



**Politecnico
di Torino**

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Energetica e Nucleare

Anno Accademico 2023/2024

Sessione di Laurea Luglio 2024

TAB e Collaudo degli impianti HVAC: il caso studio RSA "Cervetto"

Relatore:

prof. Masoero Marco Carlo

Candidato:

Stefanazzi Emanuele

Correlatore:

Ing. Torsello Francesco

Abstract

La realizzazione di un impianto di climatizzazione che sia in grado di soddisfare le esigenze previste dall'utilizzatore finale è un percorso complesso che richiede particolare attenzione nelle fasi iniziali di progettazione, di realizzazione, ma soprattutto nella fase finale durante la quale è necessario procedere con la taratura degli impianti e le prove funzionali fino ad arrivare al collaudo dell'intero sistema, per verificare che tutti i parametri e le previsioni siano rispettate.

Un primo obiettivo di questa trattazione è quello di analizzare le varie tipologie impiantistiche, mettendo in evidenza le caratteristiche, i principi di funzionamento e le attenzioni da porre in fase di progettazione delle stesse.

Successivamente si approfondiscono le fasi di realizzazione di un impianto HVAC, ponendo particolare attenzione alle procedure di messa in servizio e collaudo. Si riportano quindi gli step metodologici da svolgere in fase di test e bilanciamento degli impianti, analizzando gli strumenti da utilizzare per le diverse prove su varie tipologie impiantistiche. Partendo dalle normative UNI 11169 e UNI EN 12599 si analizza la fase di collaudo, riportando i metodi di misurazione e le tipologie di controlli e verifiche richieste. Si pone l'attenzione soprattutto sugli impianti aeraulici, essendo la tipologia impiantistica più complessa da bilanciare e collaudare.

La trattazione si completa con l'analisi degli impianti a servizio dell'RSA Cervetto situata a Vercelli. Si approfondiscono gli impianti installati, facendo riferimento alle specifiche tecniche, agli schemi funzionali di impianto, commentando le scelte progettuali e riportando i risultati ottenuti in loco durante la fase di bilanciamento e collaudo di parte degli impianti.

I dati ottenuti sono analizzati attraverso grafici e commenti tecnici, verificando la bontà della progettazione e dell'installazione. Infine si studiano i trend di funzionamento dell'impianto forniti dal sistema di supervisione, verificando la coerenza dei parametri termodinamici con i valori di progetto e la logica di impianto.

Sommario

Abstract	3
Indice delle figure.....	7
Indice delle tabelle	9
Introduzione.....	11
1. Impianti di climatizzazione	14
1.1 Definizione e classificazione	14
1.2 Impianti a tutt'aria	16
1.2.1 Unità di trattamento aria	18
1.2.2 Distribuzione dell'aria.....	24
1.3 Impianti ad acqua	30
1.3.1 Sistemi di generazione	31
1.3.2 Distribuzione dell'acqua.....	32
1.3.3 Terminali di emissione	34
1.4 Impianti misti.....	38
2. Sistemi di controllo degli impianti HVAC	41
2.1 BMS	42
2.1.1 Tipologie di controllo con BMS	44
2.2 PLC	46
3. Messa in servizio e collaudo	48
3.1 Fasi di realizzazione di un impianto HVAC	48
3.2 Testing, Adjusting and Balancing.....	51
3.2.1 Fasi del processo di TAB.....	52
3.2.2 Test Unità Trattamento Aria.....	54
3.2.3 Test rete di distribuzione aria.....	58
3.2.4 Bilanciamento rete distribuzione aria	64
3.2.5 Test e bilanciamento sistemi idrici	68
3.3 Collaudo degli impianti.....	73
3.3.1 Procedure per il collaudo – Norma UNI 11169.....	76

3.3.2	Procedure di prova e di verifica – Norma UNI EN 12599	78
4.	Caso studio: RSA Cervetto	83
4.1	Dati di progetto	84
4.2	Impianto di climatizzazione	87
4.2.1	Produzione e distribuzione dei fluidi vettori	88
4.2.2	Unità trattamento aria	96
4.2.3	Distribuzione Aeraulica e terminali ambiente	101
4.2.4	Sistemi radianti a pavimento	105
4.3	Test e bilanciamento	106
4.3.1	Prove di tenuta impianto aeraulico	106
4.3.2	Prova tenuta sistema radiante	109
4.3.3	Messa in funzione Pompe di Calore	110
4.3.4	Messa in funzione UTA	111
4.3.5	Bilanciamento Rete Aeraulica	113
4.3.6	Collaudo impianto aeraulico	128
4.3.7	Misura del comfort ambientale	133
4.3.8	Verifica delle prestazioni dell'impianto	139
	Conclusioni	147
	Bibliografia	149
	Allegato A – Schema impianto aeraulico Blocco B	151

Indice delle figure

Figura 1-Schema di funzionamento di un impianto a tutt'aria	17
Figura 2-Schema Unità Trattamento Aria.....	19
Figura 3-Diagramma di Mollier - regime invernale.....	22
Figura 4-Diagramma di Mollier - regime estivo.....	23
Figura 5-Schema impianto tutt'aria CAV [5]	27
Figura 6-Schema impianto tutt'aria VAV [5].....	28
Figura 7-Schema impianto doppio condotto [5].....	29
Figura 8-Schema di funzionamento impianto a sola acqua	30
Figura 9-Schema impianto a quattro tubi [6]	33
Figura 10-Schema costruttivo ventilconvettore a pavimento [8]	35
Figura 11-Struttura sistema radiante a pavimento.....	37
Figura 12-Schema distribuzione impianto radiante	38
Figura 13-Schema di funzionamento impianto misto.....	39
Figura 14-Processo di controllo [10].....	41
Figura 15-Architettura hardware BMS.....	43
Figura 16-Architettura software BMS	44
Figura 17-PLC Siemens Climatix	47
Figura 18-Tubo di Pitot	57
Figura 19- Misura pressione statica del ventilatore di mandata dell'UTA [14].....	57
Figura 20-Anemometro a filo caldo e ventolina (Digitron Italia)	60
Figura 21-Balometro (Testo 420)	61
Figura 22-Perdita di pressione per ogni classe di tenuta (Norma UNI EN 12237:2004)	63
Figura 23-Serranda di taratura manuale (Officine Volta)	64
Figura 24-Esempio bilanciamento rete distribuzione aria	67
Figura 25-Valvola di bilanciamento per circuiti idraulici (Caleffi serie 130)	70
Figura 26-Regolatori di pressione differenziale (Ivar).....	71
Figura 27-Sintesi delle prove e delle misurazioni necessarie in collaudo [16]	78
Figura 28-RSA Cervetto (ingresso principale).....	83
Figura 29 - Ventilatori Pompe di calore (lato aria) – RSA Cervetto.....	89
Figura 30 - Scheda tecnica Pompe di Calore Daikin	90
Figura 31 - Generatori di calore modulari – RSA Cervetto	91
Figura 32 - Schema funzionale: Gruppi frigo.....	93
Figura 33 – S.F.: Generatore di calore modulare e collettori alta temperatura	93
Figura 34 -Collettore alta temperatura - RSA Cervetto.....	94

Figura 35 -Scambiatori di calore a piastre - RSA Cervetto	95
Figura 36 – S.F.: Scambiatori a piastre e collettori di alimentazione dei terminali	95
Figura 37 - Schema di funzionamento: Collettore a media temperatura	96
Figura 38 - UTA.03 (con Umidificatore e Sistema ad Espansione diretta)	99
Figura 39 - Distribuzione aeraulica (Piano terra, Cavedio A1).....	102
Figura 40 - Diffusori lineari a 3 feritoie	104
Figura 41 – Valori ramo di mandata - Test della rete aeraulica	107
Figura 42 - Test tenuta sistema radiante.....	109
Figura 43 - Anemometri a ventolina Ø16 e Ø100 (dx) e Testo 400	114
Figura 44 - Balometro Testo 420 con cono anemometrico 305x1200 mm.....	115
Figura 45 - Schema altimetrico rete aeraulica UTA 2	117
Figura 46 - Range % valori di portata (Messa in funzione).....	120
Figura 47 - Range % valori di portata (Sostituzione pezzo speciale).....	122
Figura 48 - Range % valori di portata (Prima taratura).....	123
Figura 49 - Variazione percentuale portata singoli ambienti (Piano Secondo).....	125
Figura 50 - Variazione percentuale portata singoli ambienti post regolazione (P2)	126
Figura 51 - Range % valori di portata (Valori finali)	127
Figura 52 - Relazione tra PMV e PPD.....	136
Figura 53 - Strumenti utilizzati per la misura del comfort ambientale.....	137
Figura 54 - UTA 2 (Sistema supervisione)	140
Figura 55 - Circuito Postriscaldo UTA (Sistema Supervisione).....	142
Figura 56 - Circuito Pannelli radianti (Sistema Supervisione).....	143
Figura 57 - Ambienti Piano 3 Blocco B (Sistema Supervisione)	143
Figura 58 - Temperatura di mandata UTA 2 (Sistema supervisione).....	144
Figura 59 - Temperatura di mandata Circuito Post riscaldamento (Sistema supervisione).....	144
Figura 60 - Temperatura di mandata Circuito Pannelli Radianti (Sistema supervisione)	145
Figura 61 - Temperatura Locale 83 P1, Blocco B (Sistema Supervisione)	146

Indice delle tabelle

Tabella 1-Classi di tenuta condotti aeraulici (Norma UNI EN 12237:2004).....	62
Tabella 2 - Controlli funzionali dei componenti [16]	80
Tabella 3 - Numero delle misurazioni da eseguire come frazione del numero p [16]	81
Tabella 4-Incertezza ammessa per i vari parametri [16].....	81
Tabella 5 - Aree funzionali principali	84
Tabella 6 - Condizioni nominali esterne	85
Tabella 7 - Condizioni di progetto interne invernali ed estive.....	85
Tabella 8 - Ricambi d'aria di progetto per ogni destinazione d'uso	86
Tabella 9 - Velocità massima previste in progetto in varie sezioni della rete aeraulica	86
Tabella 10 - Tronchi canale rete di mandata - Test di tenuta.....	107
Tabella 11 - Esito test canali mandata	107
Tabella 12 - Tronchi canale rete di ripresa - Test di tenuta	108
Tabella 13 - Esito test canali di ripresa	108
Tabella 14 - Report messa in funzione Pompe di Calore	111
Tabella 15 - Test elettroventilatore di mandata aria	112
Tabella 16 - Test elettroventilatore di ripresa aria	112
Tabella 17 - Verifiche funzionali serrande di regolazione	113
Tabella 18 - Valori rilavati da UTA 2.....	115
Tabella 19 - Valori di portata misurati (Messa in funzione).....	117
Tabella 20 - Valori di portata misurati (Post sostituzione pezzo speciale)	121
Tabella 21 - Valori di portata misura (primo bilanciamento)	123
Tabella 22-Portata misurata singoli ambienti	124
Tabella 23 - Valori finali misurati nei vari tratti orizzontali di rete	127
Tabella 24 - Strumenti utilizzati per le misure funzionali	130
Tabella 25 - Valori di portata (Misure funzionali)	131
Tabella 26 - Corrente assorbita dai ventilatori e dp sui filtri (Misure funzionali)	131
Tabella 27 - Temperatura ambiente (Misure funzionali)	132
Tabella 28 - Portata ambienti (Misure funzionali)	133
Tabella 29 - Indici PMV	134
Tabella 30 - Categorie di comfort [18]	136
Tabella 31 - Misure comfort ambientale	138
Tabella 32 – Confronto valori set point – sistema supervisione	141

Introduzione

La realizzazione di un impianto di climatizzazione che sia in grado di soddisfare le esigenze di utilizzo e la destinazione d'uso prevista dal committente è un percorso complesso che parte con la fase di progettazione. In tutti gli step necessari alla realizzazione occorre porre attenzione al rispetto delle normative, dalla progettazione fino all'installazione. Di fondamentale importanza è la fase terminale, durante la quale occorre effettuare la taratura degli impianti e le prove funzionali, per ottenere i requisiti di progetto previsti. Infine, la fase ultima di collaudo dell'intero sistema, effettuata da un ente terzo rispetto all'installatore e al direttore dei lavori, ha l'obiettivo di verificare che il sistema impianto sia effettivamente pronto all'uso e in grado di rispettare gli obiettivi per cui è stato realizzato.

Sempre più spesso, per limitata disponibilità economica da parte del committente, per mancanza di tempo o per una scarsa conoscenza di sistemi e strumenti di misura, le fasi di collaudo sono tralasciate rendendo difficoltose la verifica e l'apposizione di un benestare tecnico di corretto funzionamento. Impianti che sono correttamente bilanciati o verificati possono comunque non funzionare in modo non ottimale, comportando non solo un aumento dei consumi energetici in seguito ad una riduzione dell'efficienza, ma anche un mancato rispetto dei requisiti di progetto, discomfort e il non soddisfacimento dei requisiti minimi di qualità dell'aria dell'ambienti interni.

Il Decreto del Ministero dello Sviluppo Economico 22 gennaio 2008, n. 37, è il regolamento che riordina le disposizioni in materia di attività di installazione degli impianti all'interno degli edifici, abrogando il precedente Decreto del Presidente della Repubblica 447/1991, parte del testo unico dell'edilizia DPR 447/1991 (Capo V della parte II, articoli, dal 107 al 121) e la precedente legge 46/90. Con l'emanazione del DM 37/2008, sono state introdotte nuove disposizioni in materia di sicurezza degli impianti negli edifici, ma soprattutto viene ripreso dalla normativa sostitutiva l'obbligo di rilascio della Dichiarazione di Conformità relativa alle opere impiantistiche realizzate, come prescritto all'art. 7 [1].

La Dichiarazione di Conformità dev'essere rilasciata dall'impresa installatrice al termine dei lavori, dopo aver effettuato la messa in funzione, le prove di funzionamento e il bilanciamento dell'impianto stesso. In questo modo la normativa rende indirettamente obbligatorio il test e la taratura dell'impianto, procedure a carico dell'impresa installatrice e necessarie per la redazione della Dichiarazione stessa.

Quest'ultima è una condizione necessaria affinché la autorità competenti possano rilasciare il certificato di agibilità di uno specifico immobile. In alcuni casi è richiesto anche il certificato di collaudo degli impianti installati. Questo è in genere obbligatorio per gli impianti a servizio di edifici pubblici o impianti privati che prevedono l'utilizzo di soluzioni tecniche non convenzionali. Non è previsto invece per installazioni di apparecchi di piccole dimensioni ad uso domestico e privato, fermo restando l'obbligo del rilascio della Dichiarazione di Conformità.

Quindi il collaudo dell'impianto nella sua completezza non è obbligatorio in ambito privato in caso di soluzioni impiantistiche standard. Può essere però espressamente richiesto dal committente all'impresa installatrice e alla Direzione dei Lavori in fase contrattuale. In questo caso il collaudatore sarà una figura professionale terza che avrà il compito di verificare il corretto funzionamento e la corretta progettazione e realizzazione degli impianti nella sua interezza. La fase di collaudo è effettuata dopo che l'impresa installatrice ha già svolto tutte le prove di funzionamento e di taratura e redatto la documentazione necessaria. L'obiettivo è quello di verificare la rispondenza dell'impianto alla regola dell'arte e la conformità alle norme, garantendo il funzionamento e le prestazioni richieste in tutte le condizioni esterne possibili. Il collaudatore, essendo una figura terza, è in grado di adottare una visione di insieme dell'intero impianto che può essere stato realizzato anche da imprese differenti. In questo modo riesce ad individuare eventuali anomalie o malfunzionamenti che in fase di test e di bilanciamento non sono state riscontrate dalle imprese installatrici. Alla fine di un collaudo con esito positivo, l'impianto è quindi sicuramente in grado di soddisfare in modo ottimale i requisiti progettuali rispondenti alle necessità del committente, garantendo quindi il comfort termico, igrometrico e la qualità dell'aria. Tutto questo è ottenuto impiegando la minor quantità di energia, essendo

che si verifica in collaudo non solo la capacità di ottenere i valori di set point previsti ma anche le modalità attraverso cui questi sono raggiunti, accertando la coerenza di queste con la logica di funzionamento dell'intero impianto.

Nonostante i vantaggi sopracitati in termini di comfort, risparmio energetico e quindi risparmio economico, spesso i committenti decidono di non effettuare il collaudo, qualora non fosse prescritto dalla normativa vigente. Questa scelta è dettata principalmente da motivazioni economiche che spingono i proprietari a tagliare le spese di collaudo facoltative e ad investire quel capitale in altre opere. Questo comporta l'esercizio di un impianto che, pur essendo stato soggetto alle procedure di test e taratura, potrebbe non funzionare nelle condizioni ottimali, comportando maggiori costi in fase operativa o un discomfort per gli occupanti in seguito a problemi o malfunzionamenti impiantistici non riscontrati precedentemente.

In questa trattazione si analizzano le procedure di teste e bilanciamento e di collaudo, riportando i principali riferimenti normativi. Si effettueranno anche le stesse pratiche in campo in una struttura Residenziale Sanitaria Assistenziale situata a Vercelli. Si analizzerà infine la bontà dei dati ottenuti e la coerenza con la logica di funzionamento dell'impianto e i requisiti progettuali.

1. Impianti di climatizzazione

1.1 Definizione e classificazione

Con le definizioni “impianto di climatizzazione” o “sistemi HVAC¹” si intende *“un impianto responsabile del riscaldamento, raffrescamento e ventilazione degli edifici”* [2]. Esso ha la funzione di controllare la temperatura degli ambienti, mantenere l’umidità relativa ad un livello predefinito e garantire le condizioni di IAQ (Indoor Air Quality), gestendo il ricambio d’aria attraverso la ventilazione meccanica. Gli impianti di climatizzazione sono pertanto progettati per operare sia in regime estivo sia in regime invernale, rispondendo alle esigenze di riscaldamento, raffrescamento, ricambio d’aria igienico ed alla necessità di deumidificazione ed umidificazione.

Questa tipologia di impianto trova largo impiego nel settore terziario ossia in banche, uffici, centri commerciali, cinema, strutture sanitarie. Attualmente i sistemi HVAC sono fondamentali nei luoghi di lavoro per garantire un ambiente sicuro e confortevole. Ricambiare l’aria dell’ambiente interno è necessario per garantire una buona qualità dell’aria, come prescritto dalla norma UNI EN ISO 7730. Nell’ambiente sono presenti materiali di arredo e di costruzione che si decompongono nel tempo, rilasciando sostanze nell’aria che possono alterare la qualità dell’aria comportando malessere fisico per gli occupanti.

L’impianto di climatizzazione è quindi fondamentale per garantire una buona qualità dell’aria, ossia aria priva di inquinanti, odori e con valori di temperatura, umidità relativa e velocità in determinati intervalli definiti dal legislatore e ritenuti accettabili. La norma di riferimento in Italia (UNI EN ISO 7730) ha definito il benessere termo-igrometrico dell’individuo come *“la condizione mentale di soddisfazione nei confronti dell’ambiente termico”* [3] che coincide con lo stato in cui il soggetto non percepisce né sensazione di caldo né di freddo. Generalmente, questa condizione si raggiunge tra i 20 e i 24 °C in inverno con 50% di umidità relativa e una resistenza termica del vestiario di 1 Clo². In estate si raggiunge con temperatura compresa tra

¹ HVAC acronimo di *Heating, Ventilation and Air Conditioning*

² Clo: unità di misura della resistenza termica all’abbigliamento. 1 clo = 0.155 °C m²/W

22 – 26°C, 50% di umidità relativa e una resistenza termica del vestiario di 0.5 Clo. In entrambe le stagioni occorre evitare l'effetto di Draft, ossia la sensazione di disagio percepita dall'occupante quando colpito direttamente dalla corrente d'aria climatizzata. Per fare ciò occorre garantire una velocità residua dell'aria di 0.2 – 0.3 m/s nella zona occupata.

Gli impianti di climatizzazione risultano quindi fondamentali non solo in strutture con elevato rischio di contaminazione batterica (ospedali, strutture sanitarie residenziali) o con elevata presenza di inquinanti (industrie) ma anche in tutte le strutture del terziario, per garantire comfort termoigrometrico e assicurare un'adeguata qualità dell'aria dell'ambiente interno.

In base alla tipologia impiantistica adottata è possibile distinguere gli impianti di climatizzazione in tre categorie:

1. Impianti con trattamento centralizzato della portata d'aria totale, detti anche "impianti a tutt'aria": l'aria trattata assolve a tutte le funzioni di controllo dei parametri ambientali, ossia temperatura, umidità relativa, IAQ;
2. Impianti con trattamento centrale della sola aria esterna di rinnovo e trattamento finale locale, detti anche "impianti misti aria-acqua": il controllo dell'umidità relativa e della qualità dell'aria è svolto dell'aria esterna, definita aria primaria. Il terminale di trattamento locale, alimentato da acqua calda o refrigerata, svolge il controllo della temperatura ambiente;
3. Impianti con solo trattamento locale, detti anche "impianti ad acqua", in cui non è presente il sottosistema ad aria primaria. Non si effettua un controllo dell'umidità relativa e della qualità dell'aria.

1.2 Impianti a tutt'aria

Negli impianti a tutt'aria lo scambio di energia e di massa di vapore d'acqua, necessari per mantenere le desiderati condizioni termoigrometriche in ambiente (valori di *set point*), avviene attraverso l'immissione di una portata d'aria in opportune condizioni di entalpia ed umidità assoluta. La portata immessa, dopo essersi miscelata in ambiente e aver raggiunto le condizioni termiche ed igrometriche dello stesso, è estratta dalla zona in cui è stata immessa.

I sistemi a tutt'aria sono molto versatili e possono essere adoperati in edifici di notevoli dimensioni con la possibilità di effettuare un controllo differenziato a seconda della zona servita. Essendo impianti molto affidabili, possono essere installati anche in contesti in cui è necessario un controllo preciso dei parametri ambiente (temperatura, umidità, ventilazione, qualità dell'aria) come ospedali, camere bianche, musei, ambienti industriali con particolari esigenze. L'adozione di questa soluzione impiantistica consente di utilizzare un'unica tipologia di impianto per il controllo di tutti i parametri ambientali, evitando di ricorrere a soluzioni che prevedono terminali idronici in aggiunta all'impianto di aria primaria. Inoltre consente di effettuare il recupero di parte dell'energia contenuta nell'aria estratta in ambiente attraverso il passaggio della stessa in un recuperatore di calore. Il principale svantaggio di questa tipologia impiantistica è intrinseco alla natura del suo fluido termovettore, ossia l'aria. Essendo la sua densità tre ordini di grandezza inferiore a quella dell'acqua, occorre una quantità di fluido maggiore a parità di potenza. Questo comporta un maggior ingombro della rete di distribuzione. Questa caratteristica rende questa tipologia impiantistica non applicabile in edifici in cui gli ingombri sono ridotti e non consentono il passaggio delle canalizzazioni dell'aria a soffitto. Spesso si preferisce installare le condotte di distribuzione all'interno di un controsoffitto per evitare di alterare l'architettura dell'ambiente. Nel caso di ingombri ridotti tra soffitto e controsoffitto o di elevate portate di fluido, che comportano dimensioni elevate, può non essere possibile adottare questa soluzione impiantistica e dover ricorrere ad una soluzione "mista" aria acqua. Come si vedrà nell'apposito paragrafo questa soluzione richiede infatti ingombri minori per il passaggio delle canalizzazioni dell'aria.

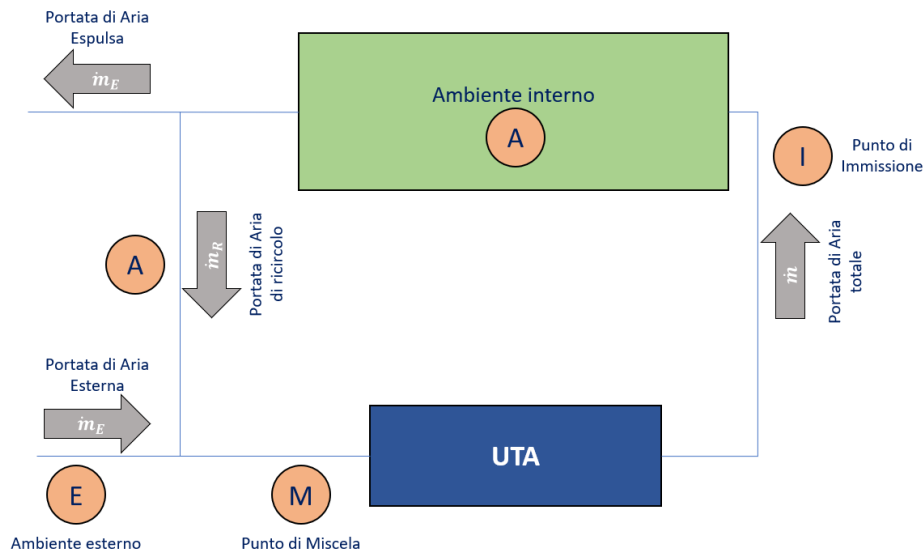


Figura 1-Schema di funzionamento di un impianto a tutt'aria

In Figura 1 è riportato uno schema del principio di funzionamento di un impianto a tutt'aria. Si osserva che la portata di aria totale è immessa nelle condizioni termoigrometriche "I" diverse dalle condizioni dell'ambiente interno (condizioni "A"). La portata d'aria (\dot{m}) ha il compito di bilanciare i carichi sensibili e latenti entranti o uscenti dall'ambiente, in base alla stagione e al tipo di attività svolta all'interno. Pertanto è determinata attraverso un bilancio di energia e di massa di vapore d'acqua. Le equazioni di bilancio di massa ed energia sono rispettivamente le seguenti:

$$\phi_s + \dot{m}_v h_v + \dot{m} h_I - \dot{m} h_A = 0 \quad (1)$$

$$\dot{m}_v + \dot{m} x_I - \dot{m} x_A = 0 \quad (2)$$

dove ϕ_s è il carico termico sensibile entrante o uscente dall'ambiente, $\dot{m}_v h_v$ è il carico latente, h_I è l'entalpia della portata di aria \dot{m} immessa in ambiente ed h_A è l'entalpia della portata di aria estratta in ambiente, ipotizzando perfetta miscelazione. Nell'equazione (2) di bilancio della massa di vapore d'acqua, \dot{m}_v è la massa di vapore immessa in ambiente, x_I ed x_A rispettivamente il titolo dell'aria immessa ed estratta.

Le condizioni di temperatura e umidità relativa ambiente (A) sono fissate a priori dal progettista, generalmente 26°C e 50% in estate e 20°C e 50% in inverno. Questi valori sono scelti per convenzione tecnica e consentono di mantenere il comfort ambientale. La temperatura di immissione è scelta dal progettista, considerando una riduzione di temperatura in estate

rispetto la temperatura ambiente T_A di 8-12°C e una maggiorazione in inverno di 10-15°C. Questi delta di temperatura rispetto le condizioni ambiente consentono di ottenere un salto di entalpia tra le condizioni A ed I adeguato ad immettere una portata in ambiente (\dot{m}) ottimale, ossia né troppo elevata in seguito ad un delta T ridotto (che comporterebbe dimensioni dei condotti elevate) né troppo ridotta in seguito ad un delta T elevato (che comporterebbe discomfort). L'aria è estratta dall'ambiente nelle condizioni interne, poiché ha subito un processo di miscelazione che si ipotizza essere "perfetto". Una parte dell'aria estratta è poi espulsa verso l'esterno, in base a quanto stabilito dalla norma UNI 10339. Se la portata di aria da espellere è minore della portata di aria estratta, la restante parte è ricircolata e miscelata con l'aria di rinnovo prelevata dall'ambiente esterno nelle condizioni termoigrometriche "E". Qualora la portata d'aria da immettere per scopi igienici, prescritta dalla norma UNI 10339, è maggiore della portata di aria risultante dal bilancio, si immette in ambiente la portata d'aria che soddisfa i requisiti igienici e si espelle la stessa quantità. In questo caso la portata di ricircolo è pari a zero e le condizioni di miscelazione (M) coincidono con le condizioni dell'ambiente esterno.

1.2.1 Unità di trattamento aria

Con le definizioni Unità di Trattamento dell'Aria (UTA) o Centrale di Trattamento dell'Aria (CTA) si identifica *"una famiglia di macchine, in genere componibili a sezioni, comprendenti al proprio interno e nella loro configurazione finale tutti i componenti che permettono di svolgere sull'aria aumento o diminuzione della pressione totale, filtrazione, riscaldamento, raffreddamento, umidificazione, deumidificazione"* [4].

I componenti necessari per il trattamento termoigrometrico che porta l'aria delle condizioni M alle condizioni I (viste nel paragrafo 1.2) sono:

- Batteria di preriscaldamento;
- Batteria di raffreddamento e deumidificazione;
- Saturatore adiabatico o umidificatore elettrico;
- Batteria di postriscaldamento.

Uno schema di UTA è riportato in Figura 2.

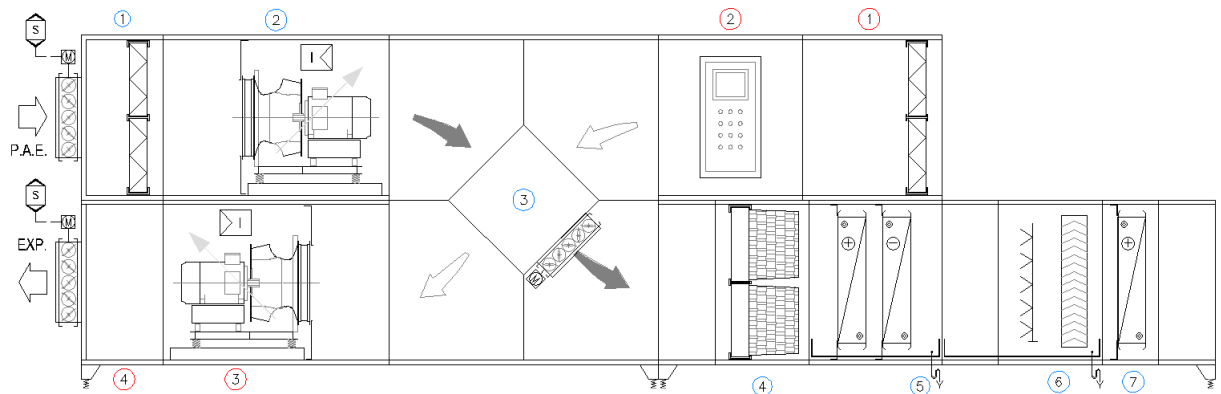


Figura 2-Schema Unità Trattamento Aria

Le sezioni numerate sul ramo di mandata (celeste) in Figura 2 sono:

1. Sezione presa aria esterna con serranda motorizzata e filtro;
2. Sezione ventilante di mandata;
3. Recuperatore statico a flussi incrociati;
4. Sezione di filtrazione;
5. Batteria di preriscaldamento, raffreddamento e deumidificazione;
6. Sezione Umidificazione a vapore con separatore di gocce;
7. Batteria di postriscaldamento.

Le sezioni numerate sul ramo di mandata (celeste) in Figura 2 sono:

1. Sezione di ripresa ambiente e filtrazione;
2. Quadro elettrico di potenza;
3. Sezione ventilante di ripresa;
4. Sezione di espulsione.

Come si evince dallo schema funzionale riportato, il flusso d'aria è prima filtrato secondo le norme specifiche e successivamente è riscaldato o raffreddato attraverso le batterie di scambio termico. Nel 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. Per il raffreddamento dell'aria è possibile utilizzare impianto di refrigerazione centralizzato come *chiller* o assorbitori, o da un sistema ad espansione diretta con sistema di condensazione

centralizzato (torre di raffreddamento) oppure con raffreddamento ad aria autonomo. Per il riscaldamento dell'aria invece si possono adottare sistemi di riscaldamento centralizzati alimentati a combustibili nel caso di UTA di grandi dimensioni oppure sistemi di riscaldamento elettrico, nel caso di piccole potenze termiche da impiegare. I fluidi caldi e freddi prodotti circolano nelle rispettive batterie alettate di scambio termico. Il loro dimensionamento, ossia la scelta del numero di ranghi, diametro dei tubi, passo dei tubi e delle alette, dipende dalla potenza necessaria, determinata dal bilancio di energia che si analizzerà successivamente. L'umidificazione dell'aria può essere effettuata attraverso ugelli che spruzzano acqua a bassa pressione o attraverso umidificatori a vapore elettrici. La prima soluzione può portare alla formazione di Legionella nell'acqua ricircolata. In base alla disponibilità o meno di potenza elettrica sufficiente e/o alla necessità di prevenire eventuali contaminazioni si adotta la prima o la seconda soluzione. Le sezioni ventilanti delle UTA sono normalmente dotate di ventilatori centrifughi a doppia aspirazione. Questi possono essere a pale rovesce con motore separato e trasmissione a cinghia e pulegge, a pale avanti con motore separato e trasmissione a cinghia e pulegge, a pale rovesce in versione «plug fan» con motore direttamente accoppiato e regolato tramite inverter. Un altro componente presente nelle UTA è il recuperatore di calore sensibile e/o latente. Questo consente di recuperare parte del calore presente nell'aria estratta destinata all'espulsione per cederlo all'aria di rinnovo presa dall'esterno. I recuperatori più diffusi sono del tipo aria-aria in cui avviene lo scambio diretto tra aria espulsa e aria di rinnovo. Esistono anche recuperatori rotativi o a batterie accoppiate. L'ultima tipologia consente un recupero tramite un circuito ad acqua, evitando trafile e contaminazioni tra l'aria da espellere e l'aria di rinnovo, e permette di recuperare calore non necessariamente in UTA ma anche in zone molto distanti da essa.

Nell'attraversare le batterie di scambio termico e l'umidificatore, l'aria subisce diverse trasformazioni termodinamiche a seconda della stagione.

In estate le trasformazioni subite dall'aria umida sono:

- Raffreddamento e deumidificazione, trasformazione effettuata dalla batteria di raffreddamento e deumidificazione a $\frac{\Delta h}{\Delta x}$ costante;
- Postriscaldamento isotitolo, trasformazione effettuata dalla batteria di postriscaldamento per raggiungere la temperatura di immissione desiderata.

Non si alimenta quindi la batteria di preriscaldamento e l'umidificatore. Occorre inoltre specificare che le condizioni di uscita dalla batteria di raffreddamento e deumidificazione sono diverse dalle condizioni teoriche. Se la tutta portata di aria trattata attraversasse effettivamente la batteria si raggiungerebbe il punto di rugiada (R). Essendo che una parte non viene trattata dalla batteria e resta nelle condizioni di miscela (M), si raggiunge il punto di uscita effettivo (B) ottenuto considerando un fattore di by-pass.

In inverno le trasformazioni subite dall'aria umida sono:

- Preriscaldamento, trasformazione effettuata dalla batteria di preriscaldamento;
- Umidificazione;
- Postriscaldamento, trasformazione effettuata dalla batteria di postriscaldamento.

Per analizzare sul diagramma di Mollier le trasformazioni subite dall'aria umida nell'unità di trattamento aria occorre ripartire dalle equazioni (1) e (2) di bilancio di energia e di massa di vapore. Dividendo i membri delle due equazioni si ottiene l'equazione della retta di carico:

$$\frac{\Delta h}{\Delta x} = \frac{h_A - h_I}{x_A - x_I} = \frac{\phi_s + \dot{m}_v h_v}{\dot{m}_v} \quad (3)$$

Definite le condizioni ambiente (A) dal progettista, la semiretta ambiente che parte dal punto (A) con pendenza $\frac{\Delta h}{\Delta x}$ rappresenta il luogo dei punti delle possibili condizioni di immissione (I) che rispettano le due equazioni di bilancio. Come detto precedentemente, la temperatura del punto (I) è scelta arbitrariamente, considerando l'effetto conseguente sulla portata d'aria da immettere e sulle condizioni di comfort. Definita la temperatura secondo le convenzioni tecniche e nota la retta di carico, è possibile determinare il punto (I) sul diagramma di Mollier. A questo punto sono noti il punto (E) rappresentante le condizioni esterne estive o invernali di

progetto dalla località in cui si progetta l'impianto, il punto (A) scelto dal progettista ed il punto (I). Sono noti anche i carichi termici sensibili e latenti, la portata d'aria di ricambio \dot{m}_{ae} fissata dalla norma in base alla destinazione d'uso dell'edificio attraverso i ricambi orari (ACH – *Air Change per Hour*). Non è nota la portata di aria \dot{m} immessa in ambiente e trattata dall'UTA, pari alla portata \dot{m}_{ae} sommata alla portata ricircolata \dot{m}_{ric} . Fissate le condizioni I ed A è possibile la portata \dot{m} dall'equazione (1) e di conseguenza, nota \dot{m}_{ae} si può ottenere il valore di \dot{m}_{ric} . Lo stato termodinamico (M) è determinato dalla miscelazione delle due portate \dot{m}_{ric} e \dot{m}_{ae} rispettivamente nelle condizioni (E) ed (A). Lo stato (M) giace sulla congiungente A-E e si individua noto il valore dell'entalpia ricavato dal bilancio entalpico.

$$\dot{m}_a h_M = \dot{m}_{ric} h_A + \dot{m}_{ae} h_E \quad (4)$$

Raggiunto il punto di miscelazione (M) l'aria attraverso l'unità di trattamento d'aria subendo le diverse trasformazioni relative al periodo estivo o invernale. I diagrammi di Mollier contenenti tutte le trasformazioni subite nei due periodi sono riportati in Figura 3 e in Figura 4.

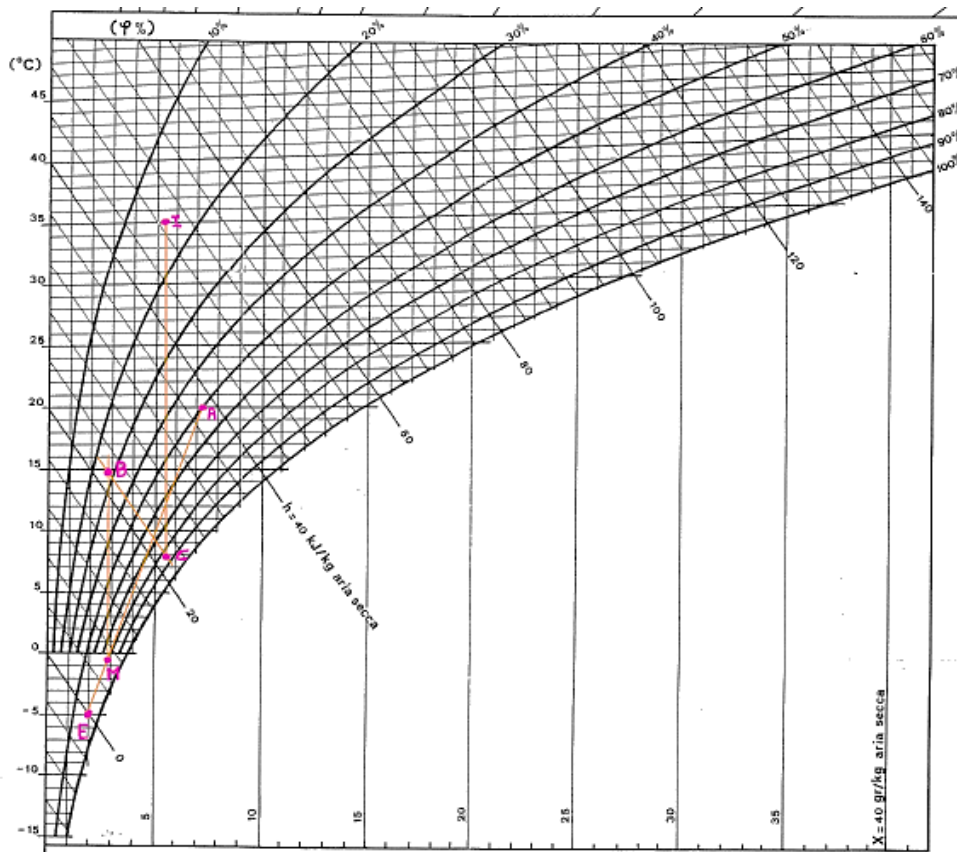


Figura 3-Diagramma di Mollier - regime invernale

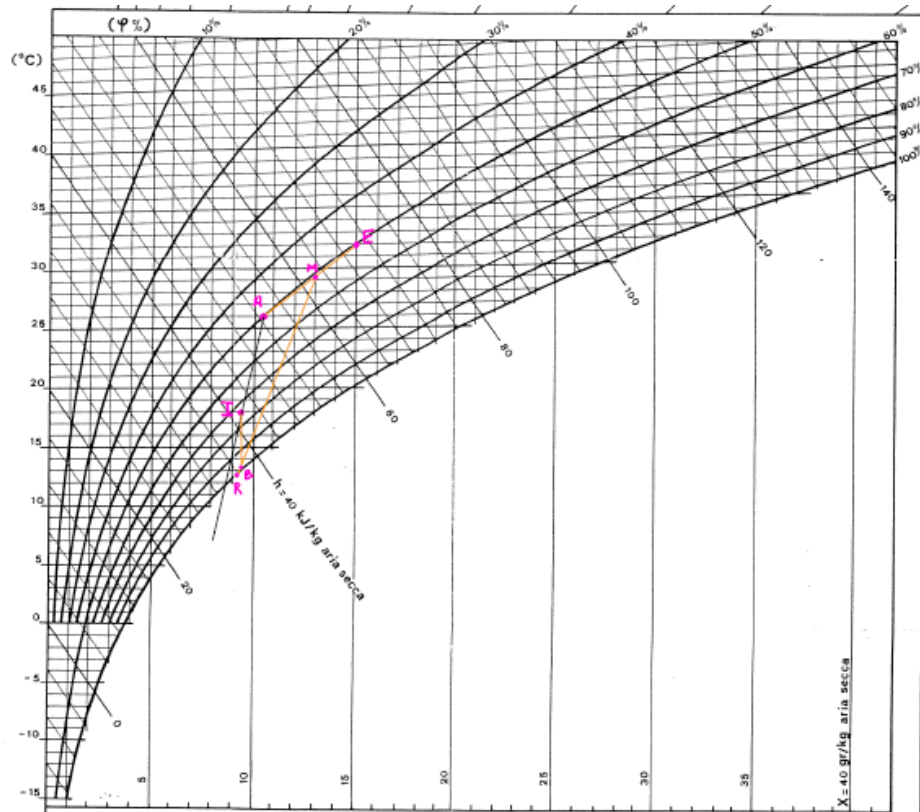


Figura 4-Diagramma di Mollier - regime estivo

I diagrammi sono rappresentati considerando le temperature esterne di progetto di Torino, ambiente interno con 20°C e 50% UR in inverno e 26 °C e 50% UR in estate.

