



Conto Termico 3

***Riqualificazione del Condizionamento per
Edificio Civile con Impianto VRF***

Ing. Stefano Caroli

*Vice Presidente Commissione Ricostruzione Post-sisma e
Riqualificazione del Sistema Edificio - Impianto
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma*

stcaroli@hotmail.com

Roma, 27.11.2025



OBIETTIVO DEL CORSO

Impianti a Pompa di Calore tipo VRF

Il Professionista deve possedere l'insieme delle nozioni e informazioni di base affinché sia in grado di ricoprire, in AUTONOMIA, i seguenti ruoli :

1. Redazione di un Capitolato Lavori e Computo Metrico
2. Progetto Esecutivo
3. Direzione Lavori
4. Collaudo
5. Manuale di Manutenzione



Impianto CDZ con Pompa di Calore tipo VRF

- Generalità
- Principi di funzionamento
- Gas refrigeranti
- Richiami di Termodinamica
- Schemi di Impianto
- Modelli di Progettazione
- Caso Studio
- Strumenti di Calcolo



NOMENCLATURA

GAS Refrigeranti

CFC-Cloro Fluoro Carbonio (R12)-(N.A)

HCFC-Idrogeno Cloro Fluoro Carbonio (R22-Freon-N.A)

HFC-Idrogeno Fluoro Carbonio (R407-R410-R134-R32)

[1° atomi di Fluoro-2° atomi di Idrogeno+1-3° atomi di Carbonio-1] presenti nella molecola

Idrocarburi Refrigeranti (Solo IDRONICHE)

Propano-Isobutano-Propilene

GWP-Global Warming Potential, codice del potenziale di riscaldamento, ovvero il contributo del gas all'effetto serra.



NOMENCLATURA

GAS Refrigeranti

	Dal 1755	Dal 1929	Dal 1988	Dal 2000	Dal 2015
Tema	Fattibilità tecnica	Sicurezza • Infiammabilità • Tossicità	Buco nell'ozono • Cloro (ODP, potenziale distruzione ozono)	Surriscaldamento • GWP (Global Warming Potential)	Surriscaldamento • GWP • Rischi sconosciuti
Focus	Sostanze refrigeranti naturali	CFC	HCFC HFC	HFC Sostanze refrigeranti naturali	HFO Sostanze refrigeranti naturali
Sostanze refrigeranti	Etere Anidride solforosa (SO ₂) Dicloroetilene CO ₂ Ammoniaca	R11 R12 Ammoniaca	R22 R124 R142b Ammoniaca	R134a R404A R410A R32 Ammoniaca, CO ₂	R1234ze R1234yf Propano Ammoniaca, CO ₂



NOMENCLATURA

GAS Refrigeranti



Regolamento (EU) 2024/573 Tabella riassuntiva valori GWP gas refrigeranti e TonCO₂eq. per tipologia di confezione

Regulation (EU) 2024/573 Summary table refrigerant gas GWP values and TonCO₂eq. by package type

TIPO GAS GAS TYPE	TIPO RECIPIENTE PACKAGE TYPE	Capacità recipiente (lt) Package capacity (lt)	Kg gas per recipiente kg of gas per package	GWP	Ton CO ₂ Eq
R134A	Bombola-cylinder 12,5 lt	12,5	12	1430	17,16
R32	Bombola-cylinder 12,5 lt	12,5	9	675	6,08
R407A	Bombola-cylinder 12,5 lt	12,5	12	2107	25,28
R410A	Bombola-cylinder 12,5 lt	12,5	11	2088	22,97
R454A	Bombola-cylinder 12,5 lt	12,5	10	237	2,37

CLASSE DI TOSSICITÀ

CLASSE DI INFIAMMABILITÀ	A (non tossico)	B (tossico)
1 (non infiammabile)	A1	B1
2L (leggermente infiammabile)	A2L	B2L
2 (infiammabile)	A2	B2
3 (altamente infiammabile)	A3	B3



NOMENCLATURA

GAS Refrigeranti

Refrigerante	Classe di sicurezza	Limite pratico [kg/m ³]	LFL [kg/m ³]	GWP
R32	A2L	0,061	0,307	675
R454B	A2L	0,059	0,297	465
R454C	A2L	0,059	0,293	146
R1234yf	A2L	0,058	0,289	0,501
R1234ze	A2L	0,061	0,303	1,370
R290	A3	0,008	0,038	0,020
R600	A3	0,009	0,038	0,006
R600a	A3	0,011	0,043	0,000

- **Limite pratico:** concentrazione utilizzata per il calcolo semplificato per determinare la quantità massima accettabile di refrigerante in uno spazio occupato
- **Limite di infiammabilità inferiore LFL:** concentrazione minima di refrigerante in grado di propagare una fiamma in una miscela omogenea di refrigerante e aria
- **Global Warming Potential GWP:** potenziale di riscaldamento globale, correlato alla CO₂. I valori riportati nella tabella fanno riferimento a quanto contenuto nel Regolamento F-gas



NOMENCLATURA

Fluido refrigerante	GWP	Potenza frigor. per portata volumetrica kJ/m ³	Campo di tempera- tura per un utilizzo efficiente °C	Valore limite pratico kg/m ³	Classe di sicurezza (pagina 16)	Tossicità (ATEL/ODL)	Infiammabilità (LFL)
	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]

Fluido refrigerante sintetico stabile nell'aria

R32		675	5300	35–45 (max. 55)	0,061	A2L	poco tossico	bassa infiammabilità
R134a	[9]	1430	2050	30–40 (max. 75)	0,25	A1	poco tossico	non infiammabile
R410A	[9]	2090	4600	30–40 (max. 55)	0,44	A1	poco tossico	non infiammabile
R452B		698	4400	30–40 (max. 55)	0,062	A2L	poco tossico	bassa infiammabilità
R454B		466	4500	30–40 (max. 55)	0,039	A2L	poco tossico	bassa infiammabilità
R513A		631	2050	30–40 (max. 75)	0,35	A1	poco tossico	non infiammabile

Fluido refrigerante sintetico non stabile nell'aria

R1234ze		< 1	1550	30–40 (max. 85)	0,061	A2L	poco tossico	bassa infiammabilità
R1234yf		< 1	1900	30–40 (max. 75)	0,058	A2L	poco tossico	bassa infiammabilità

Fluido refrigerante naturale

R290	Propano	3	2750	30–40 (max. 60)	0,008	A3	poco tossico	alta infiammabilità
R717	Ammoniaca NH ₃	0	3650	30–40 (max. 90)	0,00035	B2L	molto tossico	bassa infiammabilità
R1270	Propene (propilene)	3	3350	30–40 (max. 55)	0,008	A3	poco tossico	alta infiammabilità
R744	CO ₂	1	8500	30–60 (max. 90) [8]	0,1	A1	poco tossico	non infiammabile



NOMENCLATURA

GAS Refrigeranti

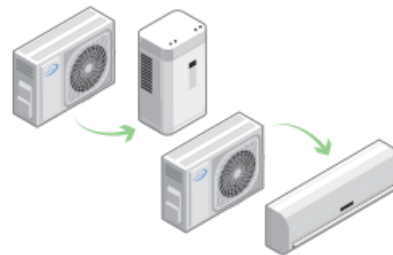
Le apparecchiature contenenti refrigeranti possono essere sinteticamente suddivise in sistemi autonomi e sistemi di tipo split secondo le definizioni del Regolamento F-gas.

- **Sistema autonomo:** Sistema completo, realizzato in fabbrica che è in una struttura o alloggiamento adeguati, che è fabbricato e trasportato integralmente o in due o più sezioni, che può contenere valvole di isolamento, e in cui nessuna parte contenente gas è collegata in loco;
- **Sistema di tipo split:** Sistema costituito da una serie di unità collegate dal tubo del refrigerante che formano un'unità separata ma interconnessa, i cui componenti del circuito del refrigerante devono essere installati e collegati sul sito di impiego.



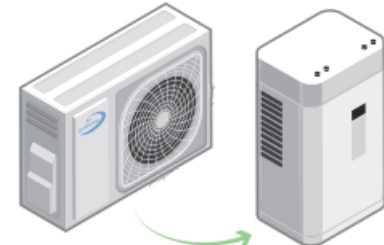
Unità monoblocco

SI



Unità split se la tubazione che le collega contiene refrigerante

NO- CONSIGLIATO



Unità hydrosplit se la tubazione che le collega contiene acqua

SI



NOMENCLATURA

GAS Refrigeranti

Prodotti refrigeranti Categoria			Prodotti refrigeranti (esempi)	ODP ¹	GWP ²	Gruppo di sicurez za ³	Disposizioni dell'ORRPChim per impianti che utilizzano prodotti refrigeranti
Prodotti refrigeranti che impoveriscono lo strato di ozono	CFC (Clorofluorocarburi, completamente alogenati)	Prodotti refrigeranti a una sostanza	R-11 R-12 R-13 R-13B1	1,000 1,000 1,000 10,000	4750 10 900 14 400 7140	A1 A1 A1 A1	Immissione sul mercato: vietata Ricarica: vietata Obbligo di notifica e registro di manutenzione: Impianti con quantità di riempimento > 3 kg Controllo della tenuta stagna: Impianti con quantità di riempimento > 3 kg
		Miscela (Blends)	R-502	0,334	4657	A1	
	HCFC (Clorofluorocarburi parzialmente alogenati)	Prodotti refrigeranti a una sostanza	R-22	0,055	1810	A1	
		Miscela (Blends) contenenti prevalentem ente R-22	R-401A (MP39)	0,037	1182	A1	
			R-402A (HP80)	0,021	2788	A1	
			R-402B (HP81)	0,033	2416	A1	
			R-408A (FX-10)	0,021	3152	A1	
	R-409A (FX-56)	0,048	1585	A1			
	HCFO (fluorocloroolefine parzialmente alogenate)	Prodotti refrigeranti a una sostanza	R-1233zd(E)	<0,0004	3,7	A1	Immissione sul mercato: Divieto con deroga se secondo lo stato della tecnica non vi è un sostituto e sono adottate misure per la prevenzione di emissioni di prodotti refrigeranti. Ricarica: ammessa Obbligo di notifica e registro di manutenzione: Impianti con quantità di riempimento > 3 kg Controllo della tenuta stagna: Impianti con quantità di riempimento > 3 kg
			R-1233zd(Z)	<0,0004	0,4	A1	
			R-1224yd(Z)	0,00023	0,8	A1	



NOMENCLATURA

GAS Refrigeranti

Prodotti refrigeranti Categoria			Prodotti refrigeranti (esempi)	ODP ¹	GWP ²	Gruppo di sicurez za ³	Disposizioni dell'ORRPChim per impianti che utilizzano prodotti refrigeranti
Prodotti refrigeranti stabili nell'aria	HFC/PFC (clorofluorocarburi parzialmente o completamente alogenati)	Prodotti refrigeranti una sostanza	R-23	0	14 800	A1	<i>Immissione sul mercato:</i> ammessa con limitazioni dipendentemente dalla capacità frigorigena, il potenziale di effetto serra e il circuito secondario. Deroga: i requisiti di sicurezza, tenuto conto dello stato della tecnica, non possono essere rispettati senza l'uso di refrigeranti stabili nell'aria. <i>Ricarica di impianti, se il GWP del prodotto refrigerante è ≥ 2500:</i> solo prodotti refrigeranti rigenerati. Dal 1° gennaio 2030 ricarica vietata. <i>Obbligo di notifica e registro di manutenzione:</i> Impianti con quantità di riempimento > 3 kg <i>Controllo della tenuta stagna:</i> Impianti con quantità di riempimento > 3 kg o > 5 tonnellate di CO₂ equivalenti <i>Sistema di rilevazione delle perdite:</i> impianti con capacità ≥ 500 tonnellate di CO₂ equivalente.
			R-32	0	675	A2L	
			R-125	0	3500	A1	
			R-134a	0	1430	A1	
			R-143a	0	4470	A2L	
		Miscele (Blends)	R-404A	0	3922	A1	
			R-407C	0	1774	A1	
			R-407F	0	1825	A1	
			R-410A	0	2088	A1	
			R-413A	0	2053	A2	
			R-417A	0	2346	A1	
			R-422A	0	3143	A1	
			R-422D	0	2729	A1	
			R-437A	0	1805	A1	
			R-507A	0	3985	A1	
			R-508A	0	13 214	A1	
			R-508B	0	13 396	A1	
		Miscele con HFO (Blends)	R-448A	0	1386	A1	
			R-449A	0	1396	A1	
			R-450A	0	601	A1	
			R-452A	0	2140	A1	
			R-454C	0	146	A2L	
			R-455A	0	146	A2L	
			R-513A	0	630	A1	
			R-515B	0	287	A1	



NOMENCLATURA

GAS Refrigeranti

Prodotti refrigeranti Categoria			Prodotti refrigeranti (esempi)	ODP ¹	GWP ²	Gruppo di sicurez za ³	Disposizioni dell'ORRPChim per impianti che utilizzano prodotti refrigeranti
Prodotti refrigeranti che non impoveriscono lo strato di ozono e non stabili nell'aria	Prodotti refrigeranti naturali	Prodotti refrigeranti a una sostanza	R-170 (etano)	–	6	A3	<i>Immissione sul mercato:</i> ammessa <i>Ricarica:</i> ammessa <i>Obbligo di notifica e registro di manutenzione:</i> Impianti con quantità di riempimento > 3 kg <i>Controllo della tenuta stagna:</i> nessuna disposizione
			R-290 (propano)	0	3	A3	
			R-717 (NH ₃)	–	0	B2L	
			R-718 (H ₂ O)	–	0	A1	
			R-744 (CO ₂)	0	1	A1	
			R-600 (butano)	0	4	A3	
			R-600a (isobutano)	0	3	A3	
			R-1270 (propene)	0	2	A3	
		Miscele	R-290/R-600a	0	3	A3	
			R-290/R-170	0	3	A3	
	R-723 (DME/NH ₃)		0	8	– ⁴		
	HFO (fluoroolefine parzialmente alogenate)		R-1234yf	0	<1	A2L	
			R-1234ze	0	<1	A2L	
			R-1336mzz(Z)	0	2	A1	

1 Potenziale di impoverimento dell'ozono (ODP)

2 Potenziale di effetto serra (GWP)



NOMENCLATURA

F-GAS Regolamento sui gas Fluorati ad effetto Serra

Il Regolamento F-GAS un regolamento europeo che ha come obiettivo la riduzione delle emissioni dei gas ad effetto serra, riducendole del 79% entro il 2030. Prevede l'obbligo per i committenti di far eseguire da persone o aziende certificate l'installazione, smaltimento, nonché controlli periodici di verifica delle perdite di gas refrigerante delle proprie apparecchiature fisse di climatizzazione estiva o delle pompe di calore. Tutti gli anelli della catena devono essere opportunamente informati e formati. Da qui deriva l'obbligo di tracciamento del refrigerante e di certificazione delle persone che installano climatizzatori e pompe di calore. Le imprese installatrici hanno l'obbligo di iscrizione al Registro telematico nazionale delle persone e delle imprese certificate, con certificazione rilasciata da un organismo di certificazione autorizzato dal Ministero dell'Ambiente.

NOMENCLATURA

F-GAS

Gas Fluorurati ad effetto serra

Registro Nazionale

ver. 2.0.6759
FGAS02

Home

Scrivanie Telematiche

- Persone ed Imprese
- Organismi

Registro

- Consultazione**

CCIAA e Versamenti

Informazioni utili ▼

Help

- Verifica Compatibilità
- Informazioni Versione

Area Riservata Enti

Accesso

Accedi alla Banca Dati FGAS

Guida video

- ▶ [Iscrizione Imprese](#)
- ▶ [Iscrizione Persone](#)

Segui @RegistroFgas

[Home](#) » [Registro](#) » [Consultazione](#) » [Ricerca Persone](#)

Ricerca Persone

Persone

Filtri

Nazione	[Tutte] ▼	NB: la ricerca per nazione/regione/provincia avviene sui campi relativi a domicilio, residenza e territorio di competenza del soggetto
Regione	[Tutte] ▼	Provincia [Tutte] ▼
Codice Fiscale		
Cognome	☒ contiene ☐ inizia per	
Attività *	[Selezionare] ▼	
Profilo *	[Selezionare] ▼	
Visualizza Pulsici * campi obbligatori		



NOMENCLATURA

F-GAS

Quando è obbligatoria la verifica delle perdite di refrigerante

Nel Manuale di Manutenzione il Progettista deve redigere tutti gli adempimenti manutentivi dell'impianto, quelli previsti per legge e quelli indicati dal Fabbricante. Le soglie minime di carica di refrigerante PER SINGOLO CIRCUITO oltre le quali scattano le prescrizioni del Regolamento (tenuta del registro dell'apparecchiatura e controllo delle perdite) vengono espresse in Tonnellate equivalenti di anidride carbonica (TonCO₂eq): quantità di gas a effetto serra espressa come il prodotto del peso dei gas a effetto serra e del loro potenziale di riscaldamento globale (GWP).



NOMENCLATURA

F-GAS

Nel caso in cui in un impianto si superino le 5tonCO₂eq per singolo circuito frigorifero (pari a circa 2,4kg di refrigerante R407 e 7,4 kg di R32), le verifiche devono per legge essere eseguite una volta all'anno. Questo significa che il committente ha l'obbligo di chiamare una volta all'anno un'azienda certificata per verificare che il circuito non abbia avuto perdite.

