

POLITECNICO DI TORINO

Collegio di Ingegneria Energetica

**Corso di Laurea Magistrale in
Ingegneria Energetica e Nucleare**

Tesi di Laurea Magistrale

Sistemi HVAC: tipologie impiantistiche e criteri progettuali. Analisi dello stato dell'arte.



Relatore

prof. Marco Masoero

Candidato

Gregorio Robertazzi

A.A. 2018 - 2019

INDICE

PREFAZIONE	5
CAPITOLO 1	7
Quadro normativo relativo ai sistemi HVAC	7
1.1. Normativa in materia di efficienza energetica	7
1.1.1. Specifiche tecniche UNI TS 11300	10
1.1.2. Norma per il calcolo termico in regime dinamico	11
1.2. Normativa in materia di sicurezza e tutela ambientale	12
1.2.1. UNI EN 378.....	12
1.2.2. Normativa F-Gas.....	14
1.3. Incentivi	16
1.3.1. Ecobonus 2019	16
1.3.2. Conto termico 2.0	18
1.4. LEED	21
CAPITOLO 2	28
Impianti di Climatizzazione	28
2.1. Classificazione degli impianti HVAC	28
2.2. Impianti a fluido intermedio	30
2.2.1. Impianti ad acqua	31
<i>Impianti a due tubi</i>	32
<i>Impianti a quattro tubi</i>	33
<i>Impianti a pannelli radianti</i>	35
2.2.2. Impianti ad aria	36
<i>Impianti ad aria per singola zona</i>	36
<i>Impianti ad aria multizona</i>	37
<i>Impianti ad aria a doppio condotto</i>	38
2.2.3. Impianti misti	39
<i>Impianti misti a travi fredde</i>	40
2.3. Impianti ad espansione diretta – VRF	42
2.4. Confronto fra le tipologie impiantistiche	45

<i>Impianto a fluido intermedio – ad aria</i>	45
<i>Impianto a fluido intermedio – misti</i>	45
<i>Impianto a fluido intermedio – ad acqua</i>	46
<i>Impianto ad espansione diretta</i>	46
CAPITOLO 3	47
Refrigeranti per i sistemi HVAC	47
3.1. Evoluzione temporale	47
3.2. Impatto ambientale	49
<i>Buco nell’Ozono</i>	49
<i>Effetto serra</i>	50
3.3. Mercato	52
CAPITOLO 4	57
Analisi dello stato dell’arte	57
4.1. Edifici residenziali	57
4.1.1. Edificio residenziale a Roma	58
<i>Caratteristiche dell’unità esterna impiegata</i>	60
<i>Caratteristiche unità interne per produzione acqua calda HWS</i>	60
<i>Descrizione sommaria degli impianti previsti</i>	61
<i>Confronto consumi moduli HWS vs Caldaia a GPL</i>	62
<i>Gestione impianto</i>	64
4.2. Uffici	66
4.2.1. Sede di Assolombarda a Milano	67
<i>Descrizione degli interventi e degli impianti</i>	70
<i>Impianti di Climatizzazione</i>	70
<i>Impianti di Ventilazione</i>	71
<i>Centrale Frigorifera</i>	71
<i>Sistemi di gestione e supervisione</i>	72
4.3. Hotel	73
<i>Impianti per le camere</i>	73
<i>Impianti per le aree comuni</i>	74
4.3.1. Hotel “Il Sereno”	75
<i>Principio di funzionamento Hybrid BC</i>	76
<i>Descrizione impianti di climatizzazione</i>	77
<i>Descrizione impianti di ventilazione</i>	78

<i>Descrizione impianti per la produzione di acqua calda sanitaria</i>	79
4.4. Centri commerciali	80
4.4.1. Centro commerciale “Il Centro”	82
<i>Descrizione impianti di climatizzazione e ventilazione</i>	83
<i>Considerazioni</i>	85
4.5. Musei e Biblioteche	86
<i>Musei</i>	88
<i>Biblioteche</i>	89
4.5.1. Pinacoteca Musei Vaticani – “Sala Raffaello”	90
<i>Descrizione impianti di climatizzazione</i>	91
<i>Descrizione impianti di ventilazione</i>	92
<i>Descrizione sistema di gestione</i>	93
4.6. Ospedali	95
<i>Sistemi per le sale operatorie</i>	97
<i>Sistemi per le degenze</i>	98
4.6.1. Ospedale di Alba-Bra	99
<i>Descrizione impianti di climatizzazione e ventilazione</i>	102
<i>Descrizione del sistema di controllo</i>	107
4.7. Edifici per lo spettacolo	109
4.7.1. Cittadella del Cinema – Giffoni Valle Piana	110
<i>Descrizione impianto di climatizzazione e ventilazione</i>	111
<i>Descrizione del sistema di controllo</i>	114
CONCLUSIONE	116
BIBLIOGRAFIA	118

PREFAZIONE

Il suddetto lavoro di tesi ha come scopo l'analisi dei sistemi HVAC – *Heating Ventilation Air Conditioning* dal punto di vista tecnologico e funzionale: vengono qui descritte le principali tipologie impiantistiche atte a garantire le condizioni di comfort termoigrometrico negli ambienti confinati. In particolare, si pone l'attenzione sulle differenze impiantistiche tra impianti ad espansione diretta ed impianti a fluido intermedio, portando come testimonianza alcuni casi studio su sistemi realizzati. A tal proposito si ringraziano tutti gli enti che hanno reso disponibili informazioni in merito.

L'approfondimento del tema nasce dall'interesse per la progettazione e il dimensionamento degli impianti di climatizzazione e ventilazione. Tale interesse è stato incentivato sia dal percorso di studi fatto, sia soprattutto dall'esperienza professionale che mi ha permesso di entrare in contatto con entità professionali differenti del settore: progettisti, agenti di vendita, installatori. A tal proposito, un ringraziamento speciale al mio Responsabile aziendale, che ha saputo trasmettermi il suo bagaglio tecnico professionale nella stesura dell'elaborato.

Il presente elaborato è rivolto a tutti i protagonisti del settore, ma anche a chi sta per interfacciarsi a tali tematiche e si pone come obiettivo di fornire una guida alla progettazione degli impianti HVAC, mettendo in evidenza i pregi e i difetti, in funzione del tipo di applicazione. In tal modo, mira a fornire uno spunto circa la migliore scelta impiantistica in funzione al caso in esame.

È stata condotta un'indagine di mercato, facendo riferimento alle pubblicazioni e alle referenze delle principali aziende di settore, con lo scopo di abbracciare la maggior parte delle tipologie impiantistiche esistenti e descriverne le caratteristiche peculiari. A tal proposito si ringraziano tutti gli enti per la disponibilità e chiarezza delle informazioni ricevute.

Il primo capitolo introduce le principali normative italiane ed europee che governano il mercato dei sistemi HVAC: vengono descritti i contenuti delle principali direttive riguardo

la sostenibilità energetica ed ambientale, con riferimento agli incentivi che derivano dall'installazione di sistemi di climatizzazione efficienti. Il secondo capitolo espone le principali tipologie impiantistiche relative ai sistemi HVAC: si tratta di un vero e proprio confronto tra sistemi ad espansione diretta e sistemi a fluido intermedio. Vengono descritte le caratteristiche tecniche, le possibili applicazioni, i pregi e i difetti. Il terzo capitolo illustra le caratteristiche dei fluidi refrigeranti dal punto di vista tecnico e funzionale: il capitolo espone l'evoluzione storica che ha portato alla commercializzazione dei refrigeranti presenti oggi sul mercato e ipotizza un possibile scenario futuro sull'evoluzione del mercato. Il quarto capitolo racchiude il nucleo della tesi: vengono descritte alcune applicazioni tipiche per gli impianti di climatizzazione (residenziale, ospedaliero, uffici...), con riferimento a casi studio di sistemi realizzati e attualmente funzionanti. Se ne delineano gli aspetti principali e i criteri progettuali che hanno portato alla scelta dell'impianto. Inoltre, vengono fatti alcuni richiami alla configurazione del sistema gestionale e di controllo dedicato al clima.

Il lavoro di ricerca che è stato condotto ha dato la possibilità di analizzare gli aspetti principali che derivano dalla scelta e dal dimensionamento di un sistema HVAC, mettendo in risalto le caratteristiche positive e negative dei sistemi. I risultati dell'analisi e le considerazioni soggettive vengono esposte dettagliatamente nelle conclusioni finali di questa tesi.

CAPITOLO 1

Quadro normativo relativo ai sistemi HVAC

Negli ultimi anni, le tematiche sull'efficienza energetica hanno suscitato sempre di più l'interesse degli attori coinvolti in tale ambito. Le ragioni di tale preoccupazione sono associate, alla necessità di ridurre i consumi di combustibili fossili, dato che, oltre alle problematiche relative all'approvvigionamento limitato, costituiscono la principale causa dell'inquinamento atmosferico. In ambito ingegneristico, la strategia è di razionalizzare i consumi di energia e ridurre gli sprechi. Tale concetto, in ambito termotecnico, si traduce nel progettare in modo efficiente gli edifici e gli impianti associati, in quanto in Italia il fabbisogno di energia del settore civile copre circa il 40% del consumo energetico nazionale. La necessità di ridimensionare le problematiche ambientali migliorando le prestazioni energetiche degli edifici ha spinto la comunità nazionale ed internazionale verso l'adozione di nuove direttive: ciò aveva lo scopo di uniformare il modus operandi degli attori coinvolti, ponendo come obiettivo finale, oltre ai costi e alle necessità progettuali, l'efficienza energetica.

1.1. Normativa in materia di efficienza energetica

In ambito europeo, la prima direttiva sul risparmio energetico associato agli edifici fu la 2002/91/CE, denominata “*Energy Performance Building Directive*” EPBD la quale promuoveva una politica finalizzata al miglioramento delle prestazioni energetiche relative al parco edilizio esistente e di futura costruzione. Tale direttiva, frutto del “*Protocollo di Kyoto*” che imponeva gli Stati Membri di sviluppare una metodologia per il calcolo dei consumi energetici degli edifici, fu abrogata qualche anno più tardi dalla 2010/31/UE e di recente dalla *Direttiva 2018/844* del 30 Maggio 2018. Alle origini, la direttiva includeva pochi punti:

- Adozione di un metodo standardizzato per il calcolo delle prestazioni energetiche relative agli edifici;

- Adozione di alcuni requisiti di minimo sulle prestazioni energetiche degli edifici (minimizzare energia associata);
- Monitoraggio dei sistemi di climatizzazione.

La nuova direttiva, che mira al raggiungimento dei propri obiettivi entro il 2030, pone nuovi obiettivi:

- Migliorare le strategie di riqualificazione degli immobili al fine di rinnovare il parco edilizio ed incentivare i NZEB (Net Zero Energy Building);
- Rafforzare la componente finanziaria ed incentivare gli investimenti, da parte di privati, per il recupero del patrimonio edilizio esistente;
- Innalzare le soglie prestazionali relative ai sistemi di climatizzazione degli edifici promuovendo i sistemi automatici di regolazione, monitoraggio e controllo (BMS).

Tali normative hanno introdotto il concetto di diagnosi energetica, definita come “la procedura sistematica volta a fornire un’adeguata conoscenza del profilo di consumo energetico di un edificio o di un gruppo di edifici, al fine di individuare e quantificare le opportunità di risparmio energetico sotto il profilo costi-benefici”.

Tale direttiva diede il via al lancio di una serie di norme a supporto della stessa: risulta interessante la norma *UNI EN 15217:2017*, metodi per esprimere la prestazione energetica e per la certificazione energetica degli edifici. In essa vengono trattate varie soluzioni per la certificazione energetica degli edifici, con l’obiettivo di definire procedure di valutazione comuni ed indicare le possibili soluzioni di intervento.

In Italia, la legge di riferimento in tema di efficienza energetica degli edifici è la Legge n.10 del 9 Gennaio 1991, "*Norme in materia di uso razionale dell'energia, di risparmio energetico e di sviluppo delle fonti rinnovabili di energia*". Quest’ultima aveva lo scopo di regolamentare il settore termotecnico e razionalizzare i consumi di energia attraverso la certificazione energetica del patrimonio edilizio. Per agevolare il processo, sono previsti incentivi economici relativi agli interventi di riqualificazione energetica: in base al tipo di intervento, possono variare dal 20% al 40% dell’investimento.

In seguito alla legge n.10 vennero approvati alcuni decreti legislativi in merito:

- *DPR 26 Agosto 1993, n.412*

Regolamento in attuazione della legge n.10, recante le norme per la progettazione, l’installazione, la manutenzione e l’esercizio degli impianti termici degli edifici. Con tale decreto venne introdotto, al fine di suddividere il territorio nazionale in varie fasce climatiche, il concetto dei “Gradi Giorno” (GG). Quanto più è alto il valore dei GG tanto più è rigido il clima e quindi tanto più è alto il fabbisogno di

energia. Sono state introdotte n.6 zone climatiche, dalla A alla F, in ordine crescente.

- *D.LGS. 19 Agosto 2005, n.192*

In risposta alla direttiva europea EPBD, inerente l'efficienza energetica in edilizia, venne emanato nell'Agosto del 2005 il *D.Lgs 192* che "stabilisce i criteri e le condizioni per migliorare le prestazioni energetiche degli edifici, al fine di favorire lo sviluppo, la valorizzazione, l'integrazione di fonti rinnovabili di energia e la diversificazione energetica". Attraverso tale decreto venne regolamentata la metodologia ed introdotti alcuni requisiti di minimo per il calcolo delle prestazioni energetiche degli edifici, nonché i criteri generali per la certificazione energetica; venne regolamentata la gestione manutentiva degli impianti, introducendo ispezioni periodiche per gli impianti HVAC; vennero regolamentati i criteri per garantire la qualifica e l'obiettività degli esperti incaricati per la certificazione energetica e per le ispezioni degli impianti. Successivamente corretto dal *D.Lgs 311* del 29 dicembre 2006: "Disposizioni correttive ed integrative al *D.Lgs 192* del 19 agosto 2005".

- *D.LGS. 30 Maggio 2008, n.115*

Tale decreto venne pubblicato per "l'attuazione della direttiva 2006/32/CE relativa all'efficienza degli usi finali dell'energia e i servizi energetici e abrogazione della direttiva 93/76/CEE". Questo decreto stabilisce un quadro di misure mirate al miglioramento dell'efficienza degli usi finali di energia, sia per limitare la problematica relativa all'approvvigionamento delle risorse, sia per limitare l'inquinamento atmosferico, sotto il profilo di costi e benefici. In particolare, vengono introdotte semplificazioni a livello giuridico e finanziario in modo da limitare gli ostacoli che limitano lo sviluppo energeticamente sostenibile. All'interno del decreto sono individuate le metodologie di calcolo per la certificazione energetica, prescrivendo l'obbligo di riferirsi alla specifica tecnica UNI TS 11300 per le parti 1 e 2 (calcolo del fabbisogno energetico degli edifici)

- *DPR. 2 Aprile 2009, n.59*

Il DPR 59 amplifica alcune precisazioni relative al *D.lgs 192* in merito alle problematiche di efficienza energetica nel periodo estivo. Tale decreto stabilisce l'obbligo di adottare le specifiche tecniche nazionali definite nella UNI TS 11300,

facendo emergere le condizioni a cui devono sottostare i parametri che indicano la prestazione energetica in regime invernale ed estiva, ponendoli in relazione ai valori riportati nel D.Lgs. 192/2005. Tale decreto, diversamente da quelli precedenti, ha introdotto le limitazioni relative alle prestazioni energetiche durante il regime estivo.

1.1.1. Specifiche tecniche UNI TS 11300

A livello nazionale, la normativa tecnica UNI TS 11300, rappresenta l'applicazione della direttiva europea 2002/91/CE sulle prestazioni energetiche e la certificazione energetica degli edifici. Con prestazione energetica, relativa agli edifici, si intende il fabbisogno energetico connesso alla vita dell'edificio, il quale comprende il riscaldamento, il raffrescamento, la produzione di acqua calda sanitaria, la ventilazione meccanica e l'illuminazione. Tale specifica fornisce una linea guida univoca al calcolo delle prestazioni energetiche dell'edificio. La specifica tecnica, relativamente al calcolo delle prestazioni energetiche, per i servizi sopracitati, si suddivide in 4 parti:

- **Parte 1 - UNI TS 11300-1:2014** - *“Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale”*

Si definiscono le modalità relative all'applicazione della normativa tecnica europea UNI EN ISO 13790, facendo riferimento al metodo mensile per il calcolo della climatizzazione invernale ed estiva. La specifica si rifà a tutte le possibili applicazioni della UNI EN ISO 13790: calcolo nelle condizioni di progetto (design rating); calcolo alle condizioni standard (asset rating); calcolo in particolari condizioni climatiche e/o esercizio (tailored rating).

- **Parte 2 – UNI TS 11300-2:2019** - *“Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale, per la produzione di acqua calda sanitaria, per la ventilazione e per l'illuminazione in edifici non residenziali”*

Vengono definiti i metodi di calcolo per la determinazione del fabbisogno di energia termica associato all'approvvigionamento di acqua calda sanitaria e per la valutazione dei rendimenti dell'impianto di produzione di energia termica per la climatizzazione invernale, al fine di risalire al fabbisogno di energia primaria.

Inoltre, fornisce le metodologie di calcolo per la determinazione dei consumi legati alla ventilazione meccanica e all'illuminazione artificiale, in accordo con la UNI EN 15193.

- Parte 3 - **UNI TS 11300-3:2010** - *“Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione estiva”*

Definisce le metodologie di calcolo del fabbisogno di energia relativo ai sistemi di climatizzazione estiva, nonché del fabbisogno di energia primaria relativo al servizio di climatizzazione estiva. Tale norma si applica alle unità di climatizzazione azionate elettricamente o ad assorbimento.

- Parte 4 - **UNI TS 11300-4:2012** – *“Utilizzo di energie rinnovabili e di altri metodi di generazione per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria”*

Definisce i metodi di calcolo del fabbisogno di energia termica per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria, nel caso in cui vi siano sorgenti ausiliarie di tipo rinnovabili, non alimentate a combustibili fossili (caso trattato nella parte 2). Le tecnologie a fonti rinnovabili coinvolte nella norma sono: solare termico, solare fotovoltaico, pompe di calore, biomasse, cogenerazione e teleriscaldamento.

1.1.2. Norma per il calcolo termico in regime dinamico

Ben presto, le norme UNI TS 11300 sono risultate insufficienti per il calcolo energetico legato alla climatizzazione degli edifici. Infatti, partire dal 01 Marzo 2018, sono entrate in vigore le nuove UNI EN ISO 52016 e UNI EN ISO 52017, sul calcolo energetico degli edifici in regime dinamico. Tali norme, che entrano a far parte del pacchetto di norme “EPBD”, introducono un nuovo metodo di calcolo dinamico orario, per i consumi energetici legato al riscaldamento e al raffrescamento degli ambienti. Rispetto al metodo quasi stazionario, inserito nelle UNI TS 11300, il modello dinamico orario permette di ottenere risultati più attendibili perché considera le reali condizioni dell'edificio in ogni istante.

Le procedure utilizzate per la valutazione dei consumi energetici degli edifici, si basano sulla norma UNI TS 11300 che definisce un metodo di calcolo statico per la determinazione

dei fabbisogni di climatizzazione, sia estiva che invernale. Il metodo statico risulta molto efficace nel calcolo del fabbisogno legato al riscaldamento, poco efficace per il calcolo del carico di raffrescamento (alcune applicazioni non consentono l'utilizzo del metodo statico neanche in fase di riscaldamento). Ciò è dovuto alla rapidità con cui possono variare le condizioni climatiche esterne ed interne durante il regime estivo.

Ragion per cui, la nuova norma introduce un nuovo modello di calcolo di tipo dinamico orario, che prevede la risoluzione delle equazioni del calore in regime transitorio. Vista la complessità di risoluzione di tali equazioni, vengono definiti alcuni metodi semplificati. Tra i vari metodi semplificati, quello più utilizzato è quello delle "Funzioni di Trasferimento (TFM)", implementato nella maggior parte dei software per il calcolo dinamico dei consumi energetici, i.e. "Energy Plus", "Design Builder" etc.

Già prima del 2018, la norma UNI EN 13790 - "*Prestazione energetica degli edifici: Calcolo del fabbisogno di energia per il riscaldamento ed il raffrescamento*", del 2008, introduceva il calcolo dinamico semplificato (Thermal Networks) che utilizza un circuito equivalente elettrico in grado di rappresentare il problema termo-fisico: tuttavia, tale metodologia risultava limitante in quanto non considerava il calcolo del calore latente.

In sintesi, le nuove norme, oltre all'abolizione dei metodi statici, introducono un nuovo modello di calcolo orario più affidabile e più semplice da utilizzare.

1.2. Normativa in materia di sicurezza e tutela ambientale

Lo sviluppo di mercato delle unità funzionanti a gas refrigerante, chiller e pompe di calore, ha spinto la comunità internazionale ad introdurre nuove norme e vincoli che regolamentassero gli utilizzi dei fluidi refrigeranti, in quanto, il rilascio in atmosfera contribuisce, in modo significativo, al surriscaldamento globale e al depauperamento dell'ozono. In tal senso, è opportuno ricordare le due normative di riferimento.

1.2.1. UNI EN 378

La norma UNI EN 378, "Sistemi di refrigerazione e pompe di calore – Requisiti per la sicurezza e l'ambiente", di cui l'ultima revisione è stata pubblicata in aprile 2017, specifica

i requisiti per la sicurezza delle persone e dei beni e fornisce una guida per la tutela dell'ambiente, stabilendo le procedure per l'esercizio e la manutenzione degli impianti a gas refrigerante.

Tale norma si presenta in 4 blocchi:

- Parte 1 – **UNI EN 378-1:2017** – “Requisiti di base, definizioni, criteri di classificazione e selezione”;
- Parte 2 – **UNI EN 378-2:2017** – “Progettazione, costruzione, prova, marcatura, documentazione”;
- Parte 3 – **UNI EN 378-3:2017** – “Sito di installazione e protezione delle persone”;
- Parte 4 – **UNI EN 378-4:2017** – “Conduzione, manutenzione, riparazione e recupero”.

La prima parte della norma specifica i requisiti per la sicurezza delle persone e fornisce una guida per il dimensionamento dei sistemi in funzione al caso considerato.

Il dimensionamento del sistema dipende da diversi fattori:

- Dal tipo di sistema, se ad espansione diretta, con espansione del gas in ambiente, o ad espansione indiretta e fluido termovettore intermedio;
- Dal tipo di ambiente, e dall'accessibilità dell'ambiente stesso: nello specifico si identificano 3 tipologie di ambiente in base al tipo di occupazione interna;
- Dalla tipologia del luogo di installazione del macchinario;
- Dalle caratteristiche intrinseche del refrigerante, in termini di tossicità e infiammabilità.

Per calcolare la quantità massima di refrigerante ammissibile, la norma fornisce 2 formule da utilizzare in base alla natura del gas refrigerante, se più tossico o più infiammabile.

Nel caso di refrigerante più tossico, la formula è la seguente:

$$M_{max} = V * RCL$$

dove:

- V è il volume del locale più piccolo dell'edificio;
- RCL è la concentrazione massima ammissibile di refrigerante in ambiente [kg/m³].

Il valore di RCL è ricavabile dalla norma in base al tipo di refrigerante e in base al tipo di ventilazione dell'edificio.

Al contrario, nel caso in cui il refrigerante sia più infiammabile che tossico, la formula è la seguente:

$$M_{max} = 2,5 * LFL^{\frac{5}{4}} * h_0 * A^{\frac{1}{2}}$$

dove:

- LFL è la concentrazione minima alla quale la sostanza può incendiare;
- h_0 è l'altezza di installazione del macchinario;
- A è l'area della stanza.

Nel caso in cui il contenuto di refrigerante sia eccessivo, bisogna prevedere alcuni sistemi di controllo addizionali, tra cui sistemi di aerazione o sistemi di valvole che isolano il circuito del refrigerante.

La seconda parte fornisce indicazioni sulla progettazione dei sistemi di climatizzazione, sottolineando le direttive standard che ogni componente del sistema deve rispettare. Dunque, durante la produzione, i componenti dei sistemi vengono sottoposti a vari test che ne certificano la qualità. I sistemi che entrano in commercio, devono essere equipaggiati di apposita etichetta che indichi le informazioni necessarie ai fini della sicurezza (produttore, pressione massima di esercizio, numero seriale, tipologia e quantità di refrigerante, anno di produzione).

La terza parte della normativa include le direttive relative al luogo di installazione del macchinario. Nello specifico, in base al tipo di luogo di installazione ed in base al tipo di gas, infiammabile o non, vengono indicati gli accorgimenti di cui tener conto.

La quarta ed ultima parte fornisce indicazioni sulla manutenzione e sul recupero delle strutture esauste. Concentrandoci sulla sostituzione del refrigerante, la norma definisce la procedura per il riciclo del refrigerante. In base alla qualità del refrigerante recuperato (attestata a seguito di un test di acidità), esso può essere riutilizzato in un altro sistema di climatizzazione, bonificato e riutilizzato per altri scopi o, nel peggiore dei casi, eliminato.

1.2.2. Normativa F-Gas

La necessità di ridurre le emissioni di gas serra, nata a seguito degli impegni presi con il Protocollo di Kyoto, ha obbligato la comunità europea ad emanare una norma che regolamentasse l'uso, il recupero e la distruzione dei gas fluorati ad effetto serra. Tale regolamento, redatto nel 2006 secondo la normativa CE 842/2006 includeva tutte le informazioni relative ai refrigeranti considerati causa del surriscaldamento globale. Pochi anni più tardi, a seguito di alcune modifiche sugli obiettivi prefissati, la Commissione

Europea ritenne necessario aggiornare il piano normativo in merito, abrogando la norma 842/2006 a favore della norma UE 517/2014, comunemente conosciuta come Normativa F-Gas. Rispetto al regolamento precedente, la normativa F-Gas introduce specifiche disposizioni che mirano alla riduzione delle emissioni dei gas fluorurati a effetto serra (F-gas). La norma comprende 27 articoli e 8 allegati: vengono indicati di seguito i passaggi salienti.

L'articolo 3 fornisce le indicazioni per prevenire le emissioni dei gas fluorati ponendo il divieto, dove non necessario all'uso, al rilascio intenzionale dello stesso. Inoltre viene posto l'obbligo di riparazione immediata in caso di rottura di una tubazione di refrigerante, da parte di operatori muniti di certificazione idonea allo svolgimento dell'attività.

Nell'articolo 4 vengono indicati gli apparecchi che necessitano di revisione periodica al fine di prevenire le fughe di refrigerante. Tali perdite, in correlazione al GWP tipico del refrigerante, vengono quantificate in tonnellate equivalenti di CO₂. Per gli impianti di climatizzazione, risulta necessaria l'installazione di apparecchiature per il rilevamento di fughe.

L'articolo 10 include le tematiche inerenti le certificazioni obbligatorie per le persone fisiche e le imprese che si occupano di installazione, assistenza, manutenzione e smantellamento di apparecchiature utili alla climatizzazione che lavorano con gas fluorati. Tale certificazione viene rilasciata da enti autorizzati, previa superamento del processo di valutazione.

Viene posta molta attenzione al capitolo 15, che introduce la fase di "phase down" relativa alla commercializzazione dei gas HFC. Le forti problematiche relative al surriscaldamento ambientale ha spinto la commissione europea ad imporre limitazioni, nel periodo compreso tra il 2015 e il 2030, sull'importazione, da parte dei paesi dell'unione europea, dei refrigeranti HFC: nello specifico, gli stati si impegnano a limitare le importazioni di gas in relazione ad una percentuale, definita in riferimento alla media nel triennio 2009-2012. La Figura 1.1 mette in evidenza lo scenario dei prossimi anni: la brusca riduzione dell'offerta potrebbe condizionare notevolmente il mercato dei refrigeranti, con conseguenze drastiche in termini di prezzo. In particolare, il triennio 2018-2021 risulta essere un periodo cruciale per i mercati che ne derivano, come quello dei sistemi di climatizzazione.

EU HFC Phase-Down schedule

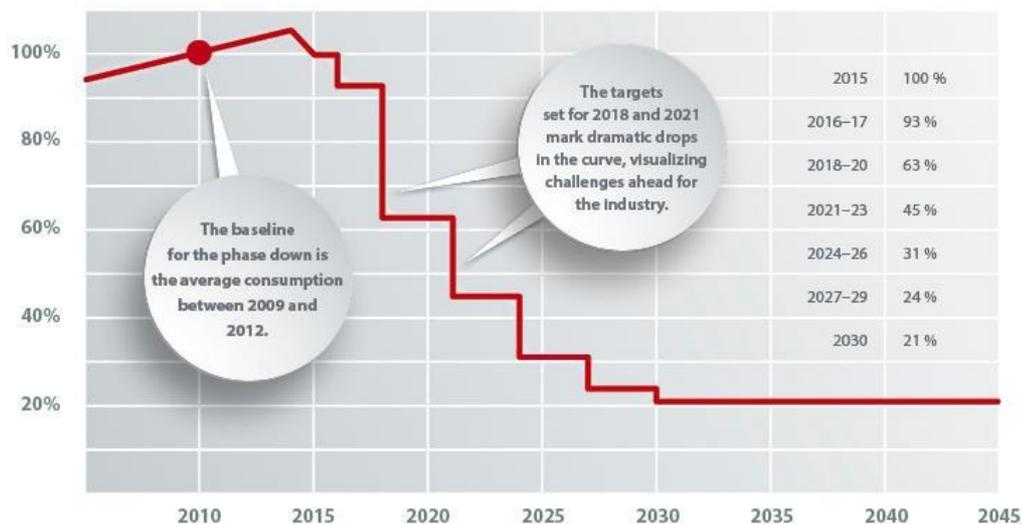


Figura 1.1 – Phase down refrigeranti HFC

1.3. Incentivi

Negli ultimi anni, la necessità di andare incontro alle numerose direttive europee in materia di efficienza energetica e tutela ambientale, ha spinto la commissione nazionale ad indire un forte piano di incentivazione in merito, affinché i consumatori fossero agevolati ad investire per la riqualificazione energetica degli edifici. Infatti, oltre ai benefici ambientali, gli interventi di riqualificazione energetica associati agli edifici consentono, agli utenti finali, di accedere ad alcuni fondi messi a disposizioni dal governo, oltre che a garantire un immediato risparmio in bolletta. In Italia, i meccanismi di incentivazione in merito, sono:

- Detrazione fiscale – Ecobonus 2019;
- Incentivo – Conto Termico 2.0.

1.3.1. Ecobonus 2019

Con la legge n.145 del 30/12/2018, “Legge di bilancio”, la commissione nazionale ha prorogato per un anno la norma d’incentivazione Ecobonus, ossia la detrazione fiscale per spese sostenute per gli interventi di riqualificazione energetica degli immobili. Tali interventi includono tutte le opere che mirano a ridurre il fabbisogno energetico dell’immobile, che sia una singola unità immobiliare o un interno edificio. L’incentivo

consiste nella detrazione fiscale di una parte della spesa sostenuta, spalmata su 10 anni, per la riqualificazione dalla quota IRPEF. In base alla tipologia di intervento, si ha diritto alla detrazione di una quota della spesa. Di seguito ne vengono elencati alcuni:

- Detrazione del 50% della spesa sostenuta per interventi sull'involucro edilizio o per interventi di sostituzione dei sistemi di climatizzazione invernale con caldaie a condensazione o alimentate a biomasse, aventi classe energetica A o superiore;
- Detrazione del 65% della spesa sostenuta per interventi di installazione di micro-generatori efficienti o di sostituzione di sistemi di climatizzazione invernale a combustione con sistemi di climatizzazione a pompa di calore o ibridi (pompa di calore + caldaia a condensazione). Inoltre l'installazione di caldaia a condensazione (classe A) permette l'accesso al 65% se integrata con un sistema efficiente di termoregolazione;
- La legge prevede inoltre, la detrazione di una quota maggiore (fino al 75%) per interventi che coinvolgono più unità immobiliari contemporaneamente, i.e. condomini, complessi residenziali etc.

Nel caso di installazione di sistemi a pompa di calore, la detrazione massima ottenibile ammonta a 30 k€ per singola unità immobiliare e l'accesso deve essere garantito da un valore di minimo degli indici di prestazione energetica relativa al sistema considerato. I produttori dei sistemi hanno l'onere di dichiarare, in ottemperanza alla Legge suddetta, l'accessibilità dei sistemi da loro proposti all'incentivo, mediante "Dichiarazione del Produttore.

Di seguito viene proposto l'estratto dell'allegato I del DM 16/02/16, nel quale vengono indicati i requisiti dei sistemi in base al regime di funzionamento, invernale ed estivo.

Sorgente / Utenza	Temp. esterna [°C]	Temp. interna [°C]	COP
aria / aria	7	20	3,9
aria / acqua (<=35kWc)	7	30 - 35	4,1
aria / acqua (>35kWc)	7	30 - 35	3,8
salamoia / aria	0	20	4,3
salamoia / acqua	0	30 - 35	4,3
acqua / aria	15 - 12	20	4,7
acqua / acqua	10	30 - 35	5,1

Tabella 1.1 – Valori prestazionali minimi in regime di riscaldamento DM16/02/16

Sorgente / Utenza	Temp. esterna [°C]	Temp. interna [°C]	EER
aria / aria	35	27	3,4
aria / acqua (<=35kWc)	35	23 - 18	3,8
aria / acqua (>35kWc)	35	23 - 18	3,2
salamoia / aria	30 - 35	27	4,4
salamoia / acqua	30 - 35	23 - 18	4,4
acqua / aria	30 - 35	27	4,4
acqua / acqua	30 - 35	23 - 18	5,1

Tabella 1.2 – Valori prestazionali minimi in regime di raffrescamento DM16/02/16

1.3.2. Conto termico 2.0

Il meccanismo di incentivazione “Conto Termico”, entrato in vigore con il DM 28/12/12, ha lo scopo di incentivare le azioni che mirano al miglioramento dell’efficienza energetica degli edifici, attraverso l’installazione di generatori di energia termica da fonte rinnovabile. In merito, con il DM 28 del 3 marzo 2011, è stato stabilito che l’energia termica prodotta da pompa di calore è da ritenersi rinnovabile, qualora le prestazioni del sistema siano particolarmente elevate: dunque, a meno di alcuni parametri, le pompe di calore sono ammesse all’incentivo. Il suddetto decreto, oltre ai limiti stringenti sulle prestazioni, risultava poco interessante a livello economico in quanto consentiva di recuperare un massimo di 25% della quota spesa. Per tale ragione, poco tempo più tardi venne disposto un aggiornamento del decreto, il DM 16/02/16, denominato “Conto Termico 2.0”. L’aggiornamento prevede misure più semplificative, vantaggiose e più rapide per l’accesso all’incentivo: posso essere riassunte in due punti:

- Ampliamento della tipologia di interventi incentivabili e delle tecnologie incentivabili;
- Riadeguamento della percentuale incentivabile, passando dal 25% al 65% (inoltre per gli incentivi fino a 5000€, l’erogazione avviene con un’unica rata.

I soggetti ammessi all’incentivo possono essere sia le Pubbliche amministrazioni che i clienti privati instaurando rapporti diretti con il Gestore dei Servizi Energetici (GSE), ente che eroga l’incentivo, o indiretti tramite le Energy Service Company (ESCO), società

accreditate secondo le indicazioni imposte dal D.Lgs 102/2014. Di seguito vengono sintetizzati gli interventi incentivabili e le modalità di erogazione dell'incentivo.