Individuati tutti gli stati termodinamici delle trasformazioni e nota la portata di aria da trattare nell'UTA è possibile calcolare la potenza delle batterie e la portata di acqua condensata o umidificata.

In inverno:

$$\phi_{prerisc} = \dot{m}(h_B - h_M) \quad (5)$$

$$\phi_{postris} = \dot{m}(h_I - h_C) \quad (6)$$

$$\dot{m}_W = \dot{m}(x_C - x_B) \quad (7)$$

In estate:

$$\phi_{raffr} = \dot{m}(h_M - h_B) \quad (8)$$

$$\phi_{postris} = \dot{m}(h_I - h_B) \quad (9)$$

$$\dot{m}_{cond} = \dot{m}(x_M - x_I) \quad (10)$$

Essendo la batteria di post riscaldamento utilizzata sia nella stagione estiva sia nella stagione invernale, si dimensiona la batteria considerando la potenza maggiore ottenuta nei due periodi.

L'analisi effettuata partendo dal bilancio di energia fino al diagramma di Mollier è alla base del dimensionamento delle unità di trattamento d'aria, ossia delle potenze delle batterie e successivamente delle loro dimensioni (superficie, numero di ranghi, passo delle alette). Oggigiorno il dimensionamento è effettuato attraverso dei software che, note le condizioni termodinamiche esterne, dell'ambiente interno, di immissione e nota la portata di aria esterna di rinnovo, effettuano un dimensionamento automatico dei componenti dell'UTA. La fisica alla base del processo è quella precedentemente descritta.

1.2.2 Distribuzione dell'aria

Dopo che l'aria ha subito i diversi processi termodinamici nell'unità di trattamento d'aria, il ventilatore di mandata convoglia l'aria verso la rete di distribuzione che distribuisce l'aria negli ambienti interni per riscaldare, raffreddare, ventilare. L'aria percorre le condotte e raggiunge gli ambienti grazie alla differenza di pressione creata dal ventilatore di mandata: la pressione all'uscita del ventilatore è maggiore rispetto all'aspirazione dello stesso ed è tale da poter compensare tutte le perdite di carico generate dalla rete e permettere all'aria di giungere in ambiente ad una pressione almeno pari alla pressione atmosferica. In modo analogo il ventilatore di ripresa crea una pressione minore a monte di esso che richiama l'aria nella rete e la estrae dall'ambiente da climatizzare.

Le reti aerauliche includono diversi componenti tra cui condotti di distribuzione, diffusori di mandata, griglie di ripresa, valvole di ventilazione, serrande di taratura, serrande tagliafuoco, materiali isolanti.

I condotti di distribuzione possono essere realizzati con diversi materiali come acciaio zincato, acciaio inossidabile, o condotti preisolati. Possono essere fabbricati in diverse forme e dimensioni per adattarsi all'architettura dell'edificio.

In funzione della velocità dell'aria è possibile classificare le reti aerauliche in:

- Bassa velocità, con velocità minore di 10 m/s per impianti residenziali e minore di 12 m/s per impianti industriali;
- Alta velocità, con velocità compresa tra 10 m/s e 20 m/s per impianti residenziali 12 - 25 m/s per impianti industriali.

Nei sistemi a tutt'aria l'aria che raggiunge gli ambienti interni ha il compito di assorbire il calore latente e sensibile presente nello spazio da controllare, raggiungendo le condizioni termoigrometriche desiderate. Queste due forme di calore dipendono dal carico esogeno legato alle condizioni esterne e dal carico endogeno degli occupanti e degli apparecchi interni. Essendo questi carichi variabili nel tempo e in ogni zona termica, è necessario realizzare un impianto che consente di climatizzare in modo diversificato i diversi ambienti serviti dalla stessa unità di trattamento aria. Per fare ciò, nota l'equazione del bilancio di energia di una zona termica, è possibile adottare una delle seguenti soluzioni:

- Variazione della portata d'aria immessa in ambiente e temperatura costante (impianti VAV³);
- Variazione della temperatura dell'aria immessa in ambiente e portata costante (impianti CAV⁴);
- Variazione della portata e della temperatura (impianti VVT⁵);
- Impianti a doppio condotto.

³ VAV acronimo di Variable Air Volume flow rate

⁴ CAV acronimo di Constant Air Volume flow rate

⁵ VVT acronimo di Variable Air Volume flow rate and Temperature

Sistemi a singolo condotto – CAV

Nei sistemi a condotto singolo le batterie di riscaldamento, raffreddamento e deumidificazione sono installate in serie all'interno del percorso del flusso d'aria che parte dall'UTA e giunge in ambiente. La tipologia impiantistica a singolo condotto con volume d'aria costante rappresenta la configurazione più semplice per la distribuzione di un impianto a tutt'aria. Gli ambienti interni sono serviti da una portata d'aria proveniente da un unico condotto principale che si dirama in condotti secondari. Se non sono presenti delle batterie di zona, le condizioni di temperatura e umidità dell'aria sono uniche per tutti gli ambienti serviti e pari alle condizioni in uscita dall'UTA. In questo caso l'impianto a canale singolo può essere installato a servizio di una sola zona termica⁶. Se in un edificio sono presenti più zone termiche o si ha la necessità di climatizzare aree perimetrali con esposizioni differenti è possibile progettare diversi impianti a canale singolo appartenenti a differenti UTA tante quante sono le differenti zone termiche oppure inserire delle batterie di postriscaldamento di zona, installate in corrispondenza del condotto che alimenta una zona termica. In estate l'aria è prodotta dall'UTA ad una temperatura sufficientemente bassa da soddisfare il carico di raffreddamento massimo della zona termica più esigente. Successivamente si fornisce calore all'aria localmente in base alle necessità delle differenti zone termiche. Ne risulta un controllo o della sola temperatura o della sola umidità dell'aria immessa in ambiente. Nel primo caso si effettua il controllo con un termostato che fissa la temperatura e lascia l'umidità libera di variare. Nel caso di regolazione con umidostato si fissa l'umidità relativa ambiente e si lascia libera di variare la temperatura. Quest'ultima soluzione è applicata in ambienti che richiedono un rigido controllo dell'umidità ambiente come musei o sale esposizioni. Entrambe le tipologie impiantistiche rientrano nella categoria CAV, poiché si varia la temperatura di immissione per ogni zona termica mantenendo costante la portata d'aria. Uno schema d'impianto è riportato in Figura 5.

Pur essendo l'impianto a servizio di più zone e con portata d'aria costante è sempre necessario garantire per ciascun ambiente una portata minima di rinnovo, pari al prodotto tra il volume

⁶ Zona termica: "porzione di edificio costituita da un insieme di più ambienti termicamente omogenei fra loro, serviti dal medesimo sistema di riscaldamento e/o climatizzazione, nei quali le variazioni del carico termico (latente e/o sensibile) sono simili" [20].

d'aria del singolo locale e il valore ACH fissato dalla norma UNI 10339. Per il dimensionamento della portata in impianti del tipo CAV dunque, è necessario calcolare il valore di portata di rinnovo che deve sempre essere immesso.

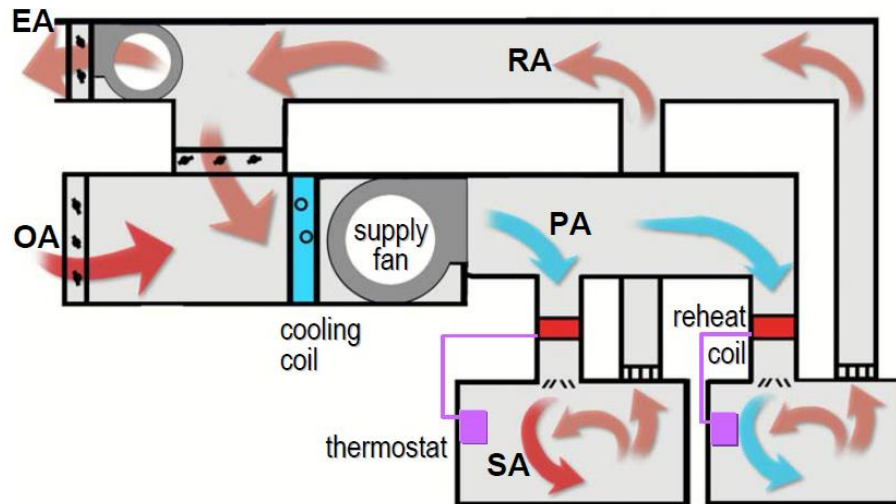


Figura 5-Schema impianto tutt'aria CAV [5]

Sistemi a singolo condotto – VAV

Un sistema VAV soddisfa il bilancio termico sensibile e latente di una zona termica variando la quantità di aria in mandata anziché modificare la temperatura dell'aria stessa proveniente da un'unica UTA. La temperatura dell'aria immessa deve sempre essere sufficientemente bassa da poter compensare il carico termico della zona più fredda in inverno e più calda in estate, mantenendo l'umidità relativa adeguata. Se la potenza richiesta da una zona diminuisce si immette in ambiente una portata minore, a parità di temperatura e umidità; in caso di aumento della potenza richiesta è sufficiente aumentare la portata di aria da immettere.

Per realizzare questa soluzione impiantistica occorre installare dei sistemi di taratura e bilanciamento localizzati per parzializzare la portata (Figura 6). Una serranda motorizzata comandata da un pressostato è collocata sull'aspirazione del ventilatore di mandata; la sua apertura o chiusura permette di mantenere costante la pressione a valle del ventilatore. In questo modo la variazione della portata in una zona non influenza la portata mandata ad altre zone. In ogni caso nella configurazione VAV la portata che è possibile far variare è legata alla sola quota ricircolata. La portata di rinnovo resta costante e determinata dal riferimento

normativo. Per fare ciò si inseriscono delle serrande in corrispondenza del condotto di presa aria esterna per mantenere costante la quantità di aria prelevata anche quando varia la portata di aria immessa in ambiente.

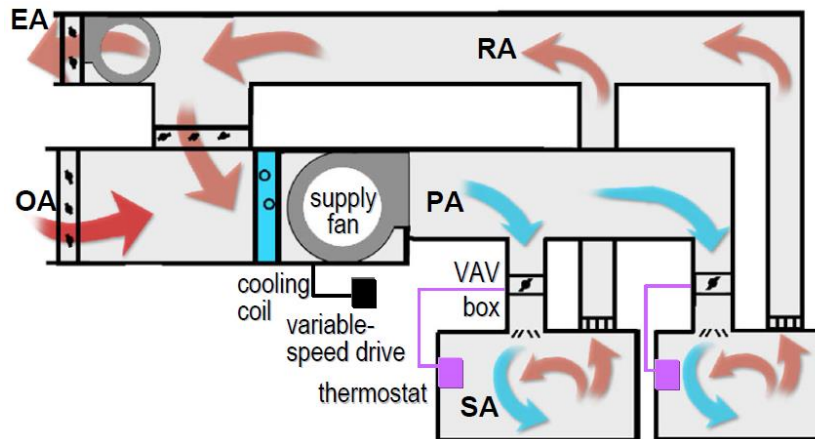


Figura 6-Schema impianto tutt'aria VAV [5]

Sistemi a singolo condotto – VVT

Questi sistemi agiscono sia sulla regolazione della portata, come gli impianti del tipo VAV, sia sulla temperatura, come nella configurazione CAV. È quindi necessario installare sia dei regolatori di portata per ogni ramo che alimenta una differente zona termica, sia una batteria di postriscaldamento.

Impianti multizona

Tra le tipologie di impianti a tutt'aria, gli impianti multizona uniscono versatilità, buone prestazioni e bassi costi di installazione, esercizio e manutenzione. L'UTA fornisce una portata d'aria a due plenum distinti definiti "caldo" e "freddo". Essi sono preceduti da una batteria di riscaldamento e una batteria di raffreddamento. La presenza di serrande motorizzate in corrispondenza della derivazione verso una zona termica, consente la miscelazione delle due portate provenienti dai due differenti plenum, per addurre ad ogni singola zona una portata alle giuste condizioni di immissione richieste sia in inverno sia in estate. La portata di aria immessa negli ambienti ha valori di temperatura e umidità legati al processo di miscelazione di due portate provenienti dai due plenum a diversi livelli termici.

Questi impianti presentano degli ingombri elevati, essendo necessaria la realizzazione di due plenum che percorrono tutte le zone da servire. Inoltre i costi di installazione risultano superiori a causa del raddoppio della quantità di materiale richiesto e per via della necessità di due serrande di regolazione per ogni zona termica.

Impianti a doppio condotto

Il concetto alla base degli impianti a doppio condotto è analogo a quello visto per gli impianti multizona. In questa configurazione il plenum freddo ed il plenum caldo sono sostituiti rispettivamente da un condotto freddo e uno caldo che percorrono lungo tutto l'edificio giungendo in prossimità delle zone da servire. Ciascuna zona preleva la propria portata d'aria dalla cassetta di miscelazione, in cui è miscelata l'aria proveniente dai due canali. L'aria prelevata dai due condotti è regolata da due serrande azionate da un termostato. In questo modo è possibile servire un maggior numero di zone rispetto al caso di semplici impianti multizona. Questa tipologia impiantistica può essere progettata a volume costante o volume d'aria variabile. Nel primo caso si utilizza più energia di un sistema VAV a condotto singolo, a parità di condizioni al contorno.

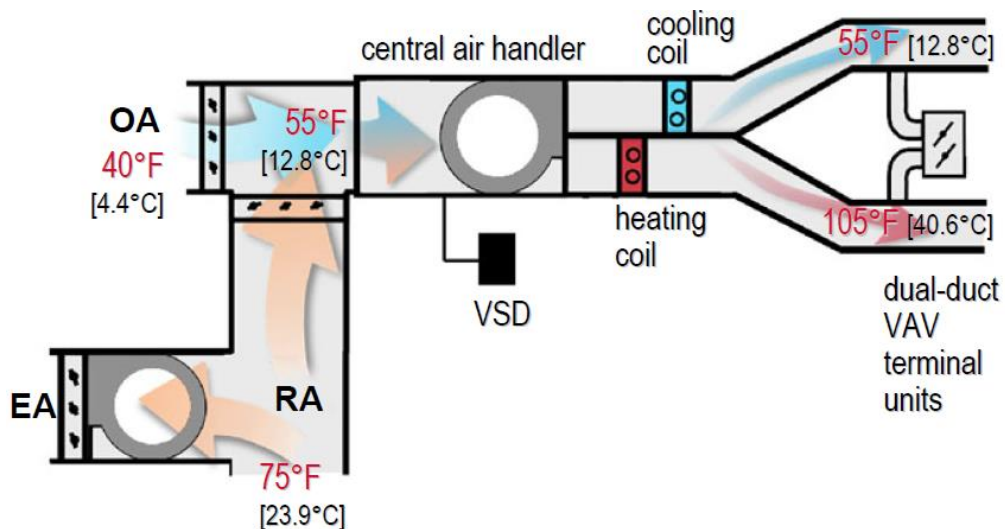


Figura 7-Schema impianto doppio condotto [5]

1.3 Impianti ad acqua

Gli impianti a sola acqua effettuano il condizionamento dell'ambiente attraverso terminali che scambiano calore con l'aria interna grazie alla circolazione di acqua all'interno di essi. Questa tipologia impiantistica non effettua un controllo dell'umidità presente in ambiente. I terminali di emissione sono regolati in base alla temperatura rilevata da un termostato ambiente. Si controlla quindi la sola temperatura interna, immettendo o sottraendo una potenza termica necessaria a soddisfare i carichi sensibili in ambiente. L'umidità relativa dell'ambiente interno è una variabile non controllata e dipende dalla temperatura desiderata. Se si desidera effettuare deumidificazione in estate, occorre alimentare il terminale idronico in modo da raggiungere la temperatura di rugiada dell'aria ambiente. In questo modo si riduce l'umidità ambiente ma sempre in modo dipendente e conseguente dalla temperatura. Non è possibile invece effettuare umidificazione nel periodo invernale. Con questa tipologia impiantistica non si effettua un controllo della IAQ: non essendo immessa aria trattata in ambiente attraverso ventilazione meccanica, il ricambio igienico è demandato alla sola ventilazione naturale, ossia all'apertura delle finestre e alle infiltrazioni. In questo modo non si gestisce la portata di rinnovo immessa e si può incorrere in sprechi di energia o in un ambiente poco salubre, qualora si immettesse una portata maggiore della portata necessaria o la ventilazione non fosse sufficiente. Uno schema di impianto a trattamento locale è riportato in Figura 8.

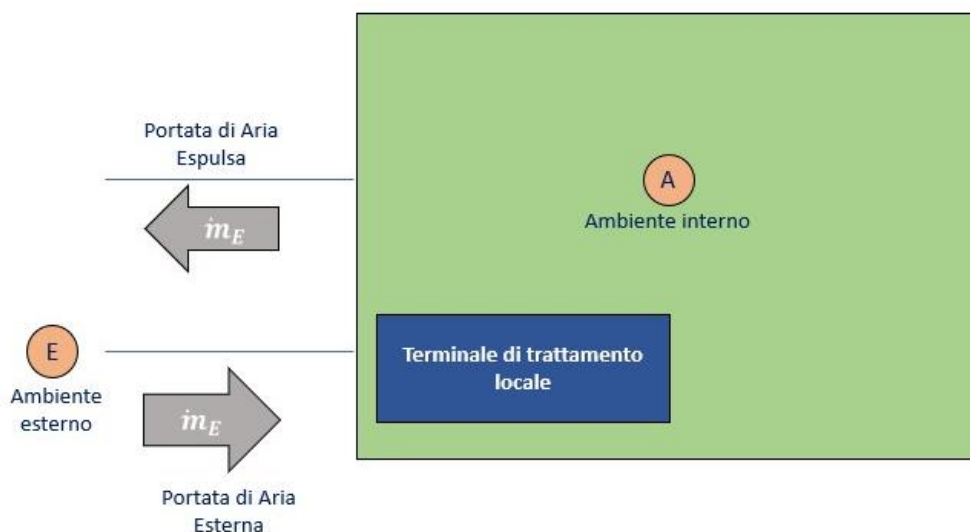


Figura 8-Schema di funzionamento impianto a sola acqua

Per questa tipologia impiantistica il bilancio energetico dell'impianto in inverno è il seguente:

$$\phi_t = -\phi_s - \phi_l + \dot{m}_E(h_E - h_A) \quad (11)$$

dove ϕ_t è la potenza del terminale, $\phi_s + \phi_l$ è il carico totale ambiente, $\dot{m}_E(h_E - h_A)$ è il carico di ventilazione legato alla ventilazione naturale. Questo è a carico del terminale ambiente, motivo per cui rientra nel bilancio dell'impianto.

1.3.1 Sistemi di generazione

I sistemi di generazione più diffusi per la produzione di acqua calda da utilizzare per il riscaldamento degli ambienti sono le caldaie. Esse possono essere classificate in base al fluido prodotto, alle temperature di esercizio e all'eventuale produzione combinata di calore ed energia elettrica. Il fluido utilizzato può essere acqua o vapore, a loro volta classificabili in base alla pressione o alla temperatura. L'acqua calda è il fluido termovettore più utilizzato, sia per la produzione di acqua calda sanitaria (ACS), sia per il riscaldamento degli ambienti. Utilizzando il vapore è possibile percorrere distanze maggiori tra la centrale termica e i terminali, ma occorre poi utilizzare degli scambiatori di calore per convertire il vapore in acqua calda. Il combustibile può essere allo stato gassoso (gas naturale, GPL, biogas), liquido (gasolio, biodiesel) o solido (carbone, legno, biomassa). In base alla pressione in camera di combustione è possibile classificare i bruciatori come "ad aria aspirata", se la pressione è minore della pressione atmosferica, o ad aria soffiata, se maggiore. Attualmente trovano largo utilizzo le caldaie definite a "condensazione". Con questa tecnologia è possibile recuperare energia termica dei gas combusti (altrimenti dispersa) fino al loro punto di condensazione. Il calore è recuperato attraverso uno scambiatore che preriscalda l'acqua prima di raggiungere la camera di combustione, riducendo la quantità di combustibile richiesta a parità di portata e temperatura di acqua calda prodotta.

Per la produzione di acqua refrigerata a 7 o 12 °C per alimentare le batterie di scambio termico dei terminali, si utilizzano dei sistemi ad espansione diretta definiti "chiller". È possibile utilizzare anche dei sistemi ad assorbimento di calore, adatti nel caso in cui si ha a disposizione

una sorgente termica ad alta temperatura da sfruttare. Nei *chiller* o refrigeratori d'acqua si realizza il ciclo frigorifero. È presente un compressore del tipo alternativo, rotativo, a vite, centrifugo o scroll azionato da motori elettrici o a combustione. La scelta della tipologia di compressore dipende principalmente dalla potenza richiesta: la maggior parte dei sistemi commerciali sono prodotti con compressore scroll di serie. Un altro componente fondamentale è il condensatore raffreddato ad aria. Questo forza il passaggio dell'aria esterna su una batteria di scambio termico contenente al suo interno fluido refrigerante, con l'obiettivo di farlo condensare. Oltre al compressore e al condensatore è presente anche l'evaporatore e una valvola di espansione. Le fasi compiute nel circuito ad acqua sono le seguenti: il fluido caldo arriva all'interno della macchina attraverso il sistema idraulico ed entra a contatto del refrigerante freddo nello scambiatore di calore (evaporatore). Il fluido raffreddato in uscita dal *chiller* è poi inviato ai punti di utilizzo. Nello stesso tempo il refrigerante, che intanto si è riscaldato, è inviato al compressore. Il fluido refrigerante, caldo e allo stato gassoso, è immesso nel compressore: in questo componente si trasforma in gas, aumentando pressione e temperatura. Il fluido refrigerante passa nel condensatore per condensare e cedere calore. Il refrigerante passa poi attraverso una valvola di espansione per ridurre la sua pressione, espandersi e diminuire la temperatura. Successivamente raggiunge nuovamente l'evaporatore dove avviene lo scambio termico con l'acqua da refrigerare.

1.3.2 Distribuzione dell'acqua

Dopo che il fluido termovettore è stato opportunamente trattato nelle centrali termiche e frigorifere per raggiungere la temperatura desiderata in base alla tipologia di terminale (vedi 1.3.3) esso è distribuito ai vari terminali attraverso la rete di distribuzione. L'acqua ottiene la pressione necessaria a vincere le perdite di carico distribuite e concentrate della rete attraverso una o più pompe, analogamente a quanto accade per l'aria con i ventilatori.

La rete di distribuzione può essere principalmente di due tipologie:

- A due tubi;
- A quattro tubi.

Nel primo caso è possibile effettuare o riscaldamento o raffrescamento degli ambienti serviti dalla rete. I terminali ad acqua sono alimentati da un tubo di mandata e uno di ritorno che appartengono ad un unico circuito. Questo parte da un collettore che convoglia nella rete il fluido caldo proveniente dalla centrale termica (in inverno) o l'acqua refrigerata proveniente dalla centrale frigorifera (in estate). La commutazione dell'alimentazione dei due fluidi avviene per mezzo di valvole manuali a seconda della stagione. Un sistema a quattro tubi, invece, è l'unione di due sistemi a due tubi: un sistema è per l'acqua refrigerata, un sistema per il riscaldamento dell'acqua. Non è presente nessun miscelamento dei due fluidi, in quanto raggiungono due batterie di scambio termico di un ventilconvettore separate (si rimanda al paragrafo 1.3.3). Con questa configurazione è possibile effettuare contemporaneamente sia riscaldamento sia raffrescamento all'interno dello stesso edificio servito da un'unica rete di distribuzione d'acqua per i terminali. Questo è necessario in caso di edificio con zone termiche che richiedono carichi termici sostanzialmente differenti, come ambienti con grandi vetrate che, essendo colpiti dalla radiazione diretta del sole, potrebbero richiedere potenza termica di raffrescamento nelle mezze stagioni mentre gli ambienti adiacenti con involucro opaco potrebbero essere in modalità di riscaldamento. Uno schema di impianto a quattro tubi è riportato in Figura 9.

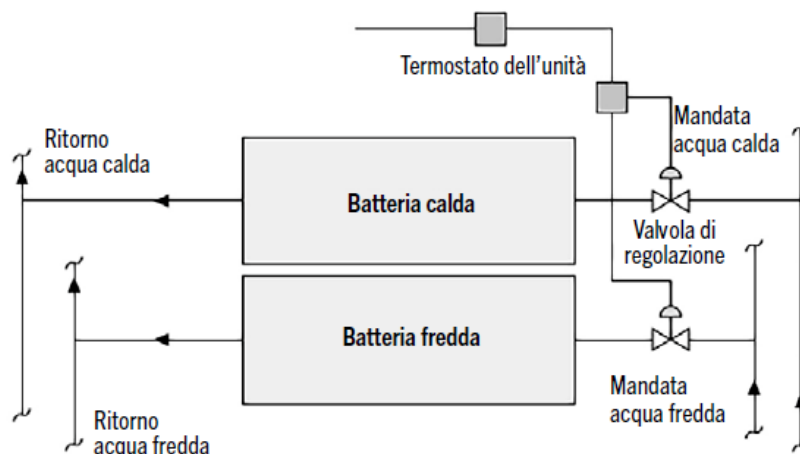


Figura 9-Schema impianto a quattro tubi [6]

1.3.3 Terminali di emissione

I terminali di emissione sono dispositivi che scambiano calore con l'aria ambiente per mezzo della circolazione di acqua calda o refrigerata al loro interno. È possibile classificare i terminali in base al meccanismo di scambio termico impiegato:

- Terminali a scambio prevalente per convezione naturale: definiti anche "convettori", lo scambio termico avviene per movimento convettivo dell'aria innescato dalla differenza di temperatura che comporta una differenza di densità. Questa tipologia può essere utilizzata solo in riscaldamento.
- Terminali a scambio per convezione forzata: sono dotati di un ventilatore per forzare la circolazione dell'aria attraverso delle batterie di scambio termico. Rientrano in questa categoria i ventilconvettori e gli induttori.
- Terminali a scambio prevalente per radiazione: rientrano in questa categoria i sistemi radianti a pavimento, soffitto e parete. Lo scambio termico è determinato principalmente da una quota radiativa e in parte anche da una quota di convezione naturale.
- Terminali a scambio misto: lo scambio termico avviene prevalentemente per convezione ma è presente una quota importante di scambio per radiazione. Rientrano in questa categoria i tradizionali radiatori e le travi fredde.

La scelta dei terminali è influenzata dalle caratteristiche del generatore di calore e di acqua refrigerata utilizzato, in particolare alla temperatura massima che può generare in mandata e alla portata d'acqua massima prodotta. Di seguito si analizzano le tipologie di terminali attualmente più diffuse.

Ventilconvettori

Il ventilconvettore è per definizione *"un gruppo monoblocco comprendente serpentine di riscaldamento e raffreddamento, vaschetta di raccolta della condensa, ventilatore di circolazione e filtro, il tutto contenuto in un unico alloggiamento"* [7]. Questi terminali di

emissione sono utilizzabili sia nel periodo di riscaldamento, sia nel periodo di raffrescamento. Esistono diverse tipologie di ventilconvettori: a pavimento, a soffitto con canalizzazione, a soffitto con cassetta. In tutte le configurazioni sono dotate di una o due batterie di scambio termico (a seconda della tipologia della rete di distribuzione a due o quattro tubi) e di un ventilatore. Questo genera la convezione forzata, richiamando aria dall'ambiente da climatizzare e forzandola in mandata, dopo essere passata attraverso la batteria di scambio termico. Se l'unità è installata a soffitto, è possibile anche realizzare delle canalizzazioni. In questo caso si realizza un plenum in uscita dal ventilconvettore che raccoglie l'aria trattata termicamente e la distribuisce nel punto esatto dell'ambiente attraverso dei diffusori. L'aria di richiamo dell'unità può essere prelevata dall'aria del controsoffitto stesso, collegato con l'ambiente attraverso delle griglie. Nel terminale è presente anche un sistema di filtrazione in ripresa e in mandata che elimina parte dei contaminanti dell'aria ambiente nel momento in cui è richiamata all'interno del terminale. Questi componenti sono illustrati nello schema costruttivo di un ventilconvettore a pavimento riportato in Figura 10.

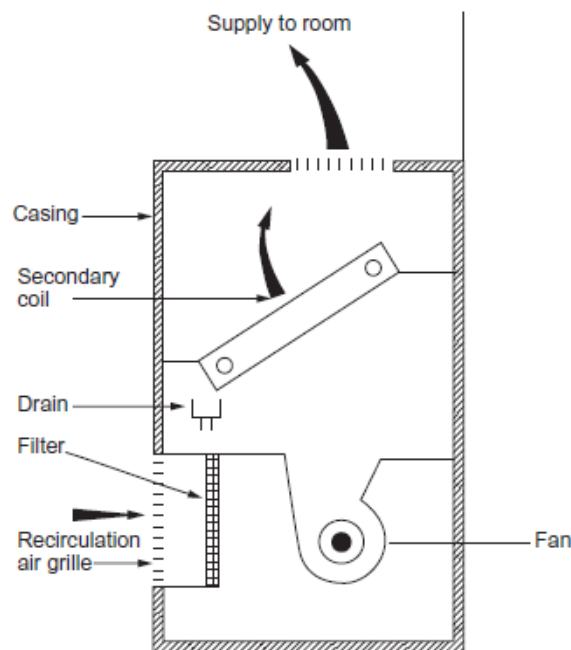


Figura 10-Schema costruttivo ventilconvettore a pavimento [8]

Questi terminali possono essere alimentati anche con acqua calda a temperatura minore rispetto i radiatori, ossia a con temperatura di mandata di 45 °C e temperatura di ritorno 40 °C. Questo range di alimentazione consente di utilizzare un generatore del tipo pompa di calore,

sistema elettrico che può sfruttare anche fonti rinnovabili per la sua alimentazione. In estate il terminale può essere alimentato con salto di temperatura 7-12 °C, raggiungendo il punto di rugiada. Per questo tutti i terminali sono equipaggiati con un sistema di raccolta e scarico delle condense. È possibile anche alimentare il terminale con salto 12-17 °C per non effettuare condensazione. Questa soluzione è solitamente utilizzata negli impianti misti per far compensare al terminale idronico la sola quota sensibile di potenza.

Sistemi radianti

I sistemi di riscaldamento a pannelli radianti⁷ utilizzano tubi riempiti d'acqua installati su pavimenti, pareti e soffitti per distribuire il calore. Il riscaldamento a pavimento radiante è attualmente la soluzione più adottata in edifici di nuova realizzazione, sia per la possibilità di essere accoppiati con sistemi a pompa di calore sia per l'elevato comfort termico che riescono a garantire. Questa tipologia di terminali realizza uno scambio termico con l'aria dell'ambiente da condizionare variando la temperatura dell'acqua tra mandata e ritorno del circuito radiante. Questo può essere alimentato anche ad una temperatura molto bassa in inverno e vicina alle condizioni ambiente, essendo elevata la superficie di scambio termico. Solitamente le temperature di mandata sono comprese tra i 30 °C e i 40 °C in inverno, mentre in estate tra i 16 °C e i 18°C. È importante specificare che in estate occorre evitare la condensazione sulla superficie raffreddata. Per fare ciò è necessario alimentare con acqua refrigerata a temperatura superiore della temperatura di rugiada che si ha nell'ambiente da climatizzare. Qualora la temperatura di rugiada fosse molto elevata, ossia in ambienti molto umidi, occorre installare un sistema di deumidificazione o un impianto misto che delega all'aria primaria il trattamento igrometrico.

I sistemi radianti sono classificabili in sistemi sospesi, composti da pannelli metallici o in cartongesso contenenti i circuiti idronici, ideali per installazione a soffitto, o in sistemi "annegati" a pavimento. Questa tipologia è soggetta ad un'elevata inerzia termica. Essendo

⁷ Con il termine "pannello" si intende l'intero sistema comprendente i circuiti idronici e la struttura isolante.

installati direttamente nel massetto, il flusso termico deve percorrere un'elevata massa prima di giungere in ambiente. In questo modo i transitori di accensione e di spegnimento sono elevati, richiedendo un tempo maggiore per raggiungere la temperatura di set point desiderata ma garantendo questo valore anche per un certo periodo successivo allo spegnimento.

I pannelli radianti a pavimento sono la tipologia più utilizzata grazie alla loro semplicità di installazione. La struttura di un sistema radiante vista in sezione è riportata in Figura 11.

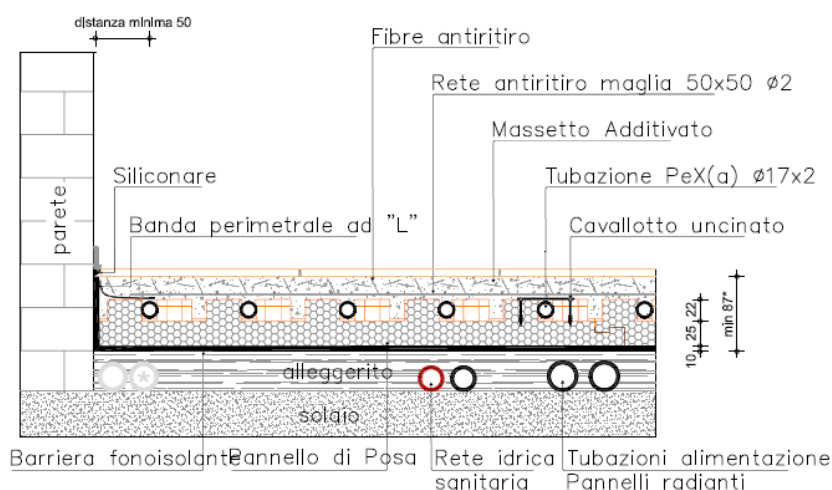


Figura 11-Struttura sistema radiante a pavimento

Come si evince dallo schema, i circuiti si installano al di sopra di un pannello di posa isolante con fondo di spessore di 1 mm fonoisolante. I tubi utilizzati sono generalmente flessibili in materiale plastico, come il polietilene reticolato (PEX). La potenza termica fornita dall'impianto dipende dal passo tra i tubi e dalla lunghezza di tubazione installata. A parità di superficie, un passo minore tra le tubazioni aumenta la potenza termica fornita o sottratta dall'impianto, essendo maggiore la lunghezza di tubo e quindi la portata di acqua termicamente trattata contenuta all'interno. Al di sopra delle tubazioni si realizza un massetto additivato sul quale si installerà la pavimentazione.

In Figura 12 si nota la distribuzione del fluido termovettore nei vari circuiti. È presente un collettore di distribuzione che riceve l'acqua in mandata dalla centrale termica o frigorifera e la distribuisce ai vari circuiti collegati. Per ogni circuito fanno capo al collettore solo due tubazioni di cui una di mandata e una di ritorno. Il collettore di ritorno è collegato in centrale.

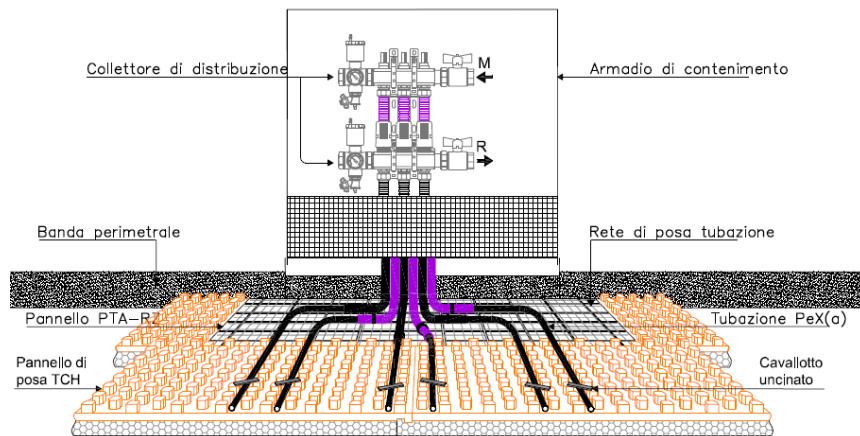


Figura 12-Schema distribuzione impianto radiante

Questa tipologia impiantistica può essere utilizzata sia in ambienti in cui non è richiesta ventilazione, come abitazioni e residenze, sia in strutture che necessitano di un ricambio d'aria controllata, realizzando un impianto misto.

1.4 Impianti misti

Gli impianti misti sono impianti che utilizzano sia l'aria sia l'acqua per climatizzare gli ambienti. In letteratura sono chiamati anche ad "aria primaria", perché tra i due fluidi l'aria è considerata fluido primario mentre l'acqua fluido secondario. L'aria serve a regolare il carico latente e quello di ventilazione, mentre l'acqua il carico sensibile. Spesso anche l'aria compensa parte del carico termico, riducendo la potenza immessa o sottratta dai terminali ad acqua. Uno schema di impianto misto è riportato in Figura 13.

Questa tipologia impiantistica è molto utilizzata negli edifici del terziario e ultimamente anche nelle residenze, integrando l'impianto di ventilazione al tradizionale impianto ad acqua a radiatori oppure in aggiunta a sistemi radianti o ventilconvettori in caso di ristrutturazione. In generale sono utilizzati nelle situazioni in cui non è possibile adottare la soluzione a tutt'aria a causa di uno spazio limitato in controsoffitto. Le condotte in questa tipologia impiantistica sono di dimensioni ridotte rispetto al caso a tutt'aria, essendo che questo fluido termovettore deve compensare solo il carico latente ambiente e non il carico totale.

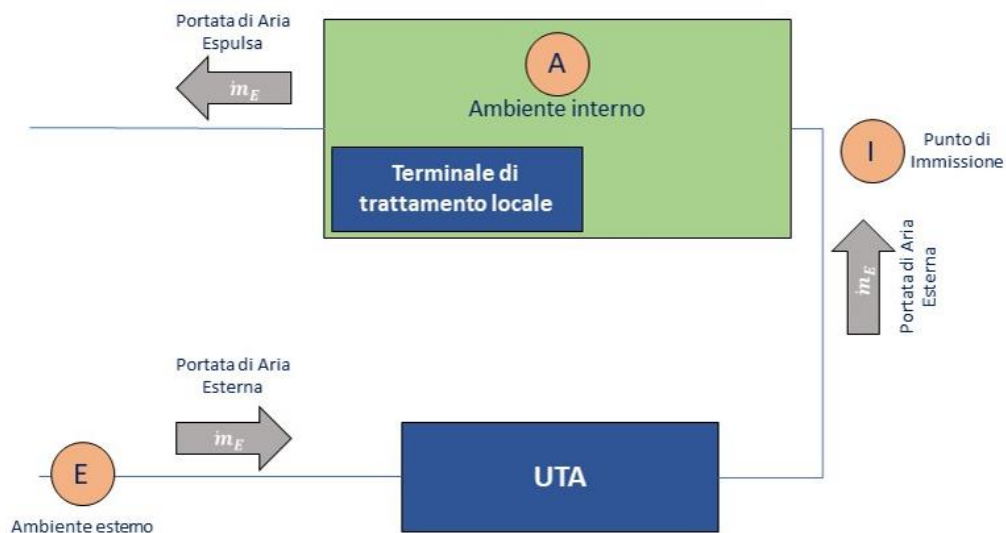


Figura 13-Schema di funzionamento impianto misto

Una combinazione di terminali adottata frequentemente consiste nell'impianto radiante e sistema di ventilazione controllata tramite UTA, nel caso di grandi volumi di rinnovo, o VMC⁸ per piccoli ambienti come abitazioni o uffici.

Spesso, quando non è possibile realizzare una centrale termica e/o frigorifera per generare la potenza necessaria per alimentare i terminali idronici, si utilizzano dei sistemi ad espansione diretta al posto dei terminali ad acqua. In questo caso si adottano dei sistemi denominati VRF, analizzati nel paragrafo seguente.

Sistemi VRF

Storicamente gli impianti di climatizzazione ad espansione diretta erano composti da circuiti singoli comprendenti quattro componenti fondamentali: evaporatore, compressore, condensatore e valvola di espansione. Il compressore e il condensatore raffreddato ad aria erano situati all'esterno e raggiungevano l'evaporatore posto all'interno i due tubi di aspirazione del refrigerante e del liquido. Con l'introduzione della valvola a quattro vie nel circuito refrigerante è stato possibile utilizzare le unità interne sia come evaporatori sia come condensatori, sfruttando quindi l'intero sistema sia in riscaldamento che in raffrescamento.