R32 → $7,4 \times 675 = 4995 \text{kgCO}_2\text{eq} \sim 5 \text{tonCO}_2\text{eq}$

R407 → $2,4 \times 2088 = 5011 \text{kgCO}_2\text{eq} \sim 5 \text{tonCO}_2\text{eq}$



NOMENCLATURA

VRF → Variable Refrigerant Flow

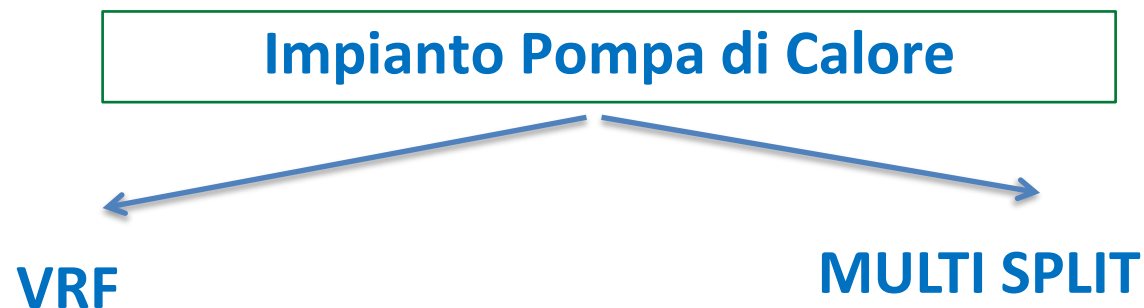
VRV → Variable Refrigerant Volume
(Brand Daikin)

COP-Invernale (Coefficient of Performance)

SCOP-Invernale (Seasonal Coefficient of Performance)

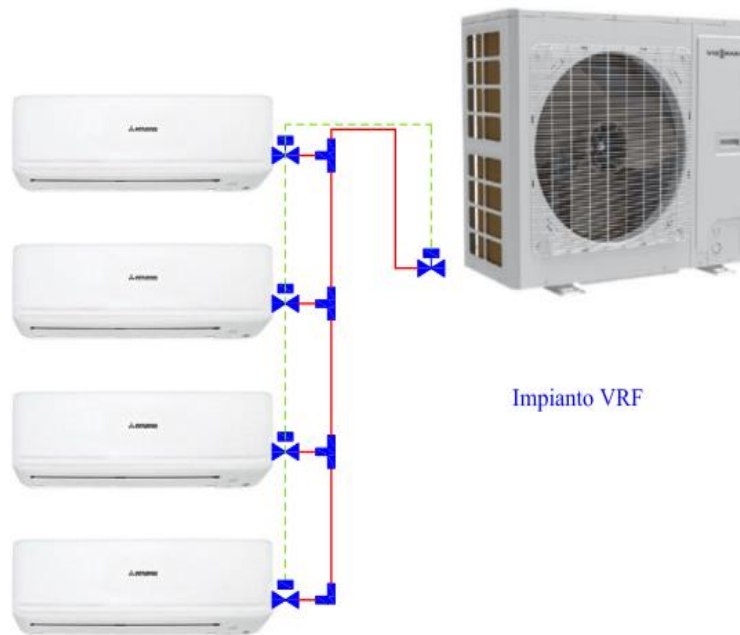
SEER-Estivo (Seasonal Energy Efficiency Ratio)

EER-Estivo (Energy Efficiency Ratio)





Produzione dell'Energia

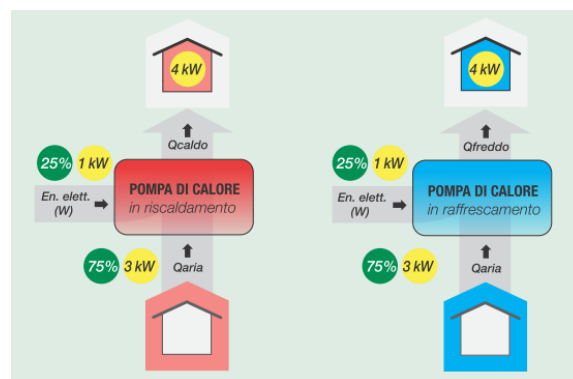
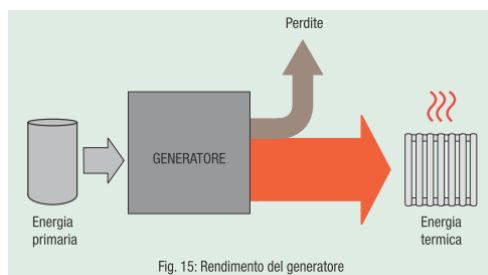


Impianto VRF



Impianto MULTI-SPLIT

Produzione dell'Energia



$$\eta = Q_A / G_{Nmc} 8600$$

COP

EER

COP → Coefficient of Performance

SCOP → Seasonal Coefficient of Performance

EER → Energy Efficiency Ratio

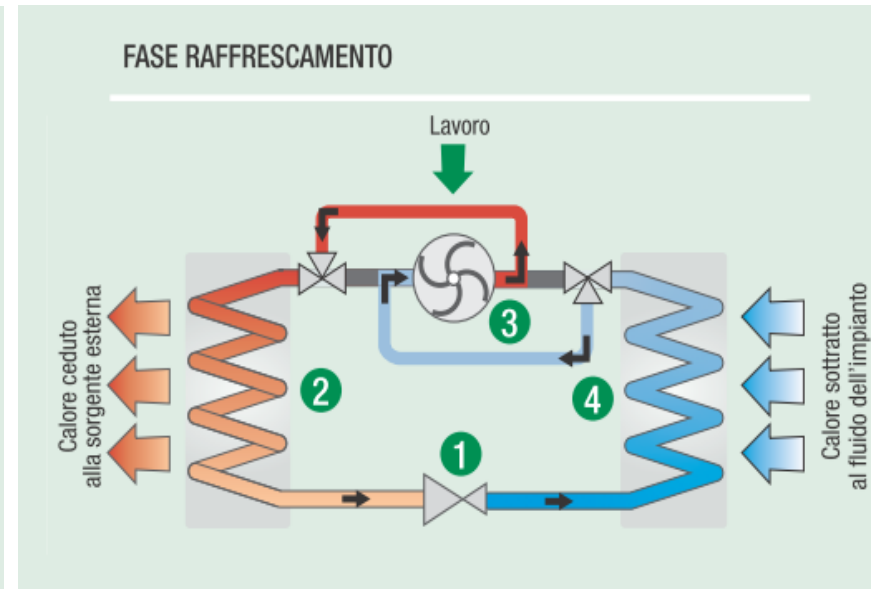
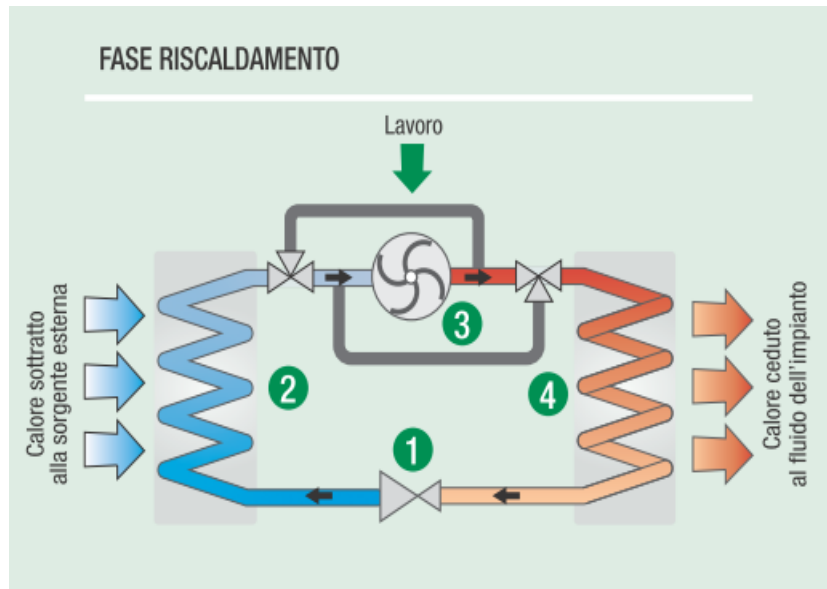
Resa PdC = Effetto utile / Lavoro compressore

COP = Effetto utile (Q_a) / Lavoro compressore (L_c)

EER = Effetto Utile (Q_e) / Lavoro compressore (L_c)



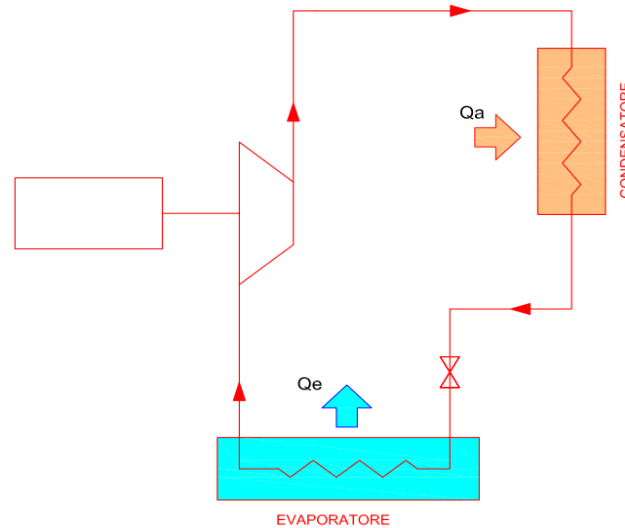
Produzione dell'Energia



CICLO REVERSIBILE



Schema Funzionale Pdc



$$\text{COP} = Q_a / N_{c_{kw}} \cdot 860$$

$$Q_a = \text{Kcal}$$

$$N_c = \text{kW}$$

$$Q_a = Q_e + N_{c_{kw}} \cdot 860$$

$$\text{kWh} = 860 \text{ Kcal}$$

- a) Se la potenza assorbita dal compressore venisse utilizzata per riscaldamento con effetto JOULE, in 1 ora si otterrebbero $\rightarrow a = N_c \cdot 860 \text{ Kcal}$
- b) L'impiego di una PdC con stessa potenza in 1 ora sarebbe in grado di produrre
 $\rightarrow b = \text{COP} \cdot N_c \cdot 860 \text{ kCal}$

$$b = 3 \div 4 a$$



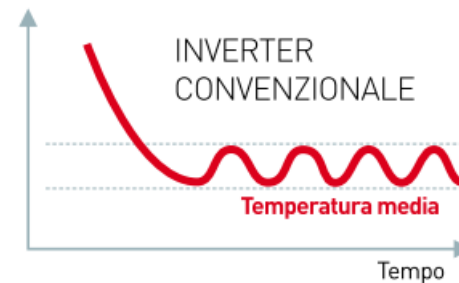
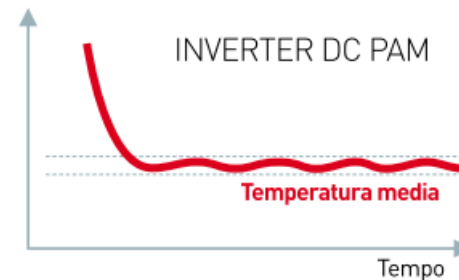
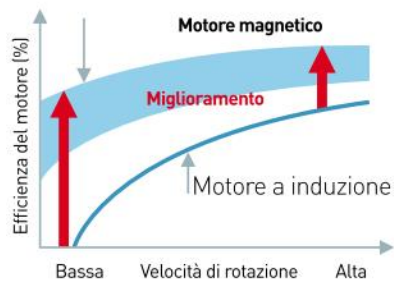
Produzione dell'Energia

I sistemi MULTISPLIT e VRF sono entrambi utilizzati per climatizzare spazi residenziali, civili e commerciali, ma differiscono in operatività configurazione e principio di funzionamento, in ogni caso per entrambi oggi si ha la regolazione inverter del compressore:

COMPRESSORE DC TWIN ROTARY

Il compressore, di recente sviluppo, ha performance di alto livello sia a basse velocità che ad alte.

Oltre a basse vibrazioni, basse emissioni sonore e alta efficienza si sono ottenute ottimizzando le dimensioni delle parti meccaniche e applicando il motore in neodimio.



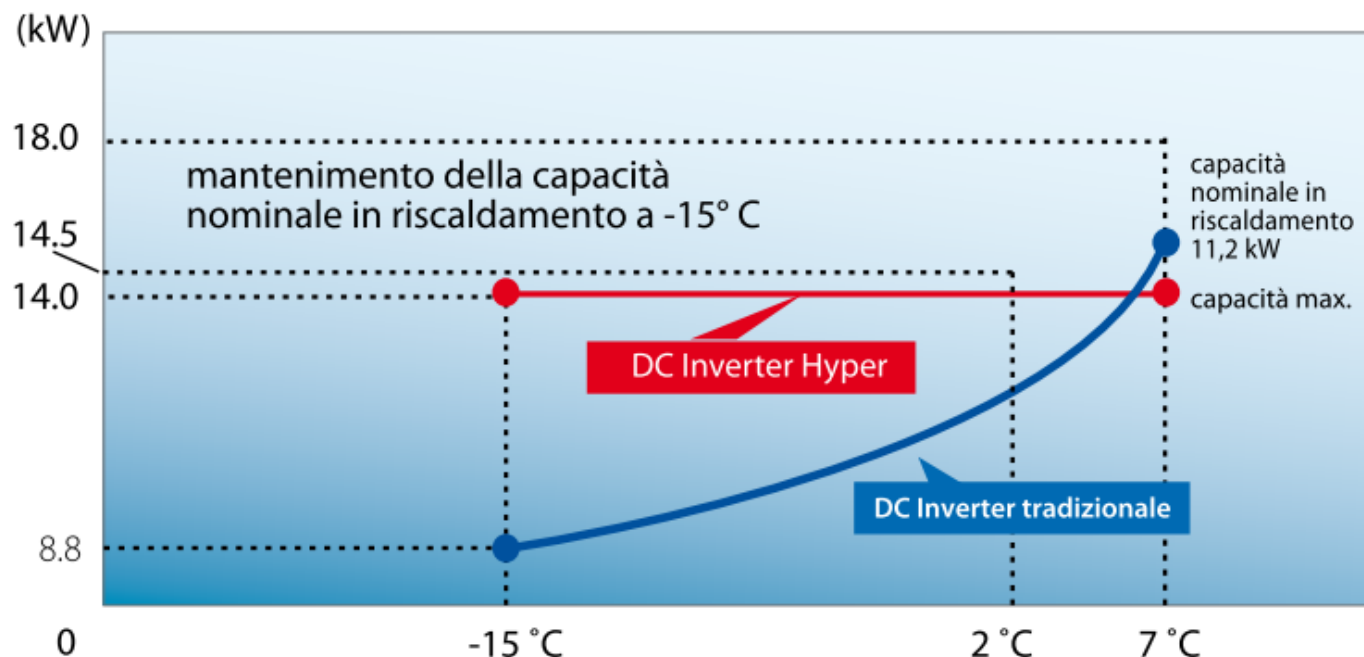
Rispetto all'Inverter convenzionale, il DC PAM ottimizza il controllo della temperatura, rendendola più stabile nel tempo.



Produzione dell'Energia

Le prestazioni tra i due sistemi cambiano quando si è in presenza di variazioni importanti della temperatura esterna:

Capacità in riscaldamento nominale mantenuta costante fino a -15°C .





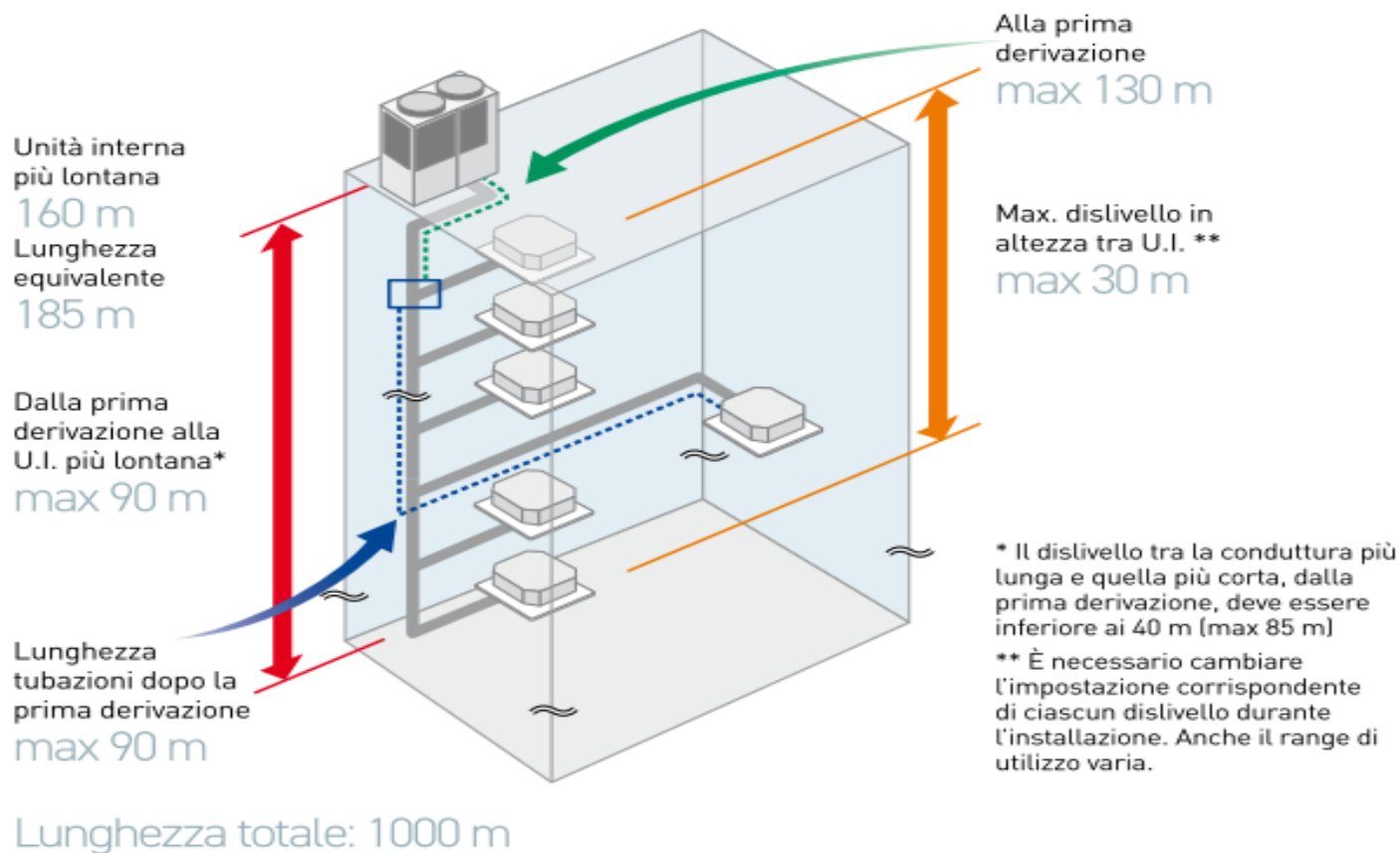
Produzione dell'Energia

Il refrigerante viene modulato attraverso un compressore inverter, che regola continuamente e in modo automatico la quantità di refrigerante in circolazione, in base al carico termico richiesto da ciascuna unità interna. Questo consente di ottenere un'elevata efficienza e un controllo preciso della temperatura, indirizzando più refrigerante nelle unità che registrano la maggior differenza tra temperatura rilevata e temperatura desiderata. **Il multisplit rispetto al VRF è più semplice da usare, non richiede F-GAS ogni anno**. Ma la differenza sostanziale sta nel “flusso refrigerante variabile” dei sistemi VRF, caratteristica che consente a ciascuna unità interna dell'impianto la possibilità di regolare il flusso di gas che la attraversa in modo indipendente, **in funzione delle necessità del singolo ambiente**.