Tipologia di intervento	Soggetti ammessi	Durata dell'incentivo (anni)
Sostituzione di impianti di climatizzazione invernale tradizionali con impianti a pompa di calore aventi resa termica $\leq 35\text{kW}$.	PA e privati	2 (1 se spesa < 5000€)
Sostituzione di impianti di climatizzazione invernale tradizionali con impianti a pompa di calore aventi resa termica 35 - 2000 kW.	PA e privati	5
Sostituzione di scaldacqua elettrici tradizionali con scaldacqua a pompa di calore.	PA e privati	2
Sostituzione di impianti di climatizzazione invernale tradizionali con sistemi ibridi a pompa di calore aventi resa termica $\leq 35\text{kW}$.	PA e privati	2 (1 se spesa < 5000€)
Sostituzione di impianti di climatizzazione invernale tradizionali con sistemi ibridi a pompa di calore aventi resa termica $> 35\text{kW}$.	PA e privati	5

Tabella 1.3 – *Interventi incentivabili in accordo con D.LGS. 102/2014*

Di seguito la procedura di calcolo dell'incentivo:

$$I_{tot} = E_i * C_i$$

dove:

- I_{tot} è l'incentivo totale in un anno, valutato in euro;
- C_i è il coefficiente di valorizzazione dell'energia termica prodotta, valutato in €/kWh_t e definito nell'allegato II del DM 16/02/16;

- E_i è l'energia termica incentivata, prodotta in un anno, valutata in kWh_t e calcolata secondo quanto segue:

$$E_i = Q_u * \left(1 - \frac{1}{COP}\right)$$

- COP è il coefficiente di prestazione della PdC, dedotto dai dati forniti dal produttore (tale valore, ai fini di accesso all'incentivo, dovrà rispettare i vincoli imposti all'allegato I del DM 16/02/16).
- Q_u è il calore totale prodotto dall'impianto, valutato in kWh_t e calcolato secondo quanto segue:

$$Q_u = P_n * Q_{uf}$$

- P_n è la potenza nominale termica dell'unità installata;
- Q_{uf} è il coefficiente di utilizzo dell'unità dipendente dalla zona climatica in cui è installata la stessa (dati riportati nell'allegato II del DM 16/02/16).

Zona climatica	Q_{uf}
A	600
B	850
C	1100
D	1400
E	1700
F	1800

Tabella 1.4 – Coefficienti di utilizzo

Tipo pompa di calore	COP minimo	Denominazione commerciale	Potenza termica utile Pn	Coefficiente Ci
Aria / Aria	3,9	Split e multisplit	<= 35 kW	0,06
			> 35 kW	0,045
		VRF	<= 35 kW	0,12
			> 35 kW	0,045
Aria / Acqua	4,1	Idronico	<= 35 kW	0,11
	3,8		> 35 kW	0,045

Tabella 1.4 – Coefficienti di valorizzazione dell'energia termica

1.4. LEED

L'acronimo LEED - Leader in Energy and Environmental Design – identifica un sistema di certificazione volontaria, applicabile sia ad edifici commerciali che residenziali, allo scopo di valutare l'efficienza energetica e stimare l'impatto ambientale che concerne tutto il ciclo di vita dell'edificio stesso, dalla progettazione alla costruzione. Tale programma di certificazione nasce negli Stati Uniti intorno alla fine degli anni '90: il primo programma LEED fu sviluppato dalla USGBC - Unites States Green Building Council. Il principale obiettivo era quello di promuovere, a livello globale, la progettazione sostenibile, andando a valutare le ripercussioni ambientali degli edifici durante l'intero ciclo vita: dalla progettazione alla dismissione, passando per costruzione, gestione e manutenzione. Tale certificazione, riconosciuta a livello globale, ha un notevole impatto sul valore dell'immobile, tanto da invogliare sempre di più gli operatori del mercato immobiliare ad investire nella progettazione sostenibile.

Il sistema LEED è uno degli standard di certificazione più diffusi al mondo: nasce negli Stati Uniti ma si afferma velocemente in diversi Paesi della comunità mondiale come nuovo standard per la progettazione Eco-Sostenibile. In Italia, il primo protocollo LEED fu introdotto nel 2010, per merito di enti e associazioni, tra cui GBC Italia – Green British Council Italia.

In base alla tipologia di edificio, commerciale, istituzionale o residenziale, esiste un Protocollo preciso:

- LEED Nuove Costruzioni e ristrutturazioni, può essere applicato a edifici di nuova edificazione o ristrutturazione ad uso commerciale, quali ad esempio uffici, negozi, alberghi, edifici istituzionali (librerie, musei, chiese, ...), ma anche ad edifici ad uso residenziale con almeno quattro piani abitabili.
- GBC Home, versione italiana di LEED for Homes, riguarda gli edifici ad uso residenziale che non superano i quattro piani abitabili.
- LEED Scuole, si applica alle attività di progettazione e costruzione di nuovi complessi scolastici e per ristrutturazioni rilevanti di edifici scolastici dalla scuola primaria alla scuola secondaria superiore.
- LEED Quartieri è uno strumento che si applica sia a interventi di nuova costruzione che di rigenerazione e riqualificazione urbana, non impone un ambito prescrittivo di applicazione, né una specifica destinazione d'uso dell'area che si intende certificare. Le dimensioni dell'area possono andare da un minimo di due edifici fino ad aree di dimensioni più vaste, fino ad arrivare ai quartieri urbani.

- LEED Historic Building è basato sui protocolli LEED Nuove Costruzioni e ristrutturazioni e GBC Home colmando le lacune (gap) per quanto riguarda gli interventi di conservazione, riqualificazione, recupero e integrazione di edifici storici. Per edificio storico si intende un edificio che può essere riconducibile all'interno dell'ultimo ciclo storico concluso, ovvero prima del 1945 e dell'industrializzazione edilizia. Se l'edificio è costruito prima del 1945 per una porzione che va dal 50% al 70% si può scegliere se applicare questo standard oppure LEED NC e GBC Home, per una quota inferiore al 50% Historic Building non può essere applicato.

L'iter di certificazione consiste nell'assegnazione di un punteggio, ottenuto in base alle caratteristiche dell'edificio. La valutazione si articola in alcune categorie distinte: per ogni categoria, l'edificio dovrà necessariamente avere tutti i prerequisiti richiesti ed ottenere, in base alle caratteristiche del progetto, un numero definito di crediti. Il punteggio della categoria viene definito in base ai crediti conseguiti e la somma dei punteggi di tutte le categorie, costituisce il fine della valutazione.

Le categorie da valutare sono:

- Sostenibilità del Sito (26 punti max): si affrontano gli aspetti legati al sito dell'edificio e al rapporto di questo con l'ambiente circostante. L'obiettivo principale è limitare l'impatto generato dalle attività di costruzione, ed introdurre modalità e tecniche costruttive rispettose degli equilibri dell'ecosistema.
- Gestione delle Acque (10 punti max): si affrontano le tematiche ambientali legate alla gestione delle acque negli edifici, dall'utilizzo allo smaltimento, monitorando l'efficienza dei flussi d'acqua e promuovendo la riduzione dei consumi idrici.
- Energia ed Atmosfera (35 punti max): viene promosso il miglioramento delle prestazioni energetiche degli edifici, l'impiego di energia proveniente da fonti rinnovabili o alternative e il controllo delle prestazioni energetiche dell'edificio.
- Materiali e Risorse (14 punti max): si prendono in considerazione gli aspetti ambientali correlati alla selezione dei materiali, valutando l'impatto che hanno durante l'intero ciclo vita. Viene promosso l'utilizzo di materiali riciclati.
- Qualità ambientale Interna (15 punti max): si affrontano le tematiche ambientali relative alla qualità dell'ambiente interno, che riguardano la salubrità, la sicurezza e il comfort, il consumo di energia, l'efficacia del cambio d'aria e il controllo della contaminazione dell'aria.

- *Innovazione nella Progettazione (6 punti max)*: si identificano gli aspetti del progetto che lo rendono innovativo e applicabile alle politiche di sostenibilità nella realizzazione di edifici.
- *Priorità Regionale (4 punti max)*: ha lo scopo di indirizzare i gruppi di progettazione al fine di focalizzare l'attenzione su caratteristiche ambientali del tutto uniche e peculiari della località in cui è situato il progetto.

Sommando i punteggi ottenuti in tutte le sezioni elencate, si ottiene il punteggio finale dal quale deriva il livello di certificazione. Ci sono quattro livelli di certificazione:

- LEED Base, punteggio 40 – 49
- LEED Argento, punteggio 50 – 59
- LEED Gold, punteggio 60 – 79
- LEED Platino, punteggio maggiore di 79



Figura 1.2 – Livelli di certificazione LEED

L'iter di certificazione si suddivide in diversi step: il primo passo riguarda la candidatura del proprio progetto alla certificazione LEED registrandosi sul sito di GBC Italia, dimostrando il superamento dei requisiti minimi di programma oltre che dei prerequisiti del sistema di certificazione; successivamente si può completare la procedura di registrazione.

La certificazione si divide in due fasi: progettazione e costruzione.

- Nella fase di progettazione, che costituisce la fase preliminare per la certificazione, i crediti possono essere accettati o no, ma si tratta solo di un'anticipazione a titolo orientativo: viene fatta una stima sui crediti ottenibili.

- Nella fase di costruzione viene fornita tutta la documentazione che attesta o meno il superamento dei requisiti rimanenti e bisogna specificare se ci sono state variazioni rispetto alle specifiche di progetto.

Il GBCI – *Green Building Certification Institute* – provvede poi alla verifica finale sul conseguimento dei requisiti ed emette il documento finale con il livello di certificazione opportuno.

Le figure seguenti mostrano le schede di punteggio per ogni singola categoria negli standard Nuove Costruzioni e Ristrutturazioni, GBC HOME e Historic Building. Accanto a ciascuna categoria è segnato il massimo punteggio conseguibile, i prerequisiti sono segnati obbligatori, mentre accanto ad ogni singolo credito è scritto un numero che consiste nel massimo punteggio conseguibile per quel dato credito. Accanto ad alcuni crediti vi è un disegno che indica i crediti per cui sono disponibili punti di prestazione esemplare (si intende un miglioramento netto del livello prestazionale normalmente richiesto per l'ottenimento dei crediti).

Sostenibilità del Sito				Punteggio massimo: 26			
SI	?	NO	Prereq. 1	Prevenzione dell'inquinamento da attività di cantiere	Obbligatorio		
			Credito 1	Selezione del sito	1		
			Credito 2	Densità edilizia e vicinanza ai servizi	5		
			Credito 3	Recupero e riqualificazione dei siti contaminati	1		
			Credito 4.1	Trasporti alternativi: accesso ai trasporti pubblici	6		
			Credito 4.2	Trasporti alternativi: portabiciclette e spogliatoi	1		
			Credito 4.3	Trasporti alternativi: veicoli a bassa emissione e a carburante alternativo	3		
			Credito 4.4	Trasporti alternativi: capacità dell'area di parcheggio	2		
			Credito 5.1	Sviluppo del sito: proteggere e ripristinare l'habitat	1		
			Credito 5.2	Sviluppo del sito: massimizzazione degli spazi aperti	1		
			Credito 6.1	Acque meteoriche: controllo della quantità	1		
			Credito 6.2	Acque meteoriche: controllo della qualità	1		
			Credito 7.1	Effetto isola di calore: superfici esterne	1		
			Credito 7.2	Effetto isola di calore: coperture	1		
			Credito 8	Riduzione dell'inquinamento luminoso	1		

Gestione delle Acque				Punteggio massimo: 10			
SI	?	NO	Prereq. 1	Riduzione dell'uso dell'acqua	Obbligatorio		
			Credito 1	Gestione efficiente delle acque a scopo irriguo	2-4		
				Riduzione dei consumi del 50%	2		
				Nessun uso di acqua potabile per l'irrigazione	4		
			Credito 2	Tecnologie innovative per le acque reflue	2		
			Credito 3	Riduzione dell'uso dell'acqua	2-4		
				Riduzione del 30%	2		
				Riduzione del 35%	3		
				Riduzione del 40%	4		

Energia e Atmosfera				Punteggio massimo: 35			
SI	?	NO	Prereq. 1	Commissioning di base dei sistemi energetici dell'edificio	Obbligatorio		
SI	?	NO	Prereq. 2	Prestazioni energetiche minime	Obbligatorio		
SI	?	NO	Prereq. 3	Gestione di base dei fluidi refrigeranti	Obbligatorio		
			Credito 1	Ottimizzazione delle prestazioni energetiche	1-19		
				Riduzione del fabbisogno:			
				10% per Nuove costruzioni e di 5% per Ristrutturazioni	1		
				12% per Nuove costruzioni e di 8% per Ristrutturazioni	2		
				16% per Nuove costruzioni e di 12% per Ristrutturazioni	3		
				18% per Nuove costruzioni e di 14% per Ristrutturazioni	4		
				20% per Nuove costruzioni e di 16% per Ristrutturazioni	5		
				22% per Nuove costruzioni e di 18% per Ristrutturazioni	6		
				24% per Nuove costruzioni e di 20% per Ristrutturazioni	7		
				26% per Nuove costruzioni e di 22% per Ristrutturazioni	8		
				28% per Nuove costruzioni e di 24% per Ristrutturazioni	9		
				30% per Nuove costruzioni e di 26% per Ristrutturazioni	10		
				32% per Nuove costruzioni e di 28% per Ristrutturazioni	11		
				34% per Nuove costruzioni e di 30% per Ristrutturazioni	12		
				36% per Nuove costruzioni e di 32% per Ristrutturazioni	13		
				38% per Nuove costruzioni e di 34% per Ristrutturazioni	14		
				40% per Nuove costruzioni e di 36% per Ristrutturazioni	15		
				42% per Nuove costruzioni e di 38% per Ristrutturazioni	16		
				44% per Nuove costruzioni e di 40% per Ristrutturazioni	17		
				46% per Nuove costruzioni e di 42% per Ristrutturazioni	18		
				48% per Nuove costruzioni e di 44% per Ristrutturazioni	19		
			Credito 2	Produzione in sito di energie rinnovabili	1-7		
				2.5% di energie rinnovabili	1		
				5% di energie rinnovabili	2		
				7.5% di energie rinnovabili	3		
				10% di energie rinnovabili	4		
				12.5% di energie rinnovabili	5		
				15% di energie rinnovabili	6		
				17.5% di energie rinnovabili	7		
			Credito 3	Commissioning avanzato dei sistemi energetici	2		
			Credito 4	Gestione avanzata dei fluidi refrigeranti	2		
			Credito 5	Misure e collaudi	3		
			Credito 6	Energia verde	2		

Materiali e Risorse				Punteggio massimo: 14			
SI	?	NO	Prereq. 1	Raccolta e stoccaggio dei materiali riciclabili	Obbligatorio		
			Credito 1.1	Riutilizzo degli edifici: mantenimento di murature, solai e coperture esistenti	1-3		
				Riutilizzo del 55%	1		
				Riutilizzo del 75%	2		
				Riutilizzo del 95%	3		
			Credito 1.2	Riutilizzo degli edifici: mantenimento del 50% degli elementi non strutturali interni	1		
			Credito 2	Gestione dei rifiuti da costruzione	1-2		
				50% di Contenuto riciclato o recuperato	1		
				75% di Contenuto riciclato o recuperato	2		
			Credito 3	Riutilizzo dei materiali	1-2		
				Riutilizzo del 5%	1		
				Riutilizzo del 10%	2		
			Credito 4	Contenuto di riciclato	1-2		
				10% di Contenuto	1		
				20% di Contenuto	2		
			Credito 5	Materiali estratti, lavorati e prodotti a distanza limitata (materiali regionali)	1-2		
				10% di materiali	1		
				20% di materiali	2		
			Credito 6	Materiali rapidamente rinnovabili	1		
			Credito 7	Legno certificato	1		

Qualità ambientale Interna				Punteggio massimo: 15			
SI	?	NO	Prereq. 1	Prestazioni minime per la qualità dell'aria	Obbligatorio		
SI	?	NO	Prereq. 2	Controllo ambientale del fumo di tabacco	Obbligatorio		
			Credito 1	Monitoraggio della portata dell'aria di rinnovo	1		
			Credito 2	Incremento della ventilazione	1		
			Credito 3.1	Piano di gestione IAQ: Fase costruttiva	1		
			Credito 3.2	Piano di Gestione IAQ: prima dell'occupazione	1		
			Credito 4.1	Materiali basso emissivi: adesivi, primers, sigillanti, materiali cementizi e finiture per legno	1		
			Credito 4.2	Materiali basso emissivi: pitture	1		
			Credito 4.3	Materiali basso emissivi: pavimentazioni	1		
			Credito 4.4	Materiali basso emissivi: prodotti in legno composito e fibre vegetali	1		
			Credito 5	Controllo delle fonti chimiche ed inquinanti indoor	1		
			Credito 6.1	Controllo e gestione degli impianti: illuminazione	1		
			Credito 6.2	Controllo e gestione degli impianti: comfort termico	1		
			Credito 7.1	Comfort termico: progettazione	1		
			Credito 7.2	Comfort termico: verifica	1		
			Credito 8.1	Luce naturale e visione: luce naturale per il 75% degli spazi	1		
			Credito 8.2	Luce naturale e visione: visuale esterna per il 90% degli spazi	1		

Innovazione nella Progettazione				Punteggio massimo: 6			
SI	?	NO	Credito 1.1	Innovazione nella Progettazione: titolo specifico	1		
			Credito 1.2	Innovazione nella Progettazione: titolo specifico	1		
			Credito 1.3	Innovazione nella Progettazione: titolo specifico	1		
			Credito 1.4	Innovazione nella Progettazione: titolo specifico	1		
			Credito 1.5	Innovazione nella Progettazione: titolo specifico	1		
			Credito 2	Professionista Accreditato LEED (LEED AP)	1		

Priorità Regionale				Punteggio massimo: 4			
SI	?	NO	Credito 1.1	Priorità Regionale: credito specifico	1		
			Credito 1.2	Priorità Regionale: credito specifico	1		
			Credito 1.3	Priorità Regionale: credito specifico	1		
			Credito 1.4	Priorità Regionale: credito specifico	1		

Totale				Punteggio massimo: 110			
LEED 2009 Italia Nuove Costruzioni e Ristrutturazioni				100 punti base; 10 punti possibili per Innovazione nella Progettazione e Priorità Regionale			
Base 40 - 49 punti				Argento 50 - 59 punti			
Oro 60 - 79 punti				Platino 80 e oltre			

Figura 1.3 – Suddivisione dei crediti protocollo LEED Nuove costruzioni e ristrutturazioni



GBC HISTORIC BUILDING™ SCHEDA DI PUNTEGGIO

Valenza Storica			18			Materiali e Risorse			12		
SI	NO	?				SI	NO	?			
SI			Prereq. 1	Indagini conoscitive preliminari	Obbligatorio	SI			Prereq. 1	Raccolta e stoccaggio dei materiali riciclabili	Obbligatorio
			Credito 1.1	Indagini conoscitive avanzate: indagini energetiche	2-4 punti	SI			Prereq. 2	Gestione dei rifiuti da demolizione e costruzione	Obbligatorio
			Credito 1.2	Indagini conoscitive avanzate: indagini diagnostiche su materiali e forme di degrado	2 punti	SI			Prereq. 3	Riutilizzo degli edifici	Obbligatorio
			Credito 1.3	Indagini conoscitive avanzate: indagini diagnostiche sulle strutture e monitoraggio strutturale	2-3 punti				Credito 1	Riutilizzo degli edifici: mantenimento del 85% degli elementi tecnici e delle finiture esistenti	2 punti
			Credito 2	Piano di manutenzione programmata	2 punti				Credito 2	Gestione dei rifiuti del cantiere	2 punti
			Credito 3	Reversibilità dell'intervento conservativo	1-2 punti				Credito 3	Riutilizzo dei materiali storici	1-2 punti
			Credito 4.1	Compatibilità dei materiali integrati: compatibilità chimico-fisica	2 punti				Credito 4	Ottimizzazione ambientale dei prodotti	2-4 punti
			Credito 4.2	Compatibilità dei materiali integrati: compatibilità strutturale rispetto alla struttura esistente	2 punti				Credito 5	Materiali estratti, lavorati e prodotti a distanza limitata	1-2 punti
			Credito 5	Specialista in restauro dei Beni Architettonici e del Paesaggio	1 punto						
Sostenibilità del Sito			16			Qualità Ambientale Interna			13		
SI	NO	?				SI	NO	?			
SI			Prereq. 1	Prevenzione dell'inquinamento da attività di cantiere	Obbligatorio	SI			Prereq. 1	Prestazioni minime per la qualità dell'aria (IAQ)	Obbligatorio
			Credito 1	Cantiere di restauro sostenibile	2 punti	SI			Prereq. 2	Controllo ambientale del fumo di tabacco	Obbligatorio
			Credito 2.1	Recupero e riqualificazione dei siti degradati: degrado ambientale	2 punti				Credito 1	Monitoraggio dell'aria	1 punto
			Credito 2.2	Recupero e riqualificazione dei siti degradati: degrado urbano	2 punti				Credito 2	Valutazione della portata di aria esterna minima	1 punto
			Credito 3.1	Trasporti alternativi: accesso ai trasporti pubblici	1 punto				Credito 3.1	Piano di gestione della qualità dell'aria indoor: fase costruttiva	1 punto
			Credito 3.2	Trasporti alternativi: portabiciclette e spogliatoi	1 punto				Credito 3.2	Piano di gestione della qualità dell'aria indoor: prima dell'occupazione	1 punto
			Credito 3.3	Trasporti alternativi: veicoli a bassa emissione e a carburante alternativo	1 punto				Credito 4.1	Materiali basso emissivi: adesivi e sigillanti	1 punto
			Credito 3.4	Trasporti alternativi: capacità dell'area parcheggio	1 punto				Credito 4.2	Materiali basso emissivi: vernici e rivestimenti	1 punto
			Credito 4	Sviluppo del sito: recupero degli spazi aperti	1 punto				Credito 4.3	Materiali basso emissivi: sistemi con pavimentazioni resilienti	1 punto
			Credito 5	Acque meteoriche: controllo della quantità e della qualità	2 punti				Credito 4.4	Materiali basso emissivi: prodotti in legno composito e fibre vegetali	1 punto
			Credito 6	Effetto isola di calore: superfici esterne e coperture	2 punti				Credito 5	Controllo delle fonti chimiche ed inquinanti indoor	1 punto
			Credito 7	Riduzione dell'inquinamento luminoso	1 punto				Credito 6.1	Controllo e gestione degli impianti: illuminazione	1 punto
									Credito 6.2	Controllo e gestione degli impianti: comfort termico	1 punto
									Credito 7.1	Comfort termico: progettazione	1 punto
									Credito 7.2	Comfort termico: verifica	1 punto
Gestione delle Acque			10			Innovazione nella Progettazione			6		
SI	NO	?				SI	NO	?			
SI			Prereq. 1	Riduzione dell'uso di acqua	Obbligatorio	SI			Credito 1	Innovazione nella progettazione	1-5 punti
			Credito 1	Gestione efficiente delle acque per usi esterni	2-4 punti				Credito 2	Professionista accreditato GBC	1 punto
			Credito 3	Riduzione dell'uso dell'acqua	2-4 punti						
			Credito 4	Misura dei volumi di acqua consumata	2 punti						
Energia e Atmosfera			31			Priorità Regionale			4		
SI	NO	?				SI	NO	?			
SI			Prereq. 1	Commissioning di base dei sistemi energetici	Obbligatorio	SI			Credito 1	Priorità regionale	1-4 punti
SI			Prereq. 2	Prestazioni energetiche minime	Obbligatorio						
SI			Prereq. 3	Gestione di base dei fluidi refrigeranti	Obbligatorio						
			Credito 1	Ottimizzazione delle prestazioni energetiche	1-19 punti						
			Credito 2	Energie rinnovabili	1-6 punti						
			Credito 3	Commissioning avanzato dei sistemi energetici	2 punti						
			Credito 4	Gestione avanzata dei fluidi refrigeranti	1 punto						
			Credito 5	Misure e collaudi	3 punti						
						Totale			Punteggio massimo conseguibile: 110		

Livelli di certificazione:
 - Base: 40 - 49 punti;
 - Argento: 50 - 59 punti;
 - Oro: 60 - 79 punti;
 - Platino: 80 e oltre.



Figura 1.4 – Suddivisione dei crediti protocollo GBC Historic Building



SI	?	NO	Sostenibilità del Sito	Punteggio massimo: 25
SI			Prereq. 1 Controllo dell'erosione durante la costruzione	Obbligatorio
			Credito 1 Selezione del sito	2
			Credito 2 Modalità insediative	2
			Credito 3 Densità edilizia	3
			Credito 4 Vicinanza ai servizi	2
			Credito 5 Vicinanza ai trasporti collettivi	2
			Credito 6 Gestione del sito	2
			Credito 7 Spazi verdi	3
			Credito 8 Effetto isola di calore: superfici esterne	2
			Credito 9 Effetto isola di calore: coperture	1
			Credito 10 Gestione acque meteoriche	2
			Credito 11 Aree comuni: spazi di relazione e spazi comuni	1-4
			Spazi di relazione interni	2
			Spazi di relazione esterni	1
			Spazi per il deposito delle biciclette	1
SI	?	NO	Gestione delle Acque	Punteggio massimo: 10
SI			Prereq. 1 Riduzione del consumo delle acque ad uso domestico	Obbligatorio
			Credito 1 Riduzione del consumo delle acque ad uso domestico	1-6
			Riduzione dei consumi del 25%	1
			Riduzione dei consumi del 30%	2
			Riduzione dei consumi del 35%	3
			Strategie per il recupero di acque non potabili	3
			Credito 2 Riduzione del consumo delle acque a scopo irriguo	1-4
SI	?	NO	Energia e Atmosfera	Punteggio massimo: 30
			Approccio prestazionale Punteggio massimo: 30	
			Prereq. 1 Prestazioni energetiche minime	Obbligatorio
			Prereq. 5 Gestione dei fluidi refrigeranti	Obbligatorio
			Credito 1 Ottimizzazione delle prestazioni energetiche	2-27
			Procedura semplificata	2-20
			Simulazione termonegetica in regime dinamico	2-27
			Credito 6 Produzione e distribuzione efficiente di acqua calda sanitaria	1-3
			Approccio prescrittivo Punteggio massimo: 30	
			Prereq. 2 Prestazioni minime dell'involucro opaco	Obbligatorio
			Prereq. 3 Tenuta all'aria del sistema involucro	Obbligatorio
			Prereq. 4 Prestazioni minime dell'involucro trasparente	Obbligatorio
			Prereq. 5 Gestione dei fluidi refrigeranti	Obbligatorio
			Credito 2 Prestazioni avanzate dell'involucro opaco	2
			Credito 3 Prestazioni avanzate di tenuta all'aria del sistema involucro	2-3
			Miglioramento prestazionale	2
			Massimizzazione prestazionale	3
			Credito 4 Prestazioni avanzate dell'involucro trasparente	2-3
			Miglioramento prestazionale	2
			Massimizzazione prestazionale	3
			Credito 5 Prestazioni avanzate dei sistemi di distribuzione dei fluidi per la climatizzazione invernale ed estiva	1-4
			Sistemi che prevedono una climatizzazione basata su un sistema ad aria	2
			Sistemi che prevedono una climatizzazione basata su un sistema ad acqua	2
			Sistemi misti	4
			Credito 6 Produzione e distribuzione efficiente di acqua calda sanitaria	1-3
			Efficiente distribuzione di acqua calda	1
			Isolamento delle tubazioni	1
			Dispositivi produzione acqua calda sanitaria ad alta efficienza	1
			Credito 7 Illuminazione	1-2
			Credito 8 Elettrodomestici	1-3
			Elettrodomestici ad alta efficienza	1
			Elettrodomestici in grado di sfruttare la produzione di acqua calda in carico all'impianto	2
			Credito 9 Produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili	1-7
			3% di energie rinnovabili	1
			6% di energie rinnovabili	2
			9% di energie rinnovabili	3
			12% di energie rinnovabili	4
			15% di energie rinnovabili	5
			18% di energie rinnovabili	6
			21% di energie rinnovabili	7
			Credito 10 Efficienza dei sistemi di generazione per la climatizzazione invernale ed estiva	1-3
SI	?	NO	Materiali e Risorse	Punteggio massimo: 15
SI			Prereq. 1 Raccolta e stoccaggio dei materiali riciclabili	Obbligatorio
SI			Prereq. 2 Gestione dei rifiuti da costruzione	Obbligatorio
			Credito 1 Riutilizzo di elementi strutturali e non strutturali degli edifici	1-3
			Involucro e strutture 70%	1
			Partizioni interne 50%	1
			Finiture 30%	1
			Credito 2 Gestione dei rifiuti da costruzione	1-2
			75% rifiuti riciclati o recuperati	1
			95% rifiuti riciclati o recuperati	2
			Credito 3 Materiali a bassa emissione	1-3
			70% materiali a bassa emissione	1
			80% materiali a bassa emissione	2
			90% materiali a bassa emissione	3
			Credito 4 Contenuto di riciclato	1-2
			10% contenuto di riciclato	1
			20% contenuto di riciclato	2
			Credito 5 Materiali estratti, lavorati e prodotti a distanza limitata (materiali regionali)	1-2
			10% materiali regionali	1
			20% materiali regionali	2
			Credito 6 Materiali derivanti da fonti rinnovabili	2
			Credito 7 Legno certificato	1
SI	?	NO	Qualità ambientale Interna	Punteggio massimo: 20
SI			Prereq. 1 Controllo dell'emissione di gas di combustione	Obbligatorio
SI			Prereq. 2 Protezione dagli inquinanti provenienti dal garage	Obbligatorio
SI			Prereq. 3 Protezione dal radon	Obbligatorio
SI			Prereq. 4 Controllo dei contaminanti indoor	Obbligatorio
SI			Prereq. 5 Sistemi di estrazione	Obbligatorio
			Credito 1 Ventilazione con aria esterna	1-3
			Credito 2 Misure per il miglioramento della ventilazione dei fumi da combustione	1
			Credito 3 Controllo dell'umidità	1
			Credito 4 Sistemi di estrazione: avanzato e verifica	1-2
			Avanzato	1
			Verifica da parte terza	1
			Credito 5 Distribuzione degli spazi riscaldati e raffrescati	2-5
			Sistemi di ventilazione meccanica o impianti a "tuff'aria"	2
			Sistemi HVAC senza condotti o sistemi idronici	3
			Sistemi misti	5
			Credito 6 Sistemi di filtrazione dell'aria: avanzato	1
			Credito 7 Controllo dei contaminanti indoor in fase di costruzione	1
			Credito 8 Protezione avanzata dal radon	1
			Credito 9 Protezione avanzata dagli inquinanti provenienti dal garage	1
			Credito 10 Fattore di luce diurna	1-2
			3% < Fattore di Luce Diurna < 4%	1
			Fattore di Luce Diurna ≥ 4%	1
			Credito 11 Acustica	2
SI	?	NO	Innovazione nella Progettazione	Punteggio massimo: 10
			Credito 1 Professionista Qualificato GBC HOME	1
			Credito 2 Progettazione integrata	1-3
			Progettazione integrata	2
			Charrette di progetto	1
			Credito 3 Uso e manutenzione dell'edificio	1
			Credito 4 Innovazione nella progettazione e priorità regionale	1-5
			Innovazione nella Progettazione	max 3
			Prestazione Esemplare	max 3
			Priorità Regionale	max 3
Totale				Punteggio massimo: 110

GBC HOME™ - Edifici residenziali Edizione 2011

100 punti base; 10 punti opzionali per Innovazione nella Progettazione

Base 40 - 49 punti

Argento 50 - 59 punti

Oro 60 - 79 punti

Platino 80 e oltre



I punteggi soglia per i diversi livelli sono applicati attraverso un criterio di ponderazione che tiene conto della dimensione dell'edificio specifico.

Figura 1.5 – Suddivisione dei crediti protocollo GBC Home

CAPITOLO 2

Impianti di Climatizzazione

Lo scopo degli impianti di climatizzazione è quello di mantenere in ambiente una condizione termo-igrometrica confortevole, in accordo con le teorie vigenti in merito. Infatti, a differenza degli impianti di condizionamento che vanno a regolare solamente la temperatura, gli impianti di climatizzazione regolano non solo la temperatura dell'aria ambiente, ma anche il livello di umidità relativa e la qualità dell'aria. In questo capitolo, si scende nel dettaglio di ogni tipologia di impianto e se ne descrivono le possibili configurazioni.

2.1. Classificazione degli impianti HVAC

La classificazione degli impianti di climatizzazione dipende sostanzialmente dal posizionamento delle unità terminali interne, alle quali è affidato l'onere di mantenere in ambiente le condizioni imposte. In base a ciò, è possibile distinguere gli impianti in:

- Impianti ad aria: il terminale viene posizionato “fuori” dall'ambiente da climatizzare e collegato ad esso mediante canalizzazioni. L'aria in ingresso scambia energia con quella in ambiente, portandola alle condizioni imposte a progetto.
- Impianti ad acqua: il terminale viene posizionato “dentro” l'ambiente da climatizzare. L'acqua del circuito idraulico scambia energia direttamente in ambiente secondo le condizioni imposte.
- Impianti misti: in tal caso, parte dell'energia viene fornita dai terminali all'interno e parte dalle canalizzazioni entranti in ambiente. In questi tipi di impianti, allo scopo di mantenere le condizioni imposte, la parte ad acqua va a regolare la temperatura degli ambienti, mentre la parte ad aria va ad influire sulla qualità.

Una seconda distinzione può essere fatta in funzione al tipo di fluido che alimenta le batterie di scambio termico dei terminali. In tal senso, è possibile distinguere due tipi di impianti:

- Impianti a fluido intermedio: il fluido termovettore, tipicamente o acqua o acqua glicolata, separa il circuito frigorifero e l'ambiente da climatizzare. In tali impianti, l'acqua che esce dal chiller/pompa di calore, va ad alimentare le batterie di scambio presenti nei terminali, sottraendo/cedendo calore all'aria che le attraversa.
- Impianti ad espansione diretta: le batterie di scambio dei terminali sono alimentate dal refrigerante del circuito frigorifero e costituiscono, in base al regime di funzionamento, l'evaporatore o il condensatore dello stesso. In tal caso non è presente un circuito intermedio tra la componente frigorifera e l'ambiente, in quanto, il circuito frigorifero coincide con l'impianto di climatizzazione.

Un'ulteriore distinzione può essere fatta in funzione alla capacità di soddisfare, contemporaneamente, i fabbisogni di riscaldamento e raffrescamento, o meno: infatti, in particolari condizioni stagionali ed in base alla tipologia di edificio che si va a climatizzare, potrebbe presentarsi l'esigenza di riscaldare una porzione di immobile e raffrescare l'altra porzione. In base a tali configurazioni, vengono riportate di seguito tutte le tecnologie impiantistiche esistenti.

Impianti a fluido intermedio:

- *Impianti con terminale in ambiente (ad acqua)*
 - Fan-Coil a 2 tubi
 - Fan-Coil a 4 tubi
 - Pannelli radianti
- *Impianti con terminale remoto (ad aria)*
 - Impianti ad aria per singola zona con portata costante o variabile VAV
 - Impianti ad aria multizona con portata costante o variabile VAV
 - Impianti ad aria multizona con portata costante o variabile VAV e post-riscaldamento di zona
 - Impianti ad aria a doppio canale con portata costante o variabile VAV
- *Impianti misti*
 - Fan-Coil a 2 tubi con integrazione aria primaria
 - Fan-Coil a 4 tubi con integrazione aria primaria
 - Travi fredde

Impianti ad espansione diretta VRF:

- *Impianti con terminale in ambiente (a gas refrigerante)*
 - Unità ad espansione diretta VRF a 2 tubi

VRF a recupero di calore

- Impianti con terminale remoto (ad aria)

Unità ad espansione diretta VRF canalizzabili

- Impianti misti

Unità ad espansione diretta e/o VRF a 2 tubi con integrazione recuperatori di calore

VRF a recupero di calore con integrazione recuperatori di calore

2.2. Impianti a fluido intermedio

Come già detto, in tali tipologie di impianto gli ambienti da climatizzare sono separati dal circuito frigorifero mediante un circuito intermedio percorso da un fluido termovettore (il più delle volte acqua o acqua glicolata). Vi è dunque un doppio trasferimento di calore: in base al regime di funzionamento, il condensatore/evaporatore del circuito frigorifero scambia il calore di condensazione/evaporazione del refrigerante con il termovettore del circuito intermedio, il quale si scalda/raffredda; il termovettore, per mezzo di un adeguato sistema di pompaggio e attraverso le batterie di scambio termico poste nei terminali, scambia energia con l'aria nell'ambiente da climatizzare, cedendo o sottraendo calore. In base alla collocazione dei terminali è possibile distinguere gli impianti in impianti ad acqua, impianti ad aria e impianti misti.

