per irraggiamento.

L'applicazione tipica è quella a pavimento dove in passato si usavano tubazioni di rame ad anello racchiuse nel calcestruzzo che per i giunti saldati avevano l'inconveniente di non mantenere le tenute mentre le contrazioni insieme alla composizione chimica del calcestruzzo corrodevano le tubazioni causando delle perdite. Le nuove tecnologie utilizzano tubi flessibili in materiale plastico, come il polietilene reticolato (PEX) che può essere fornito di uno strato protettivo per ridurre la diffusione dell'ossigeno poiché questo può causare la corrosione dei connettori metallici tra i tubi e il collettore. Inoltre, il PEX permette la produzione di tubi molti più lunghi rispetto a quelli in rame permettendo la riduzione delle giunzioni tra le parti. Questa tipologia di riscaldamento si è sviluppata per applicazioni residenziali dove la ventilazione era effettuata semplicemente tramite l'apertura delle finestre e il raffrescamento non era considerato essenziale. Nel caso di strutture che necessitano invece di una determinata ventilazione questo sistema deve essere associato a quello di un'UTA.

Le applicazioni più comuni dei pannelli radianti si hanno in edifici di grande volume, come le aviorimesse degli aerei, dove è più conveniente riscaldare il pavimento anziché tutto il loro volume. La temperatura dell'acqua nei pannelli è di circa 30-40 °C a seconda della finitura e della resistenza del pavimento ed è inferiore a quella dei tradizionali termosifoni, questo riduce la richiesta energetica per il riscaldamento a pavimento. Per la loro progettazione occorre conoscere la richiesta termica dell'area e calcolare quindi la lunghezza dei condotti in funzione del carico richiesto, in genere edifici con questi impianti sono caratterizzati da un'accensione giornaliera costante poiché il riscaldamento dei pannelli fino alla temperatura richiesta dall'ambiente è molto lenta quindi non risulta conveniente applicare un'accensione oraria intermittente ma mantenere una minima temperatura di mandata sfruttando l'inerzia del massetto in calcestruzzo. In caso di pannelli radianti a soffitto sovente si utilizzano pannelli di alluminio che avendo un coefficiente convettivo elevato scaldano molto prima e possono essere gestiti con un'accensione oraria in funzione del carico richiesto.

## 2.6 Sistemi di controllo

Nel campo dell'HVAC, dove fino ad ora si è ampiamente riscontrata una combinazione di impianti e diversi tipi di regolazione, è fondamentale un sistema di controllo che garantisca il

corretto funzionamento degli stessi nell'ottica di mantenere condizioni di comfort di progetto e la riduzione dei consumi e degli sprechi.

Quando si parla di sistemi di controllo di tipo automatizzato si possono distinguere i DCS (*Distributed Control System*) e gli SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*) che scambiano autonomamente informazioni con il campo con una architettura non distribuita e quindi non centralizzata tipicamente utilizzati nell'ambito industriale e i BMS (*Building Management System*) che sono invece sistemi di gestione centralizzati per la gestione di edifici di uso civile.

Il processo di logica dei seguenti sistemi di controllo si può distinguere in<sup>34</sup>:

- Livello 0 – Campo. Contiene tutte le informazioni necessarie per monitorare e controllare l'impianto intesi come tutti i segnali di ingresso e uscita dei sensori e degli attuatori applicati al sistema;
- Livello 1 – Controllo diretto. Contiene i controllori (PLC o altri dispositivi computerizzati) in grado di acquisire tutti i dati provenienti dal campo, elaborandoli e generando un segnale in uscita nuovamente diretto in campo
- Livello 2 – Supervisione di impianto. Contiene i dati del campo resi fruibili attraverso interfaccia grafica agli operatori utili per la gestione dell'impianto e per la determinazione dei set point delle variabili controllate;
- Livello 3 – Controllo di produzione. Contiene l'elaborazione dei dati che sono storicizzati per un'analisi dei risultati post gestione per eventuali variazioni del controllo
- Livello 4 – Pianificazione della produzione. I dati del livello precedente vengono richiamati per elaborare strategie produttive.

I BMS, dedicati quindi al settore civile per il controllo dei sistemi HVAC, sono costituiti da una parte hardware e software che gestisce una certa quantità di dati per elaborare una strategia di ottimizzazione del comfort e riduzione del dispendio energetico.

All'apice del sistema è situato un computer in grado di monitorare, gestire e controllare più dispositivi applicati sul campo per il corretto funzionamento dell'impianto attraverso una rete che trasmette informazioni che possono essere di sola lettura per il solo controllo oppure in scrittura per l'attuazione.

---

<sup>34</sup> Keviczky L., Bars R., Hetthéssy J., Bányász C. *Control Engineering*, Edition 1, Springer Singapore, 2019.

Per quanto riguarda invece la parte software questa è costituita da un protocollo di comunicazione fondamentale affinché macchine e sistema di controllo riescano a comunicare in maniera efficiente. Si possono citare diversi standard come BACnet, M-bus, Modbus, EnOcean, ecc.

La regolazione dei BMS può essere distinta in diverse tipologie in base al tipo di impianto e alla tecnologia applicata ad esso.

1. Controllo ON/OFF, risulta il più semplice e funziona mantenendo l'accensione dei dispositivi in campo fino al raggiungimento dei set point prestabiliti e successivamente si spegne finché una soglia inferiore non viene raggiunta portando alla riaccensione. Tale controllo è conosciuto come regolazione a due posizioni. Per evitare continue accensioni e spegnimenti si ricorre ad un differenziale ovvero una tolleranza tale per cui si ha un raggio di azione intorno al setpoint desiderato. Il cronotermostato di tipo domestico è un esempio di questa tipologia di controllo che spesso, legato alla lenta inerzia termica di accensione e spegnimento degli impianti, porta sia a condizioni di comfort non ottimali (area nera in figura) che a spreco energetico (aree rosse in figura).

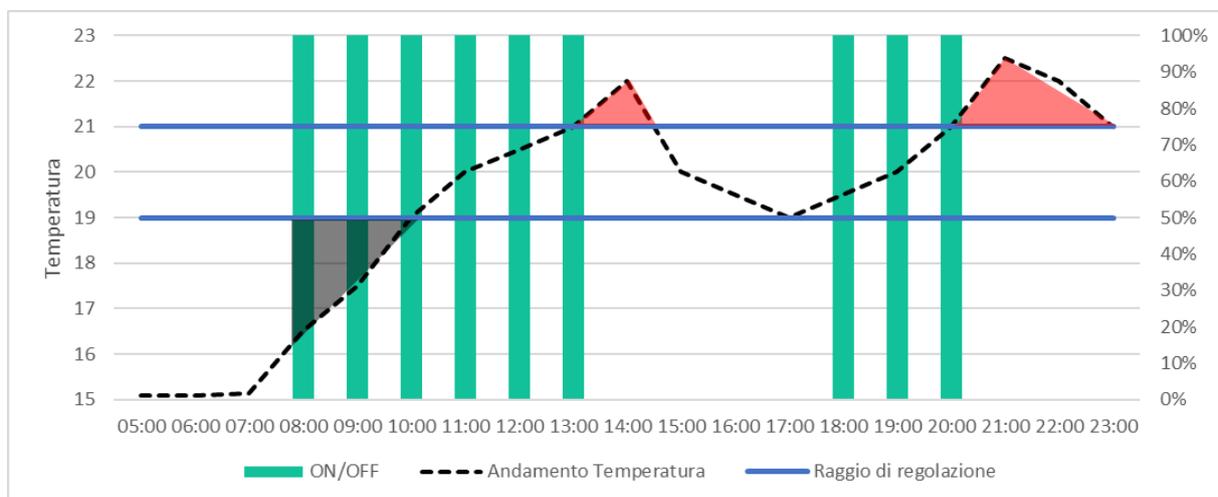


Figura 25: Esempio di crono termostato.

Alcuni dispositivi con comando on/off possono tuttavia essere multistadio ovvero utilizzano moduli in serie capaci di spegnersi e accendersi singolarmente il che porta ad avere una regolazione a gradino con una regolazione più fine e con un'efficienza superiore. Tale controllo, che risulta in definitiva più stabile del precedente, è ampiamente utilizzato in ambito HVAC.

2. Controllo PID, tale regolazione permette il controllo della specifica variabile di interesse. Prende il nome proprio dalle fasi delle azioni che effettua: Proporzionale, Integrativa e Derivativa. La funzione di trasferimento che definisce l'output  $o(t)$  attraverso l'input  $i(t)$  è definita come:

$$o(t) = k_p \cdot i(t) + k_i \cdot \int_{t_0}^t i(t) dt + k_d \cdot \frac{d \cdot i(t)}{dt}$$

Dove le tre costanti  $k$  rappresentano rispettivamente i guadagni delle tre azioni proporzionale, integrativa e derivativa.

Infine, nell'ambito della regolazione, ci sono i controllori logici PLC (*Programmable Logic Controller*) che, rispetto agli altri sistemi, permettono un'elevata personalizzazione e un controllo molto preciso che risulterebbe molto più costoso affidare ad uno specifico controllore nel caso di singole unità. La logica di gestione di tali dispositivi è fortemente standardizzata il che li rende perfettamente integrabili con strutture di controllo più complesse.

# Capitolo 3

## 3.1 Descrizione edificio

L'edificio oggetto di studio di questo progetto di tesi, così come presentato nell'introduzione dell'elaborato, è un Ospedale del nord Italia. Si tratta di un progetto pilota portato avanti dalla società ENERBRAIN s.r.l. che ha come obiettivo quello di quantificare i benefici del sistema di gestione nell'ambito ospedaliero ed il monitoraggio ambientale attraverso una soluzione *plug&play* in rispondenza ai requisiti CONSIP<sup>35</sup>.

La struttura del presidio ospedaliero comprende due blocchi principali con altri sette più piccoli nell'intorno che si sviluppano su uno o più piani con diverse finalità d'uso. Tutto il complesso edilizio è quindi suddiviso principalmente per padiglioni.

- Padiglione Verde, con una superficie di circa 13.500 m<sup>2</sup> è situato nella zona sud-est e consta di dieci piani fuori terra e tre interrati così suddivisi:
  - piano -3: locali tecnici
  - piano -2: reparto di medicina nucleare, ambulatori e centrale di trattamento aria;
  - piano -1: reparto di diagnostica e radiologia e studi medici;
  - piano 0: reparto dialisi, ambulatori e cappella;
  - piano 1, 6 e 7: reparto degenza e uffici;
  - piano 2: reparto dialisi e radiologia
  - piano 3 e 4: reparto ginecologia e blocco operatorio
  - piano 5: reparto degenza e riabilitazione;
  - piano 8: blocco operatorio;
  - piano 9: reparto degenza;
  - piano 10: locali tecnici.
  
- Padiglione Rosso, con una superficie di circa 9.000 m<sup>2</sup> è situato a nord-ovest e consta di cinque piani fuori terra e uno interrato così ripartiti:
  - piano -1: magazzini, locali tecnici e cabine elettriche;

---

<sup>35</sup> Concessionaria Servizi Informativi Pubblici.

- piano 0: pronto soccorso, ambulatori, laboratori e reparto diagnostico;
  - piano 1: reparto degenza e laboratori;
  - piano 2: reparto cardiologia, rianimazione, reparto diagnostico e ambulatori;
  - piano 3: reparto degenza e ambulatori;
  - piano 4: blocco operatorio;
  - piano 5: locali tecnici.
- Padiglione Marrone, con una superficie di circa 7.200 m<sup>2</sup> è situato a nord-ovest e consta di sei piani fuori terra e uno interrato così ripartiti:
    - piano -1: spogliatoi;
    - piano 0: uffici;
    - piano 1: reparto degenza e studi medici;
    - piano 2: studi medici;
    - piano 3 e 4: reparto degenza
    - piano 5: deposito, locali tecnici e centrale trattamento aria
- Padiglione Viola, con una superficie di circa 2.000 m<sup>2</sup> è situato a nord e consta di un piano fuori terra e uno interrato così ripartiti:
    - piano -1: camere mortuarie, sala autopsie e laboratori;
    - piano 0: cucina, mensa, zona lavaggio, camera mortuaria e sotto centrale termica;
- Padiglione Arancione, con una superficie di circa 2.000 m<sup>2</sup> è situato a sud e consta di tre piani fuori terra e uno interrato così ripartiti:
    - piano -1: locali tecnici e archivi;
    - piano 0: uffici;
    - piano 1: reparto degenza;
- Padiglione Giallo, con una superficie di circa 2.000 m<sup>2</sup> è situato a sud e consta di cinque piani fuori terra e uno interrato così ripartiti:
    - piano -1: deposito;
    - piano 0, 1, 2 e 3: ambulatori e studi medici;
    - piano 4: locali tecnici.

- Padiglione Blu, con una superficie di circa 450 m<sup>2</sup> è situato a ovest e consta di due piani fuori terra e uno interrato così ripartiti:
  - piano -1: locali tecnici;
  - piano 0 e 1: uffici.
  
- Padiglione Grigio, con una superficie di circa 450 m<sup>2</sup> è situato a nord-ovest e consta di due piani fuori terra e uno interrato così ripartiti:
  - piano -1: deposito;
  - piano 0: ambulatorio e cappella;
  - piano 1: camere.
  
- Padiglione Azzurro, con una superficie di circa 250 m<sup>2</sup> è situato a nord-ovest e consta di un piano fuori terra e uno interrato così ripartiti:
  - piano -1: reparto diagnostico e radiologia;
  - piano 0: ambulatori e studi medici.

## 3.2 Struttura impiantistica dell'edificio

### 3.2.1 Centrale termica

Il presidio ospedaliero oggetto di studio è una struttura imponente che, data la sua destinazione d'uso, deve garantire un servizio ventiquattro ore su ventiquattro per 365 giorni l'anno. Nella tabella 10 sono elencati i diversi sistemi idronici afferenti ai diversi padiglioni precedentemente descritti per comprendere la struttura di generazione e distribuzione dell'intero complesso edilizio.

EDIFICIO	GENERAZIONE	CIRCUITI RISCALDAMENTO/VENTILAZIONE
1 – Centrale Termica	2 Caldaie a vapore 1 Caldaia d'acqua calda	Circuiti alle sotto-centrali
2 – Padiglione Grigio	Caldaia P1	n.d.
3 – Padiglione Giallo	Caldaia P4	n.d.
4 – Padiglione Arancio	Sotto-centrale - scambiatore di calore	n.d.
5 – Padiglione Blu	Sotto-centrale - scambiatore di calore	n.d.
6 – Padiglione Verde	Sotto-centrale - scambiatore di calore	Pannelli radianti reversibili
		Circuiti UTA
		Radiatori
		Fancoil
7 – Padiglione Rosso	Sotto-centrale - scambiatore di calore	Circuiti UTA
8 – Padiglione Marrone	Sotto-centrale - scambiatore di calore	n.d.
9 – Padiglione Viola	Sotto-centrale - scambiatore di calore	n.d.
10 – Uffici	Sotto-centrale	n.d.
11 – Padiglione Azzurro	Sotto-centrale	n.d.

*Tabella 10: Sistemi idronici afferenti ai padiglioni del complesso come rilevati durante il sopralluogo Enerbrain.*

Per questo progetto pilota si è preso in considerazione il solo padiglione Verde che è servito da un locale specifico per la centrale termica situato nella zona nord alle sue spalle che serve anche gli altri padiglioni escluso il Grigio ed il Giallo che hanno una caldaia dedicata.

La centrale termica è stata progettata con un sistema di produzione a vapore costituito da due grandi generatori a vapore e una caldaia di acqua calda. I due generatori di vapore sono in funzione tutto l'anno per fornire vapore tecnico necessario per le sterilizzatrici del blocco operatorio mentre nella stagione invernale essi sono integrati dalla caldaia ad acqua calda che produce il carico termico suppletivo per il riscaldamento dei diversi padiglioni afferenti. Il generatore di acqua calda è costituito da un monoblocco orizzontale a tubi di fumo con fondo bagnato con una potenza nominale di 3.050 kW e una temperatura massima di produzione dell'acqua di 100 °C con al di sopra una pompa per l'anticondensa.



*Figura 26: Generatori di vapore della centrale termica dell'Ospedale.*

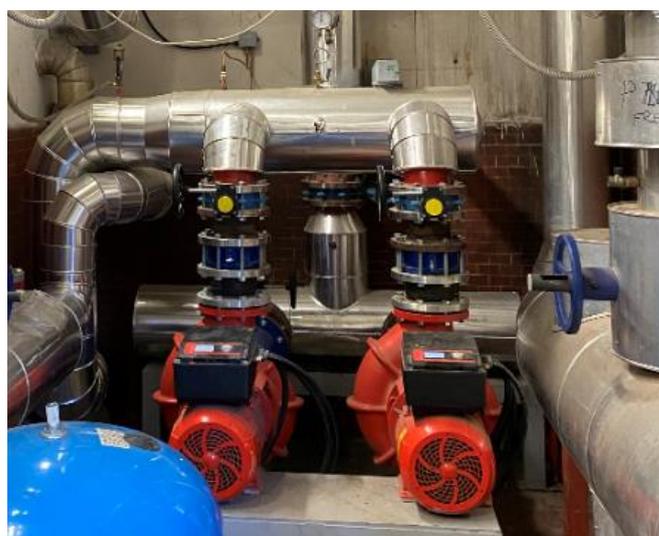


*Figura 27: Generatore di acqua calda della centrale termica dell'Ospedale.*

L'alimentazione di questi tre generatori è gas metano contabilizzato da un unico contatore. Nella stagione invernale l'acqua calda e il vapore, precedentemente miscelato in uno scambiatore vapore acqua, sono miscelati insieme da un collettore che, attraverso due pompe di circolazione, manda il flusso nelle diverse zone di distribuzione dell'impianto per tutti i padiglioni dipendenti da questa centrale termica.



*Figura 28: Collettore di mandata centrale termica.*



*Figura 29: Pompe di circolazione del fluido vettore della centrale termica*

Il ritorno del flusso termico è poi ripartito in due diverse diramazioni che ritornano una verso lo scambiatore acqua vapore dei due generatori e l'altra alla caldaia. Il secondo ritorno è gestito poi da una valvola a tre vie che, in caso di richiesta di un maggiore carico termico, apre l'ingresso al flusso proveniente dalla caldaia. Se invece l'integrazione di acqua calda non è necessaria, la terza via resta chiusa e il flusso di ritorno è semplicemente rimandato sulla mandata per essere ricircolato nell'impianto. La gestione del flusso dal punto di vista della temperatura nei condotti, della potenza termica e della portata del fluido vettore è monitorata da un contatermie che registra l'effetto utile del fluido vettore sia per il riscaldamento invernale che per la sterilizzazione necessaria tutto l'anno.



*Figura 30: Valvola a tre vie della caldaia d'acqua.*

Per il solo padiglione Verde preso in esame sono presenti tre differenti circuiti di distribuzione del riscaldamento:

- il circuito pannelli radianti a pavimento distribuisce il riscaldamento su tutti i piani esclusi i piani 2 e 4 e l'ala ovest dei piani 0,-1 e -2. È suddiviso in due distinte ripartizioni, quella sud e quella nord, con differenti mandate e valvole di miscelazione. È presente una regolazione modulante a tre punti tramite valvole di miscelazione con attuatore elettrico;
- il circuito radiatori è invece dedicato a specifiche aree all'interno del reparto di dialisi ai piani 0 e 2 in stanze adibite a spogliatoi e non ha regolazione tramite valvola miscelatrice;

- il circuito fancoil è invece presente nei reparti di dialisi ai piani 0 e 2 ala ovest e nel reparto di ginecologia al piano 4 e risulta anch'esso regolato da una valvola miscelatrice.

### 3.2.2 Unità di trattamento dell'aria

La ventilazione all'interno del presidio Ospedaliero è gestita da diverse UTA differenziate all'interno del padiglione per ciascuna area poiché, come discusso nel primo capitolo, per una struttura sanitaria di questo tipo, il ricambio d'aria deve essere diversificato a seconda del reparto. Nella tabella successiva è riportata la divisione per singola utenza per il solo padiglione Verde.

EDIFICIO	CODICE UTA	UTENZA
7 – Padiglione Verde	UTA - 00333	Chiesa
	UTA - 00332	Impresa Pulizie
	UTA - 00334	Lato SUD e lato NORD (Piani dal PT al P9)
	UTA - 00335	Diagnostica
	UTA - 00336	Medicina Nucleare
	UTA - 00360	Estrattore Radiologia
	UTA - 00362	Dialisi - Ambulatori Neurologia Lato Ovest
	UTA - 00364	Neurologia secondo piano
	UTA - 00367	Ginecologia

Tabella 11: Elenco UTA del padiglione Verde del complesso fornito dal cliente.

Delle diverse UTA identificate nel padiglione quelle di interesse per questo progetto pilota sono:

- l'UTA-00334, identificata come muraria, ha un preriscaldamento con alimentazione a vapore e due diramazioni nord e sud per il post riscaldamento. Questo circuito serve completamente i piani 6,5,3 e 1 e l'ala est dei piani 0,-1 e -2. La regolazione della mandata di pre e post riscaldamento è fornita da valvole pneumatiche che, al momento del sopralluogo, sono risultate in disuso poiché obsolete. Pertanto, la regolazione attuale risulta manuale a punto fisso. Sulla ventilazione invece la regolazione dell'impianto a tutt'aria è del tipo ON/OFF senza serrande e senza ricircolo;

- l'UTA-00335 del reparto di diagnostica è dedicata all'ala ovest del piano -1 e ha la mandata del preriscaldamento in comune con l'unità precedente mentre ha un post riscaldamento dedicato dove la regolazione è gestita con valvola di regolazione 0-10V. La ventilazione risulta, anche per questa unità, di tipo ON/OFF senza serrande e senza ricircolo;
- l'UTA-00336 è invece l'unità del reparto di medicina nucleare sito al piano -2 che si trova sul tetto dell'ospedale ed è costituita da una mandata sia di pre che di post riscaldamento con regolazione delle batterie tramite valvola di regolazione 0-10V. Da sopralluogo è stato riscontrato il non funzionamento della centralina e dei servomotori. La ventilazione risulta sempre di tipo ON/OFF senza serrande e senza ricircolo;
- l'UTA-00362 del reparto di dialisi si trova sempre sul tetto all'esterno al di sopra della precedente unità ed è costituita da un proprio circuito di mandata di pre e post riscaldamento. Il sistema di regolazione delle due mandate e della ventilazione è gestito tramite valvole di regolazione elettriche 0-10 V ed inverter gestiti da un sistema BMS Siemens. La ventilazione risulta sempre senza serrande e senza ricircolo.  
Durante il sopralluogo l'inverter che gestisce la ventilazione di ripresa è risultato non funzionante poiché effetti elettromagnetici creano interferenza con il resto delle apparecchiature. Anche sulla ventilazione di mandata ricorrono spegnimenti anomali che necessitano di intervento manuale da parte della manutenzione per la riaccensione;
- l'UTA-00367 del reparto di ginecologia al piano 4 è situata in centrale termica ed ha una mandata per il pre e il post riscaldamento regolata da una valvola di regolazione 0-10V. Tutta l'unità è gestita dal sistema BMS della Siemens attraverso inverter per la regolazione della ventilazione senza serrande e senza ricircolo.