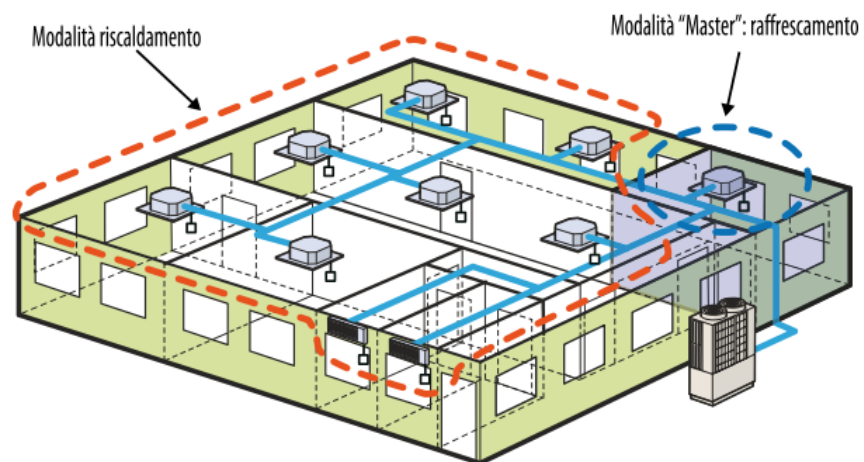
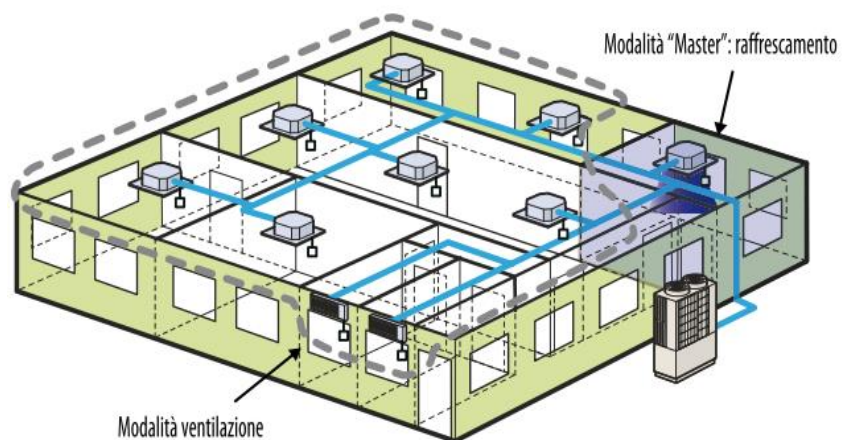
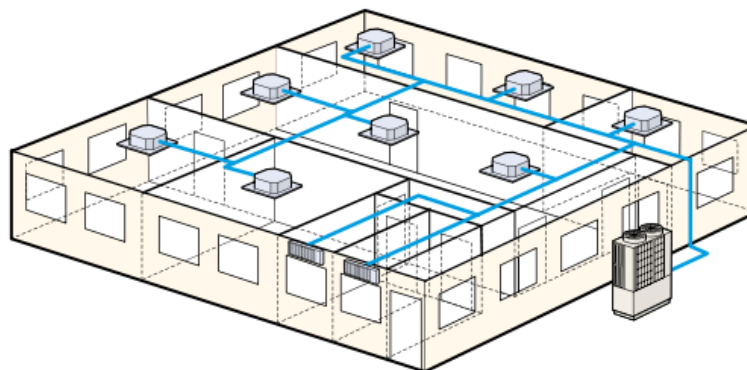
Produzione dell'Energia

Il dislivello massimo tra unità interne è stato aumentato fino a un massimo di 30 metri, e il dislivello tra l'unità esterna e quella interna è stata aumentata fino a un massimo di 90 metri.





Recupero del Calore





Recupero del Calore

I sistemi VRF a recupero di calore permettono di operare contemporaneamente in riscaldamento e raffrescamento in diverse aree dello stesso edificio. Questa funzionalità viene gestita attraverso un impianto del tipo a tre tubi e collettore di distribuzione. Così è possibile indirizzare il flusso di refrigerante caldo o freddo verso le unità interne secondo le necessità specifiche di ciascun ambiente. Nel recupero di calore, il calore sottratto da un'area in raffrescamento può essere ridistribuito verso un'area che necessita di riscaldamento, ottimizzando ulteriormente il consumo energetico. In tal modo, l'energia termica non viene dispersa, ma riutilizzata per rispondere alla domanda termica totale dell'edificio.



Recupero del Calore

A. Struttura del sistema

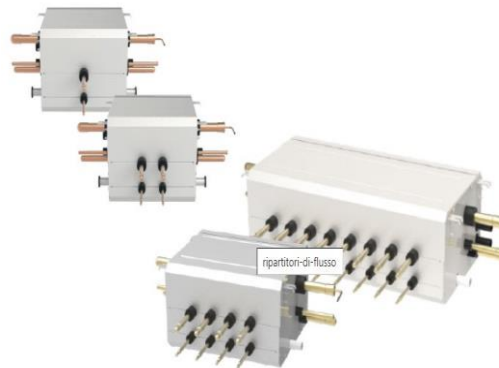
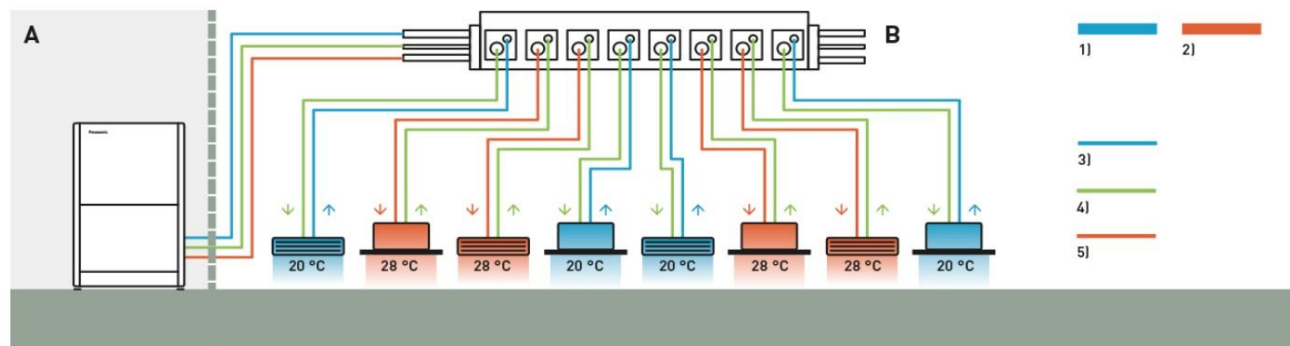
B. Kit valvola solenoide

Modalità raffreddamento

Modalità riscaldamento

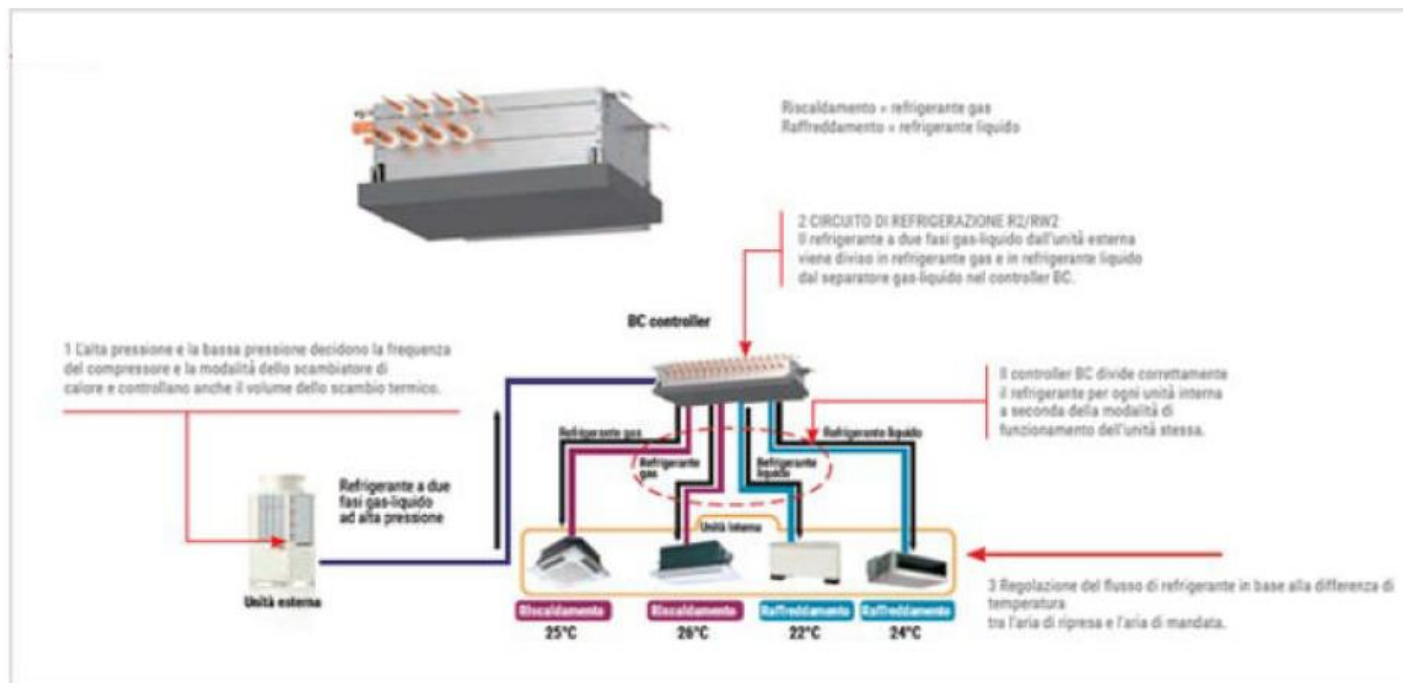
- 1.
- 2.
- 3.
- 4.
- 5.

Tubo aspirazione (bassa temperatura, bassa pressione tubo lato gas).
Tubo lato liquido (temperatura media, pressione tubo lato liquido media).
Tubo scarico (alta temperatura, alta pressione tubo lato gas).





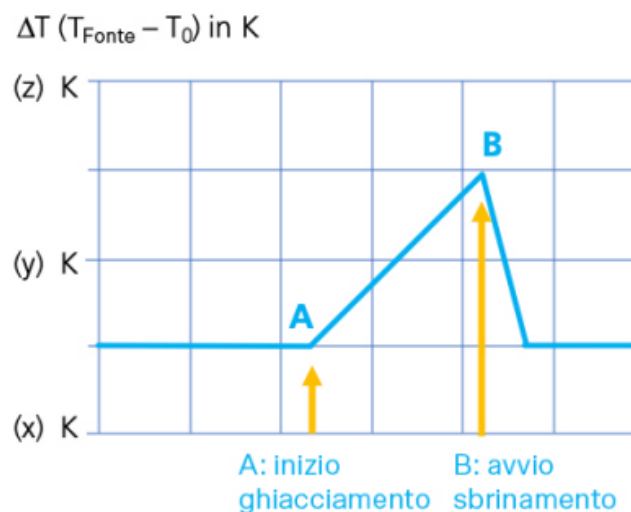
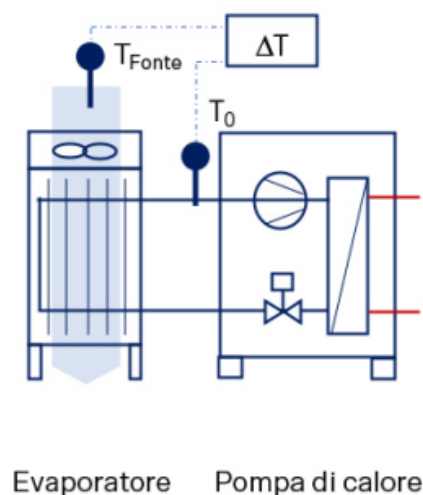
Recupero del Calore





Sbrinamento

SCOP (Seasonal Coefficient Of Performance) è il COP medio annuale influenzato anche dai cicli di sbrinamento. Quando una PdC deve sbrinare l'unità esterna, il COP è nullo o addirittura negativo. Un evaporatore ghiacciato compromette notevolmente la trasmissione di calore peggiorando di conseguenza il coefficiente di prestazione della pompa di calore. Tuttavia se si effettua lo sbrinamento troppo spesso, il consumo energetico per lo sbrinamento (defrosting) aumenta e il coefficiente di prestazione della pompa diminuisce. Per questo è importante trovare l'equilibrio ideale tra «ghiaccio» e «sbrinamento» con l'impostazione corretta.





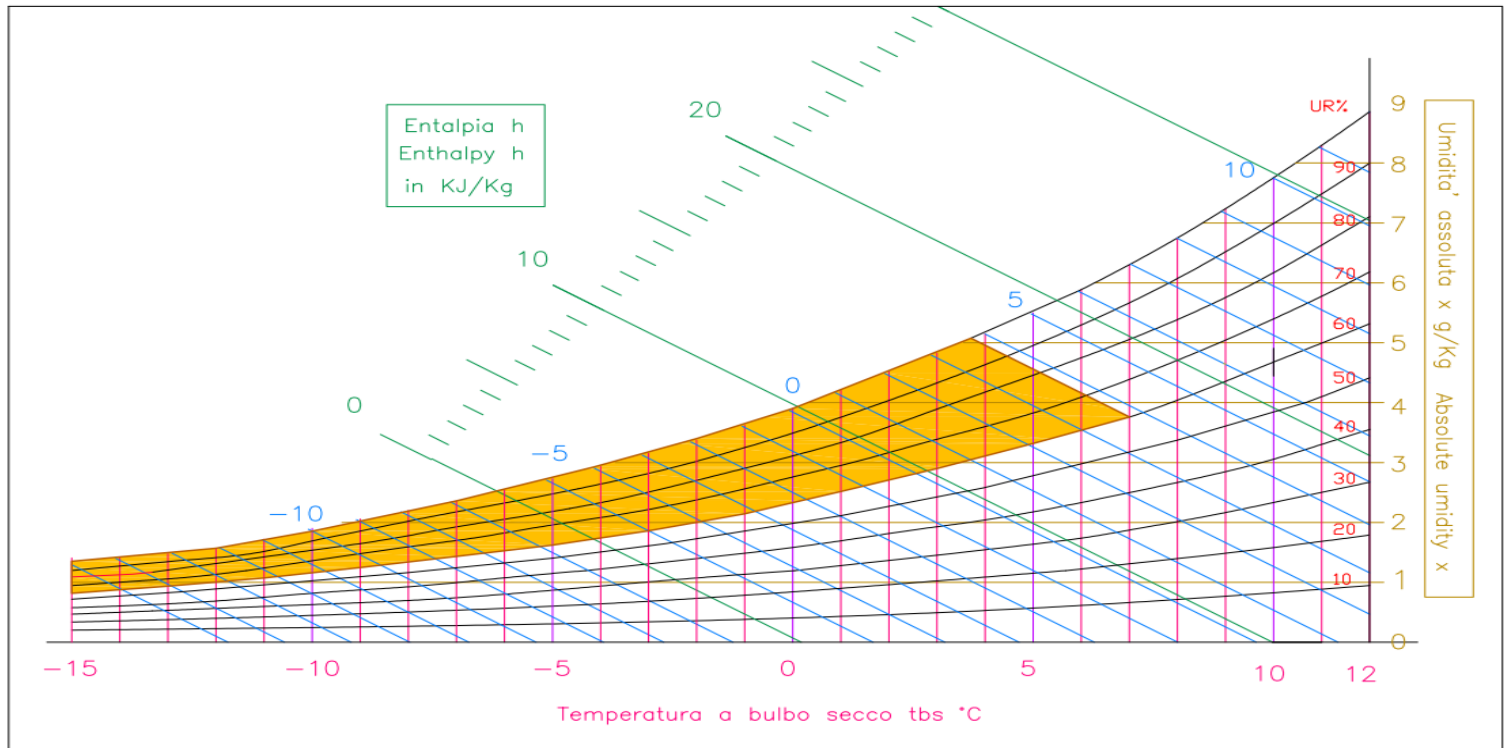
Sbrinamento

Ogni **ciclo di sbrinamento**, a parità di energia elettrica assorbita, comporta una perdita di resa di circa il 10% con conseguente aumento del consumo elettrico del 20 ÷ 30% rispetto ai valori dichiarati dal catalogo del costruttore, ma anche la **diminuzione del COP della pompa di calore**. La minor resa è causata dal ghiaccio che ostacola lo **scambio termico** della **batteria alettata** e dalla **diminuzione della portata d'aria**, facendo assorbire più energia elettrica alla pompa di calore per mantenere l'utenza alla temperatura impostata.





