

# I SISTEMI VRF DAL PROGETTO ALLA MANUTENZIONE



## Gruppo di lavoro

Questa Guida è stata redatta da un gruppo di lavoro costituito dai seguenti esperti:

Luca Molinaroli (coordinatore)	Politecnico di Milano - Dipartimento di Energia
Gabriele Borin	Mitsubishi Electric Europe B.V. Italian Branch
Roberto Castiglioni	LG Electronics Italia SpA
Carlo Colafrancesco	Toshiba Italia Multiclima
Davide Corrado	Mitsubishi Electric Europe B.V. Italian Branch
Alessandro Ferrara	Panasonic Appliances Air-Conditioning Europe
Luca Franco	Daikin Air Conditioning Italy S.p.A.
Mario Leggieri	LG Electronics Italia SpA
Nicolò Pirota	Clivet SpA
Monica Pradella	Panasonic Appliances Air-Conditioning Europe
Paolo Terruzzi	Johnson Controls Hitachi Air Conditioning Europe
Domenico Zanchetta	Argoclima
Alessandro Ziletti	Studio di Ingegneria Ziletti

## Revisori

La revisione di questa Guida è stata fatta dai seguenti esperti che hanno fornito preziosi suggerimenti:

Francesco Maragno	Samsung Electronics Air Conditioner Europe BV
Achille Zurlo	Samsung Electronics Air Conditioner Europe BV

La Commissione Comitati Tecnici ringrazia il Gruppo di Lavoro che ha prodotto questa Guida.

Federico Pedranzini  
*Presidente della Commissione Comitati Tecnici 2017-2020 di AiCARR*

# INDICE

<b>LE GUIDE AICARR</b>	II
<b>I SISTEMI VRF DAL PROGETTO ALLA MANUTENZIONE</b>	III
<b>PRESENTAZIONE</b>	IV
<b>INDICE</b>	VI
<b>CAPITOLO 1 - INTRODUZIONE ALLA TECNOLOGIA</b>	1
1.1 - Principio di funzionamento	1
1.2 - Tipologie di unità esterne	8
1.3 - Integrazione in sistemi idronici e per produzione di ACS	10
1.4 - Lo sbrinamento in fase invernale	10
1.5 - Unità interne	10
1.6 - Macchine per climi e applicazioni particolari	13
1.7 - I sistemi a recupero di calore	14
1.8 - Integrazione con sistemi di trattamento dell'aria	14
<b>CAPITOLO 2 - PROGETTAZIONE DEI SISTEMI VRF</b>	17
2.1 - Introduzione: applicazioni principali, peculiarità e limiti dei sistemi VRF	17
2.2 - Progettazione dei sistemi VRF	20
2.3 - Valutazione della potenza effettivamente resa nelle condizioni di progetto	26
2.3.1 - Calcolo della potenza effettiva dell'unità esterna	27
2.3.1.1 - Correzione per l'influenza della temperatura esterna	27
2.3.1.2 - Correzione per l'indice di saturazione	28
2.3.1.3 - Correzione per la lunghezza delle tubazioni di refrigerante	30
2.3.1.4 - Correzione per cicli di sbrinamento	31
2.3.1.5 - Esempio di correzione della potenza erogata dall'unità esterna	32
2.3.2 - Calcolo della potenza effettiva delle unità interne	33
2.4 - Scelta e posizionamento dell'unità esterna	36
2.5 - Scelta e posizionamento delle unità interne	47
2.5.1 - Unità a parete	48
2.5.2 - Unità a cassetta	50
2.5.3 - Unità canalizzate a controsoffitto	51
2.5.4 - Unità a soffitto	52
2.5.5 - Unità a pavimento	52
2.5.6 - Barriere d'aria	54
2.5.7 - Riduzione dell'impatto acustico delle unità interne	55

2.6 - Criteri di definizione della rete di distribuzione	56
2.7 - Integrazione con moduli idronici per la produzione di acqua calda	59
2.7.1 - Accoppiamento con sistemi radianti e con radiatori	60
2.7.2 - Produzione di acqua calda sanitaria tramite sistemi VRF	61
2.8 - Recupero di calore e carichi contemporanei di segno opposto	63
2.8.1 - Recupero di calore con sistema VRF a due tubi	64
2.8.2 - Recupero di calore con sistema VRF a tre tubi	66
2.8.3 - Richiesta contemporanea di caldo e di freddo	67
2.8.4 - Recupero per la produzione di acqua calda sanitaria	69
2.8.5 - Alcune note sui distributori	70
2.9 - Sovradimensionamento	70
2.10 - Parametri di riferimento per l'applicazione della legislazione e della normativa vigenti	71
2.10.1 - Decreto interministeriale 26 giugno 2015 ("Decreto requisiti minimi")	71
2.10.2 - Attestato di prestazione energetica	78
2.10.3 - Il D.Lgs.28/2011	78
<b>CAPITOLO 3 - REGOLAZIONE DEI SISTEMI VRF</b>	<b>81</b>
3.1 - Scelta della tipologia di comandi	81
3.1.1 - I comandi remoti locali	81
3.1.2 - I comandi centralizzati	82
3.1.3 - Sistemi di supervisione	82
3.2 - Aspetti funzionali	83
3.2.1 - Introduzione al sistema di funzionamento	83
3.2.2 - Operazioni di servizio	84
3.2.2.1 - Cicli di sbrinamento	84
3.2.2.2 - Recupero dell'olio e rotazione di avviamento	87
3.2.2.3 - Sistemi di auto protezione	87
3.2.2.4 - Funzionamento di backup	88
3.3 - Aspetti prestazionali riferiti al controllo delle condizioni in ambiente	88
3.3.1 - Regolazione automatica: componenti del sistema e meccanismo di regolazione	88
3.3.1.1 - Unità interne	88
3.3.1.2 - Unità esterne	89
3.3.1.3 - VRF e vantaggi dell'inverter	91
3.3.1.4 - VRF e comfort ambiente	91
3.3.2 - Una corretta installazione per una buona regolazione	92
3.3.2.1 - Utilizzo del comando a filo	92
3.3.2.2 - Utilizzo della sonda ambiente	95
3.3.3 - Funzionalità di regolazione e ottimizzazione	95
3.3.3.1 - Campo di funzionamento unità interne e mantenimento notturno	95
3.3.3.2 - Impostazione limiti di temperatura	96
3.3.4 - Approfondimenti e opzioni relative a comfort termico e contenimento dei consumi	97
3.3.4.1 - Funzione di commutazione automatica	97
3.3.4.2 - Funzione di set-back	98
3.3.4.3 - Sensore di presenza e pavimento	98
3.4 - Integrazione BMS, monitoraggio avanzato e contabilizzazione	99
3.4.1 - Integrazione BMS	99