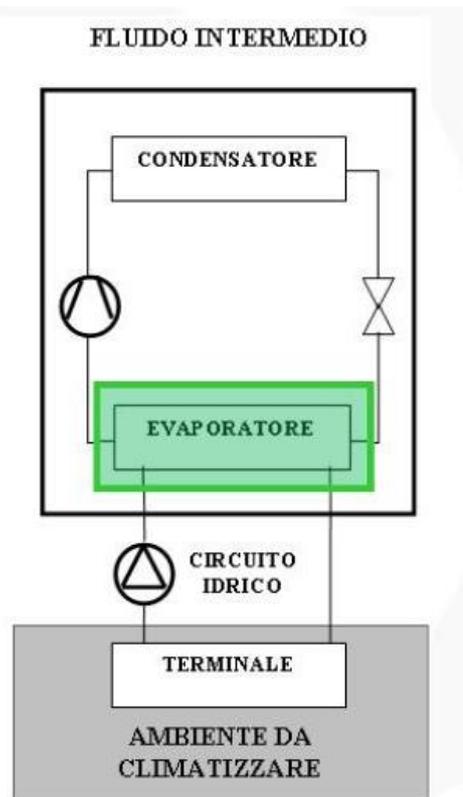


Figura 2.1 – *Impianto a fluido intermedio*

2.2.1. Impianti ad acqua

In questo tipo di impianti, la climatizzazione avviene per mezzo di terminali, alimentati ad acqua calda o refrigerata, posti negli ambienti da climatizzare. In questo caso, i terminali vengono denominati Fan-Coil in quanto sono costituiti qualitativamente da un ventilatore che pesca aria dall'ambiente e la invia alla batteria di scambio posta all'interno della carcassa del terminale. In base alla geometria e alla collocazione all'interno dell'ambiente, si distinguono i seguenti tipi di terminali:

- *Ventilconvettori*, o più comunemente fan coil, sono piccoli mobiletti che racchiudono il ventilatore, la batteria di scambio, la sezione filtrante e la bacinella di raccolta condensa. Vengono posti sulle pareti verticali di poco sopraelevati rispetto al pavimento e possono essere a vista o incassati. Trovano molta applicazione in ambito residenziale e nelle strutture alberghiere.
- *Pensili a parete*, che ricordano molto le unità interne dei sistemi monosplit, hanno avuto scarso successo in quanto non portano vantaggi rispetto ai fan coil

tradizionali e sono difficilmente camuffabili. Hanno trovato qualche applicazione in ambienti piccoli come le camere di edifici residenziali o qualche piccolo ufficio.

- *Cassette a soffitto*, sono terminali da incassare in controsoffitto, lasciando a vista solamente la parte inferiore, di forma quadrata o rettangolare, dedicata al lancio dell'aria. Sono molto simili, per tipologia di utilizzo, ai diffusori d'aria e trovano molta applicazione nei locali molto estesi di tipo commerciale. Rispetto alle altre due tipologie non sono ingombranti ma hanno un maggior impatto acustico.

Negli impianti ad acqua, i terminali “pescano” l'aria da trattare direttamente dagli ambienti interni, senza possibilità di rinnovare l'ambiente con aria esterna: per tale ragione, la loro applicazione va ricercata negli edifici dove è possibile avere un rinnovo dell'aria mediante infiltrazioni di aria esterna, come le unità abitative.

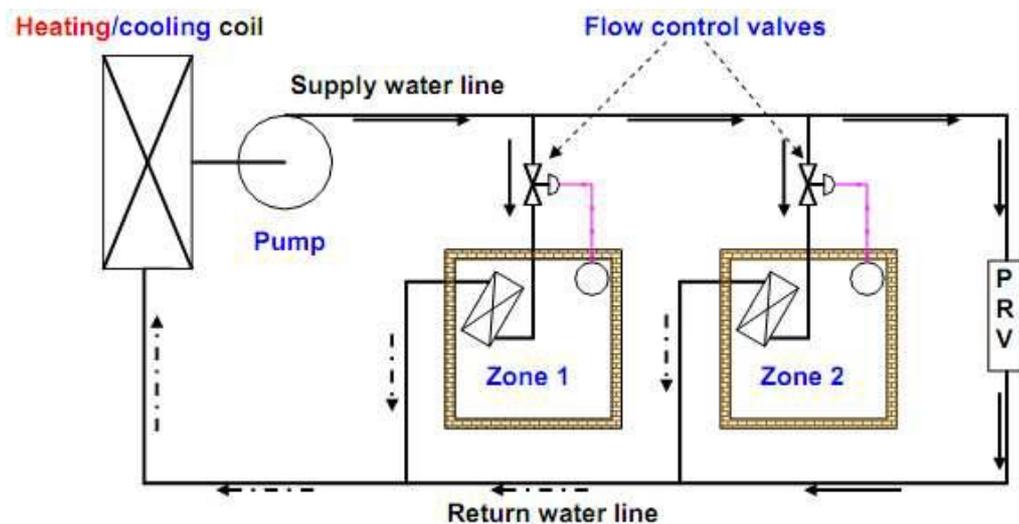


Figura 2.2 – Impianto a fluido intermedio con terminali in ambiente

Impianti a due tubi

La suddetta tipologia impiantistica prevede l'adozione di terminali con una sola batteria di scambio sia per l'estate che per l'inverno, il più delle volte a tre ranghi. Risulta essere abbastanza economico ma impone molti limiti sul controllo delle condizioni climatiche ambientali. Infatti, con i soli impianti a due tubi si può solo controllare la temperatura, lasciando incontrollate le variazioni di umidità relativa. Pertanto, in fase di progettazione, si deve controllare il solo soddisfacimento del carico sensibile degli ambienti. Tuttavia, è utile sovrastimare il carico di circa il 10%, per tener conto del decremento di efficienza del terminale nel tempo.

In fase di progetto, la scelta di un terminale si basa non solo sulla resa energetica associata al terminale, ma anche alla rumorosità del ventilatore e dunque alla velocità, alla portata di adduzione dell'acqua, alle temperature, senza trascurare le dimensioni. Tutti questi parametri sono tra loro collegati nella scelta del terminale più adatto al caso.

La resa energetica dipende molto dalla temperatura dell'acqua in ingresso. Risulta molto importante il controllo di tale temperatura, al fine di non avere effetti indesiderati: in fase invernale, è bene avere temperature dell'acqua in ingresso non molto elevate, in modo da non provocare notevoli variazioni di umidità relativa, ma sufficientemente elevate da garantire la resa termica; in fase estiva, il vincolo è quello di avere in ingresso acqua a temperatura inferiore alla temperatura di rugiada dell'aria in ambiente, in modo da favorire la deumidificazione dell'ambiente. I valori tipici di riferimento per le temperature dell'acqua in ingresso ai terminali, nei due regimi di funzionamento, sono 45°C in fase invernale e 7°C in fase estiva.

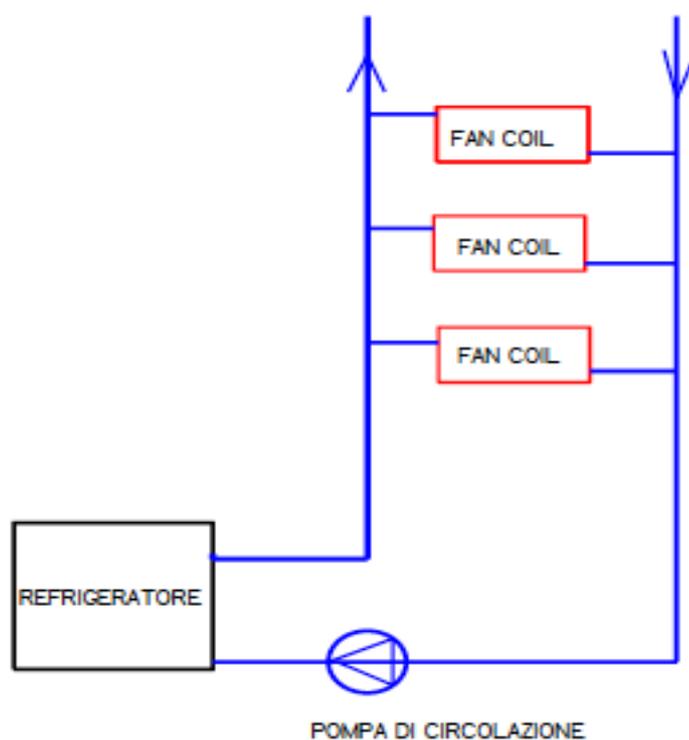


Figura 2.3 – *Impianto a fluido intermedio con terminali a 2 tubi*

Impianti a quattro tubi

Gli impianti ad acqua a quattro tubi hanno la caratteristica distintiva di climatizzare contemporaneamente locali diversi, con regolazione diversa e con carichi termici di segno opposto. Il terminale viene collegato a due circuiti distinti, percorsi rispettivamente da

acqua calda/fredda, prodotta da un singolo generatore polivalente o da due generatori distinti. Tale tipologia impiantistica prevede due tipologie di terminali:

- Terminali a doppia batteria (tradizionali);
- Terminali a singola batteria ad inversione esterna.

Bisogna precisare che il terminale a doppia batteria è caratterizzato da una notevole limitazione: per ragioni puramente dimensionali, la batteria calda è ad un unico rango. Per tale ragione, al fine di soddisfare il carico in riscaldamento, tale terminale richiede acqua a temperature superiori a quelle erogabili da una pompa di calore polivalente. Pertanto, tale soluzione potrebbe essere avallata nel caso in cui vi siano due generatori distinti e che il generatore di acqua calda sia una caldaia.

La soluzione con una singola batteria risulta essere la soluzione più semplice: il terminale è collegato contemporaneamente ai due circuiti e l'inversione avviene grazie a 2 valvole a tre vie on-off e a 2 valvole di ritegno, che hanno lo scopo di collegare la batteria alternativamente al circuito desiderato.

Tali tipologie impiantistiche hanno trovato molta applicazione negli edifici dove è possibile avere, soprattutto durante le mezze stagioni, richieste contemporanee di carico di segno opposto: si fa spesso riferimento agli edifici vetrati soggetti a varie esposizioni o aventi una pianta molto estesa.

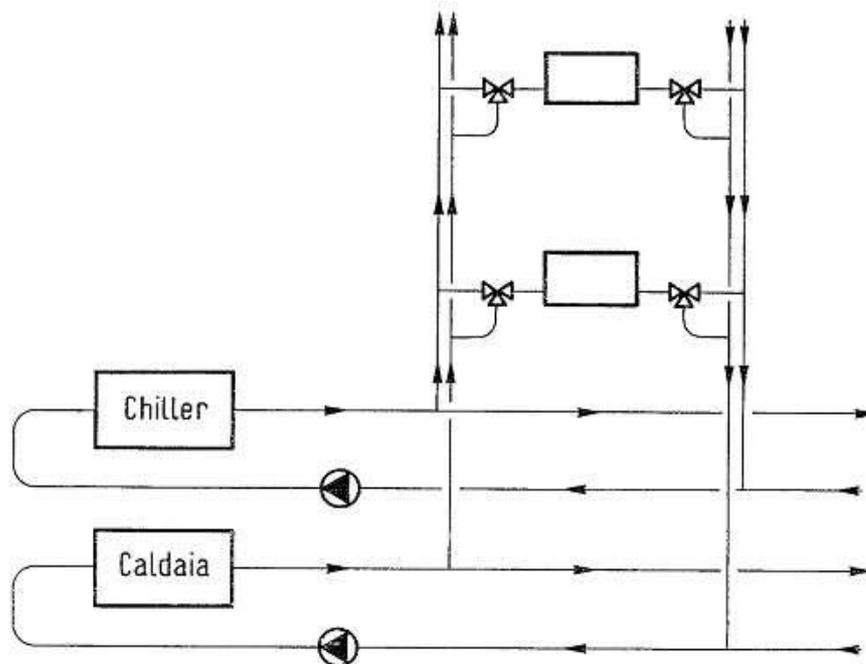


Figura 2.4 – *Impianto a fluido intermedio con terminali a 4 tubi*

Impianti a pannelli radianti

Gli impianti a pannelli radianti hanno avuto, negli ultimi anni, un notevole sviluppo, tanto da diventare, per alcune tipologie di edificio, gli impianti di riferimento. Esistono tre tipologie impiantistiche relative ai pannelli radianti:

- Pannelli radianti a pavimento;
- Pannelli radianti a soffitto;
- Pannelli radianti a parete.

L'adozione di sistemi a pavimento radiante risulta essere la soluzione più utilizzata, soprattutto nel settore residenziale: l'elevata capacità termica dell'impianto lo rende l'ideale per la climatizzazione delle unità abitative principali, caratterizzate da lunghi periodi di permanenza. Trattasi di una matrice di pannelli, messi insieme al fine di creare il circuito di riscaldamento. I pannelli sono caratterizzati da uno strato, chiamato massetto attivo, percorso da una lunga tubazione in modo da formare una serpentina: in fase di progetto, è determinante la scelta del diametro della tubazione e del passo tra le tubazioni che compongono la serpentina (da ciò ne deriva la resa energetica). Gli impianti a pavimento radiante risultano essere una soluzione efficiente e poco invasiva: l'estesa superficie di scambio che ne deriva permette, in fase di riscaldamento e raffrescamento, di utilizzare acqua a temperature non troppo alte (in fase di riscaldamento) o basse (in fase di raffrescamento), ottenendo come risultato un notevole risparmio energetico. Tuttavia, in regime estivo, la refrigerazione del pavimento, se non controllata, potrebbe favorire la formazione di condensa superficiale: al fine di evitare il fenomeno, in fase di progetto è consigliabile prevedere sensori di umidità e deumidificatori di zona.

Gli impianti a soffitto radiante costituiscono una valida alternativa ai sistemi a pavimento radiante, anche se caratterizzati da una capacità termica molto più bassa. In questo caso, i pannelli vengono messi adiacenti al solaio e separati dall'ambiente con una lastra di alluminio e uno strato di cartongesso. Anche in questo caso è molto importante il controllo della temperatura superficiale, soprattutto nel periodo estivo. Una differenza molto importante con il pavimento radiante è legata agli ostacoli imposti dagli elementi di arredo: infatti, l'assenza di ostacoli fra il soffitto e gli occupanti rende ottimale lo scambio radiativo, con conseguente ottimo grado di benessere.

Gli impianti radianti a parete sono caratterizzati da una bassa inerzia termica, simile a quella degli impianti a soffitto. Lo scambio energetico è per lo più di tipo convettivo, in quanto la presenza degli elementi di arredo ne limita il fattore di vista. È possibile riscontrare problemi di uniformità di temperatura in ambienti medio grandi e per tale motivo ci si limita nell'utilizzo solamente in ambienti abbastanza piccoli.

2.2.2. Impianti ad aria

In questo tipo di impianti, la climatizzazione avviene per mezzo di unità collocate fuori dagli ambienti da climatizzare, alimentate ad acqua calda o refrigerata, e messe in comunicazione con gli ambienti da sistemi di canalizzazione. L'aria trattata viene dispersa in ambiente per mezzo di un numero di diffusori tale da rendere ottima la climatizzazione dell'ambiente. L'aria, prima di essere lanciata in ambiente, viene trattata all'interno delle così dette Unità di Trattamento Aria (UTA), dimensionate allo scopo di portare l'aria prelevata alle condizioni di temperatura e umidità relative imposte a progetto. Infatti, a differenza degli impianti ad acqua, gli impianti ad aria sono in grado di controllare sia la temperatura ambiente che l'umidità relativa. Per tale ragione, trovano le principali applicazioni in ambienti con elevati volumi e con importante presenza di persone, caratterizzati da continue variazioni di carico sia sensibile che latente. Gli elementi essenziali per una centrale di trattamento aria sono la sezione di filtraggio dell'aria, la camera di miscela, le batterie di scambio termico per le trasformazioni termo-igrometriche, umidificatori e i ventilatori. Di seguito vengono elencate e descritte brevemente le principali tipologie impiantistiche.

Impianti ad aria per singola zona

Sono impianti molto semplici, utilizzati nei vari casi in cui non occorre la suddivisione in più zone: è il caso delle sale conferenze, teatri, grandi magazzini, aeroporti, aule universitarie etc. Di seguito la rappresentazione semplificata della centrale di trattamento aria del caso.

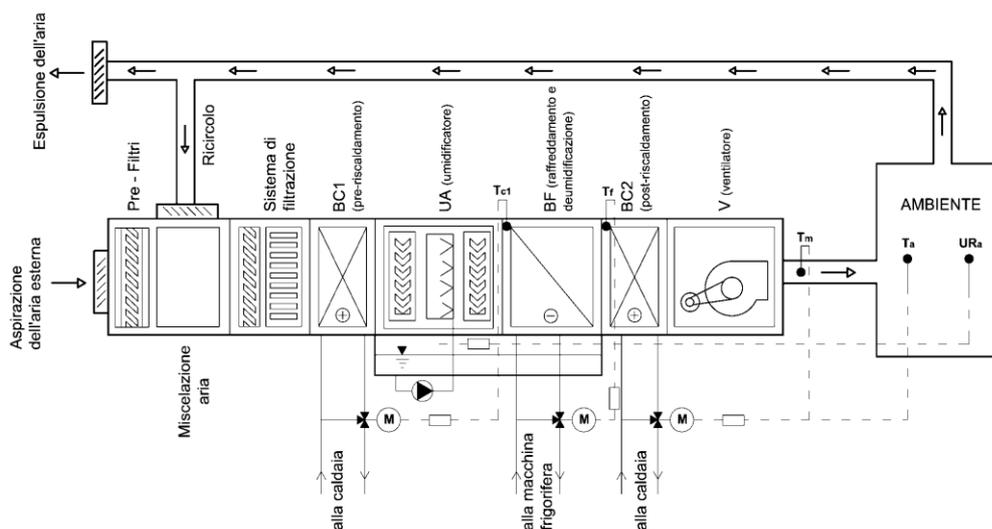


Figura 2.5 – Impianto a fluido intermedio con terminale remoto, singola zona

I componenti principali di tale centrale sono:

- *Serrande di rinnovo, espulsione, miscela*: tra loro interconnesse tramite rilevatori di inquinanti in ambiente o tramite comandi manuali;
- *Batteria di pre-riscaldamento*: alimentata ad acqua calda, è attiva solamente in regime invernale e ha lo scopo di riscaldare l'aria prelevata dall'esterno;
- *Umidificatore*: ha lo scopo di umidificare l'aria troppo secca in uscita dal processo di pre-riscaldamento;
- *Batteria di raffreddamento*: alimentata ad acqua refrigerata, è attiva solamente in regime estivo e ha lo scopo di raffreddare e deumidificare l'aria in ingresso dall'esterno, fino ad un contenuto igrometrico accettabile;
- *Batteria di post-riscaldamento*: alimentata ad acqua calda, è sempre attiva ed ha lo scopo di portare l'aria alle condizioni di temperatura e umidità relativa di progetto in ingresso;
- *Ventilatore*: viene dimensionato in base alle canalizzazioni e alle perdite di carico che l'aria deve vincere, ha lo scopo di distribuire l'aria in ambiente.

Tale tipo di impianto può essere a portata costante o variabile (VAV): nel caso di portata fissa, il controllo delle condizioni ambiente è in capo alle batterie di scambio termico all'interno della centrale, mentre nel caso di VAV, il controllo delle condizioni in ambiente viene fatta regolando la portata d'aria in ingresso (ciò comporta l'adozione di un ventilatore azionato da un motore ad inverter).

Impianti ad aria multizona

La suddetta tipologia impiantistica permette la diffusione dell'aria trattata dalla centrale in più zone contemporaneamente. Si possono prevedere varie configurazioni, in base al posizionamento dell'elemento di post-riscaldamento. Infatti, è possibile inerire tale elemento sia nella UTA, inviando ai vari ambienti aria a temperatura e umidità relativa fissata, sia in prossimità delle zone che si vogliono climatizzare. La seconda ipotesi prevede un controllo puntuale delle grandezze termo-igrometriche zona per zona. La regolazione avviene in temperatura, agendo sulle batterie di post-riscaldamento. Negli ultimi anni, stanno prendendo sempre più quote di mercato gli impianti ad aria multizona a portata variabile. Anche in questo caso, come per la singola zona, il controllo delle condizioni in ambiente è affidato a specifiche valvole per la regolazione della portata, comandate da un termostato posto in ambiente. La temperatura dell'aria inviata a ciascuna zona rimane costante, mentre si va variare la portata in funzione del carico delle zone. Tuttavia, bisogna

far attenzione a non limitare troppo la portata d'aria immessa in modo da non gravare sull'indice di qualità dell'aria.

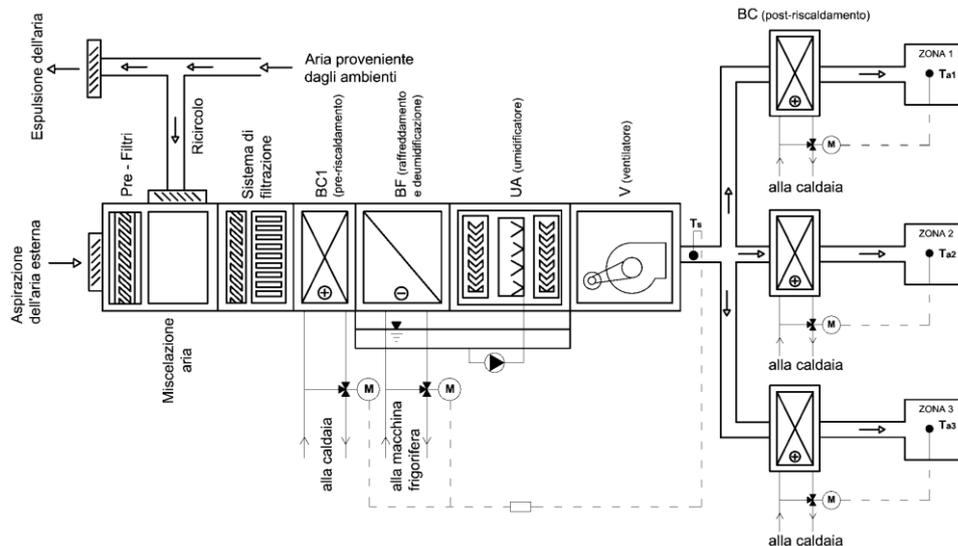


Figura 2.6 – *Impianto a fluido intermedio con terminale remoto, multizona*

Impianti ad aria a doppio condotto

Tale tipo di impianto viene considerato come una variante rispetto agli impianti multizona in quanto hanno la stessa funzionalità. Vengono impiegati due canali per la mandata: uno con aria calda e uno con aria fredda. In prossimità delle zone da climatizzare viene posta una camera di miscela, nella quale i due flussi vengono miscelati in proporzioni tali da soddisfare il carico in ambiente. Una volta raggiunta la temperatura desiderata in camera di miscela, tramite una serranda, si invia l'aria trattata in ambiente. Il lancio dell'aria può essere a portata costante o variabile, se impianto VAV: nel primo caso la regolazione è solo in temperatura, nel secondo la regolazione è sia in temperatura che in portata. Rispetto al multizona, l'impianto a doppio condotto è più preciso in fase di regolazione, in quanto essa avviene direttamente in ambiente; tuttavia ha l'enorme svantaggio dell'ingombro del doppio canale.

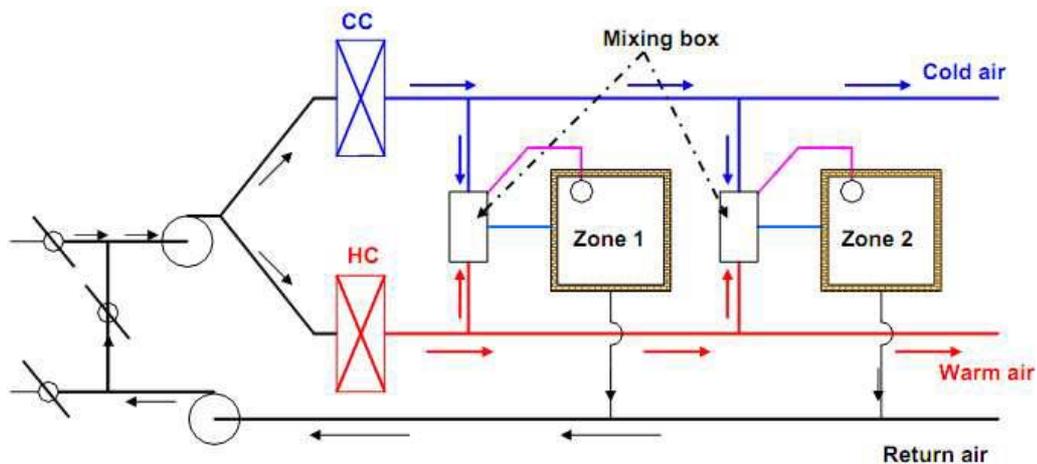


Figura 2.7 – *Impianto a fluido intermedio con terminale remoto, doppio condotto*

2.2.3. Impianti misti

Negli impianti misti coesistono entrambe le tipologie impiantistiche viste in precedenza, a terminale remoto e a terminale in ambiente. L'aria esterna di rinnovo, detta aria primaria, viene distribuita negli ambienti mediante canalizzazioni che partono dalla UTA esterna all'ambiente. L'aria primaria ha lo scopo di controllare la qualità dell'aria ambiente e di regolare l'umidità relativa. I terminali posti in ambiente, alimentati ad acqua calda o refrigerata, sono dimensionati per contrastare il solo carico termico. Le unità di trattamento aria vengono dimensionate solamente sulla base della portata di aria esterna necessaria al rinnovo in ambiente. Infatti, rispetto alle UTA per gli impianti ad aria, è rilevante l'assenza della camera di miscela. Tuttavia, nella maggior parte dei casi, vengono inseriti recuperatori di calore, allo scopo di ridurre la potenzialità delle batterie di scambio termico. Per quanto riguarda la parte acqua, rispetto alle configurazioni viste in precedenza, ai terminali viene affidato il compito di contrastare i soli carichi sensibili, in quanto la parte latente del carico termico viene annullata dalla parte aria. Di conseguenza, in regime estivo, è possibile alimentare il circuito dei fan coil con acqua a temperatura maggiore rispetto ai 7°C degli impianti ad acqua (tipicamente 12°C) con evidenti vantaggi in ottica energetica. Anche in questo caso è possibile optare, a seconda della tipologia di edificio e della destinazione d'uso, alle due configurazioni impiantistiche viste in precedenza, a due o a quattro tubi. L'impianto a due tubi ha sicuramente un costo minore di installazione ed esercizio e risulta meno ingombrante; tuttavia, l'impianto a quattro tubi, per via della sua versatilità, permette costi di gestione ridotti.

La portata di aria primaria viene calcolata, in funzione alla destinazione d'uso del locale, sia per garantire un adeguato IAQ, sia per mantenere l'ambiente in leggera sovrappressione. La temperatura di immissione può rimanere costante durante tutto l'anno o variare in base alla stagione: solitamente, al fine di garantire un perfetto mixing con l'aria in ambiente, si preferisce inviare aria, anche in caso invernale, a temperatura leggermente inferiore della temperatura ambiente. L'aria presente in ambiente viene poi estratta ed inviata, mediante la linea di estrazione, all'esterno.

Gli impianti misti trovano le principali applicazioni nei grossi edifici ad uso uffici, caratterizzati dalla necessità di avere un controllo puntuale della temperatura ed ingenti carichi latenti, ma anche negli hotel. Non possono essere applicati in ambiente ospedaliero, dove si preferiscono impianti con terminali all'esterno.

Impianti misti a travi fredde

Trattasi di un sistema di distribuzione misto aria-acqua emergente, che, a dispetto del nome, sono terminali in grado sia di raffrescare che riscaldare gli ambienti, garantendo comunque la ventilazione meccanica. Gli elementi principali delle travi fredde sono le batterie alettate, percorse da acqua calda o refrigerata, e i diffusori lineari. Possono essere di due tipi:

- Travi fredde di tipo attivo;
- Travi fredde di tipo passivo.

Nel funzionamento attivo, l'aria fresca prelevata dall'esterno, trattata nelle UTA ed inviata nella trave genera un gradiente di pressione con l'ambiente tale da generare una forte depressione nella trave; l'aria in ambiente viene risucchiata dalla trave, attraversa la batteria di scambio e dunque viene rinvia in ambiente.

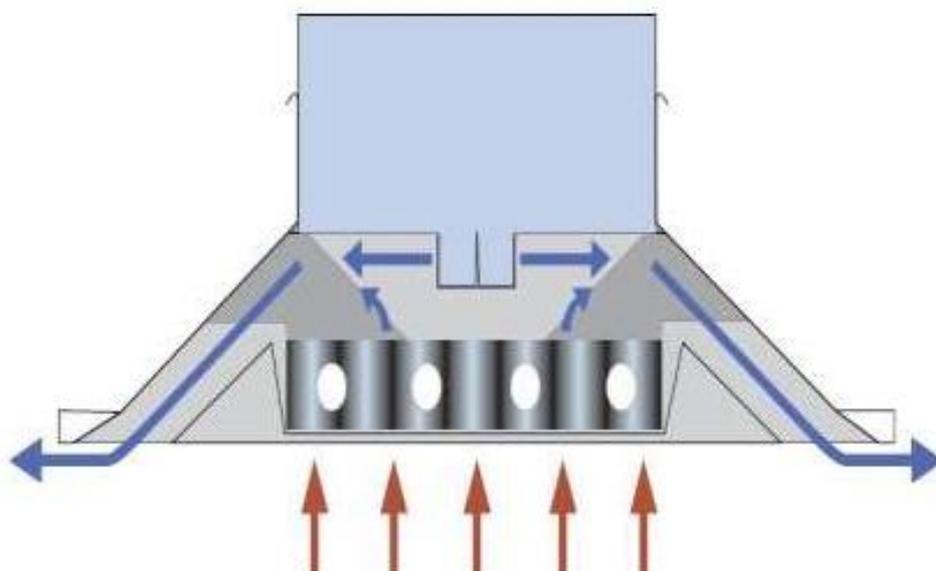


Figura 2.8 – *Impianto a travi fredde in funzionamento attivo*

Il funzionamento passivo non prevede l'immissione di aria nella trave, ma si basa principalmente sulla circolazione naturale dell'aria ambiente che surriscaldandosi sale verso l'alto, attraversa la batteria di scambio termico e ridiscende verso il basso. La circolazione dell'aria dipende unicamente dai gradienti di pressione, generati dalle differenze di temperatura tra la parte interna e la parte esterna della trave.

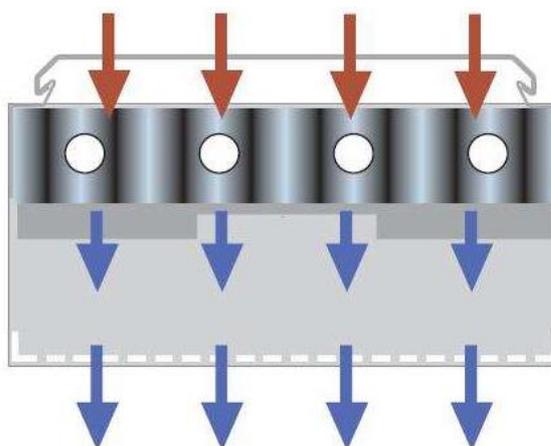


Figura 2.9 – *Impianto a travi fredde in funzionamento passivo*

Per entrambe le configurazioni, all'interno della trave l'aria primaria si miscela con quella secondaria per poi essere immessa in ambiente: tuttavia, la trave fredda attiva risulta essere più performante in quanto riesce a garantire una potenzialità triplicata rispetto a quella passiva.

Le travi fredde presentano alcuni vantaggi ed alcuni svantaggi:

Sono impianti la cui installazione non richiede particolari sforzi, sono molto silenziosi e non richiedono linee di scarico condensa in quanto l'acqua di alimento è sempre superiore al punto di rugiada dell'aria ambiente. Tuttavia vengono utilizzate sonde di condensa, collegate al servocomando di alimentazione della batteria fredda in modo da bloccare il flusso se si stanno verificando condizioni di possibile condensazione. Sono inoltre caratterizzate da una buona capacità di regolazione del carico termico, variando la temperatura dell'acqua di alimento in relazione alla temperatura ambiente.

Uno degli svantaggi delle travi fredde è la scarsa possibilità di abbattere i carichi latenti, dovuta ad una temperatura di alimento della trave troppo alta. Ne consegue la non applicabilità a locali affollati o comunque caratterizzati da forti variazioni del carico latente. Inoltre gli oneri di installazione sono senza dubbio superiori rispetto agli impianti classici a fan coil.

2.3. Impianti ad espansione diretta – VRF

Contrariamente agli impianti descritti in precedenza, gli impianti ad espansione diretta non utilizzano un fluido intermedio fra il ciclo frigorifero e l'ambiente da climatizzare: in questo caso, il circuito frigorifero e l'impianto coincidono. Infatti, i terminali ad espansione diretta costituiscono parte del circuito frigorifero: nello specifico, la parte evaporante o condensante a seconda della stagione. Il refrigerante, in fase di condensazione/evaporazione, scambia energia direttamente con l'aria che andrà poi a climatizzare l'ambiente, con conseguenti vantaggi in termini di efficienza. Tuttavia, essendo i terminali a contatto diretto con gli ambienti, la loro resa è fortemente influenzata dalle condizioni climatiche interne e dunque varia durante il funzionamento.

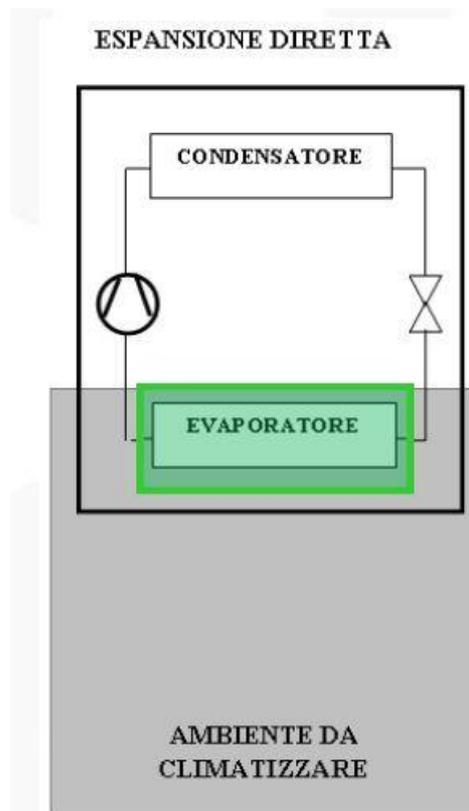


Figura 2.10 – *Impianto ad espansione diretta*

Sono impianti molto semplici che comprendono pochissimi elementi:

- Il compressore, nel quale il refrigerante, proveniente dall'evaporatore allo stato vapore, viene riportato allo stato liquido per poter effettuare ripetutamente il ciclo. Costituisce il cuore del sistema e garantisce la continua circolazione del refrigerante all'interno dell'impianto.
- Il condensatore e l'evaporatore sono entrambi scambiatori di calore refrigerante/aria, che hanno lo scopo di far condensare o evaporare il refrigerante, cedendo o sottraendo calore all'aria. Sono inseriti nei terminali d'impianto e nell'unità esterna e vengono messi in comunicazione mediante le tubazioni di refrigerante.
- Il tubo capillare, nel quale il refrigerante liquido subisce un decremento di pressione per renderlo molto più volatile, per poi passare nuovamente nell'evaporatore per continuare a sottrarre calore all'ambiente.
- La valvola a 4 vie ha la funzione di invertire il ciclo del refrigerante, in modo da far funzionare il sistema sia in regime estivo che in regime invernale. Infatti poiché evaporatore e condensatore hanno sostanzialmente la stessa struttura, basta invertire il ciclo perché la macchina riscaldi l'ambiente.