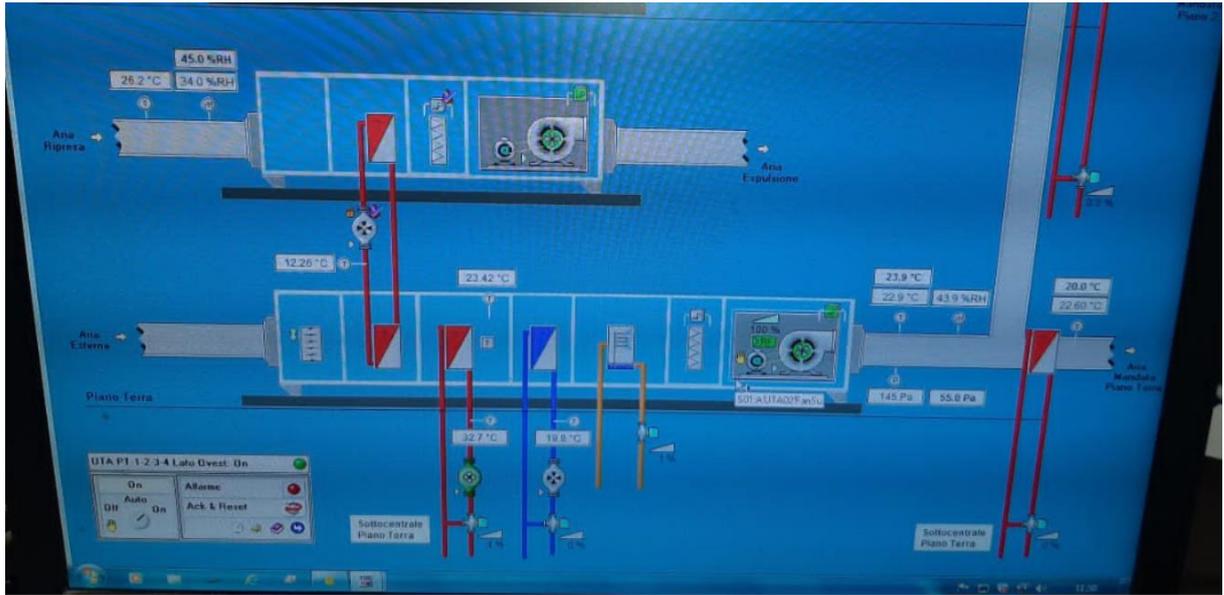


Figura 31: Sistema BMS delle UTA dialisi e ginecologia dell’Ospedale.

### 3.3 Analisi consumi termici

La gestione dei servizi energetici nella struttura in esame è gestita da una ESCo la quale ha fornito i dati di impiego di gas naturale per l’analisi dei consumi sulla struttura.

Per comprendere l’andamento dei consumi successivi all’attuazione del sistema Enerbrain si sono analizzati i consumi precedenti della fornitura di gas del presidio Ospedaliero degli ultimi quattro anni (2017, 2018, 2019 e 2020).

La norma europea EN ISO 1528-6 del settembre 2007<sup>36</sup> specifica la definizione, il metodo di calcolo e il metodo di presentazione dei dati relativi alle differenze di temperatura cumulate (gradi giorno), utilizzate per stimare l’energia utilizzata per il riscaldamento degli edifici. Tali dati sono generalmente espressi in gradi ora o gradi giorno e sono spesso indicati semplicemente come "gradi ora di riscaldamento" o "gradi giorno di riscaldamento".

L’espressione per il calcolo dei gradi giorno è:

$$GG = \sum_{e=1}^n (T_0 - T_e)$$

<sup>36</sup> EN ISO 1528-6, *Prestazione termoigrometrica degli edifici - Calcolo e presentazione dei dati climatici - Parte 6: Differenze di temperatura cumulate (gradi giorno)*.

dove  $n$  rappresenta il numero di giorni del periodo convenzionale di riscaldamento,  $T_0$  è la temperatura ambiente convenzionale e  $T_e$  è la temperatura media esterna giornaliera tale per cui  $T_e < T_0$ .

Sul territorio italiano la norma UNI 9019:2013<sup>37</sup> valida dal febbraio 2013, che sostituisce la precedente UNI 9019:1987<sup>38</sup>, definisce il principio di funzionamento e le prescrizioni di impianto, di installazione, di prova e di impiego dei sistemi di contabilizzazione indiretta basati sui totalizzatori di zona termica e/o unità immobiliare, che effettuano il conteggio del tempo di inserzione dei corpi scaldanti con compensazione tramite i gradi-giorno dell'unità immobiliare. La norma si applica a edifici di tipo residenziale condominiale e adibiti ad attività commerciale e similare dotati di impianti termici centralizzati di climatizzazione invernale.

La norma nazionale determina una temperatura ambiente convenzionale ( $T_0$ ) di 20°C. Per quanto riguarda invece il periodo di calcolo si assume<sup>39</sup> che esso inizi il terzo giorno consecutivo con temperatura media strettamente inferiore a 12 °C e finisca il terzo giorno consecutivo con temperatura media strettamente maggiore di 12°C assumendo come periodo minimo di riscaldamento quello tra il 1° dicembre e il 28 febbraio.

Per ricavare i gradi giorno si è fatto riferimento alle temperature medie giornaliere, registrate da ARPA<sup>40</sup>, presso la stazione meteorologica più vicina al presidio ospedaliero preso in esame.

Di seguito si riportano il grafico con colonne in pila per l'andamento giornaliero dei gradi giorno nei quattro anni di riferimento e l'andamento mensile dal quale si osserva un andamento simile in ciascun anno.

---

<sup>37</sup> Norma UNI 9019:2013, *Sistemi di contabilizzazione indiretta basati sul totalizzatore di zona termica e/o unità immobiliare per il calcolo dell'energia termica utile tramite i tempi di inserzione del corpo scaldante compensati dai gradi-giorno dell'unità immobiliare.*

<sup>38</sup> Norma UNI 9019:1987, *Ripartizione delle spese di riscaldamento basata sulla contabilizzazione di gradi-giorno in impianto a zona. Impiego e prova del totalizzatore di gradi-giorno.*

<sup>39</sup> Riva G., Murano G. *Aggiornamento parametri climatici nazionali e zonizzazione del clima nazionale ai fini della certificazione estiva*, Report ENEA RdS/2013/153 (pp. 188-189).

<sup>40</sup> Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente.

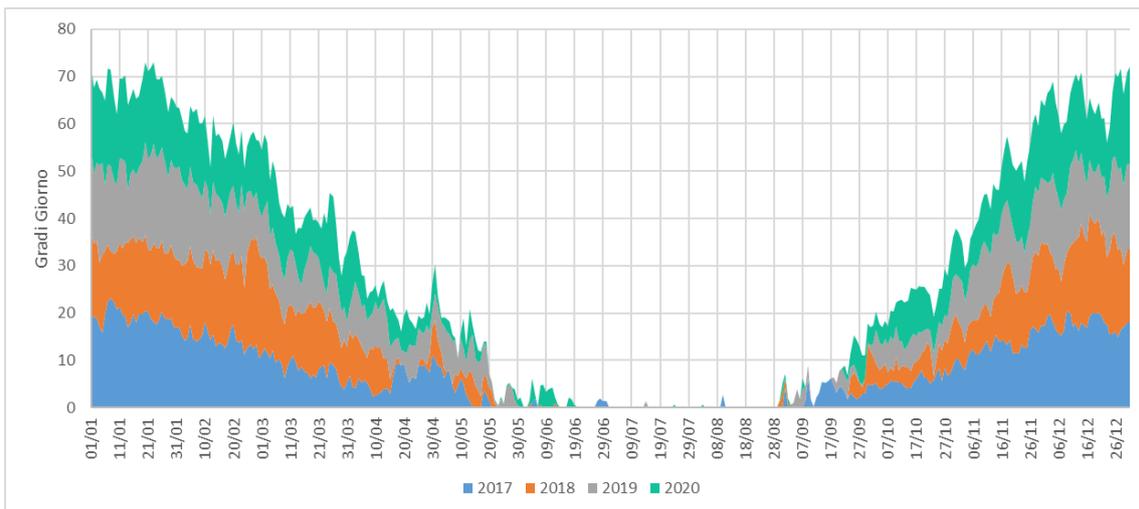


Figura 32: Andamento giornaliero gradi giorno nei 4 anni di riferimento stazione di monitoraggio ARPA.

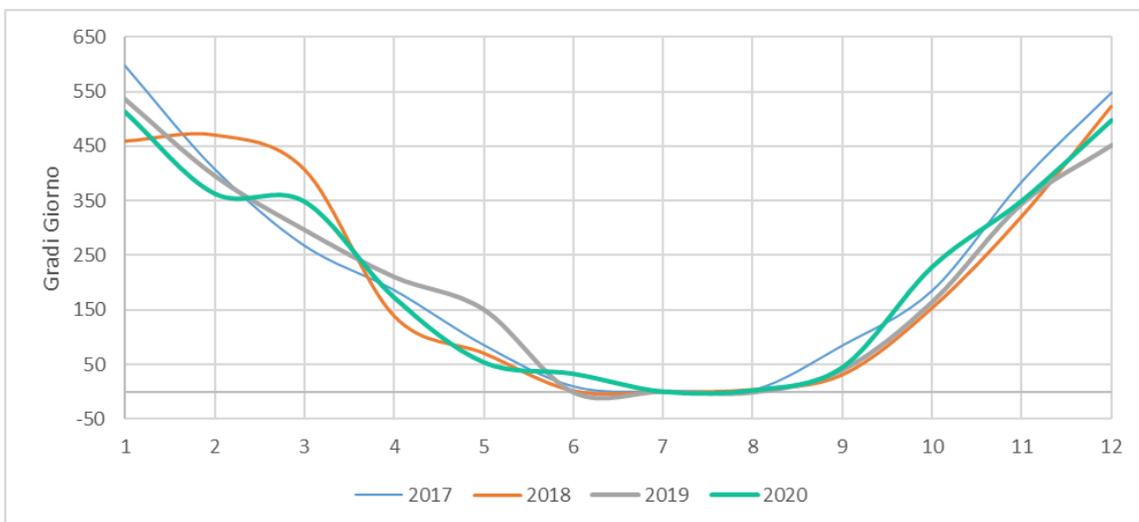


Figura 33: Andamento medio mensile gradi giorno nei 4 anni di riferimento stazione di monitoraggio ARPA.

Gradi Giorno				
Anno	2017	2018	2019	2020
Gennaio	596,9	459,3	537,1	514,1
Febbraio	407,7	470,2	396,9	364
Marzo	267,4	406,8	297,7	349,5
Aprile	186,1	138,7	211,4	173,7
Maggio	85,5	70,9	151,7	54,6
Giugno	9,6	2	0	33,4
Luglio	0	0,1	1,4	0,6
Agosto	2,7	4,4	0	3
Settembre	84,7	31,5	41,1	45,5
Ottobre	185,2	153,6	165,5	229,7
Novembre	385	321,1	345,5	351
Dicembre	547,6	522,4	452,5	498,6
<b>Totale</b>	<b>2758</b>	<b>2581</b>	<b>2601</b>	<b>2618</b>

Tabella 12: Andamento medio mensile gradi giorno nei 4 anni di riferimento stazione di misura ARPA.

Per l'analisi dei consumi si riportano i dati dei quattro anni sia in termini di standard metri cubi (Smc) che in termini di metri cubi (mc). L'analisi è stata effettuata su entrambe le unità di misura poiché le letture registrate nel periodo di attuazione dell'efficientamento sono state fornite in mc a causa del mancato collegamento del convertitore con il contatore del gas connesso alla fornitura. Si è quindi trovato un indice di confronto per ricavare gli Smc che sono l'unità di misura sulla quale si effettua la fatturazione sull'approvvigionamento di gas metano.

Si riporta inoltre l'effetto termico utile del combustibile ricavato moltiplicando gli Smc per il potere calorifico inferiore del gas metano, pari a 9,59 kWh/Smc, e per un coefficiente di 0,8 per tener conto del rendimento di combustione medio di una caldaia e delle perdite di distribuzione.

Si può osservare che il rapporto Smc su mc è circa costante e pari a 2,15 il che risulterà utile nella successiva analisi per ricavare dai soli valori in metri cubi quelli fatturabili in standard metri cubi per il calcolo della riduzione dei costi.

2017	Giorni	Consumo Smc	Consumo mc	Smc/mc	Effetto utile kWh	GG
Gennaio	31	208.157	95.741	2,17	1.596.981	596,9
Febbraio	28	141.173	64.731	2,18	1.083.079	407,7
Marzo	30	113.211	51.610	2,19	868.555	267,4
Aprile	31	66.843	27.435	2,44	512.819	186,1
Maggio	31	48.846	26.661	1,83	374.747	85,5
Giugno	30	31.633	15.213	2,08	242.688	9,6
Luglio	31	30.446	14.792	2,06	233.582	-
Agosto	31	31.351	15.223	2,06	240.525	2,7
Settembre	30	33.292	15.488	2,15	255.416	84,7
Ottobre	31	54.157	24.482	2,21	415.493	185,2
Novembre	30	147.744	65.943	2,24	1.133.492	385,0
Dicembre	31	214.982	95.929	2,24	1.649.342	547,6
<b>TOTALE</b>	<b>365</b>	<b>1.121.835</b>	<b>513.248</b>	<b>2,15</b>	<b>8.606.718</b>	<b>2.758</b>

Tabella 13: Fabbisogno termico Totale 2017.

2018	Giorni	Consumo Smc	Consumo mc	Smc/mc	Effetto utile kWh	GG
Gennaio	31	172.418	77.420	2,23	1.322.791	459,3
Febbraio	28	168.157	74.510	2,26	1.290.101	470,2
Marzo	30	183.874	86.863	2,12	1.410.681	406,8
Aprile	31	61.646	28.802	2,14	472.948	138,7
Maggio	31	40.107	18.854	2,13	307.701	70,9
Giugno	30	32.282	15.381	2,10	247.668	2,0
Luglio	31	32.107	15.425	2,08	246.325	0,1
Agosto	31	30.145	14.186	2,12	231.272	4,4
Settembre	30	32.522	15.733	2,07	249.509	31,5
Ottobre	31	54.296	25.639	2,12	416.559	153,6
Novembre	30	116.457	53.981	2,16	893.458	321,1
Dicembre	31	191.779	87.791	2,18	1.471.328	522,4
<b>TOTALE</b>	<b>365</b>	<b>1.115.790</b>	<b>514.585</b>	<b>2,14</b>	<b>8.560.341</b>	<b>2.581</b>

Tabella 14: Fabbisogno termico Totale 2018.

2019	Giorni	Consumo Smc	Consumo mc	Smc/mc	Effetto utile kWh	GG
Gennaio	31	204.448	94.209	2,17	1.568.525	537,1
Febbraio	28	154.175	70.144	2,20	1.182.831	396,9
Marzo	30	119.198	54.039	2,21	914.487	297,7
Aprile	31	76.296	34.967	2,18	585.343	211,4
Maggio	31	60.014	27.534	2,18	460.427	151,7
Giugno	30	31.831	14.863	2,14	244.207	-
Luglio	31	28.836	13.623	2,12	221.230	1,4
Agosto	31	29.139	13.692	2,13	223.554	-
Settembre	30	33.432	15.478	2,16	256.490	41,1
Ottobre	31	63.762	29.355	2,17	489.182	165,5
Novembre	30	125.842	57.513	2,19	965.460	345,5
Dicembre	31	176.384	80.652	2,19	1.353.218	452,5
<b>TOTALE</b>	<b>365</b>	<b>1.103.357</b>	<b>506.069</b>	<b>2,17</b>	<b>8.464.955</b>	<b>2.601</b>

Tabella 15: Fabbisogno termico Totale 2019.

2020	Giorni	Consumo Smc	Consumo mc	Smc/mc	Effetto utile kWh	GG
Gennaio	31	191.102	86.972	2,20	1.466.135	514
Febbraio	29	138.629	63.422	2,19	1.063.562	364
Marzo	30	146.958	67.713	2,17	1.127.462	350
Aprile	31	82.436	38.213	2,16	632.449	174
Maggio	31	34.866	16.264	2,14	267.492	55
Giugno	30	27.842	13.095	2,13	213.604	33
Luglio	31	27.433	13.060	2,10	210.469	1
Agosto	31	30.491	14.569	2,09	233.931	3
Settembre	30	28.031	13.209	2,12	215.054	46
Ottobre	31	82.107	39.119	2,10	629.925	230
Novembre	30	-	66.237	-	-	351
Dicembre	-	-	-	-	-	-
<b>TOTALE</b>	<b>335</b>	<b>789.896</b>	<b>431.873</b>	<b>2,14</b>	<b>6.060.081</b>	<b>2.119</b>

Tabella 16: Fabbisogno termico Totale 2020.

Per l'anno 2020 si riportano i consumi fino al mese di novembre poiché in data 1° dicembre si ha l'attivazione del sistema di *energy cloud* per l'efficientamento dell'edificio. Si osserva inoltre che novembre è il primo mese per il quale non si hanno letture in Smc da convertitore. Infine, si riporta l'andamento mensile medio dei consumi e dell'effetto termico utile come media dei quattro anni di storico.

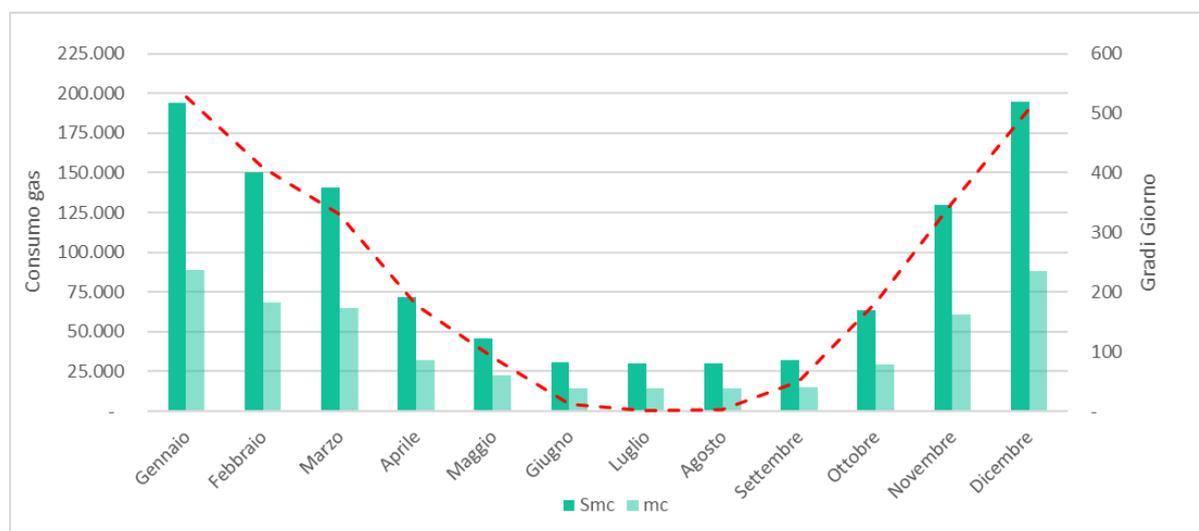


Figura 34: Andamento consumo mensile medio di gas naturale del presidio Ospedaliero.

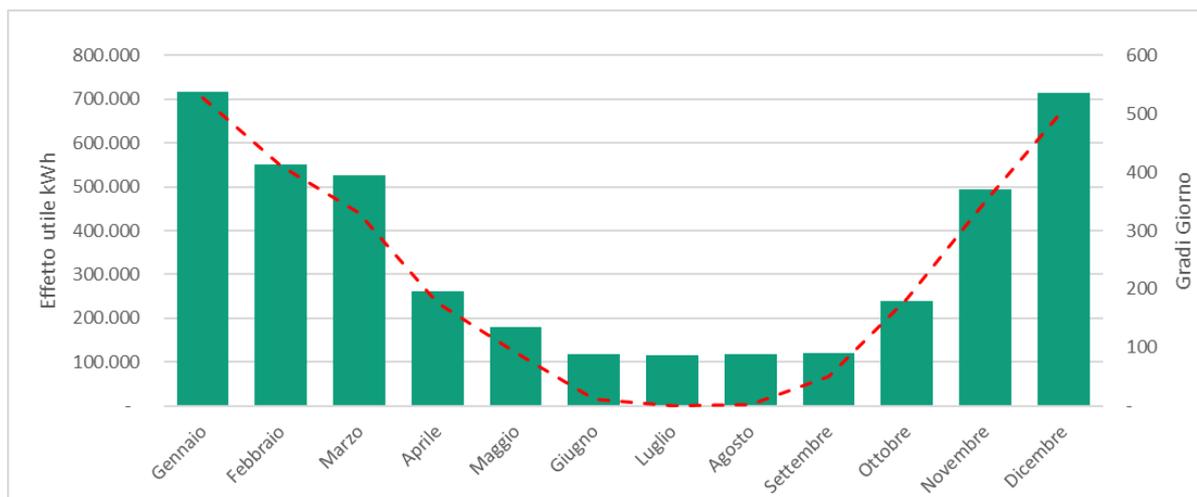


Figura 35: Andamento effetto termico utile medio di gas naturale del presidio Ospedaliero.