Sbrinamento



Nel funzionamento INVERNALE, ed in determinate condizioni termo-igrometriche, sulle tubazioni e sulla batteria dell'unità esterna c'è la possibilità di formazione di brina. Si verifica la formazione di brina già nelle condizioni di temperatura di 7°C, UR 50-60%, umidità specifica 3-4 g/kg. Pertanto anche in condizioni lontane dallo zero termico, in particolari condizioni di umidità relativa e specifica, il pericolo di formazione di brina è presente.



Sbrinamento

A: sbrinamento con inversione del processo

(80% degli impianti)

Si inverte il ciclo del refrigerante. L'evaporatore diventa un condensatore e il calore scioglie il ghiaccio. Durante questo tempo il riscaldamento non può funzionare

B: sbrinamento a gas caldo con bypass:

Immediatamente dopo il compressore, il gas caldo è condotto all'evaporatore e lo sbrina. Durante questo tempo il riscaldamento non può funzionare (riduzione della potenza).

C: sbrinamento naturale (fino a 5 °C)

Lo sbrinamento naturale funziona fino a una temperatura esterna di 5 °C. A tale scopo la pompa di calore viene spenta e i ventilatori continuano a funzionare. L'aria ambientale «calda» scioglie il ghiaccio.

D: sbrinamento elettrico

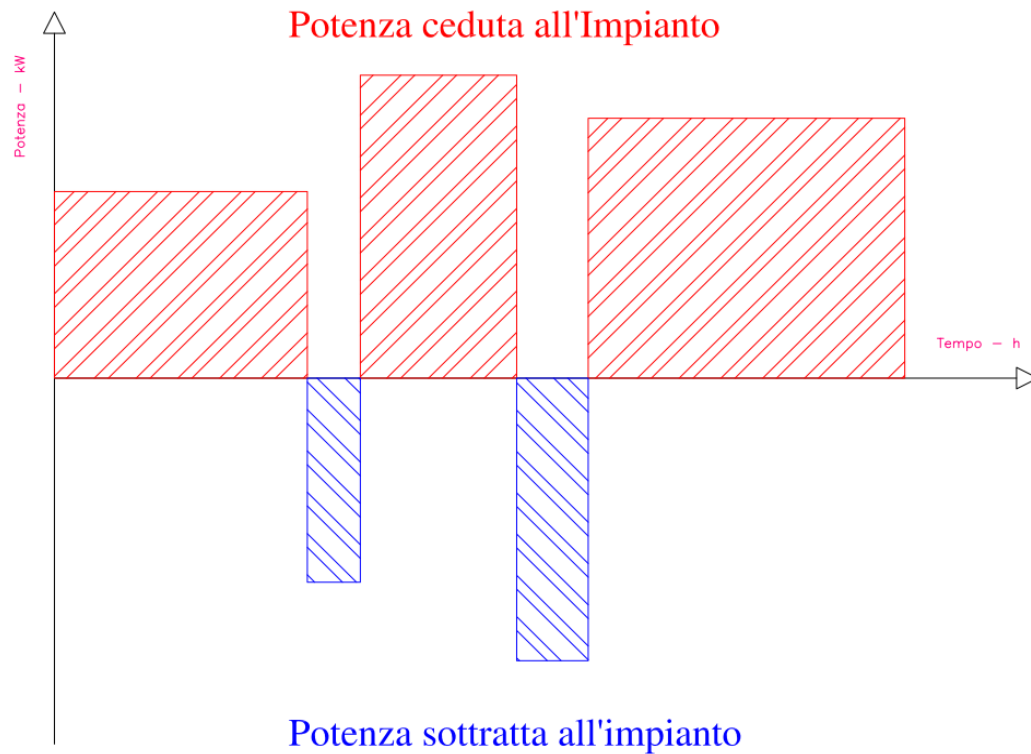
L'evaporatore è sbrinato con un elemento elettrico. Semplice, ma non efficiente a livello energetico.

Il processo di sbrinamento avviene quando:

- 1 – la temperatura dell'aria esterna va dai 5°C ai -15°C in quanto in questo range possiede una significativa quantità di umidità relativa UR;
- 2 – l'umidità dell'aria esterna viene considerata con valori di UR che vanno dal 65% al 100%.



Sbrinamento



Indipendentemente dal metodo di sbrinamento adottato, tale ciclo sottrae energia all'impianto. I metodi adottati sono diversi per Impianti medio piccoli e più grandi:

Medio piccoli: spegnimento del compressore e/o ventilatore → evaporatore si riscalda

Grandi: accumulo di calore in sotto raffreddamento da fornire per lo sbrinamento

In entrambe i casi si ha una riduzione di potenza per i locali sottoposti al ciclo di riscaldamento,



Sbrinamento

TDB °C	-7	-5	-3	0	3	5	7
TWB °C	-7,6	-5,6	-3,7	-0,7	2,2	4,1	6
Coeff.	0,83	0,85	0,88	0,9	0,95	1	1

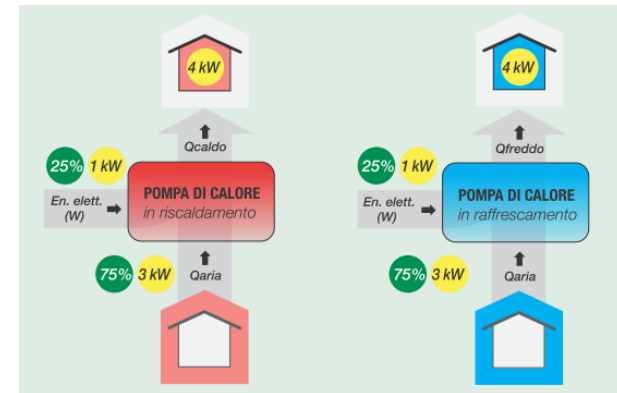
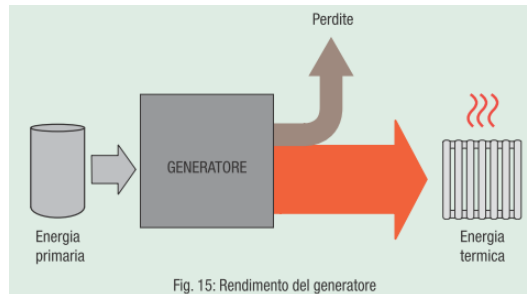
Correzione da applicare per i cicli di sbrinamento: i fabbricanti forniscono tabelle per i coefficienti da applicare alla potenza resa, non quella primaria assorbita, che rimane costante

CIRCUITO IDRONICO: l'energia per sbrinare viene prelevata direttamente dall'acqua contenuta nel circuito, che si raffredda leggermente ma rimane a temperatura maggiore di quella ambiente, nei locali lo sbrinamento quasi non si avverte, il fan-coil funziona anche a potenza ridotta

CIRCUITO VRF: l'energia per sbrinare viene prelevata direttamente dalle unità interne, il ciclo si inverte pertanto i locali non verrebbero più riscaldati ma raffreddati. Questo limite è stato però ovviato da dispositivi ed equipaggiamenti messi a punto dai costruttori. In ogni caso lo sbrinamento è più penalizzante per il VRF rispetto all'IDRONICO



Produzione dell'Energia Impianto VRF



Potenza Generatore $\sim$ Fabbisogno Termico

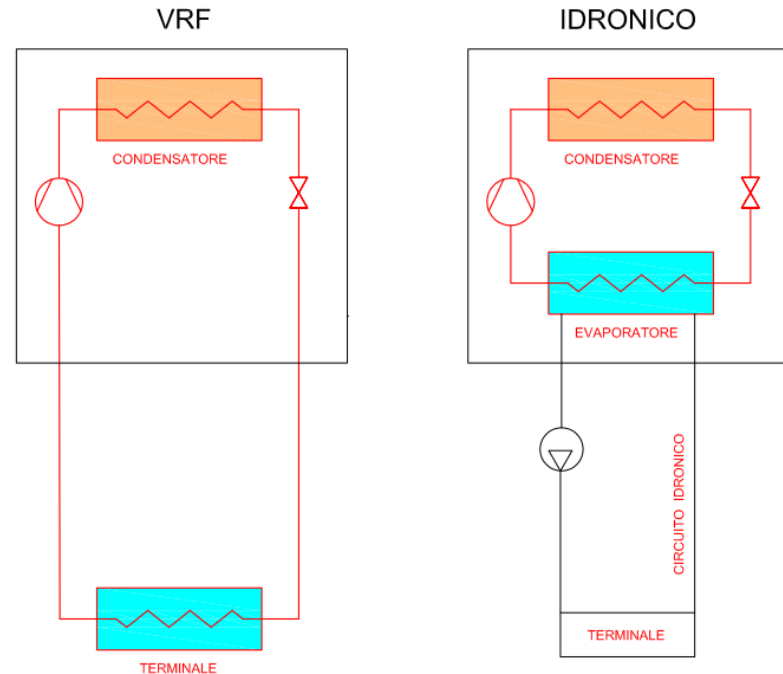
$P_{cald} \sim$ Dispersioni Edificio

Potenza Generatore $>$ Fabbisogno Termico

$P_{pdc} >$ Dispersioni Edificio



Produzione dell'Energia Impianto VRF



Sistemi Idronici circuito compatto - VRF circuito esteso:
VRF → aumento perdite di carico del circuito
→ aumento del contenuto di refrigerante



Potenza del Compressore

Coefficienti di Correzione

Come precedentemente anticipato, la potenza del compressore delle unità esterne, oltre ad abbattere i carichi estivi o fornire energia termica invernale, dovrà cedere una percentuale di potenza, calcolata come correzioni rispetto alla nominale, per le seguenti funzioni, con valori indicativi a titolo di esempio. Ogni fabbricante deve fornire tali parametri nei manuali operativi delle PdC:

Raffreddamento ESTIVO:

- 1) -correzione per temperatura esterna/interna → 0,96
- 2) -correzione per lunghezza tubazioni → 0,89
- 3) -correzione per dislivelli → 0,99

Riscaldamento INVERN. :

- 1) - correzione per temperatura esterna/interna → 0,96
- 2) - correzione per lunghezza tubazioni → 0,93
- 3) - correzione per dislivelli → 0,99
- 4) - correzione per sbrinamento → 0,88

Pertanto ad es. una Unità Esterna da **60 kW** avrà le seguenti capacità operative per i locali:

ESTIVO → $60 * 0,96 * 0,89 * 0,99 = 50,75$ kW → - 15,41%

INVERNALE → $60 * 0,96 * 0,93 * 0,99 * 0,88 = 46,66$ kW → - 22,23%

Potenza del Compressore - Coefficienti di Correzione



Unità esterne

FDC 100~140 VNA

8. SELECTION CHART

Correct the cooling and heating capacity in accordance with the operating conditions. The net cooling and heating capacity can be obtained in the following way.

Net capacity = Capacity shown in the capacity tables (8.1) x Correction factors shown in the table (8.2) (8.3) (8.4).

(2) Capacities are based on the following conditions.

Corresponding refrigerant piping length :7.5m

Level difference of Zero.

(3) Symbols are as follows

TC :Total cooling capacity (kW)

SHC :Sensible heat capacity (kW)

8.1 Capacity tables

Model FDF100VNXVD

Indoor unit FDF100VD

Outdoor unit FDC100VNX

Cool Mode

(kW) Heat Mode

(kW)

Outdoor air temp.	Indoor air temperature															
	18°CDB		21°CDB		23°CDB		26°CDB		27°CDB		28°CDB		31°CDB		33°CDB	
	12°CWB	14°CWB	16°CWB	18°CWB	19°CWB	20°CWB	22°CWB	24°CWB	TC	SHC	TC	SHC	TC	SHC	TC	SHC
11					8.33	7.11	8.84	7.70	9.10	7.65	9.38	7.60	9.94	8.05	10.50	7.92
13					8.63	7.24	9.17	7.83	9.43	7.77	9.73	7.73	10.32	8.17	10.92	8.04
15					8.93	7.36	9.49	7.96	9.77	7.90	10.09	7.86	10.71	8.30	11.34	8.17
17					9.23	7.49	9.82	8.09	10.11	8.03	10.44	7.98	11.10	8.43	11.75	8.29
19					9.44	7.58	10.04	8.17	10.34	8.12	10.68	8.07	11.35	8.52	12.01	8.37
21					9.64	7.67	10.26	8.26	10.57	8.21	10.91	8.16	11.59	8.60	12.28	8.46
23					9.64	7.67	10.28	8.27	10.59	8.21	10.94	8.17	11.63	8.61	12.32	8.47
25			8.95	7.80	9.64	7.67	10.30	8.28	10.62	8.23	10.97	8.18	11.66	8.62	12.36	8.48
27			8.91	7.78	9.64	7.67	10.33	8.29	10.64	8.23	10.96	8.17	11.59	8.60		
29			8.84	7.75	9.51	7.61	10.16	8.22	10.48	8.17	10.80	8.12	11.45	8.55		
31			8.76	7.71	9.37	7.55	10.00	8.16	10.32	8.11	10.65	8.06	11.30	8.50		
33	8.21	7.18	8.58	7.63	9.23	7.49	9.83	8.09	10.16	8.05	10.49	8.00	11.15	8.45		
35	7.77	6.97	8.31	7.51	9.09	7.43	9.66	8.02	10.00	7.99	10.34	7.95	11.01	8.40		
37	7.68	6.92	8.18	7.45	8.92	7.36	9.49	7.96	9.81	7.92	10.13	7.87	10.77	8.32		
39	7.58	6.87	8.04	7.39	8.76	7.29	9.31	7.89	9.62	7.85	9.93	7.80	10.54	8.25		
41	7.49	6.83	7.91	7.33	8.59	7.22	9.14	7.82	9.43	7.77	9.73	7.73	10.31	8.17		
43	7.40	6.79	7.78	7.27	8.42	7.15	8.96	7.75	9.24	7.70	9.52	7.65	10.08	8.09		

Outdoor air temp.	Indoor air temperature					
	°CDB		°CWB		°CDB	
	16	18	20	22	24	
-19.8	-20	7.30	7.24	7.18	7.12	7.06
-17.7	-18	7.74	7.68	7.62	7.55	7.49
-15.7	-16	8.18	8.12	8.05	7.99	7.92
-13.5	-14	8.54	8.47	8.40	8.33	8.27
-11.5	-12	8.89	8.82	8.75	8.68	8.61
-9.5	-10	9.25	9.17	9.10	9.03	8.95
-7.5	-8	9.60	9.53	9.45	9.38	9.30
-5.5	-6	10.00	9.92	9.84	9.76	9.68
-3.0	-4	10.39	10.31	10.23	10.14	10.06
-1.0	-2	10.79	10.70	10.62	10.53	10.44
1.0	0	11.18	11.09	11.01	10.91	10.82
2.0	1	11.38	11.29	11.20	11.10	11.01
3.0	2	11.38	11.29	11.20	11.10	11.01
5.0	4	11.38	11.29	11.20	11.11	11.01
7.0	6	11.37	11.29	11.20	11.11	11.01
9.0	8	11.85	11.76	11.67	11.58	11.48
11.5	10	12.32	12.23	12.15	12.05	11.95
13.5	12	12.97	12.88	12.78	12.68	12.72
15.5	14	13.62	13.52	13.41	13.32	13.49
16.5	16	13.95	13.84	13.72	13.63	13.87

Potenza del Compressore - Coefficienti di Correzione

8.2 Correction of cooling and heating capacity in relation to air flow rate control (fan speed)

Fan speed	P-Hi or Hi	Me	Lo
Coefficient	1.00	0.97	0.95

8.3 Correction of cooling and heating capacity in relation to one way length of refrigerant piping

It is necessary to correct the cooling and heating capacity in relation to the one way equivalent piping length between the indoor and outdoor units.

(1) Models 71 ~ 140

Equivalent piping length ⁽¹⁾ (m)			7.5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
Heating			1	1	1	1	1	0.998	0.998	0.993	0.993	0.988	0.988
Cooling	71 model	φ 15.88	1	0.996	0.989	0.982	0.975	0.968	0.961	0.954	0.947	0.940	0.933
	100 model		1	0.991	0.978	0.964	0.951	0.937	0.924	0.910	0.897	0.883	0.870
	125 model		1	0.986	0.968	0.950	0.932	0.914	0.896	0.878	0.860	0.842	0.824
	140 model		1	0.985	0.966	0.946	0.927	0.907	0.888	0.868	0.849	0.829	0.810
	71 model	φ 19.05	1.008	1.006	1.003	1	0.997	0.994	0.991	0.988	0.985	0.982	0.979
	100 model		1.016	1.013	1.007	1.002	0.996	0.991	0.985	0.980	0.974	0.969	0.963
	125 model		1.022	1.018	1.009	1.001	0.992	0.984	0.975	0.967	0.958	0.950	0.941
	140 model		1.026	1.021	1.011	1.002	0.992	0.983	0.973	0.964	0.954	0.945	0.935

8.4 Height difference between the indoor unit and outdoor unit

When the outdoor unit is located below indoor units in cooling mode, or when the outdoor unit is located above indoor units in heating mode, the correction coefficient mentioned in the below table should be subtracted from the value in the above table.