I sistemi VRF – *Variabile Refrigerant Flow* – sono particolari sistemi ad espansione diretta che, a differenza dei tradizionali sistemi multisplit, hanno potenzialità maggiori in termini di resa termica o frigorifera e in termini di estensione impiantistica. Sul mercato, i sistemi VRF si presentano in due configurazioni:

- Sistemi VRF a pompa di calore;
- Sistemi VRF a recupero di calore.

Rispetto ai sistemi VRF a pompa di calore, i sistemi VRF a recupero hanno la possibilità di riscaldare e raffrescare due ambienti distinti contemporaneamente (come per gli impianti ad acqua a 4 tubi), sfruttando inoltre un recupero energetico sul calore sottratto all'ambiente raffrescato.

Nei sistemi VRF la configurazione impiantistica dipende unicamente dal costruttore del sistema: ad esempio, relativamente ai sistemi VRF a recupero, è possibile trovare circuiti a tre tubi che circuiti a due tubi. Molto dipende dal livello tecnologico raggiunto dai vari competitors di settore.

Come nel caso dei sistemi a fluido intermedio, anche per i sistemi VRF è possibile distinguere alcune tipologie impiantistiche in relazione al servizio energetico richiesto

La principale quota di mercato del settore è rappresentata dai sistemi VRF per il trattamento dell'aria interna: i terminali VRF, che siano interni all'ambiente o canalizzabili, trattano aria prelevata dallo stesso ambiente al fine di raffreddarla o riscaldarla ed immetterla nuovamente in ambiente. Questo tipo di sistema permette solamente un controllo della temperatura: mediante un comando posto in ambiente, si va a regolare il grado di apertura della valvola LEV posta a monte dello scambiatore nel terminale, in modo da regolare la portata di refrigerante alla batteria e quindi la resa della batteria. Tali sistemi sono tuttavia in grado di deumidificare gli ambienti (mediante controllo della temperatura di evaporazione) ma non permettono un controllo rigoroso dell'umidità.

Sono anche presenti unità per il trattamento dell'aria esterna. Al fine di rinnovare l'aria in ambiente e dunque migliorare la qualità dell'aria, nonché riequilibrare il grado igrometrico, possono essere impiegati i recuperatori di calore statici, tipici dei sistemi VRF, a flussi incrociati. L'aria prelevata dall'esterno, viene inviata allo scambiatore, dove scambia energia con l'aria prelevata dall'ambiente che viene poi espulsa, e dunque in ambiente. Alcuni concorrenti del settore propongono recuperatori di calore con batteria di scambio ad espansione diretta posta sulla sezione di mandata, in modo da riequilibrare il livello termico. Una piccola quota di mercato è ricoperta dalle unità di trattamento aria ad espansione diretta: sono piccole UTA, normalmente ad aria primaria, che funzionano

secondo le caratteristiche dei sistemi VRF. Tali UTA includono una sola batteria ad espansione diretta e, in casi particolari, anche una batteria elettrica di post-riscaldamento. Per ovvie ragioni, il controllo e la regolazione del trattamento dell'aria è meno preciso di quello delle UTA idroniche.

2.4. Confronto fra le tipologie impiantistiche

Vengono di seguito riassunte e confrontate le tipologie impiantistiche citate in precedenza, mettendo in risalto le modalità di funzionamento, le caratteristiche distintive e i campi di applicazione. Tale confronto considera inoltre, per ogni tipologia, il livello di comfort raggiungibile (PMV), nonché la spesa energetica associata.

Impianto a fluido intermedio – ad aria

Sono impianti molto popolari negli USA ma stanno trovando notevole applicazione, soprattutto negli ultimi anni, anche nei paesi europei. Lo scambio energetico è di tipo aria-aria, molto rapido, che consente di raggiungere il set-point in ambiente molto velocemente. Questi impianti vanno trovati molta applicazione per gli ambienti molto grandi, dove è richiesta particolare attenzione alla purezza dell'aria e al controllo dell'umidità; tuttavia sono molto utilizzati anche in ambienti industriali.

Uno dei principali vantaggi è la collocazione dei componenti principali d'impianto in un'unica zona, esterna dall'ambiente trattato, con conseguenti vantaggi in fase di manutenzione. Sono impianti facilmente adattabili al recupero di calore e presentano la possibilità di sfruttare il free-cooling. Inoltre permettono il controllo di tutti i parametri legati al comfort ambientale (temperatura, umidità, rumorosità, velocità dell'aria, IAQ).

Tuttavia, fra gli svantaggi si denotano sicuramente i problemi legati all'ingombro eccessivo del sistema di distribuzione, nonché le difficoltà nel controllo puntuale della temperatura e UR, ambiente per ambiente. Quest'ultimo risulta meno importante se si adottano le batterie di post-riscaldamento locale con regolazione mediante valvola a 3 vie.

Impianto a fluido intermedio – misti

Sono impianti che presentano terminali sia in ambiente che all'esterno dell'ambiente. Di norma utilizzati per complessi di uffici, hotel, centri polifunzionali o comunque ambienti ad uso non continuativo

L'utilizzo di acqua come fluido vettore, rispetto agli impianti ad aria, consente un notevole vantaggio in termini di ingombro, nonché in termini energetici in quanto il calore specifico è circa quattro volte più grande. Inoltre questi impianti garantiscono un miglior controllo della temperatura ambiente per ambiente. La UTA impiegata, essendo utile solamente al rinnovo dell'ambiente, è molto più piccola di quella degli ambienti ad aria. Tuttavia è una tipologia di impianto caratterizzata da una grossa infrastruttura e dunque i costi d'impianto sono normalmente più alti rispetto ad altre tipologie, indipendentemente dalle scelte progettuali.

Impianto a fluido intermedio – ad acqua

Sono impianti molto semplici, caratterizzati da un costo iniziale molto limitato, tanto da renderli di notevole successo, soprattutto nel settore residenziale.

Caratterizzati da una grande flessibilità impiantistica, si adattano facilmente sia ad edifici nuovi che ristrutturati, permettendo un controllo puntuale della temperatura.

Hanno molti limiti: tra tutti il controllo dell'umidità relativa e dei ricambi d'aria. Inoltre presentano numerosi punti critici di manutenzione (frequente), la quale avviene direttamente nel locale da climatizzare.

Impianto ad espansione diretta

Rappresentano la categoria impiantistica con maggiori quote di mercato per via della loro semplicità impiantistica: sono infatti impianti costituiti da pochissimi elementi e non necessitano di gruppi di pompaggio. Fra i principali vantaggi rientra sicuramente la possibilità di personalizzare il clima di ciascun ambiente, senza dover andare a influenzare i terminali di ambienti differenti, rendendo gli ambienti assolutamente autonomi fra di loro. Tuttavia si denotano molti limiti in termini di dimensioni d'impianto, di potenza e di regolazione, nonché di rumorosità. Hanno un impatto negativo dal punto di vista estetico, soprattutto all'esterno degli edifici, e pongono vincoli nell'arredo degli interni. Essendo un grosso circuito frigorifero, i costi di compressione del refrigerante sono abbastanza elevati, e anche i costi di manutenzione.

CAPITOLO 3

Refrigeranti per i sistemi HVAC

All'interno dei sistemi di climatizzazione, i refrigeranti hanno lo scopo di trasferire il calore tra due sorgenti a temperature differenti. Il refrigerante, all'interno di un circuito frigorifero, subisce una serie di trasformazioni termodinamiche atte allo scopo di sottrarre o cedere calore all'ambiente. Nello specifico, lo scambio di energia avviene principalmente mediante uno scambio di calore latente, legato alle transizioni di fase del refrigerante durante il ciclo. Nei sistemi HVAC, i refrigeranti hanno temperature di evaporazione/condensazione decisamente diverse da quella degli ambienti in cui sono collocati gli scambiatori, in modo da agevolare l'evaporazione/condensazione, all'interno del circuito, dovuta allo scambio di calore latente. Agendo sulle condizioni di saturazione del refrigerante, è possibile controllare le prestazioni del sistema HVAC.

3.1. Evoluzione temporale

Il primo ciclo frigorifero, che si basava sulle teorie di Carnot sulla refrigerazione, fu messo in moto, nel 1834, dall'Ingegnere Jacob Perkins: in tale occasione fanno la prima comparsa i refrigeranti. Fra i primi fluidi utilizzati allo scopo trovarono posto l'acqua, l'ammoniaca, l'anidride solforosa, l'anidride carbonica e gli eteri. Nei primi anni del XX secolo vennero introdotti nuovi refrigeranti, quali protossido d'azoto, etano e butano, tuttavia, i rischi connessi all'utilizzo di tali fluidi, portarono all'introduzione sul mercato di refrigeranti diversi, che garantivano un minor rischio: a partire dagli anni '30 entrarono sul mercato i primi refrigeranti CFC a base di cloro, fluoro e carbonio. Tali refrigeranti erano stabili, garantivano buone proprietà termodinamiche e non erano né tossici e né infiammabili: tuttavia più tardi fu scoperto il cloro contenuto in tali refrigeranti risultava essere pericoloso per l'integrità dello strato di ozono in atmosfera. Per ovvie ragioni furono prese misure in merito, con l'introduzione dei refrigeranti HCFC, a base di idrogeno cloro fluoro e carbonio. Questi nuovi composti avevano le proprietà vantaggiose dei CFC ma erano costituiti da una minor percentuale di cloro, minimizzando così la probabilità di reazione

con l'ozono atmosferico: di fatto, la scarsa presenza di cloro, sostituito da fluoro e idrogeno, rendeva il composto poco stabile in atmosfera, favorendone la veloce degradazione. Il problema del depauperamento dell'ozono atmosferico fu completamente rimosso con l'introduzione dei refrigeranti HFC, caratterizzati dalla totale assenza di cloro. Tuttavia, l'elevata percentuale di idrogeno e fluoro introdussero altri due tipi di problemi, in quanto il primo favorisce l'infiammabilità del composto e il secondo aumenta la stabilità del composto in atmosfera, contribuendo al surriscaldamento globale.

La strada verso il refrigerante completamente ecosostenibile deve dunque rispettare i seguenti vincoli:

- Eliminare il cloro dai composti per motivi di incompatibilità con l'ozono atmosferico;
- Limitare la presenza di idrogeno dal composto, che potrebbe risultare infiammabile;
- Limitare la presenza di fluoro in quanto favorisce l'effetto serra.

Negli ultimi anni, la ricerca ha rivolto l'attenzione alla produzione di refrigeranti che limitassero tali problematiche: le principali aziende del settore hanno introdotto sul mercato gli HFO, miscele di HFC con idrocarburi, che sembrano essere una soluzione relativamente economica e con i giusti requisiti di impatto ambientale. Tali fluidi sono caratterizzati da un certo livello di infiammabilità, definito blando (classe A2L), e comunque non comparabile con quello degli idrocarburi. Tuttavia, l'utilizzo degli HFO puri nelle applicazioni HVAC risulta problematico per via dell'elevato punto di evaporazione del refrigerante. Pertanto, nessuna molecola HFO pura può essere impiegata per alimentare un circuito frigorifero per la climatizzazione residenziale e commerciale. Vengono perciò utilizzate miscele di HFO con altre molecole, per abbassarne il punto di ebollizione ai valori desiderati.

Fra i protagonisti principali del settore, Honeywell ha presentato sul mercato diverse miscele a base di HFO:

- Solstice® N40 (R488) è un refrigerante già impiegato nei sistemi di refrigerazione commerciale, come sostituto dell'R404a. Risulta avere un valore dimezzato di GWP, pur mantenendo circa costanti i livelli di efficienza;
- Solstice® N13 (R450A) è un refrigerante impiegato nei chiller a media/alta pressione, come sostituto dell'R134a. Risulta avere un valore di GWP notevolmente ridotto;
- Solstice® L41 (R447A) è un refrigerante non ancora commercializzato ma già annunciato dal produttore. Costituisce un sostituto dell'R410A per essere

impiegato nella climatizzazione residenziale. Risulta avere un GWP = 572 e classe A2L (blandamente infiammabile).

Fatte queste dovute considerazioni riteniamo che, in un variato contesto indotto dalla progressiva implementazione del nuovo regolamento F-Gas 517/2014, gli HFO e loro miscele giocheranno un ruolo da leader nel prossimo futuro.



Figura 3.1 – *Evoluzione temporale refrigeranti*

3.2. Impatto ambientale

Lo sviluppo di una nuova generazione di refrigeranti è stata resa necessaria, dal momento che la diffusione in atmosfera dei refrigeranti sintetici favorisce due fenomeni di inquinamento ambientale: buco nell'ozono ed effetto serra.

Buco nell'Ozono

Si intende la degradazione progressiva dello strato di ozono presente nell'atmosfera. Tale fenomeno risulta essere molto rilevante per via delle proprietà schermanti dell'ozono, infatti tali molecole hanno la facoltà di filtrare la radiazione solare, limitando la trasmissione della radiazione ultravioletta, dannosa per l'umanità. Le cause di tale fenomeno sono dovute principalmente dalla presenza in atmosfera di composti chimici che reagiscono con l'ozono, gli ODS – *Ozone Depleting Substances*. Al fine di quantificare gli effetti di tali sostanze in atmosfera, è stato concepito il potenziale di eliminazione dell'ozono ODP – *Ozone Depleting Potential*: tale indice viene concepito sulla base del numero di atomi di cloro e bromo presenti nel composto e dalla durata media di vita di tale

composto. Rappresenta il rapporto tra l'impatto sull'ozono causato da una quantità di composto considerato e l'impatto causato dalla stessa quantità di R11.

$$ODP = \frac{O_3(\text{distrutto dalla sostanza in questione})}{O_3(\text{distrutto da R11})}$$

Tra i principali responsabili del buco nell'ozono trovano spazio i refrigeranti CFC: le molecole di gas, disperse in ambiente, si diffondono fino ad arrivare nella stratosfera, dove, sotto l'azione della radiazione UV del sole, si degradano rilasciando atomi di cloro; il cloro liberato reagisce con l'ozono, che decade perdendo un atomo di ossigeno.

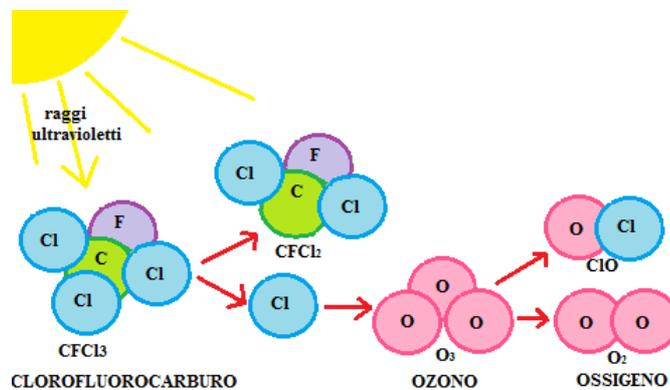


Figura 3.2 – *Depauperamento ozono stratosferico*

Effetto serra

Con “effetto serra” si intende il fenomeno fisico che negli ultimi ha contribuito in modo significativo al surriscaldamento dell'atmosfera: l'energia solare, che raggiunge la terra sotto forma di radiazione luminosa visibile, oltrepassa l'atmosfera fino ad arrivare sulla superficie terrestre; per effetto dell'irraggiamento, la superficie terrestre si scalda e emette a sua volta radiazione infrarossa (emissione tipica dei corpi a temperatura maggiore della temperatura ambiente); alcuni gas presenti in atmosfera, soprattutto quelli composti da molecole triatomiche, hanno la peculiarità di assorbire tale radiazione, riscaldando l'atmosfera. Tali gas, per via dell'effetto provocato, vengono denominati gas serra. Tra essi troviamo: vapore acqueo H₂O, anidride carbonica CO₂, biossido di azoto NO₂, ozono O₃, ma anche alcuni refrigeranti tra cui CFC, HCFC e HFC.

A testimonianza dell'effetto provocato dall'emissione continua dei gas serra, in Figura è possibile osservare il trend di crescita della temperatura media terrestre, prendendo come riferimento la temperatura media del trentennio 1951-80. Il grafico preso in esame è quello

dell'Università di Berkley, che usa dati combinati di temperature oceaniche e terrestri prese dall'UK Hadley Center. Si nota una crescita di temperatura più rapida a partire dagli anni '80 ad oggi, di pari passo con lo sviluppo tecnico industriale accompagnato da una crescita di emissioni, soprattutto di CO₂.

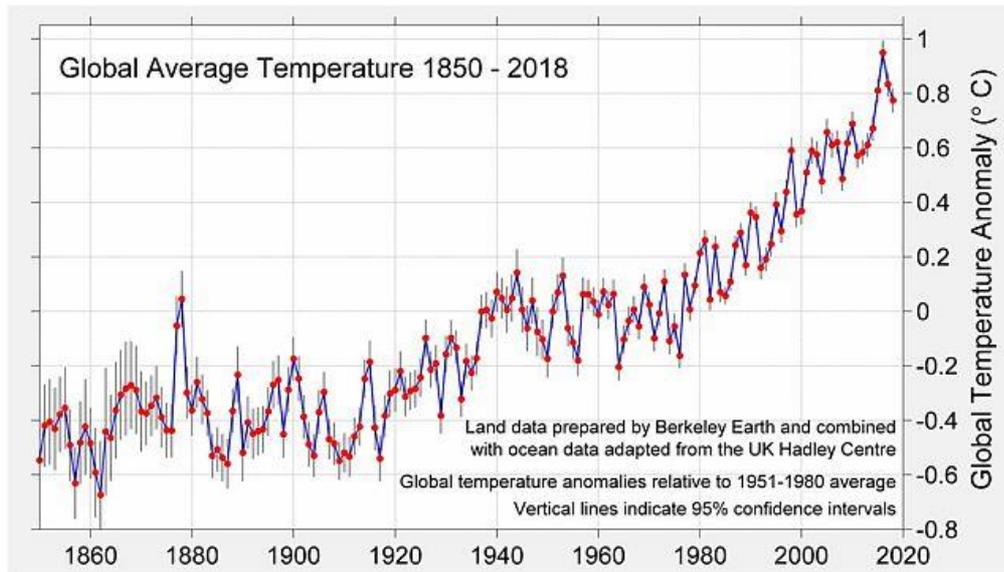


Figura 3.3 – Incremento temperatura media globale

Al fine di poter quantificare il contributo all'effetto serra di ogni singolo refrigerante, è stato definito l'indice GWP – Global warming potential. L'indice GWP misura il contributo di un gas serra sull'assorbimento delle radiazioni solari, in un certo arco di tempo, rispetto all'assorbimento della stessa quantità di CO₂. Numericamente, è il rapporto tra il coefficiente di assorbimento del gas serra considerato e il coefficiente di assorbimento della CO₂, entrambi valutati nello stesso tempo.

$$GWP_i = \frac{\int_0^t NFR_i}{\int_0^t NFR_{CO_2}}$$

Attraverso il GWP, l'impatto sull'effetto serra di un dato gas viene definito confrontandolo con quello della CO₂: vengono introdotte le quantità di CO_{2,equivalente}. Ad esempio, il protossido di azoto NO₂ che ha un GWP=296 ha un impatto 296 volte quello della stessa quantità di CO₂: 1t di NO₂ vengono quantificate come 296t di CO_{2,equivalente}.

In Tabella sono riportati i principali gas serra:

GAS	GWP
CO2	1
CH4	23
NO2	296
CFC12	10600
HCFC134a	1430
HFC22	1700

Tabella 3.1 – *GWP refrigeranti*

Il GWP risulta essere un buon indicatore del riscaldamento globale, ma non esauriente. Infatti, nel funzionamento di un sistema HVAC, a contribuire all'effetto serra sono due fattori: il rilascio in atmosfera di refrigerante (considerato nel GWP) e le emissioni di CO₂ associate al consumo di energia per il funzionamento del macchinario (produzione di energia elettrica). A tal merito è stato introdotto un nuovo indicatore, il TEWI:

$$TEWI = (m_f * GWP_f) + (m_{CO_2} * E * T)$$

dove:

- m_f è la quantità di refrigerante rilasciata in atmosfera durante la vita dell'impianto;
- m_{CO_2} è la quantità di anidride carbonica rilasciata per unità di energia elettrica prodotta;
- E è la quantità di energia elettrica consumata nell'unità di tempo;
- T è la vita dell'impianto.

Alcune applicazioni dei sistemi HVAC vedono l'installazione di un impianto fotovoltaico a supporto della pompa di calore, proprio per limitare le emissioni indirette dei gas serra.

3.3. Mercato

L'introduzione del nuovo regolamento F-Gas sta cambiando notevolmente la tendenza nell'uso dei refrigeranti nel mondo HVAC: in particolare, la politica di phase down dei refrigeranti HFC ha provocato un grosso squilibrio di mercato. La conoscenza non solo della normativa ma anche di altri aspetti come vantaggi, svantaggi e tendenze di mercato sta diventando sempre più determinante per i protagonisti del settore. In un mercato in

costante crescita, come quello dei sistemi HVAC, la diminuzione dell'offerta dei gas HFC, indotta dal nuovo regolamento, ha destabilizzato il mercato dei refrigeranti, portando come conseguenza un forte aumento dei prezzi. In Figura 3.x mostra come è cambiato e come sta cambiando il mercato dei refrigeranti HFC più significativi per il mondo HVAC: già nel primo trimestre del 2017 si nota un forte incremento del prezzo dei refrigeranti, causato soprattutto dalle limitazioni sull'offerta imposte dal regolamento F-Gas, ma anche dalla continua crescita del mercato della climatizzazione.

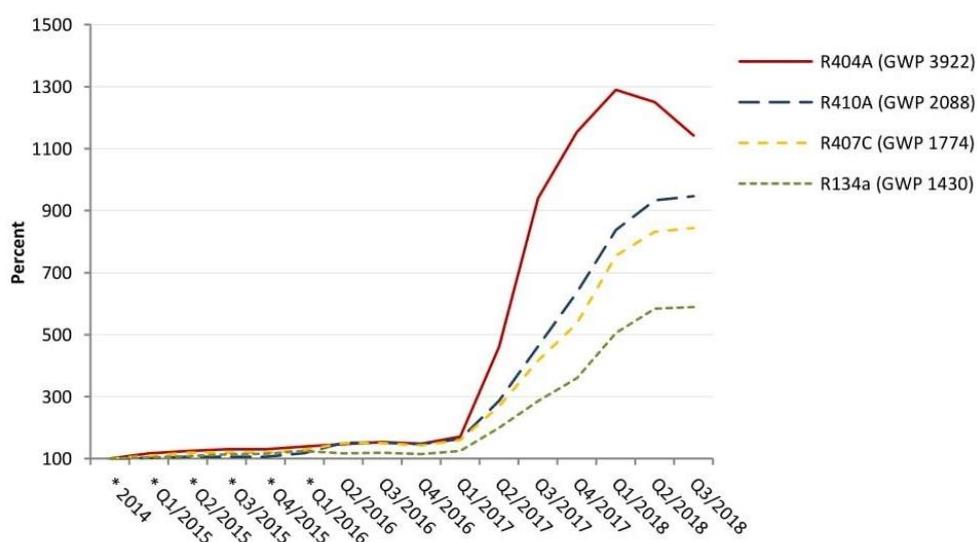


Figura 3.4 – Profilo prezzi refrigeranti HFC

In questo contesto, l'incontrollato aumento dei prezzi e la necessità di ridurre l'impatto dei refrigeranti sull'effetto serra, ha spinto la comunità verso lo studio di refrigeranti alternativi: i nuovi fluidi dovevano essere economicamente convenienti e con basso GWP. Una buona soluzione poteva essere rappresentata dai refrigeranti naturali, in particolare l'anidride carbonica (R-744), l'ammoniaca (R-717) e il propano (R-290). Tali refrigeranti, hanno costi molto più bassi rispetto agli HFC ma presentano alcuni limiti di applicabilità: le elevate pressioni di lavoro dell'anidride carbonica, la tossicità dell'ammoniaca e l'infiammabilità del propano rendono impossibile la loro applicazione nei sistemi HVAC esistenti. Nonostante ciò, alcune case produttrici di pompe di calore hanno lanciato sul mercato prodotti funzionanti a refrigerante naturale: un esempio è la pompa di calore aria/acqua, funzionante a CO₂, messa in commercio da Mitsubishi Electric. Il mercato dei refrigeranti naturali è fortemente condizionato dal livello tecnologico raggiunto dai sistemi HVAC e nonostante risultino convenienti in termini di acquisto, richiedono sistemi di climatizzazione più costosi rispetto a quelli attuali.

Di notevole interesse è il recente sviluppo del mercato legato ai refrigeranti HFO che, nonostante siano caratterizzati da un costo notevole, stanno diventando una realtà sempre più di livello nel mondo dei sistemi HVAC. La ragione di tale successo va ricercata soprattutto nei bassi valori di GWP di tali refrigeranti e nelle caratteristiche di funzionamento che li rendono compatibili con i sistemi di climatizzazione presenti oggi sul mercato: infatti, a differenza dei refrigeranti naturali, gli HFO e le miscele di questi ultimi con gli HFC, offrono la possibilità di retrofit dei sistemi già installati. Tuttavia presentano alcune limitazioni che ne stanno rallentando lo sviluppo: presentano elevati costi di sintetizzazione, sono infiammabili (A2L) e sono meno prestazionali dei refrigeranti HFC. Sono rilevanti le miscele di gas contenenti HFO che, ad oggi, risultano essere le principali alternative agli HFC.

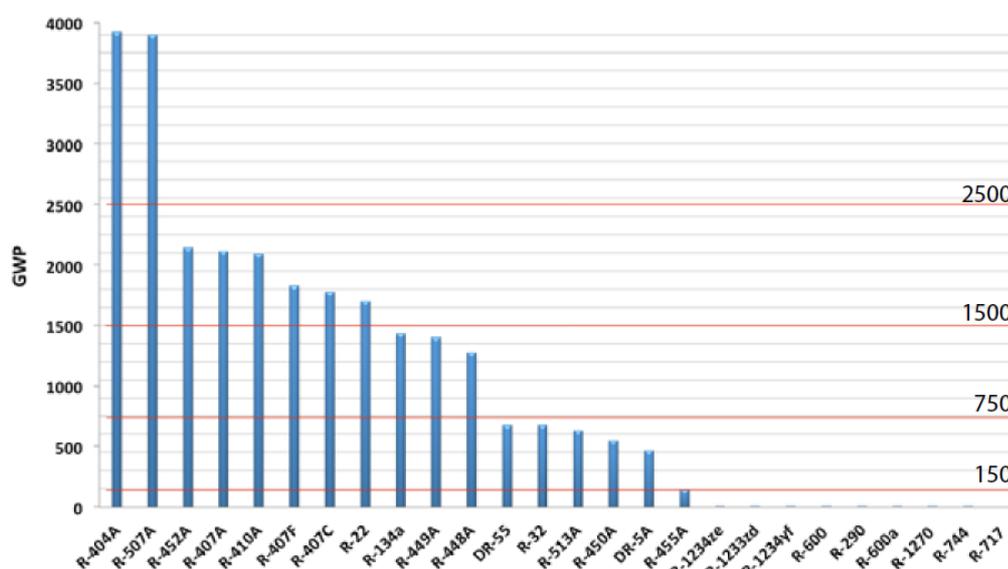


Figura 3.5 – Refrigeranti per i sistemi HVAC presenti sul mercato

La Figura 3.5 riporta tutti i refrigeranti presenti oggi nel mercato, distribuendoli in ordine decrescente di GWP: lo stato attuale prevede la spinta da parte delle comunità internazionali verso i refrigeranti a basso GWP. Nell'UE gli HFC con GWP maggiore di 150 saranno progressivamente vietati nei sistemi di climatizzazione, fatto eccezione per refrigeratori fissi (GWP<2500) e per i sistemi di climatizzazione monosplit (GWP<750).

Stiamo vivendo un periodo pieno di dubbi ed incertezze relative a come si evolverà il mercato dei refrigeranti.

Le figure seguenti mostrano lo scenario futuro che bisogna aspettarsi: Figura 3.6 riporta lo sviluppo dei refrigeranti a bassa pressione, utilizzati soprattutto nei refrigeratori di liquido;

Figura 3.7 riporta lo sviluppo dei refrigeranti ad alta pressione, utilizzati nel mondo dell'A/C ad espansione diretta.

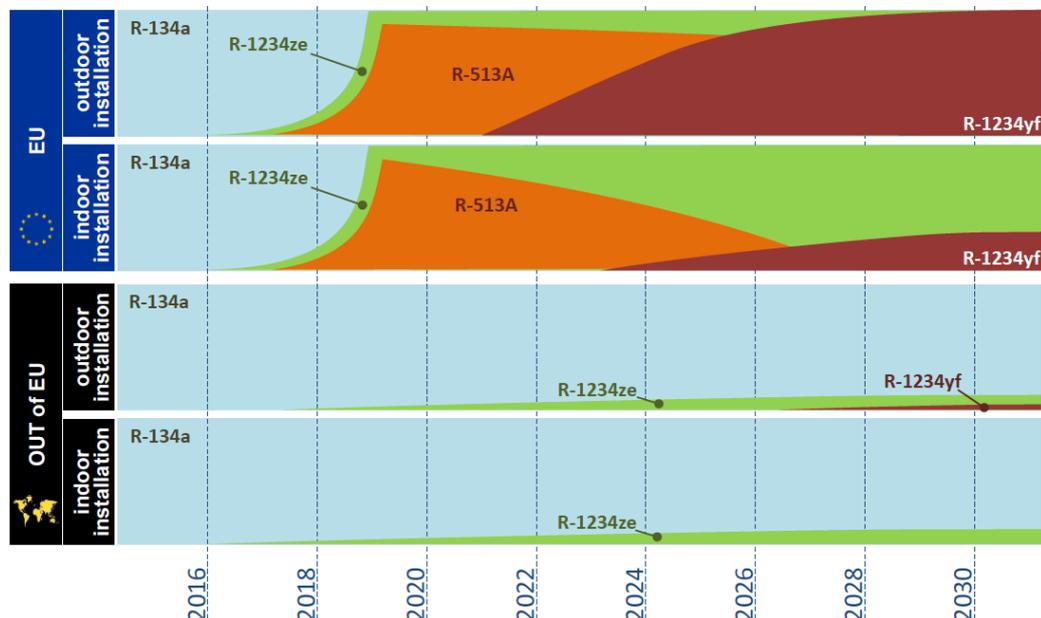


Figura 3.6 – Probabile sviluppo di mercato dei refrigeranti a bassa pressione di esercizio

Allo stato attuale, il mercato offre soluzioni per lo più funzionanti a R-134°; tuttavia la pressione normativa, soprattutto in UE, sta spingendo molto verso soluzioni alternative. Si prevede l'adozione sempre più frequente di refrigeranti nuovi, risultati da miscele includenti HFO: nel breve termine vengono proposte soluzioni che includono unità funzionanti a R-1234ze o R-513A; nel futuro si preannuncia l'evoluzione dei sistemi funzionanti ad R-1234yf. Ovviamente tale previsione richiede un notevole sviluppo tecnologico dei sistemi HVAC al fine di ovviare alle problematiche attuali riguardo l'applicabilità di tali refrigeranti.

Fuori dalla comunità europea, la lieve pressione normativa ritarda il processo di transizione dei refrigeranti a vantaggio delle soluzioni impiantistiche che includono gli HFC tradizionali.

Ben diverso è il discorso per le applicazioni di condizionamento dell'aria e climatizzazione ad espansione diretta. Allo stato attuale, il refrigerante dominante è l'R-410A che garantisce efficienze accettabili. Tuttavia la phase down degli HFC preannuncia l'adozione di nuove tecnologie già nel breve termine: si stanno facendo largo sul mercato i primi chiller e pompe di calore funzionanti ad R32, HFC che garantisce un valore accettabile di GWP (si intende nel breve termine) e performance; tuttavia, per via delle problematiche relative all'infiammabilità del refrigerante, rappresenta solamente una soluzione di transizione. Infatti nel lungo termine si prevedono soluzioni che includono soprattutto

refrigeranti naturali. Come per le applicazioni di bassa pressione, anche in questo caso la pressione normativa meno forte al di fuori dell'UE limita la transizione dei refrigeranti.

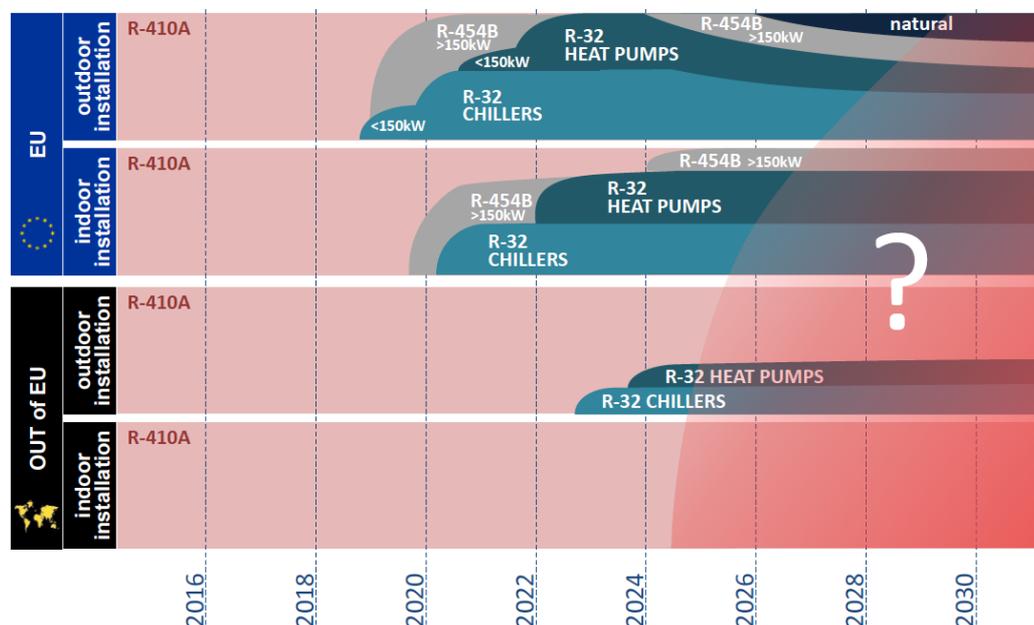


Figura 3.7 – Probabile sviluppo di mercato dei refrigeranti ad alta pressione di esercizio

La tabella seguente, pubblicata da Carel, riassume lo stato attuale e le possibili alternative ai refrigeranti utilizzati oggi nei sistemi di refrigerazione e A/C.