Il consumo medio calcolato è imputabile non solo al riscaldamento invernale ma anche al processo di sterilizzazione tramite vapore e alla produzione di acqua calda sanitaria (ACS) necessari a tutta la struttura. Per estrapolare il dato di consumo relativo al solo riscaldamento e in particolare a quello relativo al solo padiglione Verde si è ricavato il valore medio di consumo dovuto alla sola sterilizzazione e produzione di acqua calda sanitaria nel periodo compreso tra maggio e settembre che equivale a circa 33.700 Smc e che corrisponde ad un effetto utile di 130.450 kWh. In base a questa estrazione si ottiene che la percentuale di consumo imputabile al solo riscaldamento dell'intero presidio Ospedaliero è di circa il 65%. Per ricavare invece il contributo del riscaldamento sul solo padiglione Verde si è preso in considerazione il rapporto tra la metratura del padiglione oggetto di studio e quella della restante struttura servita dalla stessa centrale termica che è di circa il 40%, come riportato nell'immagine seguente.

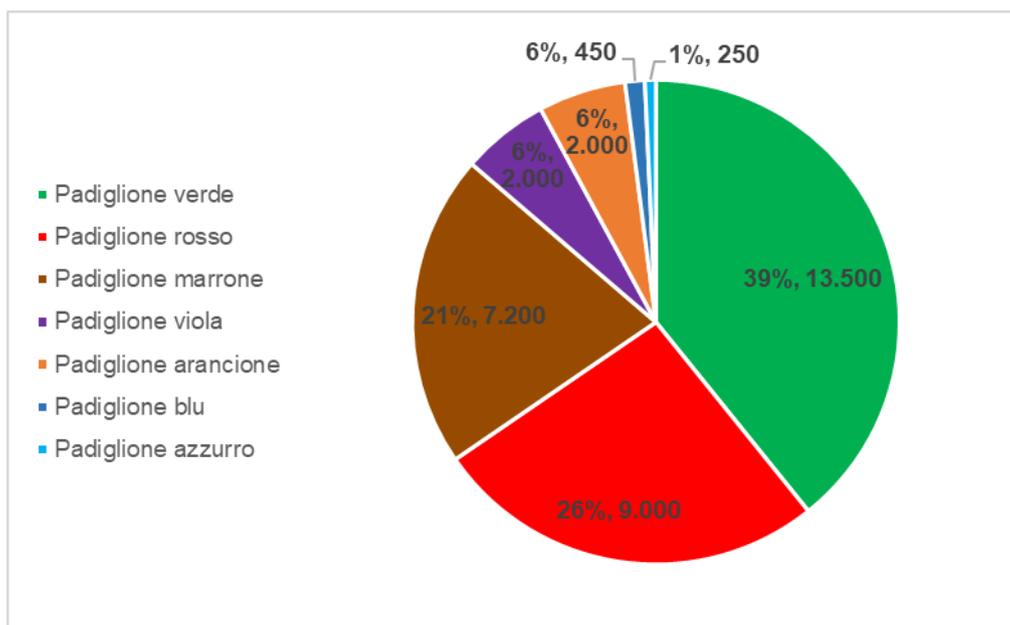


Figura 36: Suddivisione metratura servita dalla stessa centrale termica del complesso Ospedaliero.

Nelle tabelle e nelle figure successive si riporta la ricostruzione dei consumi e dell'effetto termico utile, secondo le ipotesi di progetto discusse con la distinzione delle tre voci di consumo imputabili all'impiego di gas naturale.

2017-2020	Consumo Totale [Smc]	Consumo Sterilizzazione e ACS [Smc]	Consumo Riscaldamento [Smc]	Consumo Risc. Pad. Verde [Smc]
Gennaio	194.031	33.732	160.299	64.120
Febbraio	150.534	33.732	116.801	46.720
Marzo	140.810	33.732	107.078	42.831
Aprile	71.805	33.732	38.073	15.229
Maggio	45.958	33.732	-	-
Giugno	30.897	33.732	-	-
Luglio	29.706	33.732	-	-
Agosto	30.282	33.732	-	-
Settembre	31.819	33.732	-	-
Ottobre	63.581	33.732	29.848	11.939
Novembre	130.014	33.732	96.282	38.513
Dicembre	194.382	33.732	160.649	64.260
<b>TOTALE</b>	<b>1.113.818</b>	<b>404.788</b>	<b>709.030</b>	<b>283.612</b>
<b>%</b>	<b>100%</b>	<b>36%</b>	<b>64%</b>	<b>40%</b>

Tabella 17: Ricostruzione consumi sterilizzazione e ACS, solo riscaldamento e solo riscaldamento pad. Verde.

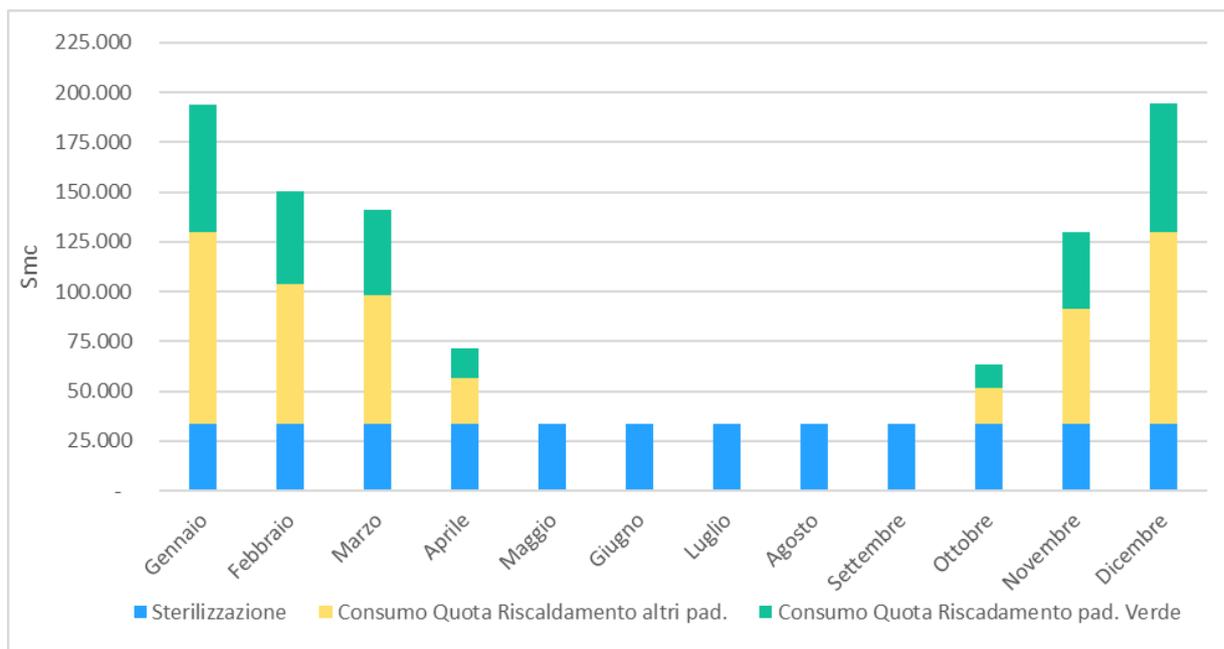


Figura 37: Ricostruzione consumi sterilizzazione e ACS, riscaldamento altri padiglioni e riscaldamento pad. Verde.

2017-2020	Totale [kWh]	Sterilizzazione e ACS [kWh]	Riscaldamento [kWh]	Risc. Pad. Verde [kWh]
Gennaio	717.007	130.451	586.556	234.622
Febbraio	552.022	130.451	421.571	168.628
Marzo	526.563	130.451	396.111	158.444
Aprile	261.874	130.451	131.423	52.569
Maggio	180.724	130.451	-	-
Giugno	118.479	130.451	-	-
Luglio	115.137	130.451	-	-
Agosto	116.695	130.451	-	-
Settembre	121.223	130.451	-	-
Ottobre	239.976	130.451	109.525	43.810
Novembre	493.071	130.451	362.620	145.048
Dicembre	713.272	130.451	582.821	233.128
<b>TOTALE</b>	<b>4.156.043</b>	<b>1.565.418</b>	<b>2.590.625</b>	<b>1.036.250</b>
<b>%</b>	<b>100%</b>	<b>38%</b>	<b>62%</b>	<b>40%</b>

Tabella 18: Ricostruzione effetto termico utile solo riscaldamento e solo riscaldamento pad. Verde.

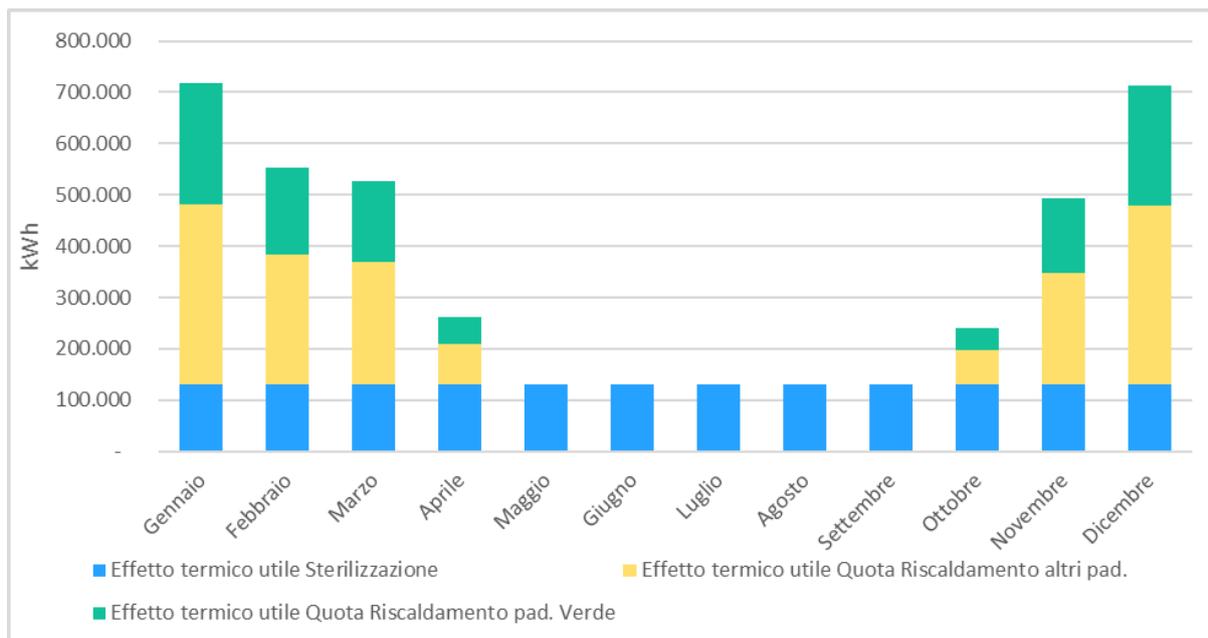


Figura 38: Ricostruzione effetto termico utile sterilizzazione e ACS, riscaldamento altri padiglioni e riscaldamento pad. Verde.

### 3.3.1 Baseline di consumo

Per avere un dato di confronto tra i consumi registrati nel periodo di attuazione Enerbrain nella stagione invernale 2020-2021 si è costruito un modello di regressione basato sulla media dei consumi pregressi e dei gradi giorno del quadriennio precedente. Per avere un confronto sia in termini di S<sub>mc</sub> che di mc si riportano entrambe le rette di regressione con la relativa equazione.

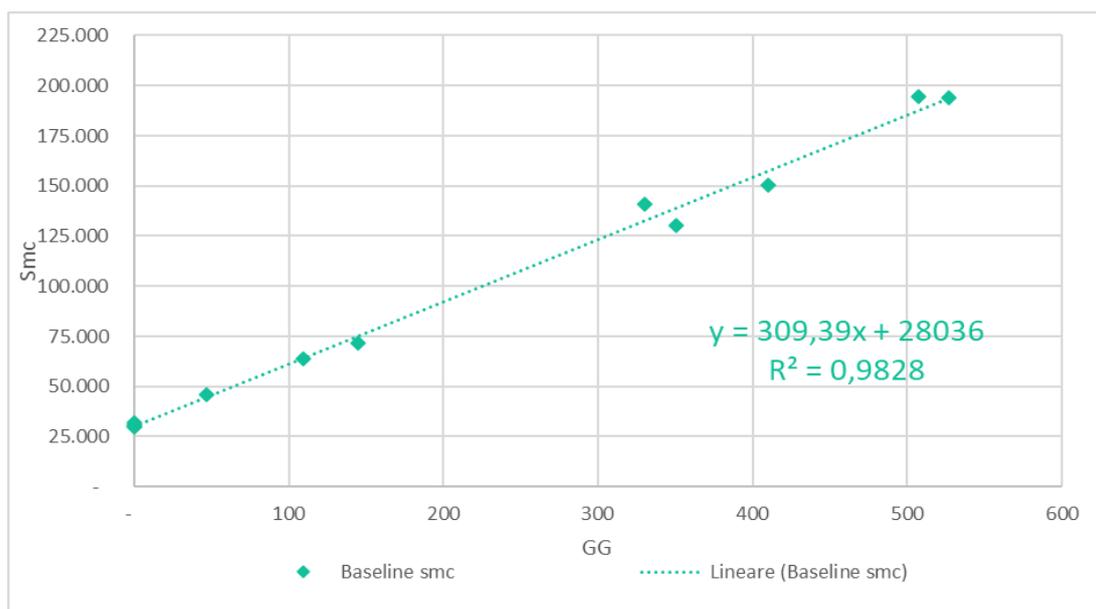


Figura 39: Baseline ricostruita in S<sub>mc</sub>

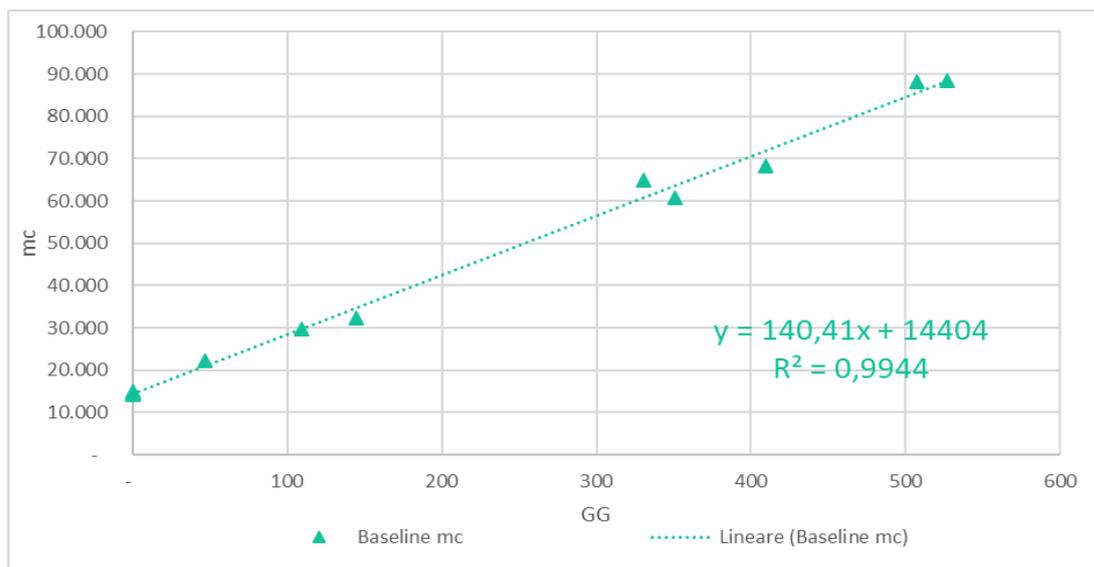


Figura 40: Baseline ricostruita in mc.

### 3.4 Analisi dei costi

Per calcolare il costo imputabile alle diverse voci di consumo si fa riferimento alle informazioni condivise dal cliente sul costo unitario medio complessivo del gas metano da lui dichiarato pari a 0.32 €/Smc. Si riporta di seguito la spesa mensile registrata dei quattro anni di analisi e la media complessiva. Per il mese di dicembre 2020 manca il dato poiché, come già detto, fa parte del periodo di attuazione del sistema di efficientamento.

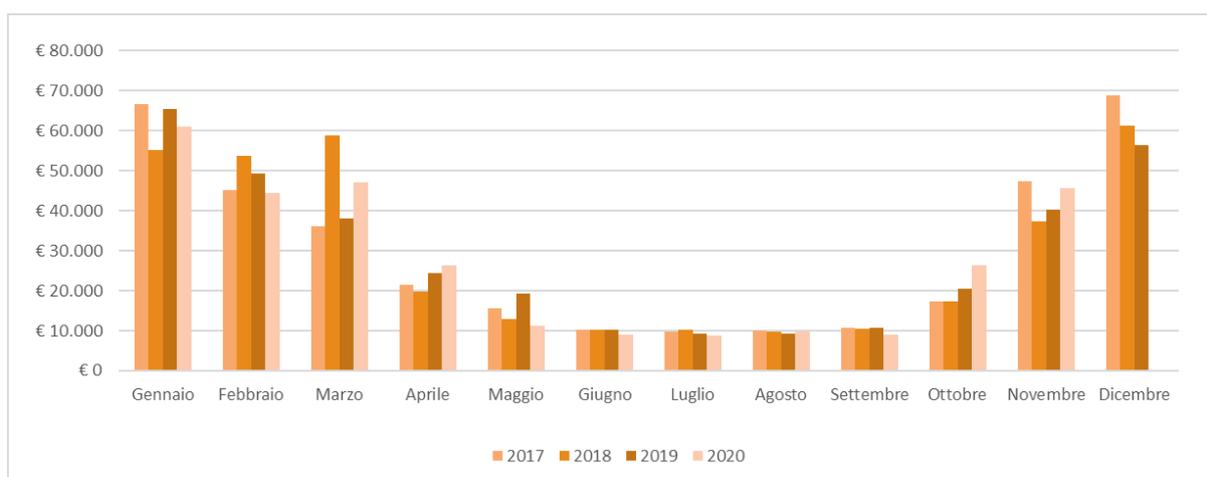


Figura 41: Andamento spesa mensile per la fornitura di gas metano dei quattro anni in esame del presidio Ospedaliero.

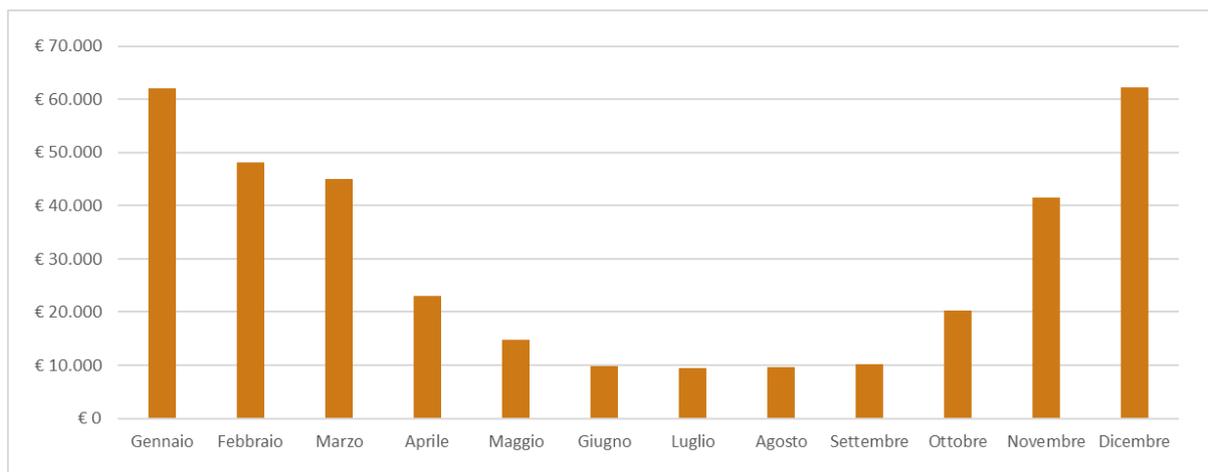


Figura 42: Andamento spesa mensile media dei quattro anni per la fornitura di gas metano del presidio Ospedaliero.

Come per l'analisi dei consumi, anche per i costi è stata ricostruita la spesa imputabile nella percentuale del 65% al solo riscaldamento, con una spesa media riconducibile alla sola sterilizzazione e ACS di 10.800 €. Mentre si è attribuito un costo pari al 40% per il riscaldamento del solo padiglione Verde rispetto a quello di tutto il complesso Ospedaliero.

2017-2020	Spesa Totale €	Spesa Sterilizzazione e ACS €	Spesa Riscaldamento €	Spesa Risc. Pad. Verde €
Gennaio	62.090	10.794	51.296	20.518
Febbraio	48.171	10.794	37.376	14.951
Marzo	45.059	10.794	34.265	13.706
Aprile	22.978	10.794	12.183	4.873
Maggio	14.707	10.794	0	0
Giugno	9.887	10.794	0	0
Luglio	9.506	10.794	0	0
Agosto	9.690	10.794	0	0
Settembre	10.182	10.794	0	0
Ottobre	20.346	10.794	9.551	3.821
Novembre	41.605	10.794	30.810	12.324
Dicembre	62.202	10.794	51.408	20.563
<b>TOTALE</b>	<b>356.422</b>	<b>129.532</b>	<b>226.890</b>	<b>90.756</b>
%	<b>100%</b>	<b>36%</b>	<b>64%</b>	<b>40%</b>

Tabella 19: Ricostruzione spesa sterilizzazione, solo riscaldamento e solo riscaldamento pad. Verde.