Height difference between the indoor unit and outdoor unit in the vertical height difference	5m	10m	15m	20m	25m	30m
Adjustment coefficient	0.99	0.98	0.97	0.96	0.95	0.94

How to obtain the cooling and heating capacity

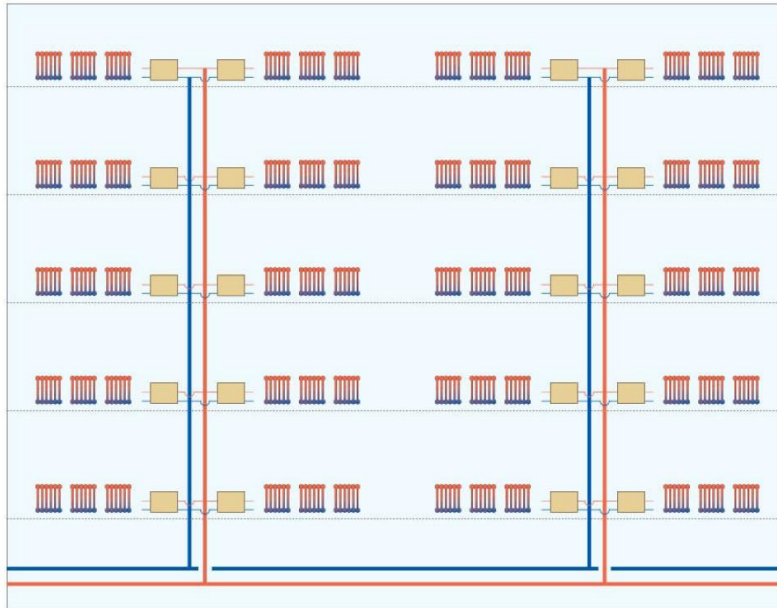
Example : The net cooling capacity of the model FDF100VNVD with the air flow "High", the piping length of 15m, the outdoor unit located 5m lower than the indoor unit, indoor wet-bulb temperature at 19.0°C and outdoor dry-bulb temperature 35°C is

$$\text{Net cooling capacity} = 10.0 \times 1.00 \times 0.978 \times 0.99 \approx 9.7\text{kW}$$

Net cooling total capacity of FDF100VNVD (Outdoor temp. : 35°CDB Indoor temp. : 19°CWB) shown in table 8.1
 Air flow : High shown in table 8.2
 Piping length : 15m (Gas pipe size is φ15.88) shown in table 8.3
 Height diff. : 5m (Outdoor unit : below) shown in table 8.4



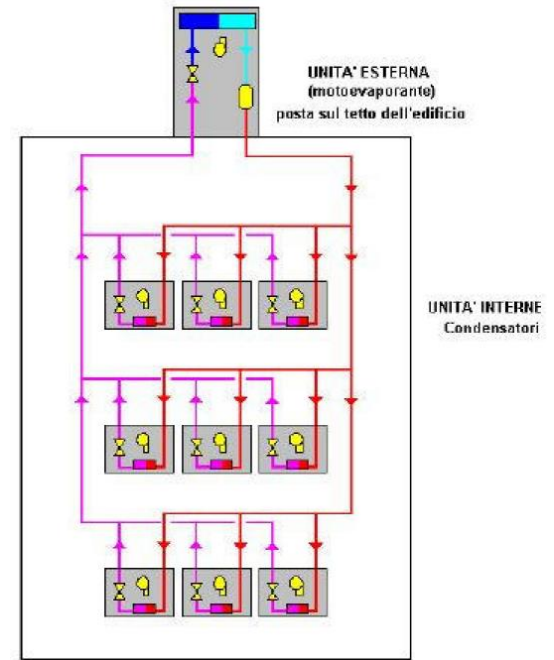
Prestazioni di Rete



Prestazioni del Generatore:

- Indipendente dal Circuito Idraulico
- Scelta libera x portata e prevalenza delle pompe
- Scelta libera x diametro e lunghezza dei circuiti

FUNZIONAMENTO IN POMPA DI CALORE

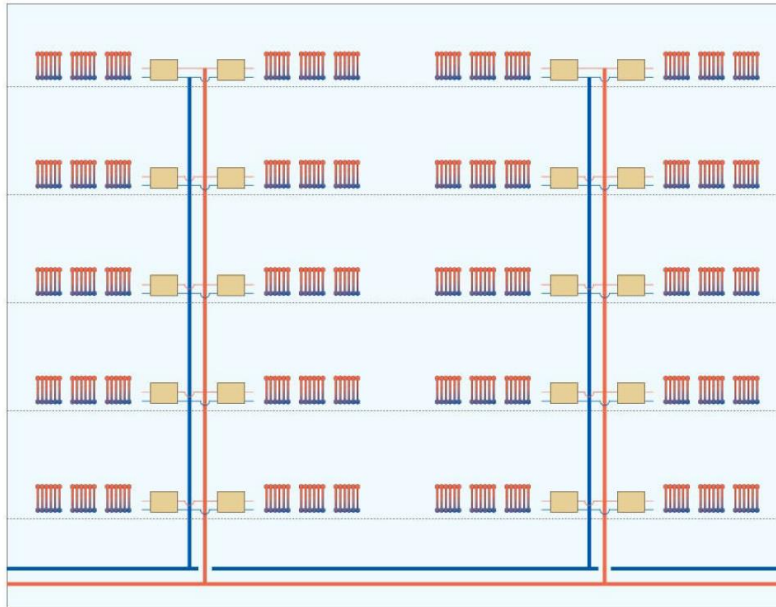


Prestazioni della PdC:

- Dipendente dal Circuito Idraulico
- Spinta del compressore prestabilita
- Obbligati x diametro e lunghezza dei circuiti



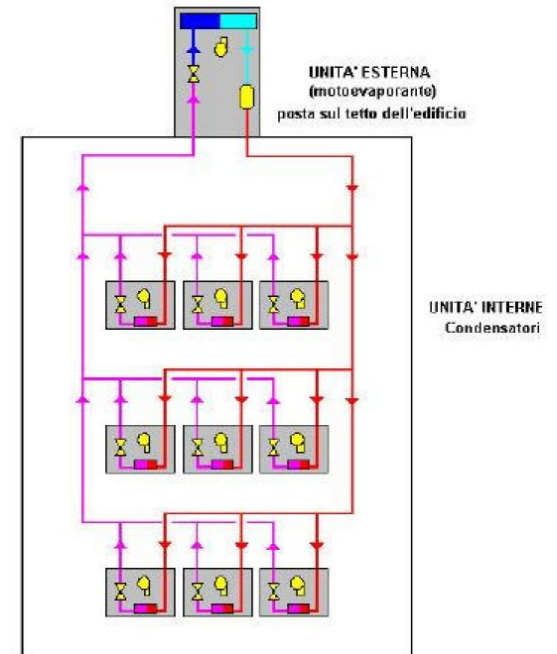
Prestazioni di rete



Prestazioni del Generatore:

- Indipendente dal Circuito Idraulico
- Scelta libera x portata e prevalenza delle pompe
- Scelta libera x diametro e lunghezza dei circuiti

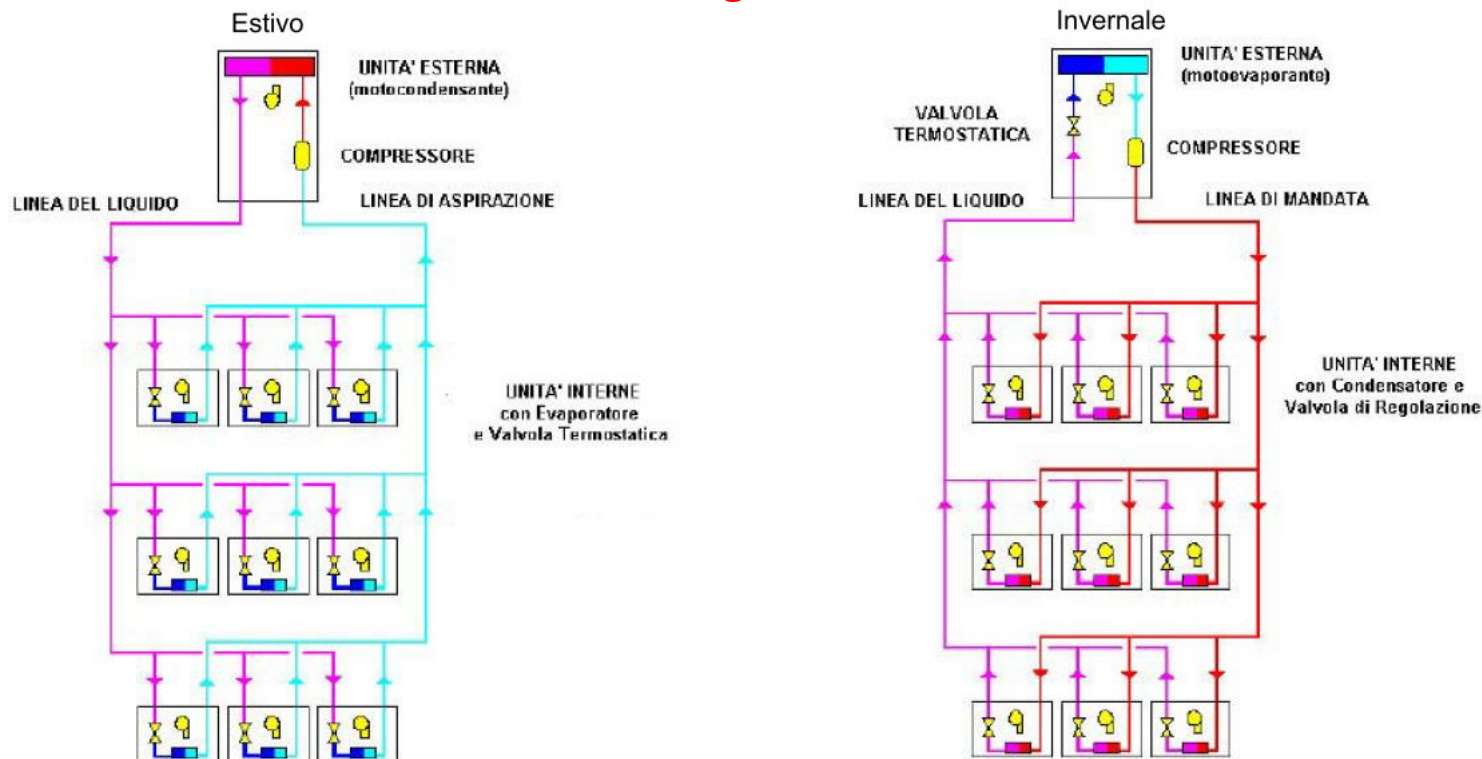
FUNZIONAMENTO IN POMPA DI CALORE



Prestazioni della PdC:

- Dipendente dal Circuito Idraulico
- Spinta del compressore prestabilita
- Obbligati x diametro e lunghezza dei circuiti

Le Linee Frigorifere



Nel funzionamento ESTIVO le unità interne funzionano da evaporatori e le rispettive valvole lavorano come termostatiche, il refrigerante in fase vapore a bassa T va dagli evaporatori al compressore. **Nella stagione INVERNALE** il ciclo si inverte e le unità interne funzionano da condensatori, la linea del liquido rimane la stessa ma viene percorsa in direzione inversa. Anche la linea di mandata in aspirazione è la stessa ma viene percorsa in direzione inversa dal vapore surriscaldato, meno denso e viscoso e con PdC inferiori. Di massima le linee del liquido hanno una PdC di circa la metà di quelle del refrigerante in fase gassosa (Aspirazione).



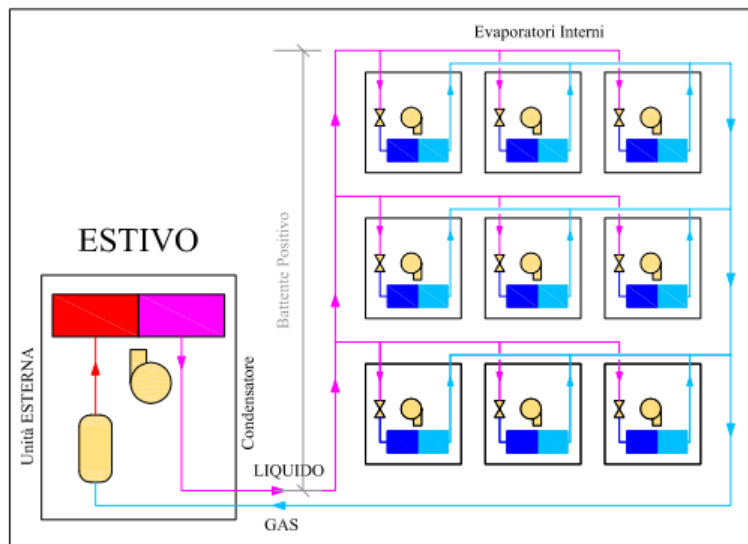
Le Linee Frigorifere



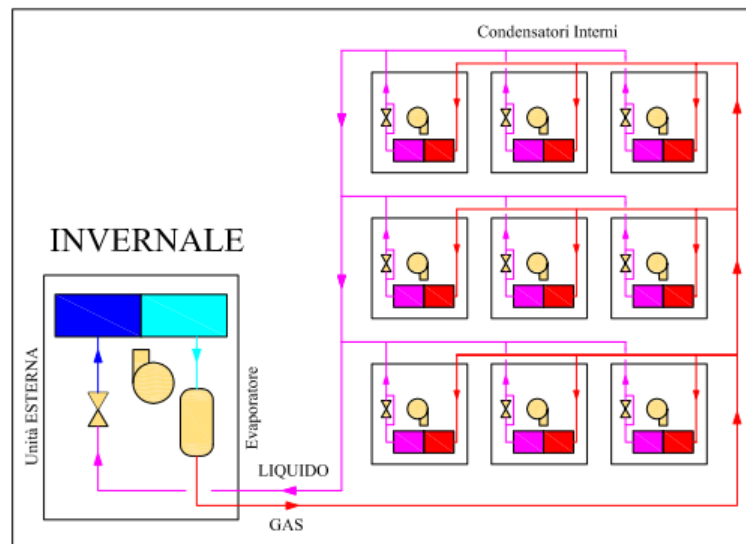
Se esiste un dislivello tra Condensatore ed Evaporatore, si crea un battente per la massa di refrigerante. Tale battente dovrà essere sommato alle perdite di carico della linea liquido. Se il condensatore è in alto rispetto all'evaporatore si avrà un battente NEGATIVO, ne consegue che il sotto raffreddamento del liquido potrà essere ridotto rispetto al dislivello zero. Se invece il condensatore è posizionato al di sotto dell'evaporatore, il battente è POSITIVO e il suo valore va sommato alle perdite di pressione della linea liquido. Il sottoraffreddamento deve aumentare. Questa situazione è energeticamente più penalizzata rispetto alla precedente



Le Linee Frigorifere



Spinta del Liquido ritorno Gas

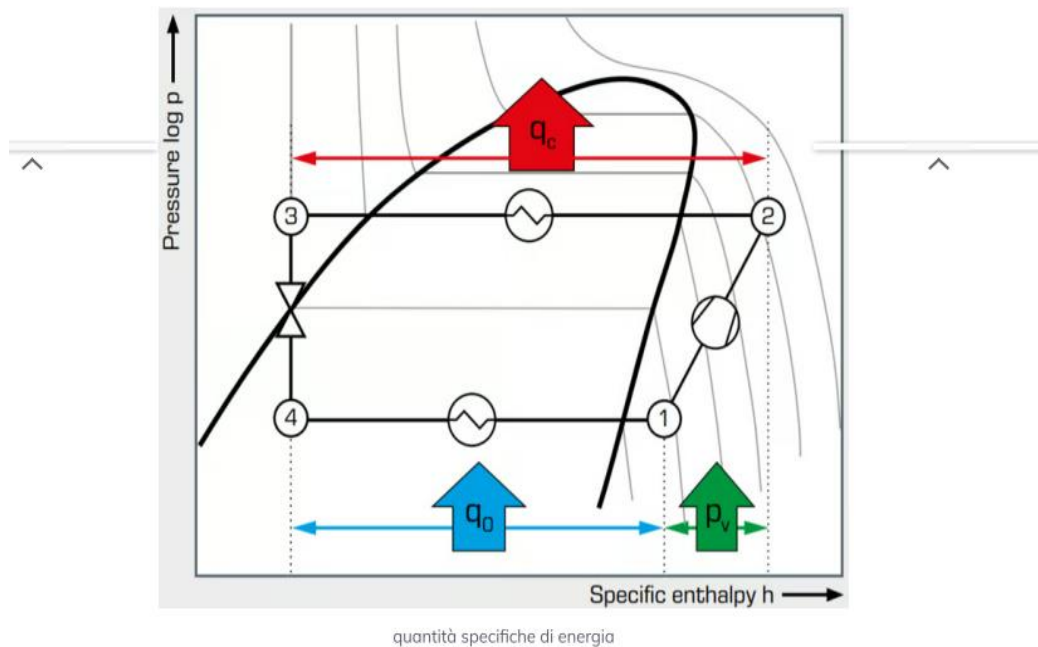


Spinta del Gas ritorno liquido

Il dimensionamento delle tubazioni dei sistemi VRF viene sempre effettuato tenendo conto delle prestazioni in funzionamento estivo. Se l'unità ESTERNA è in sommità non dovrà vincere il battente idraulico che invece esiste per il posizionamento dell'unità esterna a terra.