Applicazione	Refrigeranti attuali	Refrigeranti alternativi	GWP	Limitazioni
Refrigerazione	R-404A, R-507A, R-744 (CO ₂), R-717 (ammoniaca)	R-744 (CO ₂)	1	Alta pressione, elevato livello di conoscenze tecniche
		R-717 (ammoniaca)	0	Bassa infiammabilità, tossicità, corrosività, elevato livello di conoscenze tecniche, è necessaria un'autorizzazione
		R-448A	1273	Elevato GWP, glide = 6°C
		R-449A	1397	Elevato GWP, glide = 6°C
		R-455A	145	Bassa infiammabilità, glide = 12°C
		R-410A	2088	Elevato GWP
		R-407A	2107	Elevato GWP, glide = 7°C
		R-407F	1825	Elevato GWP, glide = 7°C
		R-452A	2141	Elevato GWP, glide = 3°C
Refrigerazione e A/C	R-134a	R-1234yf	4	Bassa infiammabilità, elevati costi di produzione
		R-1234ze(E)	6	Bassa infiammabilità, elevati costi di produzione
		R-290 (propano)	3,3	Elevata infiammabilità, restrizioni locali
		R-600a (isobutano)	3	Elevata infiammabilità, restrizioni locali
		R-600 (butano)	4	Elevata infiammabilità, restrizioni locali
		R-1233zd(E)	4,7	ODP= 0,0002, elevati costi di produzione
		R-450A	547	GWP medio, glide = inferiore a 1°C
A/C (in particolare unità split)	R-410A, R-407C, R-22	R-32	675	GWP medio, bassa infiammabilità, elevata temperatura di scarico
		R-452B	676	GWP medio, infiammabilità molto bassa, glide = 1,5°C, disponibile in commercio a partire dal secondo semestre del 2016 (previsto)
		R-454B	465	GWP medio, infiammabilità molto bassa, glide= 1,5°C, disponibile in commercio a partire dal secondo semestre del 2016 (previsto)
		R-1270 (propilene)	2	Elevata infiammabilità, restrizioni locali

Figura 3.8 – Classificazione dei refrigeranti attuali in base all'applicativo e relativi refrigeranti alternativi

CAPITOLO 4

Analisi dello stato dell'arte

In questo capitolo si traccia una panoramica sullo stato dell'arte dei sistemi di climatizzazione e ventilazione per le principali tipologie di involucro edilizio. Vengono qui analizzate nel dettaglio le caratteristiche peculiari degli impianti che, ad oggi, costituiscono la migliore scelta tecnologica e commerciale, in funzione alla tipologia di involucro edilizio.

In base alla struttura edilizia e alla destinazione d'uso, è possibile distinguere diverse tipologie di edificio e di conseguenza illustrare la tipologia impiantistica che più si addice al caso:

- Edificio ad uso residenziale;
- Edificio ad uso uffici;
- Hotel;
- Centri commerciali;
- Musei e Biblioteche;
- Edifici per lo spettacolo;

Di seguito verranno analizzati alcuni impianti di climatizzazione realmente realizzati, ed oggi funzionanti, in relazione alla categoria considerata: verranno giustificate le scelte impiantistiche e se ne analizzeranno pregi e difetti.

4.1. Edifici residenziali

Gli impianti di climatizzazione per gli edifici residenziali possono differire sulla base di diversi fattori, tra cui il clima, la tipologia di residenza e soprattutto il budget a disposizione. La dipendenza dal clima è molto influente sulla scelta della tipologia di impianto: ad esempio, in zone geografiche caratterizzate da un clima particolarmente rigido si prediligono impianti che si adattano meglio in regime di riscaldamento e viceversa.

Inoltre possono distinguersi impianti per residenze ad occupazione continua ed impianti per residenza ad occupazione saltuaria. In linea generale, gli impianti di climatizzazione per le residenze hanno l'onere di regolare la temperatura e l'umidità relativa in regime estivo e solamente la temperatura in regime invernale (salvo applicazioni speciali); per quanto riguarda la ventilazione, se non è possibile la ventilazione naturale, trovano spazio sistemi per la ventilazione meccanica, in accordo con lo Standard ASHRAE 62.1-2007. Un aspetto molto delicato di questi impianti è la rumorosità legata al funzionamento delle unità sia interne che esterne: di fatto, l'indice di rumorosità delle unità, costituisce un parametro determinante in fase di progetto. Nello specifico, la norma UNI 8199 prevede per le camere da letto un livello massimo di 30 dB(A), mentre per le zone living 40 dB(A). Di seguito viene riportata una descrizione della tipologia impiantistica di riferimento per alcune tipologie di unità residenziali, con riferimento ad alcune opere realizzate.

4.1.1. Edificio residenziale a Roma

Viene qui illustrata in modo sintetico la tipologia impiantistica prevista per la riqualificazione energetica dell'edificio residenziale sito a Roma, in via G. Pascoli 20, focalizzando l'attenzione sul confronto tecnico ed economico per quanto concerne l'adozione di sistemi di climatizzazione di tipo VRF: in particolare, il confronto è stato svolto sulla base dei dati forniti dalla proprietà per la sola climatizzazione invernale rispetto ad un impianto di tipo tradizionale con caldaia.

L'impianto prevede l'adozione di quattro sistemi VRF a recupero di calore con unità interne VRF (fan coil a pavimento da incasso) e moduli idronici HWS (Hot Water Supply), allo scopo di ottemperare ai fabbisogno di climatizzazione invernale ed estiva, all'alimentazione del circuito dei termoarredi e alla produzione di acqua calda sanitaria. Viene altresì previsto un sistema di contabilizzazione dei consumi per la climatizzazione estiva/invernale e produzione acqua calda sanitaria.

La tipologia impiantistica presenta la possibilità di soddisfare contemporaneamente il fabbisogno sia di riscaldamento che raffrescamento, recuperando in fase di raffreddamento, il calore sottratto dagli ambienti. Il sistema si compone di:

- Unità esterne VRF a recupero di calore R2 serie City Multi, della Mitsubishi Electric;
- Distributori (BC controller) la cui funzione è quella di inviare il corretto flusso di refrigerante (R410A) alle unità interne;

- Linee frigorifere composte da una coppia di tubazioni in rame;
- Unità interne VRF per la climatizzazione invernale ed estiva;
- Moduli idronici HWS per la produzione di acqua calda.

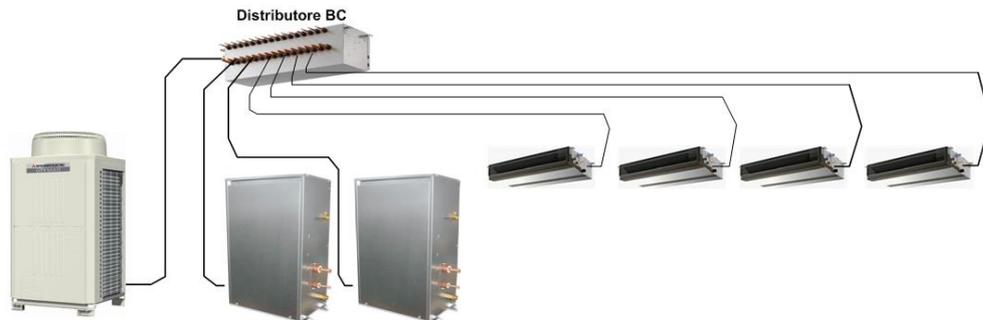


Figura 4.1.1.1 – Rappresentazione impiantistica sistema R2 Mitsubishi Electric

Tale sistema riesce a garantire il riscaldamento e il raffreddamento simultaneo, così come ad un sistema idronico con distribuzione a quattro tubi, grazie al particolare distributore BC controller: contiene un separatore, liquido / gas bassa pressione / gas alta pressione, che permette all'unità esterna di produrre una miscela (in due fasi) di gas caldo per il riscaldamento e di liquido per il raffreddamento attraverso lo stesso tubo (i sistemi con tre tubi utilizzano un tubo per ciascuna di queste fasi). Quando raggiunge il controller BC, la miscela viene separata e ad ogni unità interna, in maniera completamente indipendente dalle altre, viene inviata la fase corretta in base alle necessità individuali di riscaldamento o raffreddamento. Nel cambiamento di funzionalità heat/cool dell'unità esterna, il flusso di refrigerante non si inverte e quindi il compressore non necessita di arrestarsi per l'inversione di ciclo.

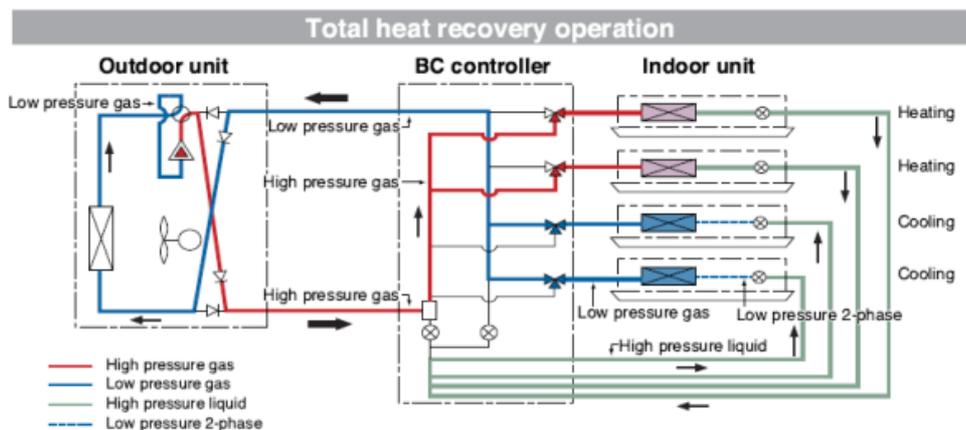


Figura 4.1.1.2 – Funzionamento recupero di calore

Caratteristiche dell'unità esterna impiegata

L'unità VRF a recupero di calore, ad espansione diretta secondo il sistema VRF con condensazione ad aria e portata variabile di refrigerante R410A, è costituita da:

- Compressore di tipo scroll, ermetico ad alta efficienza, equipaggiato con inverter a controllo lineare con campo di azione tra il 16% ed il 100%;
- Circuito frigorifero dotato di separatore d'olio, valvola di inversione a quattro vie, valvola solenoide, ricevitore di liquido, accumulatore di gas, sonde per alta e bassa pressione, pressostato di sicurezza e valvola di by-pass e quanto occorre per ottimizzare il loro funzionamento;
- Schede elettroniche di controllo e di sicurezza, in grado di attivare automaticamente le modalità di raffreddamento e riscaldamento simultanei e il recupero di calore tramite il distributore in base alle impostazioni delle singole unità interne periferiche;
- Scambiatore di calore verso l'ambiente esterno, in tubo di rame con alettatura a pacco in alluminio anticorrosione (Blue Fin), di tipo piegato ad U, con prese d'aria protette da rete metallica a maglia quadra;
- Refrigerante utilizzabile R410A;
- Ventilatore di scambio termico con l'esterno, di tipo elicoidale,

L'unità di raffreddamento e riscaldamento simultaneo a recupero di calore potrà essere collegata ad un massimo di unità interne, la cui potenza complessiva dovrà essere compresa tra il 50% ed il 150 % in relazione alla potenza nominale della pompa di calore.

Caratteristiche unità interne per produzione acqua calda HWS

Le unità per la produzione di acqua calda consentono di produrre acqua calda per usi sanitari o tecnici ad una temperatura massima di 70°C; ogni unità ha una potenzialità termica nominale di 12,5 kW e viene collegata al sistema VRF come una normale unità interna.

La produzione di acqua calda risulta economicamente vantaggiosa poiché durante il periodo estivo con le normali unità interne dedicate al raffrescamento degli ambienti, con l'utilizzo del sistema a recupero R2, il calore sottratto agli ambienti viene recuperato per ottenere acqua calda sanitaria. Come noto, normalmente con gli usuali sistemi ad espansione diretta (R410a), anche recuperando il calore di condensazione, la temperatura dell'acqua calda ottenuta si attesta al massimo intorno ai 45°C, difficilmente sfruttabile per un utilizzo sanitario. Al fine di innalzare il livello termico, l'unità è stata dotata ai due distinti circuiti frigoriferi montati in cascata (uno con R410a e uno R134a):

- Il primo collegato al distributore del sistema VRF permette il recupero del calore di condensazione;
- L'altro R134a incrementa tale calore per ottenere valori di temperatura dell'acqua calda fino a 70°C.

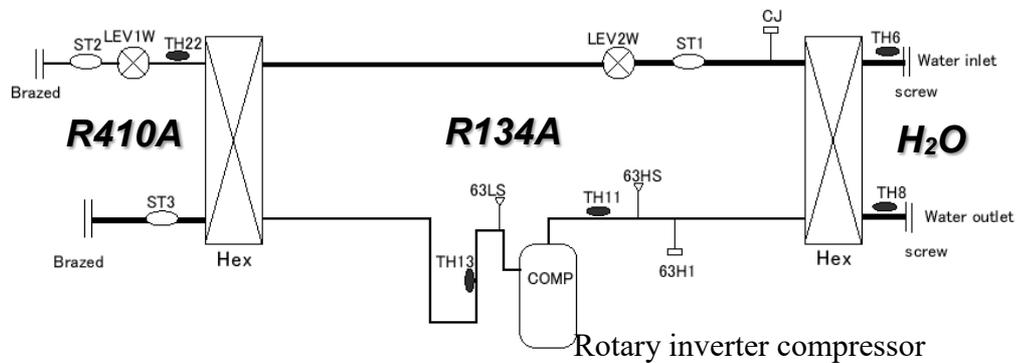


Figura 4.1.1.3 – Funzionamento distributore BC Controller

Sia l'unità esterna che il modulo idronico sono dotate di inverter e quindi in grado di fornire una ampia parzializzazione durante le mezze stagioni o in periodi di bassa richiesta.

Descrizione sommaria degli impianti previsti

L'oggetto del caso è la realizzazione delle opere impiantistiche per la climatizzazione e la produzione di acqua calda sanitaria per l'edificio residenziale di via Giovanni Pascoli, n.20, in Roma. Tale complesso si articola su otto livelli, per un totale di 15 appartamenti. Per ogni appartamento vengono impiegate diverse unità interne VRF per la climatizzazione, mentre l'approvvigionamento di acqua calda sanitaria è resa possibile dalla presenza di una rete idrica dedicata, alimentata da un bollitore da 2000 l.

La produzione di acqua calda è garantita dalla presenza di n.5 moduli idronici HWS, secondo la configurazione mostrata in Figura 4.1.1.4.

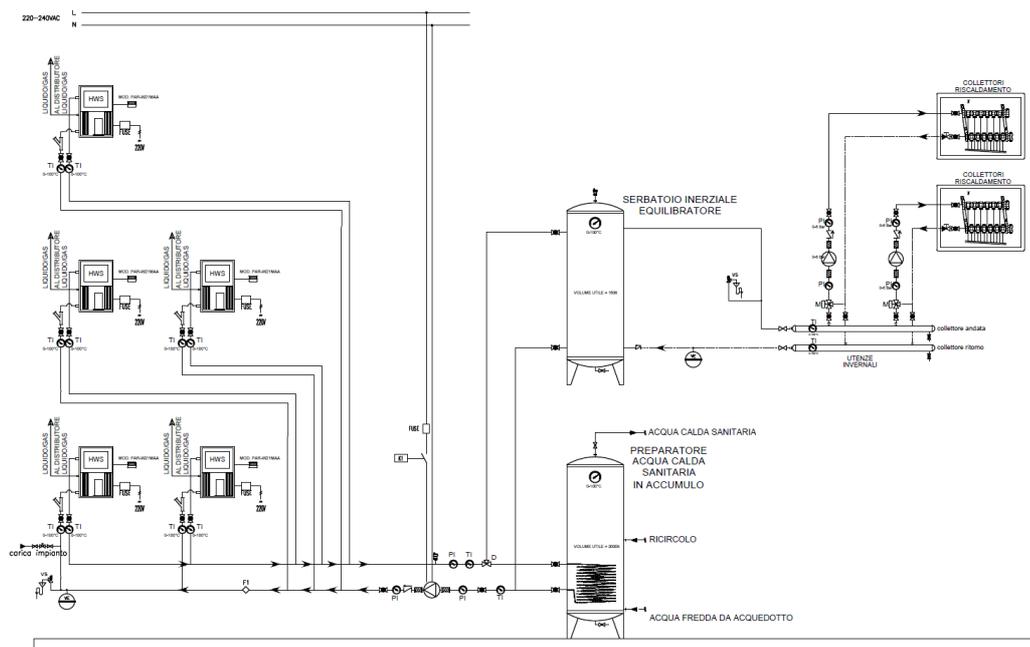


Figura 4.1.1.4 – Layout impianto per la produzione di acqua calda sanitaria

Tale configurazione prevede n.5 moduli HWS da 12.5 kWt ciascuno, per un totale di 62.5 kWt: tale potenza è quella necessaria al serpentino del bollitore al fine di portare l'acqua calda sanitaria in temperatura in 2 ore di tempo. La presenza di una valvola deviatrice offre la possibilità di deviare il flusso di acqua calda prodotta verso il circuito dei termoarredi: la presenza di un serbatoio inerziale è utile sia a separare i due circuiti (primario e secondario) in modo da ottimizzarne la gestione, sia a garantire il minimo contenuto di acqua necessario ai moduli HWS.

Confronto consumi moduli HWS vs Caldaia a GPL

Per effettuare detto confronto tra moduli HWS e la caldaia tradizionale risulta necessario distinguere le varie fasi di funzionamento del sistema VRF a recupero, in particolare si distingueranno due casi limite:

- invernale dove sia le unità interne che le esterne del sistema VRF lavorano in caldo e quindi non si ha recupero di calore;
- estivo dove le unità interne dedicate al condizionamento degli impianti lavorano per la climatizzazione (in freddo) mentre i moduli HWS per la produzione di a.c.s. lavorano in caldo con pieno recupero di calore lato refrigerante.

La configurazione impiantistica prevede n.5 moduli HWS, configurati come segue:

- n.2 moduli HWS (12.5kWt) collegati a n.2 motocondensanti da 37.5kWt;

- n.3 moduli HWS (12.5kWt) collegati a n.2 motocondensanti da 43.75kWt.

Calcolo dei consumi legati alla produzione di acqua calda mediante moduli HWS.

Caso invernale

La potenza elettrica assorbita è pari a quella assorbita dal modulo e quella assorbita dalla motocondensante.

$$\frac{12.5}{35.5} * P_{ass,1} + \frac{37.5}{87.5} * P_{ass,2} + 5 * P_{ass,HWS} = 20kW_t$$

Con:

- $P_{ass,1}$ potenza assorbita dall'unità motocondensante da 37.5 kWt → 8.78 kW
- $P_{ass,2}$ potenza assorbita dall'unità motocondensante da 43.75 kWt → 10.89 kW
- $P_{ass,HWS}$ potenza assorbita dall'unità HWS da 12.5 kWt → 2.48 kW

Per il calcolo del consumo energetico per ogni ciclo di funzionamento, si considera:

- Periodo di punta: 2 ore;
- Periodo di precarica dal bollitore: 2 ore.

$$C_{en,el} = 20 * (2 + 2) = 80 \frac{kWh_{el}}{ciclo}$$

Considerando un costo medio dell'energia elettrica pari a 0.12 €/kWh:

$$Spesa_{HWS} = 0.12 \frac{\text{€}}{kWh_{el}} * 80kWh_{el} = 9.6 \text{ €}$$

Caso estivo

La potenza elettrica assorbita è pari a quella assorbita solamente dal modulo HWS:

$$5 * P_{ass,HWS} = 12.4 kW_t$$

$$C_{en,el} = 12.4 * (2 + 2) = 49.6 \frac{kWh_{el}}{ciclo}$$

$$Spesa_{HWS} = 0.12 \frac{\text{€}}{kWh_{el}} * 49.6kWh_{el} = 5.952 \text{ €}$$

Calcolo dei consumi legati alla produzione di acqua calda mediante caldaia a GN.

Ipotizzando di avere una caldaia alimentata a gas naturale con potenza nominale al focolare esattamente pari alla potenza installata (62.5 kWt) che lavora esattamente allo stesso modo dei moduli HWS, ovvero con una durata di 4 ore a ciclo. L'energia da essa fornita ad ogni ciclo di ricarica sarà pari a:

$$62.5 \text{ kW}_t * 4h = 250 \text{ kWh}_t$$

Supponendo di avere una caldaia con rendimento medio di 0.9, l'energia primaria assorbita sarà:

$$EP = \frac{250}{0.9} = 277.78 \text{ kWh}$$

Noto il PCI (potere calorifico inferiore) del GN (circa 9,4 kWh/m³), possiamo stimare le quantità di gas naturale consumata:

$$Q_{GN} = \frac{EP}{PCI} = 29.55 \text{ m}^3$$

Ipotizzando un costo del metano di 0,55 €/m³, si avrebbe un spesa per ciclo di ricarica di:

$$Spesa_{caldaia} = 0.55 \frac{\text{€}}{\text{m}^3} * 29.55 \text{ m}^3 = 16.25 \text{ €}$$

Riassumendo i dati ricavati in tabella, si ha:

	Inverno	Estate
HWS	9,6 €	5,952 €
Caldaia	16,25 €	16,25 €

Tabella 4.1.1.1 – Spesa per ciclo di ricarica bollitore acs

Gestione impianto

Il controllo, la programmazione e la regolazione degli impianti possono essere effettuati sia a livello locale che globale.

Ciascuna unità interna VRF è dotata di un comando a filo dedicato in modo da essere localmente gestita dall'utente; inoltre, la presenza di un centralizzatore WEB Server

permette la gestione e la supervisione da remoto di tutte le unità d'impianto, tramite un pannello di comando, o da sede distaccata, su internet. Il controllo di supervisione dispone dell'archivio storico degli eventi relativi alle anomalie delle unità, comprensivi delle seguenti informazioni: data e ora anomalia, indirizzo dell'unità in anomalia, codice dell'anomalia, indirizzo del dispositivo che ha rilevato l'anomalia.

Nei casi di impianti centralizzati, come quello in oggetto, ai fini di ripartire le spese energetiche legate alla climatizzazione e all'utilizzo di acqua calda sanitaria, è utile prevedere sistemi di contabilizzazione dell'energia. In questo caso, il sistema viene completato con un software per la contabilizzazione dell'energia e la ripartizione dei consumi. Il Sistema di Supervisione TG-2000 è dotato della funzione di monitoraggio e ripartizione dei consumi delle unità interne, tramite la quale è possibile ripartire i consumi dell'intero impianto fino a 2000 utenze individuali. Il software analizza costantemente il funzionamento delle unità interne e ne acquisisce i dati per poi elaborarli e generare le tabelle di consumo delle varie utenze. Il software tiene in considerazione, oltre al consumo delle varie unità interne divise utenza per utenza, di quanto queste unità influiscano nei consumi delle rispettive unità esterne.

La ripartizione dei consumi energetici è strettamente dipendente dal tipo di consumi che si intende ripartire (climatizzazione mediante unità interne VRF ad aria, pannelli radianti, acqua calda sanitaria ecc.).

In questo caso il sistema contabilizza attraverso idonei contatori digitali:

- Le unità interne VRF - già spesate attraverso un contatore di appartamento, non entrano a far parte della contabilizzazione o ripartizione dei consumi energetici;
- Le unità esterne VRF - è previsto un contatore elettrico digitale per ciascun sistema, che rileva i consumi elettrici in kWh di ciascuna unità esterna VRF;
- Moduli idronici HWS - è previsto un contatore elettrico digitale che acquisisce i consumi elettrici di alimentazione dei moduli HWS in kWh;
- Contacalorie - è previsto un contatore che acquisisca i consumi in kcal/h o kWh dei moduli HWS per i termoarredi;
- Contalitri - è previsto un contalitri digitale per l'acquisizione dei metri cubi di acqua calda sanitaria consumata per ogni appartamento.

Al fine di contabilizzare i consumi dei servizi energetici forniti in kWh, il sistema di gestione include alcune schede che acquisiscono in input i segnali ad impulsi provenienti dai contatori digitali e li trasmettono al software di contabilizzazione (TG 2000 Charge).

4.2. Uffici

Gli edifici ad uso uffici possono essere categorizzati in diverse tipologie: si va da uffici costituiti da pochi ambienti fino ai palazzi uffici di grande altezza e vasta superficie. Prendendo come riferimento quest'ultima tipologia, è possibile distinguere all'interno vari ambienti, tra cui uffici singoli, open space, sale riunioni, archivio, CED.

Ad oggi, il tipico edificio ad uso uffici è rappresentato da una grande struttura edilizia, con superfici vetrate e grandi superfici in pianta. Ciò porta a distinguere due zone climatiche all'interno dell'immobile: una zona in prossimità delle pareti esterne, caratterizzata da forti carichi sensibili, positivi in estate e negativi in inverno, dovuti soprattutto all'irraggiamento e al cambio di stagione; una zona interna, caratterizzata da un carico costante e sempre positivo durante tutto l'anno, condizionato soprattutto dagli apporti interni di calore (illuminazione, affollamento...). Pertanto non si esclude, in alcuni periodi dell'anno, la possibilità di avere nello stesso stabile zone caratterizzate da fabbisogni termici di segno opposto (soprattutto durante le mezze stagioni).

Un'altra differenziazione è legata al tempo di funzionamento degli impianti in base alla zona servita: mentre per gli uffici operativi gli impianti funzionano solamente durante il periodo di occupazione, per altre zone (tipo le sale controllo o i CED) si ha la necessità di un funzionamento continuo dell'impianto. Per tale ragione, è preferibile differenziare gli impianti e rendere le zone indipendenti.

I servizi energetici richiesti in tale tipologia di struttura sono la climatizzazione invernale, estiva e la ventilazione meccanica. Per quanto riguarda l'acqua calda sanitaria, vista la destinazione d'uso dell'edificio, si preferisce quasi sempre localizzare la produzione direttamente nelle zone di consumo, con generatori semplici ed individuali.

Di seguito vengono riportati i dati di progetto e le condizioni da mantenere all'interno degli ambienti:

- Regime invernale
 $T_i = 20 - 22 \text{ °C}$ $UR = 30 - 40 \%$
- Regime estivo
 $T_i = 24 - 26 \text{ °C}$ $UR = 50 - 60 \%$

Al fine di mantenere tali condizioni, gli impianti devono essere dimensionati per vincere i carichi termici dovuti alla trasmissione verso l'esterno, alla ventila zone, all'irraggiamento e agli apporti interni. Per questi ultimi si tiene conto di alcuni criteri tipici della destinazione d'uso in esame, in accordo con la normativa vigente.

Per l'affollamento, causa di carico positivo sia sensibile che latente, si considerano diversi valori in funzione al tipo di ambiente:

- Per gli uffici singoli si considera 1 persona ogni 15 mq;
- Per gli open space si considera 1 persona ogni 7 mq;
- Per le sale riunioni si considera 1 persona ogni 1,5 mq.

La presenza di illuminazioni e macchinari elettrici costituisce un carico positivo sensibile e può essere stimato, a meno di diverse indicazioni, come segue:

- Per gli uffici con un carico medio, si conta dai 20 ai 50 W/mq;
- Per gli uffici con elevata densità di PC e illuminazioni, si considera dai 50 ai 110 W/mq.

Il carico dovuto alla ventilazione deve tener conto del quantitativo di aria esterna da immettere in ambiente al fine di mantenere un buon IAQ: in accordo con la norma UNI 10339, viene stimato un ricambio di circa 40 mc/h/persona. La presenza di finestre o in generale di aperture verso l'esterno rende meno vincolante tale limite: tuttavia, bisogna sempre garantire un minimo ricambio d'aria, mai inferiore ai 2 vol./h.

La progettazione degli impianti meccanici destinati agli uffici deve tener conto della possibilità che alcune condizioni possano essere modificate nel corso del tempo: il più delle volte si tratta di enormi centri direzionali, caratterizzati da una occupazione variabile. Gli impianti dunque dovranno essere in grado di gestire i transitori di carico dovuti al non continuo grado di occupazione dell'edificio. Pertanto, i principali requisiti dell'impianto, oltre al soddisfacimento delle condizioni di progetto e all'efficienza energetica, devono essere la flessibilità di configurazione e di prestazione.

4.2.1. Sede di Assolombarda a Milano

Per la ristrutturazione della sede di Milano di Assolombarda gli impianti di climatizzazione e ricambio dell'aria sono stati scelti e progettati rivolgendo una speciale attenzione, oltre che al raggiungimento delle condizioni di benessere termo-igrometrico, anche al controllo della qualità dell'aria ambiente e al contenimento dei consumi di energia.

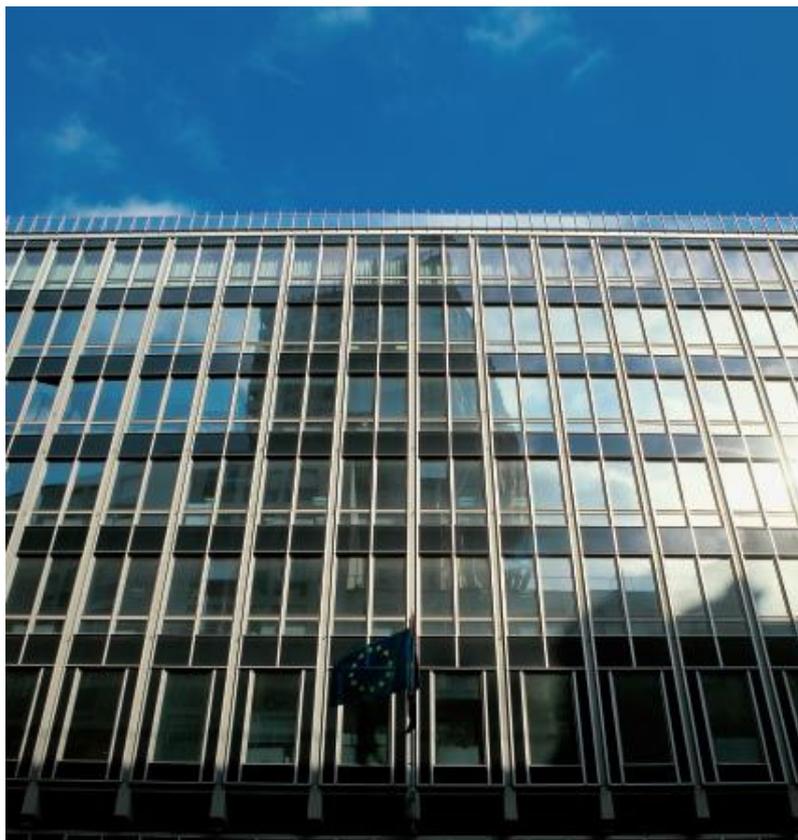


Figura 4.2.1.1 – Sede di Assolombarda, Milano

Il progetto di riqualificazione della sede di Assolombarda di Via Pantano, a Milano, è rientrato nel contesto di un processo di riqualificazione che ha coinvolto gli impianti HVAC già presenti: in particolare i sistemi di trattamento dell'aria, la centrale frigorifera e la centrale termica. La necessità di intervenire senza imporre interruzioni sull'operatività degli uffici, ha ristretto la scelta degli impianti a dei sistemi VRF a recupero di calore, in questo caso di Mitsubishi Electric. A corredo, trovano spazio dei sistemi di trattamento e distribuzione dell'aria primaria e di espulsione dell'aria viziata.

Ante Operam

Nell'edificio di Assolombarda esistevano diverse apparecchiature o impianti ubicati nel secondo piano interrato:

- Centrale termica con gruppo di caldaie;
- Centrale frigorifera composta da tre refrigeratori d'acqua, condensati ad acqua di torre;
- Unità di trattamento aria.

Si individuano due tipologie di sistemi di trattamento aria: una a servizio di aree specifiche (auditorium, sale convegni e aule) una a servizio del resto dell'edificio (piani uffici e zone

comuni). Sulla copertura (livello sesto) era disponibile un'area tecnica con due torri evaporative a servizio della centrale frigorifera.

Post Operam

È stata realizzata la ristrutturazione dei piani dal primo al quinto, più la copertura, e interventi parziali sui piani rialzato e seminterrato. Il progetto di riqualificazione ha previsto, per le zone oggetto dell'intervento, la ristrutturazione degli impianti esistenti e la realizzazione di nuovi impianti di climatizzazione.

Le opere di ristrutturazione eseguite si possono riassumere a grandi linee come segue:

- Ristrutturazione completa dei piani dal primo al quinto e ristrutturazione parziale del piano terra e parte del piano seminterrato;
- Sostituzione della centrale frigorifera, esistente al piano secondo interrato ed obsoleta, e con una nuova in copertura;
- Inserimento dei sistemi di raffrescamento di processo dei locali macchine ascensori e della nuova cabina di trasformazione al piano secondo interrato;
- Sistema di supervisione controllo e gestione dei parametri controllati;

Gli interventi di ristrutturazione sono stati svolti per fasi successive, secondo un programma di lavori redatto da Assolombarda, in modo che le zone non oggetto di attività di ristrutturazione hanno potuto continuare ad essere operative e disponibili per Assolombarda durante i lavori.

Di seguito un riassunto degli impianti previsti per la riqualificazione.

Potenze installate	
Potenza frigorifera installata impianti VRF	616 kW
Potenza termica installata impianti VRF	693 kW
n° di unità esterne VRF	22
n° di unità interne VRF	68 unità canalizzabili in controsoffitto 136 unità a mobiletto da pavimento
Portata aria primaria	24000 mc/h da una singola UTA
Potenza frigorifera complessiva (VRF + refrigeratore)	1061 kW

Tabella 4.2.1 – Impianti previsti e potenzialità

Descrizione degli interventi e degli impianti

Gli impianti oggetto degli interventi sono stati principalmente:

- Impianti di climatizzazione;
- Impianti di ventilazione;
- Impianti di termoregolazione e supervisione impiantistica.

Impianti di Climatizzazione

Trattasi di sistemi a portata di refrigerante variabile (VRF) a recupero di calore, costituiti da 22 unità esterne, installate in copertura, ciascuna delle quali collegata per mezzo di opportuni circuiti frigoriferi a una serie di unità interne installate nei diversi locali.

Le unità interne dei sistemi VRF sono in grado di fornire o sottrarre calore in modo autonomo, locale per locale. Essendo il sistema a recupero di calore, viene consentito, specialmente nelle medie stagioni, di poter raffrescare i locali sottoposti all'azione dell'irraggiamento solare e riscaldare, se necessario, i locali opposti non soggetti ad irraggiamento solare con il massimo risparmio energetico. Essendo i compressori delle unità esterne VRF dotati di inverter, la regolazione è di tipo modulante e continua in funzione alle richieste delle unità interne. Le reti di distribuzione del circuito frigorifero sono in rame.

Gli impianti VRF, non interagendo in alcun modo con la centrale frigorifera e termica esistente, si sono dimostrati l'unica soluzione che consente di mantenere l'operatività della struttura durante il periodo di riqualificazione.



Figura 4.2.1.2 – Locali interni della sede di Assolombarda

Impianti di Ventilazione

La composizione dell'unità di trattamento dell'aria esterna e il sistema di supervisione e controllo consentono la gestione dei parametri controllati (temperatura, umidità, pulizia dell'aria interna e limitazione della rumorosità) con il massimo risparmio energetico. Sono stati infatti previsti sistemi di recupero calore con batterie ad acqua glicolata che, in funzione della temperatura esterna, possono funzionare anche in modalità "freecooling", quando le condizioni di temperatura e umidità dell'aria esterna lo dovessero rendere conveniente.

Il sistema prevede il rinnovo dell'aria ambiente con filtrazione, riscaldamento, umidificazione e post-riscaldamento in inverno, e con raffreddamento, deumidificazione e post-riscaldamento in estate.

Di seguito il funzionale della centrale di trattamento aria impiegata a progetto.

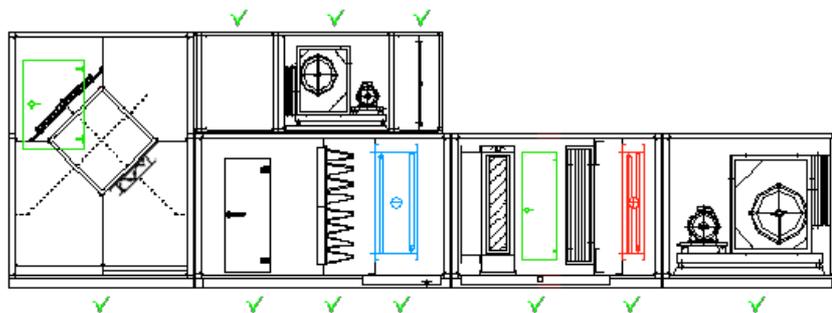


Figura 4.2.1.3 – Unità di trattamento aria primaria, sede di Assolombarda

Centrale Frigorifera

La centrale frigorifera, che precedentemente era ubicata al piano secondo interrato, è stata installata in copertura in un'area tecnica dedicata. Essa comprende, oltre alle n.22 unità esterne VRF a recupero di calore, anche un gruppo frigorifero che andrà ad alimentare le batterie di scambio della centrale di trattamento aria presenti al secondo piano interrato.