⁸ Sistemi di ventilazione meccanica controllata adatti a gestire portate minori come richiesto nel settore residenziale

Con l'avvento del sistema VRF⁹ si è associato ad un'unica unità condensante esterna più unità interne.

Esistono tecnologie a due o tre tubi: i sistemi a tre tubi offrono la possibilità di effettuare riscaldamento e raffrescamento simultaneamente, rimuovendo calore da una zona. Per fare ciò si introduce un'altra linea refrigerante che trasporta gas caldo ad alta pressione. In questo caso il sistema è anche dotato un modulo di commutazione che consente di deviare il gas refrigerante dall'unità interna a seconda della modalità di funzionamento. Questo sistema è quindi simile ad un sistema idronico con ventilconvettori a quattro tubi, ossia con due batterie (vedi paragrafo 1.3.3).

Il vantaggio principale di questa tecnologia è la sua natura modulare: la parzializzazione del sistema è semplice da realizzare, rendendo l'impianto adatto ad edifici con più zone termiche o con destinazioni d'uso differenti. Un'unità esterna con sistema VRF è in grado di gestire fino a 32 unità interne in modo indipendente. Inoltre questi sistemi sono adatti in ambienti in cui non è possibile realizzare una centrale termica o frigorifera o lo spazio non è sufficiente per la realizzazione di questi ambienti. Le unità esterne del sistema VRF sono molto compatte e con un unico componente si soddisfa sia la richiesta di raffrescamento sia di riscaldamento. Lo svantaggio principale è legato all'inquinamento del fluido utilizzato. I sistemi ad acqua, utilizzano un fluido ecologico mentre i fluidi refrigeranti presentano un GWP¹⁰ elevato, comportando elevati impatti sulla componente atmosferica. Sia il sistema idronico sia il sistema ad espansione diretta utilizzano dei circuiti chiusi; è sempre possibile però incorrere in delle perdite di fluido che, nel caso di fluido refrigerante, determinano un impatto ambientale significativo.

⁹ VRF: Variable Refrigerant Flow

¹⁰ GWP: Global Warming Potential

2. Sistemi di controllo degli impianti HVAC

Un sistema è per definizione “un insieme di parti che lavorano congiuntamente per raggiungere un obiettivo finale a seconda dei particolari valori in ingresso. Ogni sistema è inglobato in un confine, quest’ultimo definisce il limite tra l’ambiente e il sistema stesso attraversabile soltanto dai relativi ingressi e uscite” [9]. Il controllo, invece, è “un’azione volta a mantenere ad un valore predefinito un parametro fisico di un impianto o di un processo” [9].

Il processo di controllo si suddivide in una serie di step [10] (Figura 14):

- *Sensing*: misurazione dei parametri del processo e dell’ambiente in cui si trova;
- *Decision making*: decidere il comando da inviare in alle misurazioni effettuate e dello scopo da raggiungere i valori di set point fissati;
- *Disposition*: inviare il comando agli attuatori;
- *Acting*: i parametri del nuovo sistema sono cambiati tramite l’azione svolta dagli attuatori.

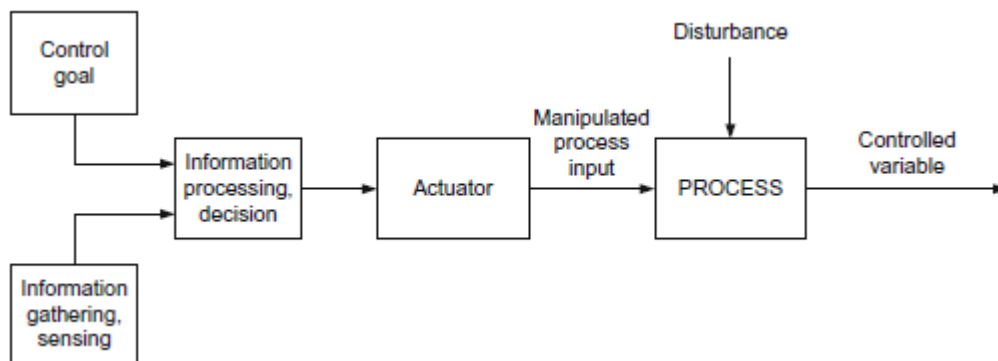


Figura 14-Processo di controllo [10]

Negli impianti HVAC il sistema di controllo è fondamentale per regolare i componenti di impianto utili a riscaldare o raffreddare. Ad oggi si predilige realizzare dei sistemi di controllo automatico, ossia sistemi che trasmettono dei segnali, dai sensori verso gli attuatori, attraverso dei controllori su diversi livelli.

I principali sistemi di automazione sono DCS, SCADA, BMS. Le prime due tipologie sono applicate principalmente in ambito industriale, per il monitoraggio dei processi produttivi. La tecnologia BMS è utilizzata invece per il controllo e l’automazione degli impianti HVAC. In

questa trattazione si analizzano i sistemi BMS, essendo questo installato nella residenza analizzata nel caso studio.

2.1 BMS

I sistemi BMS (Building Management System) sono sistemi di controllo automatico in grado di gestire diversi servizi presenti in un edificio, comunicando e agendo su di essi. I diversi servizi implementabili in un sistema BMS sono gli impianti meccanici, di illuminazione, impianti antincendio, sistemi di sicurezza.

I BMS monitorano e gestiscono gli impianti meccanici ed elettrici degli edifici attraverso hardware e software. Il sistema è composto da diversi dispositivi al cui vertice è presente un computer in grado di monitorare, coordinare e organizzare il controllo dell'edificio, per raggiungere i valori di set point inseriti.

Lo scopo principale di un BMS è quello di gestire in modo razionale un edificio, consentendo una gestione e il monitoraggio di tutti gli impianti servizi. Essi sono ampiamente installati in quanto l'adozione di questi sistemi porta ad una riduzione dei consumi grazie ad un uso più consapevole degli impianti. Un altro vantaggio considerevole è la possibilità di monitorare i consumi in tempo reale in modo da poter analizzare e ottimizzare il comportamento dell'impianto. La gestione oculata degli impianti consente di semplificare la fase manutenzione e di intervenire in modo tempestivo in caso di anomalie o guasti grazie al sistema di allarmistica in grado di segnalare alcune anomalie. La gestione dell'impianto consente di modificare i valori di set point dell'impianto in modo semplice attraverso un'interfaccia da remoto. La riduzione dei costi dovuta al risparmio energetico e ai minori costi di manutenzione e gestione è compensata dal costo del sistema stesso. Il tempo di rientro dell'investimento risulta perciò accettabile.

La struttura di un BMS può essere suddivisa in tre livelli principali:

- *Field Level*: collega il BMS con i dispositivi di campo, ossia attuatori, sensori, termostati;
- *Automation Level*: contiene tutti i dispositivi in grado di interfacciare e far comunicare componenti di terze parti; comprende il network necessario per garantire la connettività, la comunicazione e il controllo automatico del sistema;
- *Management Level*: è caratterizzato dalle interfacce di gestione e di monitoraggio dell'impianto. Può essere una workstation installata nell'edificio controllato oppure una piattaforma su browser che riporta lo stato dell'impianto in tempo reale.

Uno schema di architettura BMS è riportato in Figura 15.

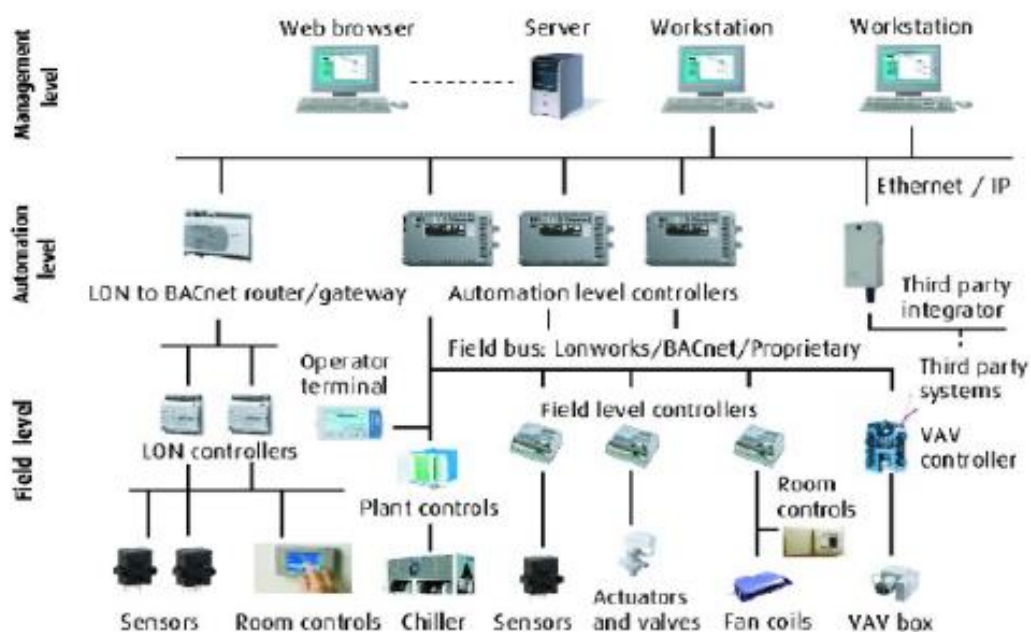


Figura 15-Architettura hardware BMS

Come per la parte hardware, anche l'architettura software e la rete di comunicazione è stata suddivisa in più livelli dall'*International Standard for Building Automation* (2004). Per consentire il funzionamento del sistema BMS è richiesta una connettività e un linguaggio di comunicazione comune tra i diversi dispositivi. Per permettere ciò si utilizzano dei protocolli di comunicazione convenzionali come BACnet, KNX, M-bus, Modbus, EnOcean, OPC, DALI, ZigBee. In un sistema BMS possono essere utilizzati più protocolli di comunicazione per i diversi livelli, come riportato in Figura 16.



Figura 16-Architettura software BMS

I principali sistemi BMS utilizzati sono prodotti da Siemens, Sauter Controls, Johnson Control, Eliwell. Nel caso studio analizzato nel paragrafo 4 è stato utilizzato il sistema BMS prodotto da Sauter Controls.

2.1.1 Tipologie di controllo con BMS

Per effettuare un'azione di controllo esistono diverse tipologie, a seconda delle esigenze e del sistema controllato.

Controllo ON/OFF

Detto anche controllo a due posizioni, è la regolazione più semplice presente in campo BMS. È un controllo del tipo “acceso/spento”, “aperto/chiuso”. Questo sistema è adatto per il controllo di componenti con soli due stadi come potrebbero essere i bruciatori a due stadi di una caldaia, una valvola, una serranda. Non è possibile con questa tipologia di controllo effettuare una modulazione sull'attuatore e quindi una regolazione precisa della variabile controllata. Queste infatti variano all'interno di una banda di controllo delimitata dal valore della variabile stessa che determina l'azione di accensione/spegnimento o apertura/chiusura. 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.

Controllo modulante

Rispetto al controllo ON/OFF, questo controllo consente di azionare l'attuatore con tre tipologie di comando: apertura, chiusura o fermo in posizione attuale. Per questo motivo questa tipologia è definita anche "controllo a tre posizioni". Si definisce un range di valore della variabile da controllare definita "zona neutra". Nel momento in cui la variabile è in questo range, l'attuatore conserva la posizione ultima, ossia quella precedente all'ingresso della variabile nel range. Quando si raggiunge il limite superiore del range, si effettua una delle due azioni di controllo definite, in base alle esigenze.

Controllo PID

Essi sono la tecnologia più accurata di controllo a livello di campo. Il loro nome deriva dalla tre azioni di controllo che possono effettuare:

- P: controllo proporzionale;
- I: controllo integrativo;
- D: controllo derivativo.

L'azione proporzionale ha l'obiettivo di avvicinare il più possibile la variabile controllata al suo valore di *set point*. È possibile fare ciò regolando una costante di proporzionalità K_p . Non si raggiunge mai il valore obiettivo, essendo sempre presente un errore stazionario definito *offset*. Occorre quindi aggiungere all'azione proporzionale anche l'azione integrativa che riporta il valore della variabile vicino al valore di set point desiderato, riducendo l'errore stazionario. La costante che rappresenta questa azione è K_i . Se l'azione di controllo è molto rapida, si innescano delle oscillazioni indesiderate della variabile stessa. Spesso in ambito del controllo si utilizzano i soli controllori di tipo PI per regolare sistemi con dinamiche lente come gli impianti termici. Se la dinamica del sistema è veloce, occorre eliminare le oscillazioni attraverso l'azione derivativa.

A seconda dell'applicazione è possibile utilizzare un controllo di tipo PI o PID. Una volta installati questa tipologia di controllori, è necessario effettuare una taratura degli stessi, regolando le tre costanti di controllo, per ridurre le oscillazioni, le instabilità e raggiungere il valore di set point in tempi prestabiliti.

2.2 PLC

I Controllori Logici Programmabili, abbreviati con la sigla PLC sono utilizzati all'interno di un sistema BMS a livello di campo, per inviare il segnale di controllo agli attuatori e ricevere informazioni in ingresso da controllori di livello superiore.

I PLC si basano su una tecnologia consolidata e standard motivo per cui sono installati in strutture di controllo complesse. Un PLC è in grado di interfacciarsi con qualsiasi tipologia di dispositivo industriale, utilizza una memoria programmabile per immagazzinare le informazioni e le istruzioni di carattere logico, sequenziale o temporale che dovrà applicare per gestire gli oggetti in campo. La logica che utilizzano è di natura booleana strettamente correlata al linguaggio binario.

Il loop di controllo prevede la lettura degli input dal campo e il successivo segnale di controllo in base al valore fornito in input. Questo sistema di controllo prevede l'utilizzo di componenti software ed hardware. La parte hardware è composta dai seguenti componenti:

- CPU, il microprocessore che interpreta gli input, li elabora sulla base del programma in memoria e restituisce i comandi da eseguire;
- Memoria, divisa in ROM e RAM,
- BUS è lo strumento che consente il collegamento e la comunicazione dei vari componenti del sistema di controllo (sensori, attuatori);
- Moduli di I/O, convertono i segnali analogici in ingresso in valori binari leggibili dal processore in input, mentre in output trasformano i valori binari in segnale di tensione o corrente da inviare agli attuatori;

- Alimentatore, per conversione AC/DC (i componenti del PLC sono alimentati ad una tensione continua e stabilizzata, in genere 5V).

In Figura 17-PLC Siemens Climatix sono riportate delle tipologie di PLC utilizzati per sistemi HVAC.



Figura 17-PLC Siemens Climatix

Esistono due configurazioni per PLC, in base al numero di input e output disponibili. La prima configurazione è più compatta, in quanto costituita da una singola unità contenente tutti i dispositivi hardware. Questa consente la gestione fino a 24 input e 16 output, con una memoria fino a 300-1000 istruzioni. La seconda configurazione è composta da vari moduli installati all'interno di un quadro elettrico di controllo. Con questa soluzione è possibile aggiungere dei moduli con semplicità, in caso di aumento del numero di input/output o di necessità di maggiore memoria.

Il software di un PLC è di natura sequenziale. La CPU effettua delle operazioni ripetute nel tempo con una cadenza fissata. Il periodo temporale durante il quale sono eseguite tutte le istruzioni previste dal programma è definito "ciclo di scansione". Durante ogni ciclo, le grandezze in input sono aggiornate come anche il segnale di controllo in output, generato in base alla logica di controllo programmata.

3. Messa in servizio e collaudo

La consegna al cliente di un impianto di climatizzazione per l'utilizzo è la fase finale di una serie di processi che iniziano con la volontà del committente stesso di realizzare un impianto di raffrescamento, riscaldamento con trattamento igrometrico ed igienico dell'aria. Nel seguente capitolo si analizzano gli step che portano all'utilizzo finale di un impianto HVAC, approfondendo in particolare le fasi di messa in servizio e collaudo.

Le prove e le misurazioni previste nei processi di messa in servizio saranno effettuate su un impianto HVAC installato presso la struttura Residenziale Sanitaria Assistenziale "Cervetto" di Vercelli, oggetto del caso studio riportato nel capitolo 4.

3.1 Fasi di realizzazione di un impianto HVAC

Per giungere all'utilizzo finale di un impianto di climatizzazione occorre effettuare diverse fasi che coinvolgono molteplici attori. In Italia la normativa che definisce gli step necessari alla realizzazione di tutte le tipologie impiantistiche è il D.M. 22 Gennaio 2008, n.37. Questo prevede *"l'attuazione dell'articolo 11-quaterdecies, comma 13 della legge n. 248 del 2 dicembre 2005, recante riordino delle disposizioni in materia di attività di installazione degli impianti all'interno degli edifici"* [11]. Questo decreto è stato sostituito dal decreto del 29 Settembre 2022 n.192 che non modifica i contenuti principali ma ridefinisce alcuni articoli.

Esistono anche delle normative specifiche a seconda della tipologia di impianti installati. Per gli impianti aeraulici a fini di benessere, la normativa di riferimento è la UNI 10339. La norma *"fornisce la classificazione degli impianti, la definizione dei requisiti minimi e dei valori delle grandezze di riferimento durante il funzionamento degli stessi, l'individuazione degli elementi che il committente deve indicare nella richiesta di offerta e quelli che il fornitore deve indicare nelle presentazioni dell'offerta, i documenti per l'ordinazione e l'indicazione delle condizioni da rispettare nel corso della fornitura degli impianti aeraulici utilizzati a fini di benessere"* [12].

La prima fase del processo di realizzazione di un impianto HVAC è la richiesta d'offerta da parte di un committente verso l'impresa installatrice. In questa fase si individuano le esigenze del cliente, analizzando la destinazione d'uso e il tipo di utilizzo dell'impianto che si installerà. Impianti destinati ad applicazioni particolari come sale operatorie, degenze infettive, industrie alimentari, camere bianche, sono soggetti a particolari norme che influenzano la modalità di progettazione e di installazione dell'impianto stesso. Esistono diverse tipologie di offerta, a seconda se non è già presente un progetto, è presente un progetto di massima fornito dal committente o è presente un progetto esecutivo. Nel primo caso il progetto è redatto da un professionista iscritto agli albi professionali secondo le specifiche competenze tecniche richieste. Si fornisce alla committenza un progetto-offerta, realizzato in conformità alla normativa vigente e alle norme UNI, contenente parametri di calcolo, criteri progettuali e tipologie impiantistiche più adatte a soddisfare le richieste del committente. Il progetto-offerta deve contenere tutti i parametri assunti alla base del calcolo, le condizioni di funzionamento delle apparecchiature, una relazione tecnica illustrativa e i disegni descrittivi dell'impianto previsto. In caso di progetto esecutivo fornito da un committente ad un installatore, l'offerta contiene solo il computo metrico atto a soddisfare quanto specificato nella richiesta di offerta per raggiungere i risultati tecnici riportati nel progetto esecutivo fornito. Successivamente all'offerta si redige un contratto che comprende le condizioni contrattuali, il capitolato generale e ogni elemento necessario a regolamentare i rapporti tra la committenza e l'installatore.

La fase successiva al contratto prevede la nomina un responsabile dei lavori che verifica e coordina le attività di cantiere. Il responsabile dei lavori deve recepire entro i tempi da lui fissati i disegni esecutivi dell'impianto, forniti dall'installatore. Si procede con la fase di installazione degli impianti, secondo quanto previsto dal progetto esecutivo, documentando ogni variante rispetto al contratto stabilito.

Completata l'installazione degli impianti l'impresa appaltatrice deve mettere in servizio gli stessi per provarli ed eseguirne la messa in funzione e la messa a punto, fintantoché essi forniscano in modo perfetto le prestazioni desiderate, previste in progetto, e siano pronti per

essere sottoposti ad eventuale collaudo. Queste attività si effettuano su tutte le singole parti e componenti degli impianti e sugli impianti nel loro complesso. La messa in funzione, le prove e la messa a punto degli impianti sono attività strettamente legate e conseguenti da un punto di vista funzionale. Le prime due hanno lo scopo di verificare che gli impianti non abbiano anomalie e possano funzionare nelle condizioni richieste. La messa a punto ha lo scopo di verificare che gli impianti nel loro insieme ed in tutte le loro parti siano in grado di fornire le prestazioni previste a progetto; si agisce sugli organi di regolazione della rete aria ed acqua per ottenere in ogni tratto e in ogni terminale la portata di progetto a meno di tolleranze ammesse. Si agisce anche sui componenti ausiliari come ventilatori e pompe di circolazione per ottenere le condizioni desiderate. Queste fasi di prova, taratura ed equilibratura di tutte le componenti di impianto installate è definita anche TAB - *Testing Adjusting and Balancing*. Per le modalità di equilibratura e bilanciamento si farà riferimento alle norme ASHRAE (Norma ANSI/ASHRAE 111-2008 per la rete aeraulica) o alla letteratura italiana dell'AICARR (misure, bilanciamento e collaudo dei circuiti aria e acqua nei sistemi di climatizzazione).

Infine prima della consegna effettiva degli impianti si effettua il collaudo, per verificare la rispondenza degli impianti alle regole dell'arte e le conformità alle norme. Si nomina un collaudatore *super partes* che effettua test, le verifiche funzionali e le misurazioni, assicurandosi che l'impianto soddisfi i requisiti progettuali e contrattuali prefissati. Questa fase termina con la compilazione di un certificato di collaudo che attesta l'idoneità dell'impianto e lo abilita all'attività continuativa.

La norma UNI 11169 del 2006 stabilisce gli step procedurali per effettuare il collaudo su impianti aeraulici, mentre i metodi di misurazione sono fissati dalla norma UNI EN 12599 del 2012 analizzate successivamente in questa trattazione.

3.2 Testing, Adjusting and Balancing

I test effettuati in campo, la taratura e il bilanciamento sono fasi essenziali della realizzazione di un impianto, per garantire il corretto funzionamento in esercizio dello stesso, ma anche per aumentare la consapevolezza tecnica. In fase di test, infatti, progettisti, produttori di componentistiche ed installatori possono valutare le prestazioni dell'impianto nelle reali condizioni operative, la posa in opera, per migliorare la tecnica di realizzazione e progettazione degli impianti e garantire soluzioni sempre più funzionali ed efficienti.

In Italia non esistono delle norme che definiscono le metodologie e le buone pratiche per effettuare un corretto testing e bilanciamento. La norma UNI EN 12599:2012 *“Ventilazione per edifici – Procedure e metodi di misurazione la presa in consegna di impianti di ventilazione e di condizionamento dell’aria”* definisce i metodi per effettuare le misurazioni ma è utilizzata principalmente in fase di collaudo. In fase di avviamento, test e bilanciamento ci si affida principalmente alla pratica dei tecnici e alle procedure tecniche contenute nella letteratura italiana AICARR. A livello internazionale esiste lo standard ANSI/ASHRAE 111, pubblicato nella prima volta nel 1988 e successivamente aggiornato nel 2008, adeguando le procedure di test e identificando la nuova strumentazione utilizzabile per gli stessi. Lo scopo della norma è fornire delle procedure uniformi per la misurazione, il test, il bilanciamento, la valutazione e il reporting delle prestazioni dei sistemi di riscaldamento e condizionamento dell’aria.

In fase di test sul campo i risultati ottenuti difficilmente coincidono esattamente con i valori di progetto. Questo è dovuto a tutte le inevitabili imperfezioni di installazione, di progettazione ed all’accuratezza degli strumenti che non consentono di ottenere i valori previsti. Tuttavia in alcune condizioni, ossia se la valutazione dell’ambiente di installazione è stata realistica ed adeguata, se sono adottate tutte le norme specifiche in fase di progetto e se l’installazione è stata effettuata secondo la regola dell’arte, è possibile ottenere dei risultati molto vicini alle condizioni previste, considerati accettabili entro certi limiti.

Esistono quindi diversi vantaggi legati alla fase di test e bilanciamento:

- Confronto tra progettazione e prestazioni effettive sul campo;
- Raggiungere le condizioni previste in fase di progetto, per garantire il comfort ottimale e gli obiettivi per cui l'impianto stesso è stato realizzato;
- Sviluppare la tecnica, analizzando i dati ottenuti sul campo per migliorare la progettazione e l'installazione;
- Possibilità di confronto tra i valori ottenuti dai test periodici con le condizioni di test, per individuare possibili deterioramenti o malfunzionamenti del sistema;
- Utilizzo dei valori iniziali per ristabilire le condizioni operative in seguito a possibili modifiche apportare all'impianto di climatizzazione;
- Utilizzo dei dati di testing per calcolare il livello energetico reale, utile per diverse certificazioni.

3.2.1 Fasi del processo di TAB

Per testare e bilanciare i sistemi HVAC è consigliato utilizzare un approccio sistematico. In Italia non è presente una normativa specifica che elenca le procedure generali da applicare. Esistono però delle pratiche tecniche molto utilizzate e riconosciute come approccio pratico convenzionale non normato.

La prima fase consiste in un lavoro preliminare di ufficio, in cui si raccoglie tutta la documentazione necessaria ad agevolare l'operato in campo. Si raccolgono i disegni contrattuali, progetti esecutivi ed "as-built", schemi, cataloghi dei produttori contenenti la descrizione, le specifiche tecniche delle apparecchiature, raccomandazioni sul test, curve di prestazione. Nell'atto pratico è molto difficile ottenere tutta questa documentazione, in quanto in possesso di figure professionali differenti. In ogni caso, più documentazione si colleziona, più è possibile comprendere al meglio il sistema, per effettuare un test ed un bilanciamento ottimale. Dopo aver raccolto la documentazione disponibile, è necessario analizzarla per decidere i test da effettuare e la modalità di bilanciamento adatta. In questo modo si

definiscono quali letture e in che punto si dovranno effettuare. In questa fase si preparano dei moduli di report per ciascuno sistema sottoposto a test da completare sul campo. Si effettua quindi una registrazione completa dei test iniziali e finali, riportando le condizioni osservate su tutti i sistemi e componenti durante i vari test e nella fase di bilanciamento, evidenziando discrepanze tra specifiche di progetto e dati raccolti.

Successivamente è buona pratica effettuare una prima ispezione in cantiere, per verificare che l'edificio e gli impianti siano pronti per essere testati e bilanciati. Per gli impianti di distribuzione dell'aria e dell'acqua occorre accertarsi che tutte le reti siano completate e provviste di tutti i componenti previsti in progetto, come valvole, serrande, prese di pressione e temperatura, terminali idronici ed aeraulici. In questa fase occorre assicurarsi che tutti gli ausiliari elettrici come pompe, ventilatori, ed anche i generatori quali caldaie, gruppi frigo e similari, siano pronti per essere utilizzati, sia dal punto di vista meccanico che elettrico. Alcune verifiche preliminari che possono essere effettuate sull'impianto aeraulico sono le seguenti:

- Condotti intatti, adeguatamente sigillate ed installati come da progetto e specifiche;
- Condotti pulite e prive di detriti;
- Serrande automatiche e manuali installate e accessibili;
- Serrande tagliafuoco installate;
- Scatole terminali, per impianti a volume costante o variabile, con batterie di riscaldamento ad acqua, vapore o elettriche installate ed accessibili.
- Tutti i dispositivi di distribuzione dell'aria come diffusori o griglie installati correttamente;
- Filtri puliti e installati correttamente;
- Collegamenti con condotti flessibili installati correttamente;
- Ausiliari e generatori installati meccanicamente ed elettricamente.

Prima di effettuare la fase vera e propria di test e bilanciamento, è opportuno individuare gli strumenti da utilizzare, in base all'analisi preliminari dei progetti già effettuate, verificare che gli stessi strumenti siano stati calibrati negli ultimi sei mesi o secondo le raccomandazioni del

produttore. Il rapporto TAB deve contenere anche una sezione con l'elenco della strumentazione utilizzata, le specifiche tecniche ed informazioni sulla calibrazione.

Le fasi di test e bilanciamento sono analizzate nei paragrafi successivi, dividendo la trattazione in base ai componenti più comuni negli impianti idrici ed aerulici ed approfondendo le tipologie installate nella struttura oggetto del caso studio riportato nel paragrafo 4.

3.2.2 Test Unità Trattamento Aria

Prima di effettuare i test sull'unità di trattamento d'aria occorre regolare la posizione delle serrande dei vari condotti. Solitamente, i principali test sono effettuati posizionando le serrande delle sezioni di mandata e ripresa in posizione completamente aperta e la serranda di presa aria esterna parzialmente aperta, in una posizione che consente la minima quantità di aria esterna.

Il primo test è sui motori dei ventilatori installati nell'UTA. Nel rapporto TAB occorre inserire il tipo di alimentazione (monofase o trifase), la tensione e la corrente misurate, la frequenza, il numero di giri. A volte può essere necessario anche inserire il tipo di collegamento elettrico (stella-triangolo), la potenza, fattore di potenza, rendimento, amperaggio del rotore bloccato. Si effettua il test di tensione e corrente per verificare il corretto funzionamento dei ventilatori e individuare eventuali problemi di fabbrica o di installazione. Si utilizza un voltmetro che misura la differenza di potenziale tra fase e neutro, in caso di alimentazione monofase, o tra fasi, in caso di motore trifase. Per misurare la corrente si utilizza una pinza amperometrica, posizionando il cavo della fase o di ogni fase all'interno dello strumento, mentre il motore è in funzione. Il valore di corrente misurato su ogni fase (in caso di sistemi trifase) non deve superare il limite riportato sulla targa del motore. Se così fosse, è necessario verificare la corretta installazione. Successivamente occorre verificare il verso di rotazione del ventilatore per assicurarsi che sia nella direzione corretta indicata da una freccia sulla scocca dello stesso. Per verificare il verso di rotazione non è sufficiente misurare la portata d'aria, in quanto motori installati con rotazione inversa possono produrre un flusso fino alla metà del valore nominale. Se si misurasse la portata, si potrebbe quindi considerare accettabile il valore ottenuto non

individuando l'errore di installazione che non consentirà di ottenere la portata di progetto. Occorre quindi avviare e arrestare velocemente il motore, per osservare nel momento di rallentamento delle pale la coerenza del verso di rotazione. Se la rotazione di un motore trifase non è corretta è sufficiente modificare il collegamento elettrico di due dei tre cavi di alimentazione presenti della scatola elettrica del motore stesso. Queste prove sul motore e sul ventilatore sono fondamentali e devono essere effettuati in un primo momento poiché il non corretto funzionamento di questi componenti influenza i test e le misure effettuate sul resto dell'impianto. Per questo è consigliato adottare un approccio sistematico: qualora si riscontrassero dei problemi in fase di test della rete aria, è possibile escludere con buona probabilità l'incidenza dell'UTA sulla problematica, se quest'ultima è stata testata correttamente con esito positivo.

Dopo aver verificato il corretto funzionamento meccanico ed elettrico di tutti i motori e ventilatori, occorre misurare le pressioni statiche presenti nella macchina e fornite dai ventilatori. Solitamente le UTA più moderne sono già equipaggiate con delle sonde di pressione a bordo, attraverso le quali è possibile leggere i valori di pressione nelle posizioni rilevanti della macchina. Nonostante ciò è consigliato effettuare dei test con strumentazione esterna digitale o analogica, per verificare la correttezza del valore di misurato e quindi il corretto funzionamento delle sonde fornite dal costruttore. Solitamente sono già presenti dei fori per effettuare la presa di pressione con strumenti esterni come manometri digitali e tubi di Pitot, o altri dispositivi analogici/digitali. Qualora non fossero presenti, è sufficiente effettuare un foro di dimensioni tali da consentire l'ingresso nel condotto di una sonda di misura, avendo cura poi di chiudere la piccola apertura attraverso degli appositi tappi presenti in commercio. Solitamente i punti di misura di pressione all'interno dell'unità di trattamento aria sono i seguenti:

- prima e dopo le batterie di scambio termico per misurare la caduta di pressione attraverso di esse e confrontarla con i valori di progetto e dichiarati in scheda tecnica;
- prima e dopo i ventilatori, per individuare l'incremento di pressione fornita dagli stessi e la compatibilità con i valori di progetto.

Una misura fondamentale da effettuare in fase di test è la pressione all'uscita del ventilatore di mandata.

Nell'ambito della meccanica dei fluidi esistono diverse definizioni di pressione: pressione statica, pressione dinamica, pressione totale e pressione differenziale. Queste sono definite a partire dall'equazione di Bernoulli. La pressione statica è il valore effettivo della pressione termodinamica del fluido in moto [13]. La pressione dinamica è una conseguenza della trasformazione dell'energia cinetica quando un fluido rallenta e viene portato a riposo. La pressione di una corrente di fluido non è pari alla sola pressione statica, ma alla somma di questa, della pressione dinamica e dell'eventuale pressione idrostatica. La somma della pressione statica e dinamica è detta "pressione di ristagno" o "pressione totale". La conoscenza della pressione statica e della pressione di ristagno di un fluido permette il calcolo immediato della velocità della corrente, essendo che:

$$p_{totale} = p_{statica} + p_{dinamica} \quad (13)$$

$$p_{dinamica} = \frac{1}{2} \rho v^2 \quad (14)$$

Le equazioni (13) e (14) sono valide sotto le ipotesi del teorema di Bernoulli.

Su questi principi si basa il tubo di Pitot-Prandtl, riportato in Figura 18. Lo strumento è costituito da due tubi concentrici collegati ad un manometro differenziale. Il tubo con presa di pressione laterale è in grado di riportare il valore di pressione statica mentre il tubo con presa di pressione anteriore fornisce il valore di pressione totale. Attraverso l'utilizzo del manometro differenziale è possibile determinare la differenza tra la pressione tra la pressione totale e la pressione statica, ossia la pressione dinamica. Con questo valore si potrà facilmente risalire al valore di velocità. Con lo stesso strumento è possibile anche ricavare il solo valore di pressione statica, leggendo il valore attraverso un manometro collegato al solo al tubo di presa laterale. In fase di misurazione, i valori di pressione statica devono fare riferimento allo stesso valore di pressione atmosferica. In questo modo si definiscono positive le pressioni maggiori della pressione ambiente, negative i valori inferiori.

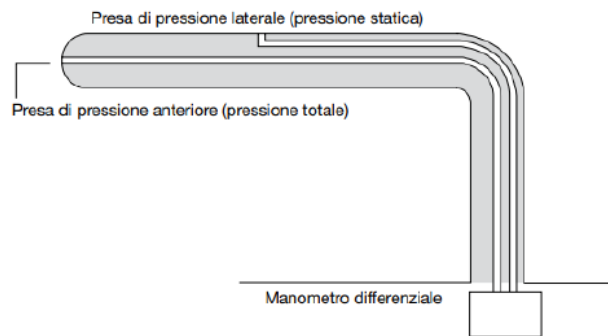


Figura 18-Tubo di Pitot

Il ventilatore di mandata di una UTA può essere posizionato a monte o a valle di tutti i componenti presenti all'interno della macchina lungo il percorso di mandata. Per determinare la pressione totale del ventilatore di mandata, ossia la differenza tra la pressione totale all'uscita e all'ingresso dello stesso, occorre effettuare le misurazioni in zone in cui il condotto è di sezione regolare e lontano da pezzi speciali che determinano delle perdite di pressione concentrate. Sul lato di scarico del ventilatore, la distanza di misura dallo stesso non deve essere inferiore ad un diametro equivalente del condotto in cui si effettua la prova.

Per misurare il valore di pressione totale fornito dal ventilatore occorre utilizzare un tubo di Pitot e un manometro differenziale, effettuando la misura a monte e a valle dello stesso. Al termine del test si dovrebbe ottenere un valore negativo di pressione statica a monte del ventilatore e un valore positivo a valle dello stesso. Inoltre, il valore di pressione fornito dal ventilatore di mandata deve essere pari al valore di progetto noto. La stessa procedura è da ripetere anche per il ventilatore di ripresa. Uno schema di misura della pressione statica a monte e valle del ventilatore è riportato in Figura 19.

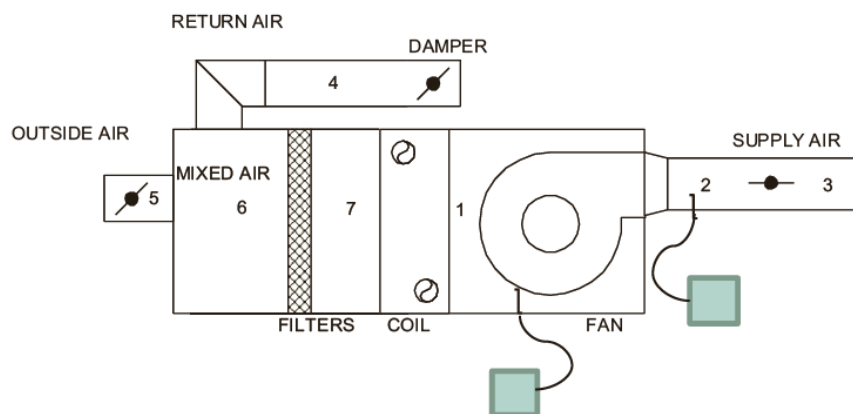


Figura 19- Misura pressione statica del ventilatore di mandata dell'UTA [14]

3.2.3 Test rete di distribuzione aria

Il test e il bilanciamento della rete aria prevedono la misurazione della portata d'aria e la regolazione dei dispositivi di taratura della stessa rete per ottenere il flusso d'aria desiderato. Solitamente si ritiene accettabile il test e si considera bilanciata la rete quando la portata d'aria misurata in campo rientra nel +/- 15% del valore di progetto. Occorre quindi conoscere il valore di portata di progetto presente in ogni condotto per effettuare i test in campo.

Prima di iniziare le prove occorre configurare correttamente i vari componenti dell'UTA. Si predilige effettuare il test in regime di raffrescamento, essendo solitamente la portata d'aria utilizzata per questi fini maggiore rispetto al caso di riscaldamento. Anche in caso di impianti misti, è preferibile rispettare questa condizione, in quanto l'aria a fini igienici non è mai immessa in condizioni neutre ma è leggermente trattata anche termicamente per ridurre il carico termico sui terminali idronici. Inoltre, si preferisce effettuare il test in condizioni climatiche esterne che assicurano la deumidificazione dell'aria. Se la batteria di raffreddamento deumidifica, la condensa superficiale presente modifica i valori di portata dell'impianto. In caso di bilanciamento della rete con batteria asciutta, i valori di portata in regime di deumidificazione saranno leggermente inferiori rispetto quelli desiderati.

Prima di iniziare con il test e bilanciamento della rete occorre effettuare le seguenti verifiche:

- Serranda del condotto di mandata dall'UTA completamente aperta. Per impianti a doppio condotto, entrambe le serrande devono essere in questa posizione;
- Serranda del condotto di ritorno all'UTA completamente aperta;
- Serrande tagliafuoco impostate secondo le specifiche tecniche;
- Serrande di bilanciamento di mandata e ripresa poste nei vari punti della rete di distribuzione completamente aperte;
- Terminali di distribuzione dell'aria di mandata e di ripresa in posizione neutra, ossia con alette mobili a 0° per le griglie e alette dei diffusori lineali in posizione orizzontale.

Il primo passo per bilanciare il sistema di distribuzione è determinare il volume d'aria totale reale, per confrontarlo con il valore di progetto. Questo valore può essere ottenuto attraverso

la misura della pressione dinamica con un tubo di Pitot in tutti i condotti principali e di derivazione e/o attraverso la lettura della portata uscente da tutti i dispositivi di immissione dell'aria presenti. Se la velocità del flusso d'aria in un punto del condotto fosse uniforme, sarebbe sufficiente una sola lettura in qualsiasi punto di una sezione del condotto per determinare il valore della portata. La velocità, a causa dell'attrito, è più bassa ai lati del condotto e massima in prossimità del centro. Pertanto, è necessario effettuare più misure in una sezione del condotto per determinare la velocità media nella sezione. Trovata la velocità media dalla misura della pressione dinamica, la portata volumetrica d'aria nel condotto può essere calcolata matematicamente utilizzando la seguente equazione:

$$Q = A \cdot v \quad (13)$$

dove la portata d'aria volumetrica (Q) è espressa in m³/s, la sezione del condotto (A) in m², la velocità (v) in m/s.

Il tubo di Pitot deve essere collegato al manometro differenziale nel seguente modo: pressione totale collegata al lato positivo del manometro e pressione statica al lato negativo, per ottenere la differenza tra i due valori, ossia la pressione dinamica.

Per effettuare letture precise della pressione dinamica occorre avere un flusso d'aria meno turbolento possibile. Pertanto la sezione di lettura nel condotto deve essere più lontana possibile da variazioni di sezione, pezzi speciali, curve, sensori e altri oggetti che causano turbolenze nel flusso d'aria. La distanza minima dalle irregolarità suggerita dallo standard ASHRAE 111 è 7,5 diametri equivalenti di condotto a valle e 3 diametri equivalenti di condotto a monte della sezione di prova. Il foro di presa di pressione totale, posto nella parte superiore del tubo di Pitot, deve essere sempre rivolto nella stessa direzione del flusso d'aria.