3.4.2 - Monitoraggio	102
3.4.3 - Contabilizzazione	103
3.5 - Sistemi VRF e norma UNI EN 15232-1	105
3.5.1 - La norma UNI EN 15232-1	105
3.5.2 - L'applicazione della norma UNI EN 15232-1 ai VRF	108
<b>CAPITOLO 4 - ASPETTI E REQUISITI DI INSTALLAZIONE</b>	109
4.1 - Competenze necessarie e attrezzatura richiesta	109
4.2 - Spazi di rispetto, posizionamento e vincoli strutturali e vibrazionali	110
4.2.1 - Unità esterne	110
4.2.2 - Unità interne	112
4.3 - Collegamenti della rete frigorifera	117
4.4 - Collegamenti alla rete di scarico condensa	123
4.5 - Collegamenti alla rete elettrica	127
4.6 - Alcuni errori di installazione più comuni	128
<b>CAPITOLO 5 - PRIMO AVVIAMENTO GESTIONE E MANUTENZIONE</b>	133
5.1 - Generalità	133
5.2 - Procedura da seguire al primo avviamento	133
5.2.1 - Prima d'iniziare l'avviamento	133
5.2.2 - Utensili richiesti e materiale	134
5.2.3 - Spurgo dell'aria dalle tubazioni e pressatura dell'impianto	135
5.2.4 - La ricerca delle fughe	138
5.2.5 - Vuotatura e carica del circuito frigorifero	138
5.2.6 - Prima di avviare l'impianto VRF	144
5.3 - Procedura da seguire all'avviamento dell'impianto VRF	145
5.3.1 - Primo avviamento dell'impianto VRF	145
5.3.2 - Verifica del funzionamento del sistema	145
5.4 - Misure e/o controlli da libretto di impianto o che sarebbe bene mettere in atto	145
5.5 - "Personalizzazione" del funzionamento dell'impianto sulla base delle esigenze dell'utente finale	146
<b>CAPITOLO 6 - I CASI DI STUDIO</b>	149
6.1 - Introduzione	149
6.2 - Caso di studio 1: hotel a Torino	149
6.3 - Caso di studio 2: hotel a Milano	152
6.4 - Caso di studio 3: hotel a Sirmione	154
6.5 - Caso di studio 4: albergo diffuso a Matera	157
6.6 - Caso di studio 5: palazzine per uffici a Imola	161
6.7 - Caso di studio 6: palazzina per uffici a Roma	164
<b>GLOSSARIO</b>	167
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	171
<b>AUTORI</b>	173
<b>VOLUMI AiCARR</b>	174
<b>NOTE</b>	177

## PRESENTAZIONE

Negli ultimi anni gli impianti VRF si stanno affermando quale alternativa concreta agli impianti idronici: le possibilità e i vantaggi offerti dalla combinazione dei concetti di portata variabile e di espansione diretta sono molteplici e rendono questa tipologia di impianto altamente competitiva sotto punti di vista non secondari. Tuttavia la relativa complessità progettuale ha fatto sì che anche oggi molti progettisti non annoverino tali sistemi tra quelli da valutare anche in casi in cui tale tecnologia potrebbe risultare essere, sulla carta, conveniente.

Questa Guida si propone quindi di introdurre il progettista alla conoscenza e alle sensibilità di base idonee alla valutazione e ad un corretto dimensionamento di un impianto VRF. Il testo è il frutto di un lavoro sinergico delle aziende di riferimento per tali prodotti, coordinate da Luca Molinaroli.

Federico Pedranzini

*Presidente della Commissione Comitati Tecnici 2017-2020 di AiCARR*

## INTRODUZIONE ALLA TECNOLOGIA

### 1.1 - Principio di funzionamento

Nelle sue linee essenziali, il principio di funzionamento di un sistema a espansione diretta a portata di refrigerante variabile, VRF-Variable Refrigerant Flow, è del tutto analogo al principio di funzionamento di macchine a ciclo inverso a compressione di vapore ampiamente diffuse quali il frigorifero domestico e il condizionatore dell'automobile.

In tali sistemi, come mostrato nella Figura 1.1, un lavoro o una potenza di natura elettrica o meccanica sono utilizzati per azionare una macchina termodinamica al fine di sottrarre energia o potenza termica o frigorifera a un sorgente a bassa temperatura e contemporaneamente cedere energia o potenza termica a un pozzo che si trova alla temperatura  $T_C$  maggiore di  $T_F$ .

Le energie o potenze scambiate sono tutte necessarie e indispensabili per il corretto funzionamento della macchina termodinamica e in mancanza di una di esse, la macchina non potrebbe funzionare.