Il gruppo frigorifero da 450 kW è costituito da un refrigeratore di liquido con condensazione ad aria dotato di ventilatori assiali per installazione all'esterno, con compressori a vite semi-ermetici funzionanti con il fluido refrigerante R134a.

Il refrigeratore è stato dotato di un sistema di recupero parziale del calore per il post-riscaldamento estivo dell'aria primaria.



Figura 4.2.1.4 – Centrale frigorifera, sede di Assolombarda

Sistemi di gestione e supervisione

È stato previsto un sistema di supervisione integrato, composto da una famiglia di componenti hardware e moduli software che, insieme, costituiscono un sistema integrato di controllori, sensori, attuatori e dispositivi di interfaccia operatore. Tali sistemi consentono la supervisione, il controllo e la gestione degli impianti tecnologici di climatizzazione, ventilazione e riscaldamento. I sistemi hanno la capacità di integrare le diverse funzioni necessarie per la gestione dell'edificio, semplificando così il lavoro degli operatori per garantire il comfort ambientale. Sono stati previsti punti di controllo per ogni piano per la gestione delle unità ambiente dei sistemi VRF. Ciascuna unità funziona in modo indipendente, eseguendo in modo autonomo i controlli specifici e la gestione degli allarmi. Il guasto di un singolo componente o di una connessione sulla rete non interrompe l'esecuzione delle funzioni di controllo sulle altre apparecchiature.

Delle sottostazioni, poste in appositi quadri elettrici posizionati nell'area tecnica in copertura e nell'area tecnica al piano secondo interrato, effettuano il controllo e la gestione dei componenti e dei parametri dell'impianto di tipo idronico (unità di trattamento dell'aria primaria, refrigeratore d'acqua, elettropompe, espulsori, centrale termica).

Il sistema di supervisione consente, in sintesi, la gestione dei parametri controllati (temperature, orari ecc.) da un punto presidiato locale e/o remoto e da ogni postazione

operativa (personal computer) di qualsiasi operatore, previo inserimento di una password. L'interfaccia tra l'operatore e gli impianti supervisionati è quindi un PC che permette le funzioni di comando, la gestione degli allarmi, il controllo globale della rete e l'analisi ed elaborazione dei dati. Il software previsto riduce al minimo la fase di istruzione dell'operatore mediante l'uso di menù interattivi, scritte in chiaro e l'uso di software applicativi standard per i PC. L'utente è perciò posto in grado di inviare comandi alle utenze o modificare un set-point utilizzando il puntamento di un mouse su una pagina grafica.

4.3. Hotel

La scelta progettuale relativa agli impianti HVAC destinata agli Hotel è influenzata da alcuni parametri caratteristici della struttura stessa. È molto rilevante la categoria dell'hotel, in quanto ci si aspetta un livello di comfort proporzionale al livello dell'hotel; ma anche la tipologia della struttura alberghiera implica la scelta progettuale (hotel per vacanze o affari).

Le strutture alberghiere includono le camere e le aree comuni, quali hall, sale da pranzo, reception, sale riunioni, bar, ristoranti etc. Tali ambienti hanno caratteristiche climatiche differenti e soprattutto orari di servizio differenti, per cui è logico differenziare gli impianti. Fra i requisiti principali che tali impianti devono soddisfare rientrano la semplicità e la sicurezza di funzionamento, la silenziosità, la facilità di manutenzione e la possibilità di manutenzione senza interruzioni di servizio.

Di seguito vengono specificate le caratteristiche principali relative agli impianti dedicati alle camere e alle aree comuni.

Impianti per le camere

Gli impianti di climatizzazione e ventilazione dedicati alle camere, oltre che essere silenziosi ed operativi, devono poter soddisfare le esigenze del cliente in qualsiasi situazione, anche quanto le richieste dei clienti sono contrapposte. Oggi, la tendenza comune è quella di separare gli impianti per il rinnovo dell'aria e gli impianti per il riscaldamento/raffrescamento, in modo da garantire sempre un adeguata qualità dell'aria, pur dando la possibilità all'utente di regolare la temperatura. Il trattamento dell'aria primaria avviene in remoto grazie all'installazione di apposite UTA, dimensionate in base al numero di camere e alla tipologia di camera; il riscaldamento/raffrescamento è garantito

dall'installazione in ambiente, o nel controsoffitto, di unità terminali che possono essere ad acqua o ad espansione diretta in funzione alla tipologia di sistema adottato. L'aria primaria, per semplicità impiantistica, viene immessa in ambiente attraverso la stessa bocchetta di immissione dell'aria trattata dal terminale.

La norma di riferimento prescrive una portata di aria esterna non inferiore ai 2 vol./h, con prefiltri e filtri a tasche; la velocità di lancio dell'aria deve essere inferiore ai 0.2 m/s e la rumorosità dell'unità non deve superare i 30 dB(A). Inoltre, viene richiesto un sistema di estrazione dell'aria nel servizio igienico (circa 10 vol./h), mentre il riscaldamento è a carico di un piccolo terminale radiante.

Figura 4.3.1 riporta un'unità interna di climatizzazione tipica per gli hotel: attraverso la griglia frontale viene lanciata l'aria di mandata trattata in batteria, mentre attraverso la griglia posteriore viene prelevata aria dall'ambiente per mandarla in batteria.



Figura 4.3.1 – *Terminale in controsoffitto per camere di hotel*

Impianti per le aree comuni

La progettazione degli impianti dedicati alle zone comuni dipende sostanzialmente dalla destinazione dell'area da trattare: si passa dalla hall alla sala riunioni, fino alla sala congressi. Occorre tener presente che per tali zone le condizioni termo-igrometriche interne sono fortemente variabili: dunque l'impianto dovrà essere dimensionato e progettato in modo da rispondere nel più breve tempo possibile alle variazioni di fabbisogno. La pratica comune prevede l'adozione di impianti a tutt'aria, con parziale ricircolo: normalmente l'impianto viene dimensionato su una portata di aria di 10 vol./h, di cui almeno 2 vol./h sono di aria esterna. Essendo un impianto a tutt'aria, è molto importante

la progettazione, il dimensionamento e il layout dei canali aeraulici in quanto un errore di progettazione avvantaggerebbe possibili gradienti termici in ambiente.

La regolazione degli impianti risulta più complessa rispetto alle camere in quanto, oltre alla temperatura, rientra in regolazione anche l'umidità relativa e la qualità dell'aria: un esempio è il controllo del quantitativo di aria esterna da immettere in ambiente in funzione all'indice di affollamento.

4.3.1. Hotel “Il Sereno”

L'Hotel Il Sereno***** L sorge a Torno, sul lago di Como, e rappresenta la meta più prestigiosa ed elegante della zona. La struttura offre privacy assoluta, relax, sobria eleganza e design stimolante, affinché l'ospite si senta immerso in un'oasi di relax, dove poter godere dello spettacolo del paesaggio e sia supportato da ogni genere di confort.



Figura 4.3.1.1 – Hotel “Il Sereno”

Questa ricercatezza nelle condizioni ottimali per gli ospiti si è riflessa anche nella scelta impiantistica più appropriata che garantisce innovazione tecnologica, eco sostenibilità e confort. Per questo motivo, al fine di ottemperare ai fabbisogni di climatizzazione, ventilazione e produzione di acqua calda sanitaria, è stata adottata una tecnologia ibrida a flusso di refrigerante variabile HVRF, denominato Hybrid City Multi (Mitsubishi Electric), che unisce la semplicità impiantistica di un sistema VRF al confort assicurato da un sistema ad acqua.

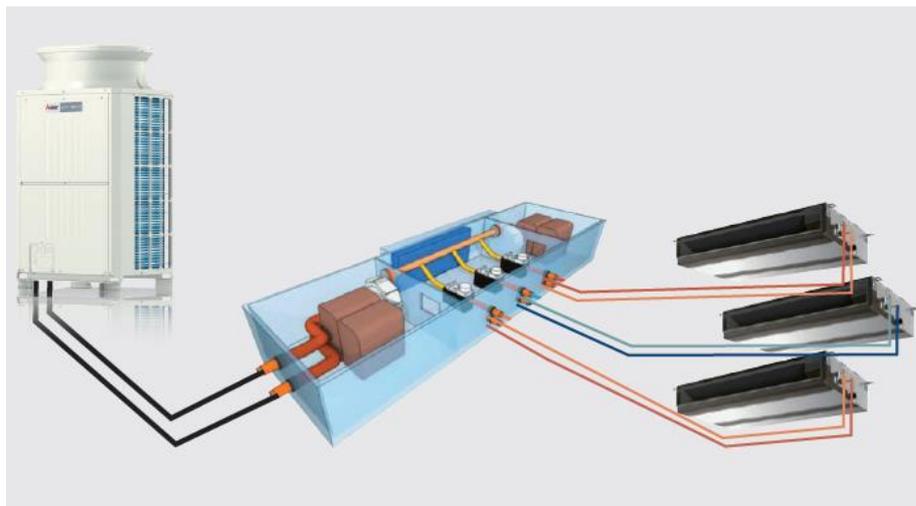


Figura 4.3.1.2 – *Hybrid City Multi* – sistema ibrido che assicura un alto grado di comfort con i vantaggi dei sistemi VRF.

Consiste in un sistema VRF a recupero di calore, a due tubi, che utilizza acqua per distribuire la potenza termica e frigorifera in ambiente. La tecnologia si basa sul sistema a recupero di calore City Multi R2 di Mitsubishi Electric, visto precedentemente nel caso residenziale, ed è composto da un'unità esterna VRF, dall'innovativo distributore Hybrid BC Controller, che permette di utilizzare gas refrigerante ed acqua come fluidi vettore di calore, nonché da unità interne equipaggiate appositamente con una batteria ad acqua.

L'utilizzo della distribuzione ad acqua permette di superare i limiti legati alla normativa UNI EN 378 sulla concentrazione di gas refrigeranti: l'unica porzione di impianto che contiene gas refrigerante è quella che collega l'unità esterna al distributore Hybrid BC Controller, che può essere collocato sia in controsoffitto che in un locale tecnico dedicato. In questo modo è possibile ottenere una riduzione della carica di refrigerante fino al 45% rispetto ad un sistema VRF tradizionale.

Principio di funzionamento Hybrid BC

Il distributore HBC ha il compito di separare il circuito frigorifero dal circuito idronico. Ci sono due gruppi di scambiatori di calore a piastre, entrambi posizionati all'estremità dell'HBC box. Entrambi i gruppi forniscono acqua calda in modalità riscaldamento e acqua fredda in modalità raffrescamento. Durante il funzionamento "misto caldo e freddo", uno scambiatore fornisce acqua calda mentre l'altro fornisce acqua fredda al rispettivo collettore.

Ogni gruppo di scambiatori di calore a piastre è dotato di una pompa di circolazione DC Inverter. La pompa fa circolare la portata d'acqua all'interno del circuito chiuso tra l'HBC e le unità interne. La portata di acqua per ogni unità interna è controllata dal blocco valvole

che, oltre ad avere la funzione di modulazione della portata alle unità interne, ha la funzione di selezionare uno dei due collettori di mandata (acqua fredda o acqua calda).

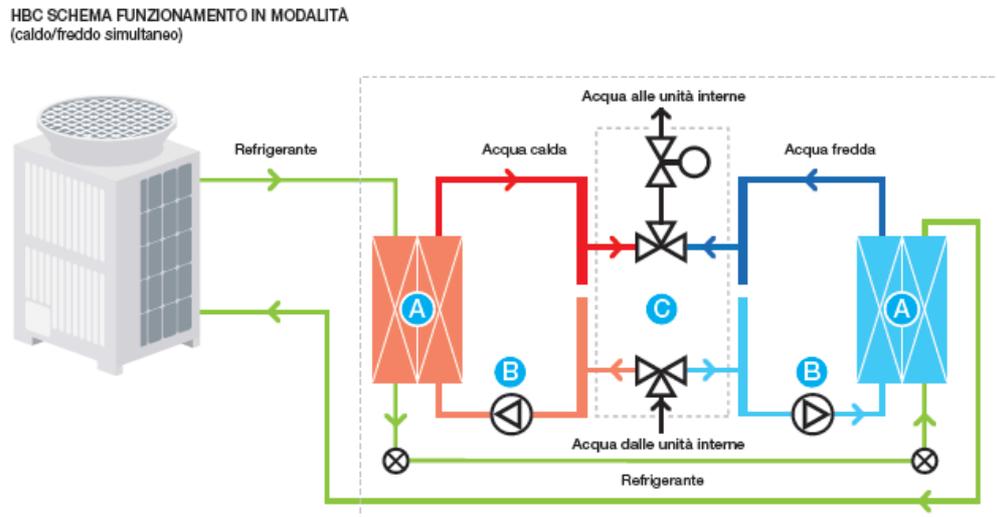


Figura 4.3.1.3 – *Hybrid City Multi* – Principio di funzionamento sistema ibrido

Descrizione impianti di climatizzazione

Per garantire il riscaldamento e raffreddamento primario delle utenze situate ai piani da -1 a 4, sono stati previsti n°6 sistemi HVRF di riscaldamento e raffreddamento simultanei con recupero di calore ad espansione indiretta (n°1 sistema HVRF per piano) condensati con acqua di lago. L'acqua di lago viene prelevata con un'opportuna stazione di pompaggio a -15m dal livello del lago. I 6 sistemi HVRF hanno complessivamente potenzialità termica nominale totale di 270 kW, e potenzialità frigorifera nominale totale di 240 kW e alimentano, attraverso n°6 distributori HCB, un totale di 79 unità interne con batteria ad acqua di varie tipologie, da terminali a pavimento incasso (prevalentemente usate per le camere), a canalizzate media prevalenza e cassette a quattro vie (per le aree comuni). Il collegamento frigorifero tra le n°6 unità esterne VRF ed i distributori HCB è stato realizzato con tubazioni in rame fosforoso disossidato coibentato con elastomeri; mentre, il collegamento idraulico tra i distributori HCB e le n°79 unità interne è stato realizzato con tubazioni DN20 in multistrato isolato.

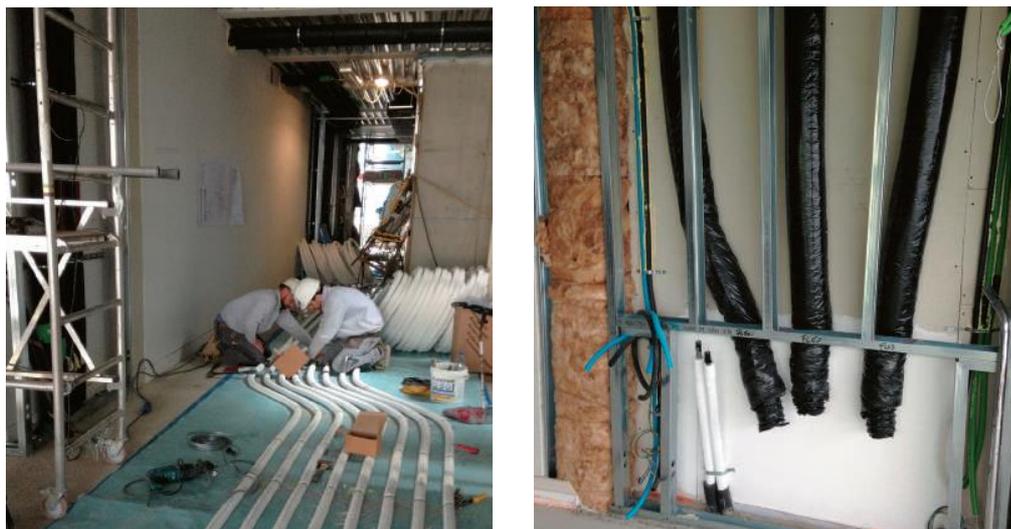


Figura 4.3.1.4 – *Dettaglio installativo delle tubazioni al piano*

Descrizione impianti di ventilazione

Il rinnovo dell'aria ambiente è garantito dalla presenza di n.6 recuperatori di calore a basamento (uno per piano) da 1000 m³/h ciascuno. Tale recuperatore entalpico, serie Lossnay, si contraddistingue per l'elevata flessibilità installativa ed operativa, superando i più restrittivi standard in materia di igiene dell'aria ed allineandosi con le più recenti normative sui ricambi dell'aria negli ambienti non residenziali.



Figura 4.3.1.5 – *Recuperatore di calore entalpico a basamento*

Il recuperatore di calore entalpico Lossnay è di tipo a piastre con flussi incrociati ed è dotato di diaframmi di scambio realizzati in speciale carta trattata, in modo da garantire il massimo scambio di calore sia sensibile che latente tra i due flussi d'aria che attraversano l'elemento di recupero. Il risultato si traduce in un ambiente con caratteristiche di massimo comfort e salubrità e che consente di realizzare sostanziali risparmi sulle spese di gestione.

È possibile ottenere una pressione statica utile fino a 200 Pa per applicazioni che richiedono elevate lunghezze dei canali aeraulici.

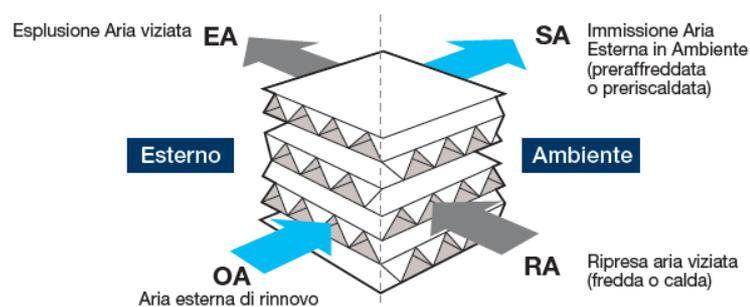


Figura 4.3.1.6 – *Elemento di recupero Lossnay*

Descrizione impianti per la produzione di acqua calda sanitaria

Per garantire a tutto l'albergo la produzione di acqua calda sanitaria sono state previste n°2 pompe di calore monoblocco acqua/acqua (condensazione con acqua del lago). Le due unità, che hanno potenza termica nominale totale di 120 kW, sono in grado di produrre acqua fino a 65°C, andando a scambiare l'intera potenza termica sul serpentino di un bollitore sanitario dalla capacità di 2000 litri (bollitore dimensionato sul fabbisogno di acqua calda sanitaria per le camere).

L'unità è dotata di due compressori scroll, funzionanti ad R410A, in modo da garantire una resa termica nominale di 60 kW, utilizzando come sorgente termica acqua di falda, fiume o lago. La temperatura dell'acqua di condensazione in ingresso alla macchina può variare in un range tra 8°C e 27°C, con una mandata massima, lato utente, di 65°C.

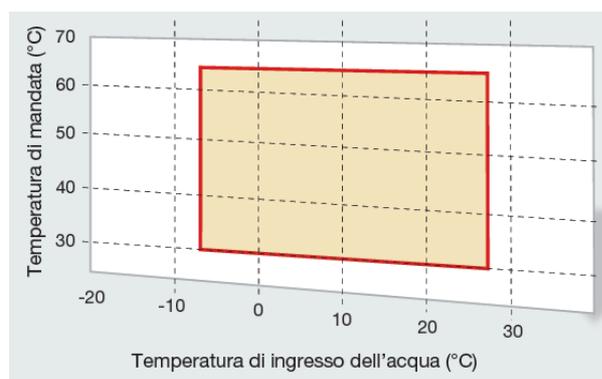


Figura 4.3.1.7 – *Campo operativo dell'unità monoblocco*

Le n.6 unità VRF e le n.2 unità monoblocco sono posizionati all'interno del locale tecnico sito al piano -2. Per consentire alle unità di evaporare o condensare è stato realizzato un anello d'acqua, con scambiatore intermedio, per cedere o assorbire energia termica dall'acqua del lago, considerando per essa una temperatura costante durante tutto l'anno, fissata a 7°C.

4.4. Centri commerciali

La progettazione degli impianti HVAC per i centri commerciali richiede alcuni ragionamenti in quanto la struttura è costituita da diverse aree, ciascuna caratterizzata da diverse esigenze impiantistiche. Oltre a questo, bisogna prendere in considerazione la geometria e la ripartizione degli spazi da climatizzare, nonché il loro uso e l'occupazione durante l'arco della giornata. L'odierna tipologia di centri commerciali è costituita da zone specifiche:

- Galleria centrale pedonabile, circondata dalla schiera di negozi;
- Negozi;
- Ipermercato;
- Food court;

Gli impianti di climatizzazione e ventilazione dedicati alla struttura, oltre a garantire il benessere degli occupanti, devono risultare flessibili in termini di operatività in quanto le richieste e i carichi possono subire variazioni improvvise.

I dati per il dimensionamento riguardano le condizioni climatiche esterne, l'affollamento che dipende dal tipo di locale, l'apporto dei carichi interni quali l'illuminazione, i tassi di aria esterna di rinnovo utile a regolare l'umidità relativa e a mantenere un buon IAQ. In Tabella 4.4.1 vengono riassunti i criteri progettuali che vengono adottati in fase di dimensionamento impianto, in accordo con le normative vigenti.

	Affollamento	Carichi interni	Tassi aria esterna
Galleria	0,5 persona/m ² di superficie	30 - 50 W/m ²	30 m ³ /h per persona
Negozi	0,1 persona/m ² di superficie	30 - 130 W/m ²	40 - 50 m ³ /h per persona
Ipermercati	0,4 persona/m ² di superficie	30 - 60 W/m ²	30 m ³ /h per persona
Food Court	0,5 persona/m ² di superficie	30 - 40 W/m ²	35 - 50 m ³ /h per persona

Tabella 4.4.1 – Riassunto dei carichi termici per un centro commerciale

Le condizioni di progetto sono:

- Caso estivo
 $T_i = 25^\circ\text{C}$ $UR_i = 50 \%$
- Caso invernale
 $T_i = 20^\circ\text{C}$ $UR_i = 40 - 45 \%$

Come anticipato, l'impianto, oltre a soddisfare il carico, deve rispondere nel minor tempo possibile alle variazioni di carico che si susseguono durante l'attività giornaliera: monitoraggi su impianti esistenti hanno provato un forte picco del carico termico durante gli orari serali di uscita dagli uffici, durante i weekend e durante le festività.

Numerose possono essere le scelte impiantistiche per il condizionamento dei centri commerciali; tuttavia, l'ingente portata di aria richiesta, soprattutto per la zona della galleria, indirizza la scelta della tipologia impiantistica verso gli impianti a tutt'aria. Queste soluzioni, inoltre, vengono applicate al servizio di locali di superficie estesa, quali supermercati, food court e altri spazi analoghi. Ad oggi, le tipologie impiantistiche principali risultano essere:

- UTA idroniche alimentate da chiller e pompe di calore;
- Sistemi Roof Top, autonomi e opportunamente dimensionati per il trattamento delle ingenti quantità di aria esterna.

Differenti invece le soluzioni adottate per i negozi, che, oltre all'aria di rinnovo comunque necessaria, vengono dotate di sistemi indipendenti per la regolazione della temperatura, tipicamente sistemi VRF collegati ad un anello liquido di condensazione comune per tutti i negozi. Inoltre tale soluzione consente un recupero di calore sull'anello liquido nel caso in cui due o più sistemi lavorino secondo modi operativi di segno opposto. Tale soluzione risulta energeticamente conveniente anche se bisogna tenere in considerazione le spese energetiche di pompaggio correlate all'anello liquido.

Per quanto riguarda le centrali frigorifere, la necessità è quella di ridurli al minimo, al fine di non togliere spazio alle aree di vendita. La maggior parte delle applicazioni vede l'installazione di gruppi frigoriferi, esterne VRF e UTA in copertura, mentre in controsoffitto i terminali per i negozi e gli altri spazi interni. Un caso particolare è rappresentato dagli impianti frigoriferi dei supermercati alimentari, ai quali sono destinati opportuni spazi per le centrali di refrigerazione, anche se i condensatori sono normalmente installati sulla copertura.



Figura 4.4.2 – Centrale frigorifera sulla copertura di un centro commerciale

4.4.1. Centro commerciale “Il Centro”

“Il Centro” di Arese rappresenta il più grande centro commerciale mai realizzato in Italia, con un’estensione di circa 93.000 mq e oltre 200 negozi. La struttura esce dai canoni tipici dei centri commerciali: non dispone di una galleria nella quale affacciano i negozi, ma è strutturata secondo la tecnica del “*sistema di piazze*” in modo da creare punti di aggregazione, quali palazzetti o piazze. L’impiego delle tecnologie più avanzate, sia dal punto di vista strutturale che impiantistico, ha fatto sì che l’edificio ottenesse la certificazione LEED Gold, da parte dell’ente certificatore U.S. Green Building Council. Viste le enormi dimensioni dell’edificio, la fase di progettazione ha richiesto una particolare attenzione soprattutto sul controllo dei costi di costruzione e operativi. Dal punto di vista degli impianti HVAC, la necessità è quella di garantire il comfort per i clienti durante tutto l’anno, indipendentemente dalle condizioni meteorologiche. Inoltre, la possibilità di impiegare le strutture in periodi differenti e/o di cambiare la destinazione d’uso delle strutture stesse, ha richiesto particolare attenzione nella gestione dei transitori termici.



Figura 4.4.1.1 – “Il Centro”, Arese

Descrizione impianti di climatizzazione e ventilazione

La climatizzazione e la ventilazione del centro commerciale è gestita mediante impianti diversi a seconda della zona trattata.

La climatizzazione dell'ipermercato e della Fashion Court è affidata a un sistema Clivet di water loop WLHP, alimentato da un sistema di teleriscaldamento che fornisce il fluido primario di condensazione all'anello liquido.

L'impianto presente nell'ipermercato consiste in un sistema a tutt'aria che prevede n.15 UTA idroniche, serie AQX, caratterizzate da un'elevata efficienza e un'elevata flessibilità costruttiva che le rende adattabili a diverse esigenze architettoniche.

A servizio dei negozi della Fashion Court sono disposti circa 200 sistemi ad espansione diretta Versatemp in pompa di calore reversibile, alimentati dall'anello. I sistemi ad espansione diretta uniscono la compattezza e la semplicità impiantistica alle elevate prestazioni energetiche.

Il sistema WLHP rappresenta una delle soluzioni più evolute per la climatizzazione e la ventilazione dei centri commerciali. L'energia termica richiesta per la climatizzazione viene convertita localmente attraverso unità acqua-aria o acqua-acqua, condensate ad acqua di anello disponibile ad una temperatura neutra rispetto all'ambiente (20 – 30 °C).

Tra i principali vantaggi di tale soluzione rientra sicuramente la riduzione degli sprechi di energia grazie alla produzione decentralizzata del vettore energetico; tuttavia anche la

ripartizione delle spese legate all'investimento e all'operatività tra gli operatori è più immediata.

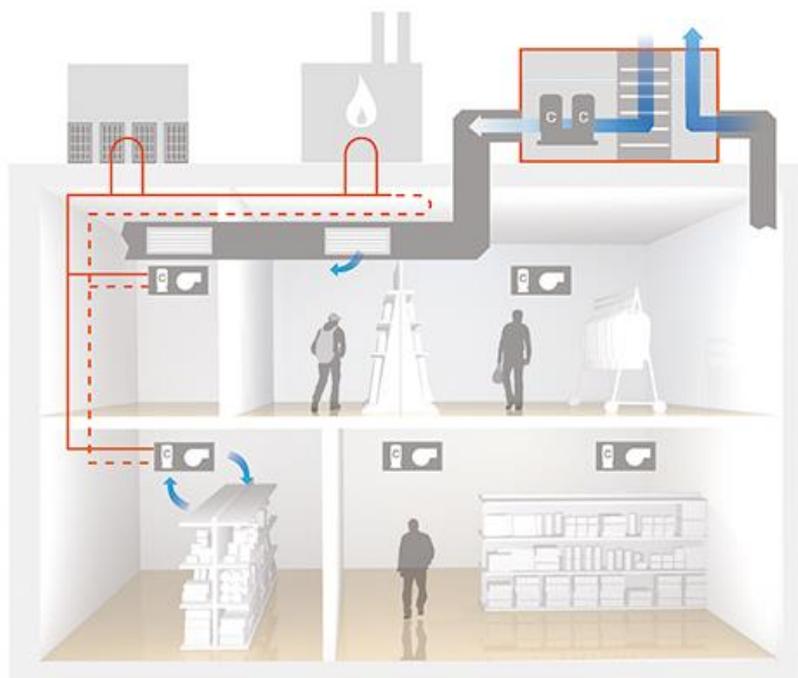


Figura 4.4.1.2 – *Sistema WLHP ad anello d'acqua*

Per la galleria commerciale sono state previste n.37 unità Rooftop dotate di doppio circuito frigorifero con compressori scroll modulari, per una continua regolazione di capacità all'effettiva richiesta di energia, sezione ventilante di trattamento con tecnologia plug-fan a controllo elettronico per una più fine regolazione e nuova tecnologia di recupero termodinamico Thor, che aumenta l'energia recuperata, migliorando l'efficienza complessiva delle unità.

Il sistema monoblocco Rooftop risulta vantaggioso sia in termini economici che in tempi di installazione, garantendo al contempo il soddisfacimento dei fabbisogni legati alla climatizzazione e al rinnovo dell'aria. Il sistema si presta bene agli ambienti che hanno diverse esigenze di ricambio: dai locali con necessità di ricambio totale dell'aria, fino ai locali con medio o basso affollamento. Il processo di conversione dell'energia avviene all'interno dell'unità stessa, senza necessità di altre centrali termiche, mentre la distribuzione del vettore energetico negli ambienti avviene mediante un idoneo impianto di distribuzione e diffusione dell'aria costituito da canalizzazioni e terminali di diffusione.

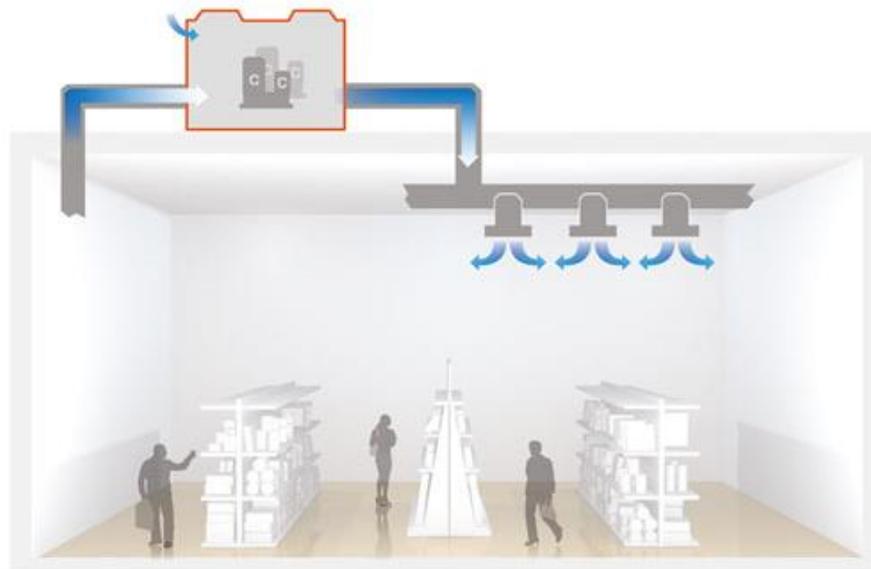


Figura 4.4.1.3 – *Sistema Rooftop monoblocco*

Il comfort legato alla zona Food Court è assicurato dalle pompe di calore a tutt'aria esterna per applicazioni in cui sia necessario il ricambio totale dell'aria quali le cucine dei ristoranti. Queste unità riscaldano, raffreddano e deumidificano l'aria immessa, compensando il flusso d'aria estratto dalle cappe di aspirazione per il benessere degli operatori e un abbattimento anche del 50% del consumo di energia primaria rispetto ai sistemi tradizionali.

Considerazioni

Il sistema ad anello WLHP garantisce, per ogni singola area, un elevato livello di comfort ambientale durante tutto l'anno, indipendentemente dalla posizione, dimensione o destinazione d'uso dell'area. L'utilizzo di sistemi indipendenti, monoblocco e ad espansione diretta, ha semplificato la fase di installazione ed avviamento degli impianti, riducendo al minimo il carico economico che ne deriva. Tale scelta progettuale ha semplificato anche la ripartizione delle spese di installazione fra i vari proprietari di negozi e ristoranti. La tipologia impiantistica adottata, inoltre, limita l'impatto ambientale e i costi di gestione: utilizzando un sistema ad anello, la spesa energetica è relativa solamente alla zona che richiede climatizzazione. Inoltre, nei periodi in cui i sistemi lavorano con esigenze termiche opposte, viene garantito un recupero di calore sull'anello di condensazione / evaporazione. L'efficienza energetica dei sistemi impiegati è elevata, consentendo un risparmio di energia primaria fino al 35% rispetto ai sistemi tradizionali.

Risulta molto delicata la progettazione e il dimensionamento dell'anello di liquido: essendo l'anello costantemente percorso da acqua in pressione, un dimensionamento poco accurato

potrebbe gravare sul sistema di pompaggio, provocando ingenti consumi di energia elettrica. La figura seguente mostra la configurazione impiantistica tipica di un sistema ad anello di liquido.

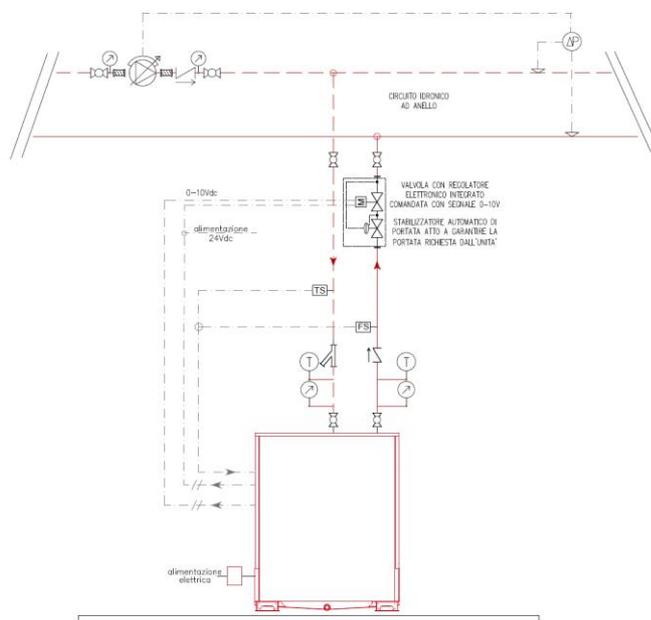


Figura 4.4.1.4 – Configurazione sistemi condensati/evaporati ad acqua

La soluzione rooftop per il fabbisogno delle aree commerciali e dei ristoranti ad alto affollamento, ha permesso di ridurre i costi operativi ed eliminare quelli di pompaggio. Garantisce inoltre la massima flessibilità nell'utilizzo degli spazi, con la possibilità di modificare i layout delle aree e di ridistribuire gli spazi commerciali in base alle esigenze degli inquilini.

Il recupero dell'area produttiva dismessa ha avuto come linea guida principale la sostenibilità sia degli impianti che della struttura stessa, tanto da riuscire ad ottenere la certificazione LEED Gold: in merito, le scelte impiantistiche hanno svolto un ruolo chiave nella riduzione dell'impatto ambientale.

4.5. Musei e Biblioteche

La salvaguardia del patrimonio artistico e culturale, presente nei musei e nelle biblioteche, richiede una progettazione impiantistica rigorosa, nel rispetto delle condizioni imposte, al fine di poter conservare le opere il più a lungo possibile. Dunque, la fase di progettazione

impiantistica è preceduta da un'analisi accurata sulle condizioni in cui le opere debbano essere conservate.

I parametri da controllare sono in questo caso:

- Temperatura dell'aria;
- Temperatura media radiante;
- Umidità dell'aria;
- Massima escursione giornaliera di temperatura e umidità;
- Affollamento;
- Qualità dell'aria.