Un altro strumento che consente la misura diretta della velocità e quindi di ottenere il valore di portata in modo più immediato, nota la sezione del condotto, è l'anemometro. Questo è utilizzato per misurare la velocità dell'aria in uscita da diffusori a soffitto, griglie, batterie di scambio termico, filtri ma anche all'interno di condotti. Gli anemometri possono essere suddivisi in diverse classi, ciascuna con una propria applicazione.

I tipi più utilizzati nell'ambito dell'impiantistica sono (Figura 20):

- Anemometri a ventolina: sono costituiti da una girante che ruota grazie alla forza dell'aria in uscita da un diffusore; la velocità del rotore è proporzionale alla velocità dell'aria stessa. La girante deve essere posizionata perpendicolarmente alla direzione del flusso d'aria.
- Anemometri termici "a filo caldo": si basano sulla differenza di temperatura tra i sensori su base fissa e quelli su base mobile. Questo secondo sensore è esposto al flusso, che lo fa raffreddare. La differenza di temperatura misurata tra i due sensori viene convertita in velocità dell'aria da un algoritmo appropriato.



Figura 20-Anemometro a filo caldo e ventolina (Digitron Italia)

Utilizzando la prima tipologia è necessario, in fase di test, misurare la velocità in uscita da ogni diffusore per ricavare il valore di portata volumetrica totale di mandata. È possibile utilizzare gli anemometri a ventolina anche all'interno dei canali se la ventola è di piccole dimensioni. Molto più utilizzati sono gli anemometri a filo caldo che consentono di misurare la velocità all'interno dei vari tratti di condotto, dopo aver effettuato dei fori all'interno di essi delle dimensioni della sonda. In questo modo è possibile effettuare le misurazioni all'interno del condotto principale, prima delle diramazioni in tratti secondari, ricavando la portata complessiva moltiplicando il valore di velocità ottenuto dalla misurazione per la sezione del condotto in cui si è effettuata la prova.

Un ulteriore strumento che può essere utilizzato per la misura della portata d'aria in uscita dai diffusori è il balometro (Figura 21). La sua caratteristica principale consiste in un convogliatore a forma conica con dimensioni variabili che si adattano alla maggior parte dei diffusori presenti sul mercato. Per effettuare la misura è sufficiente posizionare la cappa dello strumento sul diffusore coprendone l'intera superficie in modo che tutta l'aria venga convogliata all'interno dello stesso con un passaggio obbligato. Per mezzo di un sistema di rilevazione basato sul principio a filo caldo, lo strumento è in grado di misurarne la velocità e la portata.



Figura 21-Balometro (Testo 420)

Nella fase di test, lo strumento più adeguato ed utilizzato attualmente è l'anemometro a filo caldo. Il balometro è un apparecchio fondamentale in fase di bilanciamento, ma non consente di ricavare in modo immediato la portata d'aria totale dell'impianto. Occorre infatti misurare la portata su ogni singolo diffusore per poi sommarla. Con l'anemometro a filo caldo è possibile effettuare la misura solo nel condotto principale e ricavare il valore necessario. Il tubo di Pitot è una valida alternativa ma oggi è superata, essendo il tempo di risposta e l'accuratezza dello strumento complessivo minore rispetto alla sonda a filo caldo.

Per concludere la fase di test ed effettuare il bilanciamento della rete di distribuzione, occorre confrontare il valore di portata volumetrica d'aria determinato attraverso le diverse misurazioni con il tubo di Pitot, con anemometro o con il balometro con il valore di progetto e verificare che sia nei limiti del +/- 15%. Solitamente, infatti, gli accessori di bilanciamento consentono di

correggere la portata entro questi limiti. Se il valore è di molto superiore al 110% del valore di progetto, occorre individuare il problema. Alcune cause possono essere:

- Strumenti di misurazione non correttamente tarati;
- Perdite di carico superiori a quelle previste in progetto nei componenti della rete (filtri, batterie, silenziatori, diversi da come previsti in progetto);
- Rete di distribuzione non coerente con la rete di progetto.

È importante individuare la causa della variazione significativa della portata e risolverlo, evitando di ridurre o aumentare la portata in ogni tratto della rete rispetto ai valori di progetto nella successiva fase di bilanciamento.

Un'altra prova da effettuare in fase di test è la prova di tenuta dei canali d'aria. Esistono diverse norme di riferimento per effettuare le prove di tenuta, come la norma UNI EN 12237:2004 *“Ventilazione degli edifici – Reti delle condotte – Resistenza e tenuta delle condotte circolari di lamiera metallica”* e la norma EN 1507:2008 *“Ventilazione degli edifici – Reti delle condotte – Resistenza e tenuta delle condotte rettangolari di lamiera metallica”*. La prova eseguita secondo le norme tecniche di riferimento ha l'obiettivo di misurare la quantità di aria che viene “persa” dal sistema aeraulico ad una determinata pressione.

Le norme definiscono differenti classi di tenuta. Nelle applicazioni standard è sufficiente l'applicazione della classe di tenuta minima, mentre è richiesta una classe più elevata in tutti gli ambienti in cui si vuole evitare il più possibile trafiletti d'aria dai condotti di mandata e/o ripresa. Può essere adottata una classe maggiore anche nel caso di rete molto ampia, in cui i primi tratti sono soggetti ad una pressione elevata che può comportare perdite dalle giunzioni. Le classi riportate nella norma UNI EN 12237:2004 sono riportate in Tabella 1.

Classe di tenuta	Pressione statica limite [Pa]		Perdita limite (f_{max}) [$l / s m^2$]
	Positiva	Negativa	
A	500	500	$0,027 p_{test}^{0,65} 10^{-3}$
B	1.000	750	$0,009 p_{test}^{0,65} 10^{-3}$
C	2.000	750	$0,003 p_{test}^{0,65} 10^{-3}$
D	2.000	750	$0,001 p_{test}^{0,65} 10^{-3}$

Tabella 1-Classi di tenuta condotti aeraulici (Norma UNI EN 12237:2004)

La classe A è applicata alle canalizzazioni a vista negli ambienti in cui gli stessi canali garantiscono la ventilazione e dove la differenza di pressione relativa all'aria interna è inferiore a 150 Pa. La classe B è applicata per canali in controsoffitto o per canali posti in ambienti in cui viene fornita una ventilazione con una prevalenza superiore a 150 Pa. La classe B è quella minima per tutte le canalizzazioni di ripresa in ambienti soggetti a sovrappressioni, esclusi i locali tecnici. La classe C è utilizzata se la differenza di pressione all'interno dei canali è elevata, o se qualsiasi trafilemento di aria può risultare pericolosa per la qualità dell'aria interna. Sono solitamente utilizzati in reparti ospedalieri come degenze infettive, terapie intensive, sale operatorie. L'ultima classe prevede una tenuta molto elevata ed è applicata solo in contesti in cui normative specifiche prescrivono queste caratteristiche delle condotte.

In Figura 22 è riportata il grafico contenuto nella norma UNI EN 12237:2004 contenente la quantità della portata per unità di superficie persa in fase di test per ogni classe di tenuta e al variare della pressione di test (Asse x: aria persa in l/sm²; Asse y: Pressione in Pa).

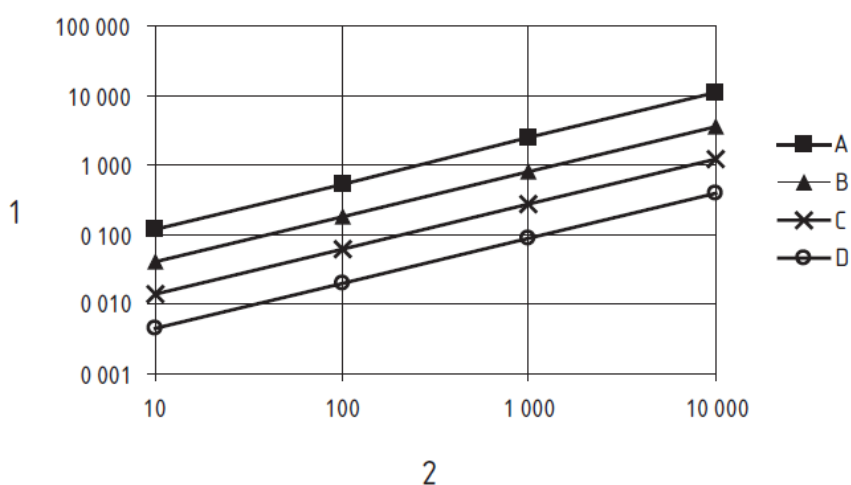


Figura 22-Perdita di pressione per ogni classe di tenuta (Norma UNI EN 12237:2004)

Le fasi per effettuare il test di tenuta sono:

- Isolamento e chiusura con tappi di copertura del tratto da provare;
- Posizionamento delle sonde di misurazione e dello strumento di pressurizzazione;
- Calcolo della superficie laterale del tratto in test;
- Esecuzione del test ed individuazione della classe di tenuta.

3.2.4 Bilanciamento rete distribuzione aria

Dopo aver testato l'UTA e la rete di distribuzione dell'aria, l'impianto è pronto per essere bilanciato. Prima dell'inizio del bilanciamento tutte le serrande di taratura manuali presenti devono essere completamente aperte.

Per effettuare il bilanciamento della rete si agisce sulle serrande di taratura. Esse sono dotate generalmente di azionamento manuale che comporta un movimento delle alette. La posizione delle stesse deve essere determinata in modo da regolare la portata nei vari rami o nei vari diffusori. Queste serrande possono essere dotate anche di azionamento automatico in caso di sistemi a portata variabile, per effettuare una regolazione dinamica e garantire sempre il valore di portata desiderato. Le serrande sono inserite a valle delle diramazioni per bilanciare i vari rami. Non sono in genere inserite in corrispondenza di ogni singolo tratto terminale, in quanto la regolazione della portata del singolo diffusore può essere effettuata attraverso gli organi di regolazione del terminale stesso. Una tipologia di serranda di taratura manuale rettangolare è riportata in Figura 23. La geometria, la sezione e le modalità con cui si effettua il movimento dell'albero della serranda determinano la capacità di regolare la portata di transito. Occorre dimensionare e scegliere gli organi di taratura con attenzione in fase di progettazione per garantire un bilanciamento ottimale. Inoltre, le serrande di regolazione introducono rumorosità se si trovano in posizione di parziale apertura. Perciò occorre progettare una rete che sia di per sé ben bilanciata, prevedendo comunque l'installazione di serrande di taratura per effettuare solo piccole variazioni della portata.



Figura 23-Serranda di taratura manuale (Officine Volta)

La procedura convenzionale di bilanciamento inizia dal condotto principale per poi proseguire con le diramazioni fino ad arrivare ai terminali di diffusione. Le procedure e l'ordine di esecuzione dei vari step necessari ad ottenere una rete bilanciata non sono normate e si basano molto sull'esperienza del personale che effettua la regolazione del sistema.

L'obiettivo finale è quello di ottenere in ogni tratto un valore di portata d'aria generalmente pari a +/-15% dei valori di progetto.

La prima fase di bilanciamento parte dal misurare la portata d'aria totale. Questa è già stata misurata in fase di test, ma è consigliato ripetere la misura anche in fase di bilanciamento.

Nota la portata totale reale è possibile calcolare il rapporto caratteristico, ossia il rapporto tra la portata misurata e quella di progetto: $\%P = M/P$. Se l'aria totale è superiore al 115% del progetto, occorre ridurre la velocità del ventilatore per ridurre il volume al 110% del valore di progetto. Se invece è inferiore al 85%, occorre aumentare la velocità del ventilatore.

Dopo aver bilanciato la portata sul tratto principale, si procede con i tratti secondari. In primo luogo occorre misurare la portata di ciascun ramo. Il modo migliore è utilizzare l'anemometro a filo caldo, inserendo lo strumento all'interno del condotto sotto esame. In questo modo si evita di effettuare più misurazioni per lo stesso tratto, cosa che accadrebbe se si utilizzasse un balometro. Dopo aver misurato la portata in tutti i rami, occorre iniziare a bilanciare il ramo con valore maggiore, regolando la serranda di taratura del ramo stesso. Si procede allo stesso modo per tutti i rami finché non si ottiene in ognuno un valore di portata compreso tra il 100% e il 110% del valore di progetto. Se si riscontrano dei rami con valore di portata significativamente bassi rispetto al valore di progetto, occorre esaminare bene il tratto ed individuare la causa. Questo può essere dovuto ad una non corretta realizzazione o installazione del condotto, alla presenza di ostacoli all'interno di esso o alla difettosità degli organi di regolazione della rete che restano in posizione chiusa o semichiusa.

Terminato il bilanciamento dei tratti secondari si passa al bilanciamento dei singoli terminali di diffusione. Si parte dai diffusori più vicini al ventilatore, riducendo l'eventuale portata in

eccesso, agendo sulle alette di regolazione di ogni singolo terminale. Generalmente i tratti secondari con serranda di taratura terminano poi su vari diffusori di mandata con tratti terminali sprovvisti di serranda di taratura. Per cui, per regolare il singolo terminale in questi casi si può solo agire sugli organi di regolazione dello stesso. In caso di presenza di serranda di taratura anche per ogni ramo terminale, si regola quest'ultima. Dopo aver bilanciato il primo terminale di un tratto secondario, occorre procedere in avanti andando verso terminali più lontani. Può essere necessario effettuare più tarature sullo stesso diffusore in quanto, procedendo in avanti, la perdita localizzata inserita su un singolo diffusore altera la perdita di quel ramo e quindi la portata in uscita da tutti i terminali collegati ad esso. La procedura termina quando tutti i diffusori emettono una portata nel range di accettabilità. Pertanto, questo metodo di bilanciamento è anche definito "bilanciamento iterativo".

Dopo aver tarato la rete di mandata si passa al bilanciamento della rete di ripresa. La procedura è analoga a quella illustrata per la rete di mandata.

In Figura 24 è riportato un esempio di UTA con rete a singolo condotto. La rete convoglia l'aria a soli due diffusori che immettono 500 mc/h di portata in ambiente ognuno. È presente poi una griglia di ripresa che rimuove 900 mc/h, lasciando l'ambiente leggermente in pressione. L'unità di trattamento gestisce in progetto una portata di 1000 mc/h. Nella fase di test i tecnici devono misurare la pressione statica nell'UTA e la velocità del ventilatore, per il numero di giri in modo da ottenere il valore di portata di progetto. Si misura poi la portata totale che attraversa il condotto principale, utilizzando un tubo di Pitot o un anemometro a filo caldo. In questo semplice esempio è anche individuare la portata totale misurando la quantità d'aria in uscita dai soli due diffusori con il balometro. Terminata la fase di test e dopo aver verificato la presenza nel condotto principale della portata di progetto, inizia il bilanciamento.

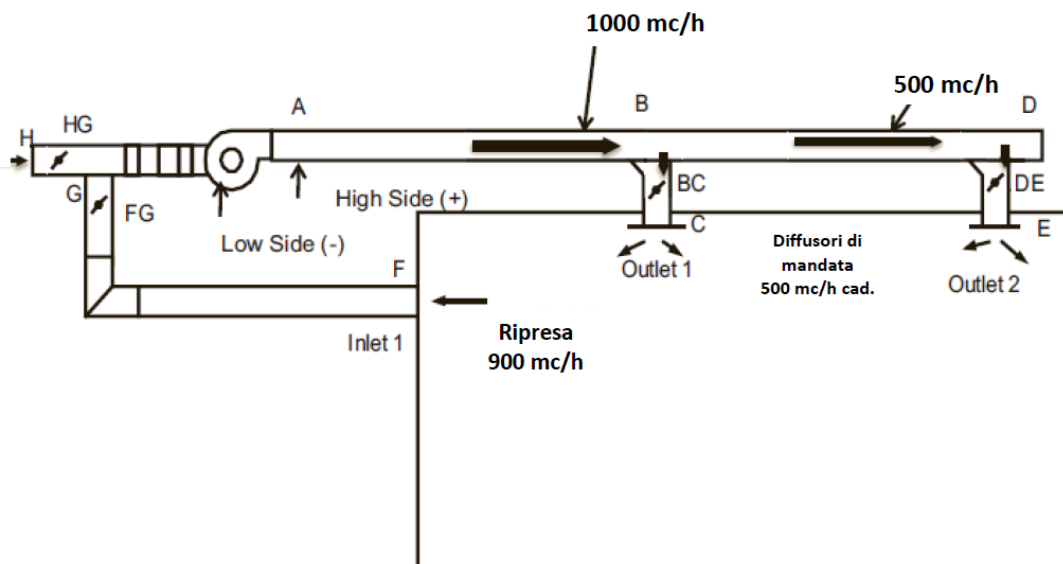


Figura 24-Esempio bilanciamento rete distribuzione aria

Tutte le serrande manuali sono aperte, ossia le serrande BC e DE di mandata, FG di ripresa e HG di presa aria esterna. Si parte dalla rete di mandata. La prima misurazione dovrebbe fornire dei valori che attestano una portata maggiore nel primo diffusore, essendo che il flusso d'aria segue il percorso di minor resistenza. Si misura la portata in uscita con un balometro e si calcola la percentuale di portata di progetto. Per entrambi i diffusori si considera accettabile il range 425-575 mc/h, essendo per entrambi 500 mc/h la portata di progetto. Se la misura sul primo diffusore indica un valore di 600 mc/h e di 400 mc/h sul secondo, allora occorre agire sulla serranda di taratura BC per introdurre una perdita di carico. In questo esempio ogni tratto terminale è provvisto di serranda di taratura manuale. Se così non fosse si dovrebbe agire sugli organi di regolazione del singolo diffusore. Nel caso in esempio, si regola la serranda BC finché non si misura un valore di portata di 500 mc/h. Successivamente si misura il secondo diffusore. Se la portata è nei limiti di accettabilità il bilanciamento della rete è completato, altrimenti occorre regolare anche la serranda di taratura DE e poi riverificare la portata in uscita dal primo diffusore. Quando entrambi i diffusori hanno un valore di portata compreso nel range previsto, il bilanciamento è terminato. Per il bilanciamento della rete di ritorno occorre agire sulla serranda di taratura FG fino a misurare 900 mc/h sulla griglia dell'aria di ripresa.

3.2.5 Test e bilanciamento sistemi idrici

Oltre al test ed al bilanciamento della rete aria, occorre effettuare la messa in funzione e la messa a punto di tutta la rete acqua, considerando i vari componenti presenti all'interno di essa. Prima di effettuare il bilanciamento occorre eseguire alcuni interventi preliminari atti a verificare il corretto funzionamento dell'intero sistema idrico.

Per prima cosa è necessario effettuare la pulizia delle tubazioni. Occorre soffiare o lavare i circuiti per eliminare grasso, corpi estranei o materiali residui dall'installazione che possono essere presenti all'interno di esse. Tale operazione ha una durata tale da garantire la completa pulizia del sistema. Questa procedura è applicabile a tutti i circuiti, di qualsiasi dimensione e portata. È ancora più necessaria per circuiti con tubazioni di diametro ridotto, come i circuiti dei sistemi radianti, dove anche un piccolo corpo estraneo può bloccare o condizionare il flusso del fluido.

Terminato il lavaggio delle tubazioni inizia la fase di test e messa in funzione vera e propria che precede il collaudo. Per prima cosa occorre effettuare il riempimento dei circuiti. In questa fase si immette acqua potabile da acquedotto, miscela di acqua e glicole o acqua proveniente da un sistema di trattamento all'interno dei vari circuiti chiusi. Successivamente si effettua la prima prova idraulica a freddo delle tubazioni. Si portano tutti i circuiti ad una pressione pari ad una volta e mezzo quella di esercizio, per una durata di almeno 6 ore. Questa prova può essere effettuata al termine della realizzazione dell'intera rete per tubazioni ispezionabili, mentre per tutte quelle chiuse in cavedi o in tracce le prove devono essere eseguite prima della chiusura per verificare anche visivamente la corretta tenuta e poter intervenire in caso di necessità.

Gli impianti ad acqua calda, invece sono testati alle condizioni previste di esercizio di portata e temperatura. È quindi necessario la messa in funzione del o dei generatori di calore previsti e dei vari gruppi di pompaggio. Il test in condizioni di progetto consente di verificare il corretto funzionamento dei vasi di espansione e l'eventuale presenza di dilatazioni permanenti nelle tubazioni in seguito a difettosità dei materiali.

Queste prove di tenuta delle reti di distribuzione idriche ed aerauliche effettuate per zona, piano o gruppi di piani possono essere richieste dalla direzione dei lavori in corso d'opera e sono preliminari all'eventuale fase di collaudo dell'intero sistema.

Successivamente si passa alla fase di bilanciamento della rete idronica. Come visto per la rete aeraulica, anche in questo caso l'obiettivo è quello di ottenere valori di portata nell'intero sistema pari ai valori di progetto per i quali sono stati scelti e dimensionati i componenti stessi. Occorre bilanciare il sistema idronico perché i terminali più vicini al sistema di pompaggio richiamano una portata maggiore rispetto a quelli più lontani, essendo minori le perdite di carico alle quali sono soggette i primi. I principali problemi che si riscontrano in un impianto non bilanciato idraulicamente sono:

- Mancato raggiungimento della temperatura di set point in alcuni ambienti;
- Ritardato raggiungimento della temperatura desiderata in alcuni ambienti;
- Temperature ambiente oscillanti casualmente;
- Maggior consumo energetico.

I metodi di bilanciamento variano a seconda della tipologia di impianto idronico presente. Esistono circuiti definiti "a portata costante" caratterizzati dalla portata pressoché costante sui diversi rami del circuito di distribuzione principale indipendentemente dall'apertura delle valvole. Questa soluzione è adottata in circuiti con pompe prive di regolazione del numero di giri o in circuiti in cui si mantiene la portata di fluido costante a prescindere dal numero di utenze attive. In alternativa esistono i circuiti "a portata variabile", caratterizzati dalla variazione di portata sulla linea di mandata/ripresa in seguito alla chiusura di valvole. Questa tipologia è la più utilizzata nella realizzazione di nuovi impianti e prevede l'installazione di una pompa azionata da un motore inverter. Nei circuiti a portata costante si parla di "bilanciamento statico" poiché a pompa accesa e circuito correttamente bilanciato, le perdite di carico distribuite lungo il circuito sono costanti con il variare del funzionamento delle diverse utenze. Nei circuiti a portata variabile si parla di "bilanciamento dinamico" poiché il valore delle perdite di carico

varia nel tempo in base alla portata d'acqua richiesta dalle utenze che è quindi alla portata circolante nell'intero circuito.

Esistono diversi organi di bilanciamento utilizzati a seconda del tipo di impianto e delle esigenze. Il metodo tradizionale più diffuso prevede l'utilizzo di una valvola di bilanciamento. Essa agisce regolando la portata di fluido che la attraversa agendo sulla manopola che comanda il movimento di un otturatore, per regolare il passaggio del fluido. La portata è controllata attraverso il valore di delta pressione misurato tramite le due prese di pressione. Noto il valore di portata di progetto necessario è possibile calcolare il valore di dP da introdurre e quindi, dal grafico caratteristico della valvola, la posizione della stessa. Un esempio tipologia di valvola di taratura manuale per sistemi idrici è riportato di seguito.



Figura 25-Valvola di bilanciamento per circuiti idraulici (Caleffi serie 130)

Un'altra tipologia sono le valvole di bilanciamento indipendenti dalla pressione, dette anche "autobilancianti". Esse garantiscono la compensazione delle pressioni, e quindi il bilanciamento, non solo in caso di valore di progetto ma per qualsiasi valore di portata. Per questo sono molto adatte per impianti a portata variabile. In base alla tipologia di regolatore di pressione esse possono essere meccaniche o elettroniche. Le valvole meccaniche sono costituite da un otturatore e da un organo meccanico di regolazione della pressione. Il regolatore si occupa di mantenere il dP ai suoi capi costante e pari al valore impostato, agendo sull'otturatore azionato da un motore. In questo modo si regola la portata garantendo sempre la stessa perdita di carico e quindi garantendo il bilanciamento del circuito.

Esistono anche i regolatori di pressione differenziale, ossia valvole di bilanciamento dinamico che, grazie all'azione combinata di una membrana e di una molla, sono in grado di reagire alle

variazioni di pressione che si generano nell'impianto, mantenendo la differenza di pressione ai capi del circuito costante al valore impostato. Questo è possibile grazie ad un capillare di collegamento tra la valvola, posizionata sulla tubazione di ritorno, e la tubazione di mandata. Questa regolazione è ideale per mantenere sempre bilanciati gli impianti a portata variabile, come i sistemi a valvole termostatiche, a satelliti di utenza o a collettori con controllo multizona.



Figura 26-Regolatori di pressione differenziale (Ivar)

La procedura convenzionale di bilanciamento consiste nel testare e bilanciare il circuito partendo dalle pompe fino ai terminali. La procedura di bilanciamento è simile a quella vista per la rete aeraulica. Si utilizzano dei misuratori di portata fissi o portatili e si individua il valore di portata reale. Si ritengono accettabili le misure che rientrano nel range $\pm 10\%$ del valore di portata di progetto.

In primo luogo occorre misurare la portata totale di acqua nel sistema, misurando il flusso nella tubazione principale o sommando le misure effettuate nei vari rami. Occorre verificare che tutti gli organi di bilanciamento siano al valore di progetto e che i componenti dei sistemi di regolazione (valvole termostatiche, valvola on/off ecc.) siano completamente aperti. Si calcola, come per la rete aeraulica il rapporto caratteristico della portata totale. Se il valore è superiori al 110% del valore di progetto, occorre regolare il numero di giri della pompa o agire sulla valvola di bilanciamento principale se presente.

Il bilanciamento prosegue sulle varie diramazioni da una tubazione principale che collegano collettori, scambiatori o terminali. Si calcola sempre il rapporto critico e si interviene sulle

valvole di bilanciamento installate sui vari rami, variando il loro valore di preregolazione. La procedura termina quando si misura in ogni tratto il valore di portata di progetto previsto.

Oltre al bilanciamento dei circuiti principale, effettuato in centrale termica, occorre effettuare anche il bilanciamento dei sistemi radianti di riscaldamento e/o raffrescamento. Questi sistemi sono costituiti da un collettore principale alimentato da un tubo di mandata e con un tubo di ritorno. Il fluido caldo o freddo è poi distribuito ai vari circuiti chiusi collegati al collettore stesso (vedi 1.3.3). In un sistema radiante i vari circuiti a servizio dello stesso ambiente o di più ambiente e facenti capo allo stesso collettore possono avere lunghezze differenti. In fase di progettazione occorre posizionare il collettore in modo tale che sia baricentrico rispetto ai vari circuiti che esso stesso alimenta, per creare dei circuiti di lunghezza simile. Nonostante ciò può essere necessario effettuare un bilanciamento dei vari circuiti, per evitare che quelli più lunghi, caratterizzati da una perdita di carico maggiore, siano raggiunti da una portata minore, e quindi generino un flusso termico diverso da quello previsto in progetto. Per fare ciò si inseriscono, in corrispondenza del ritorno di ogni circuito e all'interno del collettore, dei regolatori di portata che consentono la regolazione della stessa fino al valore di progetto in ogni circuito. In alcuni casi sono presenti degli attuatori elettrotermici in corrispondenza di ogni circuito. In questo caso la regolazione con regolatore è effettuata in primo luogo per ottenere il valore di portata desiderato. Successivamente l'attuatore regola la portata in un range tra zero (chiusa) e valore di progetto se modulante, oppure in due posizioni (aperto/chiuso). La regolazione della portata in questo caso è effettuata in base al valore di temperatura ambiente misurato dalle sonde di temperatura installate in loco.

In generale, per i sistemi radianti, non è richiesta l'inserimento sui tratti principali di valvole di taratura, essendo che la portata circolante in ogni tubazione di alimentazione dei collettori è determinata dalla portata imposta dai i flussimetri. La rete risulta quindi bilanciata solo agendo sulla regolazione dei singoli circuiti.

3.3 Collaudo degli impianti

La fase successiva a quella di TAB è il collaudo degli impianti. Esso ha lo scopo di verificare e certificare che l'opera o il lavoro siano stati eseguiti a regola d'arte, secondo il progetto approvato e le relative prescrizioni tecniche. Il collaudo ha anche lo scopo di verificare che i dati risultanti dai documenti finali corrispondano all'installazione effettiva, non solo per dimensioni, forma e quantità, ma anche in termini di qualità dei materiali utilizzati e dei componenti installati. Comprende inoltre tutte le verifiche tecniche previste dalle normative specifiche per ogni ambito di applicazione.

Con il Decreto Ministeriale 37/2008 inizia la regolamentazione dell'installazione degli impianti all'intero degli edifici. Esso prevede che *“al termine dei lavori, previa effettuazione delle verifiche previste dalla normativa vigente, comprese quelle di funzionalità dell'impianto, l'impresa installatrice rilascia al committente la dichiarazione di conformità degli impianti realizzati nel rispetto delle norme di cui all'articolo 6.”* Nell'articolo 6 del presente decreto si afferma che *“Gli impianti realizzati in conformità alla vigente normativa e alle norme dell'UNI, del CEI o di altri Enti di normalizzazione appartenenti agli Stati membri dell'Unione europea o che sono parti contraenti dell'accordo sullo spazio economico europeo, si considerano eseguiti secondo la regola dell'arte”* [11].

Come riportato nel Decreto, la fase di test, bilanciamento e messa in servizio è fondamentale e deve essere eseguita dall'impresa installatrice su ogni tipologia e dimensione di impianto, per potere effettuare la dichiarazione di conformità. Il collaudo, invece, non è sempre obbligatorio essendo che *“Il certificato di agibilità è rilasciato dalle autorità competenti previa acquisizione della dichiarazione di conformità di cui all'articolo 7, nonché del certificato di collaudo degli impianti installati, ove previsto dalle norme vigenti”* [11]. Pertanto il collaudo degli impianti, secondo quanto previsto dalle normative vigenti, non è obbligatorio per impianti di piccola entità o ad uso privato per i quali è sufficiente la fase di TAB necessaria per la compilazione, da parte dell'installatore, della Dichiarazione di Conformità obbligatoria per ogni

tipologia di impianto e dimensione. Il collaudo è dovuto negli appalti pubblici o in particolari situazioni nelle quali è richiesto da una pubblica autorità.

In ogni caso, il collaudo è sempre consigliato anche su impianti non soggetti ad obbligo, essendo che numerosi i vantaggi offerti da questa pratica in termini di sicurezza, efficienza operativa e valore economico. Attraverso l'attività di collaudo è sicuramente possibile riscontrare difetti, non riscontrabili in buona fede, da chi ha eseguito l'impianto. Infatti per sua natura il collaudo, essendo condotto da una persona terza rispetto a chi ha effettuato la progettazione, direzione ed esecuzione dell'opera, ne permette una più oggettiva valutazione.

I principali punti di forza della procedura di collaudo sono:

- Aumento della sicurezza, individuando eventuali criticità per la protezione delle persone e la prevenzione degli incidenti. Questa fase dovrebbe essere già contemplata all'interno della fase di test e messa in servizio necessaria per la redazione della dichiarazione di conformità da parte dell'impresa installatrice stessa. In fase di collaudo sarebbe effettuata da un ente terzo che verifica la qualità e la sicurezza degli impianti installati e progettati e l'operato dell'impresa esecutrice. In questo modo si adotta una visione oggettiva e distaccata che consente una valutazione della sicurezza più attenta rispetto a quanto necessario per la compilazione della Dichiarazione di Conformità;
- Efficienza operativa, verificando che l'impianto funzioni come previsto in progetto ed al massimo della sua efficienza. Il collaudatore riesce ad avere una visione di insieme che consente un'operatività migliore rispetto a quella che si raggiungerebbe dallo stesso impianto non soggetto a collaudo;
- Maggiore durata dell'impianto, essendo che la pratica di collaudo garantisce la funzionalità dello stesso secondo quanto previsto in progetto, limitando quindi l'usura dei componenti;
- Aumento del valore dell'immobile poiché un impianto collaudato e certificato può rendere l'edificio più attraente per potenziali acquirenti, garantendo qualità ed affidabilità;

- Garanzia per i proprietari, essendo che il collaudo assicura la corretta realizzazione e funzionalità degli impianti.

Nonostante questi numerosi vantaggi, spesso il collaudo nelle strutture private non è effettuato. Generalmente i committenti preferiscono risparmiare sul costo del collaudo in fase di realizzazione dell'immobile per investire quell'importo in altri ambiti. Questa pratica non è conveniente in quanto si rischia di mettere in funzione degli impianti sicuramente realizzati secondo la regola dell'arte (come richiesto dalla dichiarazione di conformità) ma con potenziali problematiche ed inefficienze che nel lungo periodo possono comportare una spesa economica legata a malfunzionamenti con conseguenti fermi impianto, manutenzioni e costi operativi superiori al costo del collaudo iniziale stesso.

Qualora la proprietà è interessata alla procedura di collaudo è necessario dichiarare questa volontà in fase di contratto con il direttore dei lavori e l'impresa installatrice. Successivamente, al termine della fase di messa in funzione e messa a punto di tutti i componenti, la richiesta di collaudo deve essere presentata dalla azienda installatrice. La Direzione dei Lavori, in accordo con il Committente, nomina un Collaudatore responsabile delle prove di collaudo. Esso si occupa di redigere i verbali di collaudo e di dichiarare il corretto funzionamento di tutte le componentistiche di impianto, secondo quanto previsto dalle normative. Durante il collaudo, l'impresa installatrice deve fornire tutta la strumentazione necessaria per effettuare prove e misure ed il proprio personale tecnico.

Prima dell'inizio del collaudo, l'impresa deve consegnare alla direzione dei lavori i rapporti dettagliati contenenti i valori di taratura, le condizioni termoigrometriche, le portate d'aria misurate in loco, le velocità e i livelli di rumorosità rilevati in fase di messa a punto.

Il collaudo ha lo scopo di accertare il perfetto funzionamento dell'impianto, la rispondenza a quanto prescritto dalla committenza in fase contrattuale e alle norme vigenti. In Italia le norme di riferimento sono la UNI 11169 *"Impianti di climatizzazione degli edifici - Impianti aeraulici ai fini di benessere - Procedure per il collaudo"* e la norma UNI EN 12599 *"Ventilazione per edifici - Procedure di prova e metodi di misurazione per la presa in consegna di impianti di*

ventilazione e di condizionamento dell'aria". La prima contiene i dettagli sulle varie fasi da eseguire in fase di collaudo, le verifiche da effettuare e la documentazione da redigere, la seconda riporta le modalità di prova e di misurazione.

3.3.1 Procedure per il collaudo – Norma UNI 11169

Prima di iniziare il collaudo, occorre verificare che tutte le fasi precedenti siano state svolte correttamente e completamente. L'impianto deve essere interamente realizzato e dotato di predisposizioni per consentire la misurazione delle grandezze oggetto del collaudo [15]. È necessario che l'impianto sia stato messo a punto, attraverso prove di funzionamento dei singoli componenti e nel suo complesso, effettuando anche la taratura delle portate nelle reti idroniche ed aerauliche.

Il collaudatore non deve esprimere valutazioni sulla progettazione o sull'installazione degli impianti, ma deve limitarsi ad effettuare le seguenti operazioni previste dalla norma UNI 11169:

- Verificare la documentazione contrattuale e tecnica;
- Acquisire le informazioni raccolte dalla direzione dei lavori e in fase di test;
- Eseguire il controllo di completezza;
- Eseguire i controlli funzionali;
- Effettuare le misure funzionali ed eventuali misure speciali;
- Interpretare le misure;
- Redigere i rapporti di collaudo.

Il collaudatore deve avere a disposizione le relazioni di calcolo, i verbali delle prove di tenuta delle reti, i verbali della direzione dei lavori attinenti agli impianti, i verbali delle prove di messa in servizio bilanciamento e messa a punto. Le fasi di esecuzione del controllo di completezza, dei controlli funzionali e delle misure funzionali sono analizzate nella norma UNI EN 12599 e verranno riportate nel paragrafo successivo.

Dopo aver effettuato le misure, il collaudatore deve interpretarle al fine di trarre, in modo oggettivo, elementi sufficienti per valutare l'idoneità dell'impianto all'esercizio e la capacità di

soddisfare le condizioni di progetto previste e le richieste del committente già previste in fase di assegnazione e realizzazione dei lavori.

Infine, i risultati ottenuti dalle varie operazioni devono essere riassunti in un rapporto, in cui sono analizzati tutti gli aspetti precedentemente elencati. È possibile suddividere il rapporto di collaudo nelle seguenti parti:

- Dati generali, ossia i dati del committente, dell'impresa esecutrice, del progettista e della direzione lavori. Si inserisce anche la data di inizio e fine collaudo;
- Documentazione ed osservazioni preliminari, ossia tutta la documentazione raccolta dal collaudatore prima dell'inizio delle procedure di collaudo.
- Elenco dei controlli di completezza e funzionali effettuati;
- Elenco delle misure effettuate e delle eventuali misure speciali, con riferimento alla relativa classe delle misure funzionali (3.3.2);
- Schede di collaudo, una per diversa tipologia di uno stesso componente;
- Interpretazione delle misure e dichiarazione di idoneità dell'impianto ad assicurare le condizioni di benessere e qualità dell'aria nelle condizioni di progetto.

A conclusione di tutte le operazioni deve essere emesso il certificato di collaudo, secondo il modello contenuto nella norma UNI 11196. Il certificato può contenere eventuali riserve del collaudatore e può essere limitato a parti di impianto, qualora l'intero impianto non risultasse idoneo. In ogni caso l'autorizzazione all'esercizio dell'impianto da parte del collaudatore non deve compromettere i requisiti minimi di sicurezza.

3.3.2 Procedure di prova e di verifica – Norma UNI EN 12599

La norma UNI 11196 elenca le varie fasi per eseguire correttamente il collaudo ed allega dei modelli di documentazione che il collaudatore deve compilare. Le misurazioni occorrenti e le prove da effettuare per verificare la qualità degli impianti sono però contenute nella norma UNI EN 12599, alla quale la stessa norma UNI 11196 si riferisce. Una sintesi delle prove da effettuare con riferimento ai vari paragrafi della norma UNI EN 12599 è riportata in Figura 27 (schema tratto dalla normativa di riferimento [16]).

Come visto nel precedente paragrafo (3.3.1), i controlli da effettuare sono i seguenti:

- Controlli di completezza;
- Controlli funzionali;
- Misurazioni funzionali;
- Misurazioni speciali, se richieste.

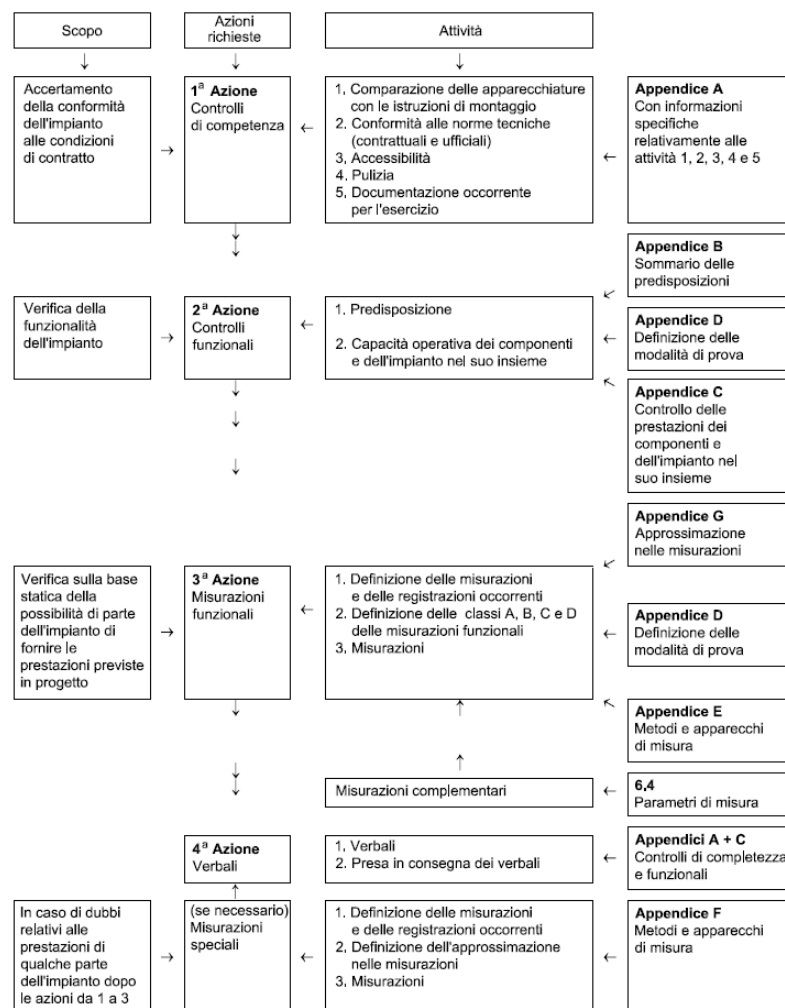


Figura 27-Sintesi delle prove e delle misurazioni necessarie in collaudo [16]

Controlli di completezza

I controlli di completezza sono la prima fase operativa del collaudo. Ha lo scopo di verificare che l'impianto sia stato installato interamente e secondo la regola dell'arte. Rientrano in questa fase la verifica della coerenza tra i prodotti installati e previsti a progetto, in termini di quantità e tipologia, il controllo della corretta installazione secondo norme e regole tecniche, il controllo dell'accessibilità dei principali componenti per la manutenzione, la regolazione e la pulizia.