Pdc Ciclo reversibile



	1	2	3	4
T-°C	5	78	45	0
P-bar	8	30	30	8
H-kJ/kg	430	468	280	280

Lavoro compressore Nc
 $H1-H2 = 38 \text{ KJ/kg}$

Calore da Esterno Qe
 $H1-H4 = 150 \text{ kJ/kg}$

Calore in Ambiente Qa
 $H2-H3 = 188 \text{ KJ/kg}$

$COP = Qa/Nc \quad 4,95$

$EER = Qe/Nc \quad 3,95$



Le Linee Frigorifere

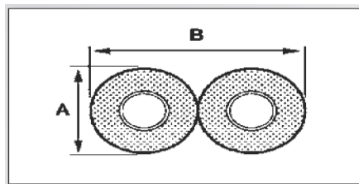
Nel loro funzionamento I sistemi VRF sono impianti che operano e modulano su parametri di precisione. E' quindi fondamentale che le modalità di installazione e i materiali usati presentino le stesse caratteristiche qualitative, a garanzia di un funzionamento senza problemi a lungo termine. È indispensabile l'utilizzo di tubazioni in rame frigorifero certificate di qualità. Le tubazioni in rame devono essere scelte considerando la maggiore pressione operativa del gas refrigerante R410A e la maggiore pressione in circolo nel sistema prodotta dal funzionamento a ciclo inverso. **Tutti i materiali e i dispositivi utilizzati dovranno essere conformi agli standard europei dettati dalla Norma EN12735**

Le Giunzioni

Il rispetto degli standard assume particolare importanza per le giunzioni semplici di collegamento in derivazione tra le unità interne, nonché per i collettori di collegamento in parallelo. Le tubazioni e le derivazioni, **opportunamente CALCOLATE e DIMENSIONATE** dovranno essere installate secondo le prescrizioni di progetto garantire i flussi di refrigerante secondo lo standard europeo E378:2017. Tutte le saldature di collegamento dovranno essere effettuate in ambiente neutro (leggera sovrappressione pressione di azoto) per prevenire l'ossidazione della superficie interna delle tubazioni in rame. Durante l'installazione dovrà in ogni caso essere evitato l'ingresso accidentale di condensa, polvere e di qualsiasi altro agente contaminante. Al termine dell'installazione dovrà essere eseguito un test di tenuta per le perdite di **refrigerante con azoto in pressione**.



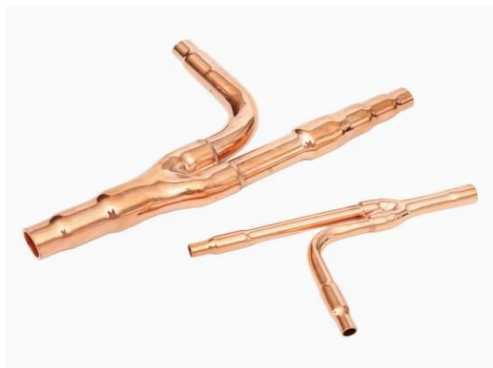
Le Linee Frigorifere



CODICE	DESCRIZIONE	MILLIMETRI	SPESSORE RAME (mm)	SPESSORE GUAINA (mm)	AXB INGOMBRO (mm)	IN CONFEZIONI DA	N. ROTOLI PER BANCALE
11110038	CU 1/4-3/8	6,35-9,52	1,0-1,0	10	27X53	1 ROT. - 20 MT	26 ROT. = MT 520
11110012	CU 1/4-1/2	6,35-12,7	1,0-1,0	10	31X56	1 ROT. - 20 MT	14 ROT. = MT 280
11110058	CU 1/4-5/8	6,35-15,88	1,0-1,0	10	34X59	1 ROT. - 20 MT	11 ROT. = MT 220
11110108	CU 3/8-1/2	9,52-12,7	1,0-1,0	10	34X40	1 ROT. - 20 MT	11 ROT. = MT 220
11110158	CU 3/8-5/8	9,52-15,88	1,0-1,0	10	34X62	1 ROT. - 20 MT	11 ROT. = MT 220
11110065	CU 3/8-3/4	9,52-19,05	1,0-1,0	10	40X69	1 ROT. - 20 MT	11 ROT. = MT 220
11110068	CU 1/2-3/4	12,7-19,05	1,0-1,0	10	40X71	1 ROT. - 20 MT	11 ROT. = MT 220
11110038W	CU 1/4-3/8	6,35-9,52	0,8-0,8	10	27X53	1 ROT. - 20 MT	11 ROT. = MT 220
11110012W	CU 1/4-1/2	6,35-12,70	0,8-0,8	10	31X56	1 ROT. - 20 MT	11 ROT. = MT 220
11110108W	CU 3/8-1/2	9,52-12,70	0,8-0,8	10	34X40	1 ROT. - 20 MT	11 ROT. = MT 220
11110058W	CU 1/4-5/8	6,35-15,88	0,8-1,0	10	34X59	1 ROT. - 20 MT	11 ROT. = MT 220
11110158W	CU 3/8-5/8	9,52-15,88	0,8-1,0	10	34X62	1 ROT. - 20 MT	11 ROT. = MT 220
11110065W	CU 3/8-3/4	9,52-19,05	0,8-1,0	10	40X69	1 ROT. - 20 MT	11 ROT. = MT 220
11110068W	CU 1/2-3/4	12,70-19,05	0,8-1,0	10	40X71	1 ROT. - 20 MT	11 ROT. = MT 220



Le Giunzioni



KIT "M"



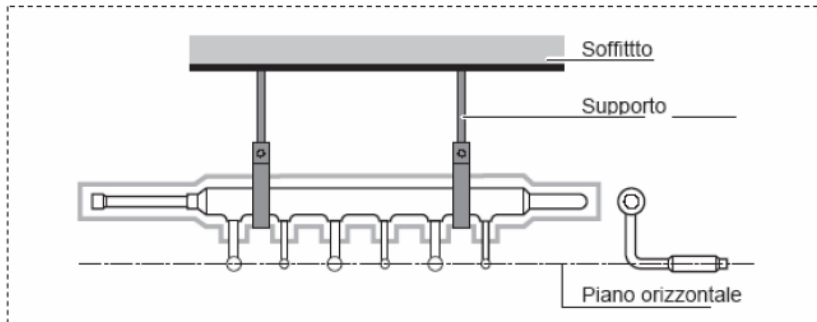
KIT "N"



Le Giunzioni

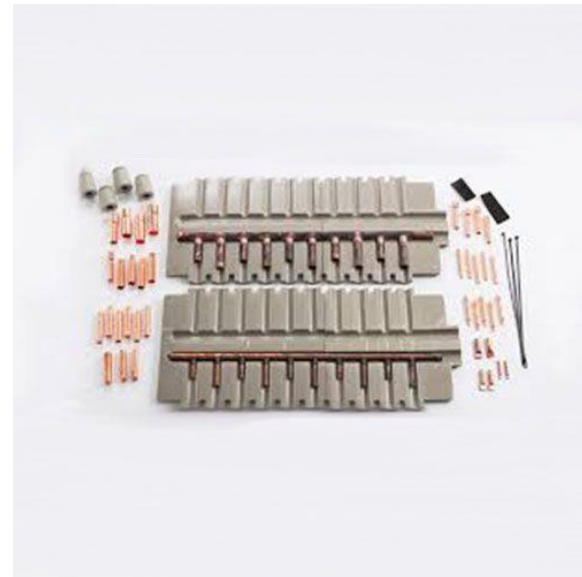
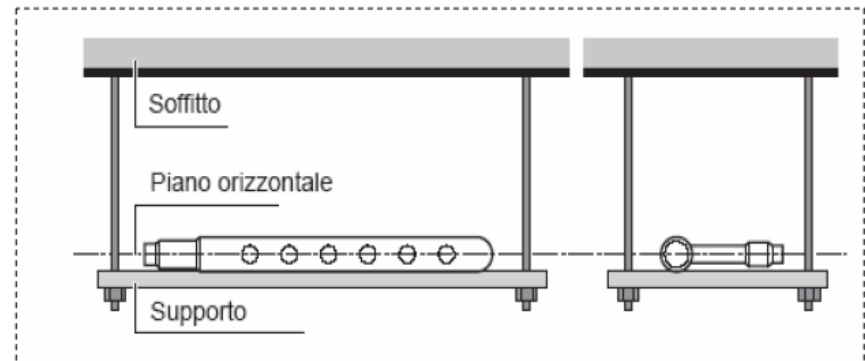
- **INSTALLAZIONE ORIZZONTALE DEL COLLETTORE LIQUIDO**

Assicurarsi che il collettore lato liquido sia installato in modo che i tubi di uscita siano in posizione verticale .



- **INSTALLAZIONE ORIZZONTALE DEL COLLETTORE GAS**

Installare il collettore lato gas in posizione orizzontale.

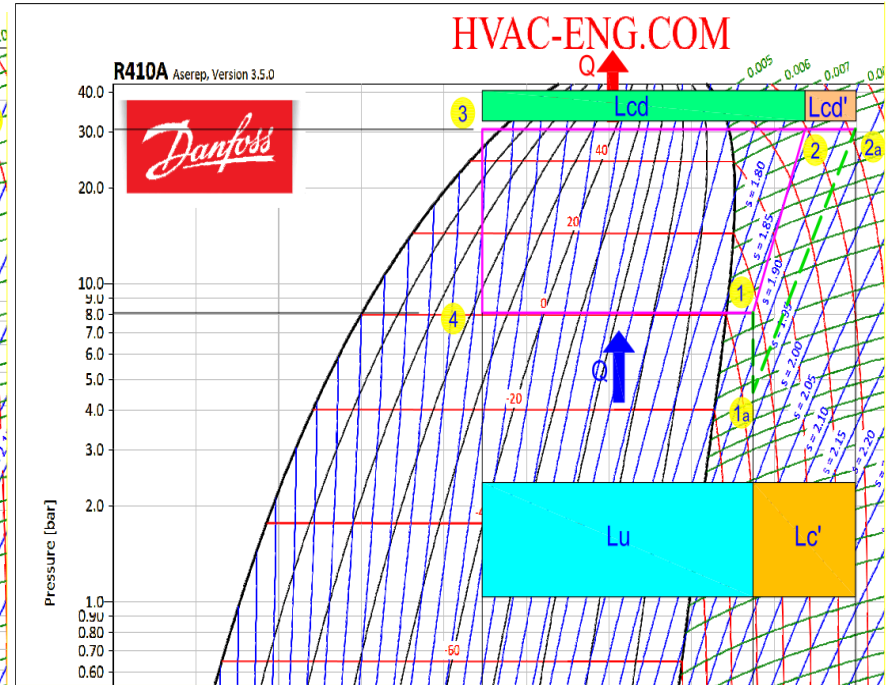
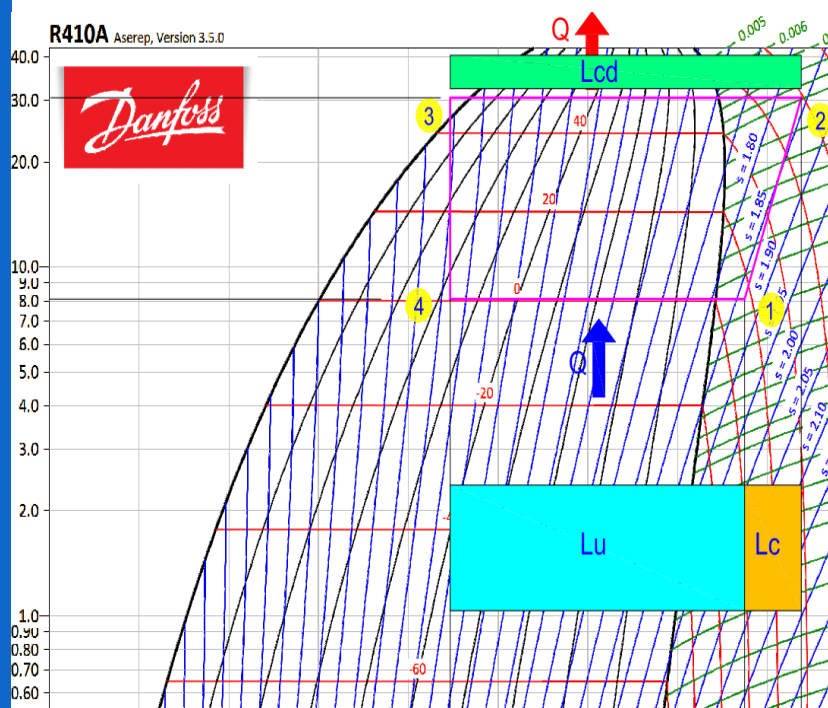




A

Prestazioni di rete

B

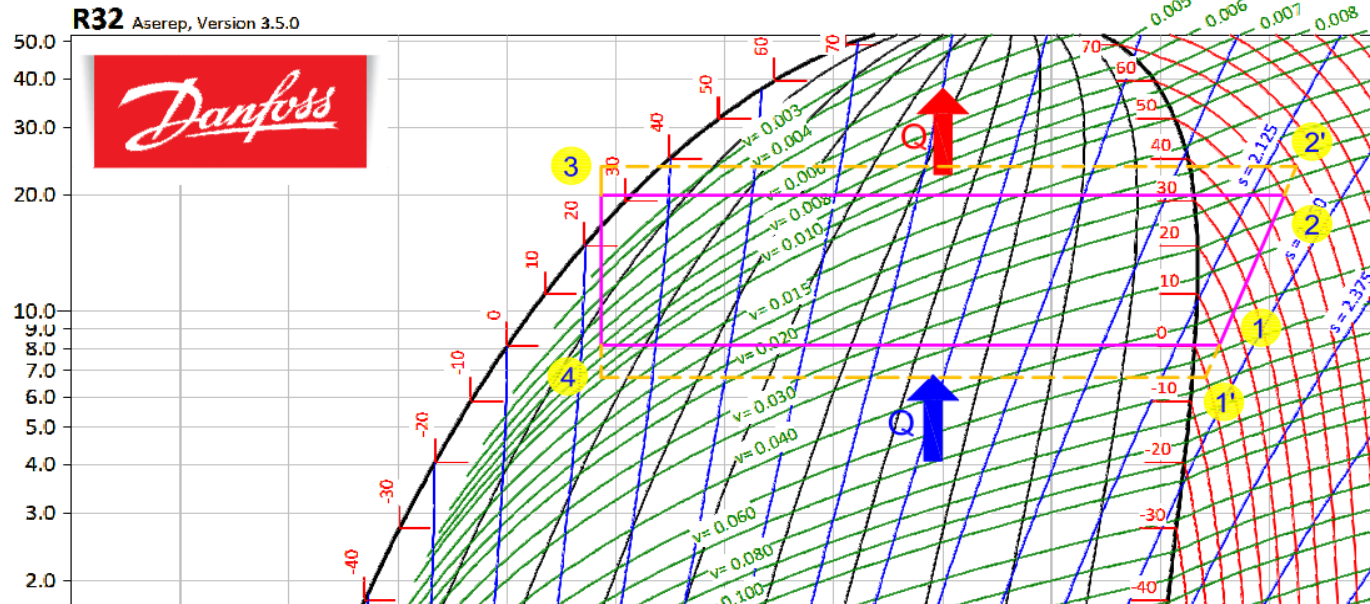


$EER = \text{Effetto Utile} / \text{Lavoro Compressore (Lc)} \rightarrow A) (H1-H4)/(H2-H1) \quad B) (H1-H4)/(H2a-H1a) \quad EER(B) < EER(A)$ - Nel caso di linee corte (A) le PdC sulla linea di aspirazione sono limitate: punto 1 e compressione fino al punto 2. Nel caso di linee frigorifere più lunghe, (B), le PdC sulla linea di aspirazione aumentano $\rightarrow$ punto 1a e per raggiungere la stessa temperatura di condensazione del punto 2 il compressore deve lavorare fino al punto 2a. Va inoltre considerata un'ulteriore diminuzione di EER dovuta a due cause: 1) riduzione del rendimento del compressore che DIMINUISCE per l'aumento del rapporto di compressione; 2) per la riduzione del volume specifico a causa di una temperatura maggiore ($T2a > T2$)



Effetto delle Temperature

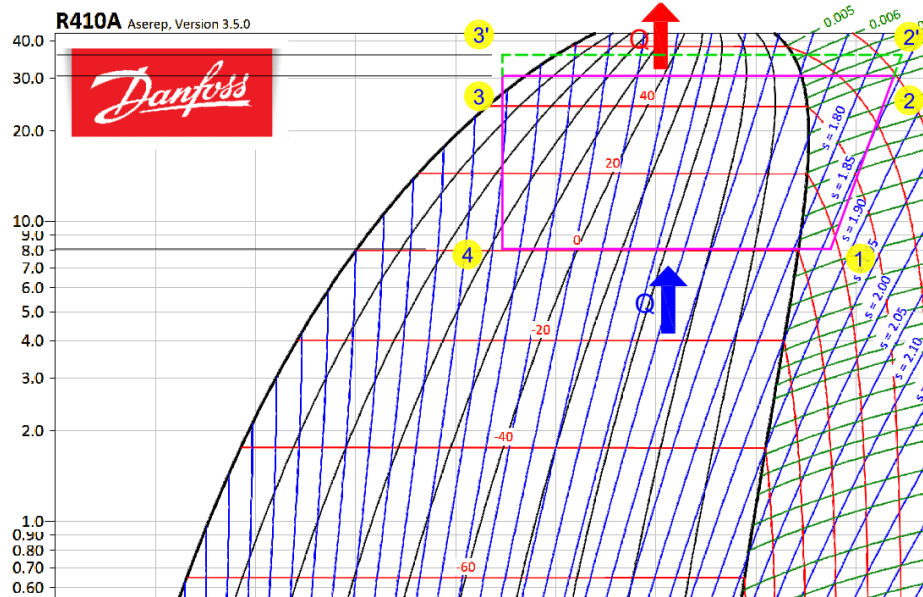
HVAC-ENG.COM



Aumento Temperatura Esterna → da 2 a 2' Aumento Lc e diminuzione EER
Diminuzione Temperatura Interna → da 1 a 1' Aumento Lc e diminuzione EER