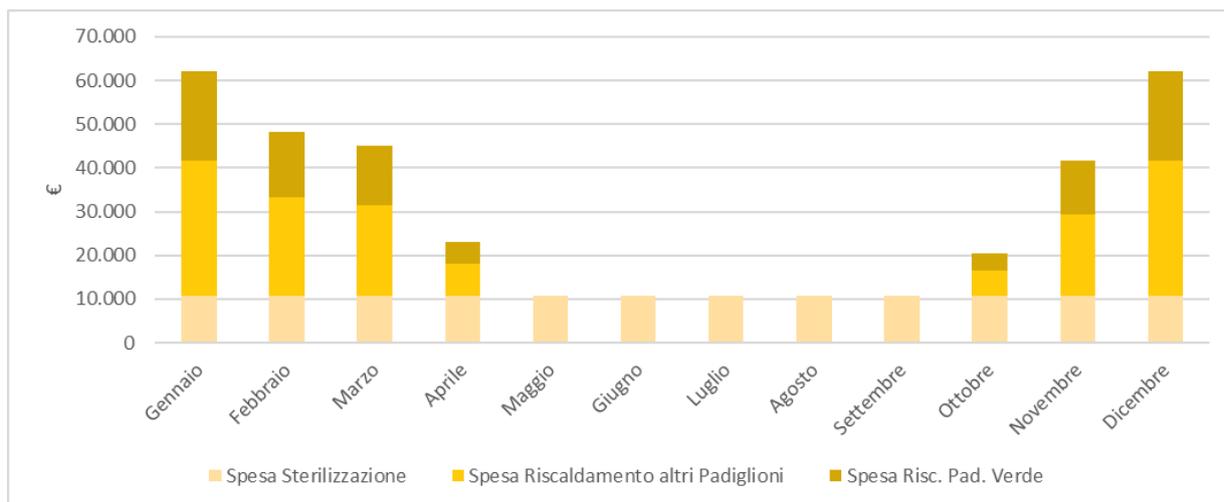


Figura 43: Ricostruzione spesa sterilizzazione e ACS, riscaldamento altri padiglioni e riscaldamento pad. Verde.

Questa ricostruzione dei consumi sarà fondamentale nei prossimi capitoli poiché il calcolo del risparmio sarà fatto sul consumo e sulla spesa complessivi di fornitura di gas metano ma sarà da ricondurre al solo riscaldamento del padiglione Verde sul quale sarà applicata la soluzione di efficientamento del progetto pilota.

# Capitolo 4

## 4.1 La società Enerbrain s.r.l.

Enerbrain è una società internazionale fondata a Torino nel 2015 da quattro giovani ideatori con un'esperienza pregressa nell'ambito dell'ingegneria, del design sostenibile e della cibernetica. La società ha brevettato un sistema di regolazione dinamica per i sistemi di condizionamento al fine di migliorare il comfort degli ambienti chiusi, ridurre i consumi per il riscaldamento, il raffrescamento e la ventilazione e abbattere le emissioni di CO<sub>2</sub>.

Il funzionamento di questa soluzione si basa sull'utilizzo di sensori, di un algoritmo di ottimizzazione, di attuatori e di un pannello di controllo.

I sensori sono chiamati eSense e sono progettati per monitorare continuamente temperatura, umidità e qualità dell'aria attraverso i ppm di CO<sub>2</sub>. Sono equipaggiati da una batteria ricaricabile con autonomia fino a quattro anni e non necessitano di cablaggio o di modifiche all'impianto preesistente. La connettività attraverso la quale gestiscono i dati di misurazione è di tipo Sigfox o LoRa.

Tutti i dati raccolti sono successivamente inviati e controllati da un algoritmo di ottimizzazione in *cloud* ideato dal Team Enerbrain che determina i parametri ottimali mentre affina la sua intelligenza di calcolo grazie all'apprendimento automatico (o *machine learning*). Tale algoritmo *cloud-based* è di natura adattativa e predittiva grazie all'utilizzo di:

- setpoint desiderati, come ad esempio la temperatura interna richiesta nei locali;
- variabili esterne, come le previsioni meteo;
- variabili in tempo reale come la temperatura ambiente o la temperatura di mandata.

I parametri calcolati secondo l'intelligenza artificiale sono inviati agli attuatori che sono in grado di controllare gli impianti HVAC. Tali attuatori, identificati come eNode, sono in grado di gestire da remoto qualsiasi dispositivo che sia a 24V o 220V con amperaggio tra i 4 e 20 mA. Questi dispositivi, attraverso la connettività di rete 3G/4G con VPN integrata, possono gestire valvole, serrande o inverter secondo una modulazione variabile oppure, nella versione relais, possono accendere o spegnere parti dell'impianto come caldaie o ventilatori.

Per avere un controllo del consumo elettrico degli impianti si utilizza invece un registratore di dati (o *datalogger*), denominato eGauge, che è installato nel quadro elettrico e identifica

fattori di potenza, problemi e anomalie della linea elettrica grazie al monitoraggio dello sfasamento dell'impianto.

La connettività degli eGauge e degli eNode è gestita tramite wifi da rete 3G oppure Ethernet attraverso l'eGateway che è progettato per generare una rete wifi dedicata che, grazie ad un antenna esterna, garantisce una connessione affidabile anche in luoghi più isolati.

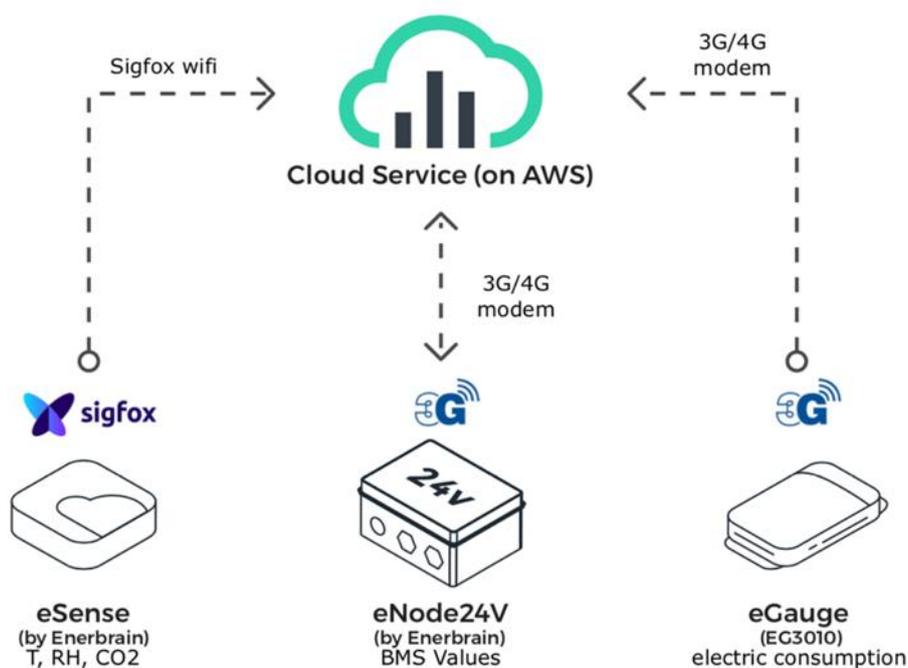


Figura 44: Schema della connettività dei componenti connessi al Cloud Service di Enerbrain.

Nel caso in cui nell'impianto dell'edificio sia presente un PLC BMS, si ricorre all'utilizzo di un quadro elettrico specifico, chiamato ePLC, che lo gestisce e lo controlla tramite gli algoritmi Enerbrain comunicando con protocolli di tipo Modbus o BACnet.

Infine, affinché il gestore dell'impianto possa monitorare tutti i dati raccolti e gestire i dati di regolazione in tempo reale, si utilizza il pannello di controllo costituito da una dashboard completa disponibile da pc e tablet con un'interfaccia semplice e personalizzabile che consente a più utenti di gestire il singolo edificio o il parco immobiliare con dati liberamente scaricabili e allarmi autonomamente impostabili<sup>41</sup>.

I campi di applicazione della soluzione Enerbrain sono molteplici ad esempio nell'industria, con l'obiettivo di ottimizzare i processi produttivi con una manutenzione predittiva, nella vendita al dettaglio e nei luoghi di svago, poiché la qualità dell'aria migliora lo stato d'animo. È inoltre di grande impatto negli uffici, dove la scarsa qualità dell'aria ha effetti negativi sul

<sup>41</sup> <https://app.enerbrain.com/>

benessere e sulla produttività e nel settore alberghiero e della ristorazione dove il mantenimento dello stato di comfort migliora il servizio atteso.

Infine, si può citare il settore della sanità, dove il miglioramento delle performance dei sistemi HVAC porta non solo alla riduzione dei costi operativi ma aumenta l'efficienza del personale e riduce i tempi di degenza ospedaliera grazie al miglioramento delle condizioni di comfort.

## 4.2 Gestione Enerbrain

Il prodotto Enerbrain, descritto nel paragrafo precedente secondo tutte le sue componenti, si può distinguere in due parti ovvero il monitoraggio ed il controllo dove l'utilizzo di una o dell'altra definisce diversi ambiti di intervento al quale può essere applicata.

L'EMS (*Energy Management System*) è un sistema di monitoraggio energetico e ambientale che permette di raccogliere dati in tempo reale sull'utilizzo di vettori energetici fornendo strumenti decisionali di tipo ingegneristico ed economico-statistico per l'efficientamento energetico. Tali sistemi possono portare ad un risparmio dal 3 a 7% grazie alla sola gestione delle misure comportamentali senza altri investimenti<sup>42</sup>.

Il BACS (*Building Automation and Control System*) è invece un sistema di automazione e di controllo degli edifici sempre nell'ambito dei sistemi HVAC e dell'illuminazione. Secondo la norma UNI EN 15232<sup>43</sup> del 2017, questi sistemi possono portare ad un risparmio dal 4 al 40 % rispetto a sistemi di controllo di termoregolazione senza logiche predefinite.

L'unione dei precedenti sistemi, che sono l'insieme dei due rami di monitoraggio e controllo definiti dalla soluzione Enerbrain, definiscono il BEMS (*Building Energy Management System*) che è una soluzione di gestione dell'edificio dal punto di vista non solo del comfort ambientale ma anche del risparmio energetico fino al 50%<sup>44</sup>.

Il controllo dei sistemi HVAC attraverso quest'ultimo sistema può essere gestito in due modi differenti.

---

<sup>42</sup> Chiesa V, Chiaroni D., Frattini F., *Energy Efficiency Report*, vol. ENERGY & S. 2014.

<sup>43</sup> Norma UNI EN 15232, *Prestazione energetica degli edifici - Parte 1: Impatto dell'automazione, del controllo e della gestione tecnica degli edifici*.

<sup>44</sup> Whiffen T.R., Naylor S., Hill J., Smith L., Callan P.A., Gillott M., Wood C.J., Riffat S.B., *A concept review of power line communication in building energy management systems for the small to medium sized non-domestic built environment*, vol. 64, pp. 618–633, 2016.

- il *Man-in-the-middle* è un sistema che gestisce i BMS o controllori locali come PLC sulle singole valvole attraverso strumenti di controllo, precedentemente identificati come eNode, che elaborano una strategia di attuazione attraverso l'algoritmo in *cloud*.
- il controllo *as-a-Service* permette invece di modificare il funzionamento del BMS esistente applicando delle logiche in *cloud* più accurate del solo utilizzo di un calendario con definizione di set point variabili giornalmente. Quando invece questo risulta assente si può implementare un BMS attraverso l'utilizzo della web app di Enerbrain e delle logiche in *cloud* dettagliate per lo specifico edificio, andando quindi a sviluppare un BEMS *cloud*.

### 4.3 Analisi preliminare

Fino a questo punto è stato descritto lo stato di fatto dell'edificio e il consumo pregresso al quale andrà applicato il progetto pilota in esame in questo lavoro di tesi.

Come approfondito nel capitolo precedente il sistema HVAC del padiglione Verde dell'ospedale di non risulta gestito in modo dinamico, ma presenta alcune unità per le quali il controllo è di tipo manuale oppure assente. Solo l'UTA dialisi e l'UTA ginecologia sono gestite da un sistema BMS. A questo proposito si è effettuata un'analisi preliminare per individuare le diverse tipologie di componenti di controllo esistenti in modo tale da poterle integrare con delle nuove installazioni per poi gestirne il controllo attraverso l'*energy cloud* di Enerbrain precedentemente discusso. Di seguito si riporta la lista dei circuiti in esame con la relativa componentistica già esistente.

Circuito	Tipologia di componente	Marca / Modello
Pannelli radianti est	V3V mix	Belimo EV230A-TPC
Pannelli radianti ovest	V3V mix	Belimo EV230A-TPC
UTA Diagnostica	V3V post acqua calda	Siemens SKB62
UTA Dialisi PT-2-4	V3V pre acqua calda	Siemens SKD60
	V3V post acqua calda	Siemens SAS61
Radiatori	V3V mix	Siemens SQS65
Fancoil	V3V mix	Siemens SAX61
UTA Ginecologia	V2V pre acqua calda	Siemens SSC61
	V2V post acqua calda	Siemens SSC61
UTA Dialisi PT-2-4	Inverter mandata	Siemens Sinamics CUPM230P-2 BT
	Inverter espulsione PT	Siemens Sinamics CUPM230P-2 BT
Caldaia	Deviazione caldaia	Honeywell ML7421B3003

Tabella 20: Lista componentistica preesistente di controllo dei componenti oggetti del pilota.

L'inverter di espulsione dell'UTA dialisi al piano terra, in sede di sopralluogo, è stato identificato come spento poiché effetti elettromagnetici non permettono il funzionamento di apparecchiature vicino alle quali passa il cavo di alimentazione. Si è osservato inoltre che sull'UTA muraria e sull'UTA medicina nucleare non vi è nessuna tipologia di componentistica funzionante per la regolazione della portata o della ventilazione. Al riguardo, per avere il controllo sulle due unità appena citate, per l'attivazione del pilota sono stati installati dei nuovi componenti di controllo riportati nella tabella seguente.

Circuito	Tipologia di componente	Marca / Modello
UTA Muraria	V2V pre acqua calda-vapore	Valvola Controlli 2FGA40 DN40 Attuatore Controlli MVE515
	V3V post acqua calda nord	Valvola Controlli VMB5 1"1/4 Attuatore Controlli MVE515
	V3V post acqua calda sud	Valvola Controlli VMB8A 2" Attuatore Controlli MVE515
UTA Medicina Nucleare	V3V pre acqua calda	Valvola Controlli 3FGB40 DN40 Attuatore Controlli MVE515
	V3V post acqua calda	Valvola Controlli 3FGB40 DN40 Attuatore Controlli MVE515

Tabella 21: Lista componentistica di nuova installazione di controllo dei componenti oggetti del pilota



Figura 45: In ordine partendo dall'alto in senso orario V2V pre AC-vapore (UTA muraria), V3V post AC nord/sud (UTA muraria) e V3V pre/post AC (UTA medicina nucleare).

Si riportano di seguito i controlli sui quali sarà attivo il sistema di *energy cloud* per le UTA già discusse, suddivisi in base alla disposizione all'interno del padiglione in esame.

#### LOCALE CENTRALE TECNICA P-1:

- UTA muraria, controllo ventilatori ON/OFF, modulazione valvole di preriscaldamento vapore e post riscaldamento acqua calda nord e sud;
- UTA diagnostica, controllo ventilatori ON/OFF, modulazione di valvole pre e post riscaldamento acqua calda.

#### LOCALE TETTO CENTRALE TECNICA P0:

- UTA medicina nucleare, controllo ventilatori ON/OFF, modulazione di valvole pre e post riscaldamento acqua calda.

#### LOCALE SOPPALCO TETTO P0:

- UTA dialisi PT-1-2-3, controllo modulante ventilatori, modulazione di valvole pre e post riscaldamento acqua calda.

#### LOCALE TECNICO 226 P4 EST:

- UTA ginecologia, controllo ventilatori ON/OFF (in bypass), modulazione di valvole pre e post riscaldamento acqua calda.

In centrale termica, sul sistema di deviazione della caldaia è stato installato il sistema di controllo sulla valvola a tre vie.

Di seguito si riporta la lista dei dispositivi Enerbrain, discussi nel paragrafo precedente, installati nel padiglione Verde del presidio Ospedaliero.

Tipologia	Materiale installato	Quantità
Sensoristica	eSense T, RH	33
	eSense T, RH, CO2	22
	eSense PT	11
Attuazione	eNode 220	2
	eNode 24R	6
	eNode 24	15
	ePLC (per lettura contatermie)	1
Moduli di comunicazione	eGateway	2
	Base station Sigfox	1
Monitoraggio contatori	Convertitore RS485 - TCP	1

Tabella 22: Dispositivi Enerbrain installati.

## 4.4 Applicazione del sistema di *energy cloud*

Per la gestione dei circuiti idronici primari e secondari il sistema controlla gli eNode che comandano le valvole 0-10V attraverso il controllo della temperatura di mandata del circuito monitorato con l'ausilio di sonde eSense di tipo pt inserite nei pozzetti dei condotti.

Per quanto riguarda invece le componenti delle UTA si controlleranno le batterie del pre e post riscaldamento agendo sull'apertura modulare delle valvole sempre in 0-10V.

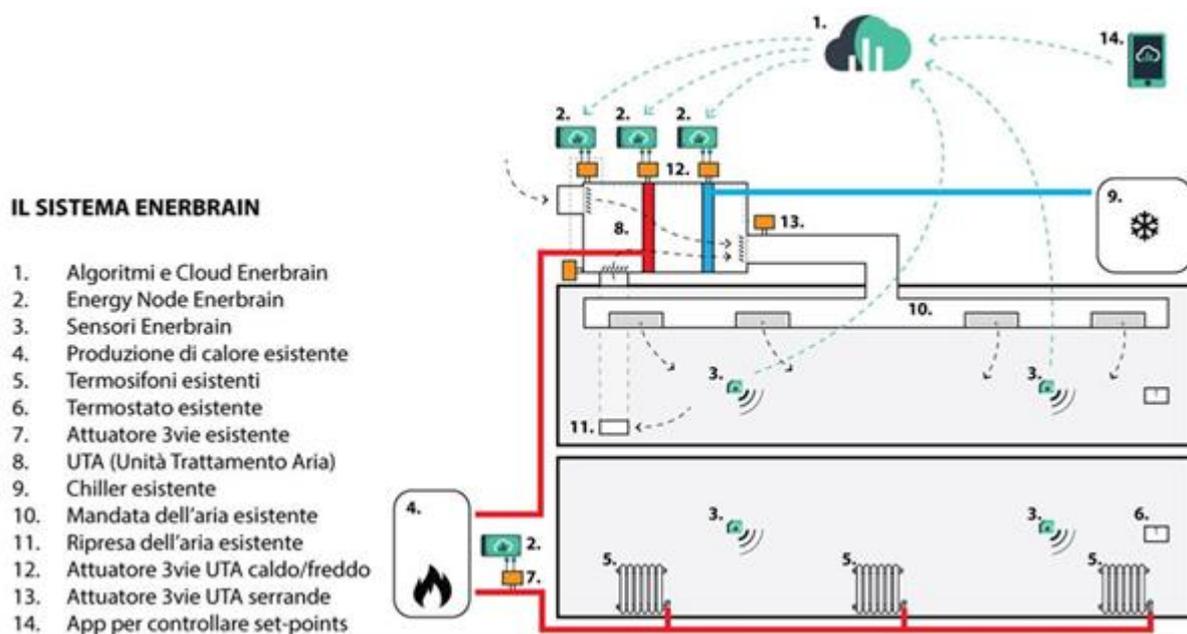


Figura 46: Esempio schematizzato di applicazione del sistema Enerbrain.

Si definiscono quindi le aree, dedicate ognuna ad un circuito primario o secondario e alle diverse UTA all'interno delle quali sono definite le diverse componenti gestite con l'aggiunta di due aree di solo monitoraggio relative all'UTA blocco operatorio al piano 4 e all'UTA degenze al piano 2 sulle quali non si ha nessuna attuazione.

Per le altre aree si definiscono invece i valori di temperatura ambiente di set point e l'orario di accensione dei circuiti. Si osserva che i circuiti sono tutti h24 escluso quello dell'UTA medicina nucleare e dell'UTA diagnostica che sono accesi rispettivamente dalle 05:00-19:00 e dalle 05:00-22:00 con una temperatura minima di fuori comfort di 17 °C poiché ridurre

eccessivamente le temperature negli orari di spegnimento porta ad un maggiore dispendio energetico.

ID area	Circuito	Componente	Temp. di set point [°C]	Orario
A001	Caldaia	Valvola Deviatrice	-	00:00 - 24:00
A002	UTA Muraria pre AC	Preriscaldamento	23,5	00:00 - 24:00
A003	UTA Muraria post AC - NORD	Postriscaldamento	23,5	00:00 - 24:00
		Ventilazione Di Mandata	-	-
A004	UTA Muraria post AC - SUD	Postriscaldamento	23,5	00:00 - 24:00
		Ventilazione Di Mandata	-	-
A005	Pann. Rad. NORD	Valvola Miscelazione	23,5	00:00 - 24:00
A006	Pann. Rad. SUD	Valvola Miscelazione	23,5	00:00 - 24:00
A007	UTA Medicina Nucleare OVEST	Preriscaldamento	22,5	05:00 - 19:00
		Postriscaldamento	-	-
		Ventilazione Di Mandata	-	-
A008	UTA Diagnostica OVEST	Postriscaldamento	22,5	05:00 - 22:00
		Ventilazione Di Mandata	-	-
A009	UTA Dialisi (PT-1-2-3) OVEST	Preriscaldamento	22,5	00:00 - 24:00
		Postriscaldamento	-	-
		Ventilazione Di Mandata	-	-
		Ventilazione Di Ripresa	-	-
A010	Fancoils OVEST, P4 EST	Valvola Miscelazione	22,5	00:00 - 24:00
A011	UTA Ginecologia EST	Preriscaldamento	22,5	00:00 - 24:00
		Postriscaldamento	-	-
		Ventilazione Di Mandata	-	-
		Ventilazione Di Ripresa	-	-
A012	UTA Bl. Oper. OVEST (NO CONTROLLO)	-	-	-
A013	Radiatori	Valvola Miscelazione	22	00:00 - 24:00
A014	UTA Degenze EST (NO CONTROLLO)	-	-	-

Tabella 23: Valori di temperatura ambiente di set point e orari di accensione dei circuiti.

Per tutte le aree sono inoltre definiti i valori minimi di apertura delle valvole che servono a garantire un flusso termico minimo di rinforzo e l'antigelo del fluido nei condotti dei circuiti esterni nei periodi con temperature esterne più rigide.

Per la gestione della caldaia, che risulta accesa h24, è stata definita una curva climatica poiché, come discusso in precedenza, il flusso termico gestito dal collettore di mandata della centrale termica è dato dall'unione del contributo del generatore d'acqua calda e delle caldaie vapore. Si è quindi definita una modulazione della temperatura di mandata dipendente dalla

temperatura esterna poiché oggettiva non solo per il padiglione Verde ma per l'intera struttura ospedaliera.