Sono oggetto di controllo specifico le seguenti apparecchiature:

- Componenti di centrali, quali motori, ventilatori, pompe. Si verifica la corretta installazione, la presenza di targhette prestazionali e la corretta tenuta delle apparecchiature.
- Scambiatori di calore, verificando la tenuta e l'integrità dei componenti, la coerenza degli attacchi di ingresso e uscita, la presenza dei dispositivi antigelo.
- Canali d'aria, verificando la tenuta della rete attraverso controlli localizzati e ispezioni visive, controllando anche la corretta esecuzione di pezzi speciali. Si verifica inoltre la sigillatura dei materiali filtranti verso il telaio, la presenza e la corretta installazione delle serrande tagliafuoco e la loro omologazione.

Durante i controlli di completezza si verifica anche la pulizia delle apparecchiature di impianto, quali scambiatori di calore, reti di distribuzione, effettuata in fase di test dall'impresa esecutrice.

Controlli funzionali

L'obiettivo di questa fase è quello di verificare le funzionalità dell'impianto. Le prove devono stabilire che i componenti del sistema sono stati correttamente installati e siano funzionali al loro scopo. Questo tipo di controlli dovrebbe partire dai singoli apparecchi per poi proseguire analizzando l'impianto nella sua interezza. Gli impianti dovrebbero funzionare nelle condizioni di esercizio previste, ossia in regime estivo e/o invernale, a pieno carico ed a carico parziale. Le prove devono includere anche le regolazioni automatiche, analizzando e segnalando le azioni di entrata in funzione di ogni componente per poter confermare il corretto funzionamento dell'intero sistema di regolazione.

Un elenco di controlli funzionali dei componenti da effettuare è riportato in Tabella 2.

COMPONENTE	CONTROLLI
Ventilatore	Verifica del senso di rotazione Verifica della portata dei ventilatori Sistema antigelo Regolazione automatica
Scambiatori di calore	Senso di rotazione delle pompe di circolazione Alimentazione dei fluidi caldi e freddi
Filtro d'aria	Controllo e monitoraggio dei valori di pressione differenziale
Umidificatore	Alimentazione e reintegro
Serrande tagliafuoco	Prova del dispositivo di ritenuta e del relativo segnale Verifica dell'indicatore di posizione
Regolazione automatica	Controllo a campione del funzionamento del sistema di regolazione in differenti condizioni di temperatura e umidità relativa ambiente

Tabella 2 - Controlli funzionali dei componenti [16]

I controlli funzionali possono essere effettuati in punti diversi. Spesso è necessario effettuare lo stesso procedimento su vari componenti identici o in punti diversi della rete. Il numero di misurazioni da effettuare in questi casi dipende dalla classe di impianto (A, B, C o D) scelta prima dell'installazione.

Si definisce "numero totale di luoghi simili" n le parti di un edificio (ambienti o zone) o i componenti di un impianto (ventilatori, diffusori, canali) le cui funzioni sono del medesimo genere e comportano azioni del medesimo ordine di grandezza [16]. Per ognuna delle quattro classi, la norma UNI EN 12599 definisce il valore p di misurazioni da effettuare:

$$\text{Classe D: } p = n$$

$$\text{Classe C: } p = 3,16 n^{0,5}$$

$$\text{Classe B: } p = 2,23 n^{0,45}$$

$$\text{Classe A: } p = 1,6 n^{0,40}$$

Si può effettuare un numero di misurazioni minore del valore p a seconda del parametro misurato, come riportato in Tabella 3.

Parametro	Numero delle misurazioni	
	Normale	Minimo
Temperatura dell'aria ambiente registrata con continuità per 24h	p/10	1
Umidità relativa dell'aria ambiente registrata con continuità per 24h	p/10	1
Profilo verticale della temperatura	p/10	1
Livello di pressione sonora	p/5	3

Tabella 3 - Numero delle misurazioni da eseguire come frazione del numero p [16]

Misurazioni funzionali

Prima di iniziare le operazioni di misura occorre verificare il numero di misure da effettuare, la posizione e gli strumenti necessari. Le misure si ritengono accettabili se rientrano all'interno dei seguenti range di incertezza, considerevoli sia delle tolleranze ammesse rispetto al progetto, sia degli errori di misura.

Parametro	Incetezza
Portata d'aria singolo ambiente	+/- 20%
Portata d'aria per ogni impianto	+/- 15%
Temperatura aria di mandata	+/- 2°C
Umidità relativa	+/- 15% RH
Velocità dell'aria nella zona occupata	+/- 0,05 m/s
Temperatura dell'aria nella zona occupata	+/- 1,5 °C
Livello di pressione sonora ponderato A in ambiente	+/- 3 dBA

Tabella 4-Incetezza ammessa per i vari parametri [16]

1. Misurazione della portata d'aria

La misurazione della portata d'aria deve essere eseguita all'interno del canale qualora sia disponibile una sezione retta sufficientemente lontana da una causa di turbolenza come pezzi speciali, curve, accessori, brusche variazioni di sezione. I punti in cui effettuare la misurazione all'interno del canale variano a seconda della forma e della dimensione dello stesso. Informazioni dettagliate sono contenute all'interno della norma in analisi. La procedura di misura e gli strumenti utilizzati sono analoghi a quanto descritto nel paragrafo 3.2.3. Nonostante le prove di misurazione della portata sono state effettuate in fase di bilanciamento,

devono comunque essere effettuate anche in fase di collaudo per accertare il corretto funzionamento della rete da parte del collaudatore.

2. Misurazione della velocità dell'aria in ambiente

La velocità dell'aria ambiente può essere causa di discomfort. È necessario pertanto effettuare una misura di questo parametro e verificare l'accettabilità del valore riscontrato. Il tempo di durata della misura è di 100 s e devono essere ripetute in 5 punti all'interno dell'ambiente. Se due misurazioni consecutive nello stesso punto differiscono di più del 10%, occorre allungare il tempo di misurazione a 180 s. In ogni punto in cui si effettua la misura della velocità dell'aria occorre effettuare anche la misura della temperatura ambiente.

3. Misurazione delle temperature

Per misurare la temperatura dell'aria occorre aver cura di evitare l'irraggiamento diretto e considerare l'inerzia termica dello strumento di misura. Un termometro non indica istantaneamente la temperatura dell'aria ma ha bisogno di un certo tempo per raggiungere le condizioni di equilibrio. Lo strumento risponde tanto più velocemente quanto più è bassa la capacità termica dell'elemento sensibile ed è maggiore il coefficiente di trasmissione convettiva.

La temperatura che si desidera ottenere è la temperatura operante, ossia la temperatura uniforme di un involucro radiante nero nel quale la persona scambia la stessa quantità di calore per radiazione e convezione che scambierebbe nell'ambiente reale a temperatura non uniforme. Questa considera la temperatura delle superfici come pannelli riscaldanti o raffrescanti, superfici vetrate, che possono creare una situazione di discomfort. Per ottenere la temperatura operativa occorre considerare la temperatura ambiente, la temperatura media radiante e la velocità dell'aria, legate dalla seguente relazione:

$$\vartheta_{op} = A \cdot \vartheta_a + (1 - A) \cdot \vartheta_{rad} \quad (14)$$

Il parametro A è un parametro adimensionale tabulato in base alla velocità misurata.

4. Caso studio: RSA Cervetto

L'edificio oggetto di studio del seguente elaborato di tesi è la Residenza Sanitaria Assistenziale "Cervetto" (Vercelli) di nuova costruzione. Si analizzano gli impianti presenti, evidenziando le scelte progettuali e di installazione. Si effettueranno in loco la messa in funzione e il bilanciamento, per poi terminare con la fase di collaudo dell'impianto aeraulico.

La nuova RSA è stata realizzata a partire dal 2019. La struttura è situata all'interno del Comune di Vercelli in corso Magenta, a sud-est del centro storico, a ridosso del colatore Cervetto, verso il fiume Sesia. Il complesso prevede 120 posti per Residenze Sanitaria Assistenziali (RSA), 20 posti per Residenze Assistenziale (RA), 10 per Residenze Assistenziali Alberghiere (RAA).



Figura 28-RSA Cervetto (ingresso principale)

L'edificio è costituito da tre corpi principali (A, B, C) e da quattro piani fuori terra, destinati alle attività di pertinenza della residenza. La Centrale Termica ed Idrica sono alloggiata al Piano Terzo mentre la Centrale Antincendio è all'esterno dell'edificio, in apposito locale interrato. Sul piano Copertura sono alloggiati, in spazi tecnici confinati, i Gruppi Frigo in pompa di calore e le Unità di Trattamento Aria a servizio della struttura.

Le principali aree funzionali suddivise per piano e corpo sono riportate in Tabella 5.

PIANO TERRA	
CORPO A	Nucleo RSA (20+4 posti letto)
CORPO B	Ingresso, uffici, soggiorno comune, Locali Mourge, Spogliatoi, Cucina, Lavanderia e stireria, depositi
CORPO C (Zona centrale)	Ambulatorio, Bar, Soggiorno/Sala da pranzo
PIANO PRIMO	
CORPO A	Nucleo RSA (20+4 posti letto)
CORPO B	Nucleo RSA (20+4 posti letto), Sala Attività
CORPO C (Zona centrale)	Ambulatorio, Soggiorno/Sala da pranzo
PIANO SECONDO	
CORPO A	Nucleo RSA (20+4 posti letto)
CORPO B	Nucleo RSA (20+4 posti letto), Palestra
CORPO C (Zona centrale)	Ambulatorio, Soggiorno/Sala da pranzo
PIANO TERZO	
CORPO A	Nucleo RA (20 posti letto)
CORPO B	Nucleo RAA (10 posti letto), Centrali tecnologiche
CORPO C (Zona centrale)	Cucina/Sala da pranzo, Parrucchiere, Sala polivalente

Tabella 5 - Aree funzionali principali

4.1 Dati di progetto

Per progettare un qualsiasi edificio di nuova costruzione occorre individuare i valori di progetto in termini di temperatura e umidità relativa dell'aria esterna, temperatura ed umidità relativa dei diversi ambienti interni, numero di ricambi orari minimi da garantire. Questi valori sono fissati dalle normative di riferimento vigenti e sono fondamentali per il calcolo delle dispersioni e delle rientrate di calore, per la scelta delle stratigrafie e dei componenti di involucro opaco, per il dimensionamento e la scelta della tipologia impiantistica da adottare. I valori di temperatura interna ed esterna sono alla base del valore del carico termico sensibile entrante o uscente dall'ambiente. I valori di umidità relativa determinano la necessità di sottrarre o immettere un carico latente, a seconda dei valori fissati in progetto.

In Tabella 6 sono riportate le condizioni di progetto esterne considerate.

Comune	Vercelli			
Temperature ed umidità esterne	Inverno		Estate	
	-7 °C	80% UR	32 °C	55% UR
Categoria edificio	Ospedali, cliniche, case di cura			
Ricambio aria	Meccanico per tutti i locali dotati di impianti di climatizzazione			

Tabella 6 - Condizioni nominali esterne

Le temperature ambiente di progetto e i valori di umidità relativa estivi ed invernali sono riportati in Tabella 7.

Ambiente	Inverno		Estate	
	Temperatura bulbo secco	Umidità relativa	Temperatura bulbo secco	Umidità relativa
Soggiorni nucleo	+20°C ± 1°C	50% ± 10%	+26 °C ± 1°C	50% ± 10%
Camere	+21°C ± 1°C	50% ± 10%	+26 °C ± 1°C	50% ± 10%
Servizi igienici	+21°C ± 1°C	Non controllata	Non controllata	Non controllata
Corridoi	+20°C ± 1°C	Non controllata	+27 °C ± 1°C	50% ± 10%
Vani scala	+18°C ± 1°C	Non controllata	Non controllata	Non controllata
Ristorante bar	+20°C ± 1°C	50% ± 10%	+26 °C ± 1°C	50% ± 10%
Uffici	+20°C ± 1°C	50% ± 10%	+26 °C ± 1°C	50% ± 10%
Ambulatori	+20°C ± 1°C	50% ± 10%	+26 °C ± 1°C	50% ± 10%
Locale culto/cappella	+20°C ± 1°C	50% ± 10%	+26 °C ± 1°C	50% ± 10%
Palestra	+20°C ± 1°C	50% ± 10%	+26 °C ± 1°C	50% ± 10%
Cucina	+18°C ± 1°C	Non controllata	Non controllata	Non controllata
Lavaggio stoviglie	+18°C ± 1°C	Non controllata	Non controllata	Non controllata
Spogliatoi e servizi igienici collettivi	+20°C ± 1°C	Non controllata	Non controllata	Non controllata
Lavanderia	+18°C ± 1°C	Non controllata	Non controllata	Non controllata
Camera mortuaria	+18°C ± 1°C	60% ± 5%	18°C ± 1°C	60% ± 5%

Tabella 7 - Condizioni di progetto interne invernali ed estive

La ventilazione meccanica è presente in tutti gli ambienti condizionati. I ricambi d'aria garantiti sono determinati in base alle diverse destinazioni d'uso (Tabella 8).

Ambiente	Ricambi d'aria
Soggiorni nucleo	36 m ³ /h per persona
Camera singola	40 m ³ /h
Camera doppia	80 m ³ /h
Servizi igienici	10 vol/h
Antibagni ciechi	6 vol/h
Corridoi	2 vol/h
Mensa e sala da pranzo	36 m ³ /h
Uffici	40 m ³ /h
Ambulatori	3 vol/h
Cappella	22 m ³ /h per persona
Palestra	60 m ³ /h per persona
Spogliatoi	40 m ³ /h
Mourge	15 vol/h

Tabella 8 - Ricambi d'aria di progetto per ogni destinazione d'uso

Si osserva che, fatta eccezione di alcuni locali di servizio e dei bagni, tutti i locali abitati (uffici, camere, soggiorni, sale da pranzo, ecc) presentano ventilazione forzata anche in caso di possibilità di effettuare ventilazione naturale; si adotta questa scelta progettuale per migliorare le prestazioni energetiche del sistema-edificio impianto.

Infine si riportano i valori di velocità dell'aria nelle canalizzazioni massimi accettabili, secondo quanto previsto a progetto (Tabella 9).

Sezione	Velocità [m/s]
Preso aria esterna	2,5
Premente del ventilatore	10,0
Montanti verticali	8,0
Condotti di distribuzione al piano	6,0
Terminali di mandata	2,0
Terminali di ripresa	2,5
Velocità massima negli ambienti	0,15

Tabella 9 - Velocità massima previste in progetto in varie sezioni della rete aeraulica

Tutti questi valori sono importati perché rappresentano quanto previsto in fase di progetto. L'impianto, dopo essere stato messo in funzione e bilanciato, dovrà rispettare questi valori entro alcuni limiti di accettabilità fissati dalla normativa. In fase di collaudo si farà riferimento a questi per effettuare un confronto ed individuare eventuali criticità.

4.2 Impianto di climatizzazione

L'Impianto di Climatizzazione realizzato è del tipo misto ad aria primaria e sistemi radianti a pavimento. All'aria è demandato il compito di compensare i carichi termici latenti ed effettuare la ventilazione degli ambienti, per garantire un'adeguata qualità dell'aria. I terminali idronici hanno il compito di compensare i carichi termici sensibili in riscaldamento e raffrescamento. Una piccola parte di questi carichi è soddisfatta dall'aria primaria che non è immessa in condizioni neutre ma è leggermente trattata termicamente.

I Locali Cucina, Lavanderia/Stireria e Morgue al piano terra sono serviti da impianti a tutt'aria e da sistemi ad espansione diretta del tipo VRV come integrazione. I soggiorni circolari al piano terra corpo A ed al piano terzo corpo B sono serviti sia dai terminali idronici radianti a pavimento, sia da unità monospit canalizzate. Queste ultime hanno la funzione di integrare la potenza termica sensibile immessa/sottratta dai terminali idronici, essendo gli ambienti costituiti da elevate superfici finestrate che consentono l'irraggiamento diretto.

Le UTA a servizio dei vari nuclei e degli spazi comuni (UTA.01-02-03) sono dotate di batteria ad espansione alimentata da Unità Esterne dedicate del tipo VRV e batteria di post-riscaldamento idronica alimentata dalla centrale termofrigorifera. La UTA Cucina (UTA.04) è dotata di batteria di riscaldamento/raffrescamento idronica alimentata sempre dalla centrale termofrigorifera.

4.2.1 Produzione e distribuzione dei fluidi vettori

Il sistema di produzione e distribuzione dei fluidi vettori è costituito dai seguenti componenti e sottosistemi impiantistici principali, analizzati approfonditamente nei successivi paragrafi:

- Due gruppi frigoriferi in pompa di calore aria-acqua con desurriscaldatore per il recupero parziale del calore;
- Generatore di calore modulare costituito da quattro moduli termici a condensazione installati a parete;
- Circolatori dei circuiti primari acqua calda ed acqua refrigerata;
- Scambiatore di calore SCH1 per integrazione calore: il primario è alimentato dai generatori di calore ed il secondario dal circuito principale delle pompe di calore;
- Scambiatore di calore SCH2 per integrazione calore: il primario è alimentato dai generatori di calore ed il secondario dal circuito di recupero delle pompe di calore;
- Collettore acqua calda alta temperatura, alimentato dai generatori di calore: alimenta gli scambiatori a piastre di integrazione del calore e la seconda fonte di calore del sistema di produzione ACS¹¹;
- Collettore acqua calda media temperatura, alimentato dalla PdC¹² direttamente o dallo scambiatore SCH02 di integrazione. Esso alimenta il circuito principale del sistema di produzione ACS ed il circuito delle batterie di postriscaldamento;
- Collettore acqua calda/refrigerata, alimentato direttamente dal circuito a principale delle pompe di calore o dal secondario dello scambiatore SCH.01 (in inverno eventualmente). Esso alimenta il circuito utenze impianto climatizzazione, ossia il sistema di riscaldamento/raffrescamento radiante e la batteria di riscaldamento/raffrescamento dell'UTA a servizio della cucina.

Il funzionamento dell'intero sistema di distribuzione è analizzato di seguito, riportando gli schemi funzionali di impianto e le fotografie dei componenti installati in loco.

¹¹ ACS acronimo di *Acqua Calda Sanitaria*

¹² PdC acronimo di *Pompe di Calore*

Pompe di calore

Le pompe di calore installate, identiche tra loro, sono Daikin modello EWYT235B-XRA2+OP204. La tipologia è Aria-Acqua reversibile, con circuito di recupero parziale del calore (desurriscaldatore). Per questo motivo sono collegati ad ogni macchina quattro tubi, mandata/ritorno del circuito principale (caldo o freddo in base alla modalità di funzionamento) e mandata/ritorno del circuito a recupero (sempre caldo). La potenza di raffrescamento di ogni macchina è di 227,1 kW con EER di 4,43, mentre la potenza di riscaldamento è di 237,6 kW con COP di 3,82. La capacità massima di recupero di calore è di 70,38 kW quando la potenza in raffrescamento è di 198,4 kW.

I compressori sono del tipo Scroll orbitanti ermetici progettati per operare con R32 e dotati di dispositivi di protezione del motore alle sovratemperature e sovracorrenti. Lo scambiatore di calore lato acqua è del tipo a piastre ad espansione diretta. Questo è realizzato con piastre saldobrasate in acciaio inossidabile e rivestito con un materiale isolante a celle chiuse da 20 mm. Lo scambiatore è dotato di una resistenza elettrica per la protezione contro il gelo. Lo scambiatore di calore lato aria, invece, è realizzato con tubi in rame senza saldatura disposti secondo uno schema a ranghi sfalsati. I ventilatori dello scambiatore di calore lato aria sono di tipo elicoidale, con pale ad alta efficienza realizzate in resina rinforzata in fibra di vetro.



Figura 29 - Ventilatori Pompe di calore (lato aria) – RSA Cervetto

Le pompe di calore sono i generatori principali dell'intero impianto di condizionamento. Essi sono utilizzati per alimentare i vari collettori con il fluido caldo e/o freddo prodotto. In inverno, essi alimentano le batterie di post riscaldamento delle UTA, i circuiti dei pannelli radianti e il sistema di produzione dell'ACS. Qualora la potenza termica fornita non fosse sufficiente, si prevede l'integrazione con i generatori di calore modulari a combustione. In estate, i gruppi frigo producono acqua refrigerata per alimentare i circuiti dei terminali idronici e la batteria di raffreddamento dell'UTA della cucina. Il circuito a recupero del desurriscaldamento è utilizzato per la produzione di ACS e l'alimentazione delle batterie di post riscaldamento delle varie UTA. Qualora il calore recuperato non fosse sufficiente, è possibile sempre integrare la produzione con il generatore di calore modulare.

La scheda tecnica delle macchine installate è riportata in Figura 30.



EWYT235B-XRA2+OP204

Dati Tecnici



prestazioni in modalità raffrescamento

Capacità Raffrescamento	227.1 kW	Acqua refrigerata IN/OUT	12.00 °C / 7.00 °C
Potenza assorbita	75.70 kW	Portata acqua refrigerata	10.83 l/s
EER Efficienza Raffrescamento	3.000 kW / kW	Perdite di carico scambiatore ad acqua	14.4 kPa
		Temperatura ambiente	35.0 °C
		Lw / Lp @ 1m	85 dB(A) / 66 dB(A)
SEER / ηs	4.43 / 174.2%	Fluido	Water
		Fouling factor scambiatore di calore acqua	0.000 m ² C/W

Il valore di SEER è dichiarato secondo la EN14825, per applicazioni con fan coil temperatura dell'acqua 12/7°C (ingresso/uscita). Livello di potenza sonora secondo ISO 9614-1. SEER e IPLV/IP si riferiscono all'unità standard senza opzioni

Prestazioni in riscaldamento

Capacità riscaldamento	237.6 kW	Acqua riscaldata IN/OUT	40.00 °C / 45.00 °C
Potenza assorbita	68.99 kW	Portata acqua riscaldata	11.36 l/s
COP efficienza riscaldamento	3.443 kW / kW	Perdite di carico scambiatore ad acqua	15.6 kPa
SCOP / ηs	3.820 / 149.8%	Temperatura ambiente a bulbo secco/umido	7 °C / 6 °C

SCOP dichiarati secondo la EN14835, climi medi, applicazioni per basse temperature Performance riscaldamento con sbrinamento

Prestazioni recupero di calore (Recupero di calore parziale)

Capacità raffrescamento	198.4 kW	Acqua IN/OUT evaporatore	12.00 °C / 7.00 °C
Capacità recupero di calore	70.38 kW	Portata acqua evaporatore	9.460 l/s
Potenza assorbita	88.32 kW	Perdite di carico evaporatore	11.3 kPa
TEER (P.F. + P.C.) / P.Ass.	3.040	Acqua IN/OUT RdC	50.00 °C / 55.00 °C
Temperatura esterna	35.0 °C	Portata acqua RdC	3.400 l/s
		Perdite di carico RdC	42.8 kPa

Figura 30 - Scheda tecnica Pompe di Calore Daikin

Generatori di calore

I generatori di calore producono il fluido termovettore caldo ed entrano in funzione nel caso in cui il calore prodotto dal circuito di recupero delle pompe di calore in estate non fosse sufficiente per la produzione di ACS e l'alimentazione delle batterie di postriscaldamento delle UTA. L'integrazione avviene per mezzo di due scambiatori a piastre che permettono alle due fonti in operare in parallelo, senza pregiudicare quindi il funzionamento delle pompe di calore. Si predilige sempre il funzionamento di queste ultime in quanto costituiscono la prima fonte di calore, essendo alimentate da energia elettrica autoprodotta dalla struttura attraverso il sistema fotovoltaico. Gli scambiatori utilizzati sono SCH.01 e SCH.02 alimentati entrambi sul primario dai generatori a combustione e sul secondario rispettivamente dal circuito principale e a recupero delle pompe di calore. Inoltre, i generatori modulari a combustione possono essere utilizzati come back-up, in caso di guasto delle PdC, per garantire comunque la disponibilità di ACS. I generatori installati sono riportati in Figura 31.



Figura 31 - Generatori di calore modulari – RSA Cervetto

Il generatore termico modulare installato è Viessmann serie “Vitomodul” costituito da 4 moduli da 150 kW caduno modello Vitodens 200-WB2HA.

Le caratteristiche prestazionali dei generatori variano a seconda della temperatura del fluido termovettore in mandata e in ritorno. In caso di temperatura di mandata pari a 50°C e temperatura di ritorno di 30°C, il campo di potenza utile per singolo modulo è 8,0-150,0 kW. In caso di fluido con temperature TM/TR di 80/60°C, il campo di potenza si riduce al range 7,3-136 kW. In ogni caso la potenza dei generatori è sufficiente sia nella condizione di integrazione, dove la maggior parte del calore è prodotta dalle PdC, sia in caso di back-up.

Schema funzionale di impianto

L'analisi dello schema funzionale di impianto è fondamentale per capire il funzionamento del sistema di produzione e distribuzione di tutti i fluidi termovettore. Questo riporta in modo schematico tutti i componenti di impianto, evidenziando la loro connessione e il principio di funzionamento.

L'analisi dello schema funzionale inizia dai generatori principali ossia le due pompe di calore. Esse sono collegate in parallelo e presentando 4 tubi, essendo a recupero parziale di calore, come illustrato precedentemente. Il circuito principale è alimentato con fluido caldo o freddo a seconda della modalità di funzionamento, mentre il circuito a recupero sempre con fluido caldo. Le pompe di circolazione sono poste sul ritorno. I circuiti sono equipaggiati con tutta la componentistica necessaria per il controllo dei valori di pressione e temperatura, sia analogici, in loco, sia digitali, in collegamento al sistema di supervisione generale. Se sul circuito di ritorno si raggiunge un valore di temperatura simile al valore di mandata, la valvola a farfalla motorizzata VF.1.3 apre il passaggio del fluido termovettore dal circuito di ritorno verso il circuito di mandata, evitando il passaggio attraverso la pompa di calore. Questo sistema è adottato per entrambi i circuiti (principale e recupero) e per entrambi i generatori. I fluidi termovettori prodotti dai due circuiti raggiungono poi o gli scambiatori di calore, in caso di reintegro necessario, o i collettori di alimentazione dei diversi terminali, come verrà approfondito successivamente. La parte di schema funzionale riguardante i gruppi frigo e tutti i componenti accessori è riportata in Figura 32.

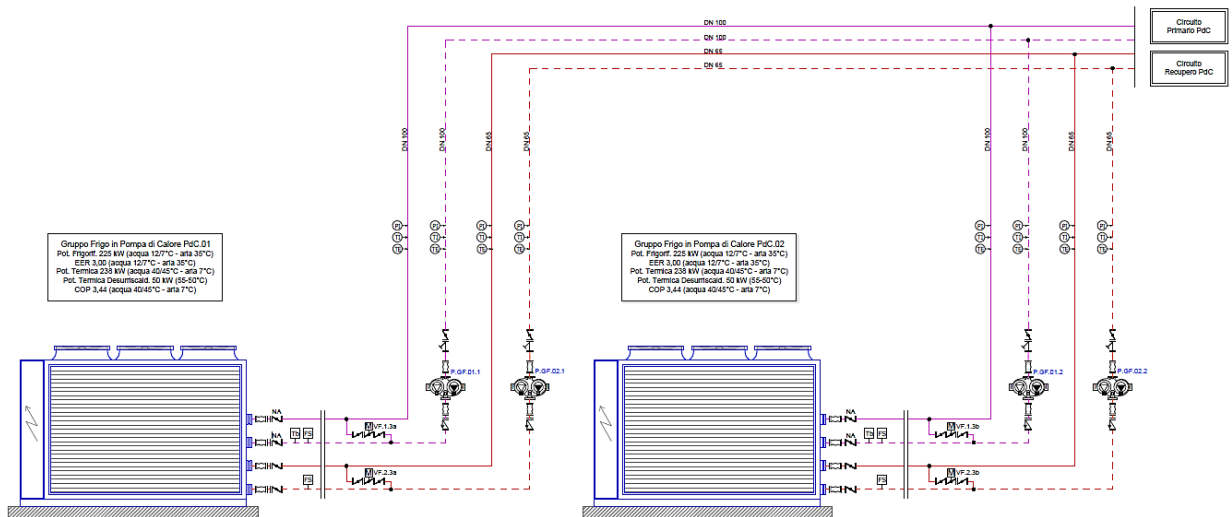


Figura 32 - Schema funzionale: Gruppi frigo

I generatori di calore modulari, come detto precedentemente, sono utilizzati come integrazione o back-up e sono installati in parallelo (Figura 33). La linea di alimentazione del gas metano presenta la rampa gas, come prescritto dalla normativa. I circuiti in uscita dai generatori si innestano in una linea principale che scambia calore con il collettore ad alta temperatura attraverso un separatore idraulico. Il collettore ad alta temperatura presenta due circuiti: il primo alimenta il sistema secondario di produzione ACS, utilizzato in caso di emergenza. Il secondo alimenta il circuito primario degli scambiatori di calore. Entrambi hanno due pompe in mandata (P.01 e P.02): delle due pompe una è utilizzata come riserva fredda. I fluidi raggiungono i due circuiti attraverso un collettore di mandata. È presente poi un collettore di ripresa che consente il successivo passaggio del fluido verso il separatore idraulico.

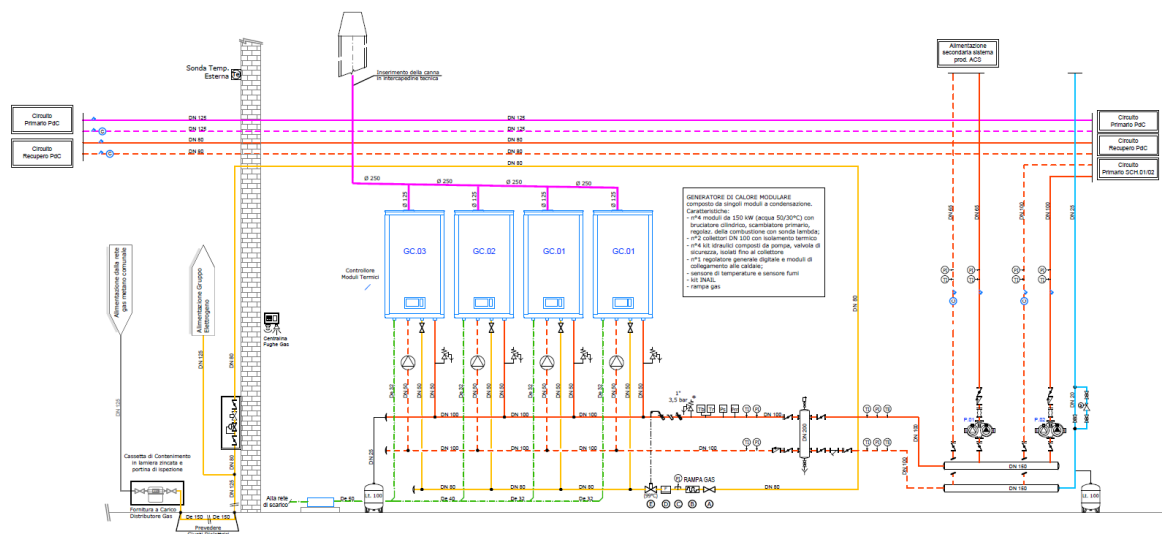


Figura 33 – S.F.: Generatore di calore modulare e collettori alta temperatura

In Figura 34 è riportato il collettore ad alta temperatura così come realizzato in loco.



Figura 34 -Collettore alta temperatura - RSA Cervetto

Il circuito alimentato dal generatore di calore modulare raggiunge i due scambiatori di calore a piastre di integrazione. Il primo scambiatore (SCH.01) è utilizzato solo in funzionamento invernale, in quanto scambia con il circuito principale delle pompe di calore. In estate il primario è alimentato da acqua refrigerata, pertanto il fluido non deve raggiungere lo scambiatore. Il secondo (SCH.02) scambia calore con il circuito di desurriscaldamento delle PdC ed è pertanto utilizzato sia in inverno che in estate. In questo modo, in caso di necessità di reintegro, i fluidi termovettori prodotti dalla prima fonte di calore subiscono un ulteriore trattamento termico, per raggiungere il valore di temperatura desiderato. Gli scambiatori a piastre installati nella struttura sono riportati in Figura 35. In caso di reintegro non necessario, nella maggior parte dei casi, le valvole a due vie motorizzate VF.1.2 e VF.2.2 deviano il fluido dei circuiti di recupero e principale delle pompe di calore verso i rispettivi collettori (vedi Figura 36).



Figura 35 -Scambiatori di calore a piastre - RSA Cervetto

Il fluido del circuito principale raggiunge quindi il collettore di mandata che alimenta delle utenze termiche. Da qui partono i circuiti dei pavimenti radianti e delle batterie dell'UTA a servizio della cucina. Questi terminali sono alimentati sia da acqua calda sia da acqua refrigerata, a seconda della modalità di funzionamento dell'intero sistema.

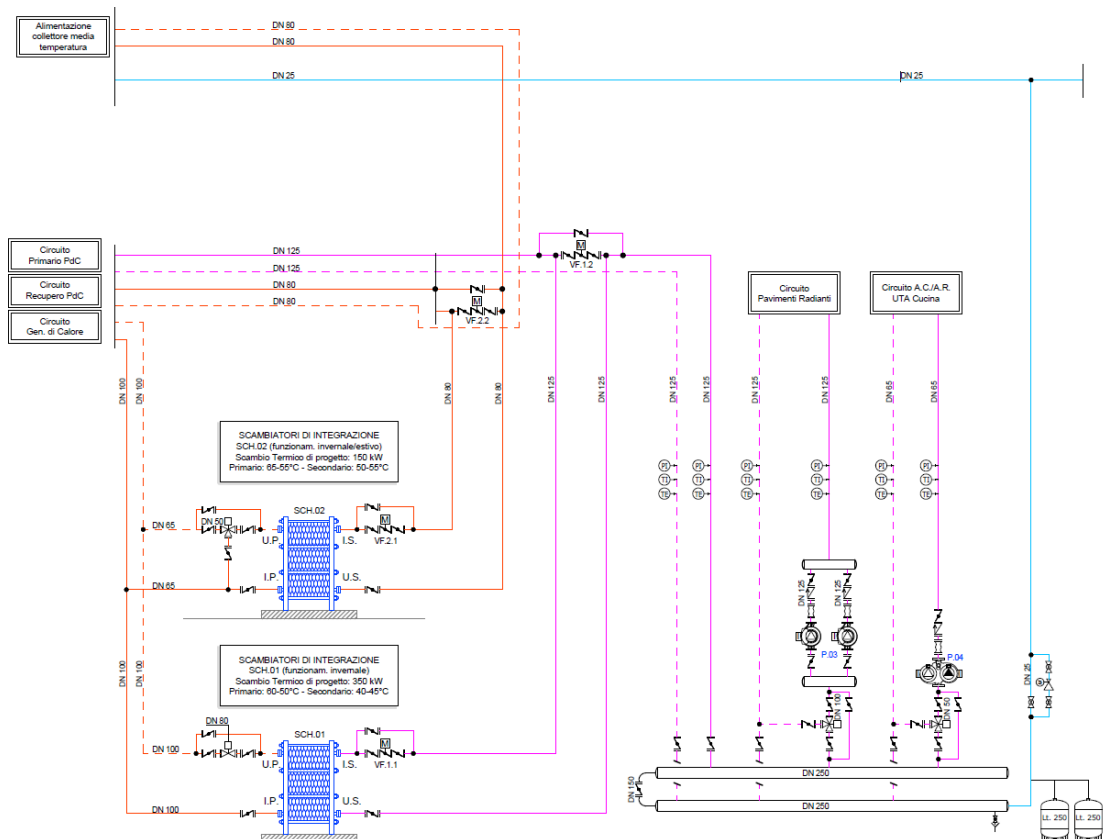


Figura 36 – S.F.: Scambiatori a piastre e collettori di alimentazione dei terminali

Il circuito a recupero, invece, alimenta il collettore di mandata “a media temperatura” con acqua calda, in ogni modalità di funzionamento. Su questo sono collegate le utenze che richiedono fluido caldo in tutte le stagioni, ossia le batterie di postriscaldamento delle UTA e il sistema di produzione dell’ACS. Quest’ultimo può essere alimentato anche dal generatore di calore modulare in caso di indisponibilità delle pompe di calore.

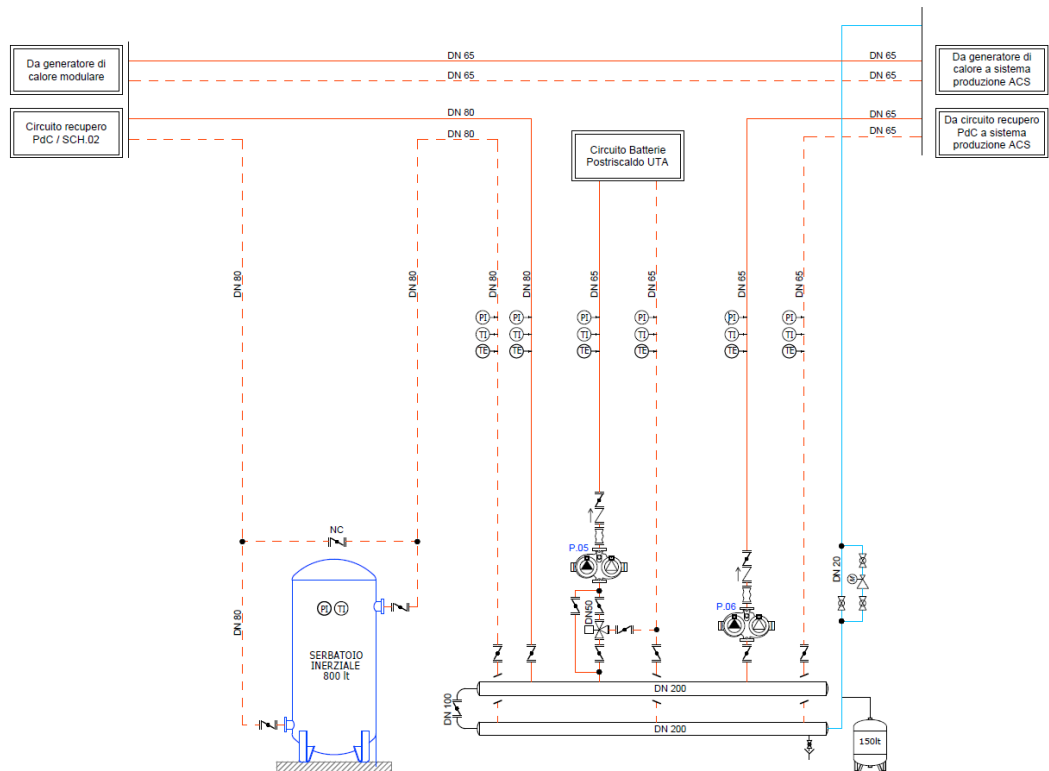


Figura 37 - Schema di funzionamento: Collettore a media temperatura

4.2.2 Unità trattamento aria

Le unità di trattamento aria installate a servizio degli ambienti generici sono tre: UTA.01 a servizio del Corpo A, UTA.02 a servizio del Corpo B, UTA.03 a servizio del Corpo C e spazi comuni dei corpi A e B. Tutte le UTA sono installate in copertura all’esterno e sono progettate per gestire una portata di mandata di 11.000 mc/h e 10.500 mc/h di ripresa. Esse presentano caratteristiche conformi a quanto previsto dalla Norma UNI 10339 relativamente alle caratteristiche di funzionamento ed alla tipologia costruttiva. Sono realizzate con sezioni componibili costituite da struttura con telaio portante realizzato mediante profili d’alluminio anodizzato, pannellatura di spessore pari a 42 mm, interno in “peralluman”, esterno verniciato

preplastificato e strato interposto costituito da poliuretano ad alta densità con coefficiente di conduttività termica non superiore a $0,026 \text{ W/m}^\circ\text{C}$. In questo modo si riduce al minimo la dispersione termica all'interno della macchina stessa, aumentando l'efficienza dell'intero sistema.

Le tre unità di trattamento aria, aventi le medesime sezioni funzionali, sono così composte:

- Sezione di presa aria esterna, completa di serranda motorizzata on-off in acciaio zincato, giunti antivibranti, filtro sintetico gravimetrico con efficienza G4 secondo Norma CEN EN779.
- Sezione di ventilazione di mandata, con motore inverter a commutazione elettronica senza spazzole, direttamente accoppiato al ventilatore (plug-fan). La potenza del motore è sovradimensionata del 20% per garantire il funzionamento nel punto ottimale con la portata di progetto. Le unità sono dotate di sistema di arresto del ventilatore all'apertura della porta d'ispezione.
- Recuperatore statico a flussi incrociati con serranda di by-pass. In caso di necessità di recupero è garantito un recupero del calore minimo invernale pari al 75%. Se il recupero non è richiesto è possibile bypassare la sezione, portando l'aria esterna direttamente nella sezione delle batterie di scambio termico;
- Batteria di scambio ad espansione diretta. Questa sezione è composta da due batterie in serie ad espansione diretta alimentate da un sistema VRV a bordo macchina. Le batterie sono alimentate dal fluido frigorifero caldo o freddo a seconda della modalità di funzionamento. La sezione è completa di separatore di gocce in alluminio a 3 pieghe e bacinella in acciaio inox. I valori di progetto prevedono una temperatura invernale di ingresso alla sezione di scambio termico di -8°C e un valore di 25°C in uscita. In estate, invece, le batterie garantiscono una temperatura di uscita 15°C con 95% di UR, considerando dei valori in ingresso alle stesse di 30°C con umidità relativa al 55%;
- Sezione di Umidificazione con distributore di vapore acciaio inox a 4 rampe, separatore di gocce in alluminio a 3 pieghe, bacinella in acciaio inox. Il vapore da utilizzare per

l'umificazione è prodotto da un umidificatore ad elettrodi immersi installato a bordo macchina. La produzione di vapore minima è di 50 kg/h.