È molto importante monitorare le condizioni dell'aria in prossimità alle opere esposte, in quanto brusche variazioni di temperatura e umidità potrebbero comprometterne l'integrità. In merito a ciò bisogna tener presente che, in linea generale, temperature medio basse non tendono a degradare i materiali, al contrario delle temperature alte, o fluttuazioni termiche, che favoriscono lo sviluppo di reazioni chimiche degradanti per l'oggetto; l'umidità relativa influisce negativamente per valori troppo bassi o troppo alti, soprattutto se accompagnati da temperature medio alte o illuminamento (formazione di muffe).

La normativa internazionale di riferimento è la UNI 10829, che definisce quali sono i beni di interesse storico e artistico e le condizioni ideali dell'ambiente che include le opere. In merito a tale normativa, le opere vengono categorizzate in 3 gruppi e, per ogni materiale facente parte di un gruppo, vengono consigliati alcuni valori dell'aria da rispettare, in caso di mancata indicazione in merito. Parallelamente, la norma UNI 10969 fornisce le indicazioni per il controllo del microclima finalizzato alla conservazione delle opere in ambienti quali musei, biblioteche o gallerie. In tal caso, bisogna tener conto di ulteriori grandezze relative all'aria, come umidità specifica, temperatura di rugiada, velocità, indice di turbolenza. In tal senso, è necessario uno studio preventivo sul microclima idoneo alla conservazione del manufatto. L'ultima sezione della norma fornisce un'indicazione per soddisfare sia le esigenze termoigrometriche delle opere sia quelle degli occupanti: in linea di massima, a livello termico l'indicazione è quella di mantenere una temperatura intermedia tra le due richieste, mentre, per contrastare l'ostilità di un ambiente troppo secco per gli occupanti, può essere aggiunto vapore in ambiente a meno di mantenere la temperatura al valore più basso possibile.

Musei

I musei comprendono molte aree destinate alla conservazione di opere diverse per genere e materiali, e che hanno dunque diverse esigenze climatiche. L'esigenza di mantenere il più stabile possibile le condizioni ambientali, pone molta attenzione sul dimensionamento delle unità HVAC, tenendo anche conto delle possibili brusche variazioni di umidità e temperatura derivanti dalla presenza di gruppi di visitatori. È molto delicata la progettazione dei sistemi di controllo e regolazione. Di seguito vengono riportate le condizioni termoigrometriche di massima:

- Temperatura in un campo compreso tra i 15°C e i 24°C con un gradiente mensile massimo di 1°C e un'escursione giornaliera massima di 0,75°C;
- Umidità relativa compresa tra il 35% e il 50% con un gradiente mensile non superiore al 5% e un'escursione giornaliera massima del 3%;

Per quanto riguarda la IAQ, vengono definiti, in Tabella 4.5.1, i valori massimi di inquinanti tollerabili.

Inquinante	Valore di soglia
Biossido di zolfo (SO ₂)	10 µg/m ³
Biossido di azoto (NO ₂)	10 µg/m ³
Ozono (O ₃)	2 µg/m ³

Tabella 4.5.1 – Valori di soglia degli inquinanti nei musei

Visto il progressivo aumento dell'inquinamento atmosferico, il problema della IAQ sta assumendo sempre più importanza e di conseguenza si pone sempre più attenzione ai sistemi di controllo della densità di inquinanti in ambiente e quindi ai sistemi di rinnovo dell'aria, soprattutto nelle sezioni di filtrazione.

Il controllo della temperatura e dell'umidità relativa avviene per conto di impianti di climatizzazione dimensionati secondo alcuni criteri:

- Affidabilità in quanto devono lavorare incessantemente per 24 ore al giorno;
- Velocità di messa a regime, caratteristica fondamentale durante le visite dei musei;
- Accuratezza nella distribuzione aerologica al fine di non creare turbolenze o stagnazioni dell'aria;
- Precisione nel controllo e nel monitoraggio delle condizioni ambientali, al fine di evitare gradienti termici o igrometrici, nonché la qualità dell'aria.

Le tipologie impiantistiche che trovano più applicazione, vista l'importanza di controllare l'umidità, sono gli impianti a tutt'aria e gli impianti misti. I dati utili al dimensionamento degli impianti, oltre alle condizioni dell'ambiente esterno, sono riportati in Tabella 4.5.2.

	Sala espositiva	Uffici	Depositi
Affollamento	1 pers. / 3 m ²	1 pers. / 9 m ²	1 pers. / 90 m ²
Illuminazione	15 – 60 W/ m ²	15 – 60 W/ m ²	10 – 13 W/ m ²
Rinnovo aria esterna	22 m ³ /h per persona		
Ricambi totali	8 – 12 vol./h		
Velocità aria	<= 0,13 m/s		
Livello sonoro	35 – 40 dB(A)		

Tabella 4.5.2 – Riassunto dei carichi termici per un museo

Biblioteche

Le biblioteche sono costituite da diversi ambienti quali sale lettura, uffici, depositi, con esigenze climatiche completamente differenti. Rispetto ai musei, le biblioteche pongono meno restrizioni sul controllo della temperatura, mentre prediligono un controllo rigoroso dell'umidità relativa. Le condizioni di progetto e i carichi da abbattere sono riportati in Tabella 4.5.3.

	Sala di lettura	Deposito
Condizioni invernali di progetto	20°C con il 50% UR	13°C – 18°C
Condizioni estive di progetto	25°C con il 50% UR	35% – 65% UR
Affollamento	1 pers./m ²	1 pers. / 90 m ²
Illuminazione	20 W/ m ²	10 W/ m ²
Rinnovo aria esterna	20 m ³ /h per persona	
Ricambi totali	8 – 12 vol./h	
Velocità aria	<= 0,13 m/s	
Livello sonoro	35 dB(A)	

Tabella 4.5.3 – Riassunto dei carichi termici per una biblioteca

4.5.1. Pinacoteca Musei Vaticani – “Sala Raffaello”

La Pinacoteca dei Musei Vaticani risulta essere una delle strutture museali più visitate al mondo, in quanto contiene opere uniche e di inestimabile valore, che vengono conservate da moltissimi anni. Come già detto, è molto importante controllare i parametri che influenzano le condizioni in ambiente, in quanto potrebbero compromettere l'integrità delle opere conservate.



Figura 4.5.1.1 – *Sala Raffaello, pinacoteca dei musei vaticani*

Nello specifico caso della Sala Raffaello, il carico termico è dovuto essenzialmente dall'afflusso variabile dei visitatori (media giornaliera stimata di 1700 visitatori), provocando le seguenti condizioni:

- Temperatura variabile tra 14°C e 34°C;
- Umidità relativa variabile tra il 35% e il 90%.

Tale situazione rende più complesso il controllo della temperatura e dell'umidità relativa, non solo per via degli alti carichi termici ma anche per la discontinuità del carico dovuto all'affollamento variabile. Pertanto, la tipologia di impianto in esame deve essere in grado di soddisfare i carichi e, al contempo, di “inseguire” il carico con tempi di messa a regime molto brevi. Al fine di mantenere l'ambiente in condizioni ottimali, è necessario andare a controllare, oltre alla temperatura e all'umidità relativa, anche la qualità dell'aria interna, tenendo presente comunque che l'impianto deve essere il più silenzioso e il meno invasivo possibile.

L'impianto a servizio della sala si compone di diversi sistemi che cooperano per mantenere le condizioni fissate:

- Sistemi ad espansione diretta VRF, a recupero di calore, di Mitsubishi Electric;
- Unità di trattamento aria idroniche, alimentate da un gruppo polivalente a 4 tubi di Climaveneta;
- Sistema di gestione e controllo, mediante la programmazione di un PLC Siemens.

Il sistema descritto, ad oggi, permette di rispondere in modo positivo alle esigenze di climatizzazione e ventilazione della sala, permettendo di:

- Controllare la temperatura ambiente puntualmente, mediante impianti VRF ad espansione diretta a recupero di calore;
- Controllare con precisione l'umidità relativa dell'ambiente, mediante sonde di umidità a controllo dell'aria di mandata di ciascuna UTA;
- Modulare la portata d'aria di rinnovo con continuità in funzione dell'effettivo affollamento degli ambienti, mediante sonde di CO2 poste sulle bocchette di ripresa dell'aria, così da mantenere costanti i parametri termo igrometrici della sala.

Inoltre, viene garantita l'affidabilità complessiva dell'impianto, che resterà in funzione anche in caso di avaria di uno dei due sistemi (espansione diretta o idronico).

Descrizione impianti di climatizzazione

Il sistema VRF relativo alla climatizzazione della sala si compone di n.4 unità motocondensanti esterne (in copertura) e da n.14 unità interne VRF (pensili a soffitto), installate nel sottotetto lungo il perimetro della sala, in modo da garantire una copertura totale. La potenzialità dell'impianto esistente è di 100 kW in refrigerazione e di 113 kW in riscaldamento.



Figura 4.5.1.2 – Predisposizione terminali VRV

Essendo un sistema a recupero di calore, le unità interne possono essere impostate in entrambi i modi operativi (riscaldamento / raffreddamento) anche contemporaneamente, garantendo la flessibilità richiesta durante le variazioni repentine di carico. Le unità interne VRV sono accorpate ai distributivi BC, tipici degli impianti a recupero di calore di Mitsubishi Electric.

In Tabella 4.5.1.1 vengono riassunti i componenti di impianto.

Descrizione impianti di ventilazione

L'impianto di ventilazione consiste in n.2 UTA da 7500 m³/h ciascuna, poste in cupertura, lungo i lati lunghi del perimetro. Al fine di evitare la vista delle unità di trattamento aria dal piano stradale, sono state dimensionate ed installate UTA sviluppate prevalentemente in lunghezza, in modo da mantenere un'altezza inferiore al parapetto del terrazzo (circa 1,3m).

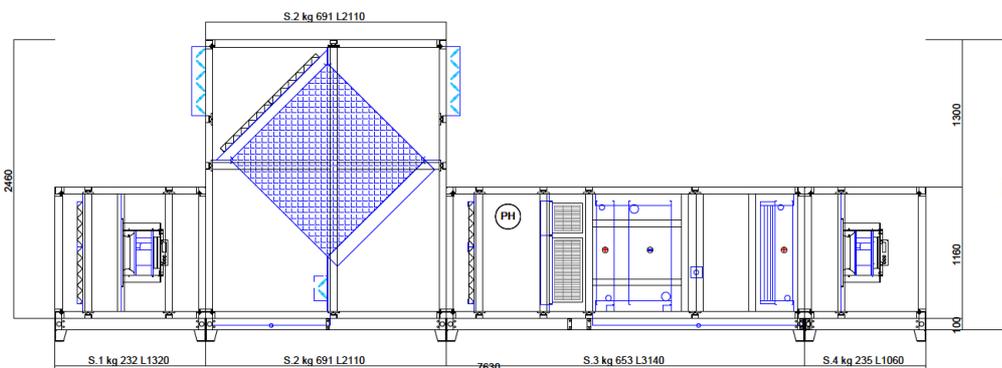


Figura 4.5.1.3 – Unità di trattamento aria per la sala

Le due unità sono fornite di recuperatore a piastre a flussi incrociati ad alta efficienza con serranda di bypass e di ricircolo, quest'ultima con servomotore di tipo modulante controllato sulla base della CO2 rilevata in ambiente. Sono costruite per essere posizionate all'esterno e a terra su basamento senza sporgere dall'attuale parapetto esterno al fine di non essere visibili dal piano stradale. Sono del tipo a tre batterie con umidificazione a vapore (integrato nella macchina) con entrambi i ventilatori di tipo plug-fan con motori EC.

Le batterie di scambio termico delle UTA sono alimentate da un'unità polivalente Climaveneta, posta anche essa in copertura, che rende disponibile tutto l'anno in modo indipendente sia i fluidi caldi che freddi, per un totale per le due unità di circa 208kWf e 145kWt.

Le unità polivalenti di climaveneta sono in grado di soddisfare contemporaneamente le richieste di acqua fredda e acqua calda, con un sistema che non necessita di commutazioni stagionali. L'unità specifica, NECS-Q/B 0904, è equipaggiata con n.4 compressori rotativi scroll per R-410a, ventilatori assiali, scambiatori a piastre e valvola di espansione termostatica.



Figura 4.5.1.4 – *Unità idronica polivalente a servizio dell'UTA*

Descrizione sistema di gestione

Il sistema gestionale installato da Siemens regola l'impianto secondo una logica ben precisa in funzione alla stagionalità e all'affollamento della sala. Per fare ciò, sono state installate alcune sonde di temperatura e umidità in ambiente; la lettura dei parametri in ambiente viene acquisita da un controllore programmabile PLC che, in funzione alla logica di programmazione, invia comandi alle unità di climatizzazione e ventilazione.

La programmazione del controllore è stata fatta sulla base di due periodi stagionali (inverno, estate) e di due indici di affollamento (0 e 200 persone), ricavando così quattro possibili casi:

- *Caso estivo con affollamento di 0 persone (26°C 50%UR)*

Il controllo della temperatura è affidato alle unità interne VRF che lavorano tutte in raffreddamento con una parzializzazione al 64%, mentre l'umidità relativa è regolata dalle UTA (ventilazione al 67% della portata nominale) che inviano in ambiente aria pretrattata secondo processi di raffreddamento deumidificazione e post riscaldamento.

- *Caso estivo con affollamento di 200 persone (26°C 50%UR)*

La presenza delle persone richiede un fabbisogno maggiore sia di raffreddamento / deumidificazione sia di rinnovo dell'aria. In relazione a ciò, il gestionale annulla la parzializzazione delle unità interne VRF (che lavorano al 100%) e, di conseguenza, al fine di non avere un'umidità relativa troppo elevata, viene allungato il post riscaldamento delle UTA, così come la portata di aria trattata (ventilazione al 100%).

- *Caso invernale con affollamento di 0 persone (21°C 50%UR)*

In questa configurazione 4 delle 14 unità V si spengono e le restanti, in funzione del carico, lavorano in riscaldamento al 33% della capacità nominale. L'umidità relativa è regolata dalle UTA (ventilazione al 67% della portata nominale) che inviano in ambiente aria pretrattata secondo processi di pre riscaldamento e umidificazione a vapore. L'umidificazione risulta necessaria al fine di non avere un ambiente troppo secco; la tipologia di umidificatore non richiede un post riscaldamento in quanto segue un processo a temperatura costante.

- *Caso invernale con affollamento di 200 persone (21°C 50%UR)*

La presenza di persone riduce il carico relativo al riscaldamento, per cui 7 delle 14 unità VRF si spengono e le restanti, in funzione del carico minimo, lavorano al 33% della capacità nominale. La presenza di persone inoltre richiede un aumento della ventilazione (UTA al 100% della portata) e una regolazione sulla batteria di pre riscaldamento che, considerando l'apporto termico degli occupanti, dovrà

fornire meno calore. Inoltre, per abbattere l'umidità, viene introdotta aria leggermente secca, limitando il contributo dell'umidificatore.

Risulta essere molto delicata la regolazione durante le mezze stagioni in quanto l'affollamento va a determinare il modo operativo delle unità coinvolte. In tale contesto, oltre alla ventilazione, risulta di fondamentale importanza la capacità del sistema a recupero di calore di poter destinare parte delle unità interne al riscaldamento e parte al raffrescamento.

Risulta abbastanza critica la regolazione dei sistemi durante le mezze stagioni con pioggia all'esterno: l'aumento improvviso dell'affollamento dovuto all'ingresso di persone bagnate, provoca un repentino aumento dell'umidità in ambiente; tale carico non può essere abbattuto mediante raffreddamento e deumidificazione in quanto si avrebbe un forte calo della temperatura. Per evitare ciò, oltre ad aumentare la ventilazione, alcune unità interne VRF vanno a funzionare in riscaldamento, limitando il sottoraffreddamento dell'ambiente.

4.6. Ospedali

Diversi studi hanno dimostrato che un ambiente climatizzato favorisce non solo il benessere fisico delle persone ma anche il benessere mentale. In ambiente ospedaliero, il benessere delle persone è una condizione fondamentale e per tale motivo viene posta molta attenzione alla progettazione impiantistica. L'obiettivo di progetto è il comfort termoigrometrico dei degenti: tuttavia è evidente che trattandosi di impianti il più delle volte molto grandi, con alti costi di esercizio, è necessario attuare misure che mirano al contenimento della spesa energetica, pur assicurando elevati standard qualitativi. Ne deriva dunque che gli impianti HVAC per gli ospedali risultano essere più complessi di quelli richiesti in altri edifici. Le principali differenze consistono in:

- Necessità di ridurre al minimo la contaminazione dell'aria in ingresso nei locali;
- Necessità di avere un controllo puntuale di temperatura e umidità relativa zona per zona;
- Necessità di impianti più sofisticati per consentire un controllo termoigrometrico e della qualità dell'aria.

È molto importante il controllo della qualità dell'aria negli ospedali in quanto, attraverso gli impianti di aerazione, i batteri prodotti dall'attività metabolica dell'uomo possono diffondersi in tutta la struttura, contaminano le altre zone. A limitare questo problema è

l'adozione di filtri molto efficienti capaci di ostacolare la diffusione dei batteri: i filtri HEPA o HULPA risolvono abbastanza il problema, ma, in casi più particolari, vengono impiegati dispositivi che utilizzano spray o radiazione ultravioletta per contrastare le particelle inquinanti. La soluzione migliore per isolare ambienti che richiedono un elevato standard igienico è quella di ricorrere ad anticamere dotate di impianti di ventilazione che garantiscono appropriati valori di pressione o depressione, così da evitare la diffusione di inquinanti all'interno.

La norma per la ventilazione degli ospedali vorrebbe l'adozione di sistemi a tutt'aria esterna in quanto l'aria prelevata dall'esterno, se la presa d'aria è disposta secondo le indicazioni della norma, presenta una minima concentrazione di inquinanti: la presa d'aria deve essere posizionata distante dalle sorgenti di inquinanti e soprattutto lontana dalla griglia di espulsione dell'aria, per evitare fenomeni di ripresa.

Per alcune zone dell'ospedale, come le camere operatorie o i reparti infettivi, è importante garantire un elevatissimo livello di comfort termoigrometrico e di qualità dell'aria. Gli impianti dedicati a tali zone prendono in nome di impianti VCCC (ventilazione e condizionamento a contaminazione controllata) e tali zone vengono chiamate "camere bianche". I sistemi VCCC hanno l'onere di mantenere in ambiente una concentrazione di inquinanti (sia chimici che particolati) al di sotto di stringenti limiti e, al contempo, garantire nel tempo le condizioni termoigrometriche idonee al regolare svolgimento delle attività. Inoltre, al fine di isolare le camere bianche dagli ambienti confinanti, devono mantenere l'ambiente leggermente in pressione. Tutti i componenti degli impianti VCCC devono possedere i requisiti di qualità e sicurezza previsti dalla norma dedicata e inoltre, per garantire l'ispezione e la pulizia, devono essere facilmente accessibili e sanificabili. L'unità di trattamento aria per le camere a contaminazione controllata, deve essere dotata di un oblò di ispezione per la verifica di tutti i componenti, deve essere sanificabile e costituita di materiali resistenti e inossidabili (AISI 304). Il sistema di umidificazione deve essere rigorosamente a vapore (saturo o surriscaldato) per limitare il problema di formazione della condensa e l'acqua di alimento all'umidificatore deve rispettare alcuni standard di qualità. La sezione ventilante di mandata è composta da almeno due ventilatori ridondanti in modo da garantirne la continuità di utilizzo e devono essere equipaggiati di inverter per una regolazione ottimale. Il pacco delle batterie deve essere ispezionabile e facilmente pulibile: nel caso di batterie di raffreddamento con più di 6 rangi, si consiglia di sdoppiare la stessa, lasciando fra di esse lo spazio necessario all'ispezione. Al fine di prevenire lo sporco dell'UTA e l'immissione di inquinanti,

sono previsti due livelli di filtrazione: una prefiltrazione con un filtro avente classe di filtrazione minima F6, posto all'entrata dell'UTA, e una successiva filtrazione con filtro F9, posto all'uscita dell'UTA. Il recupero di calore avviene mediante recuperatori a doppia batteria in quanto costituisce l'unica soluzione che elimina il problema della contaminazione dei due flussi d'aria.

La regolazione dei componenti dell'impianto viene affidata a sistemi di regolazione automatica capaci di controllare la funzionalità dell'impianto e garantire che i parametri reali siano quelli richiesti. Tutti i componenti dei sistemi di regolazione devono essere accessibili e possibilmente collocati all'esterno.

Sistemi per le sale operatorie

I sistemi per la sala operatoria sono nella maggior parte dei casi a tutt'aria esterna senza ricircolo e composti da più unità di trattamento aria. La buona norma prevede l'adozione di una unità centrale di pretrattamento dell'aria esterna che invia l'aria pretrattata ad altre unità di post trattamento, una per sala operatoria, alle quali è affidato l'onere di regolare le condizioni ambiente.

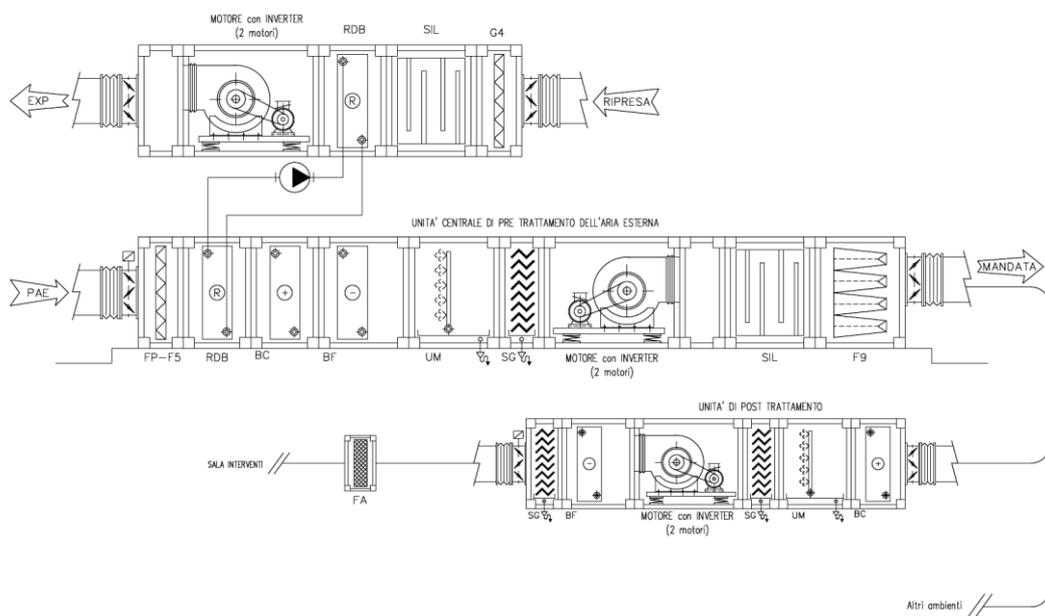


Figura 4.6.1 – Unità di trattamento aria per applicativo ospedaliero

Il controllo della temperatura e umidità dell'aria avviene mediante un sistema di sonde poste sulla mandata dell'UTA di pretrattamento, mantenendo una temperatura di uscita intorno ai 14°C; l'aria in uscita viene convogliata alle UTA di post trattamento per la regolazione della temperatura ambiente. Una sonda di umidità relativa viene

posta sulla ripresa per controllare l'umidità dell'ambiente ed agire sul sistema di umidificazione. Prima dell'ingresso nella sala operatoria, l'aria passa attraverso un'ultima sezione filtrante, costituita da filtri assoluti con efficienza H13 o H14.

La diffusione dell'aria in ambiente viene fatta mediante una griglia di mandata posta al centro del soffitto, mentre la ripresa avviene mediante griglie poste nei quattro angoli della sala, sia in basso che in alto. Le griglie di ripresa vengono dimensionate in modo che i 2/3 dell'aria venga ripresa dalle griglie in basso e la restante parte dalle griglie in alto: tale precisazione impiantistica è volta a prevenire ed evitare l'inalazione dei gas medicali da parte degli operatori della sala.

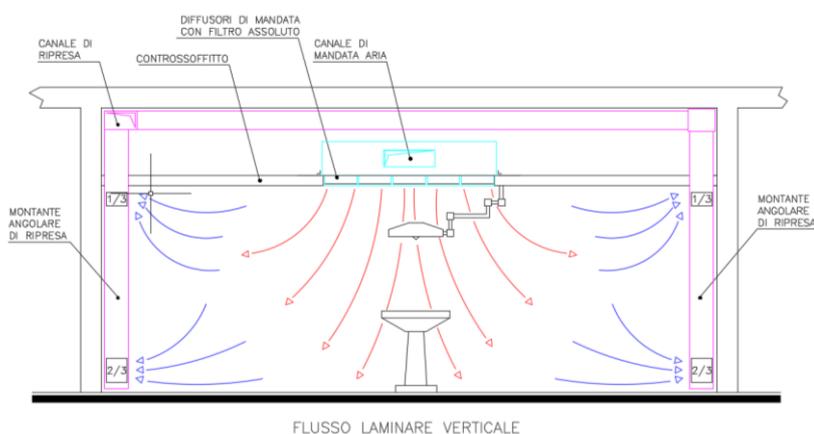


Figura 4.6.2 – Diffusione dell'aria in sala operatoria

Le condizioni termoigrometriche da mantenere in ambiente sono:

- Temperatura compresa tra i 17°C e i 27°C;
- Umidità relativa compresa tra il 40% e il 60%.

Inoltre, al fine di garantire la continuità di funzionamento anche in caso di guasti o manutenzione straordinaria, si adottano soluzioni con macchine di riserva o a doppia sezione ventilante.

Sistemi per le degenze

I sistemi di climatizzazione per le degenze possono essere o a tutt'aria o misti, con pannelli radianti e aria primaria.

In Tabella sono riassunte le condizioni di progetto e vengono elencati tutti i parametri tipici per la stima del carico termico.

Degenza	
Condizioni invernali di progetto	22°C con il 35 - 45% UR
Condizioni estive di progetto	24 - 26°C con il 50 - 60% UR
Affollamento	1 pers. / 12 m ²
Illuminazione	10 - 15 W/ m ²
Rinnovo aria esterna	40 m ³ /h per persona (non inferiore ai 2 vol./h)
Ricambi totali	4 - 6 vol./h
Velocità aria	0,05 - 0,1 m/s
Livello sonoro	30 dB(A)

Tabella 4.6.1 – *Parametri climatici per le degenze*

L'aria trattata dalle UTA viene inviata in ambiente mediante bocchette a parete, dimensionate per non creare discomfort agli occupanti; la ripresa avviene mediante gli estrattori nei bagni e mediante griglie di estrazione poste in basso nell'ambiente.

Le tipologie impiantistiche possono essere di due tipi:

- A portata costante con post-riscaldamento di zona per la regolazione della temperatura;
- Portata variabile con regolazione della temperatura ambiente mediante regolazione della portata e batteria di post-riscaldamento.

La regolazione della temperatura ambiente avviene sulla cassetta di mandata, andando a regolare, mediante un regolatore elettronico, che acquisisce in input il segnale da un termostato in ambiente, la funzionalità della batteria di post-riscaldamento, alla quale arriva aria alla temperatura di 13 – 14 °C. Per bilanciare le pressioni all'interno della stanza, vengono predisposti due sonde di lettura della portata, uno sulla bocchetta di mandata e uno sulla griglia di ripresa.

4.6.1. Ospedale di Alba-Bra

Il polo ospedaliero di Alba-Bra è situato sul fronte nord della collina di Verduno, località equidistante dai comuni di Alba e Bra e vicina al raccordo autostradale che collega le città di Asti e Cuneo. La struttura ospita quotidianamente circa 2500 – 3000 persone e conta circa 650 posti letto: ciò presuppone una richiesta di energia molto importante, sia per la

climatizzazione sia per altri applicativi. Vista l'enormità dei carichi richiesti, l'ospedale è stato dotato delle migliori tecnologie, al fine di minimizzare il carico ambientale connesso all'utilizzo delle fonti energetiche. La progettazione è stata orientata alla realizzazione di interventi sul sistema edificio-impianto per accrescere la sostenibilità energetica ed ambientale della struttura, estesa all'intero ciclo di vita dei componenti utilizzati. In tal senso, sono state adottate migliorie sia sui parametri termofisici dell'involucro (aumento trasmittanza pareti, facciate ventilate, selezione di materiali eco sostenibili.), sia sui componenti di impianto. Date le richieste elevate e simultanee d'energia termica ed elettrica è stato adottato un impianto di cogenerazione, che rappresenta sicuramente una soluzione estremamente valida di risparmio energetico ed economico. Infatti, caratteristica peculiare dei moduli cogenerativi è la contemporanea produzione d'energia elettrica associata ad una produzione d'energia termica (ottenuta dal raffreddamento del motore endotermico e soprattutto dal raffreddamento dei suoi gas di scarico) con rendimenti energetici elevati e con impatti ambientali ridotti soprattutto dall'utilizzo come gas combustibile di metano.

Gli impianti meccanici a servizio del polo ospedaliero sono dedicati alla produzione di:

- Acqua calda per il riscaldamento;
- Acqua refrigerata;
- Acqua calda ad uso sanitario;
- Vapore

La centrale termica include tutte le apparecchiature per la produzione dell'acqua calda di riscaldamento e del vapore "sporco" necessario all'alimentazione delle utenze di cucina e alla produzione indiretta di vapore "pulito". Essa è composta dalle seguenti apparecchiature:

- n° 2 generatori di calore per produzione acqua calda di riscaldamento a 90°C. GC1 di potenza termica al focolare pari a 11.600 kW e CG2 di potenza termica al focolare pari a 9.300 kW, per una potenza complessiva al focolare di 20.900 kW. Tale potenza risulta sufficiente a soddisfare le richieste termiche del fabbricato durante il periodo invernale. I generatori di calore sono completi di bruciatori policombustibili, in modo da poter funzionare sia con metano che gasolio.
- n° 2 generatori di vapore a 12 bar GV1 e GV2, per la produzione di vapore a servizio della cucina e per la produzione di vapore sterile. I generatori sono da 7800 kg/h con potenza termica utile di 5200 kW, completi di bruciatori policombustibili.

- n° 2 scambiatori di calore a fascio tubero, che utilizzano il vapore in eccesso prodotto dai generatori di vapore per la produzione di acqua calda di riscaldamento a 90°C. Tali scambiatori, in regime estivo, utilizzando il vapore in eccesso di uno dei due GV, garantiscono la produzione di acqua calda per il riscaldamento e per gli usi sanitari. In inverno, gli scambiatori funzioneranno solo se presente una quantità di vapore in eccesso, ottimizzando il rendimento dei GV.

La centrale termica ha lo scopo di fornire energia termica alle varie sottocentrali presenti nelle varie zone del polo ospedaliero. Nelle sottocentrali poi, tramite i sistemi di distribuzione, verrà distribuito il vettore all'interno della struttura.

In tabella seguente, vengono riassunti i generatori presenti in centrale termica e gli utilizzi.

Circuiti e temperature in centrale termica	
Generatore di calore GC1	Potenzialità di 11600 kWt ; T _m =90°C ; Tr=70°C
Generatore di calore GC2	Potenzialità di 9300 kWt ; T _m =90°C ; Tr=70°C
Generatore di vapore GV1	Producibilità di 7800 kg/h di vapore a 12bar
Generatore di vapore GV2	Producibilità di 7800 kg/h di vapore a 12bar
Circuito primario sottocentrali	T _m =90°C ; Tr=70°C

Tabella 4.6.1.1 – Generatori in centrale termica

La centrale frigorifera, dedicata alla produzione di acqua refrigerata, si compone di n.3 gruppi frigoriferi, due condensati ad acqua mediante torri evaporative e uno condensato ad aria. Il gruppo condensato ad aria entra in funzione solamente nelle mezze stagioni e durante il periodo invernale. La centrale frigorifera si compone di:

- n°1 gruppo frigorifero GF1, condensato ad acqua, con potenza di 3300 kWf, compressore centrifugo, funzionante con refrigerante R134a;
- n°1 gruppo frigorifero GF2, condensato ad acqua, con potenza di 1370 kWf, compressore a vite, funzionante con refrigerante R134a;
- Torri evaporative, a servizio dei due gruppi sopradetti, del tipo modulare, con ventiltori centrifughi a due velocità;
- n°1 gruppo frigorifero, condensato ad aria, con potenza di 1400 kW, compressore a vite, funzionante con refrigerante R134a.

In tabella seguente, vengono riassunti i generatori presenti in centrale termica e gli utilizzi.

Circuiti e temperature in centrale frigorifera	
Circuito utenza gruppi frigoriferi	$T_m=6^{\circ}\text{C}$; $T_r=12^{\circ}\text{C}$
Circuito sorgente gruppi frigoriferi	$T_m=34.5^{\circ}\text{C}$; $T_r=29.5^{\circ}\text{C}$; $T_a=35^{\circ}\text{C}$
Circuito primario sottocentrali	$T_m=6^{\circ}\text{C}$; $T_r=12^{\circ}\text{C}$

Tabella 4.6.1.2 – *Generatori in centrale frigorifera*

La configurazione impiantistica prevede l'adozione di 4 sottocentrali termofrigorifere, situate in maniera distribuita nell'edificio, per permettere la migliore distribuzione delle tubazioni ai vari piani senza eccessive potenze di pompaggio. I fluidi termovettori prodotti nelle centrali termiche e frigorifera sopradescritte vengono vettoriati alle sottocentrali. Nelle sottocentrali, tramite scambiatori a piastre, vengono resi disponibili e distribuiti ai terminali i fluidi termovettori.

Circuiti e temperature nelle sottocentrali	
Circuito secondario sottocentrali	$T_m=75^{\circ}\text{C}$; $T_r=55^{\circ}\text{C}$
Circuito batterie calde UTA	$T_m=75^{\circ}\text{C}$; $T_r=60^{\circ}\text{C}$
Circuito batterie post-riscaldamento di zona	$T_m=75^{\circ}\text{C}$; $T_r=60^{\circ}\text{C}$
Circuito pavimento radiante caldo	$T_m=45^{\circ}\text{C}$; $T_r=39^{\circ}\text{C}$
Circuito pavimento radiante freddo	$T_m=22^{\circ}\text{C}$; $T_r=28^{\circ}\text{C}$
Circuito ventilconvettori caldo	$T_m=60^{\circ}\text{C}$; $T_r=53^{\circ}\text{C}$
Circuito ventilconvettori freddo	$T_m=10^{\circ}\text{C}$; $T_r=15^{\circ}\text{C}$
Circuito soffitto radiante caldo	$T_m=37^{\circ}\text{C}$; $T_r=34,5^{\circ}\text{C}$
Circuito pavimento radiante freddo	$T_m=16^{\circ}\text{C}$; $T_r=18,5^{\circ}\text{C}$
Circuito primario acqua refrigerata	$T_m=6^{\circ}\text{C}$; $T_r=12^{\circ}\text{C}$
Circuito secondario vapore indiretto	Vapore sterile 2 bar

Tabella 4.6.1.3 – *Circuiti nelle sottocentrali di distribuzione*

Descrizione impianti di climatizzazione e ventilazione

I fluidi termovettori prodotti nelle centrali termiche e frigorifere, tramite opportuni sistemi di pompaggio, vengono inviati alle sottocentrali per alimentare i circuiti di distribuzione verso i terminali, che sono:

- batterie calde e fredde delle UTA;
- batterie di post riscaldamento di zona;

- ventilconvettori a due tubi;
- radiatori presenti nei servizi e nei corridoi;
- pannelli radianti.

La distribuzione dell'acqua è di tipo a ritorno inverso, e prevede una serie di valvole di taratura al fine di bilanciare i circuiti.

Le tipologie impiantistiche dipendono dalla zona servita: sostanzialmente è possibile dividere l'ospedale in due zone, zona piastra e zona degenze.