Effetto dei Dislivelli

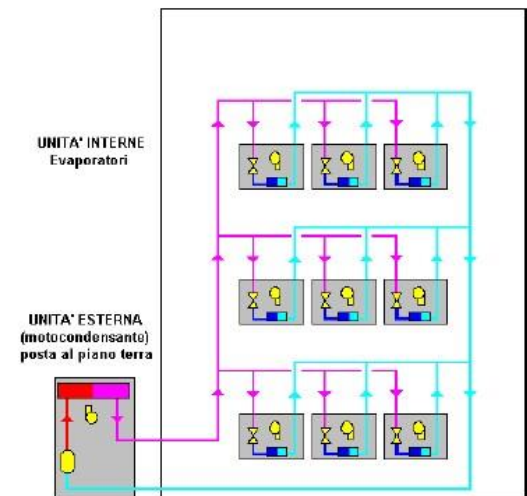
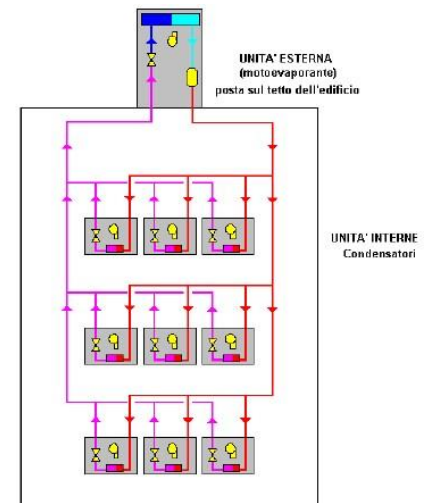


Unità Esterna al di SOPRA delle interne

Nel funzionamento estivo il battente negativo compensa le perdite di pressione

Unità Esterna al di SOTTO delle interne

Il compressore deve vincere il dislivello con conseguente aumento della pressione di condensazione (diminuzione di EER)





Metodi per il dimensionamento della rete

La scelta delle coppie di diametri, gas refrigerante e liquido, sarà il giusto compromesso tra i costi iniziali, che crescono all'aumentare del diametro dei tubi, e i costi di esercizio che invece diminuiscono al crescere del diametro delle linee gas e liquido, poichè diminuiscono le perdite di carico. Inoltre la rete dovrà garantire, durante il funzionamento in esercizio le seguenti condizioni operative:

- Garantire il ritorno dell'olio al compressore
- Assicurare la giusta alimentazione dell'evaporatore
- Evitare che liquido entri nel compressore sia durante l'attività sia durante le soste
- Garantire linee pulite e asciutte
- Garantire le corrette portate di fluido agli elementi terminali

Le velocità consigliate per il dimensionamento ottimale dei condotti del refrigerante, sono di seguito riportate

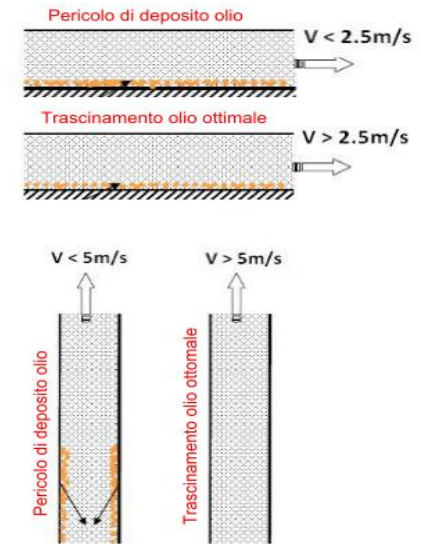
Linee	Velocità del refrigerante [m s^{-1}]
Linee di aspirazione	4.5 - 20
Linee di mandata	10 - 18
Linee del liquido	< 1.5



Metodi per il dimensionamento della rete

Uno degli aspetti importanti da tenere presente nel dimensionamento dei circuiti frigoriferi è quello di garantire in ogni circostanza il corretto ritorno dell'olio nel carter del compressore. Bisogna ricordare che l'olio si miscela bene con il fluido frigorifero allo stato liquido, quindi la sua circolazione nel condensatore e nella linea liquida non pone alcun problema. Diversamente nella linea di mandata e di aspirazione, dove il fluido frigorifero è in fase gassosa, i due fluidi (olio liquido e refrigerante gassoso) hanno tendenza a separarsi, creando seri problemi di libera circolazione dell'olio e ostacolando il suo ritorno verso il carter del compressore. Quindi il problema del ritorno dell'olio si pone in modo differente nei vari tratti di tubazione. Generalmente l'olio tende a depositarsi all'interno degli scambiatori ed in particolare negli evaporatori. Per il dimensionamento delle tubazioni bisogna fare dei calcoli precisi e che danno la velocità minima del fluido refrigerante in relazione al tipo di gas, alle temperature di evaporazione e condensazione, al tratto di tubazione e alla posizione (orizzontale o verticale) della tubazione stessa. Bisogna tener presente che si deve raggiungere un compromesso tra la velocità del refrigerante (che potrebbe richiedere piccoli diametri) e la necessità di avere basse perdite di carico, per avere la massima potenza frigorifera, (che potrebbe richiedere diametri superiori). In linea di massima bisogna rispettare i seguenti valori per la velocità:

TRATTI ORIZZONTALI $v > 2,5$ m/s - TRATTI ORIZZONTALI $v > 5$ m/s





Modelli per il dimensionamento della rete

Le perdite di carico nei condotti di aspirazione e mandata riducono l'efficienza del sistema perché, al diminuire della pressione di saturazione, anche la temperatura di saturazione diminuisce. Pertanto le linee di aspirazione e mandata sono normalmente dimensionate per avere una perdita di carico, tradotta in termini di variazione di temperatura di saturazione, non superiore a circa 1°K , mentre le linee del liquido sono dimensionate in funzione sia della capacità del sistema che del tipo di refrigerante e del materiale dei tubi. Stabilendo una variazione di temperatura per unità di lunghezza pari a $0,02^{\circ}\text{K/m}$, o per una velocità di 0.5 m/s , ASHRAE Handbook (2006) riporta per tutti i tipi di refrigeranti la correlazione tra il diametro della tubazione, capacità frigorifera delle linee di aspirazione, mandata e liquido nonché le perdite di carico delle giunzioni in termini di lunghezza equivalente. Il dimensionamento delle linee di tubazioni, parte dai dati delle tabelle di correlazione, che permettono di determinare il diametro nominale raccomandato in funzione della potenza frigorifera e per il refrigerante considerato (40°C di temperatura di condensazione). Successivamente, si calcola la lunghezza totale equivalente data dalla somma della lunghezza dei condotti e delle lunghezze equivalenti dei raccordi e pezzi speciali, che possono essere ottenuti dalle tabelle seguenti



Modelli per il dimensionamento della rete

Table 4 - Equivalent Length for Fittings (feet)⁷

Nominal Dia.	Smooth Elbows						Smooth Bend Tee Connections			
	90° Std	90° Long Radius	90° Street	45° Std	45° Street	180° Std	Tee Branch Flow	Straight Through Flow		
								No Reduction	Reduced 25%	Reduced 50%
1/2	1.4	0.9	2.3	0.7	1.1	2.3	2.7	0.9	1.2	1.4
5/8	1.6	1.0	2.5	0.8	1.3	2.5	3.0	1.0	1.4	1.6
7/8	2.0	1.4	3.2	0.9	1.6	3.2	4.0	1.4	1.9	2.0
1 1/8	2.6	1.7	4.1	1.3	2.1	4.1	5.0	1.7	2.2	2.6
1 3/8	3.3	2.3	5.6	1.7	3.0	5.6	7.0	2.3	3.1	3.3
1 5/8	4.0	2.6	6.3	2.1	3.4	6.3	8.0	2.6	3.7	4.0
2 1/8	5.0	3.3	8.2	2.6	4.5	8.2	10.0	3.3	4.7	5.0
2 5/8	6.0	4.1	10.0	3.2	5.2	10.0	12.0	4.1	5.6	6.0
3 1/8	7.5	5.0	12.0	4.0	6.4	12.0	15.0	5.0	7.0	7.5
3 5/8	9.0	5.9	15.0	4.7	7.3	15.0	18.0	5.9	8.0	9.0
4 1/8	10.0	6.7	17.0	5.2	8.5	17.0	21.0	6.7	9.0	10.0
5 1/8	13.0	8.2	21.0	6.5	11.0	21.0	25.0	8.2	12.0	13.0
6 1/8	16.0	10.0	25.0	7.9	13.0	25.0	30.0	10.0	14.0	16.0
8 1/8	20.0	13.0	-	10.0	-	33.0	40.0	13.0	18.0	20.0



Modelli per il dimensionamento della rete

Table 5 - Equivalent Length For Valves And Refrigeration Devices (feet)⁸

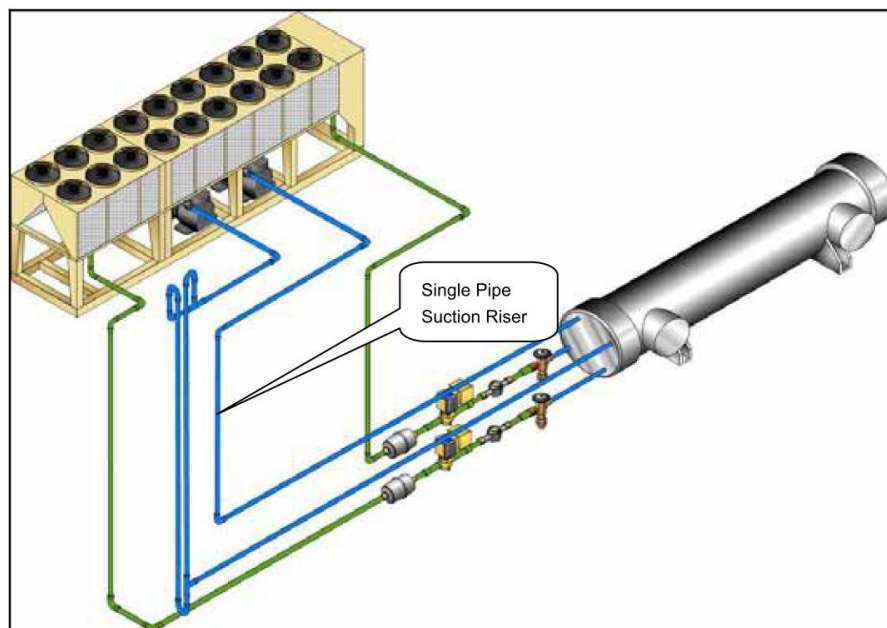
Nominal Diameter	Globe Or Solenoid	60° Wye Valve	45° Wye Valve	Angle Valve	Gate Valve	Swing Check	Sight Glass	Filter Drier	Suction Filter
1/2	17	8	6	6	0.6	5	1.0	12	15
5/8	18	9	7	7	0.7	6	1.2	15	17
7/8	22	11	9	9	0.9	8	1.6	21	22
1 1/8	29	15	12	12	1.0	10	2.0	26	25
1 3/8	38	20	15	15	1.5	14	2.5	35	36
1 5/8	43	24	18	18	1.8	16	2.6	-	40
2 1/8	55	30	24	24	2.3	20			
2 5/8	69	35	29	29	2.8	25			
3 1/8	84	43	35	35	3.2	30			
3 5/8	100	50	41	41	4.0	35			
4 1/8	120	58	47	47	4.5	40			
5 1/8	140	71	58	58	6.0	50			
6 1/8	170	88	70	70	7.0	60			
8 1/8	220	115	85	85	9.0	80			



Modelli per il dimensionamento della rete

How to Size Suction Lines

Size the suction line with a single pipe riser **and** determine the pressure drop for the following air-cooled chiller with remote evaporator:



Nell'esempio seguente è riportato il dettaglio del procedimento di calcolo della tubazione 3-1/8 come previsto dall'ASHRAE Handbook 2006 per la seguente configurazione :

Dati di Progetto:

- Refrigerante R-134
- Temperatura evaporatore 40°F (4,4°C)
- Potenza Gruppo 50 Tons (176 kW)
- Lunghezza linea 42ft (12,8m)
- Raccordi e curve 22ft (33,7m)
- Lunghezza di calcolo 42+22= 64 ft



Modelli per il dimensionamento della rete

Table 7 - R-134a Refrigerant Line Size Table (tons)¹⁰

SST	Suction									Discharge			Liquid	
	0°F			20°F			40°F			0°F	20°F	40°F	vel = 100fpm	1°F
	ΔT	2°F	1°F	0.5°F	2°F	1°F	0.5°F	2°F	1°F	0.5°F	1°F	1°F	1°F	
Δp (PSI)	1.00	0.50	0.25	1.41	0.71	0.35	1.93	0.97	0.48	2.20	2.20	2.20		2.20
OD (in)														
1/2	0.14	0.10	0.07	0.23	0.16	0.11	0.35	0.24	0.16	0.5	0.6	0.6	2.13	2.79
5/8	0.27	0.18	0.12	0.43	0.29	0.20	0.66	0.45	0.31	1.0	1.1	1.1	3.42	5.27
7/8	0.71	0.48	0.33	1.14	0.78	0.53	1.75	1.20	0.82	2.7	2.8	2.9	7.09	14
1 1/8	1.45	0.99	0.67	2.32	1.59	1.08	3.54	2.43	1.66	5.4	5.7	6.0	12.1	28.4
1 3/8	2.53	1.73	1.18	4.04	2.77	1.89	6.17	4.25	2.91	9.4	9.9	10.4	18.4	50
1 5/8	4.02	2.75	1.88	6.39	4.40	3.01	9.77	6.72	4.61	14.9	15.7	16.4	26.1	78.6
2 1/8	8.34	5.73	3.92	13.3	9.14	6.27	20.20	14.0	9.59	30.8	32.4	34.0	45.3	163
2 5/8	14.80	10.2	6.97	23.5	16.2	11.1	35.80	24.7	17.0	54.4	57.2	59.9	69.9	290
3 1/8	23.70	16.2	11.1	37.5	25.9	17.8	57.10	39.4	27.2	86.7	91.2	95.5	100	462
3 5/8	35.10	24.2	16.6	55.8	38.5	26.5	84.80	58.7	40.4	129.0	135	142.0	135	688
4 1/8	49.60	34.2	23.5	78.7	54.3	37.4	119.4	82.6	57.1	181.0	191	200.0	175	971
5 1/8	88.90	61.3	42.2	141.0	97.2	67.1	213.0	148	102	323.0	340	356.0	-	-
6 1/8	143.0	98.8	68.0	226.0	157	108	342.0	237	165	518.0	545	571.0	-	-

Values in Table 7 are based on 105°F condensing temperature. Multiply table capacities by the following factors for other condensing temperatures.

Condensing Temperature (°F)	Suction Line	Discharge Line
80	1.158	0.804
90	1.095	0.882
100	1.032	0.961
110	0.968	1.026
120	0.902	1.078
130	0.834	1.156

Lunghezza totale $L+L_{eq} = 42+10+12 = 64\text{ft}$
Al diametro 3-1/8 si percorrono i valori fino al primo valore >50tons, nel caso 57,1 cui corrispondono 2°F/40°F/1,93Pa. Poiché il valore della temperatura di condensazione è $120 > 100$ si determina il coefficiente di correzione pari a 0,902 da cui si ottiene la potenza correlata: $57,1 \times 0,902 = 51,5 \text{ tons}$.



Verificare se il DT è minore del DT table 7
Verificare se il DP è minore del DP table 7



Modelli per il dimensionamento della rete

$$\Delta T_{\text{Actual}} = \Delta T_{\text{Table}} \left[\frac{\text{Actual length}}{\text{Table length}} \right] \left[\frac{\text{Actual capacity}}{\text{Table capacity}} \right]^{1.8}$$

$$\Delta T_{\text{Actual}} = 2^{\circ}\text{F} \left[\frac{64 \text{ ft}}{100 \text{ ft}} \right] \left[\frac{50 \text{ tons}}{51.5 \text{ tons}} \right]^{1.8} = 1.2^{\circ}\text{F}$$

1,2° F < 2 °F VERIFICA POSITIVA

$$\left(\Delta T_{\text{Actual}} = 1.1^{\circ}\text{C} \left[\frac{19.5\text{m}}{30.5\text{m}} \right] \left[\frac{176\text{kW}}{181\text{kW}} \right]^{1.8} = 0.67^{\circ}\text{C} \right)$$

$$\text{Pressure Drop}_{\text{Actual}} = \text{Pressure Drop}_{\text{Table}} \left(\frac{\Delta T_{\text{Actual}}}{\Delta T_{\text{Table}}} \right)$$

$$\text{Pressure Drop}_{\text{Actual}} = 1.93 \text{ PSI} \left(\frac{1.2^{\circ}\text{F}}{2^{\circ}\text{F}} \right) = 1.16 \text{ PSI}$$

1,16 PSI < 1,93 PSI VERIFICA POSITIVA

$$\left(\text{Pressure Drop}_{\text{Actual}} = 13.3 \text{ kPa} \left(\frac{0.67^{\circ}\text{C}}{1.1^{\circ}\text{C}} \right) = 8.1 \text{ kPa} \right)$$



Massimo contenuto di Refrigerante UNI-EN 378

I refrigeranti della serie R----- utilizzati per la climatizzazione sono sicuri, antincendio e non sono tossici. Tuttavia se in un ambiente la sua concentrazione dovesse risultare eccessiva esiste il rischio di asfissia al pari di quello che può provocare l'azoto. Di conseguenza sono stati introdotti metodi di calcolo e norme tecniche per limitare la quantità di refrigerante presente negli ambienti in caso di fuoriuscita dovuta a perdite. La UNI-EN 378 contiene le prescrizioni per i requisiti di sicurezza e ambientali per gli impianti di refrigerazione ed in particolare gli impianti VRF di importante estensione.

NB : La UNI-EN 378 è una norma di sicurezza, se disattesa e si verificano conseguenze per la salute delle persone, progettista, installatore e DL possono essere chiamati in causa e rispondere penalmente delle

conseguenze per la salute delle persone.