- Batteria di postriscaldamento a canale: per garantire il raggiungimento dei valori di set point interno desiderati è necessario effettuare il post riscaldamento. Si è scelto di installare una batteria idronica a canale, in quanto l'azienda costruttrice dell'UTA non presenta una soluzione standard di UTA ad espansione diretta con sezione di postriscaldamento. La batteria scelta ha una struttura in lamiera di acciaio zincato, tubazioni in rame ed alette in alluminio. È alimentata dal collettore a "media temperatura" alimentato a sua volta dal circuito di recupero di calore delle PdC ed eventuale integrazione fa generatori modulari di calore;
- Sezione di Ripresa aria ambiente, completa di giunto antivibrante per collegamento su condotta su sezione rettangolare e filtro sintetico gravimetrico efficienza G4;
- Sezione di Ventilazione di ripresa con motore inverter senza spazzole plug-fan;
- Sezione di Espulsione aria con serranda motorizzata on-off in acciaio zincato.

In Figura 38 è riportata l'UTA 03 a servizio del blocco C. Nella fotografia scattata in loco è possibile osservare anche l'umidificatore elettrico e l'unità esterna del sistema ad espansione del tipo VRV.

L'impianto a servizio della zona cucina è progettato in modo differente dal resto dell'impianto di climatizzazione. Questi ambienti sono serviti da una cappa di estrazione che gestisce una portata di 12.000 mc/h. Per evitare di rendere questi ambienti in completa depressione, è necessario compensare almeno parte della portata d'aria estratta. Per questo motivo è stato previsto una unità di compensazione cappe che immette all'interno della cappa della cucina stessa 4.500 mc/h di portata di aria esterna non trattata. Inoltre, un'unità di trattamento aria immette una portata d'aria trattata pari a 6.000 mc/h. In questo modo l'ambiente presenta solo 1.500 mc/h di depressione che consentono di mantenere l'odore e i fumi prodotti in cucina. L'UTA utilizzata ha il compito di garantire un efficiente ricambio d'aria utilizzando tutt'aria esterna. In inverno è previsto il controllo della temperatura di immissione aria in ambiente al fine di garantire una temperatura interna di 20 °C circa, attraverso l'utilizzo di una batteria

idronica alimentata dal collettore a media temperatura. La temperatura è controllata anche in estate, in funzione della temperatura dell'aria esterna, per evitare di immettere aria a temperatura troppo elevate in un ambiente con elevati carichi endogeni. Il controllo puntuale della temperatura ambiente è effettuato poi con un impianto ad espansione diretta interno dedicato.



Figura 38 - UTA.03 (con Umidificatore e Sistema ad Espansione diretta)

Per il controllo e la gestione delle Unità di trattamento aria e di tutti i principali componenti di impianto è presente un sistema di supervisione sul quale sono interfacciati, attraverso cavo Bus con protocollo BacNet, tutti i controllori previsti a progetto.

Il sistema di supervisione è l'elemento centrale e caratterizzante dell'automazione degli impianti tecnologici. Esso svolge il compito non solo di gestione e controllo dei vari impianti, ma anche la funzione informativa, ottimizzando i tempi di intervento su gusto, avendo informazioni real time sullo stato dei vari componenti di impianto.

L'architettura del Sistema di Supervisione è costituita dai seguenti componenti di base:

- Postazione operatore aperta a tutti gli standard di mercato ed ai diversi protocolli proprietari più comuni;
- Controller di livello automazione, compatti, con I/O ed interfacce integrate;
- Controller di livello automazione, modulari, con I/O distribuito su bus.

L'architettura del sistema consente il funzionamento impiantistico anche in modo autonomo, senza necessità delle funzionalità previste per la Management Station. In questi casi, è possibile realizzare un piccolo sistema completamente funzionale senza alcuna riduzione applicativa.

La regolazione delle Unità di trattamento aria è del tipo "plug and play", ossia realizzata in fabbrica all'interno dell'unità stessa. Il funzionamento di ogni UTA è gestito da un controllore digitale compatto installato all'interno del quadro a bordo macchina. Il controllore assolverà alle seguenti funzioni di regolazione e controllo:

- Regolazione temperatura aria a valle batteria di preriscaldamento/raffreddamento;
- Regolazione dell'umidità in ripresa (umidificazione in inverno e deumidificazione in estate) con limite in mandata;
- Gestione apertura e chiusura serrande motorizzate Presa Aria Esterna ed Espulsione (comando e allarme);
- Regolazione serranda di by-pass motorizzata a bordo del recuperatore di calore;
- Gestione Ventilatore di mandata e ripresa (comando, stato, allarme e modulazione inverter);
- Gestione funzionamento umidificatore (comando, stato, allarme);
- Allarme Antigelo;
- Allarme intasamento filtri (G4 e F8).

I seguenti punti analogici o digitali sono poi riportati anche sul sistema di supervisione generale, per poter gestire e avere le informazioni necessarie sullo stato delle diverse UTA.

4.2.3 Distribuzione Aeraulica e terminali ambiente

La rete di distribuzione aeraulica parte dalle Unità di Trattamento aria di pertinenza alle singole zone, si sviluppa in copertura all'esterno, raggiunge i cavedi tecnici delle differenti zone e percorre i controsoffitti degli ambienti serviti fino a raggiungere i terminali di immissione o ripresa. I materiali utilizzati nei diversi tratti di rete sono:

- Lamiera di acciaio zincata, per la distribuzione esterna in copertura. Lo spessore della lamiera varia a seconda delle dimensioni della sezione di canale e quindi della portata d'aria del tratto considerato;
- Pannelli Sandwich con finitura in lamierino di alluminio goffrato all'esterno e liscio all'interno. Il pannello di spessore complessivo di 2 cm è utilizzato per la distribuzione dell'aria all'interno di cavedi e controsoffitti.

Si analizza ora un tratto di rete per illustrare le scelte progettuali adottate. Date le dimensioni dell'impianto non è possibile analizzare l'intera rete. Il metodo adottato e illustrato per la parte in esempio è analogo per il resto dell'intera rete di distribuzione. Le considerazioni effettuate saranno utili in fase di test e bilanciamento per verificare la corrispondenza con le ipotesi effettuate in fase di progetto.

Si analizza la rete a servizio del blocco A, facente capo all'UTA 01. I canali di mandata e ripresa, partendo dall'unità raggiungono il cavedio tecnico A1. Questo percorre tutti i piani della struttura fino a raggiungere il piano terra. I condotti in ingresso al cavedio dalla copertura sono di dimensioni 600x800 mm con 10.590 mc/h in mandata e 600x750 mm in ripresa con una portata di 9.625 mc/h. Percorrendo il cavedio, dai due condotti partono dei rami orizzontali che servono i vari piani. In questo modo le portate presenti nei due canali verticali all'intero dei cavedi diminuiscono, richiedendo quindi dimensioni minori per gli stessi. Al piano terra gli stessi canali analizzati precedentemente arrivano con una portata di 3.195 mc/h in mandata e dimensioni di 600x350 mm e 2.845 mc/h in ripresa con dimensioni 600x300 mm.

In Figura 39 è riportata parte della rete aeraulica del piano terra, partendo dal cavedio A1.

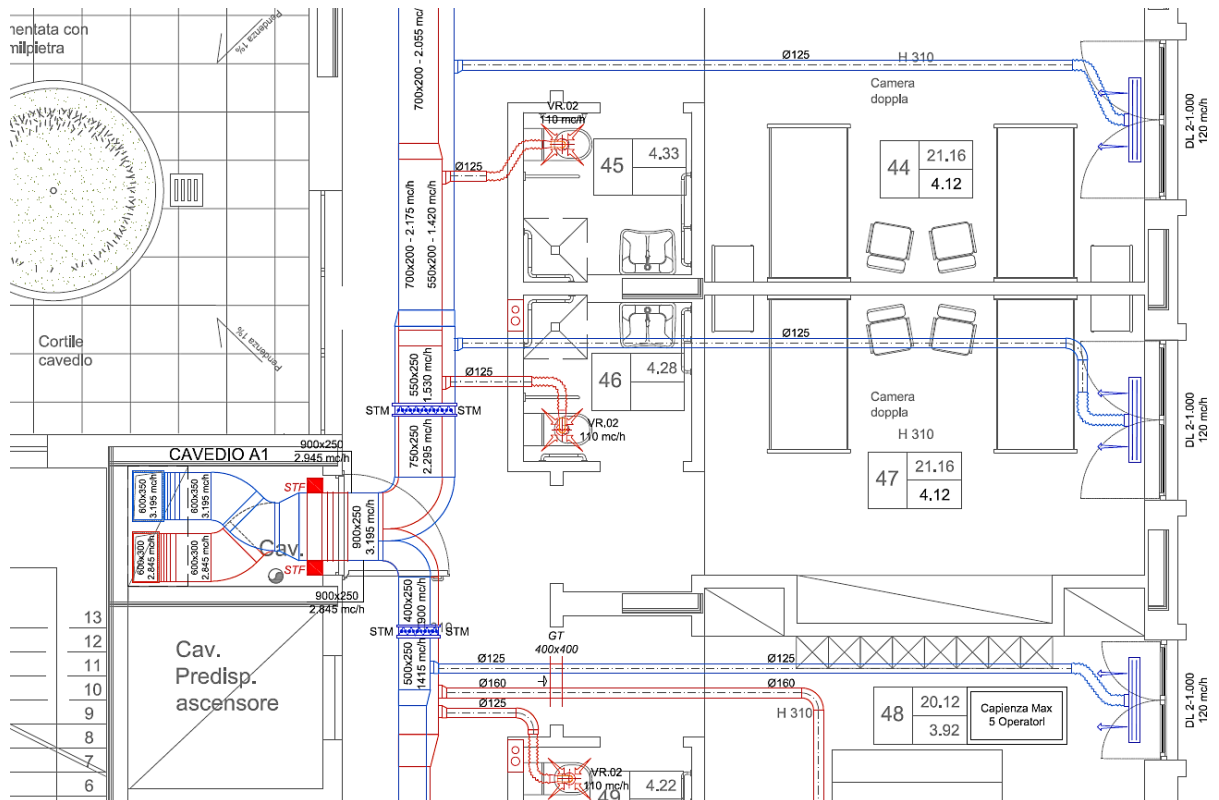


Figura 39 - Distribuzione aerea (Piano terra, Cavedio A1)

Uscendo dal cavedio con una curva a 90°, i condotti si distribuiscono in orizzontale. È presente una serranda tagliafuoco, essendo la muratura di uscita del cavedio di tipo REI. Le serrande tagliafuoco motorizzate sono prelevate dalla circolare 91 dei Vigili del Fuoco. La tipologia installata in struttura è del tipo motorizzato con dispositivi termostatici tarati a 68 °C e interfacciati con il sistema antincendio. Superata la serranda tagliafuoco, i canali si dividono in due rami, destro e sinistro, per servire in modo opportuno le differenti zone. I canali di mandata e ripresa sono installati uno sotto l'altro, come riportato in progetto. In corrispondenza di ognuno dei quattro tronchi principali sono installate quattro serrande di taratura manuale, due sulla mandata/ripresa destra e due sulla mandata e ripresa sinistra. Con questi organi di regolazione è possibile bilanciare tutti gli ambienti del piano terra serviti dal cavedio in esame. Oltre alla regolazione della portata nel condotto principale è sempre possibile effettuare una regolazione sui singoli terminali ambiente. Come si evince dallo schema, la rete di distribuzione che percorre i corridoi è di forma rettangolare mentre gli stacchi che alimentano i vari ambienti sono circolari. In generale i condotti circolari sono preferibili, in quanto riducono le perdite di pressione distribuite. Essi presentano però un notevole ingombro a differenza dei condotti

rettangolari con i quali è possibile realizzare varie forme in base alle esigenze. Questo comporta però maggiori perdite all'interno della rete di distribuzione e un flusso dell'aria più turbolento. Se non correttamente dimensionate la rete di forma rettangolare può comportare rumorosità negli ambienti. In questa struttura, in corrispondenza degli ambienti da climatizzare si effettua il cambio di forma, distribuendo l'aria fino al terminale di immissione con dei condotti circolari. In questo modo si garantisce un flusso dell'aria più lento, riducendo le perdite di carico e la rumorosità nelle camere.

La rete di ripresa è realizzata con la stessa metodologia, effettuando il cambio di forma in prossimità dell'ambiente in cui si effettua l'estrazione.

È importante evidenziare la scelta del posizionamento dei terminali in ambiente e del dimensionamento dei condotti. I terminali di immissione sono posizionati in prossimità dei componenti finestrati, generalmente posti in fondo all'ambiente. In questo modo si immette aria trattata in parte termicamente in prossimità di superfici disperdenti o che immettono in ambiente carico termico esogeno, effettuando una sorta di barriera d'aria. Successivamente l'aria è ripresa dai bagni. In questi ambienti, secondo norma UNI 10339 è obbligatorio effettuare l'estrazione dell'aria. A livello architettonico, i servizi igienici a servizio delle stanze degli ospiti sono posti all'ingresso degli ambienti. La depressione creata all'interno degli stessi crea un richiamo dell'aria dall'interno immessa nelle stanze verso i bagni. In questo modo si evita la fuoriuscita di cattivi odori ma soprattutto si garantisce un ricambio completo dell'aria in ambiente, essendo il terminale di estrazione posto nel lato completamente opposto a quello di immissione.

La maggior parte dei terminali di immissione adottati sono diffusori lineari di lunghezza 1 mt realizzati in alluminio anodizzato con deflettore. Essi sono completi di un plenum isolato che consente il collegamento alla rete di distribuzione mediante un flessibile isolato. Il numero di feritoie dei diffusori e le dimensioni dei condotti flessibili variano a seconda della portata elaborata dagli stessi. In fase di bilanciamento della rete è possibile regolare la posizione delle

alette dei singoli diffusori, modificando la portata in uscita dagli stessi, agendo quindi sulla sezione di passaggio.

La ripresa è effettuata per mezzo di diffusori lineari in ambienti comuni come corridoi, soggiorni, sale tv. Nelle camere degli ospiti si riprende l'aria attraverso valvole di ventilazione in alluminio. Esse possono essere regolate tramite un disco che può essere avvitato per ridurre la portata in uscita in fase di bilanciamento della rete.

In Figura 40 è possibile osservare i diffusori lineari a tre feritoie installati presso un soggiorno comune al piano terra. I cinque diffusori elaborano una portata di 250 mc/h caduno. Sul lato opposto sono presenti cinque diffusori di ripresa con portata di 225 mc/h caduno, garantendo una leggera sovrappressione dell'ambiente.



Figura 40 - Diffusori lineari a 3 feritoie

4.2.4 Sistemi radianti a pavimento

I pavimenti radianti sono alimentati dal collettore servito dal circuito principale della pompa di calore. Il circuito dei terminali idronici in esame è dotato di valvola miscelatrice per il controllo della temperatura in mandata e da due elettropompe in linea a portata variabile, di cui una sempre in funzione e una di riserva.

I terminali opereranno sia in riscaldamento che in raffrescamento. In modalità estiva i terminali sono in funzione solo se l'UTA a servizio dello specifico ambiente è anch'essa in funzione. In questo modo si evita l'eccessiva umidità in ambiente che può comportare la condensazione del vapore acqueo contenuto nell'aria sul pavimento.

I pavimenti radianti sono costituiti da serpentini realizzati con tubazione in Tubo PE-Xc 17-13 con passo di 10-15 cm in funzione degli ambienti serviti. I circuiti sono installati su un supporto bugnato in polistirene sinterizzato con grafite, spessore 3 cm. I collettori di distribuzione, realizzati in poliammide, sono alloggiati in una cassetta metallica e sono dotati di termometro in mandata e ritorno, valvole di intercettazione generale, attacco di carico o scarico dei vari circuiti facenti capo al collettore stesso, sfiato automatico in mandata e ritorno. Inoltre, ogni sottocircuito presenta un flussimetro installato sul ritorno e una valvola elettrotermica in mandata.

Il controllo della temperatura ambiente al valore di set point prefissato è realizzato mediante sistema di regolazione costituito da:

- Regolatore compatto per installazione su barra DIN in controsoffitto con protocollo di comunicazione Bacnet-IP;
- Sonda ambiente di temperatura e umidità: nelle camere e nei locali personale sono installate sonde ambiente con potenziometro di ritaratura, nei locali/ambienti comuni sono installate sonde ambiente cieche;
- Valvola elettrotermiche installate sui collettori di distribuzione.

I pavimenti radianti non sono in grado di controllare l'umidità relativa degli ambienti. È necessario, pertanto, prevedere un impianto di aria primaria atto all'abbattimento del carico

latente degli ambienti che collaborerà, inoltre, con i sistemi radianti stessi all'abbattimento anche del carico sensibile estivo. Nella stagione calda, in tutti i locali in cui opereranno i pavimenti radianti è prevista una portata d'aria in mandata pari a circa 2 vol/h e/o a 40 mc/h per occupante. L'aria ha una temperatura di 18 °C e una umidità non superiore a 8,8 g/kg. Queste condizioni di immissione sono sufficienti, in tutti i locali, a controllare l'umidità relativa, garantendo quindi le condizioni interne di progetto fissate a 26°C e U.R. 50%. Alle condizioni di progetto la temperatura di rugiada è pari a circa 14,8 °C. Questa è la temperatura minima che può avere la superficie del pavimento per evitare fenomeni di condensazione superficiale. Poiché la differenza di temperatura tra il fluido e la superficie del pannello è prossima allo zero la temperatura minima del fluido non deve mai andare al di sotto di 15 °C in condizioni di progetto. Ad ogni modo la climatizzazione ambiente è inibita se si supera la soglia di umidità impostata, attraverso un sistema che mette in comunicazione le sonde ambiente con il sistema di supervisione generale.

4.3 Test e bilanciamento

4.3.1 Prove di tenuta impianto aeraulico

Il primo test effettuato sull'impianto aeraulico è la prova di tenuta delle canalizzazioni dell'aria. Questo è svolto in fase di installazione della rete aeraulica e prescinde dall'installazione delle UTA e degli altri componenti di impianto. Sulla rete oggetto del caso studio la prova di tenuta dei condotti d'aria è stata effettuata il 13 Gennaio 2023. Il test è stato effettuato solo su parte della rete, in particolare sul ramo destro uscente dal cavedio B1 del piano secondo.

Il test è svolto dopo l'installazione degli stacchi statici con cambio forma e con tutti i tratti completamente sigillati e correttamente fissati. Si collegata tramite un flessibile la macchina di test al canale da testare. Si imposta la pressione di test secondo quanto riportato da normativa UNI EN 12237:2004 [17] e si individua la superficie del tratto testato.

Si utilizza la macchina di pressatura canali Airflow LM1 HVLT, lo strumento multifunzione TSI 9565P e il manometro TSI AIRFLOW PVM 620. I tratti di canale di mandata sono testati note

le loro dimensioni, lunghezze e quindi superfici alla pressione di 1000 Pa. I risultati ottenuti sono riportati in Tabella 10.

Tronco canale [mm]		Perimetro [mm]	Lunghezza [m]	Area [mq]
950	200	2300	1,2	2,76
600	200	1600	7	11,2
550	200	1500	9	13,5
500	200	1400	1,25	1,75
500	150	1300	6	7,8
400	150	1100	6,5	7,15
250	150	800	5	4
200	150	700	8	5,6
Totale				53,76

Tabella 10 - Tronchi canale rete di mandata - Test di tenuta

Nota la superficie di canalizzazione da testare e la pressione di test, è possibile calcolare il valore massimo di portata di perdita previsto dalla norma (vedi Tabella 1). La classe prevista è B, essendo canali passanti in ambienti comuni e senza necessità di particolare tenuta. I risultati ottenuti e il confronto con il riferimento normativo sono riportati in Tabella 11.

	Riferimenti normativi	Dati rilevati
Classe di collaudo	B	
Pressione di prova [Pa]	1000	1012
Perdite [mc/h]	155,2	129,97

Tabella 11 - Esito test canali mandata

In Figura 41 sono riportati gli strumenti utilizzati in campo per effettuare la lettura dei valori di test ed impostare la pressione di prova.



Figura 41 – Valori ramo di mandata - Test della rete aeraulica

La stessa procedura è effettuata sulla rete di ripresa a servizio degli stessi ambienti del piano secondo. Le dimensioni dei tratti di canali da testare sono riportate in Tabella 12.

Tronco canale [mm]		Perimetro [mm]	Lunghezza [m]	Area [mq]
900	200	2200	1,2	2,64
550	200	1500	15	22,5
500	200	1400	1	1,4
500	150	1400	5,5	7,7
450	150	1200	4,3	5,16
300	150	900	6,5	5,85
150	150	600	7,25	4,35
200	150	700	8	5,6
Totale				55,2

Tabella 12 - Tronchi canale rete di ripresa - Test di tenuta

La rete di ripresa è testata con una pressione negativa pari a 750 Pa, come previsto da progetto. I valori ottenuti e il confronto con i riferimenti normativi sono riportati in Tabella 13.

	Riferimenti normativi	Dati rilevati
Classe di collaudo	B	
Pressione di prova [Pa]	-750	-772
Perdite [mc/h]	132,2	120,37

Tabella 13 - Esito test canali di ripresa

L'esito del test su entrambi i tratti è da considerarsi positivo, essendo i valori di perdite di portata rilevati inferiori ai limiti normativi. In fase di messa in funzione delle Unità di Trattamento d'Aria occorre impostare una portata d'aria maggiore rispetto a quella prevista in progetto, per compensare le perdite di tenuta. Tenendo conto della pressione raggiunte nei vari rami della rete, minori rispetto alla pressione di test, e che il test è stato effettuato solo su un ramo del piano secondo facente capo all'UTA 2 (superficie di rete pari a circa 1/8 dell'intera estensione), si imposterà la stessa UTA con una portata maggiore di circa 500 mc/h sia in mandata che in ripresa.

4.3.2 Prova tenuta sistema radiante

La prova di tenuta di un sistema radiante è fondamentale per evitare perdite indesiderate in fase di utilizzo dell'impianto. Essendo il sistema installato al di sotto della pavimentazione, eventuali trafilamenti del fluido termovettore provano gravi conseguenze all'edificio nonché interventi di riparazione invasivi e costosi.

Le prove di tenuta sull'impianto idronico sono state eseguite sia in corso d'opera (sui singoli circuiti) sia ad impianto completamente realizzato e funzionante.

Al termine della realizzazione della rete di distribuzione è stata effettuata la prova di tenuta con una pressione pari a 6,5 bar, valore superiore a 1,5 volte quella di esercizio. Le tubazioni sono state mantenute in pressione per oltre 6 ore consecutive. Prima dell'accensione degli impianti di climatizzazione è stata fatta un'ulteriore prova in pressione dei pannelli radianti con una pressione di circa 4 bar. Entrambe le prove svolte hanno ottenuto esito positivo non avendo rilevato una caduta di pressione superiore a 0.3 bar.

In Figura 42 è riportato un collettore di zona sottoposto a test. Si nota il manometro esterno installato a bordo collettore che riporta il valore di pressione di test pari a 4 bar.



Figura 42 - Test tenuta sistema radiante

4.3.3 Messa in funzione Pompe di Calore

L'avviamento delle Pompe di Calore Daikin, utilizzate per la produzione di fluidi termovettori caldi e freddi, è avvenuto il 17 Gennaio 2024. La messa in funzione è stata effettuata dal personale autorizzato Daikin. Si è simulata sia la condizione di minimo carico, sia la condizione di massimo carico. In fase di avviamento si è verificata la coerenza dei valori misurati con le caratteristiche di targa della stessa pompa di calore e il raggiungimento dei valori di progetto previsti. Il personale abilitato ha effettuato le seguenti verifiche:

- Verifica della corretta installazione delle tubazioni di mandata e ritorno dei due circuiti sui relativi attacchi;
- Verifica della presenza degli spazi minimi necessari per garantire il corretto funzionamento delle macchine ed eventuali operazioni di manutenzione;
- Verifica presenza sonde sulle tubazioni dell'acqua in ingresso e uscita. Verifica del corretto inserimento nel pozzetto di misura;
- Controllo del livello dell'olio del compressore.

Entrambe le pompe di calore sono impostate a una temperatura di mandata di 7°C in freddo e 45°C in caldo. Di seguito si riportano i valori misurati sulle due pompe di calore durante la messa in funzione.

		Pompa di Calore 1		Pompa di Calore 2	
		Circuito 1	Circuito 2	Circuito 1	Circuito 2
Temperatura Acqua condensatore [°C]	Ingresso	18		20,2	
	Uscita	25,8		26,5	
Temperatura aria evaporatore [°C]		3		3,3	
Temperatura acqua recupero di calore [°C]	Ingresso	26		25,4	
	Uscita	30,2		28,8	
Temperatura del refrigerante [°C]	Aspirazione	-4,3	-8,1	-4,7	-4,3
	Mandata	64,7	73,8	70,8	75,1
	Liquido	21	20,1	22,3	23,1

	C1	C2	C1	C2
Pressione mandata compressore [bar]	16,1	16,1	16,5	16,8
Pressione di aspirazione compressore [bar]	5,1	4,1	4,9	4,6
Percentuale di carico compressori [%]	100	100	100	100
Corrente assorbita dai compressori [A]	C1 C2 C3 C4	18 25 24 25	C1 C2 C3 C4	18 25 24 25
Tensione alimentazione unità [V]	400 400 398		400 400 399	

Tabella 14 - Report messa in funzione Pompe di Calore

L'esito del primo avviamento è positivo, considerando che tutti i valori misurati sui vari componenti delle macchine rientrano nel range previsto dal costruttore. Le pompe di calore sono quindi correttamente installate e funzionanti, pronte per la messa in esercizio.

4.3.4 Messa in funzione UTA

La messa in funzione delle tra Unità di Trattamento Aria ad espansione diretta installate in copertura del fabbricato è stata effettuata in data 17 Gennaio 2024.

La messa in funzione non è stata effettuata dal personale qualificato Daikin, in quanto non prescritto dal costruttore delle UTA stessa, ma dai tecnici dell'impresa installatrice. Come spiegato nel paragrafo 3.2.2, in fase di avviamento è necessario effettuare delle verifiche sulle macchine per individuare eventuali anomalie sui vari componenti installati.

In Tabella 15 e Tabella 16 si riportano tutte le verifiche eseguite sulle tre UTA.

Descrizione	OK	Non OK	Non Applicabile	Osservazioni
Verifica del corretto senso di rotazione del motore	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Misura dell'assorbimento e della tensione di alimentazione del motore	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Verifica del numero di giri del motore	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Controllo punti delle segnalazioni e dei comandi locali-remoti	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Misura della portata e della pressione dell'aria all'uscita della sezione di mandata	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Verifica del microinterruttore del pannello d'ispezione.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

Tabella 15 - Test elettroventilatore di mandata aria

Descrizione	OK	Non OK	Non Applicabile	Osservazioni
Verifica del corretto senso di rotazione del motore	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Misura dell'assorbimento e della tensione di alimentazione del motore	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Verifica del numero di giri del motore	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Controllo punti delle segnalazioni e dei comandi locali-remoti	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Misura della portata e della pressione dell'aria in ingresso alla sezione di ripresa	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Verifica del microinterruttore del pannello d'ispezione.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

Tabella 16 - Test elettroventilatore di ripresa aria

Dopo aver verificato il corretto funzionamento dei ventilatori di mandata e di ripresa si effettua anche il test sulle serrande di regolazione delle stesse UTA. Le prove effettuate e il loro esito sono riportate in Tabella 17.

Descrizione	OK	Non OK	Non Applicabile	Osservazioni
Verifica della completa apertura e chiusura manuale delle serrande a bordo della sezione di mandata e di quella di ripresa	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Verifica della completa apertura e chiusura automatica della serranda di presa aria esterna	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Verifica della completa apertura e chiusura automatica della serranda di espulsione	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

Tabella 17 - Verifiche funzionali serrande di regolazione

4.3.5 Bilanciamento Rete Aeraulica

La fase di bilanciamento della rete aeraulica è fondamentale per garantire i valori di portata di progetto desiderati in tutti gli ambienti. In questo paragrafo si riportata la procedura di bilanciamento della rete appartenente all'UTA 2 a servizio del blocco B della struttura in esame. La rete in analisi serve tutti i piani del blocco, partendo dalla copertura fino al piano terra. I tronchi principali verticali attraversano il cavedio B1 e in ogni piano si dividono in due rami orizzontali a servizio del lato destro e sinistro del blocco B.

La procedura di bilanciamento della parte di impianto sopracitata è avvenuta in 6 giorni non consecutivi ed è stata effettuata dall'impresa installatrice. Come verrà spiegato successivamente, le prove sono avvenute in due fasi, avendo riscontrato dei problemi in campo. Il bilanciamento è avvenuto dal 6 all' 8 Maggio e dal 29 al 31 Maggio 2024.

Gli strumenti utilizzati per effettuare il bilanciamento della rete sono:

- Balometro Testo 420;
- Anemometri a ventolina Ø16 e Ø100;
- Strumento multifunzione Testo 400.

Il balometro, utilizzato per la misura della portata in uscita e in ripresa dai diffusori lineari, presenta un raddrizzatore di flusso integrato che converte la turbolenza dell'aria in un flusso quasi uniforme, aumentando l'accuratezza della misura. Lo strumento è in grado di calcolare in modo accurato un flusso d'aria compreso tra i 70 e i 3.500 mc/h. Essendo tutti i diffusori

lineari di ripresa e mandata di forma rettangolare e di lunghezza pari ad 1.000 mm, si utilizza un cono anemometrico di dimensioni 305x1.200 mm.

L'anemometro a ventolina di piccolo diametro è utilizzato per la misura puntuale all'interno dei vari tratti di condotto della velocità dell'aria. La sonda è in grado di misurare una velocità compresa tra i 0,6 e i 50 m/s. Misurata la velocità, lo strumento multifunzione Testo 400 ricava il valore di portata, note le dimensioni del condotto precedentemente inserite dall'operatore. La misura in un punto del condotto non è unica ma deve essere effettuata in più punti della stessa sezione. Le portate riportate nella successiva trattazione sono da intendersi come valori medi delle diverse misure effettuate in una stessa sezione.

L'anemometro Ø100 è utilizzato per la misura della portata volumetrica in prossimità dei diffusori circolari installati nei bagni. La combinazione dell'anemometro con l'imbuto Testo 417 consente di misurare con precisione la portata ripresa: l'anemometro è installato in fondo al cono di raccolta ed è quindi attraversato da tutta l'aria convogliata all'interno del cono stesso. Gli strumenti utilizzati sul campo per le misurazioni sono riportati in Figura 43 e Figura 44.



Figura 43 - Anemometri a ventolina Ø16 e Ø100 (dx) e Testo 400



Figura 44 - Balometro Testo 420 con cono anemometrico 305x1200 mm

Prima di procedere al bilanciamento della rete aeraulica si verificano i valori di set point impostati sull'UTA. Si imposta tutto l'impianto HVAC in modalità estiva. In fase di test in realtà si utilizza solo l'aria primaria, lasciando spenti i terminali idronici (pannelli radianti). In ogni caso, il set point dell'aria in uscita dall'UTA corrisponde al set point estivo. Inoltre, note le inevitabili perdite di tenuta della rete, si impostano i valori di set point di portata di mandata e di ripresa rispettivamente a 11.300 mc/h e 10.600 mc/h anziché 10.750 mc/h e 10.020 mc/h. Come specificato nel paragrafo 4.3.1 è necessario aumentare il valore di portata gestita dall'UTA per garantire nei vari ambienti il valore di portata d'aria di mandata e di ripresa di progetto e previsto dalla normativa. I valori sono scelti in base all'esperienza dei tecnici e del progettista e possono essere modificati in fase di bilanciamento qualora non si ottenga un risultato soddisfacente.

I valori letti sul display dell'UTA prima di effettuare il bilanciamento sono riportati in Tabella 18.

Set point temperatura a valle batteria raffreddamento [°C]	16
Temperatura Rilevata a valle batteria raffreddamento [°C]	15.6
ΔP monte/valle ventilatore mandata [Pa]	1058
ΔP monte/valle ventilatore ripresa [Pa]	838
Set point portata di mandata [mc/h]	11.300
Portata di mandata [mc/h]	11.358
Set point portata di ripresa [mc/h]	10.600
Portata di ripresa [mc/h]	10.639

Tabella 18 - Valori rilevati da UTA 2

Prima di procedere con il bilanciamento occorre effettuare le seguenti verifiche preliminari sull'UTA 2:

- Verifica completa apertura delle serrande di taratura sull'intera rete di mandata;
- Verifica completa apertura delle serrande di taratura sull'intera rete di ripresa;
- Verifica completa apertura delle alette di regolazione dei diffusori lineari di mandata e ripresa;
- Verifica completa apertura delle valvole di estrazione dei WC;
- Verifica del corretto funzionamento dell'UTA e dei parametri impostati.

Si svolgono le prime letture su tutti i rami principali verticali e sui due rami orizzontali di mandata e ripresa presenti su ogni piano. Le misure sono effettuate con l'anemometro a ventolina Ø16 mm all'interno dei canali, in particolare in corrispondenza di un tratto rettilineo a valle delle serrande di taratura, prima di qualsiasi diffusore di mandata e di ripresa, lontano da pezzi speciali e riduzioni di sezione. I valori misurati sono leggermente superiori ai valori di progetto, essendo l'UTA impostata a valori di portata superiori. In Figura 45 è riportato uno schema altimetrico della rete servita dall'UTA 2. La nomenclatura riportata nello schema è utilizzata in tutta la trattazione. Per verificare la correttezza dei valori di portata ottenuti si prende come riferimento il range di accuratezza +/- 15% contenuto nella norma UNI EN 12599, analizzata nel paragrafo 3.3.2. Anche se la presente norma è valida in fase di collaudo, si utilizza questo range di portata anche in fase di bilanciamento in modo da ottenere un esito positivo nel successivo collaudo.

Gli schemi dei vari piani di rete aeraulica sottoposta a test e bilanciamento sono riportati nell'Allegato A.

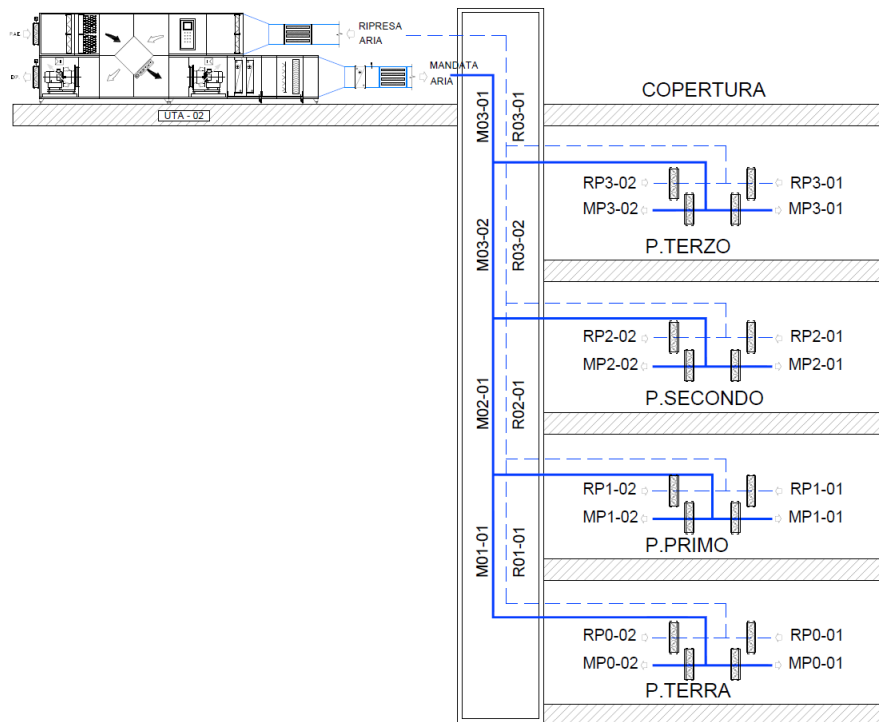


Figura 45 - Schema altimetrico rete aeraulica UTA 2

Le prime misure sono effettuate dopo la messa in funzione l'Unità di Trattamento Aria 2 e senza intervenire sugli organi di regolazione. I valori ottenuti sono riportati in Tabella 19.

MESSA IN FUNZIONE UTA 2 – Portate misurate			
Codice tratto orizzontale	Dimensioni condotto [mm]	Portata di progetto [mc/h]	Portata misurata [mc/h]
MP3-01	300x150	420	934
MP3-02	500x200	1.030	1.957
RP3-01	250x150	330	442
RP3-02	500x200	1.120	1.097
MP2-01	600x200	1.730	1.633
MP2-02	600x200	1.670	1.417
RP2-01	550x200	1.645	1.635
RP2-02	550x200	1.555	1.702
MP1-01	600x200	1.730	1.593
MP1-02	600x200	1.670	1.437
RP1-01	550x200	1.645	1.742
RP1-02	550x200	1.555	1.602
MP0-01	500x250	1.500	1.388
MP0-02	400x200	1.000	845
RP0-01	450x250	1.250	1.083
RP0-02	450x200	1.100	1.379

Tabella 19 - Valori di portata misurati (Messa in funzione)

Dai valori ottenuti si nota che la rete di ripresa presenta il 75% dei valori misurati all'interno del range di validità (+/- 15% del valore di progetto). I rami che non rientrano nel range sono i rami destro e sinistro del piano terzo e del piano primo. La somma delle due portate è coerente con il valore di portata previsto in progetto per i due piani, considerando la maggiorazione di portata dovuta alle perdite. Questo sbilanciamento tra i due rami orizzontali di ripresa dei due piani è dovuto ad una differente lunghezza dei tratti e di portata. Il tratto più lungo, infatti, è caratterizzato da perdite di carico distribuite maggiori. Motivo per cui la portata d'aria tende ad attraversare maggiormente il percorso più corto, caratterizzato da minori cadute di pressione. In una seconda fase, attraverso l'intervento sulla serranda di taratura del ramo più avvantaggiato è possibile correggere questa differenza e rientrare nel range di accettabilità. La rete di ripresa può quindi considerarsi ben progettata e realizzata, essendo che tutti i piani con distribuzione orizzontale simmetrica (piano primo e secondo) rientrano nei range di validità anche senza intervento sulle serrande di taratura.

Queste considerazioni non sono valide per la rete di mandata dove il 50% dei tratti orizzontali non rientra nel range di validità. I tratti orizzontali del piano terzo presentano circa il doppio della portata prevista a progetto mentre tutti i rami orizzontali successivi presentano valori di portata minore. I valori di portata misurati nei tratti orizzontali di tutti i piani (ad eccezione del terzo) sono apparentemente di poco inferiori rispetto a quelli di progetto. Considerando che l'UTA elabora in mandata 500 mc/h in più rispetto al valore di progetto, si può facilmente concludere che la rete correttamente bilanciata dovrebbe presentare dei valori superiori rispetto a quelli previsti in tutti i rami. Questo non accade perché l'aumento di portata impostato è tutto distribuito al terzo piano, sbilanciando il resto della rete. Questi risultati non sono quindi accettabili, poiché non rispettano le aspettative tecniche e i valori di progetto previsti.

Si svolgono quindi delle analisi approfondite per individuare la causa come la verifica il corretto funzionamento delle serrande di taratura, ossia la loro effettiva apertura al 100%, il corretto funzionamento dell'UTA, attraverso un ulteriore misura della portata sul condotto principale di mandata, la corretta installazione e apertura dei terminali di mandata e di ripresa. Si individua il problema sulla realizzazione di una piccola parte del condotto principale, in particolare sul

pezzo speciale di derivazione del terzo piano. Essendo stato realizzato con dimensioni circa il doppio rispetto a quelle di progetto, esso convoglia maggiore portata verso il piano in analisi, riducendo quindi la quantità di aria disponibile per la restante parte di rete. Si provvede quindi alla sostituzione del pezzo, sospendendo la fase di bilanciamento della rete. Occorre specificare che in questa prima fase di test è stato possibile comunque bilanciare la rete, agendo sulle serrande di taratura della rete di mandata del terzo piano in modo significativo e in parte anche degli altri piani. Il risultato però non è stato considerato soddisfacente: la rete, infatti, è stata progettata per essere auto bilanciata nei piani in cui la distribuzione è simmetrica, senza quindi l'intervento un intervento significativo sulle serrande di taratura per ottenere il valore di portata previsto nel ramo. Inoltre, la parziale chiusura delle serrande in molti tratti di mandata con un grado di parzializzazione significativo genera una rumorosità elevata in seguito a cadute di pressione localizzate e turbolenze. Il risultato non è considerato accettabile e si è preferisce effettuare la sostituzione del pezzo di condotto non conforme con quanto riportato negli elaborati grafici di progetto.