Tipologie impiantistiche "Zona Piastra"

Le tipologie impiantistiche presenti in questa area dell'ospedale sono principalmente impianti a tutt'aria con alcuni reparti ad aria primaria e terminali di scambio termico posizionati localmente. Di seguito si riportano le tipologie impiantistiche divise per singolo reparto e/o zona.

Tipologie impiantistiche		Ricambi	UR	T inv	T est
"Zona Piastra"		[vol./h]	[%]	[°C]	[°C]
Blocco operatorio	Tutt'aria	10 – 20	50	22	24
Ambulatori	Tutt'aria	6	50	20	26
Rianimazione	Tutt'aria	11	50	20	24
Laboratori	Tutt'aria	12	50	20	26
Cucina e ristorante	Tutt'aria	6	50	20	26
Farmacia	Ventil. + AP	3	50	20	26
Uffici e magazzini	Ventil. + AP	3	50	20	26

Tabella 4.6.1.4 – Tipologie impiantistiche zona piastra

Gli impianti di climatizzazione nelle sale operatorie hanno l'onere di conciliare numerose esigenze: quelle relative all'omeotermia del paziente e quelle delle diverse componenti dell'equipe operatoria (chirurghi, anestesisti, personale infermieristico), le cui prestazioni sono notevolmente condizionate dal disagio termico. Inoltre, l'impianto deve poter controllare la qualità dell'aria in ambiente, i cui valori di purezza e salubrità devono evitare rischi infettivi a carico soprattutto del paziente. L'aria, filtrata e adeguatamente trattata per far fronte alle richieste di temperatura e umidità, è quindi introdotta in ambiente in modo tale da non creare zone nelle quali si formino fenomeni stagnanti, dove le particelle contaminanti potrebbero accumularsi. Il giusto grado di pressurizzazione positiva della sala, evita possibili contaminazioni dall'esterno. La mandata è realizzata con plenum di

diffusione a flusso unidirezionale, o laminare, in lamiera microforata: in prossimità del diffusore di immissione sono installati filtri assoluti. La ripresa avviene attraverso montanti discendenti ai 4 angoli della sala e dotati di griglie, apribili per la pulizia, per realizzare un'aspirazione differenziata: 2/3 dal basso, 1/3 dall'alto.

Per la climatizzazione e la ventilazione delle zone sopracitate, sono impegnate 35 UTA idroniche, alimentate dai circuiti idronici provenienti dalle sottocentrali. Le Unità di Trattamento dell'Aria si compongono essenzialmente di:

SEZIONE DI MANDATA

- Serranda motorizzata On/Off;
- Filtro piano con efficienza F5;
- Filtro a tasche F9, con allarme di intasamento con pressostato differenziale;
- Ventilatore di mandata aria a singolo motore per gli impianti ad aria primaria, doppio per reparti dotati di impianti a tutt'aria e dotati di alimentazione ad inverter;
- Sezione di recupero del calore a flussi incrociati, con serranda per il free-cooling, e doppia batteria per i reparti con pericolo di contaminazione, come le sale operatorie;
- Batteria di preriscaldamento in rame/alluminio alimentata ad acqua calda (75/60 °C) con valvola di regolazione a tre vie;
- Batteria di raffrescamento e deumidificazione in rame/alluminio alimentata ad acqua refrigerata (7/12 °C) con regolazione a tre vie sul ritorno;
- Sezione di umidificazione a vapore a 2 bar, scarico a perdere;
- Separatore di gocce;
- Batteria di postriscaldamento alimentata ad acqua calda (75/60 °C) a canale per le zone a tutt'aria con regolazione a tre vie comandata da termostato ambiente o sonda di temperatura a canale;
- Serranda di taratura.

SEZIONE DI RIPRESA

- Silenziatore in UTA o a cassoncino a canale;
- Filtro piano con efficienza G4;
- Sezione di recupero di ripresa;
- Ventilatore di espulsione a singolo motore per impianti ad aria primaria, doppio per i reparti dotati di impianti a tutt'aria e con alimentazione ad inverter;
- Griglia di espulsione in plenum di riduzione emissione sonora.

Figura 4.6.1.1 riporta lo schema dell'impianto a tutt'aria previsto per la zona della terapia intensiva: essendo una zona che richiede un elevato livello della qualità dell'aria, viene inserito un recuperatore a doppia batteria in modo da tenere ben separati i due flussi di aria; inoltre, al fine di avere una regolazione ottimale della temperatura, vengono poste batterie di post-riscaldamento di zona.

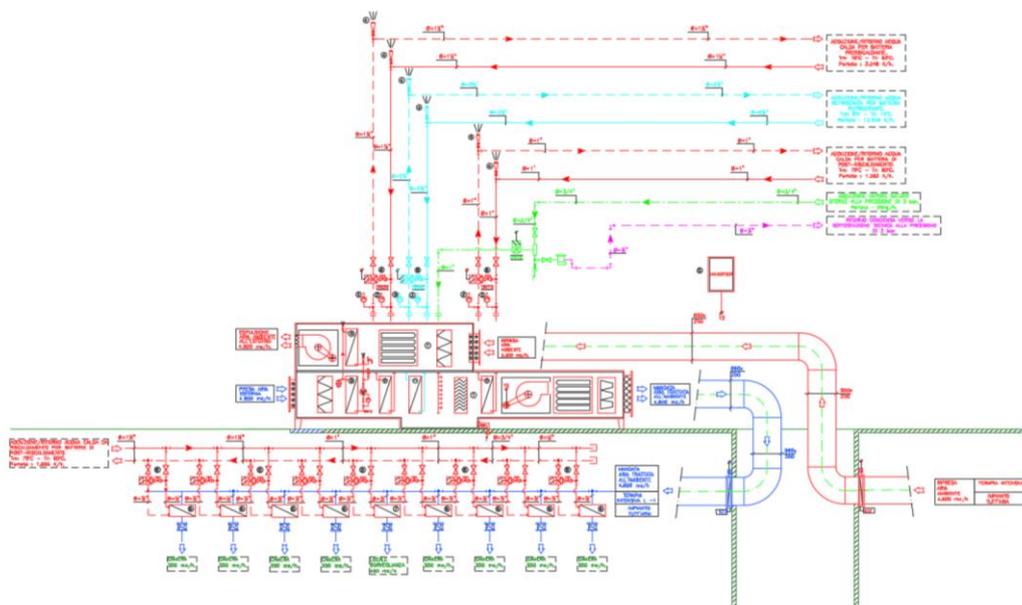


Figura 4.6.1.1 – Unità di trattamento aria zona terapia intensiva

Tipologie impiantistiche “Zona Degenze”

Gli impianti di climatizzazione e ventilazione, posti a servizio delle diverse utenze presenti all'interno della zona, risultano essere di differenti tipologie a seconda delle necessità dei vari ambienti serviti. Le utenze si riassumono in: degenze, ambulatori, aree comuni, zone uffici. In tabella seguente i parametri termoigrometrici da mantenere in ambiente.

Tipologie impiantistiche	Ricambi [vol./h]	UR [%]	T inv [°C]	T est [°C]
Degenza	2,5	40 - 60	22	26
Ambulatori	3	40 - 60	22	26
Zone Uffici	2,5	40 - 60	20 - 22	26 - 28

Tabella 4.6.1.5 – Tipologie impiantistiche zona degenze

Nel seguito vengono elencate e descritte le varie tipologie impiantistiche utilizzate in funzione dei vari ambienti serviti.

Figura 4.6.1.1 riporta lo schema impiantistico ad aria primaria, previsto per le zone dedicate alle degenze: tali unità prevedono recuperatori a flussi incrociati e trattamento a tre batterie.

Descrizione del sistema di controllo

Il sistema di controllo svolge la duplice funzione di regolazione e di supervisione degli impianti meccanici; esso, infatti, è previsto per la regolazione e il controllo di ogni singolo componente dell'impianto. La configurazione generale prevede un'unità centrale di controllo e una serie di unità periferiche disseminate nell'edificio con ubicazioni opportune, per il governo degli impianti termomeccanici.

Data la conformazione dell'edificio in oggetto, di dimensioni ragguardevoli e considerato il tipo di attività che viene svolta, gli impianti sono stati dotati di un potente strumento di controllo delle funzionalità e della manutenzione, senza complicare l'attività di conduzione pura e semplice. Sempre considerando il tipo di attività e cioè quella ospedaliera, tutte le unità terminali del tipo a batteria di postiscaldamento e cassette VAV vengono regolati e gestiti dal sistema stesso, onde consentire il controllo del clima anche nei singoli ambienti o nelle singole zone prestabilite.

Attraverso tale sistema di controllo centralizzato si intendono raggiungere quattro obiettivi:

- Massima precisione e affidabilità circa l'ottenimento delle condizioni ambientali, necessarie per la sicurezza, il benessere e il comfort ambientale sia dei degenti che degli operatori. Il sistema di controllo consente di raggiungere tale obiettivo con la massima precisione possibile e in tutte le diverse tipologie di utilizzazione degli ambienti;
- Assicurare un controllo continuo degli impianti e, quindi, praticamente, eliminare l'eventualità di un fermo impianti, che potrebbe comportare dei seri problemi al regolare svolgimento dell'attività ospedaliera;
- Ridurre i costi di gestione, regolando l'impianto in modo da seguire il carico termico minimizzando i consumi energetici;
- Monitorare continuamente l'impianto in modo da ottenere una manutenzione programmata e preventiva di tutti gli apparati costituenti gli impianti del complesso. Il sistema segnala il limite del periodo di funzionamento oltre il quale è necessaria una manutenzione del pezzo, consentendo così di non incorrere in situazioni di funzionamento scorretto o, addirittura, di incorrere nel blocco di una parte (per esempio: "filtri delle unità di trattamento aria da pulire" oppure "gruppo pompe riscaldamento da revisionare").

Tutto ciò consente di limitare al massimo gli interventi di emergenza, garantendo così, una funzionalità con bassissima probabilità di fermo impianti e, al contempo, riducendo anche i costi di gestione dell'intero impianto.

La struttura di controllo del sistema si basa su tre livelli:

- Livello di gestione (centrale di controllo);
- Livello automazione (Controllori di campo, PLC, etc.);
- Livello campo (Regolatori digitali autonomi, periferiche standard, attuatori).

Il livello di gestione è costituito dalle apparecchiature di elaborazione e di presentazione delle informazioni. Questo livello è basato su stazioni grafiche che hanno le funzioni di interfaccia operatore e di acquisizione dati dal livello inferiore. I PC non hanno nessuna funzione di processo e/o di statistica ma solo di interfaccia operatore per la presentazione e l'analisi dei dati.

Il livello di automazione ha lo scopo di garantire il trasporto sicuro e supervisionato delle informazioni generate dal campo verso il sistema centrale e di realizzare un ambiente di gestione allarmi, dati storici processo e statistica.

Il livello di campo è costituito da moduli intelligenti ed autonomi per la gestione differenziata degli impianti. Questo livello è basato su una serie di BUS con comunicazione peer-to-peer ai quali sono collegati tutti i moduli intelligenti, realizzando così un'architettura altamente distribuita.

Il protocollo di trasmissione dei dati tra i vari livelli è un protocollo standard di tipo aperto, in modo che, nel caso di interfacciamenti con altri sottosistemi, non saranno necessarie apparecchiature di interfacciamento o conversioni di protocolli.

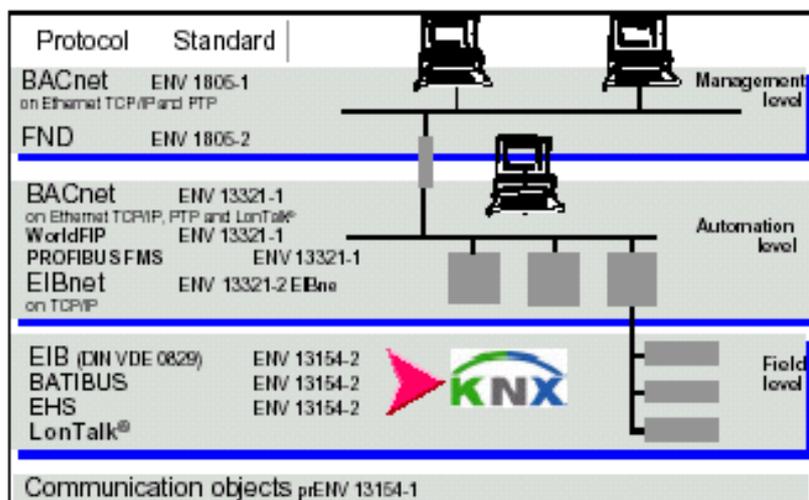


Figura 4.6.1.3 – Struttura di controllo del sistema

4.7. Edifici per lo spettacolo

Gli edifici per lo spettacolo, come sale cinema, teatri o sale convegni, sono caratterizzati da ambienti molto grandi, con elevate altezze e da utilizzazioni periodiche, con affollamenti forti e di breve durata. Occorre garantire un buon livello della qualità dell'aria: a tale scopo gli impianti di climatizzazione e ventilazione devono garantire il giusto rinnovo dell'aria, che dipende dall'affollamento. In base al tipo di edificio, teatro, cinema o sala convegni, le normative consigliano i parametri climatici di riferimento.

Tipologia di edificio	Ricambi [m ³ /(h*pers)]	UR [%]	T [°C]
Teatri	35 - 50	40 - 50	22 - 25
Cinema	35 - 50	40 - 50	20 - 24
Sala convegni	35 - 50	40 - 50	20 - 25

Tabella 4.7.1 – *Tipologie di edifici per lo spettacolo*

Oltre ai parametri climatici, al fine di garantire l'adeguato livello di comfort, occorre limitare la velocità dell'aria, non superiore a 0,15 m/s, e il livello sonoro, non superiore ai 30 dB(A).

Visto il notevole affollamento e dunque le ingenti portate d'aria coinvolte, è ragionevole optare per un impianto a tutt'aria con ricircolo, il più delle volte a portata variabile visto l'affollamento non costante. Una caratteristica di questo tipo di impianti riguarda il preraffreddamento: qualche istante prima dell'evento, si abbassa la temperatura dell'ambiente di qualche grado sotto la temperatura di set point, al fine di contrastare il carico termico causato dal forte ed improvviso affollamento.

In fase di progettazione e dimensionamento dell'impianto, è molto importante ottimizzare la distribuzione dell'aria al fine di soddisfare le richieste senza creare fenomeni di stagnazione dell'aria o discomfort locale. Di seguito le tipologie distributive principali:

- *Mandata dall'alto e ripresa dal basso*

L'immissione avviene a soffitto con diffusori dedicati e ripresa dal basso mediante bocchette poste sotto alle sedie. Tale tipologia è la meno impiegata in quanto provoca livelli sonori non indifferenti e convoglia l'aria calda in prossimità del soffitto verso gli spettatori.

- *Mandata laterale e ripresa dal basso*

L'immissione viene fatta per mezzo di ugelli posti perimetralmente alla sala. Il dimensionamento e la disposizione di tali ugelli risulta molto importante al fine di non provocare fenomeni di discomfort e per limitare il livello sonoro. La ripresa avviene sotto le sedie.

- *Mandata dal basso e ripresa dall'alto*

Tale modalità sta prendendo sempre più piede in quanto risulta essere la più vantaggiosa a livello energetico e per il limitato impatto sonoro. L'aria viene immessa, mediante griglie poste sotto il sedile e sotto le gradinate, ad una temperatura di poco inferiore a quella ambiente in modo da non creare correnti termiche fastidiose. L'aria asporta il calore nella zona bassa per poi essere ripresa dall'alto.

La forte variabilità dell'affollamento richiede un dedicato sistema di controllo automatico dell'impianto che regoli le unità impiantistiche di continuo, al fine di garantire l'adeguato livello termo-igrometrico e di qualità dell'aria.

Inoltre, il forte carico endogeno dovuto all'elevato affollamento, rende necessario, anche in regime invernale, il raffreddamento dell'aria per la compensazione del carico termico; in compenso non è quasi mai richiesta l'umidificazione.

4.7.1. Cittadella del Cinema – Giffoni Valle Piana

La cittadella del cinema sorge nel comune di Giffoni Valle Piana (SA), costruita con l'occasione di ospitare le attività del Giffoni Film Festival. Rappresenta il simbolo di questa manifestazione internazionale e ospita ogni anno migliaia di ragazzi e di personalità importanti del mondo del cinema e non solo. La cittadella comprende vari edifici, tra cui uffici amministrativi, sale polifunzionali e sale cinema, tra cui la principale "Sala Truffaut". La recente crescita del festival del cinema ha reso necessario l'avvio di un piano di ristrutturazione strutturale ed impiantistica, che ha avuto come principale protagonista il rifacimento degli impianti di climatizzazione e ventilazione degli uffici e delle sale cinematografiche. La ristrutturazione ha coinvolto i locali di due degli edifici della cittadella, l'edificio B e l'edificio C.

Di seguito verranno descritti i sistemi dedicati al fabbricato B e la logica di gestione, soprattutto per quanto riguarda le sale cinematografiche.

Descrizione impianto di climatizzazione e ventilazione

L'edificio B comprende due sale cinematografiche, denominate "Sala 1" e "Sala 2", che rispettivamente includono 240 e 170 postazioni. Per la climatizzazione e la ventilazione delle sale, sono state previste n.2 UTA ad espansione diretta a tutt'aria con ricircolo; inoltre, nei casi di forte richiesta termica, a supporto delle unità ad aria sono previsti n.2 sistemi VRF a due tubi, con unità interne a tutto ricircolo.

Condizioni di progetto	Regime estivo	Regime invernale
Condizioni esterne	32°C - 55% UR	1°C - 80% UR
Condizioni interne	26°C - 50% UR	20°C - 40% UR

Tabella 4.7.1.1 – *Condizioni di progetto*

Caratteristiche UTA	Sala 1	Sala 2
Portata d'aria di mandata	15000 m3/h	12500 m3/h
Portata d'aria di ripresa	14300 m3/h	12000 m3/h
Portata d'aria esterna	7300 – 4800 m3/h	5200 – 3420 m3/h

Tabella 4.7.1.2 – *Caratteristiche UTA per le due sale*

Le unità di trattamento aria sono concepite per avere una percentuale di aria esterna variabile dal 20% al 30% della portata massima della macchina; inoltre la differenza fra la portata di immissione e quella di estrazione tiene la sala in leggera sovrappressione al fine di limitare le infiltrazioni dall'esterno.

Ogni centrale di trattamento aria è composta (partendo dalla presa di aria esterna) da:

- Sezione di miscela costituita da una serranda motorizzata per la presa di aria esterna, serranda motorizzata di espulsione, serranda motorizzata di ricircolo;
- Sonda di temperatura di aria esterna;
- Pre-filtro aria esterna con pressostato differenziale;
- Ventilatori/e di mandata di tipo plug-fan con motore ECM;
- Pressostato differenziale Ventilatore di mandata;
- Recuperatore di calore di entalpico statico Lossnay;
- Batteria ad espansione diretta collegata alle unità esterne;
- Umidificatore a vapore modulante;
- Filtro a tasche di mandata con pressostato differenziale.
- Silenziatore di mandata.
- Sonda di temperatura di mandata.

- Silenziatore di ripresa.
- Sonda di temperatura di ripresa.
- Sonda di umidità di aria esterna.
- Sonda di limite umidità su mandata.
- Sonda di umidità relativa di ripresa.
- Filtro aria di ripresa con pressostato differenziale.
- Ventilatori/e di ripresa di tipo plug-fan con motore EC.
- Pressostato differenziale Ventilatore di ripresa.
- Pressostato differenziale recuperatore.
- Serranda motorizzata di by-pass del recuperatore con funzione di free cooling.

Le unità di trattamento aria sono equipaggiate con una batteria ad espansione diretta, collegata, mediante circuito frigorifero, alle unità esterne ad espansione diretta posizionate sulla copertura dell'edificio. Nello specifico, vengono destinate allo scopo n.7 unità, per una potenza totale di 60 HP, così suddivise:

- UTA per "Sala 1" → 32 HP
- UTA per "Sala 2" → 28 HP

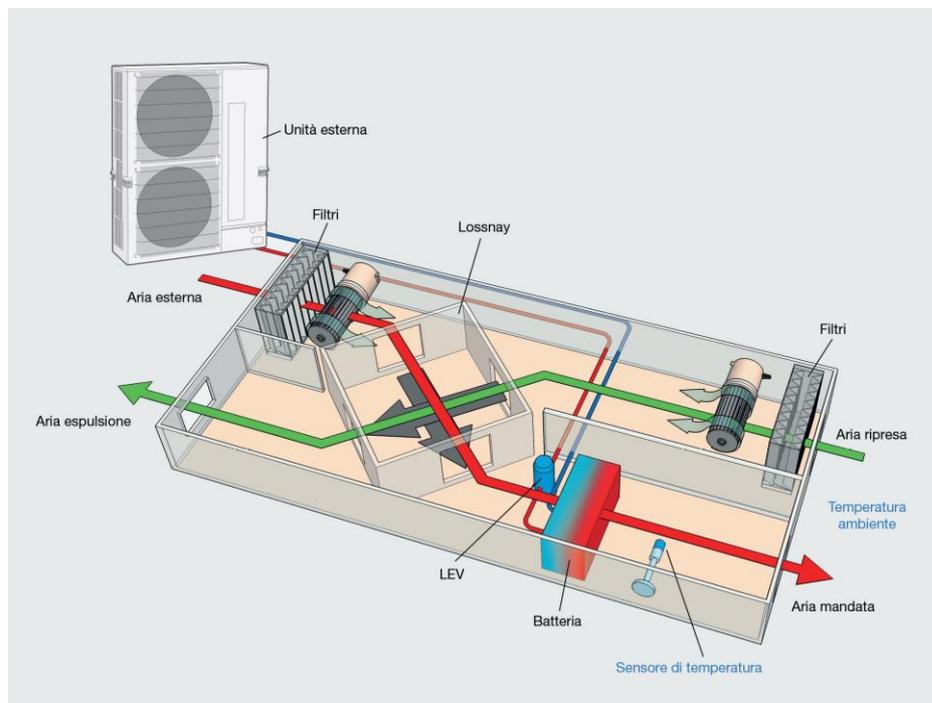


Figura 4.7.1.1 – Collegamento tra unità ad espansione diretta ed UTA

Ogni macchina è equipaggiata con un proprio quadro elettrico a bordo macchina che contiene, oltre alle sezioni di potenza per l'alimentazione elettrica dei ventilatori e dell'elettronica, anche le schede di regolazione e gestione in particolare:

- Scheda predisposta per la notifica degli stati e allarmi verso esterno;
- Scheda doppia velocità ventilazione;
- PLC di controllo logica;
- Scheda elettronica di controllo macchina.

In copertura sono presenti anche le motocondensanti VRF a servizio dei fan-coil VRF interni alle sale: per entrambe le sale, i sistemi previsti riescono a garantire in ambiente 22 kW in raffreddamento e 20 kW in riscaldamento, attraverso i fan coil posti perimetralmente all'ambiente.

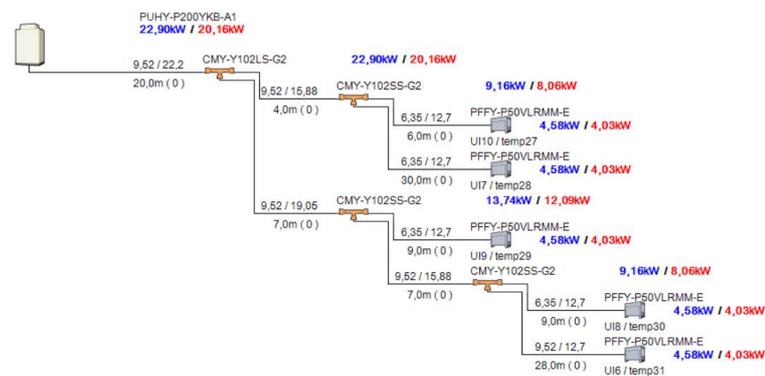


Figura 4.7.1.2 – Sistema VRF per la “Sala 1”

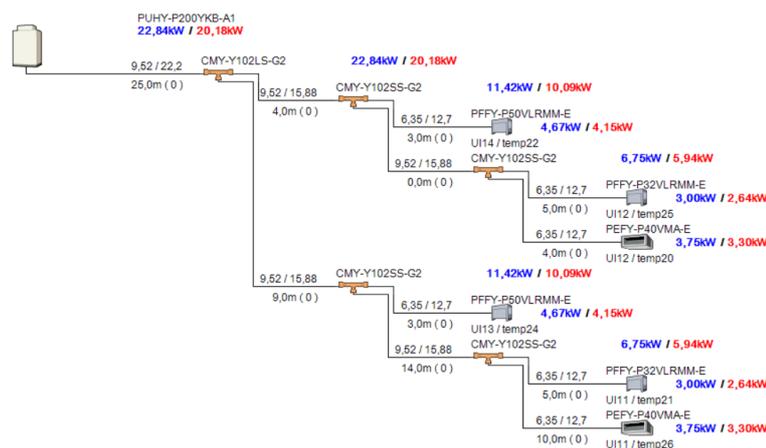


Figura 4.7.1.3 – Sistema VRF per la “Sala 2”

I sistemi VRF e le unità di trattamento aria lavorano in sinergia al fine di costituire un unico impianto di climatizzazione atto ad assicurare il comfort degli ambienti in ciascuno degli scenari di utilizzo degli impianti. In particolare, i due sistemi scambiano informazioni mediante una rete dati controllata da un PLC programmato secondo una logica dedicata.

Descrizione del sistema di controllo

Il sistema di controllo a servizio degli impianti di climatizzazione e ventilazione sono studiati e concepiti al fine di regolare le apparecchiature automaticamente in funzione al tipo di attività che si sta svolgendo in ambiente. Nello specifico, la logica contiene due scenari di funzionamento, “preparazione sala” e “proiezione in sala”.

Scenario “Preparazione sala”

Tale scenario presuppone l’assenza di persone in sala e l’accensione delle luci. Viene compiuto un lavaggio forzato degli ambienti con aria esterna e nella stagione estiva un sotto-raffreddamento degli stessi rispetto ai set-point voluti (26°C 50% UR) di circa 3°C per compensare il repentino afflusso di spettatori.

In ragione di ciò gli impianti avranno il seguente comportamento:

- Partenza alla massima portata d’aria e piena potenza della centrale di trattamento aria;
- Partenza alla massima velocità e a piena potenza di tutte le unità interne VRF della sala, al fine di velocizzare la regimazione dell’impianto.
- Controllo della serranda per il free cooling, in funzione della differenza di temperature tra ambiente ed esterno lette dalle sonde di temperatura e del modo operativo;
- Controllo della sezione di miscela serrande in ragione della CO2 e VOC letta nella sezione di ripresa e delle temperature interne della sala;
- Controllo della batteria a espansione diretta in funzione del regime stagionale impostato al fine di mantenere costante i set-point dei parametri termoigrometrici dell’ambiente controllato, a seconda del tipo di regime di funzionamento;
- Controllo della batteria elettrica di post riscaldamento per la temperatura dell’aria immessa negli ambienti controllati;
- Il controllo dell’umidificatore, a vapore elettrico a elettrodi immersi, sarà effettuato nella fase invernale attraverso la misura della sonda di umidità posta sulla sezione di ripresa aria ambiente e sonda limite in mandata.

La fase di preparazione sala termina a fronte di uno dei seguenti eventi:

- Le luci si spengono in sala;
- Sono raggiunte tutte le condizioni di set-point volute nell’ambiente controllato (Temperatura, Umidità relativa, concentrazione CO2).

Al termine della fase di preparazione della sala, i ventilatori delle UTA vanno al minimo, così come le le ventilanti VRF. Durante la proiezione è essenziale limitare la rumorosità degli impianti, pertanto per quanto possibile la logica opererà per minimizzare la velocità delle ventilanti interne.

Scenario “Proiezione in sala”

Tale scenario presuppone la presenza di persone in sala e lo spegnimento di tutte le luci. Nel caso in cui durante la fase di proiezione uno o più di valori di T / UR / CO₂, misurati nell’ambiente controllato o sulla sezione di ripresa della centrale di trattamento aria, presentino uno scostamento rispetto ai corrispondenti valori di set-point, la logica impostata fa intervenire in prima istanza la centrale di trattamento d’aria esterna e, qualora fosse necessario al fine di mantenere i parametri termo-igrometrici di comfort nella sala, la logica potrà in via eccezionale intervenire anche sulle singole unità interne VRF di sala.

La unità di trattamento aria ha come ordine di priorità i seguenti parametri di target:

- Mantenimento della temperatura dell’ambiente controllato entro i valori prescritti a progetto;
- Mantenimento dell’umidità relativa dell’ambiente controllato (valore letto in ripresa) entro i valori prescritti a progetto;
- Mantenimento della qualità dell’aria dell’ambiente controllato misurata mediante sonda VOC o CO₂ posta sul canale di ripresa della macchine entro i valori progettuali, con modulazione della portata di aria esterna.

CONCLUSIONE

L'elaborato qui proposto ha cercato di rispondere alle molteplici domande relative alla scelta e al dimensionamento dei sistemi HVAC: allo scopo, dopo una descrizione sommaria delle tipologie impiantistiche esistenti, sono stati proposti ed argomentati numerosi casi studio in merito, in modo da coinvolgere la gran parte delle destinazioni d'uso. La descrizione e l'argomentazione dei casi studio è stata agevolata dalle informazioni ricevute dagli enti del settore, quali studi di progettazione, installatori e produttori di sistemi. Tale analisi ha messo in evidenza le differenze fra i sistemi ad espansione diretta e i sistemi a fluido intermedio.

I primi risultano essere sistemi, a livello impiantistico, più semplici in quanto composti da pochi elementi. Tutto il sistema è costituito dal circuito frigorifero, con i vantaggi e gli svantaggi che ne derivano: oltre agli spazi minimi di ingombro, sono messi in risalto i rendimenti energetici più elevati dovuti sia al fatto che l'espansione/condensazione del refrigerante avviene direttamente in ambiente, sia perché l'unità esterna modula di continuo la sua potenza in funzione alla richiesta delle interne. Per tale motivo vengono presi molto in considerazione nei lavori di riqualificazione energetica di edifici residenziali e di edifici ad uso uffici, in quanto i limiti sulla regolazione dei parametri climatici, tipici dei sistemi ad espansione diretta, sono meno rilevanti del notevole risparmio energetico ed economico che ne deriva. A tal proposito viene menzionato il sistema VRF a recupero di calore R2 di Mitsubishi Electric che garantisce la completa autonomia gestionale delle unità interne VRF, con un semplice sistema a 2 tubi.

I secondi, essendo a fluido intermedio, richiedono molta attenzione al dimensionamento della linea impiantistica: entrano in gioco tutti gli accessori tipici degli impianti ad acqua, quali valvole, vasi di espansione, pompe e sistemi di bilanciamento di portata. Inoltre, rispetto agli impianti ad espansione diretta, vanno dimensionate con cura le linee impiantistiche al fine di ottenere un perfetto bilanciamento del fluido vettore. Tuttavia sono impianti che consentono, con un solo generatore, di raggiungere potenze molto grandi e

garantiscono un maggior livello di affidabilità. I sistemi a fluido intermedio, rispetto a quelli ad espansione diretta, riescono a regolare meglio le condizioni termo-igrometriche dell'ambiente in quanto, oltre alla regolazione della temperatura, sono in grado di regolare l'umidità dell'aria. Per tale ragione trovano le principali applicazioni nelle strutture che richiedono garanzie sull'affidabilità e un controllo rigido delle condizioni dell'ambiente, come gli ospedali.

Il controllo delle condizioni climatiche deve essere supportato da sistemi gestionali che regolano la funzionalità dei sistemi HVAC secondo logiche definite a progetto: a tale scopo, i sistemi HVAC sono spesso integrati da controllori programmabili PLC che ricevono segnali dall'ambiente e comandano l'impianto secondo quanto programmato.

I sistemi ad espansione diretta VRF hanno numerosi pregi, che il più delle volte li rendono l'unica scelta possibile, soprattutto nei sistemi di piccola taglia. Tuttavia risultano essere particolarmente limitati e delicati in quanto richiedono un'attenta progettazione delle linee frigorifere: essendo il sistema costituito da un gigantesco ciclo frigorifero, un errore di progettazione o un guasto su una linea distributiva, potrebbe causare danni all'unità esterna. Inoltre, le direttive imposte dalla norma UNI 378 sul contenuto di refrigerante per sistema rende ancora più difficile l'applicabilità di tali sistemi, soprattutto in ambito residenziale o alberghiero. Una nota di merito va a Mitsubishi Electric con la commercializzazione del sistema Hybrid City Multi, sistema ibrido che lega i vantaggi dei sistemi ad espansione diretta al comfort tipico dei sistemi idronici.

Il presente elaborato va ad aggiungersi all'ampia gamma letteraria già esistente riguardante le tipologie dei sistemi di climatizzazione e le applicazioni. Tuttavia, l'argomentazione delle applicazioni esistenti arricchisce il bagaglio del lettore e fornisce maggiore consapevolezza sulla tipologia impiantistica.

La ricerca si è concentrata esclusivamente sulle applicazioni relative al comfort degli occupanti degli ambienti, tralasciando tutti i possibili applicativi relativi al processo: raffreddamento di unità meccaniche di processo, di centri di elaborazione dati, di quadri elettrici. Per tali applicazioni non possono essere considerate le unità descritte nell'elaborato in quanto entrano in gioco altri fattori e altri scopi.

Una raccomandazione per ulteriori ricerche future potrebbe essere quella di realizzare uno studio simile relativo agli applicativi di processo.

BIBLIOGRAFIA

1. *Direttiva 2002/91/CE* - Parlamento europeo e del Consiglio, del 16 dicembre 2002, sul rendimento energetico nell'edilizia
2. *DPR. 26 agosto 1993, n.412*
3. *D.Lgs. 19 agosto 2005, n.192*
4. *D.Lgs. 30 maggio 2008, n.115*
5. *DPR. 2 aprile 2009, n.59*
6. *Legge n.10 - 9 gennaio 1991*
7. *CTI – Le norme tecniche di riferimento per la stima delle prestazioni energetiche degli edifici – La specifica UNI TS 11300*
8. *Norma UNI EN 378 - 2008*
9. *Certifico srl – Vademecum F-Gas 2019, DPR n.146/2018*
10. *Carel Industries – Refrigeranti, regole e tendenze per il futuro prossimo*
11. *The Italian Times – Ecobonus 2019: agenzia entrate guida, cos'è come funziona e requisiti*
12. *The Italian Times – Conto termico 2019: cos'è come funziona, domanda GSE*
13. *Green Building Council Italia, U.S. Green Building Council: Green building – Nuove costruzioni e ristrutturazioni, Sistema di valutazione LEED NC 2009 Italia*
14. *Tecniche nuove – Il condizionamento dell'aria, Antonio Briganti*
15. *HOEPLI – Manuale del termotecnico, Nicola Rossi*
16. *Editoriale Delfino – Impianti idronici e sistemi VRF-VRV, un confronto ragionato in 70 domande, Michele Vio, Matteo Rigo*
17. *Refrigeration, Air Conditioning and Heat Pumps (5th Edition), Hundy, G. F., Trott, A. R. e Welch, T. C.*
18. *Ozone depletion and global warming: Case for the use of natural refrigerant—a review, B.O. Bolaji a, n, Z.Huan*
19. *Glide dei refrigeranti e impatto sulla dichiarazione delle prestazioni. Asercom*
20. *Method of Choice of low TEWI refrigerant blends, Charbel Rahhal, Denis Clodic*

21. ISPRA - *Studio sulle alternative agli idrofluorocarburi (HFC) in Italia*, Federica Moricci, Gabriella Rago Barbara Gonella, Andrea Gagna, Riccardo De Lauretis
22. Mitsubishi Electric – *City Multi Case Study*
23. <https://www.clivet.com/climatizzazione-per-centri-commerciali#realizzazioni>
24. Referenze studi di progettazione