Per costruire la curva si è considerata una temperatura massima di mandata di 75 °C e una temperatura massima esterna di 20 °C. Si ottiene una regressione lineare di equazione:

$$y = -1.2x + 68$$

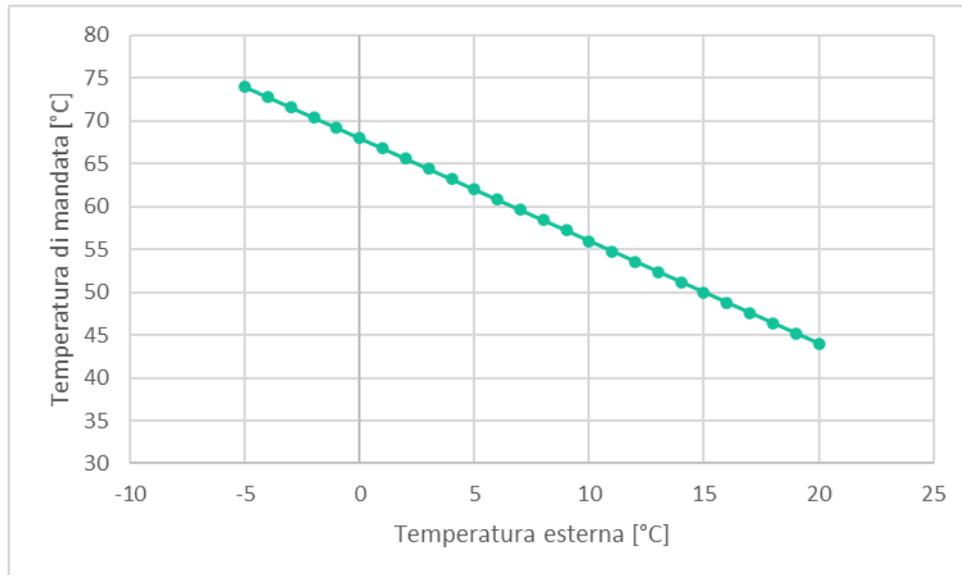


Figura 47: Curva climatica caldaia di acqua calda.

## 4.5 Monitoraggio ambientale

L'attuazione della soluzione di efficientamento sopra descritta è iniziata il primo dicembre 2020, data in cui la caldaia di acqua calda è stata accesa per integrare il flusso termico generato dallo scambiatore dei due generatori di vapore che fino a quel momento erano sufficienti per produrre vapore per sterilizzazione e riscaldamento del complesso ospedaliero. A questa fase è preceduta una preliminare di monitoraggio iniziata il 22 ottobre, data di installazione dei dispositivi Enerbrain, dove il sistema risultava in bypass. Questo periodo è stato utile per comprendere le logiche di regolazione già presenti e per visualizzare gli eventuali comandi generati dal *cloud*, nonché per monitorare le temperature registrate in ambiente. Di seguito si riportano alcuni grafici estrapolati dalla *dashboard* di controllo della *webapp* Enerbrain nel periodo 22/10 – 04/11, dove si sono ricostruiti i valori medi delle temperature suddivise per piano, area di riferimento ed esposizione.

Al piano interrato -2 si sono tracciati i diversi profili di temperatura media su sette eSense distribuiti tra l'area UTA medicina nucleare a ovest e le aree di UTA muraria e pannelli radianti a est.

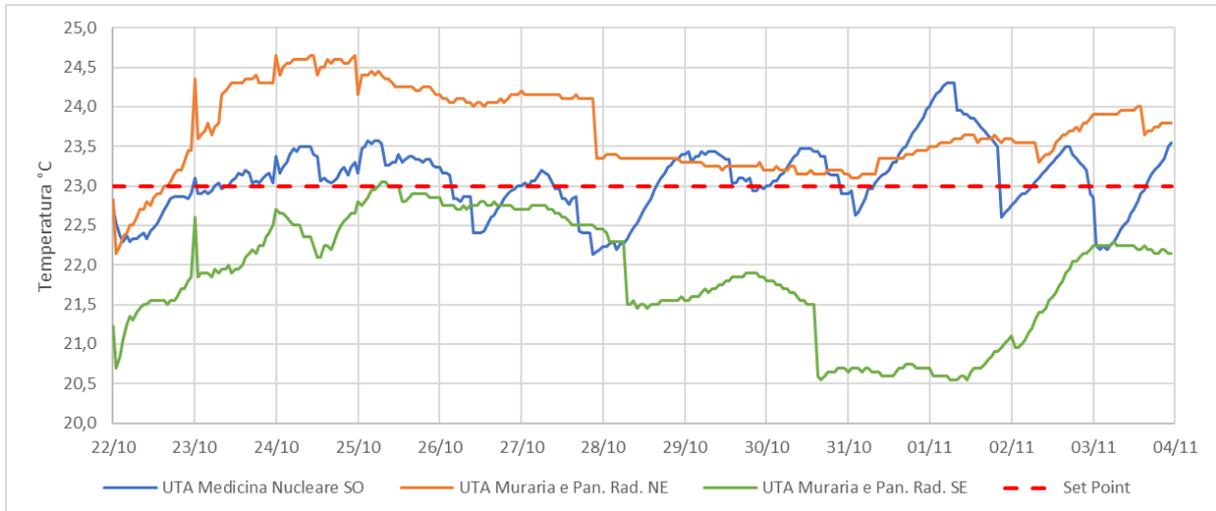


Figura 48: Distribuzione media oraria delle temperature al piano interrato -2 del padiglione Verde.

Si osserva che rispetto ad una temperatura di set point di 23 °C ci sono forti discostamenti con temperature massime intorno ai 24,5 °C e minime di 20,5 °C con temperature medie esterne di circa 11°C.

Al piano interrato -1, con l'UTA diagnostica a ovest e l'UTA muraria e pannelli radianti a est su otto sensori si registrano forti discostamenti negativi rispetto al set point con temperature minime di 20,5°C con picchi di 26 °C.

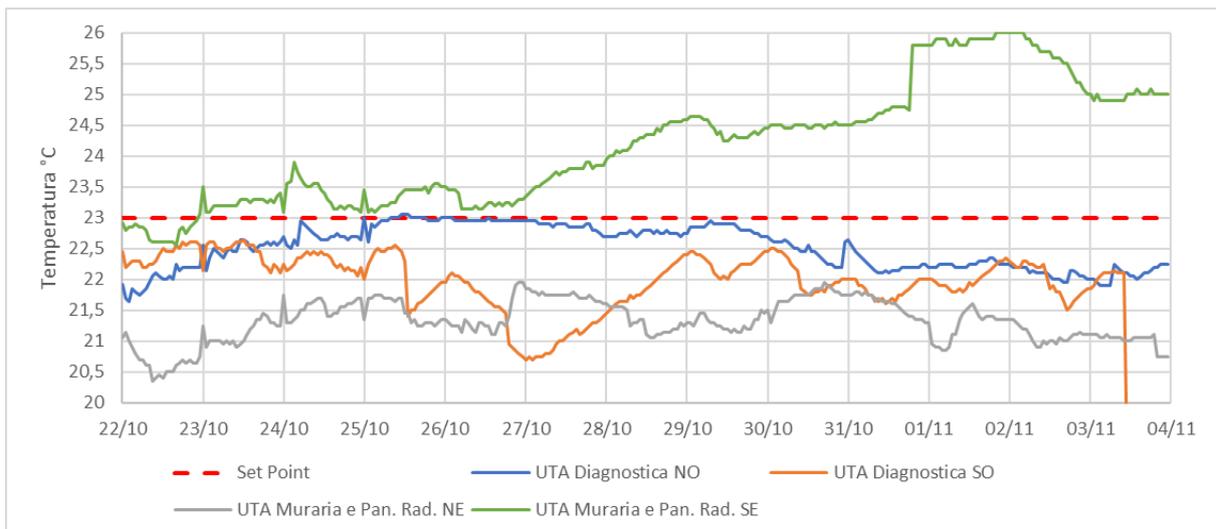


Figura 49: Distribuzione media oraria delle temperature al piano interrato -1 del padiglione Verde.

Al piano 0 in tutte le aree presenti distinte in UTA dialisi e circuito radiatori a ovest e UTA muraria e pannelli radianti a est le temperature registrate dai sei eSense eccedono il set point sfiorando temperature oltre i 26 °C.

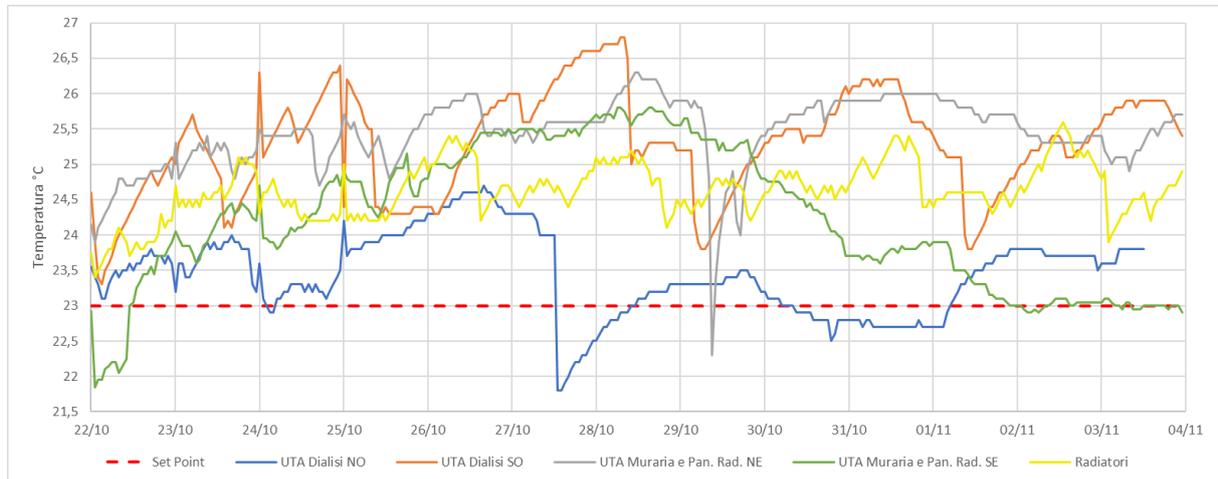


Figura 50: Distribuzione media oraria delle temperature al piano 0 del padiglione Verde.

Ai piani 1, 3, 5 e 6, sui quali incidono solo l'UTA muraria e i pannelli radianti, si osservano, con diciannove sensori equamente distribuiti, temperature fortemente discostanti rispetto al set point con temperature minime che al primo piano sfiorano i 19 °C e massime che al sesto piano sfiorano i 28 °C.

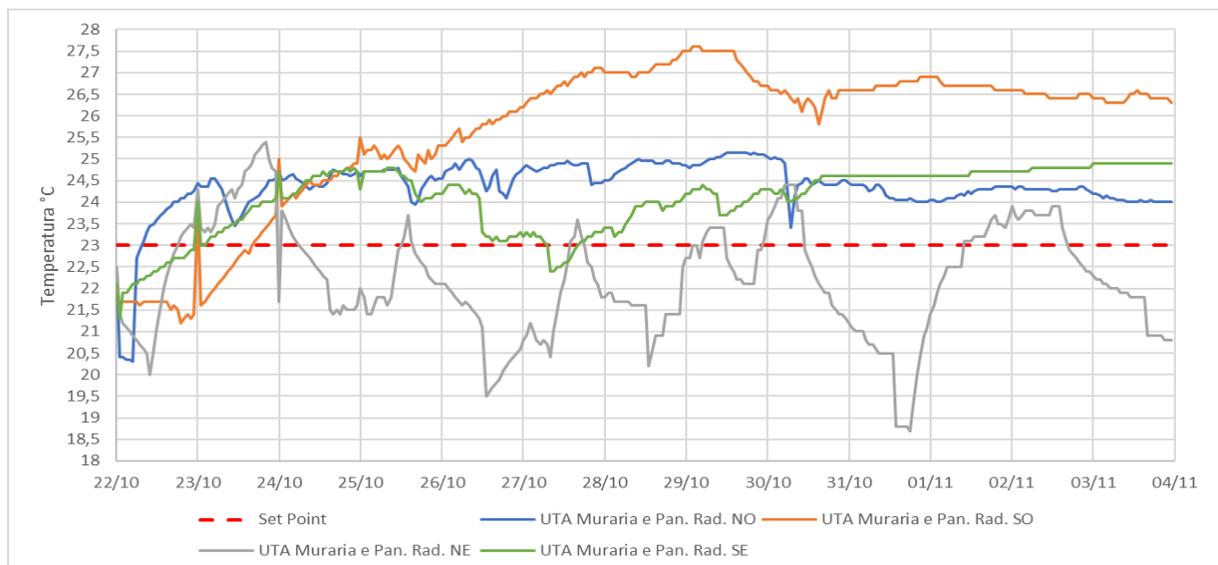


Figura 51: Distribuzione media oraria delle temperature al piano 1 del padiglione Verde.



Figura 52: Distribuzione media oraria delle temperature al piano 3 del padiglione Verde.



Figura 53: Distribuzione media oraria delle temperature al piano 5 del padiglione Verde.

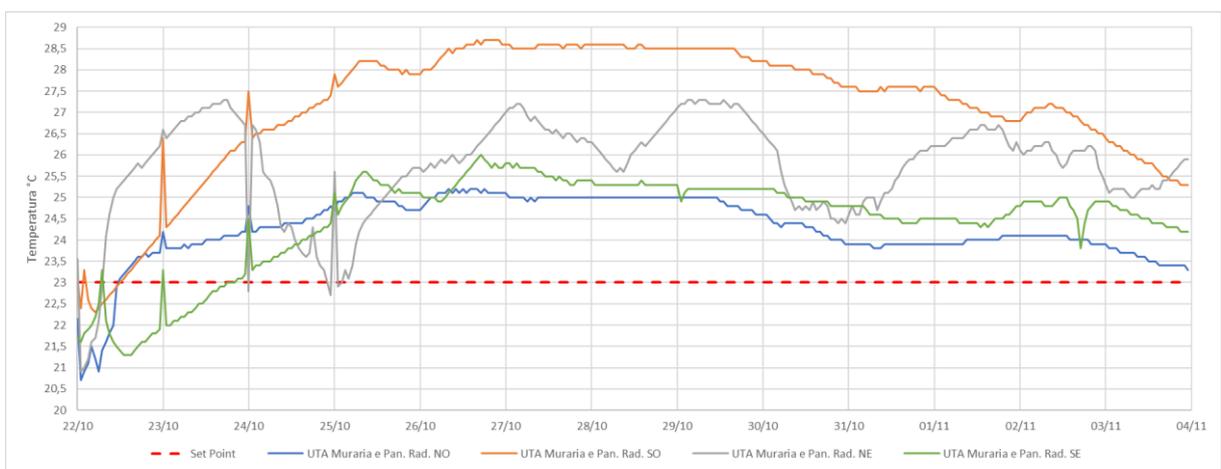


Figura 54 :Distribuzione media oraria delle temperature al piano 6 del padiglione Verde.

Al piano 2 nelle aree di UTA dialisi e circuito radiatori e UTA degenze si osservano ancora temperature elevate intorno ai 25 °C con temperature minime di 21 °C con l'ausilio di sei eSense.

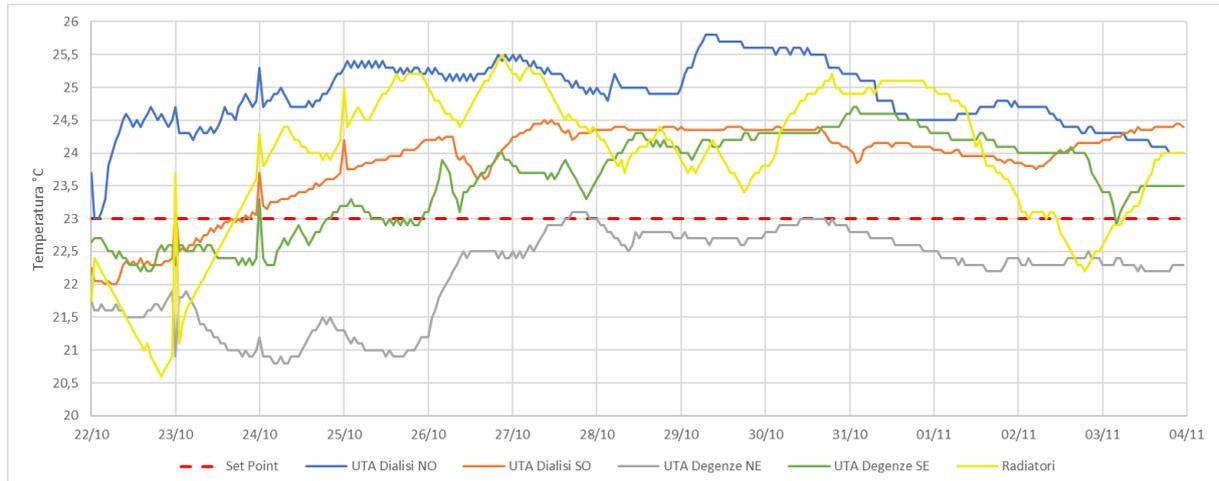


Figura 55: Distribuzione media oraria delle temperature al piano 2 del padiglione Verde.

Al piano 4, infine, si osserva una distribuzione non omogenea delle otto sonde con temperature fortemente oscillati tra 21 e 26 °C.

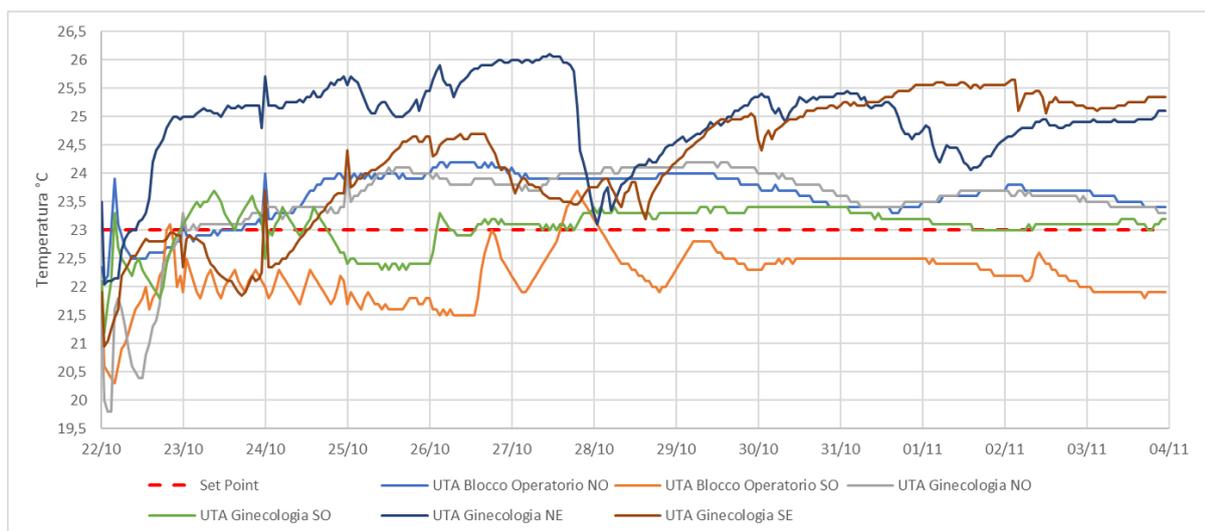


Figura 56: Distribuzione media oraria delle temperature al piano 4 del padiglione Verde.

### 4.5.1 Monitoraggio altri padiglioni

Per i restanti padiglioni del presidio Ospedaliero si è stimata la dotazione sensoristica ambientale attraverso eSense in base al numero e alla tipologia dei componenti impiantistici da controllare e prendendo in considerazione le esigenze del cliente in relazione ai requisiti Consip. Questi ultimi sono soddisfatti con l'utilizzo di 29 sensori standard di temperatura e umidità relativa e 9 sensori di temperatura, umidità relativa e CO<sub>2</sub>. L'installazione di questi ulteriori sensori è stata ultimata in data 29 gennaio 2021. In merito a questa installazione è stata creata una nuova *dashboard* di controllo sul sito Enerbrain per monitorare le condizioni ambientali ed il comfort poiché la regolazione della caldaia d'acqua calda della centrale termica ricade anche su questi padiglioni.

## 4.6 Monitoraggio e controllo attuazione

Il primo dicembre 2020, come riportato nei paragrafi precedenti, il sistema di attuazione è entrato in funzione sul padiglione Verde dell'ospedale. Per avere i migliori risultati sulle prestazioni dell'impianto ed il mantenimento delle condizioni di comfort il monitoraggio è stato giornaliero.

La gestione delle valvole di miscelazione dei circuiti primari e secondari di distribuzione e quella delle valvole dei pre e post riscaldi delle unità di trattamento aria sono regolate in base alle temperature ambienti a loro volta regolate in base alla temperatura di mandata sulle quali sono stati imposti dei limiti massimi e minimi di apertura per avere un controllo sul flusso termico. Per ottenere il miglior risultato di regolazione si è talvolta ricorso alla variazione di tali vincoli per mantenere i valori di temperatura ambiente intorno al set point.

Per il monitoraggio delle temperature ambienti e di mandata, insieme alla dashboard della *webapp* di Enerbrain, si è implementato un secondo pannello di controllo attraverso il software esterno Tableau di visualizzazione grafica di dati basato sull'utilizzo di *query* di banche dati in *cloud*.

Attraverso l'estrazione dei dati registrati dalle sonde ambienti e pt installate nelle aree e sui condotti di mandata dei diversi circuiti si è monitorato l'andamento delle temperature per garantire il corretto funzionamento dell'impianto.

Si riporta di seguito la *dashboard* realizzata per diverse aree che mostra in alto i valori misurati di temperatura, umidità relativa e CO<sub>2</sub> di uno specifico sensore, identificato con uno specifico ID, per una determinata area e giorno. In basso è riportato l'andamento della temperatura di mandata con i limiti imposti di temperatura minima e massima, i quali, come si osserva, non sempre sono rispettati poiché l'obiettivo principale è quello di scaldare l'ambiente con un flusso termico sufficiente. Sono comunque valori monitorati e accettabili secondo le specifiche di funzionamento dell'impianto. Sempre in basso, per completezza, è riportata la temperatura esterna, necessaria per comprendere meglio le temperature di mandata.