In Figura 46 sono riportati i valori percentuali riscontrati nei vari tratti orizzontali di ripresa e di mandata dei vari piani. Si evidenziano in giallo i tratti che non rientrano nel range di accettabilità. Si nota come i tratti di mandata del terzo piano presentano valori percentuali positivi nettamente superiori al valore del 15% del valore di progetto. Tutti gli altri tratti di mandata presentano valori percentuali negativi, nonostante nella rete si presente una portata d'aria maggiore per compensare le perdite di tenuta.

Valori % Portata in tratti principali - Messa in funzione

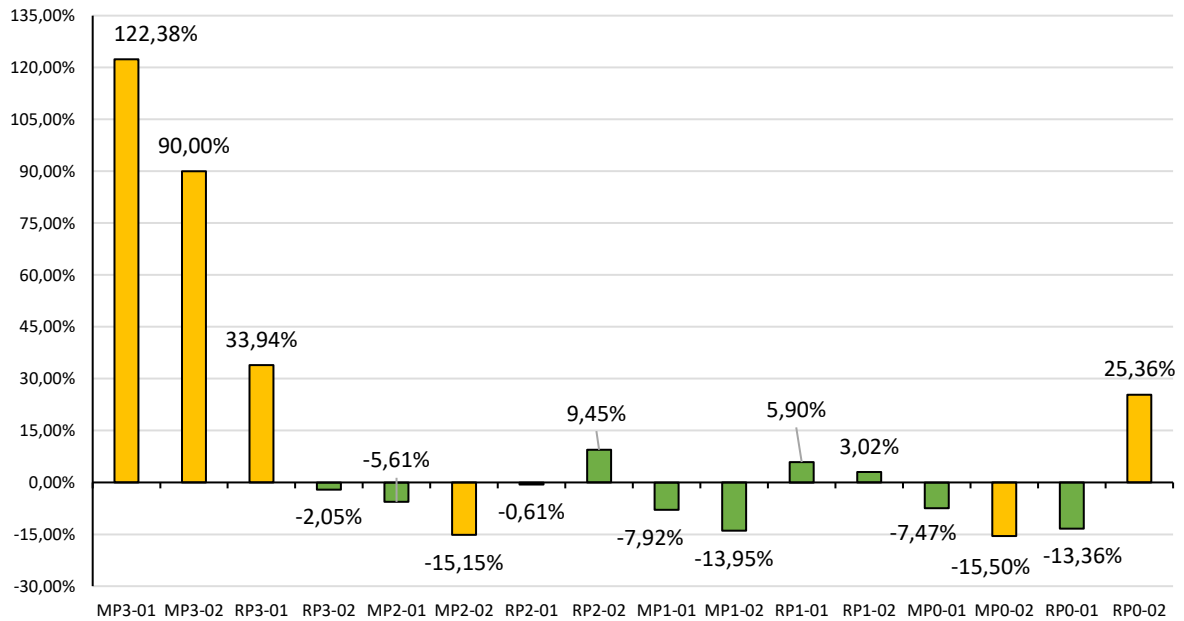


Figura 46 - Range % valori di portata (Messa in funzione)

Dopo la sostituzione del pezzo speciale errato, sono state effettuate nuovamente le misure nei vari tratti. I valori di portata ottenuti sono riportati in Tabella 20. Si può notare che il 75% dei tratti di mandata rientra all'interno del range del +/-15% del valore di progetto. Solo due tratti orizzontali non rispettano il limite, ossia i rami del lato destro del terzo piano e sinistro del piano terra. Come spiegato precedentemente le reti di mandata e di ripresa del blocco B di questi due piani non sono simmetriche. In particolare al terzo piano, il ramo destro è a servizio di pochi ambienti, essendo la posizione di uscita dal cavedio decentrata rispetto alla posizione dei locali del blocco stesso. Nonostante ciò, la somma delle portate al piano è coerente con il valore di progetto ed entro i limiti di accettabilità. Infatti, la portata in aggiunta al tratto di rete di lunghezza minore è sottratta al ramo più lungo dello stesso piano. Discorso analogo per il piano terra, dove il tratto di rete a servizio degli ambulatori (ramo destro) è di lunghezza maggiore. Queste considerazioni sono valide anche per la rete di ripresa. Il secondo e il primo piano, invece, presentano una rete simmetrica, sia in termini di lunghezza e dimensioni dei condotti, sia in termini di pezzi speciali. I due rami risultano automaticamente bilanciati, confermando la bontà e la qualità del progetto e del dimensionamento della stessa rete. È sufficiente quindi intervenire sulle serrande di taratura di mandata e di ripresa del terzo piano

e del piano terra per bilanciare complessivamente la rete. Occorre specificare che la taratura di questi dispositivi influenzerà anche la portata complessiva del secondo e del primo piano.

POST SOSTITUZIONE PEZZO SPECIALE – Portate misurate			
Codice tratto orizzontale	Dimensioni condotto [mm]	Portata di progetto [mc/h]	Portata misurata [mc/h]
MP3-01	300x150	420	660
MP3-02	500x200	1.030	892
RP3-01	250x150	330	465
RP3-02	500x200	1.120	1.083
MP2-01	600x200	1.730	1.765
MP2-02	600x200	1.670	1.783
RP2-01	550x200	1.645	1.647
RP2-02	550x200	1.555	1.695
MP1-01	600x200	1.730	1.868
MP1-02	600x200	1.670	1.682
RP1-01	550x200	1.645	1.724
RP1-02	550x200	1.555	1.620
MP0-01	500x250	1.500	1.337
MP0-02	400x200	1.000	1.313
RP0-01	450x250	1.250	1.098
RP0-02	450x200	1.100	1.363

Tabella 20 - Valori di portata misurati (Post sostituzione pezzo speciale)

In Figura 47 è riportato il trend delle portate percentuali nei vari tratti in esame. È importante sottolineare che i valori percentuali sono relativi al valore di progetto previsto per un certo tratto: i rami 01 e 02 di mandata e di ripresa del terzo piano e del primo piano non devono presentare necessariamente lo stesso valore percentuale in modulo. Una variazione percentuale del +50% su un valore di portata piccolo corrisponde ad una riduzione negativa percentuale di piccola entità se è presente un'elevata portata.

Valori % Portata in tratti principali - Sostituzione pezzo speciale

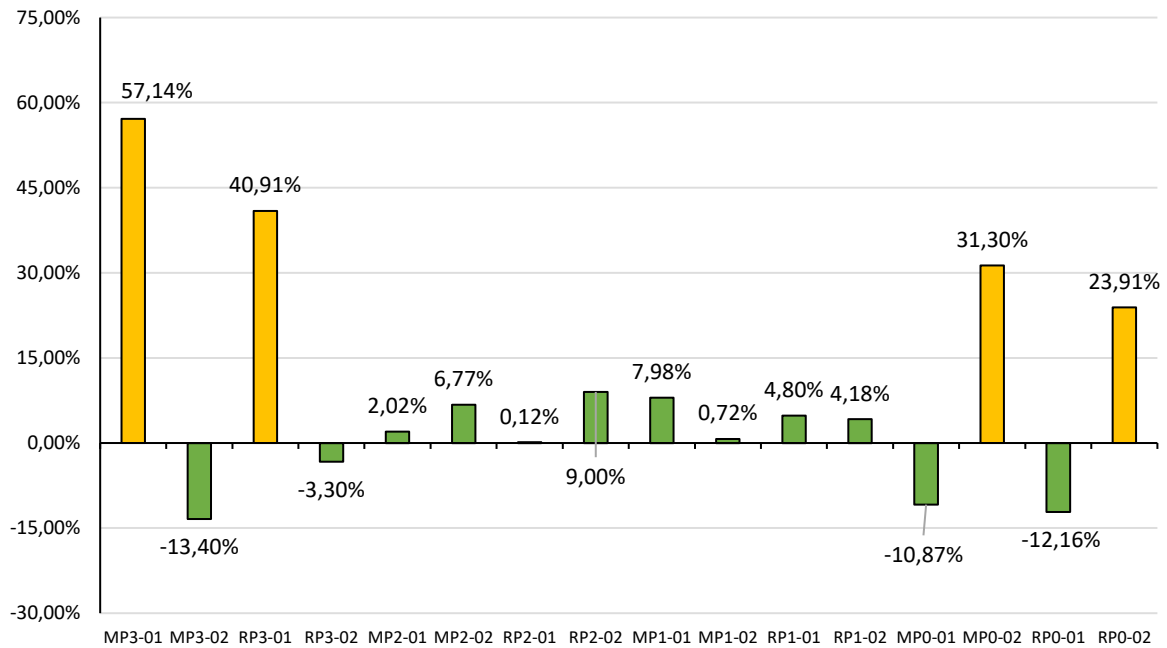


Figura 47 - Range % valori di portata (Sostituzione pezzo speciale)

Si passa quindi alla regolazione delle serrande di taratura di mandata e di ripresa di entrambi i rami del piano terzo e del piano terra. Le serrande di taratura presentano una leva di regolazione che può essere manovrata fino ad una angolazione massima di 90°. Come prima regolazione si chiudono le serrande dei tratti più corti di mandata e di ripresa di circa 10°. Si osservano quindi i valori ottenuti sui vari tratti orizzontali riportati in Tabella 21 e in Figura 48. Si nota che tutti i tratti rientrano nel range di accettabilità del +/- 15% di portata di progetto. La rete risulta quindi completamente bilanciata. Occorre specificare che sul piano primo e secondo non si è intervenuti in modo significativo sulla regolazione delle serrande di taratura presenti sia in ripresa sia in mandata se non con una piccola percentuale di parzializzazione.

PRIMO BILANCIAMENTO – Portate misurate			
Tratto orizzontale	Dimensioni condotto [mm]	Portata di progetto [mc/h]	Portata misurata [mc/h]
MP3-01	300x150	420	453
MP3-02	500x200	1.030	1.089
RP3-01	250x150	330	361
RP3-02	500x200	1.120	1.178
MP2-01	600x200	1.730	1.811
MP2-02	600x200	1.670	1.739
RP2-01	550x200	1.645	1.705
RP2-02	550x200	1.555	1.628
MP1-01	600x200	1.730	1.805
MP1-02	600x200	1.670	1.735
RP1-01	550x200	1.645	1.702
RP1-02	550x200	1.555	1.637
MP0-01	500x250	1.500	1.577
MP0-02	400x200	1.000	1.054
RP0-01	450x250	1.250	1.311
RP0-02	450x200	1.100	1.149

Tabella 21 - Valori di portata misura (primo bilanciamento)

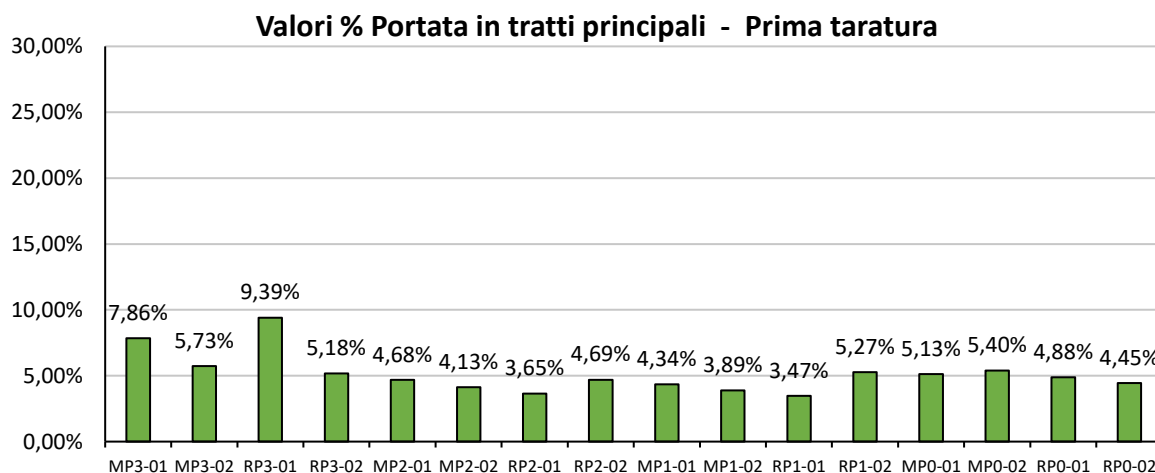


Figura 48 - Range % valori di portata (Prima taratura)

Terminato il bilanciamento dei rami principali di rete si verifica la portata in uscita dai diffusori attraverso l'utilizzo del balometro e dell'anemometro a ventolina con diametro Ø100 mm. L'obiettivo del bilanciamento della rete aeraulica è proprio quello di ottenere nei singoli ambienti la portata di progetto di mandata e di ripresa, per garantire i ricambi orari minimi previsti dalla normativa. Per verificare la portata in uscita dai diffusori si parte dai terminali più

vicini andando verso i terminali più lontani. La prima verifica effettuata prevede la misura della portata dei terminali situati all'inizio della rete e dei terminali più lontani. Si dovrebbe ottenere una portata maggiore per i primi terminali, essendo presenti meno perdite di carico. I terminali ultimi dovrebbero elaborare una portata minore rispetto a quella prevista in progetto. Le misure effettuate su alcuni ambienti campione sono riportate in Tabella 22.

UTA.02 - VALORI DI PORTATA TERMINALI AMBIENTE							
Piano	Riferimento		Ambiente	MANDATA		RIPRESA	
				Portata di progetto [mc/h]	Portata misurata [mc/h]	Portata di progetto [mc/h]	Portata misurata [mc/h]
PIANO TERZO	Ramo dx	72	Filtro	100	132		
		65	Spogliatoio personale	120	114	230	214
		66	WC			100	122
		68	Filtro	100	77		
	Ramo sx	63	WC			90	109
		61	Camera singola	100	119		
		81	WC			90	74
		82	Soggiorno	170	146		
PIANO SECONDO	Ramo dx	98	Filtro	90	114		
		107	WC			90	109
		79	WC			90	69
		80	Camera singola	100	79		
	Ramo sx	102	Camera singola	100	122		
		104	WC			90	101
		77	Soggiorno	400	339	200	181
PIANO PRIMO	Ramo dx	98	Filtro	90	111		
		107	WC			90	107
		79	WC			90	71
		80	Camera singola	100	81		
	Ramo sx	102	Camera singola	100	128		
		104	WC			90	109
		77	Soggiorno	400	319	200	151
PIANO TERRA	Ramo dx	79	Lavanderia	200	236		
		88	Corridoio			150	167
		75	Ingresso ambulatori	200	173		
		77a	Ripostiglio			50	42
	Ramo sx	90	Scale	200	198		
		66b	Servizi igienici			125	134
		62	Sala riunioni	300	273	200	181

Tabella 22-Portata misurata singoli ambienti

In Figura 49 si riporta il grafico contenente la variazione percentuale riscontrata nei vari ambienti iniziali e finali dei due rami di rete del secondo piano.

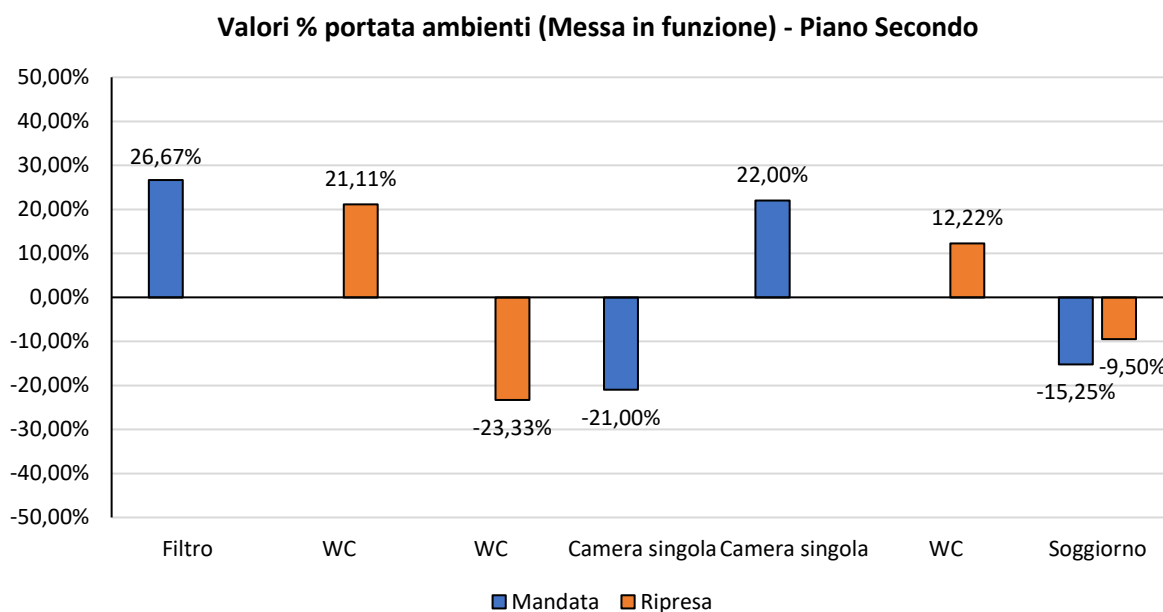


Figura 49 - Variazione percentuale portata singoli ambienti (Piano Secondo)

Le prime quattro colonne del grafico rappresentano gli ambienti del ramo destro, in particolare i diffusori di mandata e ripresa più vicini (prime due colonne) e i terminali più lontani (terza e quarta colonna). Secondo la normativa è accettabile UNI EN 12599 un valore all'interno del range del +/-20% della portata di progetto per i singoli ambienti. Si nota che alcuni ambienti non rientrano nel range indicato. Si evince anche che le portate tra i terminali iniziali e finali di un ramo sono in segno opposto e in modulo circa simile. Infatti, ogni WC presenta in ripresa una portata pari a 90 mc/h, mentre nelle camere singole si immettono 100 mc/h. È sufficiente regolare le alette dei diffusori di mandata e le valvole di estrazione dei WC per ottenere il bilanciamento degli ambienti. In particolar modo è necessario ridurre la sezione di passaggio dei terminali serviti per primi, lasciando più o meno aperte le sezioni degli ultimi terminali.

Dopo aver effettuato la regolazione, si ottengono dei valori di portata dei singoli terminali all'interno del range di accettabilità. Si riporta in Figura 50 gli stessi ambienti del secondo piano analizzati precedentemente. Si nota che la variazione percentuale è accettabile e soprattutto di piccola entità: su un diffusore di mandata che immette 100 mc/h, una variazione del +10%

corrisponde a 10 mc/h. Questa differenza rispetto al valore di progetto si può considerare assolutamente accettabile.

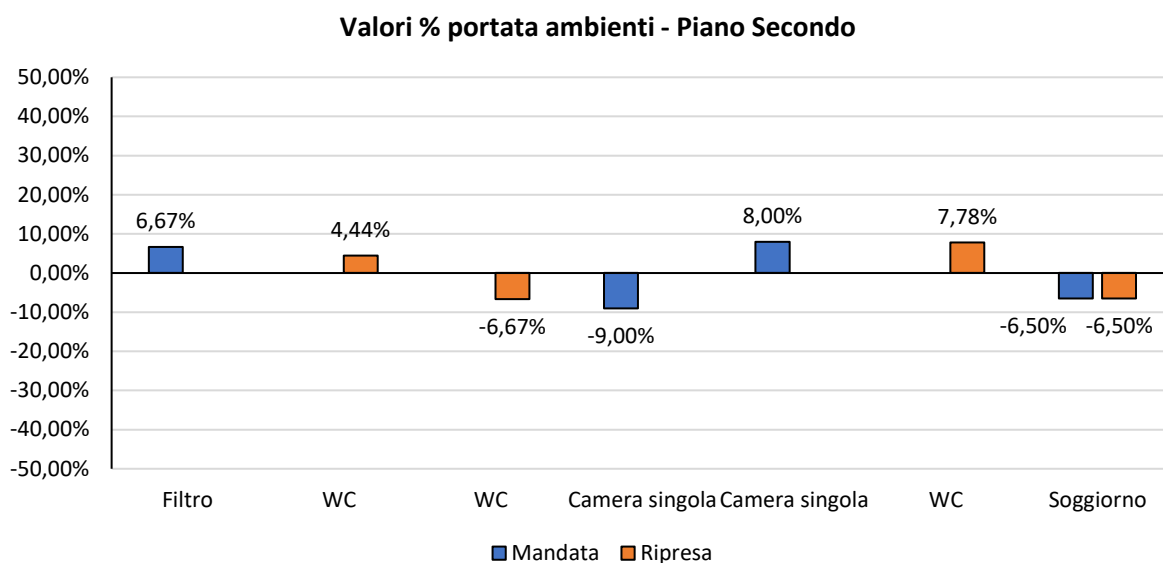


Figura 50 - Variazione percentuale portata singoli ambienti post regolazione (P2)

Per concludere il processo di bilanciamento, dopo aver verificato la portata in tutti gli ambienti dei vari piani del blocco B, è necessario effettuare nuovamente una misura sui vari rami orizzontali, per verificare che i nuovi valori che si ottengono dopo il bilanciamento dei singoli terminali siano accettabili. I risultati finali ottenuti sono riportati in Tabella 23 e riportati in Figura 51. Si può concludere che la rete è completamente bilanciata. I tratti principali di mandata e di ripresa presentano valori di portata maggiori rispetto a quelli di progetto entro i limiti di accettabilità. Questo è dovuto alle inevitabili perdite di portata attraverso i condotti che impongono un aumento del valore di portata sia in mandata sia in ripresa impostato sul quadro a bordo dell'UTA.

La rete ha richiesto l'intervento sulle serrande di taratura solo sui tratti non simmetrici in termini di lunghezza dei rami e presenza di pezzi speciali. Questo è dimostrazione di una buona progettazione e di un'installazione effettuata secondo la regola dell'arte. L'impianto è quindi pronto per essere utilizzato e garantire in ogni ambiente la portata prevista in progetto, ossia il ricambio orario minimo previsto dalla norma UNI 10339.

TERMINE BILANCIAMENTO – Portate misurate			
Tratto orizzontale	Dimensioni condotto [mm]	Portata di progetto [mc/h]	Portata misurata [mc/h]
MP3-01	300x150	420	461,00
MP3-02	500x200	1.030	1.093,00
RP3-01	250x150	330	367,00
RP3-02	500x200	1.120	1.169,00
MP2-01	600x200	1.730	1.823,00
MP2-02	600x200	1.670	1.722,00
RP2-01	550x200	1.645	1.717,00
RP2-02	550x200	1.555	1.619,00
MP1-01	600x200	1.730	1.821,00
MP1-02	600x200	1.670	1.714,00
RP1-01	550x200	1.645	1.726,00
RP1-02	550x200	1.555	1.624,00
MP0-01	500x250	1.500	1.574,00
MP0-02	400x200	1.000	1.059,00
RP0-01	450x250	1.250	1.317,00
RP0-02	450x200	1.100	1.153,00

Tabella 23 - Valori finali misurati nei vari tratti orizzontali di rete

Valori % Portata in condotte principali - Verifica finale

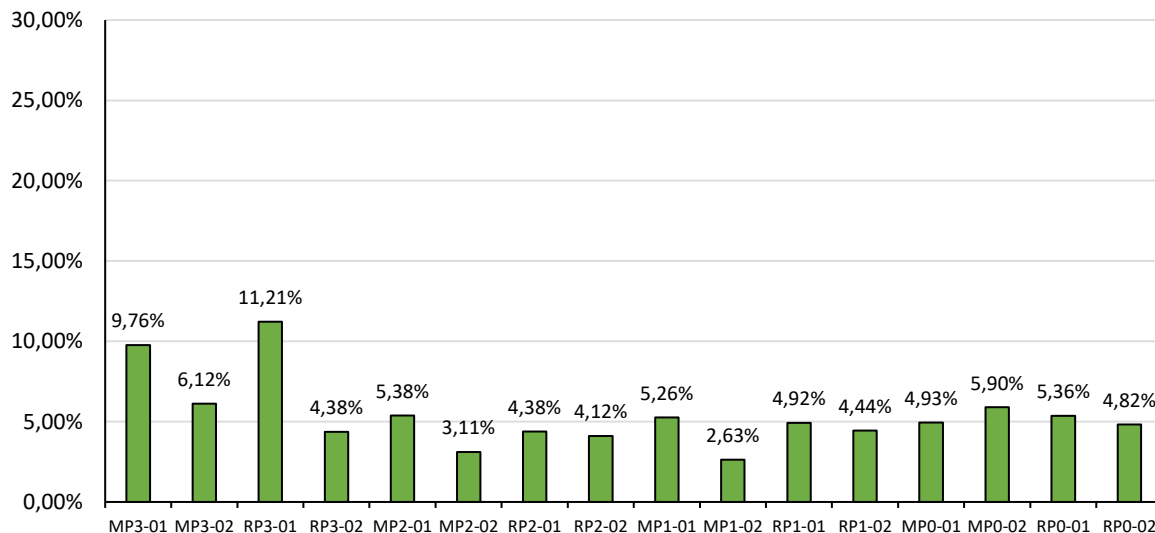


Figura 51 - Range % valori di portata (Valori finali)

4.3.6 Collaudo impianto aeraulico

Terminata la fase di installazione e di test e bilanciamento di tutti i componenti impiantistici a servizio del blocco B, si passa al collaudo dell'intero impianto aeraulico. Il collaudo ha l'obiettivo di accertare il corretto funzionamento di tutti i componenti in un'ottica generale, verificando l'intervento dei singoli componenti al variare delle condizioni al contorno e secondo la logica di progettazione dell'impianto stesso.

Le prove di collaudo sono state effettuate sulle macchine e sui dispositivi utili per il funzionamento degli impianti aeraulici a servizio del blocco B. In particolare il collaudo è stato effettuato a partire dal 10 Giugno 2024. La modalità di collaudo è estiva, impostando quindi l'intera configurazione impiantistica con i valori set point previsti per questa stagione. Per effettuare il collaudo in condizioni estive in Italia Settentrionale occorre che si verifichino le seguenti condizioni climatiche esterne, come riportato nella norma UNI 11196:2006:

$$(T_{bse}^* - 5) < T_{bse} < (T_{bse}^* + 1)$$

$$(x^* - 5) < x < x^*$$

I simboli adottati nella norma fanno riferimento alla temperatura bulbo asciutto aria esterna nelle condizioni di progetto in °C (T_{bse}^*) e all'umidità assoluta dell'aria esterna nelle condizioni di progetto in g/kg (x^*). Le condizioni di progetto esterne sono contenute nella norma UNI 10339. Per la località in esame, Vercelli, sono:

$$T_{bse}^* = 32,0 \text{ °C}$$

$$x^* = 16,4 \text{ g/kg}$$

Il collaudo è stato effettuato con un valore di temperatura esterna massima di 29°C e umidità assoluta pari a 15,7 g/kg. Le condizioni esterne rientrano quindi nei limiti di accettabilità per poter effettuare il collaudo.

La prima fase del collaudo prevede la verifica della documentazione contrattuale e tecnica da parte del collaudatore. Si è svolta una riunione in loco con i progettisti, i referenti dell'impresa installatrice e i tecnici responsabili della taratura degli impianti per analizzare le procedure effettuate e consultare tutta la documentazione tecnica redatta in fase di realizzazione degli impianti e di avviamento. In particolare sono stati consultati dal collaudatore i progetti as built

degli impianti della rete aeraulica e dello schema funzionale di impianto. Inoltre si è presa visione dei dati ottenuti durante la prova di tenuta delle reti e dei verbali di avviamento e collaudo dei singoli componenti di impianto (Chiller, UTA, generatore di calore modulare).

Terminata la fase preliminare di consultazione della documentazione tecnica finale approvata dalla direzione dei Lavori, inizia la fase di controlli effettuata sul campo. Le procedure e le verifiche effettuate in questa fase sono contenute all'interno della norma UNI EN 12599. I primi controlli sono i "controlli funzionali", per verificare la corretta progettazione e installazione dei vari componenti impiantistici. Si adotta la classe di collaudo A, non essendo stato precisato nulla in fase contrattuale con il collaudatore. La classe adottata è valida anche per le misure funzionali. Non è necessario individuare il numero n di luoghi simili e il conseguente numero di misurazioni da effettuare, essendo tutti gli ambienti del Blocco B serviti da un'unica UTA e un'unica rete aeraulica.

I controlli funzionali sono stati eseguiti iniziando dall'analisi dei singoli componenti, proseguendo con i vari sottosistemi fino ad arrivare all'intero impianto nella sua completezza.

Sono stati eseguiti i seguenti controlli funzionali:

- Verifica generale della centrale termica, dei gruppi frigo e delle UTA;
- Verifica della corrispondenza tra la rete aeraulica installata e il progetto as-built;
- Verifica della corretta installazione delle serrande di taratura e tagliafuoco;
- Verifica corretta installazione terminali di mandata e ripresa per campione;
- Controllo per campione del funzionamento delle regolazioni automatiche in differenti condizioni di esercizio.

Tutti i controlli sono stati effettuati osservando le reali risposte fisiche da parte dei componenti del sistema. Come previsto dalla norma, non è stato fatto affidamento su indicatori indiretti come l'utilizzo dei dati real time forniti dal sistema di supervisione. Le regolazioni automatiche sono state verificate intervenendo su alcuni componenti per modificare il modo significativo le condizioni dell'impianto, constatando l'intervento e il funzionamento dei vari attuatori.

Terminata la prima fase di controlli funzionali si effettuano le misure funzionali per avere la garanzia che il sistema raggiunge le condizioni di progetto con le tarature definite nelle fasi precedenti. Essendo un impianto di condizionamento dell'aria parziale, ossia un impianto misto, è obbligatorio effettuare le seguenti misure, come riportato nel "prospetto I" della norma UNI EN 12599:

- Corrente assorbita dai motori ventilatori;
- Portata d'aria esterna, di mandata, ripresa ed espulsa;
- Temperatura dell'aria esterna, di mandata, ripresa ed espulsa;
- Perdita di pressione sui filtri;
- Temperatura dell'aria ambiente in relazione al sistema di regolazione.

Gli strumenti utilizzati per effettuare le misure funzionali sono:

Misura funzionale	Tipo strumento	Marca e modello
Corrente assorbita dai motori	Amperometro	Fluke 337 FC
Portate aria	Strumento multifunzione Anemometro a ventolina	Testo 400 Sonda a elica Ø16 mm digitale
Perdita di pressione sui filtri	Strumento multifunzione con sensore interno piezoresistivo	Testo 400
Temperatura dell'aria	Strumento multifunzione Anemometro a filo caldo	Testo 400 Sonda a filo caldo digitale

Tabella 24 - Strumenti utilizzati per le misure funzionali

Le portate d'aria richieste sono state misurate all'interno dei rispettivi canali. Si è posizionato l'anemometro a ventolina in sezioni rettilinee di canale e lontano da ostacoli e pezzi speciali, ossia in punti in cui il flusso d'aria è più uniforme possibile. All'interno della stessa sezione sono state effettuate diverse misurazioni in differenti punti del canale. Il Datalogger utilizzato consente di inserire il numero di punti di misura e la posizione all'interno del condotto: lo stesso strumento suggerisce la posizione dello strumento nella stessa sezione per la successiva misura, determinando automaticamente il valore medio di portata nel tratto in esame. Negli stessi punti di misura della portata si misura anche il valore di temperatura e umidità dell'aria,

utilizzando sempre lo strumento multifunzione Testo 400 e l'anemometro a filo caldo. I valori ottenuti sono riportati in Tabella 25.

Tipo di condotto	Portata aria media misurata [mc/h]	Temperatura aria [°C]	Umidità aria [%]
Presa aria esterna	11.392	26,8	66,18
Mandata	11.347	18,0	39,14
Ripresa	10.648	25,7	44,19
Espulsione	10.656	23,1	51,11

Tabella 25 - Valori di portata (Misure funzionali)

I valori ottenuti sono coerenti con i valori di set point impostati sulla UTA e i valori di progetto. La portata di mandata e di ripresa sono state imposte rispettivamente a 11.300 mc/h e 10.600 mc/h. Le temperature dell'aria sono coerenti il funzionamento della macchina nelle condizioni al contorno presenti in fase di test: la temperatura di mandata è esattamente pari al valore di set point impostato per la batteria di post riscaldamento in regime estivo. La temperatura di espulsione è inferiore alla temperatura ambiente e alla temperatura esterna, dimostrazione del fatto che è il flusso d'aria di ripresa, essendo a temperatura minore dell'aria esterna, attraversa e non bypassa il recuperatore a flussi incrociati.

Successivamente si misura il valore di corrente assorbita dai motori ventilatori e la caduta di pressione presente tra monte e valle dei filtri. Sono presenti due filtri in mandata, classe G4 ed F7, e un filtro in ripresa di classe G4. I valori rilevati sono riportati in Tabella 26.

Tratto	Corrente assorbita dal ventilatore (Valori misurati) [A]	Corrente assorbita dal ventilatore (Valori di progetto) [A]	Caduta di pressione sui filtri (Valori misurati) [Pa]	Caduta di pressione sui filtri (Valori di progetto) [Pa]
Mandata	F1: 6,62 F2: 6,58 F3: 6,59	F1: 6,60 F2: 6,60 F3: 6,60	Filtro G4: 71 Pa Filtro F7: 82 Pa	Filtro G4: 94 Pa Filtro F7: 107 Pa (Media pulizia)
Ripresa	F1: 4,41 F2: 4,45 F3: 4,43	F1: 4,40 F2: 4,40 F3: 4,40	Filtro G4: 79 Pa	Filtro G4: 91 Pa (Media pulizia)

Tabella 26 - Corrente assorbita dai ventilatori e dp sui filtri (Misure funzionali)

I valori collezionati sono accettabili e dimostrano il corretto funzionamento dei motori ventilatori e del sistema di filtrazione.

Per terminare la fase di collaudo si effettua la misura della temperatura dell'aria in alcuni ambienti. In questa fase occorre aver cura di ridurre l'effetto dell'irraggiamento termico e l'inerzia dello strumento di misura utilizzato. Per una prima stima della temperatura dell'aria ambiente si utilizza una sonda di temperatura a filo caldo. Misure più precise della temperatura, tenendo conto dell'effetto dell'irraggiamento e della temperatura dell'involucro, saranno effettuate successivamente con l'analisi del comfort ambientale. La misura della temperatura ambiente è effettuata in prossimità delle sonde di temperature ambiente installate nelle varie stanze, utili per la regolazione della temperatura dei singoli ambienti. Si effettua la misura a campione su alcuni ambienti del blocco in esame. I valori di temperatura riscontrati sono riportati in Tabella 27.

Ambiente	Temperatura [°C]
70-Piano Terra	25.9
92-Piano Primo	26.1
83-Piano Secondo	25.7
57-Piano Terzo	25.9

Tabella 27 - Temperatura ambiente (Misure funzionali)

Occorre precisare che l'aria gestita dall'impianto aerulico ha il solo compito di effettuare il ricambio igienico, il trattamento igrometrico dell'aria ambiente e una minima compensazione dei carichi termici ambiente. L'aria è quindi immessa ad una temperatura di 18°C. La temperatura ambiente è poi mantenuta al valore di set point di 26° dai terminali ambiente idronici, compensando i carichi termici se necessario.

Per terminare la fase di collaudo si effettuano delle misure a campione di portata d'aria immessa ed estratta dai vari ambienti del blocco B. Queste misure non sono prescritte dalla normativa di riferimento per la tipologia di impianto a parziale climatizzazione dell'aria, ma è effettuata in quanto richiesta nel contratto di collaudo. L'obiettivo è quello di verificare il raggiungimento delle portate di progetto previste nei vari ambienti per garantire il numero di ricambi d'aria di rinnovo previsti. I valori ottenuti sono riportati in Tabella 28.

Piano	Ambiente	Tipo di terminale	Portata di progetto [mc/h]	Portata misurata [mc/h]
Terra	70	Mandata	120	124
Terra	72	Mandata	120	113
Terra	77b	Ripresa	150	146
Primo	105	Mandata	100	107
Primo	93	Ripresa	250	239
Primo	101	Ripresa	90	95
Primo	61	Mandata	175	167
Secondo	96	Ripresa	115	123
Secondo	98	Mandata	90	97
Secondo	83	Mandata	120	113
Secondo	101	Ripresa	90	92
Terzo	54	Mandata	120	114
Terzo	53	Ripresa	125	119
Terzo	66	Ripresa	100	107
Terzo	76	Mandata	100	94

Tabella 28 - Portata ambienti (Misure funzionali)

Si può concludere che il collaudo nel suo complesso ha avuto esito positivo. Non sono state riscontrate anomalie dell'impianto nel suo complesso né sui singoli componenti. Non è necessario effettuare nessuna segnalazione in merito all'installazione. Si accerta la corretta messa in funzione e taratura degli impianti e l'effettivo raggiungimento dei valori previsti nel progetto. L'impianto può quindi essere messo in esercizio senza alcuna prescrizione.

4.3.7 Misura del comfort ambientale

Terminata la fase di collaudo si effettuano delle misure nei vari ambienti dello stesso blocco B per individuare il livello di comfort ambientale. Queste misure non sono obbligatorie e non rientrano nella fase di collaudo. Sono delle valutazioni extra svolte per determinare il grado di benessere ambientale ed individuare eventuali azioni che possono essere intraprese per migliorare la condizione degli ospiti della Residenza Sanitaria Assistenziale.

La qualità dell'ambiente interno (IEQ) è influenzata da un insieme di parametri fisico-ambientali come la temperatura, l'umidità relativa, l'acustica, la qualità dell'aria, dell'illuminazione e della

ventilazione. Essi sono tutti interconnessi e la sensazione di comfort è la sommatoria delle risposte fornite dalla mente ai sensi di questi fattori.

Il comfort termoigrometrico è parte integrante del comfort ambientale. La misura del comfort termico ha l'obiettivo di individuare quale sarebbe la percezione degli esseri umani nei confronti dell'ambiente in esame. Per fare ciò occorre legare stimoli oggettivi esterni, regolati da leggi fisiche note e codificate, ma anche risposte soggettive agli stessi stimoli, filtrate dalla percezione dei singoli individui. Pertanto non è possibile utilizzare dei principi deterministici ed è necessario utilizzare dei metodi statistici. Il metodo più utilizzato per il calcolo del comfort termoigrometrico è la teoria di Fanger, alla base della norma UNI EN ISO 7730 [3]. Secondo la teoria di Fanger si raggiunge il comfort termico quando l'accumulo termico del corpo umano è nullo e l'organismo lascia quasi inattivi i meccanismi di termoregolazione comportamentale e di termoregolazione vasomotoria. È influenzato quindi da fattori ambientali microclimatici e da fattori soggettivi come il vestiario e l'attività fisica. Per mettere insieme le variabili soggettive con le variabili ambientali e fisiologiche si introduce un indice razionale, basato sulla soluzione dell'equazione di bilancio energetico del corpo umano. Questo indice, che correla la sensazione termica ad un voto relativo alla percezione dell'ambiente, è detto PMV, ossia *Predicted Mean Vote* o Voto Medio Previsto. Il PMV è basato su una scala semantica di sette valori, riportata in Tabella 29.

-3	Molto Freddo	
-2	Freddo	Non soddisfazione (Troppo freddo)
-1	Leggermente Freddo	
0	Neutro	Soddisfazione
+1	Leggermente Caldo	
+2	Caldo	Non soddisfazione (Troppo caldo)
+3	Molto Caldo	

Tabella 29 - Indici PMV

L'equazione empirica che determina il valore di PMV è la seguente:

$$PMV = (0,303 e^{-0,036 M} + 0,028) L$$

con L definito come “Carico Termico sul sistema di termoregolazione”, ossia la differenza tra la potenza termica effettivamente generata all'interno del corpo umano e l'energia termica che l'individuo disperderebbe in condizioni di benessere termico, ed M è la potenza metabolica espressa in [W/m²]. I parametri contenuti all'interno del Carico termico e della potenza metabolica sono:

- Temperatura rilevata all'interno dell'ambiente (°C);
- Umidità relativa rilevata all'interno dell'ambiente (%);
- Velocità dell'aria all'interno dell'ambiente (m/s);
- Temperatura media radiante (°C);
- Isolamento termico del vestiario (clo);
- Livello di attività metabolica (met).

La scala del PMV evidenzia quindi ambienti troppo freddi in caso di indice negativo, ambienti neutri termicamente con indice nullo, ambienti troppo caldi per valori positivi. Inoltre, un indice pari a ± 2 o ± 3 rivela la completa insoddisfazione degli occupanti nei confronti delle condizioni termoigrometriche dell'ambiente.

Essendo il PMV un valore medio con elevata dispersione dei dati intorno ad esso, si utilizza un altro parametro che tiene conto di ciò: il PPD (*Predicted Percentage of Dissatisfied* o Percentuale Prevista di Insoddisfatti). Occorre precisare che anche con un voto di PMV pari a zero, a causa della dispersione dei dati, ci sarebbe statisticamente un 5% del campione votante che rientra nel range di insoddisfazione, ossia persone che hanno votato ± 2 o ± 3 .