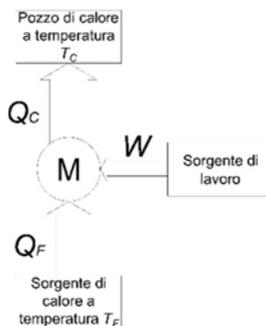


Figura 1.1 - Rappresentazione concettuale di una macchina termodinamica che, assorbendo la quantità di lavoro  $W$ , è utilizzata per sottrarre la quantità di calore  $Q_F$  da una sorgente a bassa temperatura e cedere la quantità di calore  $Q_C$  a un pozzo ad alta temperatura.

In generale, queste macchine termodinamiche hanno come scopo o il raffreddamento della sorgente fredda e il mantenimento della sua temperatura al di sotto della temperatura ambiente, o il riscaldamento del pozzo caldo e il mantenimento della sua temperatura al di sopra della temperatura ambiente<sup>1</sup>. Nel primo caso, la macchina termodinamica è usualmente detta macchina frigorifera, nel secondo, pompa di calore. Questa distinzione è ulteriormente declinata anche negli indici di prestazione energetica: EER-Energy Efficiency Ratio per il funzionamento come refrigeratore e COP-Coefficient Of Performance; entrambi gli indici sono definiti come rapporto tra l'effetto utile e la spesa necessaria per ottenerlo:

$$EER = \frac{Q_F}{W} \quad (1.1)$$

$$COP = \frac{Q_C}{W} \quad (1.2)$$

con:

$Q_F$  = energia o potenza sottratta alla sorgente a bassa temperatura;

$W$  = lavoro o potenza necessario per il funzionamento della macchina;

$Q_C$  = energia o potenza ceduta al pozzo ad alta temperatura.

Per la realizzazione di una macchina termodinamica come quella appena descritta si sfruttano i fenomeni dei passaggi di stato, in particolare l'evaporazione e la condensazione di una opportuna sostanza detta fluido refrigerante. In particolare, il calore  $Q_F$ , o la potenza termica  $\dot{Q}_F$ , sono sottratti dalla sorgente di calore a bassa temperatura per mezzo di un processo endotermico di evaporazione, mentre il calore  $Q_C$ , o la potenza termica  $\dot{Q}_C$ , sono ceduti al pozzo di calore ad alta temperatura per mezzo di un processo esotermico di condensazione. Siccome la sostanza che effettua tali trasformazioni è la medesima, e poiché la temperatura  $T_F$  è diversa da  $T_C$ , le pressioni proprie del fluido refrigerante durante i passaggi di stato sono diverse in ragione del legame pressione-temperatura di saturazione che caratterizza ciascuna sostanza di cui si mostra un esempio in Figura 1.2.

In particolare, la pressione alla quale avviene il processo di condensazione risulta maggiore della pressione alla quale avviene il processo di evaporazione poiché, come detto, la temperatura  $T_C$  è maggiore della temperatura  $T_F$ . Di conseguenza, nella macchina termodinamica  $M$  devono trovare collocazione, oltre ai componenti necessari per realizzare le trasformazioni di evaporazione e di condensazione, anche quelli necessari per incrementare e ridurre la pressione del fluido refrigerante, che complessivamente necessitano del lavoro  $W$  per potere funzionare.

---

<sup>1</sup> Anticipando leggermente quanto discusso nei paragrafi successivi, giova qui specificare che tutti i sistemi VRF tradizionali sviluppano entrambi gli effetti utili ma non contemporaneamente, viceversa i sistemi VRF a recupero di calore possono sviluppare entrambi gli effetti utili simultaneamente.

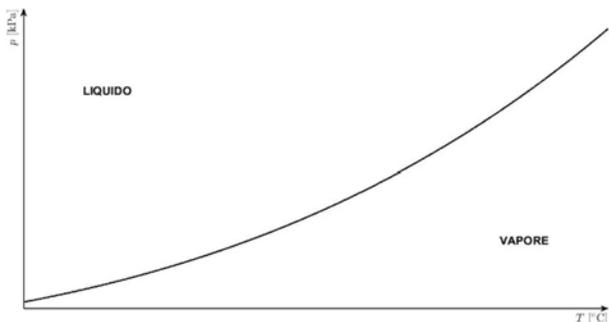


Figura 1.2 - Esempio di legame pressione-temperatura di saturazione per un fluido refrigerante generico.

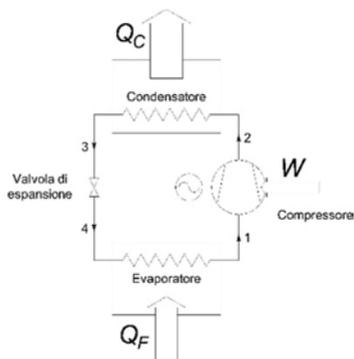


Figura 1.3 - Schema di principio di una macchina utilizzata per lo scambio della quantità di calore  $Q_F$  all'evaporatore oppure della quantità di calore  $Q_C$  al condensatore.

In definitiva, nella sua versione più semplice, la macchina termodinamica  $M$  può essere realizzata connettendo tra loro quattro componenti fondamentali, come mostrato nella Figura 1.3, per ottenere un processo ciclico e continuo:

- l'evaporatore è il componente (scambiatore di calore) in cui avviene la trasformazione di evaporazione, ovvero la trasformazione di sottrazione del calore  $Q_F$  o della potenza termica  $\dot{Q}_F$  dalla sorgente a bassa temperatura  $T_F$ . Tale trasformazione avviene alla temperatura di evaporazione, minore di  $T_F$ , e usualmente è realizzata in modo tale da far uscire il fluido refrigerante dall'evaporatore non nello stato di vapore saturo ma in quello di vapore surriscaldato, al fine di assicurare il corretto funzionamento del componente successivo, il compressore. Complessivamente, pertanto, nell'evaporatore il fluido refrigerante subisce un processo di evaporazione e (lieve) surriscaldamento;
- il compressore è il componente in cui avviene la trasformazione di incremento di pressione da quella di evaporazione a quella di condensazione.