I valori riportati nelle immagini estratte da Tableau in basso riportano l'andamento in tempo reale delle temperature monitorate sin dal 22 ottobre, comprendendo il periodo precedente all'attuazione del sistema di *energy cloud*.

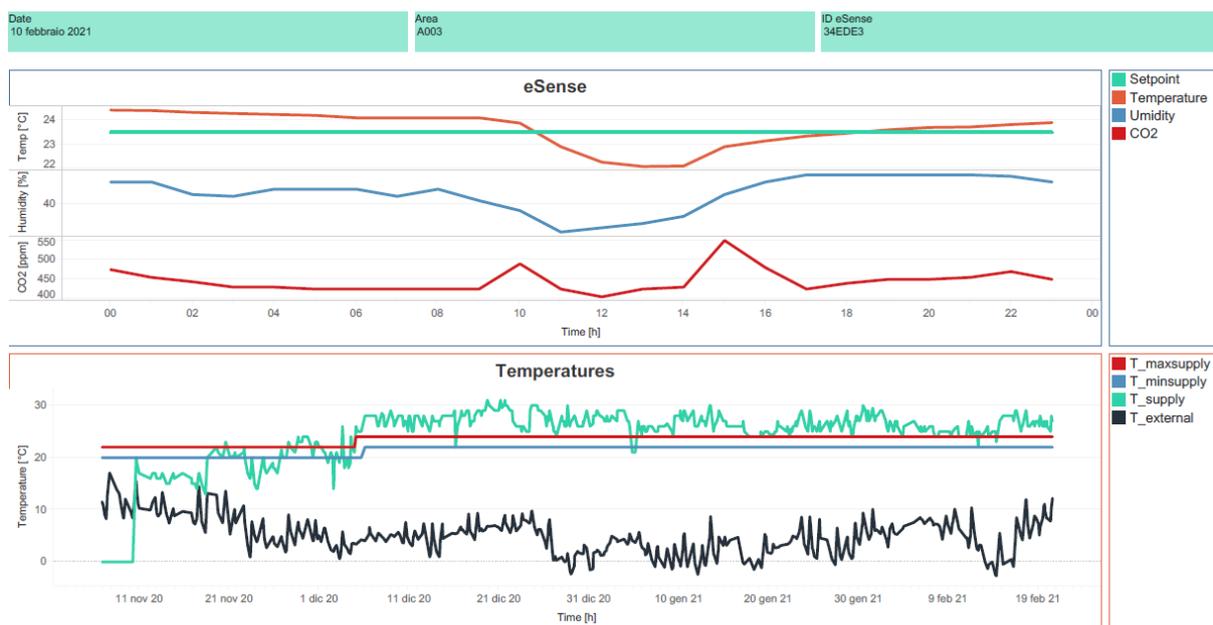


Figura 57: Videata della dashboard Tableau dell'area A003 UTA Muraria post-NORD realizzata per il monitoraggio dell'Ospedale.

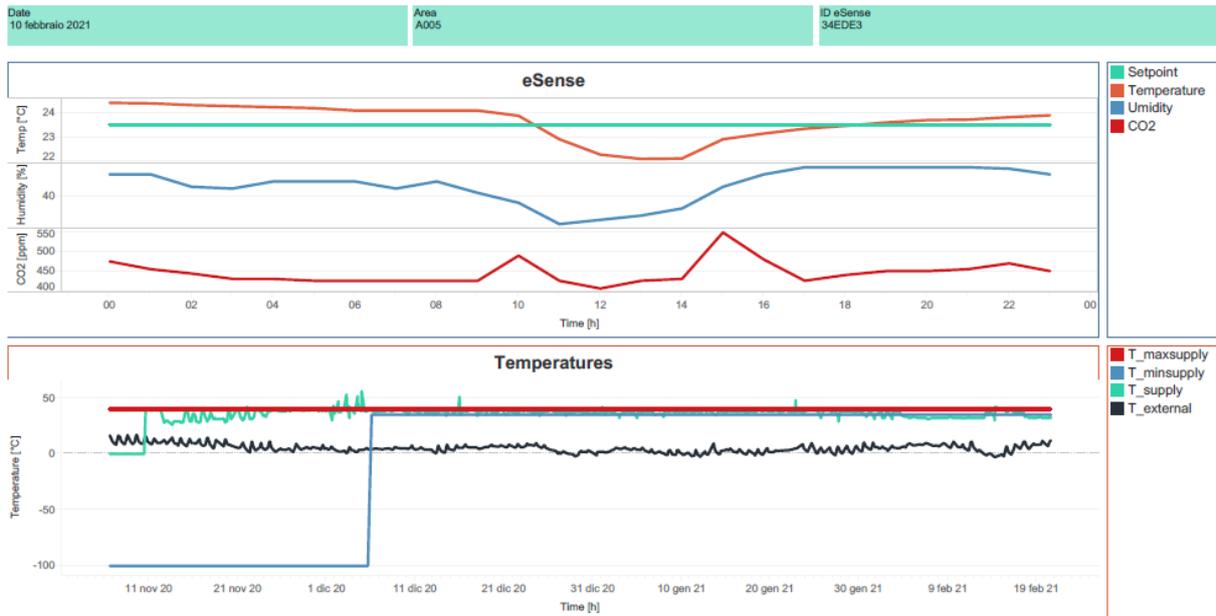


Figura 58: Videata della dashboard Tableau dell'area A005-Pannelli Radianti NORD realizzata per il monitoraggio dell'Ospedale.

Dalla videata della dashboard relativa all'area dei pannelli radianti nord si osserva che l'inserimento di un limite minimo sulla temperatura di mandata, imposto uguale a 35°C, ha permesso la riduzione dell'effetto di pendolamento che diversamente causava frequenti variazioni di temperatura con picchi di 50 °C, che per un circuito a pannelli radianti è eccessivo.

Nelle due schermate successive, relative all'UTA medicina nucleare e UTA diagnostica, si osserva che la temperatura ambiente si attesta intorno a quella di set point per il solo periodo di funzionamento dell'impianto pari rispettivamente a 9:00 – 19:00 e 9:00 – 22:00. Le temperature di mandata, come già discusso, eccedono i limiti imposti ma sempre all'interno di bande accettabili per il corretto funzionamento dell'impianto.

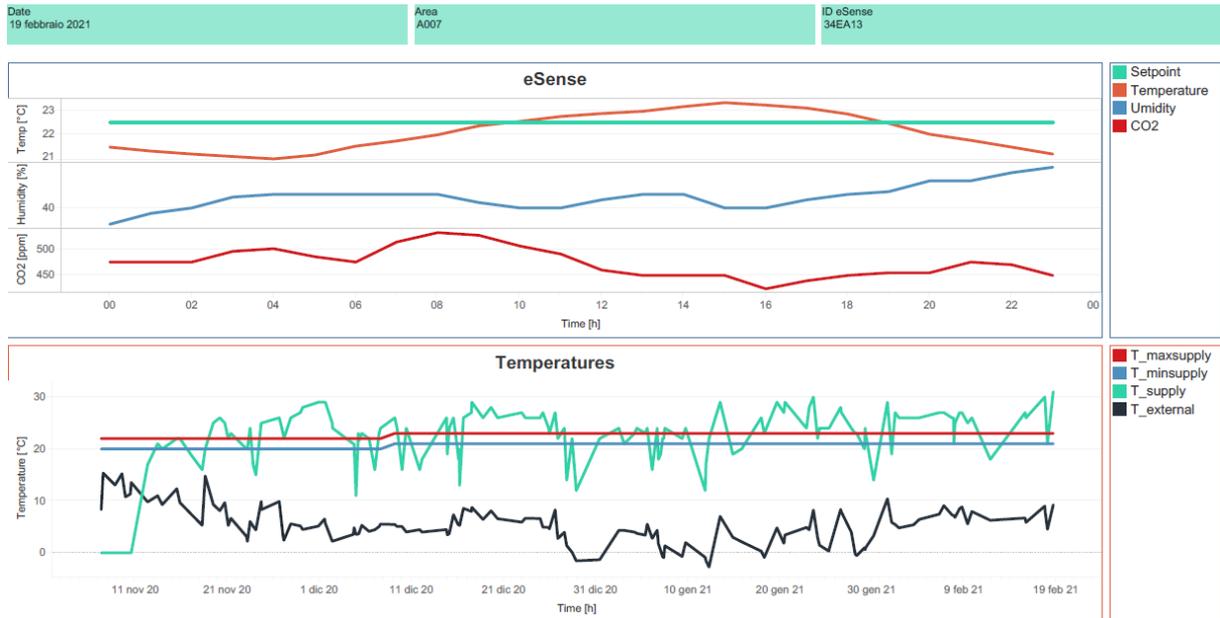


Figura 59: Videata della dashboard Tableau dell'area A007- UTA Medicina Nucleare OVEST realizzata per il monitoraggio dell'Ospedale.



Figura 60: Videata della dashboard Tableau dell'area A008- UTA Diagnostica OVEST realizzata per il monitoraggio dell'Ospedale.

L'utilizzo delle *dashboard* come strumento di monitoraggio è stato fondamentale per la gestione di tutti gli aspetti operativi legati al padiglione Verde dell'ospedale. In data 16 dicembre 2020 è stato segnalato dalla manutenzione del presidio il blocco di una delle due caldaie vapore che ha richiesto l'aumento della temperatura di mandata del generatore d'acqua calda che per una settimana ha sopperito alla mancanza di flusso termico per il riscaldamento dell'edificio.

In data 27 gennaio 2021 è stato effettuato un test sulla valvola deviatrice della caldaia d'acqua calda applicando la curva climatica sopra descritta imponendo un vincolo minimo di apertura per non incorrere in forti riduzioni di temperatura. Nella stessa data, il forte abbassamento di temperatura di mandata riscontrato dalla *dashboard* ha permesso di segnalare il malfunzionamento dell'impianto al personale manutentivo che successivamente ha individuato una perdita sul condotto di mandata del padiglione Marrone, il quale ha causato lo svuotamento dell'impianto. Il sistema di attuazione sulla caldaia è stato messo in bypass per permettere la risoluzione del problema. Nella figura successiva si riporta l'estratto della dashboard della temperatura di mandata dove si evince la forte riduzione di temperatura.

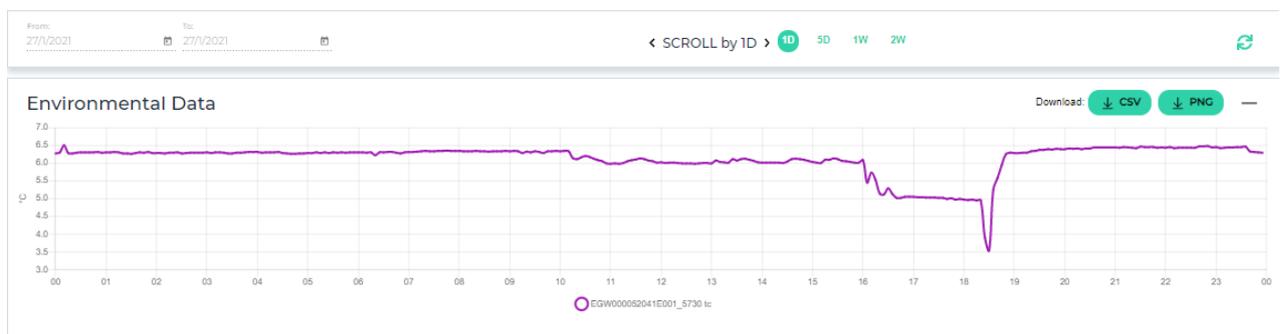


Figura 61: Estratto dashboard della temperatura di mandata della caldaia d'acqua calda. (la temperatura è ridotta di un fattore 10).

In relazione al test effettuato sulla valvola deviatrice, si riporta il monitoraggio dell'andamento della temperatura di mandata e della regolazione della valvola deviatrice fatta in funzione della curva climatica precedentemente definita. Si riporta un estratto dal 22 gennaio al 7 febbraio 2021.

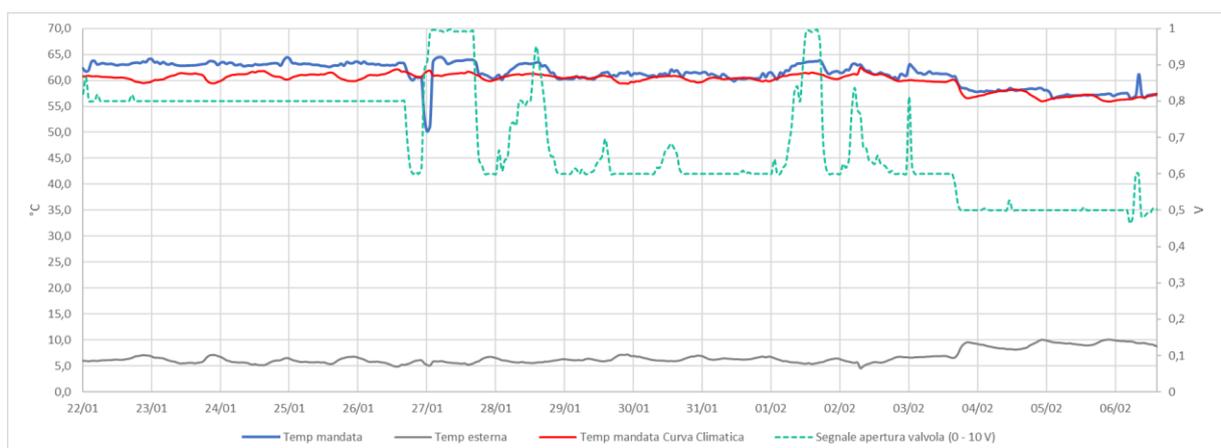


Figura 62: Monitoraggio curva climatica su valvola deviatrice caldaia.

Si specifica che sino al 26 gennaio sull'apertura della valvola era impostato un valore di apertura minimo dell'80% (segnale in 8 V). Dal 27 gennaio questo limite è stato ridotto prima

al 60% e poi al 50% permettendo alla curva climatica di regolare la temperatura di mandata in funzione della temperatura esterna. Si può osservare come da quella data in poi la linea blu, corrispondente alla reale misura della temperatura di mandata della caldaia estrapolata dal contatermie installato a bordo macchina, segue l'andamento della linea rossa che invece rappresenta l'andamento calcolato secondo la curva climatica attraverso la regolazione imposta sulla valvola deviatrice raffigurata dalla linea verde tratteggiata.

In data 9 febbraio 2021 la manutenzione ha segnalato lamentele per basse temperature nel reparto di medicina nucleare al piano -2, zona identificata come A007 servita da un'UTA dedicata, e di psichiatria al piano 5, zona identificata come A004 e A006 servita dall'UTA muraria e dai pannelli radianti. È stato segnalato che le sonde installate, utilizzate per la regolazione degli impianti, riportano temperature differenti da quelle misurate dal personale tecnico del presidio attraverso l'ausilio di due differenti dispositivi. Le misurazioni dichiarate riportano valori di temperatura misurati dagli strumenti che differiscono di 1 °C rispetto a quelli delle sonde installate negli ambienti.

Come da accordi presi con la ESCo è stato programmato in data 12 febbraio un sopralluogo per verificare eventuali discrepanze segnalate con un confronto tra le misure effettuate dal termometro Testo 625 di proprietà della società di gestione energetica e il modello Pt100 Reference Thermometer di proprietà di Enerbrain, entrambi con certificato di taratura valido. Di seguito si riportano le misurazioni effettuate con l'ausilio del personale tecnico durante la rilevazione.

Impianto	Stanza	Ora Misurazione	eSense °C	Pt100 Reference Thermometer (EB) °C	Testo 625 (ESCo) °C
UTA Medicina Nucleare P-2 (A007)	Diagnostica 2	09:55	22,2	22,2	22,5
	Diagnostica 1	10:07	23,6	23,5	21,6
	Studio Medico 113	09:47	22,6	22,7	22,7
UTA Muraria e Pann. Rad. SUD - P-2 (A004 e A006)	Laboratorio	09:36	21,1	21,4	21,7
	Accettazione 92	10:02	20,7	20,9	21,3
UTA Muraria e Pann. Rad. SUD - P5 (A004 e A006)	Degenza 6	10:17	25,1	24,8	24,4
	Studio Infermieri 58	10:28	24,2	23,3	24,3

Tabella 24: Rilevazioni temperature tramite diversi strumenti di misura per validazione misure sonde.

È stato rilevato che le misurazioni fatte con lo strumento Pt100 Reference Thermometer sono sostanzialmente allineate con dati rilevati con il termometro Testo 625. Da questo si evince che le sonde eSense installate non risentono di effettivi discostamenti rispetto ai due strumenti di misura e quindi non si ritiene necessaria una sostituzione di sonde. Nel caso in cui siano

riscontrati casi di discomfort localizzati in aree con superfici estese dove le temperature al centro della stanza risultano differenti sono state effettuate delle correzioni sul valore letto dal sensore ai fini dell'attuazione.

Si segnala infine, in data 1° marzo 2021, l'operazione di manutenzione sul circuito pannelli radianti nord (A005) per la quale il nodo è stato messo in bypass per permettere tutte le azioni necessarie, mentre sul post riscaldamento dell'UTA muraria nord (A003) sono stati aumentati i limiti massimi di apertura e di temperatura di mandata per sopperire alla mancanza di adduzione termica da parte dei pannelli. La procedura di manutenzione si è protratta per tutta la settimana fino all'8 marzo a causa di imprevisti che non hanno permesso la ripartenza del circuito.

In data 9 marzo il circuito pannelli radianti è tornato definitivamente in funzione permettendo la rimozione del bypass e il ripristino dei precedenti settaggi dell'UTA muraria nord. Nella stessa data si è effettuata la stessa procedura di manutenzione sul circuito pannelli radianti sud (A006) per la quale si sono effettuate le stesse variazioni fatte per il circuito gemello ricorrendo all'aumento delle temperature di mandata dell'UTA muraria sud (A004).

Queste operazioni hanno permesso ai manutentori del presidio Ospedaliero di effettuare la manutenzione del circuito di riscaldamento primario mentre da remoto è stato possibile gestire variazioni temporanee sui circuiti secondari con un monitoraggio completo.

# Capitolo 5

## 5.1 Mantenimento del comfort ospedaliero

In questo capitolo finale sono discussi i risultati ottenuti in termini di garanzia del comfort Ospedaliero e di risparmio energetico ed economico.

Le diverse *dashboard*, descritte nei paragrafi precedenti, hanno permesso per tutta la durata del progetto pilota sull’Ospedale di avere un preciso controllo non solo delle temperature in ambiente ma anche del funzionamento di tutti gli impianti presenti nella struttura. Il risultato principale è stato quello di mantenere il comfort negli ambienti garantendo delle temperature quanto più omogenee in aree con esposizione diverse aderenti allo stesso circuito di riscaldamento, anche con condizioni esterne di temperatura molto sfavorevoli. Per avere una panoramica sulle temperature è stata costruita una *dashboard* su Tableau attraverso un carpet plot definito per ogni area. Si riportano, a titolo di esempio, due estratti relativi a due periodi differenti per differenti aree.

Come prima area si riporta quella connessa al preriscaldamento dell’UTA muraria che comprende una vasta area del padiglione in esame equipaggiata con 28 sensori in ambiente nella prima settimana di marzo 2021.

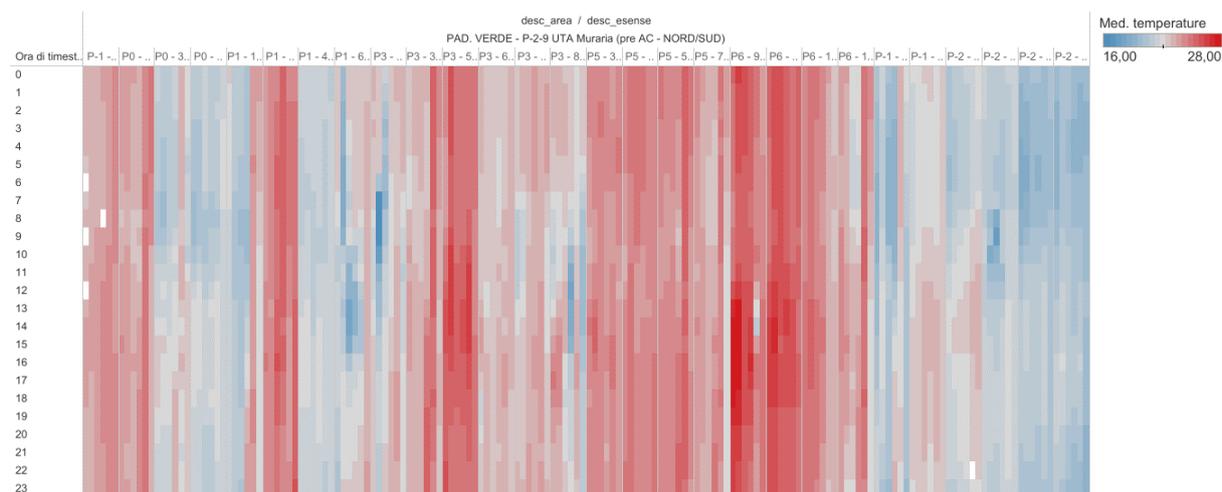


Figura 63: Carpet plot delle temperature interne dell’area UTA Muraria pre (A002).

Con una scala, riportata in alto a destra, definita tra 16 e 28 °C, in figura si osserva che per ogni colonna, che identifica uno specifico ambiente, l’andamento cromatico è pressoché costante. Si vede inoltre che gli ambienti ai piani interrati hanno temperature più basse, con

minime intorno ai 20 °C, mentre le aree ai piani più alti hanno temperature più elevate, con massime intorno ai 28 °C. Questa discrepanza è giustificata dalla presenza di ambienti con differenti esposizioni all'irraggiamento solare che sono serviti da un unico circuito che non è impiantisticamente strutturato per garantire flussi termici differenziati.