Il legame tra PMV e PPD è espresso dalla seguente relazione, riportata graficamente in Figura 52.

$$PPD = 100 - 95 \cdot e^{-(0,03353 PMV^4 + 0,2179 PMV^2)}$$

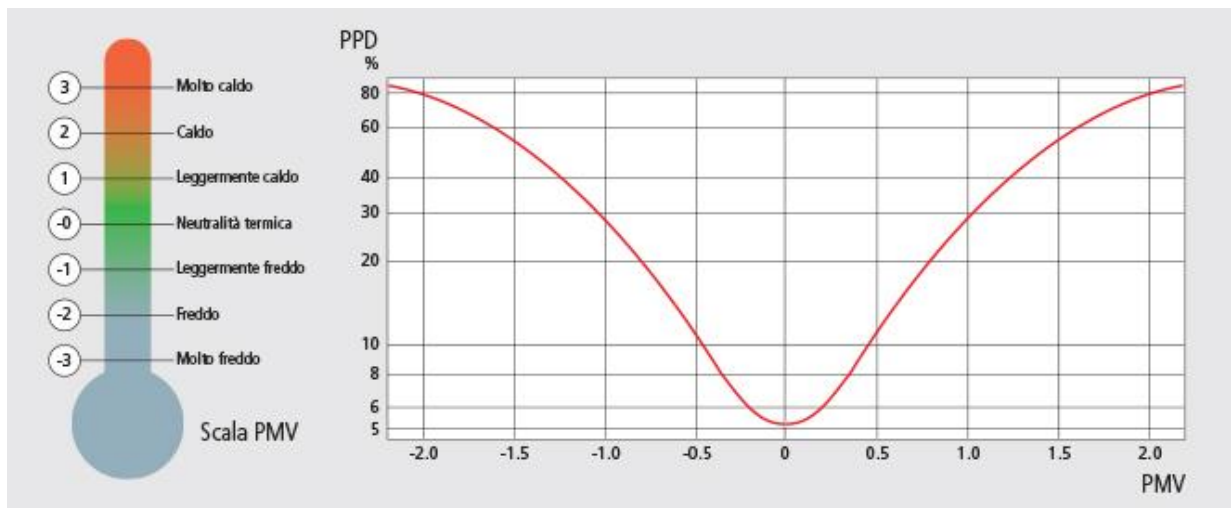


Figura 52 - Relazione tra PMV e PPD

La norma UNI EN ISO 7730 stabilisce tre categorie di comfort in base ai valori di PPD e PMV misurati in ambiente:

Categoria	PPD %	PMV
A	< 6%	-0,2 < PMV < +0,2
B	< 10%	-0,5 < PMV < + 0,5
C	< 15 %	- 0,7 < PMV < + 0,7

Tabella 30 - Categorie di comfort [18]

È necessario specificare che la teoria di Fanger può essere applicata solo in ambienti termicamente moderati, come gli ambienti oggetto del caso studio e tutti gli ambienti residenziali e del terziario.

Per misurare i vari parametri ambientali richiesti per determinare i due indici di comfort si utilizzano diversi strumenti:

- Testo 400, strumento universale per la misura velocità dell'aria, temperatura, umidità, pressione, illuminamento, calore radiante, grado di turbolenza, CO₂ e CO;
- Sonda di turbolenza, per determinare la velocità dell'aria ambiente;
- Sonda CO₂ digitale con sensore termoigrometrico;
- Sonda globometrica Ø150 mm, per determinare la temperatura media radiante;
- Sonda luxmetrica digitale, per misurare l'illuminamento.

In Figura 53 è riportata tutta la strumentazione utilizzata nell’RSA Cervetto per la misura del comfort ambientale. Gli strumenti sono installati su un cavalletto di supporto dotato di diversi livelli. Si effettua la misura all’altezza di 1 mt dal pavimento per valutare il comfort percepito dagli occupanti seduti.



Figura 53 - Strumenti utilizzati per la misura del comfort ambientale

Per effettuare il calcolo del comfort ambientale è di fondamentale importanza calcolare la temperatura media radiante, utilizzata dal software per risolvere l’equazione che determina il calcolo del PMV. La temperatura media radiante è definita come la temperatura uniforme della parete di un ambiente fittizio, nero, in cui il soggetto scambierebbe per irraggiamento la stessa potenza termica R che scambia effettivamente nel locale reale. Il valore di questo parametro varia a seconda della posizione all’interno della stanza, sia in termini di distanza dalle pareti e dalle superfici vetrate, sia in termini di altezza. La temperatura media radiante è quindi necessaria per il calcolo della potenza scambiata dall’individuo per irraggiamento nell’ambiente, parametro presente all’interno dell’equazione di bilancio del corpo umano. Lo strumento utilizzato Testo 400 calcola la temperatura media radiante nota la temperatura rilevata dalla sonda globometrica, la temperatura ambiente e la velocità dell’aria.

La formula adottata dal software si basa su una convenzione internazionale valida per una sfera di 150 mm di diametro, come specificato dalla norma UNI EN ISO 7726 [19]

$$T_{mr} = [(T_g + 273)^4 + 2,5 \cdot 10^8 \cdot v_a^{0,6} \cdot (T_g - T_a)]^{0,25} - 273$$

dove T_{mr} è la temperatura media radiante [°C], T_g è la temperatura della sonda globometrica [°C], T_a è la temperatura ambiente [°C] e V_a è la velocità ambiente [m/s].

Come specificato dal produttore della strumentazione, la temperatura ambiente utilizzata è quella misurata dalla sonda termoigrometrica. Non si utilizza la temperatura della sonda “grado di turbolenza” perché, a causa del calore prodotto dal filo caldo, si misura una temperatura leggermente superiore.

La misura del comfort ambientale è stata effettuata in diversi ambienti. Sono state effettuate delle misurazioni della durata di 30 minuti con un ciclo di misura di 10 secondi. In Tabella 31 si riportano i risultati ottenuti. Tutte le misure sono state effettuate impostando un valore di isolamento dell’abbigliamento pari ad 1 clo, valore adatto ad un abbigliamento medio europeo di media stagione, e un valore di metabolismo energetico pari a 52 W/m² (0,9 met) corrispondente all’attività di una persona seduta e rilassata.

Ambiente	Temperatura ambiente [°C]	Umidità relativa [%]	Velocità dell’aria [m/s]	Pressione [bar]	CO ₂ [ppm]	Illuminamento [lux]	PMV	PPD [%]
Sala comune (Piano Terzo)	24,4	44,9	0,08	0,9876	421	415,5	-0,4	8,3
Sala comune (Piano Secondo)	23,3	38,7	0,06	0,9886	426	541,6	-0,5	10,2
Stanza 113 (Piano Primo)	24,9	45,9	0,10	0,9879	454	474,5	-0,4	8,9

Tabella 31 - Misure comfort ambientale

Dai dati collezionati si può affermare che il comfort in ambiente è accettabile. Tutti gli ambienti sottoposti a misura rientrano nella classe B di comfort. In particolare tutti gli ambienti presentano un indice PMV negativo indicando una percezione di freddo. Occorre specificare nel giorno in cui si sono effettuate le misure del comfort la temperatura esterna è di 28°C con un cielo prevalentemente nuvoloso. L’impianto è impostato con una temperatura di mandata

di 18°C sull'aria e di 26°C sui terminali idronici in modalità estiva. Il sistema radiante, essendo un impianto a due tubi, può intervenire regolando la temperatura ambiente verso solo il basso in modalità estiva qualora questa superasse il valore di set point. Con queste condizioni al contorno il sistema radiante è quindi spento ed è possibile agire solo sull'UTA, impostando una temperatura di mandata leggermente superiore, riducendo quindi la percentuale di insoddisfatti. Per scelte di gestione interne alla struttura si preferisce non aumentare il valore di set point a valle della batteria di postriscaldamento. Questo comporterebbe un aumento dei consumi energetici e conseguentemente dei costi.

I valori ottenuti sono comunque soddisfacenti ed accettabili, dimostrando la bontà della progettazione impiantistica e la capacità dell'impianto di garantire un buon comfort termoigrometrico per gli ospiti della struttura.

4.3.8 Verifica delle prestazioni dell'impianto

Terminata la fase di test, bilanciamento e collaudo dei vari componenti di impianto si procede con la messa in esercizio degli impianti. Nel primo periodo di funzionamento a regime degli impianti è consigliato monitorare le prestazioni dei vari componenti, verificando la coerenza dei parametri rilevati con le quanto previsto in progetto. In questa fase il sistema di supervisione è un supporto importante in quanto consente di visualizzare lo stato di funzionamento dei vari componenti e i trend di esercizio in tempo reale e da remoto.

La Residenza Sanitaria oggetto del caso studio presenta un sistema di supervisione "*Sauter*" che consente di visualizzare i seguenti sottosistemi:

- Temperatura, umidità, stato del circuito idronico, set point effettivo dei singoli ambienti;
- Stato di accensione/spegnimento, apertura/chiusura valvole, temperatura di mandata e di ritorno del circuito principale e di desurriscaldamento delle pompe di calore;
- ON/OFF, stato di apertura/chiusura valvole, temperatura di mandata e di ritorno del generatore modulare;
- Stato di apertura/chiusura valvole di bypass dei due scambiatori (SCH01 e SCH02);

- ON/OFF, temperatura di mandata e di ritorno, grado di apertura della valvola di miscelazione dei vari circuiti secondari.
- ON/OFF, Caduta di pressione sui ventilatori di mandata e ripresa, portata di mandata e di ripresa, temperatura di presa aria esterna, espulsione, mandata e ripresa, temperatura a valle delle batterie ad espansione e della batteria di post riscaldamento, grado apertura valvole di miscelazione e grado di bypass sul recuperatore delle tre UTA.

Per tutti parametri di temperatura elencati è possibile modificare il valore e verificare il trend storico, esportando i dati dal sistema per eventuali relazioni tecniche.

Si analizza ora il funzionamento dell'UTA 2 oggetto delle procedure di TAB e collaudo aeraulico. In Figura 54 è riportato lo stato dell'Unità di Trattamento Aria in esame nel giorno 22 Giugno 2024 alle ore 19:00.

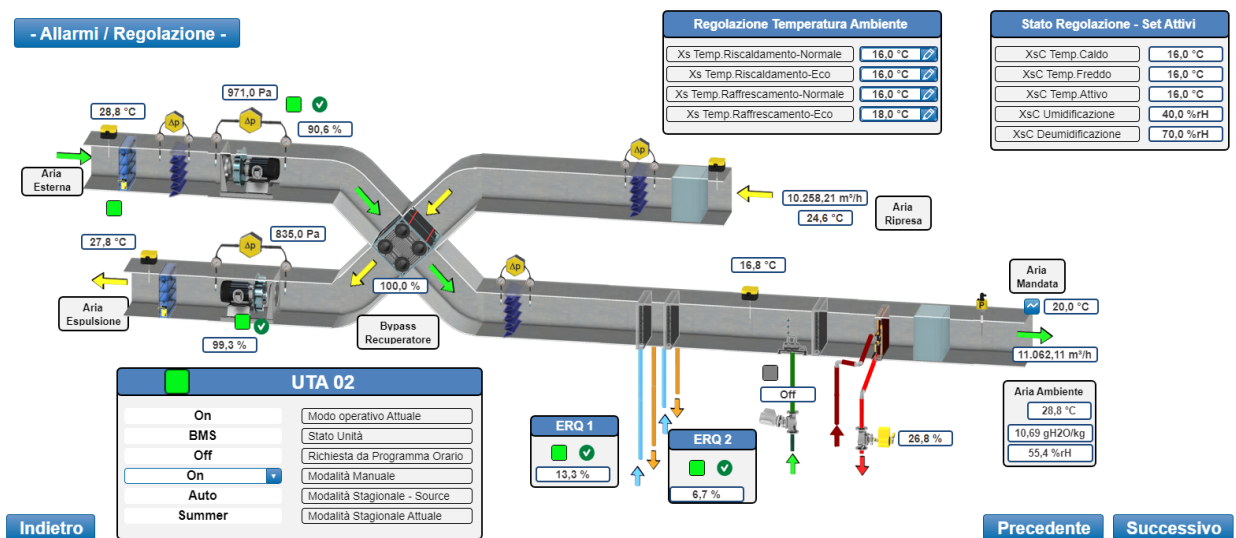


Figura 54 - UTA 2 (Sistema supervisione)

In Tabella 32 si riportano i valori di set point impostati e i valori letti dal sistema di supervisione. Analizzando i dati si nota che l'UTA è in funzione, garantendo tutti i set point impostati e rispettando la logica generale di funzionamento. L'aria esterna è alla temperatura di 28,4 °C. L'aria ripresa dall'ambiente è ad una temperatura di 24,6 °C ed attraversa il recuperatore a flussi incrociati al 100%, evitando il percorso di bypass. In questo modo l'aria esterna in ingresso alle batterie di raffreddamento e deumidificazione ha una temperatura minore, mentre

l'aria in espulsione aumenta la sua temperatura da 24,6 °C a 27,8 °C. La portata d'aria di rinnovo attraversa quindi le due batterie ad espansione diretta. Essendo il recupero ottimale, è sufficiente alimentare le due batterie al 13,3% e al 6,7%, riuscendo a garantire a valle un valore di temperatura di 16,8 °C di poco superiore al valore di set point impostato (16 °C). Negli istanti successivi alla registrazione dei valori riportati in Tabella 32 si è notato un aumento della percentuale di apertura delle valvole, per garantire un maggior passaggio di fluido frigorifero all'interno delle batterie e ottenere il valore di set point fissato. Successivamente la portata d'aria attraversa la sezione di umidificazione, non subendo alcun processo essendo in modalità estiva, per poi giungere alla batteria di postriscaldamento installata a canale. Il valore di set point di temperatura di mandata prevista in progetto e utilizzato in collaudo è di 18°C con una temperatura esterna di progetto estiva pari a 32 °C. Essendo presente una temperatura esterna di 28 °C si preferisce impostare una temperatura di set point di due gradi maggiore rispetto alla temperatura di progetto. In piena stagione estiva si utilizzerà il valore di set point di 18°C. L'apertura della valvola che alimenta la batteria di postriscaldamento è pari al 26,8 %.

	Valore set point	Valore reale
Temperatura esterna [°C]	-	28,8
Temperatura espulsione [°C]	-	27,8
Portata aria ripresa [mc/h]	10.600	10.258
Temperatura ripresa [°C]	-	24,6
Recuperatore di calore [%]	-	100
Apertura valvola batteria espansione 1 [%]	-	13,3
Apertura valvola batteria espansione 2 [%]	-	6,7
Temperatura valle batteria di raffreddamento e deumidificazione [°C]	16,0	16,8
Apertura valvola batteria postriscaldamento [°C]	-	26,8
Portata aria mandata [mc/h]	11.300	11.062
Temperatura di mandata [°C]	20,0	20,0

Tabella 32 – Confronto valori set point – sistema supervisione

Si può concludere che tutti i parametri riscontrati sui vari componenti sono corretti e coerenti con questo impostato. Si verifica ora il corretto funzionamento del circuito di alimentazione delle batterie di post riscaldamento. I dati forniti dal sistema di supervisione sono riportati in Figura 55 (22 Giugno 2024 ore 19:00).

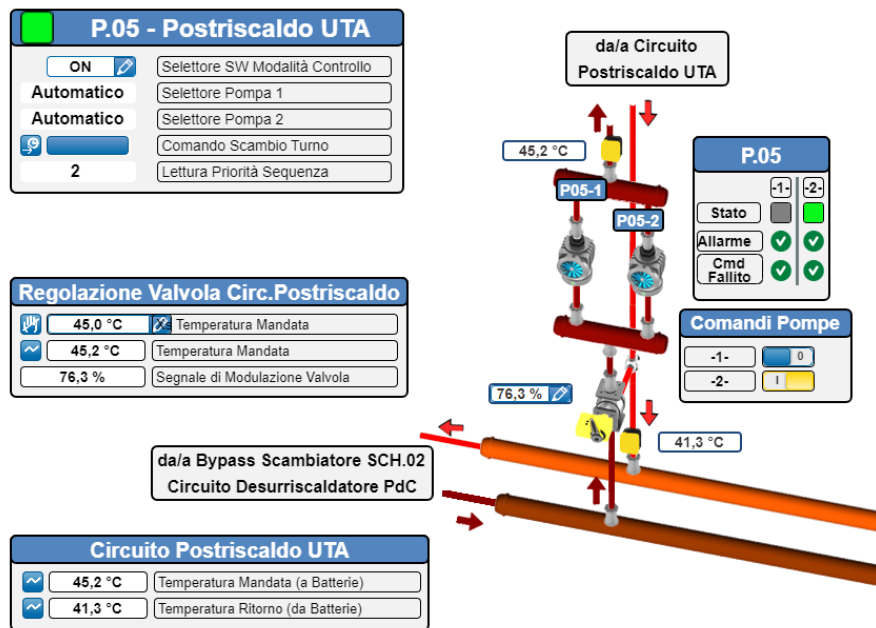


Figura 55 - Circuito Postriscaldamento UTA (Sistema Supervisione)

La temperatura di mandata è circa pari al valore di set point impostato. La temperatura di ritorno è di 41,3 °C, valore coerente con il funzionamento delle batterie di postriscaldamento delle tre UTA. La valvola a tre vie di miscelazione presenta una apertura del 76,3%, miscelando la portata di ritorno con la portata proveniente dai sistemi di generazione (Generatori modulari/Circuito desurriscaldamento pompe di calore). Nel momento dell'analisi il circuito è alimentato dal circuito secondario dello scambiatore di calore a piastre SCH02. I gruppi frigo sono accesi per alimentare alcuni ambienti ma il calore recuperato non è sufficiente per alimentare le batterie idroniche delle tre UTA. Si utilizza quindi il generatore di calore modulare per effettuare l'integrazione attraverso lo scambiatore dedicato,

Analizzando il circuito dei pannelli radianti (Figura 56) si nota che a temperatura di mandata è pari a 19,2 °C, superiore alla temperatura di rugiada calcolata dal sistema in base alle condizioni climatiche esterne (18,8 °C). Quest'ultima rappresenta la temperatura minima di mandata ai pannelli radianti. Il grado di apertura della valvola a tre vie di miscelazione consente la miscelazione con parte della portata di ritorno dai terminali. Delle due pompe è in funzione sono la pompa 2, essendo una delle due di riserva.

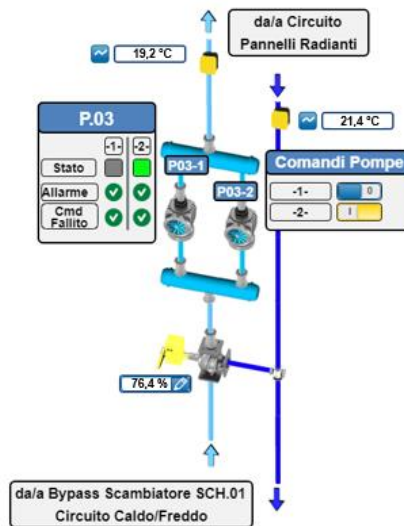


Figura 56 - Circuito Pannelli radianti (Sistema Supervisione)

Si analizzano infine i valori in tempo reale rilevati all'interno degli ambienti. In Figura 57 si riportano alcuni ambienti del blocco B piano terzo, serviti dalla UTA 2.

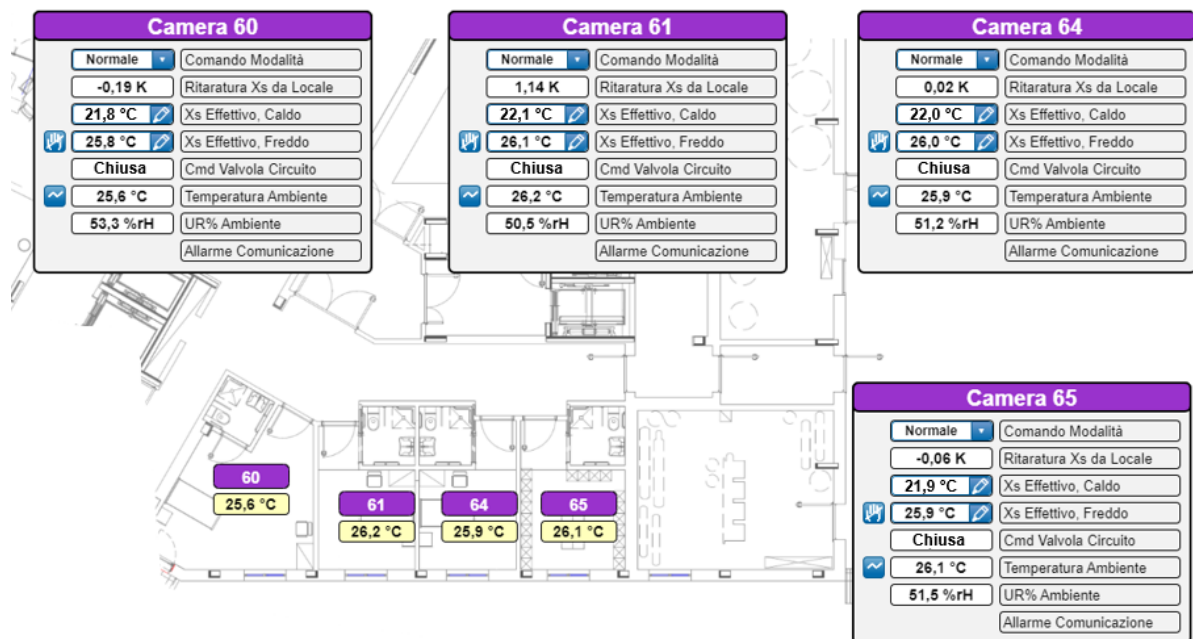


Figura 57 - Ambienti Piano 3 Blocco B (Sistema Supervisione)

La temperatura generale impostata per il blocco ambienti B piano terzo è pari a 26°C. Le sonde ambiente consentono anche di modificare il valore di temperatura in un range ± 3 °C rispetto al valore di set point, per soddisfare al meglio le esigenze degli occupanti dei singoli ambienti. Il valore di set point è quindi diverso per i vari ambiente e dipende dalla ritaratura della temperatura effettuata da locale. Si nota che tutte le valvole dei circuiti degli ambienti in esame sono chiuse, essendo presenti negli ambienti dei valori di temperatura al di sotto del valore di

set point. Tutti gli ambienti riescono quindi a garantire il valore di temperatura desiderato, dimostrando quindi il corretto funzionamento dei sistemi di generazione e del sistema di regolazione ambiente.

Si consultano ora i trend orari storici per verificare le prestazioni del sistema nel tempo. In Figura 58 e Figura 59 si riportano gli andamenti delle temperature di mandata dell'UTA 2 e di mandata del circuito di post riscaldamento in analisi registrata nel giorno precedente (21 Giugno 2024).

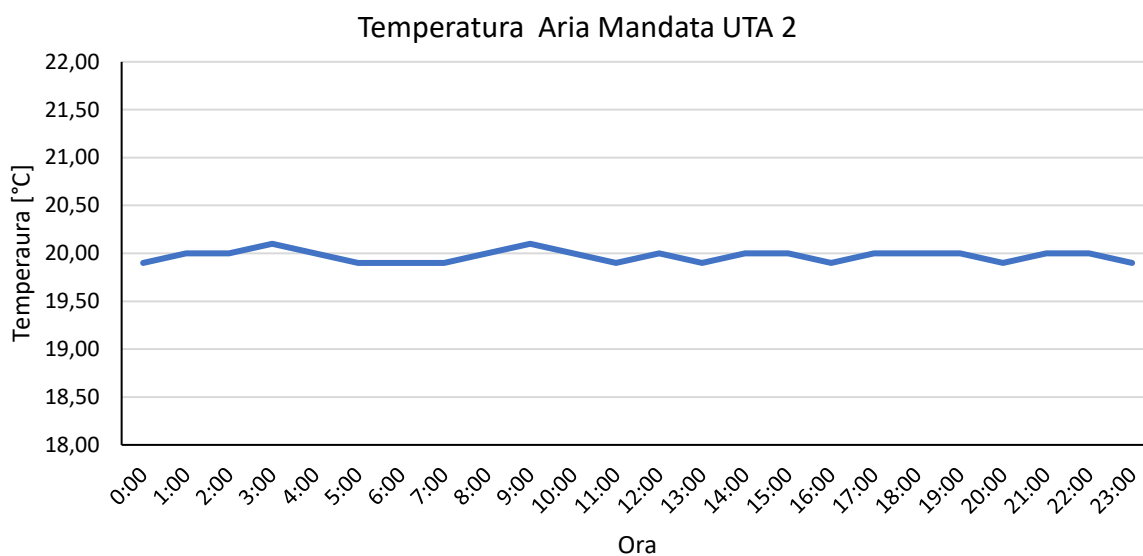


Figura 58 - Temperatura di mandata UTA 2 (Sistema supervisione)

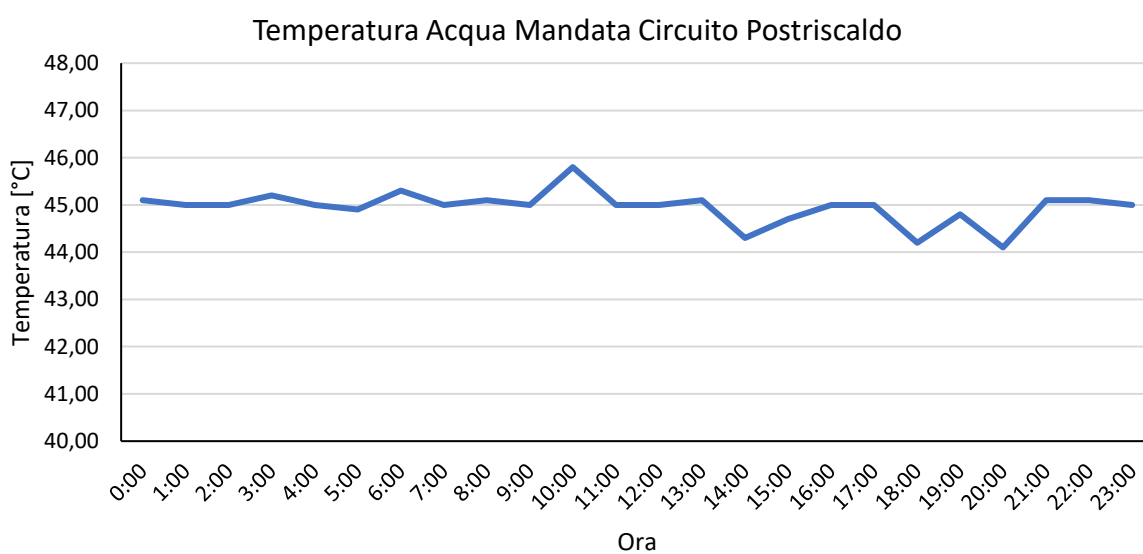


Figura 59 - Temperatura di mandata Circuito Post riscaldo (Sistema supervisione)

I trend registrati sono coerenti con i valori di set point impostati.

Analizzando l'andamento della temperatura di mandata dei pannelli radianti (Figura 60) si nota la variazione di temperatura tra il periodo di spegnimento e il periodo di accensione dei pannelli. Di notte la temperatura ambiente degli ambienti è al di sotto del set point, consentendo lo spegnimento delle pompe di calore. A partire dalle 07:00 la temperatura di mandata diminuisce per soddisfare la richiesta degli ambienti soggetti ad un aumento dei carichi termici esogeni. La temperatura poi rimane circa costante nel resto della giornata, con un valore di set point leggermente variabile per essere sempre superiore alla temperatura di rugiada calcolata dal sistema. Tra le 20:00 e le 21:00 avviene lo spegnimento del circuito dei pannelli radianti e delle pompe di calore, non essendo presente richiesta da parte dei terminali ambienti.

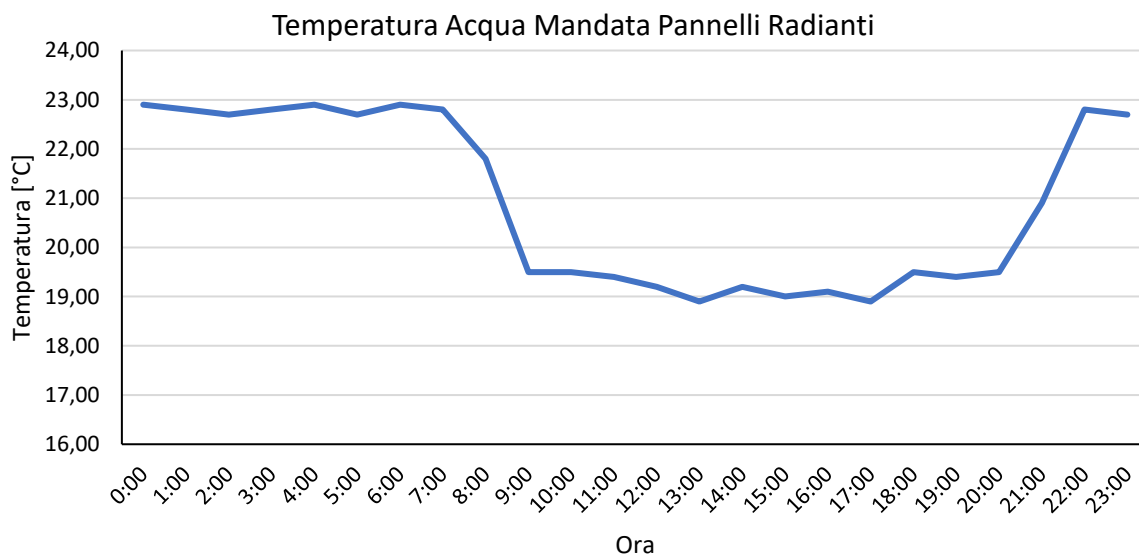


Figura 60 - Temperatura di mandata Circuito Pannelli Radianti (Sistema supervisione)

Infine in si riporta l'andamento della temperatura ambiente all'interno della stanza 83 Blocco B Piano 1 (Figura 61). Si nota che la temperatura nelle ore centrali della giornata più calde non ha mai superato il valore di set point fissato (26 °C, ritaratura da locale pari a 0°C). La temperatura nelle ore notturne diminuisce: si chiude la valvola di alimentazione del circuito dei pannelli e resta attiva solo il sistema di ventilazione per immettere la portata d'aria necessaria per il ricambio igienico.

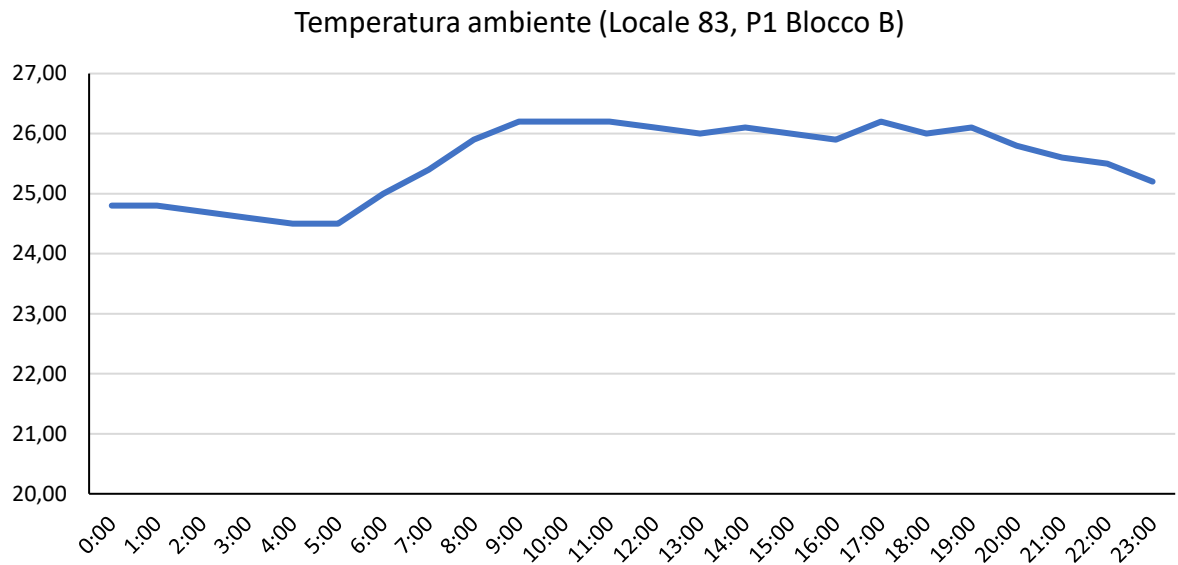


Figura 61 - Temperatura Locale 83 P1, Blocco B (Sistema Supervisione)

Dalle analisi effettuate si può concludere che l'impianto di climatizzazione nella sua interezza funziona correttamente. Sono garantiti i valori di set point in tutti gli ambienti e in tutti i punti dell'impianto. Tutte le valvole a servizio dei vari componenti agiscono correttamente, secondo la logica di funzionamento dell'impianto prevista. L'impianto è quindi in grado di garantire le prestazioni previste in progetto.

Conclusioni

Con la presente trattazione sono stati descritti i test e le modalità di bilanciamento eseguiti sugli impianti di climatizzazione, la strumentazione utilizzata, le procedure e gli obiettivi prefissati. Si è affrontata anche la tematica del collaudo degli impianti meccanici, in particolare degli impianti aeraulici, sottolineando i vantaggi legati a questa procedura che precede la messa in esercizio. Partendo dai riferimenti normativi si sono esaminate le modalità di collaudo, gli step metodologici necessari e gli obiettivi del processo.

Queste procedure sono state effettuate nella Residenza Sanitaria Assistenziale "Cervetto", situata a Vercelli, in particolare nel Blocco B del complesso.

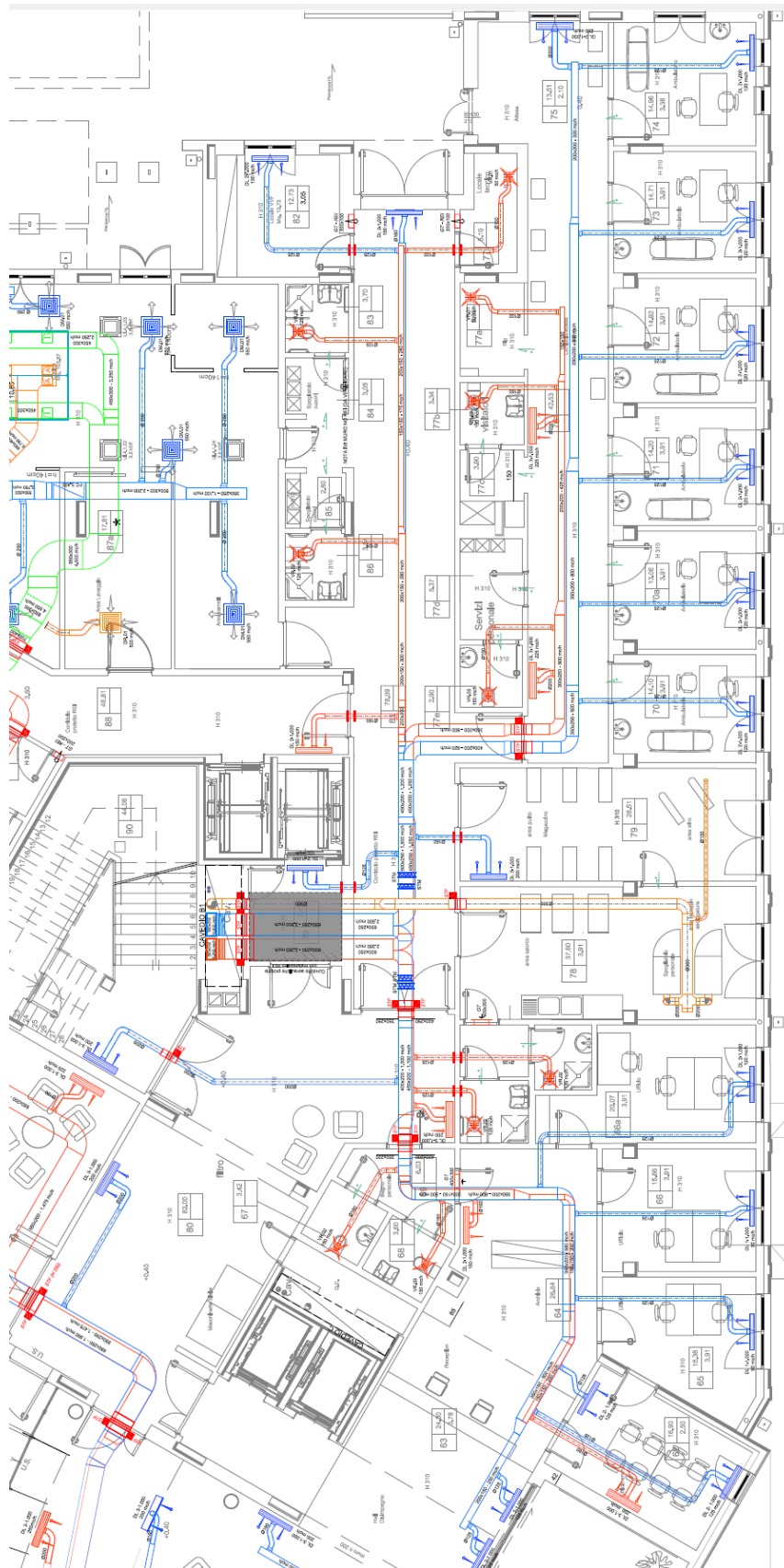
In una prima fase della procedura di test e bilanciamento della rete aeraulica si sono riscontrate delle incongruenze tra i valori rilevati in campo e i valori attesi e previsti in progetto. Attraverso un'analisi del sistema impiantistico è stato possibile individuare la problematica legata all'errata realizzazione di parte della rete stessa. Il successivo bilanciamento dell'impianto ha consentito di ottenere i valori di progetto in tutti gli ambienti e nei vari condotti, dimostrando la bontà della progettazione e dell'installazione. La conferma di ciò è avvenuta con il collaudo dell'impianto aeraulico che non ha evidenziato problematiche o segnalazioni, ottenendo quindi un esito positivo e autorizzando la messa in esercizio dell'impianto senza raccomandazioni. In aggiunta al collaudo è stata effettuata anche l'analisi del comfort termico ambientale per individuare eventuali possibilità di miglioramento sulla regolazione e gestione dell'impianto. Infine la verifica finale delle prestazioni dell'intero impianto di climatizzazione, avvenuta mediante l'analisi dei dati del sistema di supervisione, ha accertato il funzionamento corretto non solo dell'impianto aeraulico e della relativa UTA in esame, ma anche di tutti i componenti di impianto: i dati ottenuti da questa analisi sono coerenti con la logica di funzionamento dell'intero impianto nelle specifiche condizioni al contorno.

Bibliografia

- [1] Ministero dello sviluppo economico, *Decreto del 22 gennaio 2008, n. 37* .
- [2] Eurovent Certification, “Definizione HVAC.” Accessed: Apr. 06, 2024. [Online]. Available: <https://www.eurovent-certification.com/it/category/article/difference-between-an-ahu-and-hvac-system?universe=1-residential-ventilation-iaq>
- [3] UNI - Ente Italiano di Normazione, *UNI EN ISO 7730:2006 - Ergonomia degli ambienti termici - Determinazione analitica e interpretazione del benessere termico mediante il calcolo degli indici PMV e PPD e dei criteri di benessere termico locale*.
- [4] AICARR, *Manuale d’ausilio per la progettazione termotecnica - Aeraulica*, 2024th ed.
- [5] Trane Air Conditioning, *VAV Systems Air Conditioning Clinic - One of the Systems Series*.
- [6] Luca Stefanutti, “Fan Coil, soluzioni per impianti a elevate prestazioni,” *RCI*, Sep. 2022.
- [7] Ken. Butcher and Chartered Institution of Building Services Engineers., *Heating, ventilating, air conditioning and refrigeration : CIBSE guide B*.
- [8] Legg Roger, “Air conditionin system design,” 2017.
- [9] Bolton William, *Instrumentation and control systems*.
- [10] L. Keviczky, R. Bars, J. Hetthéssy, and · Csilla Bányász, “Control Engineering.” [Online]. Available: <http://www.springer.com/series/4045>
- [11] Ministero dello Sviluppo Economico, *D.M. 22 Gennaio 2008, n.37*.
- [12] UNI - Ente Italiano di Normazione, *UNI 10339 - Impianti aeraulici a fini di benessere*.
- [13] O. T. H. , H. W. W. , R. A. P. L. E. , E. R. P. Munson B. R., *Meccanica dei fluidi*. 2016.
- [14] Samuel C. Sugarman, *Testing and Balancing HVAC Air and Water Systems*, 4th ed. 2006.

- [15] UNI - Ente Italiano di Normazione, *UNI 11169:2006 Impianti di climatizzazione degli edifici - Impianti aeraulici ai fini di benessere - Procedure per il collaudo*. 2006.
- [16] UNI - Ente Italiano di Normazione, *UNI EN 12599:2012 Ventilazione per edifici - Procedure di prova e metodi di misurazione per la presa in consegna di impianti di ventilazione e di condizionamento dell'aria*. 2012.
- [17] UNI - Ente Italiano di Normazione, *UNI EN 12237:2004 Ventilazione degli edifici - Reti delle condotte - Resistenza e tenuta delle condotte*.
- [18] UNI-Ente Italiano di Normazione, *Ergonomia degli ambienti termici Determinazione analitica e interpretazione del benessere termico mediante il calcolo degli indici PMV e PPD e dei criteri di benessere termico locale*.
- [19] UNI - Ente Italiano di Normazione, "UNI EN ISO 7726:2002 Ergonomia degli ambienti termici - Strumenti per la misurazione delle grandezze fisiche".
- [20] UNI - Ente Italiano di Normazione, *UNI/TS 11300-1:2014: Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale*.

Allegato A – Schema impianto aeraulico Blocco B



Piano Terra – Configurazione rete aeraulica (Cavedio B1)



Piano Primo – Configurazione rete aeraulica (Cavedio B1)