Per realizzare tale processo, è necessario fornire energia al fluido refrigerante: il compressore è il componente in cui è scambiato il lavoro  $W$  o la potenza  $\dot{W}$ ;

- il condensatore è il componente (scambiatore di calore) in cui avviene la trasformazione di condensazione, ovvero la trasformazione di cessione del calore  $Q_C$  o della potenza termica  $Q_C$  al pozzo ad alta temperatura  $T_C$ . Tale trasformazione avviene alla temperatura di condensazione, maggiore di  $T_C$ , e usualmente è realizzata in modo tale da far uscire il fluido refrigerante dal condensatore non nello stato di liquido saturo ma in quello di liquido sottoraffreddato al fine di assicurare il corretto funzionamento del componente successivo, la valvola di espansione. Complessivamente, pertanto, nel condensatore il fluido refrigerante va incontro a un processo di desurrisaldamento, condensazione e (lieve) sottoraffreddamento;
- la valvola di espansione, o valvola di laminazione, è il componente in cui avviene la trasformazione di riduzione di pressione da quella di condensazione a quella di evaporazione. Poiché il processo realizzato è a entalpia finale uguale a quella iniziale, la riduzione di pressione non è accompagnata da alcuna produzione di lavoro e pertanto il lavoro o la potenza complessivamente scambiati dalla macchina termodinamica  $M$  sono il solo lavoro o potenza assorbiti dal compressore.

La macchina termodinamica  $M$  appena costruita è pertanto la versione più semplice possibile di sistema a compressione di vapore in grado di produrre potenza frigorifera utile per il raffreddamento di una sorgente di calore oppure potenza termica utile per il riscaldamento di un pozzo di calore. Nella versione maggiormente diffusa sul mercato, la sorgente e il pozzo di calore sono realizzati tramite due diversi flussi di aria, a due temperature differenti, di cui il primo si raffredda attraversando l'evaporatore e il secondo si riscalda attraversando il condensatore<sup>2</sup>. Di questi due flussi di aria, uno è convogliato, tramite la cosiddetta unità interna, nell'ambiente interno occupato dall'utente finale mentre l'altro è tipicamente convogliato nell'ambiente esterno, tramite la cosiddetta unità esterna. In tale situazione, la macchina termodinamica è usualmente denominata condizionatore/pompa di calore monosplit poiché è esclusivamente in grado di raffrescare (condizionatore) oppure riscaldare (pompa di calore) un unico ambiente interno a seconda del posizionamento in quest'ultimo rispettivamente dell'evaporatore oppure del condensatore, come mostrato in Figura 1.4.

Con una macchina a compressione di vapore simile a quella appena descritta è possibile soddisfare esclusivamente la richiesta di raffrescamento o di riscaldamento di una utenza e pertanto per soddisfare le richieste lungo l'intero arco dell'anno è necessario prevedere l'installazione di due macchine, il che è teoricamente concepibile ma di difficile realizzazione pratica per via degli ingombri del sistema complessivo, doppi per la presenza di due macchine termodinamiche simili tra loro ma dallo scopo diverso, e dei costi di realizzazio-

---

<sup>2</sup> Sul mercato sono presenti sistemi che possono utilizzare un flusso di acqua, in luogo di un flusso di aria, all'evaporatore oppure al condensatore.

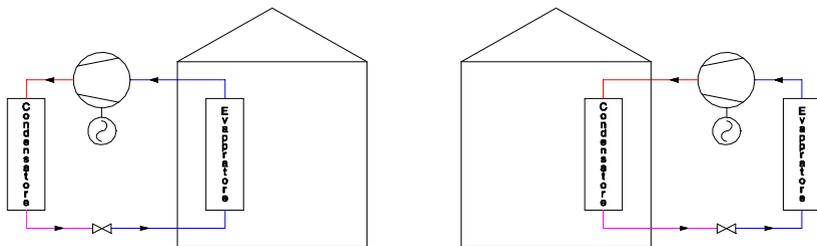


Figura 1.4 - Rappresentazione schematica di un sistema monosplit per applicazioni di raffreddamento, a sinistra, o di riscaldamento, a destra, degli ambienti.

ne e manutenzione, doppi e forse anche più.

Di conseguenza, ricordando che il corretto funzionamento di una qualsiasi macchina termodinamica a ciclo inverso prevede la sottrazione di potenza frigorifera da una sorgente a bassa temperatura e la contemporanea cessione di potenza termica a un pozzo ad alta temperatura, al fine di soddisfare le richieste di un'utenza con una unica macchina a compressione, lo schema di principio base mostrato in Figura 1.4 è modificato con l'aggiunta di un ulteriore componente, la valvola a 4 vie o valvola di inversione, che permette di scambiare la "posizione" dell'evaporatore e del condensatore a seconda delle richieste, solitamente a seconda della stagione. In tal modo, lo scambiatore di calore posto nell'ambiente interno, generalmente indicato come unità interna, funziona da evaporatore durante la stagione estiva e da condensatore durante la stagione invernale e viceversa per lo scambiatore di calore posto nell'ambiente esterno, che generalmente è indicato come unità esterna e che comprende anche il compressore e la valvola di espansione, come mostrato nella Figura 1.5.