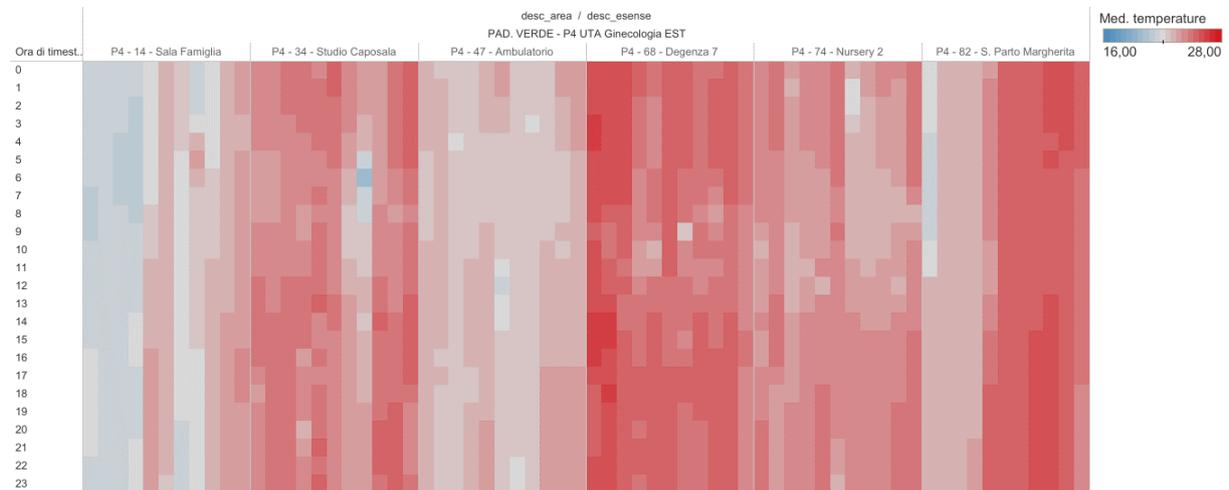


Figura 64: Carpet plot delle temperature interne dell'area UTA Ginecologia (A011).

Come seconda area si riporta quella al piano 4 dell'edificio servito da un UTA ginecologia dedicata con 6 sensori per il monitoraggio nelle due prime settimane di marzo 2021. In questa figura si osserva un'omogeneità cromatica differente in base agli ambienti. La stanza “Sala Famiglia” ha temperature medie di 22 °C poiché è una sala d'attesa mentre le stanze di “Degenza 7” e “Sala Parto Margherita” hanno temperature medie di 25 °C poiché sono ambienti che richiedono un set point più alto.

Per analizzare invece il comfort igrometrico degli ambienti si è costruita un'ulteriore dashboard su Tableau con dei grafici a dispersione su ogni area. Si riportano due estratti per confrontare il periodo pre e post attuazione del sistema di *energy cloud*.

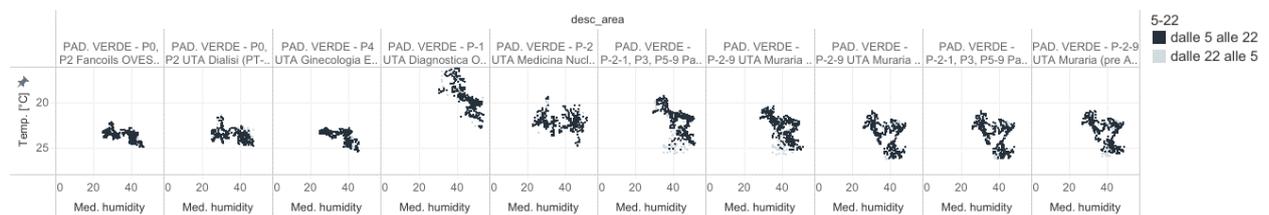


Figura 65: Scatter plot Umidità relativa e Temperature interne nel periodo pre-attuazione.

Il primo scatter plot riporta il mese di novembre, precedente all'attivazione del sistema, dove si osserva che nelle diverse aree i livelli medi di umidità relativa sono mantenuti tra il 25 e il 45%. Con il passaggio al servizio di efficientamento, riportato nella figura successiva, si osservano valori meno dispersi e concentrati nei limiti di umidità relativa e temperatura. Solo

sull'UTA diagnostica e di medicina nucleare sono stati applicati spegnimenti della ventilazione nelle ore notturne rendendo di fatto il sistema in bypass sul ricambio d'aria sull'intero padiglione dell'Ospedale.

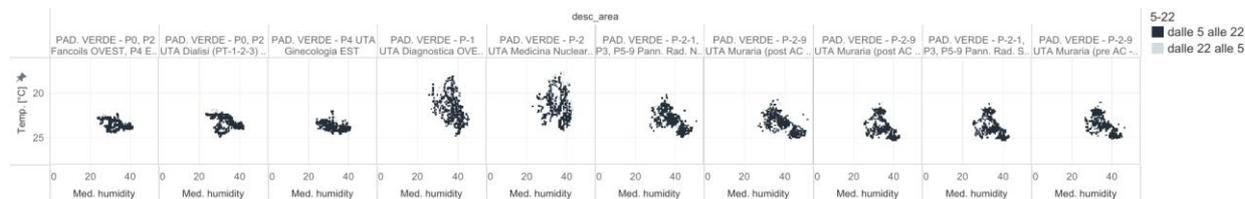


Figura 66: Scatter plot Umidità relativa e Temperature interne nel periodo post-attuazione

## 5.2 Risparmio energetico

Per discutere i risultati ottenuti in termini di risparmio energetico è stata presa in considerazione una stagione termica invernale ridotta dal 1° dicembre al 11 marzo, data di ultimazione di questo elaborato, sebbene il progetto di efficientamento del presidio Ospedaliero proseguirà fino alla fine della stagione di riscaldamento.

I risultati sono presentati con una suddivisione circa giornaliera prendendo in considerazione i giorni di lettura dei consumi di gas del contatore in sede grazie alla disponibilità del personale manutentivo della ESCo che li ha resi disponibili nei giorni feriali. I consumi e i gradi giorno riportati la domenica includono anche il venerdì e il sabato.

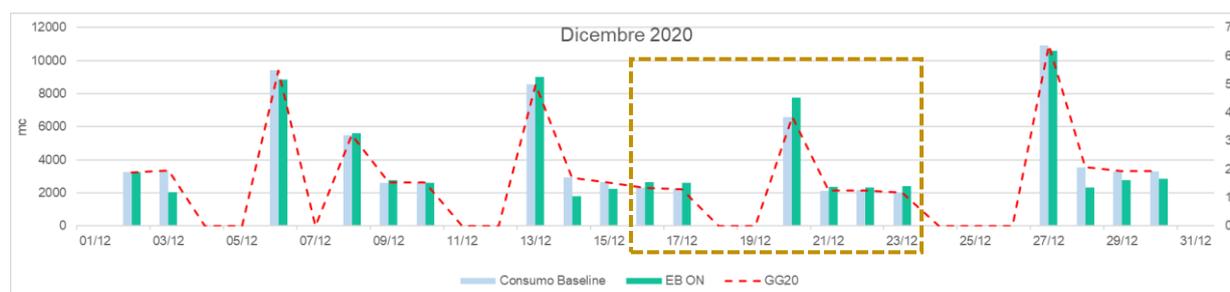


Figura 67: Confronto consumo effettivo e consumo da baseline di dicembre 2020.

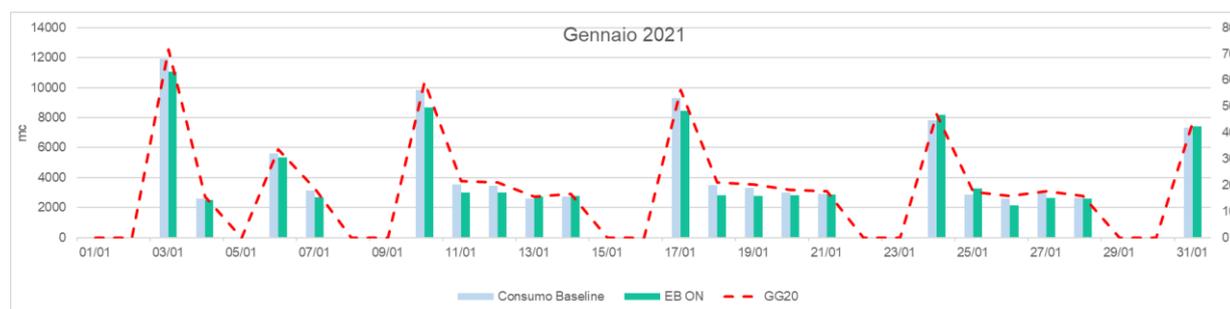


Figura 68: Confronto consumo effettivo e consumo da baseline di gennaio 2021.

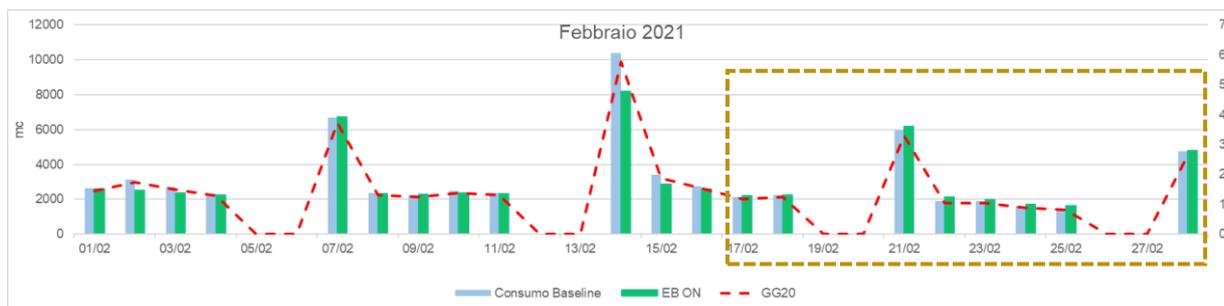


Figura 69: Confronto consumo effettivo e consumo da baseline di febbraio 2021.

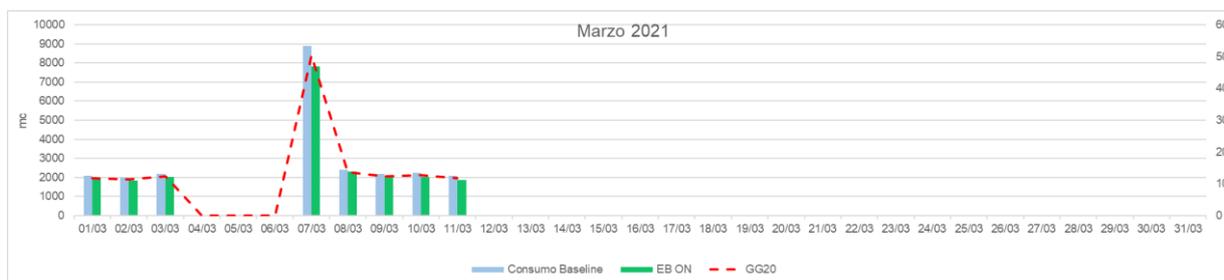


Figura 70: Confronto consumo effettivo e consumo da baseline fino all'11 marzo 2021.

Nei grafici riportati sono indicati i consumi reali ed il consumo ricavato con l'utilizzo della baseline riportata nel capitolo precedente in termini di mc calcolati in funzione dei gradi giorno riportati con la linea rossa tratteggiata. Si osserva che alcuni periodi dei mesi presi in esame riportano dei consumi più alti rispetto a quelli calcolati da baseline, ciò è dovuto a diverse cause discusse di seguito.

Nel periodo tra il 16 ed il 23 dicembre, come riportato nel paragrafo 4.6, si è verificato il blocco di una delle caldaie vapore che ha portato all'utilizzo a pieno regime della caldaia d'acqua calda per sopperire alla mancanza di contributo energetico per il riscaldamento dell'ospedale con conseguenti maggiori consumi.

Nella seconda metà di febbraio, invece, il passaggio da temperature medie giornaliere molto basse a temperature più alte nella settimana successiva, come si osserva in figura 71, ha portato ad un dispendio maggiore di energia dovuto alla scarsa dinamicità dell'impianto.

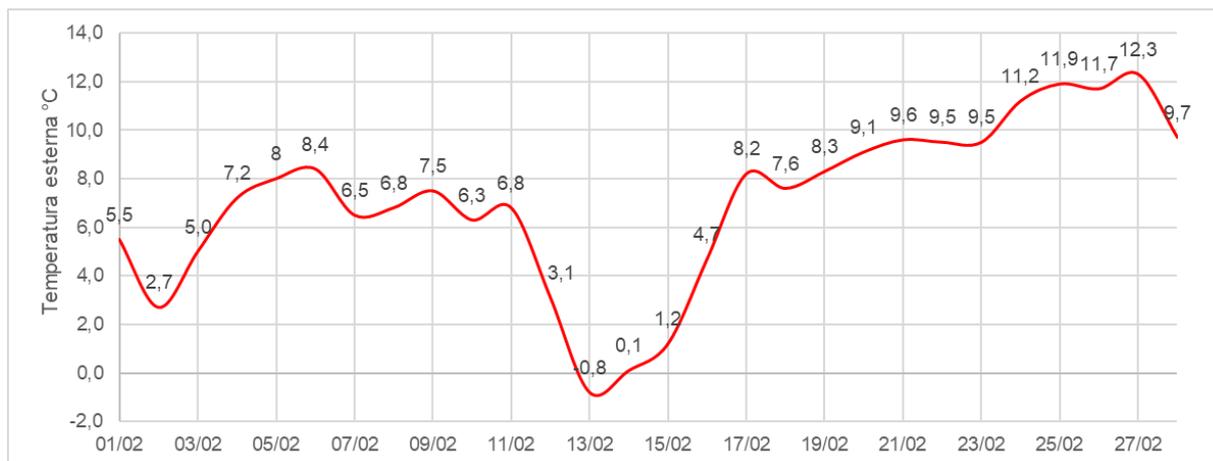


Figura 71: Andamento temperature esterne nel mese di febbraio 2021 prese dalla stazione ARPA di riferimento.

Nei primi undici giorni del mese di marzo la calibrazione del sistema ha permesso di ottenere un saving sempre positivo che con il proseguire della mezza stagione, fino a metà aprile, permetterà di garantire un risparmio considerevole.

Si riporta nella figura seguente il confronto tra i consumi effettivi e quelli ricavati da baseline per analizzare il saving settimanale nei quattro mesi presi in considerazione con indicazione dell'andamento dei gradi giorno.

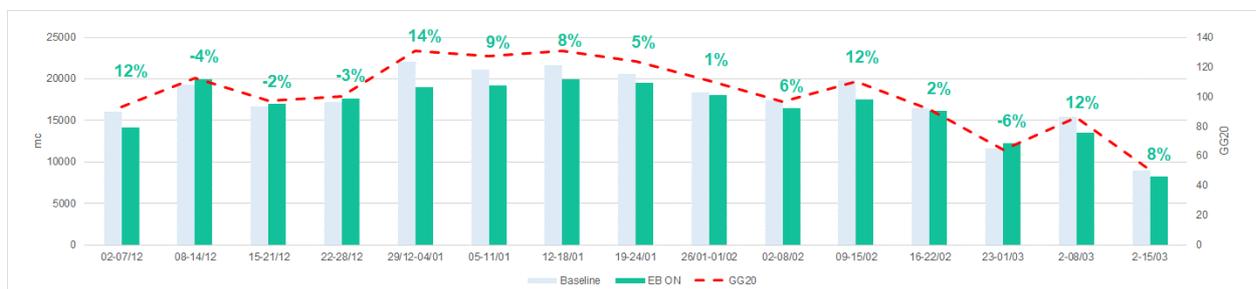


Figura 72: Andamento saving settimanale del periodo di efficientamento.

Infine, in figura 73 si riporta l'andamento mensile dei consumi ed il totale del periodo preso in considerazione con la percentuale relativa di risparmio.

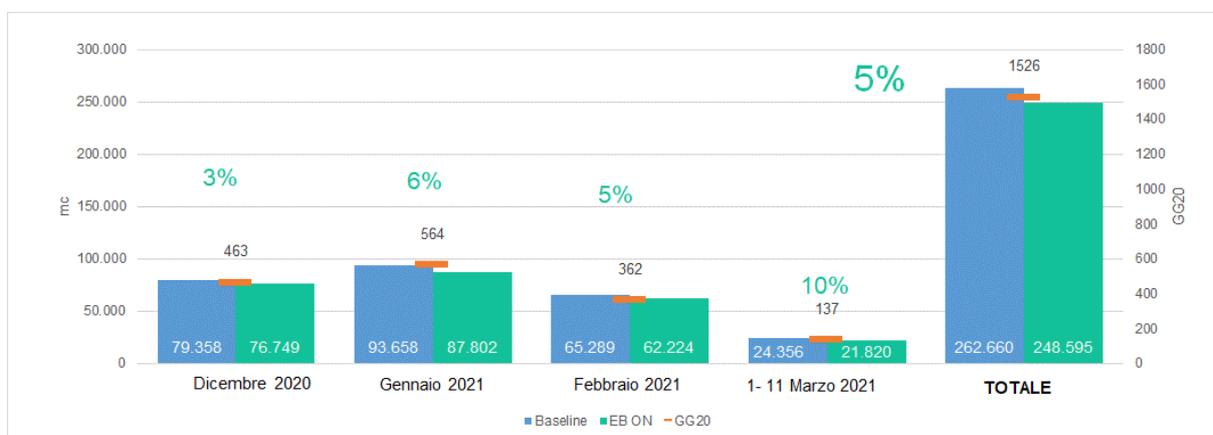


Figura 73: Andamento saving mensile del periodo di efficientamento.

I dati riportati fino a questo punto prendono in considerazione il consumo energetico in termini di mc di gas metano di tutto il presidio Ospedaliero che, come è stato detto nei capitoli precedenti, ricade non solo sul riscaldamento di tutto la struttura costituita da più padiglioni ma anche sulla produzione di vapore per la sterilizzazione e sulla produzione di acqua calda sanitaria. Secondo le assunzioni discusse al paragrafo 3.3, relative alla distribuzione dell'impiego di gas naturale per le diverse voci di consumo, si riportano per ognuna di esse le percentuali di saving relative ai diversi contributi.

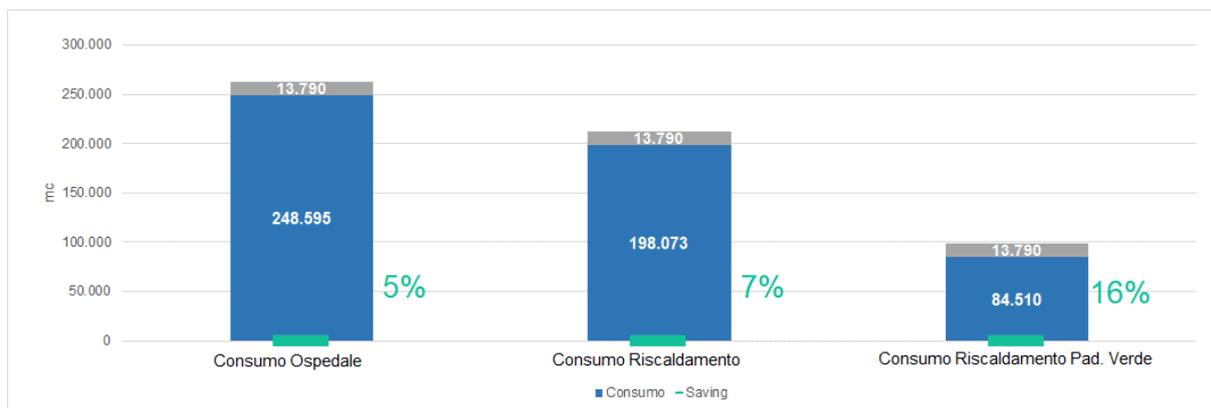


Figura 74: Valore percentuale di saving energetico delle diverse voci di consumo.

È evidente che la riduzione di mc di gas naturale ottenuta è imputabile esclusivamente al riscaldamento del solo padiglione Verde, il quale risulta l'unica struttura efficientata dal servizio di *energy cloud* trattato in questa tesi.

### 5.3 Risparmio economico

In questo paragrafo è discusso il risparmio economico relativo ai mc di gas naturale risparmiati grazie alla gestione ottimizzata del solo padiglione Verde. Per il calcolo dei costi relativi alla spesa del vettore energetico, come nel paragrafo 3.6, si fa riferimento alle informazioni condivise dal cliente sul costo unitario medio complessivo del gas metano da lui dichiarato pari a 0,32 €/Smc. Per la conversione da mc a Smc si è usato il rapporto medio ricavato dall'analisi dello storico dei consumi che è circa costante e pari a 2,15.

L'andamento dei costi effettivi confrontati con quelli da baseline è lo stesso visto per i consumi, si riporta quindi il solo confronto mensile finale.

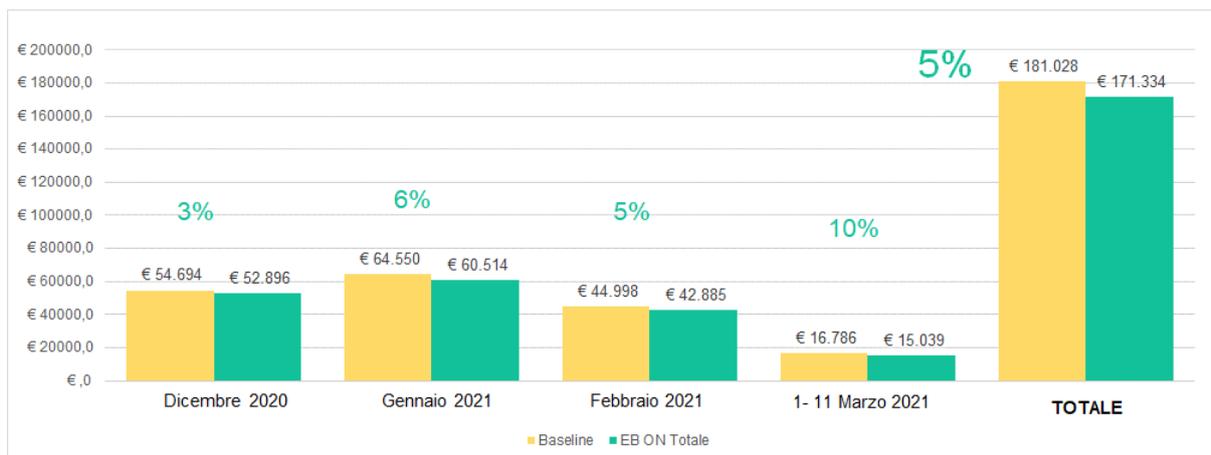


Figura 75: Andamento costi mensili del periodo di efficientamento.