Una ulteriore evoluzione di tali macchine a compressione di vapore consiste nel collegare alla medesima unità esterna più di una unità interna, solitamente in numero variabile tra 2 e 8, al fine di poter soddisfare contemporaneamente

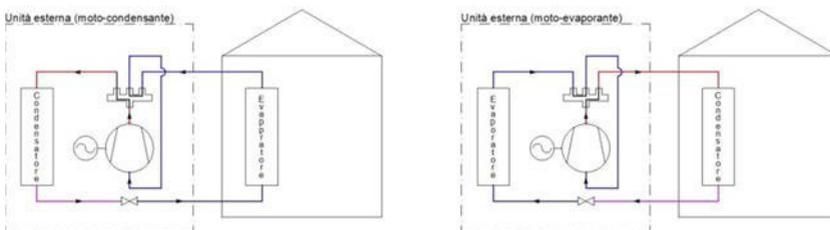


Figura 1.5 - Rappresentazione schematica di un sistema monosplit equipaggiato con valvola a 4 vie per applicazioni di raffreddamento, a sinistra, o di riscaldamento, a destra, degli ambienti.

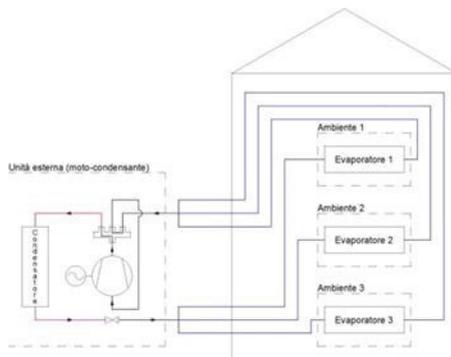


Figura 1.6 - Rappresentazione schematica di un sistema multisplit, equipaggiato con valvola a 4 vie, rappresentazione in modalità di funzionamento in raffreddamento.

con una unica macchina a compressione di vapore, le richieste di più ambienti diversi. In tale situazione, la macchina termodinamica è usualmente denominata condizionatore/pompa di calore multisplit ed è generalmente realizzata prevedendo una valvola a 4 vie necessaria per la commutazione del funzionamento da condizionatore a pompa di calore e viceversa. Una rappresentazione di un sistema multisplit è mostrata nella Figura 1.6.

Se da un lato il sistema multisplit è una soluzione percorribile nella maggior parte delle situazioni con numero di utenze limitato, dall'altro tale tipologia impiantistica incontra difficoltà di applicazione qualora il numero di utenze da servire sia consistente, oppure qualora sia richiesto alla macchina a compressione di vapore di soddisfare richieste contemporanee di raffreddamento e di riscaldamento di ambienti differenti. Infatti, in un sistema multisplit le unità interne possono funzionare o come evaporatore, per soddisfare una richiesta di raffreddamento, oppure come condensatore, per soddisfare una richiesta di riscaldamento, ma non è possibile un funzionamento contestuale di alcune unità interne come evaporatore e di altre come condensatore. Inoltre, su ciascun circuito che connette l'unità esterna a quelle interne è installata una valvola a controllo elettronico che limita lo sviluppo geometrico della tubazione frigorifera a valle.

La soluzione tecnologica alle problematiche appena evidenziate risiede nei sistemi a portata di refrigerante variabile-VRF, che appartengono sempre alla categoria delle macchine a compressione di vapore ma che si differenziano costruttivamente dai sistemi multisplit per due aspetti fondamentali, entrambi evidenziati nella Figura 1.7, che permettono di variare la portata di refrigerante inviata a ciascuna unità interna in modo indipendente:

1. ciascuna unità interna è equipaggiata con una propria valvola di espansione; questo permette uno sviluppo della tubazione frigorifera maggiore;
2. nei sistemi VRF a recupero di calore, le unità interne possono funzionare simultaneamente con modalità operative differenti, garantendo contemporaneamente riscaldamento e raffreddamento ad ambienti interni diversi. Ciò si realizza interponendo unità seletttrici di flusso.

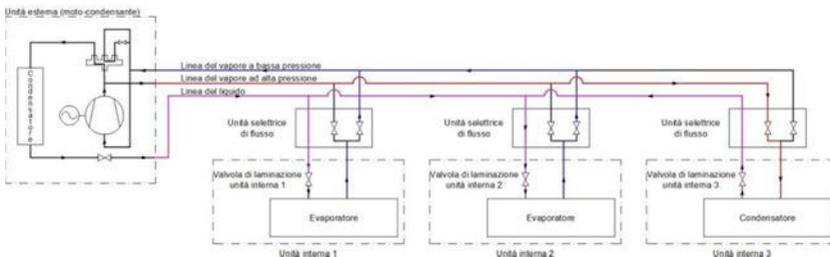


Figura 1.7 - Rappresentazione schematica di un sistema VRF a recupero di calore a tre tubi: unità interna 1 e 2 in modalità di funzionamento in raffreddamento e unità interna 3 in modalità di funzionamento in riscaldamento.

Tale possibilità di funzionamento richiede una sofisticata logica di supervisione e controllo del sistema. La temperatura dei singoli ambienti interni è infatti mantenuta costante agendo simultaneamente sulle valvole di laminazione elettroniche installate nelle singole unità interne, sulla variazione di portata di refrigerante prodotta dal compressore, da cui il nome Variable Refrigerant Flow, e sulla variazione di portata d'aria elaborata dal ventilatore delle unità interne. A seconda della potenza richiesta dai singoli ambienti, le valvole di laminazione, aprendosi o chiudendosi, adattano la pressione, e quindi la temperatura di evaporazione e/o di condensazione alla reale richiesta dell'ambiente. La regolazione della portata del refrigerante è invece ottenuta variando, tramite inverter, la frequenza di rotazione del compressore per soddisfare le esigenze di tutti gli ambienti interni, assicurando pertanto il raggiungimento dell'obiettivo con la minore portata di refrigerante possibile e con le migliori efficienze energetiche complessive.

Il sistema VRF a recupero di calore può funzionare secondo una delle seguenti tre modalità:

1. riscaldamento: l'unità seletttrice di flusso riceve il fluido refrigerante in uscita dal compressore allo stato di vapore ad alta pressione e alta temperatura e lo invia alle unità interne dove avviene il processo di condensazione con cessione di energia termica all'ambiente. Il liquido sottoraffreddato ottenuto al termine del processo è inviato tramite la linea "del liquido" all'unità esterna moto-evaporante, dove la sua pressione si riduce e avviene il processo di evaporazione;
2. raffreddamento: l'unità seletttrice di flusso riceve il fluido refrigerante in uscita dal condensatore allo stato di liquido sottoraffreddato ad alta pressione e ne riduce la pressione tramite la valvola di espansione di cui è equipaggiata. La miscela bifase a bassa pressione così ottenuta è inviata alle unità interne dove avviene il processo di evaporazione con sottrazione di energia termica dall'ambiente. Il vapore surriscaldato ottenuto al termine di quest'ultimo processo è convogliato tramite la linea di bassa pressione all'unità esterna moto-condensante dove ne è incrementata la pressione tramite il compressore e viene indotto il successivo processo di condensazione;

3. recupero di calore: le unità seletttrici di flusso a servizio delle unità interne che devono cedere calore all'ambiente ricevono il fluido refrigerante in uscita dal compressore allo stato di vapore ad alta pressione e alta temperatura e lo inviano alle unità interne in modo tale da indurre in esse il processo di cessione di energia termica all'ambiente. Il liquido sottoraffreddato ottenuto al termine del processo è inviato non all'unità esterna ma, tramite la linea "del liquido", alle unità seletttrici di flusso a servizio delle unità interne dove avviene il processo di sottrazione di energia termica dall'ambiente. In questa modalità di funzionamento, l'unità esterna funziona come unità moto-evaporante oppure moto-condensante a seconda della prevalenza della richiesta di potenza termica sulla potenza frigorifera e viceversa.

Il sistema VRF nella modalità riscaldamento e/o raffrescamento funziona similmente a un sistema multisplit tradizionale, mentre nella modalità recupero di calore trova un vantaggio energetico indubbio, giacché è possibile soddisfare le richieste di due utenze diverse con una minima spesa energetica.

## 1.2 - Tipologie di unità esterne<sup>3</sup>

La tecnologia VRF prevede diverse tipologie di unità "esterne". Una sintetica classificazione dei modelli presenti sul mercato può essere effettuata per:

- **Fluido cui viene ceduto il calore di condensazione**, che può essere aria ambiente oppure acqua: nel primo caso solitamente i ventilatori sono dotati di inverter al fine di avere un accurato controllo delle pressioni del processo, mentre nel caso di condensazione ad acqua il fluido può fare parte di un circuito aperto, nel caso dell'acqua di falda con pozzo di emungimento e pozzo di resa, o di un circuito chiuso, nel caso di sonde geotermiche con miscela incongelabile o nel caso di scambio termico con torre evaporativa.

La condensazione mediante acqua di falda e sonde geotermiche a circuito chiuso non risente in maniera significativa delle variazioni del clima esterno, con una efficienza stagionale normalmente più elevata rispetto a quella delle altre configurazioni di impianto. Questi vantaggi sono particolarmente accentuati in funzionamento invernale in climi rigidi, laddove ci possono essere importanti escursioni termiche e la potenza impiegata per i cicli di sbrinamento con unità ad aria causa un importante decadimento del coefficiente di prestazione stagionale;

- **Dimensioni e design dell'unità**: con particolare riferimento ai sistemi condensati ad aria, molti produttori realizzano linee di prodotti con dimensioni e capacità termiche/frigorifere ridotte rispetto a quelle dei sistemi tradizionali. Queste tipologie di macchine sono utilizzate in caso di installazioni in spazi ridotti e di circuiti di estensione ridotta con potenze richieste non particolarmente elevate. E' da tenere presente che in alcuni casi lo stesso produttore offre la stessa potenza nella serie di dimensioni tradizionali e nella serie "mini";

---

<sup>3</sup> Di seguito sarà utilizzata la terminologia riferita al funzionamento in raffrescamento, a esempio unità esterna - batteria di condensazione.

- **Tipologia di ventilatore per aria di condensazione:** le unità esterne possono avere ventilatori di tipo assiale a espulsione verticale oppure orizzontale, in funzione del design dell'unità stessa, o ventilatori di tipo centrifugo in luogo del tradizionale sistema con ventilatore assiale. Questa caratteristica consente di dotare l'unità esterna di una prevalenza maggiore e quindi garantisce la possibilità di canalizzare il flusso di aria di scambio termico;
- **Vettore energetico di ingresso al sistema:** la maggior parte dei sistemi VRF prevede che il compressore che fa parte del ciclo a compressione di vapore sia alimentato da energia elettrica. Sono inoltre presenti sul mercato sistemi appartenenti alla categoria delle GHP-Gas Heat Pump equipaggiati da un motore endotermico accoppiato a uno o più compressori tramite una trasmissione meccanica. Il motore varia il numero di giri in base alla effettiva entità del carico richiesto dalle unità interne, con regolazione analoga ai sistemi VRF con compressori elettrici. Il combustibile di alimentazione di questi sistemi può essere gas metano, gas di città, aria propanata, GPL-gas di petrolio liquefatto; in Tabella 1.1 è riportato un esempio di tabella fornita dai costruttori per il combustibile da impiegare. Il motore endotermico è raffreddato ad acqua e il calore in eccesso può essere recuperato tutto l'anno per la produzione di acqua calda fino a 75 °C. Questa energia è gratuita ed è direttamente proporzionale all'energia prodotta dal generatore. Il motore endotermico generalmente è di derivazione automobilistica e necessita di manutenzioni periodiche (per esempio ogni 10.000 ore di funzionamento), secondo specifiche variabili da costruttore a costruttore con un conseguente costo di gestione superiore rispetto a un sistema VRF ad alimentazione elettrica. Questi sistemi trovano opportuna applicazione in caso di limitata disponibilità di potenza elettrica per azionare la climatizzazione in caso di climi rigidi in quanto la resa termica non varia al diminuire della temperatura esterna, con tariffe di acquisto del gas agevolate. E' importante notare che in caso di confronto con sistemi elettrici, non è possibile il confronto diretto tra l'efficienza di una pompa di calore elettrica (COP) e l'efficienza di una azionata a gas (GUE). Questo ultimo valore sarà da moltiplicare per il fattore di conversione dell'energia da elettrica a primaria, variabile da Stato a Stato in funzione delle tecnologie delle centrali di produzione dell'energia elettrica, che in Italia può corrispondere, in prima approssimazione, a circa 2,5.