Come per i consumi, i dati riportati sopra rappresentano la spesa per l’approvvigionamento di gas metano di tutto il presidio Ospedaliero. Secondo la distribuzione dell’impiego di gas naturale per le diverse voci di consumo si riportano per completezza le percentuali di saving economico relative ai diversi contributi.

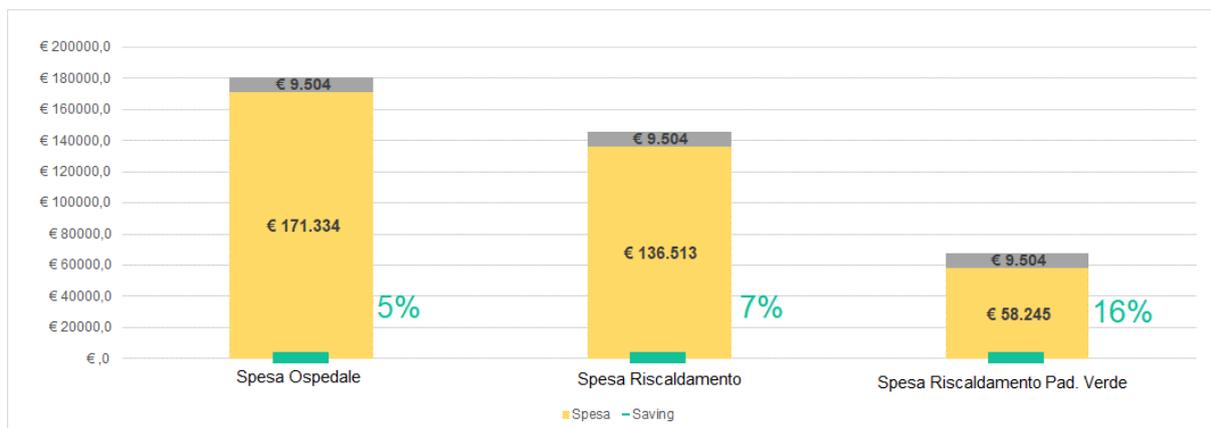


Figura 76: Valore percentuale di saving economico delle diverse voci di consumo.

Ottimizzando solo il padiglione Verde dell’intero presidio Ospedaliero, a valle di un risparmio di 13.790 mc di gas metano, equivalenti a 29.649 Smc, si è ottenuto un risparmio economico di circa € 10.000 in meno di quattro mesi di efficientamento.

## 5.4 Analisi di redditività

Per comprendere se il risparmio ottenuto nel periodo di efficientamento è sostenibile anche da un punto di vista economico occorre effettuare un'analisi sull'investimento realizzato che per lo scopo di questa tesi sarà semplificato stimando un tasso di rendimento pari al 6%.

Il tasso di efficienza ottenuto sui tre mesi più freddi della stagione invernale è pari al 5% ottimizzando un solo padiglione dell'intero ospedale. Poiché il saving ottenibile sulle mezze stagioni è generalmente maggiore, grazie alla possibile riduzione del carico termico degli impianti, si è considerato di poter conseguire, a pieno regime, un risparmio stagionale pari a circa il 10%.

Nella tabella seguente sono riportati i costi totali relativi a tutto il progetto per l'installazione e la messa in servizio del sistema. La suddivisione è fatta in costi di investimento (CAPEX) di *engineering*, installazione e hardware e costi operativi (OPEX) di licenza e supporto tecnico annuale che rappresenta il canone da retrocedere all'azienda Enerbrain per il servizio.

Costi		Prezzo
CAPEX	ENGINEERING	€ 10.000
	INSTALLAZIONE	€ 4.000
	HARDWARE	€ 60.500
<b><u>TOTALE CAPEX</u></b>		<b><u>€ 74.500</u></b>
OPEX	LICENZA ANNUALE SERVIZI e SUPPORTO TECNICO	€ 5.000
<b><u>TOTALE OPEX</u></b>		<b><u>€ 5.000</u></b>

Tabella 25: Quotazione progetto di efficientamento del padiglione Verde dell'Ospedale.

La bolletta energetica annuale, come media di 4 anni di consumo, relativa all'uso di gas naturale per tutto il complesso ospedaliero, ammonta ad una cifra di 356.422 € pari a più di un milione di standard metri cubi di combustibile.

Se consideriamo il tasso di efficienza ottenuto pari al 10% ed i costi operativi e di investimento è possibile tracciare il flusso di bilancio ottenibile dal cliente gestore del presidio Ospedaliero, definendo il Valore Attuale Netto (VAN), o *Net Present Value* (NPV), ovvero il valore dei flussi di cassa attualizzato sulla base del tasso di rendimento.

$$VAN = \sum_{k=0}^n \frac{C_k}{(1+c)^k}$$

Dove  $C_k$  è il flusso di cassa al tempo  $k$ ,  $c$  è il costo medio ponderato del capitale, o *Weighted Average Cost of Capital (WACC)*, che serve ad attualizzare il costo al tempo  $k$ .

Nella tabella successiva è riportato l'andamento del flusso di bilancio e del VAN nell'arco di dieci anni, ipotizzando un tasso di rendimento del 6%.

Anno (k)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Bolletta energetica HVAC €		356.422	356.422	356.422	356.422	356.422	356.422	356.422	356.422	356.422	356.422
Savings €		35.642	35.642	35.642	35.642	35.642	35.642	35.642	35.642	35.642	35.642
CAPEX €	-74.500	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
OPEX €	0	-5.000	-5.000	-5.000	-5.000	-5.000	-5.000	-5.000	-5.000	-5.000	-5.000
Flusso di cassa cliente €	-74.500	30.642	30.642	30.642	30.642	30.642	30.642	30.642	30.642	30.642	30.642
Bilancio cliente €	-74.500	-43.858	-13.216	17.427	48.069	78.711	109.353	139.995	170.638	201.280	231.922
VAN	-74.500	-43.012	-17.284	6.988	29.885	51.487	71.866	91.091	109.228	126.339	142.480

Tabella 26: Flusso di cassa cliente e valore attuale netto.

Di seguito si riporta il flusso di cassa e il Valore Attuale Netto tracciato in funzione del tempo.

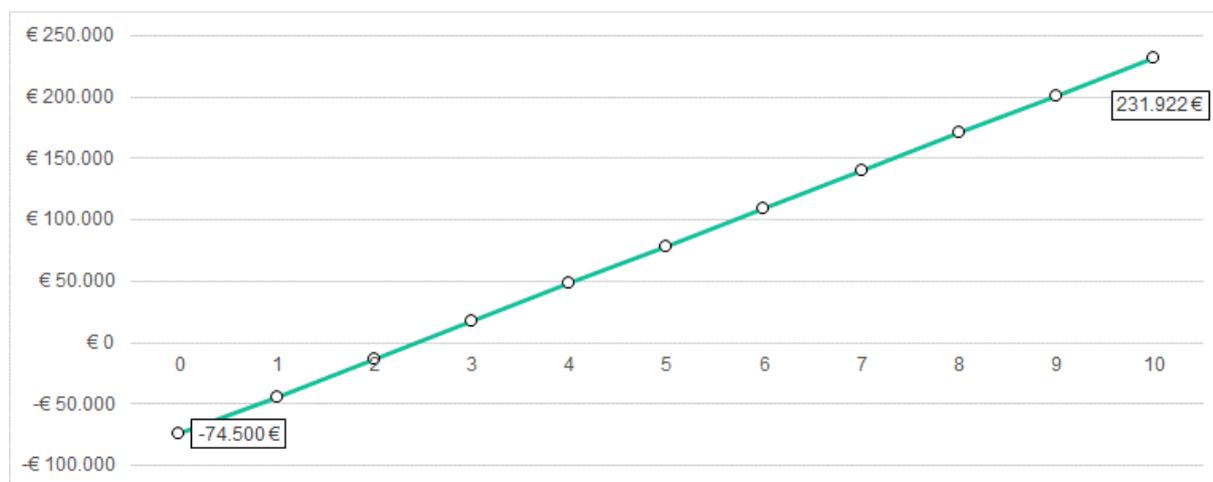


Figura 77: Andamento flusso di cassa in funzione del tempo.

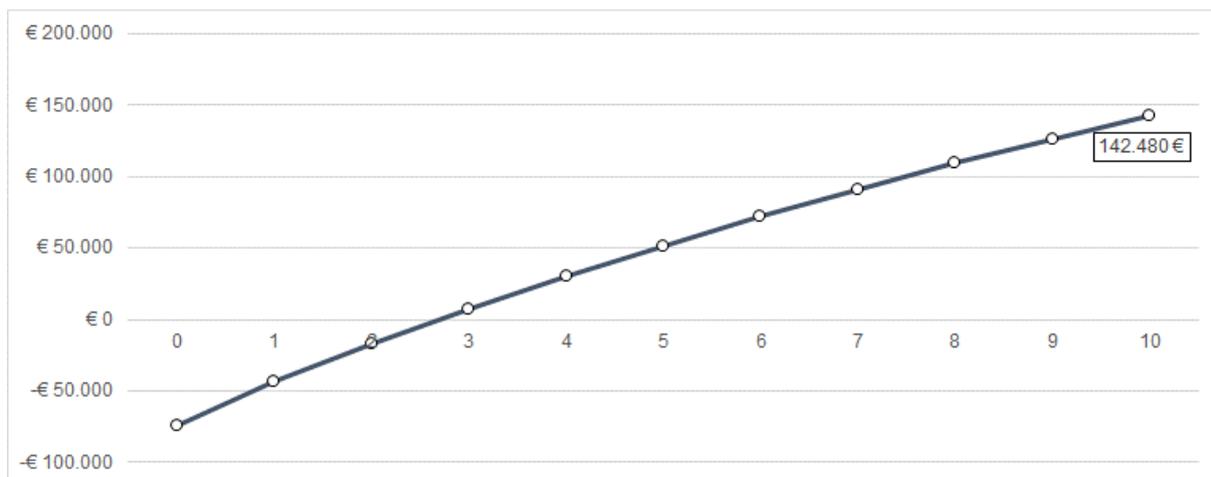


Figura 78: Andamento del Valore Attuale Netto in funzione del tempo.

Si osserva che, al decimo anno del progetto di investimento, il profitto è di 231.922 € con un Valore Attuale Netto positivo di 142.480 €.

Si calcola inoltre il Tempo di Ritorno (TR), o *Pay Back Time* (PBT), che definisce il periodo di tempo entro il quale si inizia ad avere un profitto dall'investimento iniziale, ovvero quando il bilancio diventa positivo. In questo caso il Tempo di Ritorno è di 2 anni e 5 mesi.

Per una visione più completa della sostenibilità del progetto è utile ricavare il Tasso Interno di Rendimento (TIR) o *Internal Rate of Return* (IRR), che definisce la redditività di un progetto di investimento e rappresenta il tasso di attualizzazione che rende il VAN pari a 0. Il TIR di questo investimento è del 40%.

Sono riportati nella tabella seguente i risultati economico finanziari del progetto oggetto di questa tesi.

Profitto annuo	€	30.642
Capitale di investimento	€	74.500
Valore Attuale Netto (VAN)	€	142.480
Tempo di Ritorno (TR)		3 anni
Tasso interno di Investimento (TIR)		40 %

Tabella 27: Risultati economico finanziari del progetto di investimento.

# Conclusioni

In questa tesi è stato portato avanti un progetto operativo di efficientamento di un presidio Ospedaliero del nord Italia basato sull'attuazione di un sistema di *energy cloud* applicato ad un sistema preesistente di condizionamento.

Il complesso edilizio è costituito da diversi blocchi suddivisi per padiglioni con metratura variabile ripartita su più piani. La centrale termica, comprendente due caldaie vapore e un generatore di acqua calda, risulta il sistema di generazione di calore per tutti i padiglioni eccetto due equipaggiati da caldaie autonome. Ogni padiglione a sua volta possiede una sotto centrale con uno scambiatore di calore per la distribuzione del calore nelle aree dell'edificio.

Per l'applicazione del progetto di efficientamento su questo complesso edilizio è stato preso in esame il solo padiglione Verde, che rappresenta il 40% di tutto il complesso edilizio in termini di superficie.

Il sistema HVAC del padiglione Verde è costituito da tre differenti circuiti di distribuzione del riscaldamento ovvero i pannelli radianti, i radiatori e i fancoil, mentre, per la ventilazione, sono presenti un totale di nove unità di trattamento aria distribuite nei reparti.

Tutto il sistema di riscaldamento e ventilazione dell'edificio risultava non gestito in maniera dinamica poiché costituito da unità con controllo manuale oppure assente.

La gestione dei servizi energetici per l'Ospedale è amministrata da una ESCo (*Energy Service Company*), che per l'analisi dei consumi ha fornito i dati mensili di impiego di gas naturale per il quadriennio 2017-2020 con una media sull'anno di 1.113.818 Smc. Per valutare il costo relativo al vettore energetico si è fatto riferimento alle informazioni condivise dal cliente sul costo unitario medio del gas metano pari a 0,32 €/Smc.

Su questi dati è stato costruito un modello di regressione lineare in funzione dei gradi giorno che è stato utilizzato per l'analisi del saving durante il periodo di efficientamento.

L'applicazione del sistema di *energy cloud* di Enerbrain ha permesso di gestire i circuiti idronici primari e secondari del sistema HVAC attraverso il controllo delle valvole già presenti o installate in fase preliminare con una regolazione basata sulla temperatura di mandata dei flussi termici e le condizioni di comfort ambiente dei locali climatizzati opportunamente elaborate dall' algoritmo in *cloud*. Per il sistema di generazione, costituito dalla caldaia, è stata applicata una curva climatica basata su una regressione lineare definita

attraverso la temperatura di mandata e la temperatura esterna poiché il flusso termico che deve garantire il generatore di acqua calda è afferente ad altri padiglioni del complesso Ospedaliero.

Per la gestione operativa di questo progetto di efficientamento, partito in data 1° dicembre, si è effettuato un monitoraggio quotidiano sia sullo stato di comfort interno delle diverse aree sia sulle prestazioni degli impianti. L'utilizzo di diverse dashboard ha permesso il controllo da remoto di tutte le criticità durante i mesi di attuazione garantendo il tempestivo intervento anche in caso di eventi esterni, prontamente comunicati alla manutenzione dell'Ospedale.

Nella fase di finalizzazione di questa tesi sono stati riportati i risultati relativi al mantenimento del comfort ospedaliero che hanno evidenziato un limite impiantistico relativo ai circuiti primari di riscaldamento. Tali circuiti non sono differenziati in base al piano di pertinenza il che, a causa di differenti esposizioni all'irraggiamento solare, porta a differenze di temperatura tra il primo piano interrato e l'ultimo sopraelevato fino a 8 °C.

Per quanto riguarda il risparmio energetico, in meno di quattro mesi si è ottenuto un saving pari al 5% su tutto il complesso ospedaliero. Se si considera però che il consumo di gas naturale, registrato giornalmente, comprende la quota di produzione di vapore e acqua calda sanitaria per un 35% e che il restante 65% comprende una quota di riscaldamento dei restanti padiglioni dell'ospedale pari al 60%, è possibile ricavare la percentuale effettiva di riduzione dei consumi di gas metano grazie all'efficientamento del solo padiglione verde che risulta pari al 16%. I dati fino all'11 marzo 2021 riportano un risparmio di 29.649 Smc corrispondenti a circa € 10.000.

Infine, si è costruita un'analisi di redditività per avere una valutazione dell'effettiva fattibilità della soluzione di gestione energetica applicata. Si è ricavato che, a fronte di un investimento iniziale di 74.500 €, al decimo anno del progetto di investimento, si ha un profitto di circa 231.922 € con una VAN di 142.480 € e un tempo di ritorno pari a 3 anni.

Questi risultati mostrano che la soluzione di efficientamento applicata nel padiglione Verde dell'Ospedale ha una sostenibilità ambientale ed economica, nonostante il sistema HVAC abbia presentato limiti impiantistici legati all'obsolescenza della struttura e all'imperfetta distribuzione dei circuiti all'interno dei diversi reparti.

# Bibliografia

Carpinelli M., Macagno S., *Il monitoraggio energetico delle strutture sanitarie regionali*, 2018, IRES Piemonte.

Chiesa V, Chiaroni D., Frattini F., *Energy Efficiency Report*, vol. ENERGY & S. 2014.

Circolare Ministero dei Lavori Pubblici del 22/11/1974, n. 13011, *Requisiti fisico-tecnici per le costruzioni edilizie ospedaliere. Proprietà termiche, igrometriche, di ventilazione e di illuminazione*.

D.P.R. del 14/01/97, *Approvazione dell'atto di indirizzo e coordinamento alle regioni e alle province autonome di Trento e di Bolzano, in materia di requisiti strutturali, tecnologici ed organizzativi minimi per l'esercizio delle attività sanitarie da parte delle strutture pubbliche e private*.

*Efficienza energetica nell'edilizia*, Commissione Europea, 17 febbraio 2020.

Faust J. S., Lin Z., Del Rio C., *Comparison of estimated excess deaths in New York city during the COVID-19 and 1918 influenza pandemics*. JAMA Network Open, 3(8), e2017527-e2017527, 2020.

Ferroukhi R., Nagpal D., Lopez Peña A., Hodges T., Mohtar R. H., Daher B. Mohtar S., Keulertz M., *Renewable energy in the water, energy & food nexus 2015*, IRENA, International Renewable Energy Agency, January 2015.

Grassi W., Testi D., Menchetti E., Della Vista D., Bandini M., Niccoli L., Grassini G. L., Fasani G., *Valutazione dei consumi nell'edilizia esistente e benchmark mediante codici semplificati: analisi di edifici ospedalieri*, ENEA Report RSE 2009/11.

<https://www.who.int/csr/don/05-january-2020-pneumonia-of-unknown-cause-china/en/>  
*HVAC Design Manual for Hospitals and Clinics (2nd Edition)*, capitol 1, ASHRAE Technical Committee 2013.

*HVAC Systems and Equipment*, 2016 ASHRAE HANDBOOK, Technical Committees.

Jiang P., Van Fan Y. Jaromír Klemeš J., *Impacts of COVID-19 on Energy Demand and Consumption Challenges, Lessons and Emerging Opportunities*, in Applied Energy (2021).

Keveczky L., Bars R., Hetthéssy J., Bányász C. *Control Engineering*, Edition 1, Springer Singapore, 2019.

Li Y, Shang J., Zhang C. Zhang W., Niu L., Wang L. Zhang H., *The role of freshwater eutrophication in greenhouse gas emissions: A review*, in Science of the Total Environment (2021), <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144582>.

Nicola M., Alsafi Z., Sohrabi C., Kerwan A., Al-Jabir A., Iosifidis C., Agha, R., Agha, R., *The socio-economic implications of the coronavirus and COVID-19 pandemic: a review*, *International Journal of Surgery*, 78, 185-193, 2020.

Norma EN ISO 1528-6, *Prestazione termoigrometrica degli edifici - Calcolo e presentazione dei dati climatici – Parte 6: Differenze di temperatura cumulate (gradi giorno)*.

Norma UNI 10339, *Impianti aeraulici ai fini di benessere. Generalità, classificazione e requisiti. Regole per la richiesta d'offerta, l'offerta, l'ordine e la fornitura*.

Norma UNI 8199, *Misura in opera e valutazione del rumore prodotto negli impianti di riscaldamento, condizionamento e ventilazione*.

Norma UNI 9019:1987, *Ripartizione delle spese di riscaldamento basata sulla contabilizzazione di gradi-giorno in impianto a zona. Impiego e prova del totalizzatore di gradi-giorno*.

Norma UNI 9019:2013, *Sistemi di contabilizzazione indiretta basati sul totalizzatore di zona termica e/o unità immobiliare per il calcolo dell'energia termica utile tramite i tempi di inserzione del corpo scaldante compensati dai gradi-giorno dell'unità immobiliare*.

Norma UNI EN 15232, *Prestazione energetica degli edifici - Parte 1: Impatto dell'automazione, del controllo e della gestione tecnica degli edifici*.

*Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima (PNIEC)*, Ministero dello Sviluppo Economico, dicembre 2019.

*Pneumonia of unknown cause – China*, Disease outbreak news, World Health Organization.

*Rapporto annuale efficienza energetica 2020*, Dipartimento Unità l'Efficienza Energetica dell'AgENZia Nazionale Efficienza Energetica ENEA.

*Rapporto sugli energy manager in Italia. Indagine, evoluzione del ruolo e statistiche*, FIRE Federazione Italiana per l'uso Razionale dell'Energia, 2017.

*Relazione annuale sull'efficienza energetica, risultati conseguiti e obiettivi al 2020*, Ministero dello Sviluppo Economico, Direzione generale per l'approvvigionamento, l'efficienza e la competitività energetica, aprile 2020.

Riva G., Murano G. *Aggiornamento parametri climatici nazionali e zonizzazione del clima nazionale ai fini della certificazione estiva*, Report ENEA RdS/2013/153 (pp. 188-189).

Spreeuwenberg P., Kroneman M., Paget J., *Reassessing the Global Mortality Burden of the 1918 Influenza Pandemic*, *American Journal of Epidemiology*, vol. 187 N°12, 2018.

*Uso razionale dell'energia negli ospedali. La climatizzazione degli ospedali*, Gruppo Soges, ISES Italia, FIRE e ENEA.

Van den Bergh K., Delarue E., *Energy and reserve markets: interdependency in electricity systems with a high share of renewables*, in *Electric Power Systems Research* 189 (2020).

Vranay F., Pirsal L., Kacik R., Vranayova Z., *Adaptation of HVAC Systems to Reduce the Spread of COVID-19 in Buildings*, in *Sustainability*, 2020.

Whiffen T.R., Naylor S., Hill J., Smith L., Callan P.A., Gillott M., Wood C.J., Riffat S.B., *A concept review of power line communication in building energy management systems for the small to medium sized non-domestic built environment*, vol. 64, pp. 618–633, 2016.

# Sitografia

[https://www.repubblica.it/green-and-blue/2020/12/28/news/la\\_soglia\\_limite\\_del\\_riscaldamento\\_globale\\_superata\\_tra\\_2027\\_e\\_2042-280188385/](https://www.repubblica.it/green-and-blue/2020/12/28/news/la_soglia_limite_del_riscaldamento_globale_superata_tra_2027_e_2042-280188385/)

<https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2020>

<https://www.varesefocus.it/>

<https://app.enerbrain.com/>