*Tabella 1.1 - Esempio di tabella fornita dal costruttore per il combustibile da impiegare.*

Gruppo	P	H	L	E
<b>Composizione del gas</b>	<b>C<sub>3</sub>H<sub>8</sub> 100%</b>	<b>CH<sub>4</sub> 100%</b>	<b>CH<sub>4</sub> 86% N<sub>2</sub> 14%</b>	<b>CH<sub>4</sub></b>
<b>Gas standard</b>	<b>G32</b>	<b>G20</b>	<b>G25</b>	<b>G20</b>
<b>Potere calorifico [MJ/Nm<sup>3</sup>]</b>	<b>95,65</b>	<b>37,78</b>	<b>32,49</b>	<b>37,78</b>
Modello	Tipo 45,0	0	0	0
	Tipo 56,0	0	0	0
	Tipo 71,0	0	0	0
	Tipo 85,0	0	0	0

### **1.3 - Integrazione in sistemi idronici e per produzione di ACS**

La tecnologia VRF, pur prevedendo l'espansione diretta di refrigerante, può essere utilizzata in impianti con sottosistemi di emissioni idronici quali i pannelli radianti e per erogare il servizio di acqua calda sanitaria, non istantanea ma tramite accumuli dedicati.

Sul mercato sono disponibili dispositivi, chiamati kit idronici, i quali consentono di trasferire energia termica o frigorifera a un circuito idronico. Normalmente questi dispositivi assumono la valenza di una unità interna del circuito frigorifero e sono disponibili in diverse taglie.

Sono prodotti e commercializzati anche kit idronici cosiddetti ad alta temperatura, che contengono un ulteriore circuito frigorifero in pompa di calore che, in serie a quello principale, consente di raggiungere temperature più alte dell'acqua inviata alla parte idronica dell'impianto.

### **1.4 - Lo sbrinamento in fase invernale**

Durante il funzionamento invernale, in condizioni di temperatura bassa e umidità dell'aria elevata, sulla batteria dell'unità esterna si forma della brina che con il progredire del tempo tende a compromettere lo scambio termico tra il fluido e l'ambiente e quindi la capacità del sistema. Pertanto è necessario che vengano effettuati cicli di sbrinamento, nei quali il sistema inverte il ciclo di funzionamento e del gas caldo viene portato alla batteria consentendo la liquefazione della brina formatasi.

Sono state recentemente introdotte varie innovazioni tecnologiche che, durante la fase di sbrinamento, consentono di evitare l'immissione di aria fredda in ambiente mediante i terminali interni. Negli ultimi anni sono state prodotte alcune macchine in grado di effettuare il ciclo di sbrinamento alternando varie porzioni della batteria (batterie compartimentate), in modo tale da mantenere comunque l'erogazione del riscaldamento in ambiente. Altre macchine invece sono equipaggiate con accumuli termici a cambiamento di fase, che facendo da tampone nelle fasi di sbrinamento ottengono il medesimo effetto.

### **1.5 - Unità interne**

I terminali interni dei sistemi VRF sono normalmente equipaggiati con valvola di laminazione integrata. Qualora lo si desideri, a esempio per esigenze di design, è possibile installare unità interne di sistemi a espansione diretta tradizionali, a esempio i condizionatori mono/multisplit, in abbinamento con appositi kit di laminazione ai quali, di norma, sono collegate due o tre unità interne che possono essere delle più svariate tipologie e in molti casi presentano analogie con quelle dei terminali idronici. Di seguito sono descritte, a titolo non esaustivo, le tipologie più diffuse.

In Figura 1.8 sono mostrate le unità maggiormente diffuse, cioè quelle per installazione a parete oppure a pavimento. Sono disponibili sia con rivestimento per installazione a vista, sia per incasso in elementi architettonici.

Sono inoltre presenti sul mercato tipologie di unità interne del tipo di quelle

# GENERIAMO IDEE PER UN'ENERGIA SOSTENIBILE

AiCARR, Associazione italiana Condizionamento dell'Aria, Riscaldamento e Refrigerazione, crea e promuove cultura e tecnica per il benessere sostenibile, contribuendo al progresso delle tecnologie impiantistiche e alla definizione delle normative relative alla produzione, alla distribuzione e all'utilizzo dell'energia termica. Nata nel 1960 come costola italiana della prestigiosa associazione statunitense ASHRAE, AiCARR riunisce oggi circa 2000 associati di varia estrazione: progettisti, docenti, installatori e manutentori, aziende produttrici, funzionari di Enti e Agenzie governative, istituzioni territoriali, nazionali e internazionali, studenti e ricercatori. La presenza nelle sedi accademiche e istituzionali dove si progetta il futuro energetico del nostro Paese fa di AiCARR un punto di riferimento essenziale per la definizione delle strategie e delle politiche energetiche e un interlocutore insostituibile per chiunque si occupi di efficienza energetica, qualità ambientale, fonti rinnovabili e uso consapevole dell'energia.

## LE COMPETENZE CONDIVISE SONO ALLA BASE DI OGNI PROGRESSO

Accrescere la cultura tecnica del settore e la professionalità dei Soci, condividere know-how, redigere e diffondere linee guida di supporto nella pratica professionale, dare un appoggio concreto al mondo imprenditoriale che si occupa di temi energetici, fornire il proprio contributo in ambito normativo sono i principali impegni che AiCARR svolge attraverso:

- Convegni nazionali e internazionali, webinar, seminari, workshop, tavole rotonde
- Incontri tecnici e visite a impianti e realizzazioni d'avanguardia
- Commissioni di studio e coordinamento di attività tecniche, culturali e normative
- Comitati Tecnici attivi su tematiche specifiche
- Attività congiunte con Associazioni, Università ed Enti italiani ed europei, pubblici e privati

- Gruppi di lavoro creati per dare un supporto operativo alle Istituzioni
- Partecipazione alla definizione di regolamenti, leggi, linee guida e collaborazione alla redazione di normativa tecnica con UNI, CEN e CTI, grazie alla Commissione Tecnica e Normativa.

## AGGIORNAMENTO E FORMAZIONE: UN MUST

L'aggiornamento tecnologico e normativo è oggi imprescindibile per professionisti e aziende: in quest'ottica AiCARR offre formazione di alto standard teorico e applicativo attraverso AiCARR Formazione, business unit di AiCARR Educational srl, società certificata ISO 9001:2015.

AiCARR Formazione è provider di CNI e CNPI per i crediti formativi professionali e i suoi corsi, condotti da accademici e professionisti selezionati fra i migliori esperti del settore HVAC&R, sono rivolti a progettisti, tecnici, manutentori, personale tecnico e commerciale di Enti e industrie, studenti e ricercatori.

## SE LE IDEE CIRCOLANO, ACQUISTANO PIÙ FORZA

AiCARR pubblica gli atti dei convegni, cura l'edizione delle collane dei volumi tecnici, delle guide e dei vademecum, invia la newsletter quindicinale con le notizie sulle novità associative, editoriali, normative, legislative e di formazione; è distributore esclusivo per l'Italia delle pubblicazioni e norme ASHRAE e applica ai Soci condizioni favorevoli per l'acquisto delle norme CEI e sconti sulle pubblicazioni di importanti editori tecnici.

La biblioteca propone un'ampia selezione di titoli tecnico-scientifici in libera consultazione.

Sul sito [www.aicarr.org](http://www.aicarr.org) e attraverso la App, scaricabile da Google Play, è anche possibile consultare articoli tecnici e la rassegna news. Inoltre, i Soci ricevono gratuitamente il periodico AiCARR Journal, organo ufficiale dell'Associazione.

Questa Guida AiCARR ambisce a colmare la carenza della letteratura tecnico-scientifica del poliedrico mondo HVAC sui sistemi VRF e a diventare il punto di riferimento per la loro analisi e progettazione. A tal fine, partendo da una introduzione generale della tematica, la Guida affronta nei diversi capitoli i temi della progettazione dei sistemi VRF, della loro regolazione e installazione fino al loro collaudo. La Guida si rivolge sia ai professionisti della climatizzazione, che hanno già una conoscenza dei sistemi VRF, sia a chi si appropria per la prima volta a questa tipologia impiantistica. Redatta con l'obiettivo di analizzare tali sistemi partendo dalle informazioni di base, presuppone tuttavia che il lettore abbia già una conoscenza dei concetti base del mondo della climatizzazione ambientale, quali quelli relativi all'aria umida, al comfort termico e al calcolo dei carichi termici.

*La Commissione Comitati Tecnici è un organo consultivo permanente di AiCARR che ha come scopo l'aggiornamento, l'approfondimento e la divulgazione delle tematiche nei settori di interesse dell'Associazione. Svolge il proprio compito gestendo e controllando l'attività dei Comitati Tecnici, fra i quali il Comitato Tecnico Sistemi Impiantistici ed Applicazioni (CTSI) che ha il compito di tracciare le tematiche relative allo stato dell'arte e ai nuovi sviluppi dei sistemi impiantistici per applicazioni civili e commerciali. Il CTSI ha redatto questa Guida, istituendo un apposito Gruppo di Lavoro diretto e coordinato da Luca Molinaroli.*

AiCARR, Associazione Italiana Condizionamento dell'Aria, Riscaldamento e Refrigerazione, è un'associazione culturale no profit. Dal 1960 crea e promuove cultura e tecnica per il benessere sostenibile, occupandosi di uso consapevole dell'energia e delle risorse naturali e di innovazione delle infrastrutture energetiche, sia nel settore impiantistico che in quello edilizio. AiCARR conta oltre 2.100 Soci fra progettisti, costruttori di macchine, installatori, manutentori, accademici, ricercatori, studenti, funzionari di Enti e Agenzie governative e di istituzioni nazionali e internazionali.

La Collana AiCARR propone testi tecnici elaborati da Soci e selezionati dalla Commissione Editoria AiCARR, traduzioni di Linee Guida pubblicate da associazioni internazionali quali REHVA e ASHRAE e le Guide AiCARR realizzate dai Comitati Tecnici dell'Associazione. AiCARR - Associazione Italiana Condizionamento dell'Aria, Riscaldamento e Refrigerazione – [www.aicarr.org](http://www.aicarr.org)

ISVR

www.editorialedelfino.it

ISBN 978-88-31221-22-1



€ 15,57 + IVA 22% = € 19,00

Questo volume approvato dal tallorino  
(vendita e diritti di riproduzione riservati art. 11 c. 2 L. 633/1941).  
Esente da IVA (D.P.R. 26/10/1972 n. 633 art. 2 lett. c)  
Esente da bolli di accompagnamento (D.P.R. 6/10/1976 n. 621 art. 4 n. 6).

I SISTEMI VRF DAL PROGETTO  
ALLA MANUTENZIONE  
ISBN 978-88-31221-22-1