La Norma definisce le modalità applicative dei sistemi ad espansione diretta secondo i seguenti criteri:

1. Classificazione dei sistemi e dei refrigeranti
2. Classificazione dei locali di impiego
3. Max concentrazione di refrigerante ammissibile nei locali



Classificazione dei Refrigeranti

Gruppi in base alla sicurezza determinati in base ad infiammabilità e tossicità

Inflammabilità crescente ↑	Gruppo di sicurezza	
	Maggiore infiammabilità	A3 B3
	Minore infiammabilità	A2 B2
	Nessuna propagazione di fiamme	A1 B1
Tossicità inferiore		Tossicità superiore

Classificazione		Numero Fluido Frigorigeno	Descrizione
Gruppo L	Gruppo Sicurezza		
1	A1/A1	R410A	(composizione = % peso) R-32/R125 (50/50)



Classificazione dei Locali

Categorie degli ambienti

Categorie	Caratteristiche generali	Esempi ¹
A	Stanze, parti di edifici, edifici dove - le persone possono dormire; - i movimenti delle persone sono limitati; - è presente un numero imprecisato di persone o nei quali qualsiasi persona abbia accesso senza essere personalmente a conoscenza delle precauzioni di sicurezza necessarie.	Ospedali, tribunali o prigioni, teatri, supermercati, scuole, sale conferenze, stazioni di trasporto pubblico, alberghi, residenze, ristoranti. Obbligo di verifica della norma
B	Stanze, parti di edifici, edifici dove può essere presente solo un numero limitato di persone, alcune delle quali necessariamente a conoscenza delle precauzioni generali di sicurezza dello stabile.	Uffici commerciali o professionali, laboratori, luoghi di produzione generale e nei quali lavorano persone. Nessuna restrizione
C	Stanze, parti di edifici, edifici dove abbiano accesso solo persone autorizzate, a conoscenza delle precauzioni generali e particolari dello stabile e dove avvenga la produzione, l'elaborazione o la conservazione di materiali o prodotti.	Stabilimenti di produzione, per esempio di prodotti chimici, cibi, bevande, ghiaccio, gelati, raffinerie, depositi refrigerati, caseifici, macelli, aree non pubbliche nei supermercati. Nessuna restrizione



Limite di Carica del Refrigerante

L'Allegato C della parte 1 della norma indica il metodo di calcolo per stabilire la massima quantità di gas refrigerante ammissibile in un impianto di climatizzazione. Per un sistema ad espansione diretta utilizzando gas R-410°, la massima quantità di refrigerante del sistema ammissibile per servire ambienti con occupazione di persone è dato dalla seguente relazione:

$$\begin{aligned} &\text{Max quantità di refrigerante} \\ &= \\ &0.44 \times \text{Volume ambiente climatizzato più piccolo} \end{aligned}$$

0,44 è il limite pratico [kg/mc]

La carica è espressa in kg ed il volume in mc

Limite di Carica del Refrigerante

Il Limite Pratico per il gruppo A1 di refrigeranti si basa sull'effetto dovuto ad un'improvvisa e consistente uscita di refrigerante con breve tempo di esposizione.

- 1. Improvvisa e consistente fuoriuscita:** fuoriuscita e vaporizzazione della maggior parte della carica totale di refrigerante in breve tempo (meno di 5 min)
- 2. Breve tempo di esposizione:** massimo tempo di esposizione dell'uomo a una consistente fuoriuscita di refrigerante (10 min. max)

Classificazione		Numero Fluido Frigorigeno	Descrizione	Formula	Massa molare (MM) kg/kmol	Limite Pratico kg/m³	Infiammabilità				Potenziale di riscalda- mento globale GWP ₁₀₀	Potenziale di assotti- gliamento dello strato di ozono ODP	
Gruppo L	Gruppo Sicurezza						Temperatura di autoaccensione °C	Concentrazione dei limiti di infiammabilità dell'aria					
								Concentrazione dei limiti di infiammabilità dell'aria					
								Limite inferiore	Limite superiore				
							kg/m³		kg/m³				
1	A1/A1	R410A	R-32/R125 (50/50)	CH2F2+CF3CHF2	72,6	0,44	*	-	-	-	-	1900	0

Per determinare la massima carica dell'**INTERO CIRCUITO** va considerato il volume più piccolo dei locali in cui sono presenti terminali serviti dal singolo circuito dell'impianto di climatizzazione ad espansione diretta. In un albergo con camere singole da 14 mq e 38 mc la max carica ammessa sarà $\rightarrow 38 \cdot 0,44 = 16,7$ kg. La EN-378 limita la potenza max installabile per singolo circuito, ma sono possibili accorgimenti come di seguito descritto



Limite di Carica del Refrigerante

1. **Suddivisione della linea in più circuiti:** realizzare più circuiti, ognuno con propria coppia di tubazioni e propria unità esterna
2. **Ventilazione Meccanica:** in presenza dell'impianto di aria primaria il volume dell'aria di rinnovo può essere sommato al volume del locale, ma soltanto per la portata relativa a 10 min, ovvero 1/6 dei volumi di ricambio del locale
3. **Utilizzo di altra Norma:** la UNI-EN-378 non è una norma **armonizzata, ovvero è una norma tecnica senza riferimento legislativo. Il professionista pertanto può utilizzare altre norme con stesso oggetto sotto la propria responsabilità, ad Es. JRA-JL 13 prevista dal "Japanese Refrigeration and Air Conditioning Industry Association" [JRAIA].

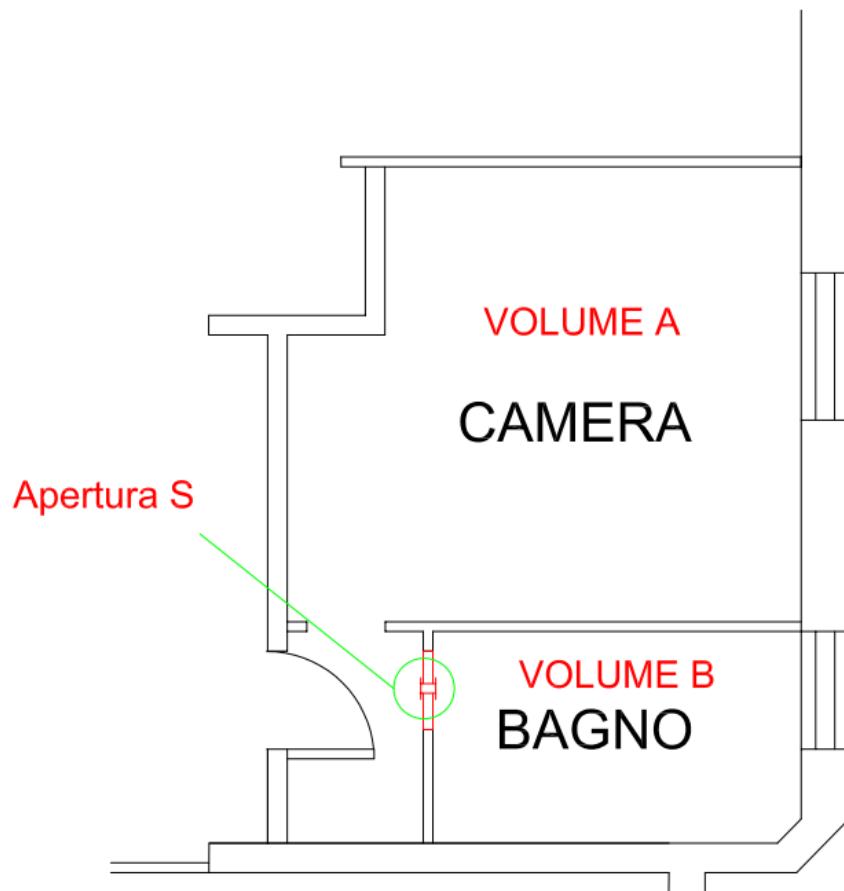
** Una norma si dice "armonizzata", quando i suoi riferimenti sono pubblicati sulla Gazzetta Ufficiale delle Comunità Europee (GUCE) in relazione a una direttiva

La Norma JRA-JL13 è simile alla 378 ma contiene un'ulteriore indicazione per il calcolo della max quantità di refrigerante ammissibile: se l'ambiente più piccolo è collegato con l'ambiente adiacente da un'apertura maggiore o uguale allo 0,15% dell'area del proprio pavimento [mq], si può applicare la relazione:

$$\begin{aligned} &\text{Max quantità di refrigerante} \\ &= \\ &0.44 \times \text{Volume ambiente A+B} \\ &\text{Dove A è l'ambiente più piccolo e B l'adiacente} \end{aligned}$$



Limite di Carica del Refrigerante



E' possibile realizzare un'apertura verso un locale adiacente di ampiezza > dello 0,15% della superficie della stanza A, prevedendola ad Es. sulla porta di ingresso del bagno, e considerare nel calcolo l'espressione:

Volume Climatizzato = $V_a + V_b$
 $h = 3m$ - $Q_{rf} = \text{kg refrigerante}$

$A=20mq$ $B=10mq$
 $S = 10mq \times 0,15\% = 150 \text{ cmq}$

$Q_{rf} = 0,44 \times 30mc = 13,2 \text{ kg} \rightarrow 378$
 $Q_{rf} = 0,44 \times 90mc = 39,6 \text{ kg} \rightarrow \text{JRA-JL}$



Caso Studio

Si presenta un progetto esecutivo, in corso di realizzazione, per la riqualificazione di un edificio unifamiliare dove sono stati progettati seguenti interventi migliorativi:

1. *Cappotto interno*
2. *Sostituzione di caldaia a gas con impianto centralizzato VRF*
3. *Impianto fotovoltaico in copertura*





Caso Studio

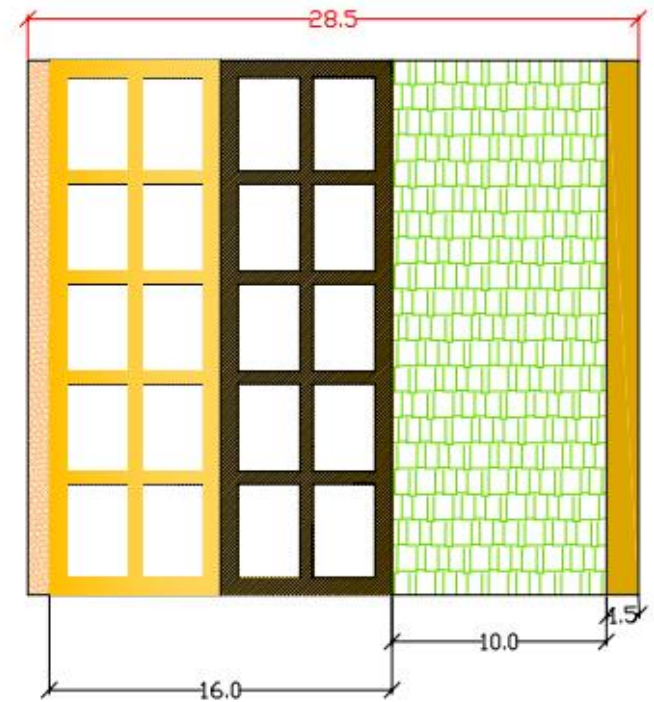
Particolari delle strutture esistenti





Caso Studio

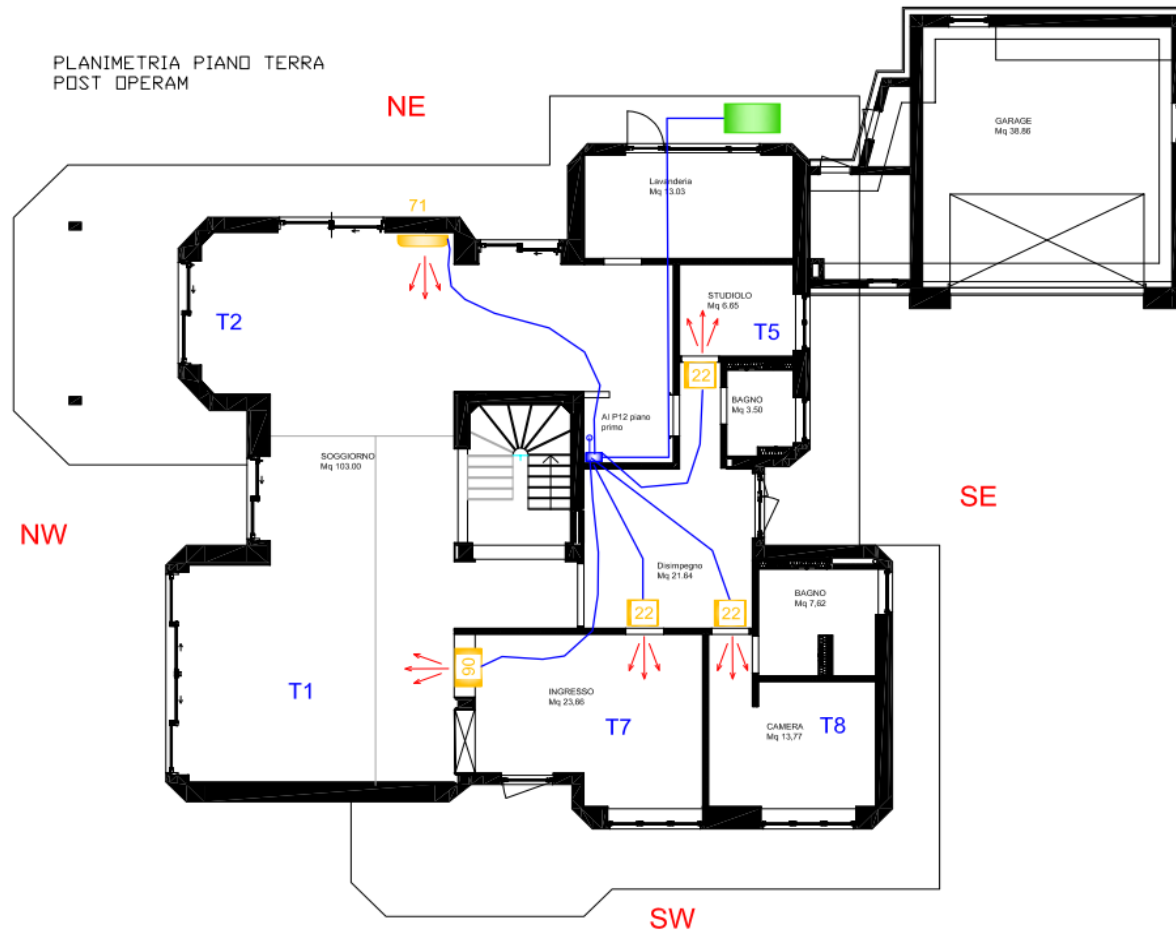
Particolari delle strutture esistenti





Caso Studio

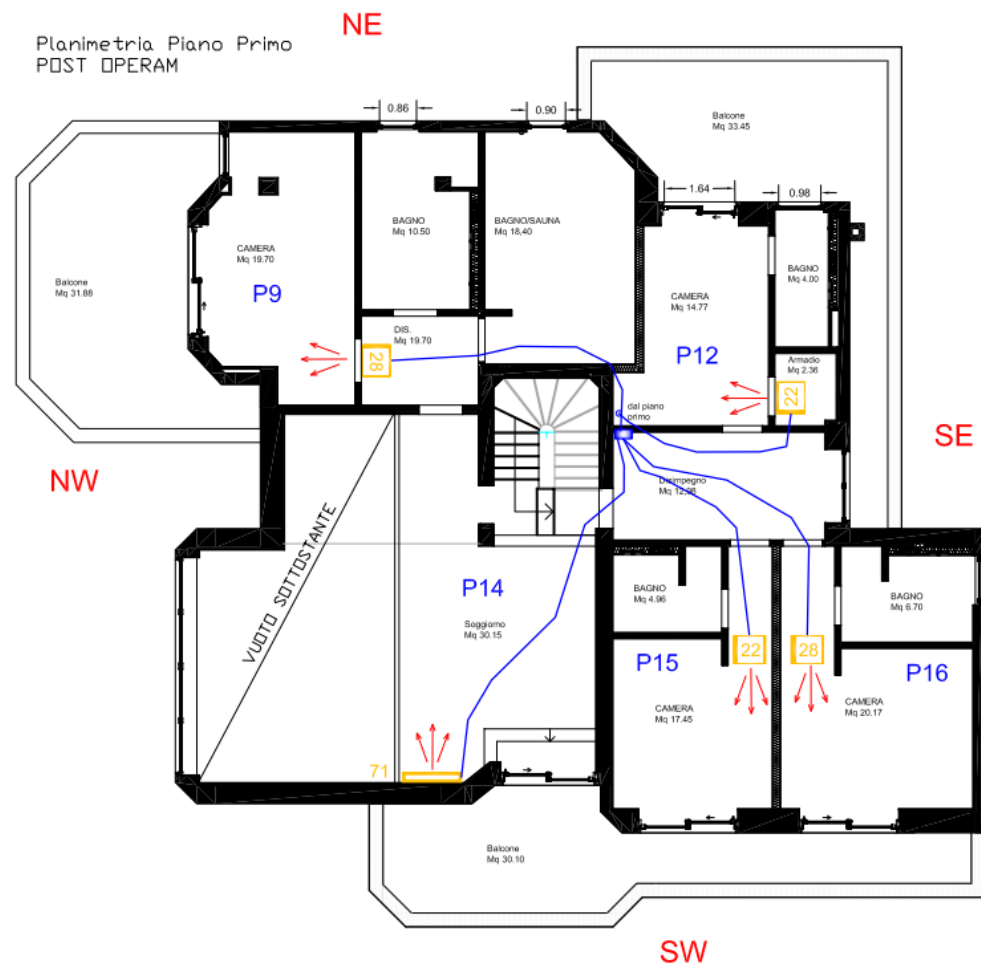
Schema Planimetrico Impianto





Caso Studio

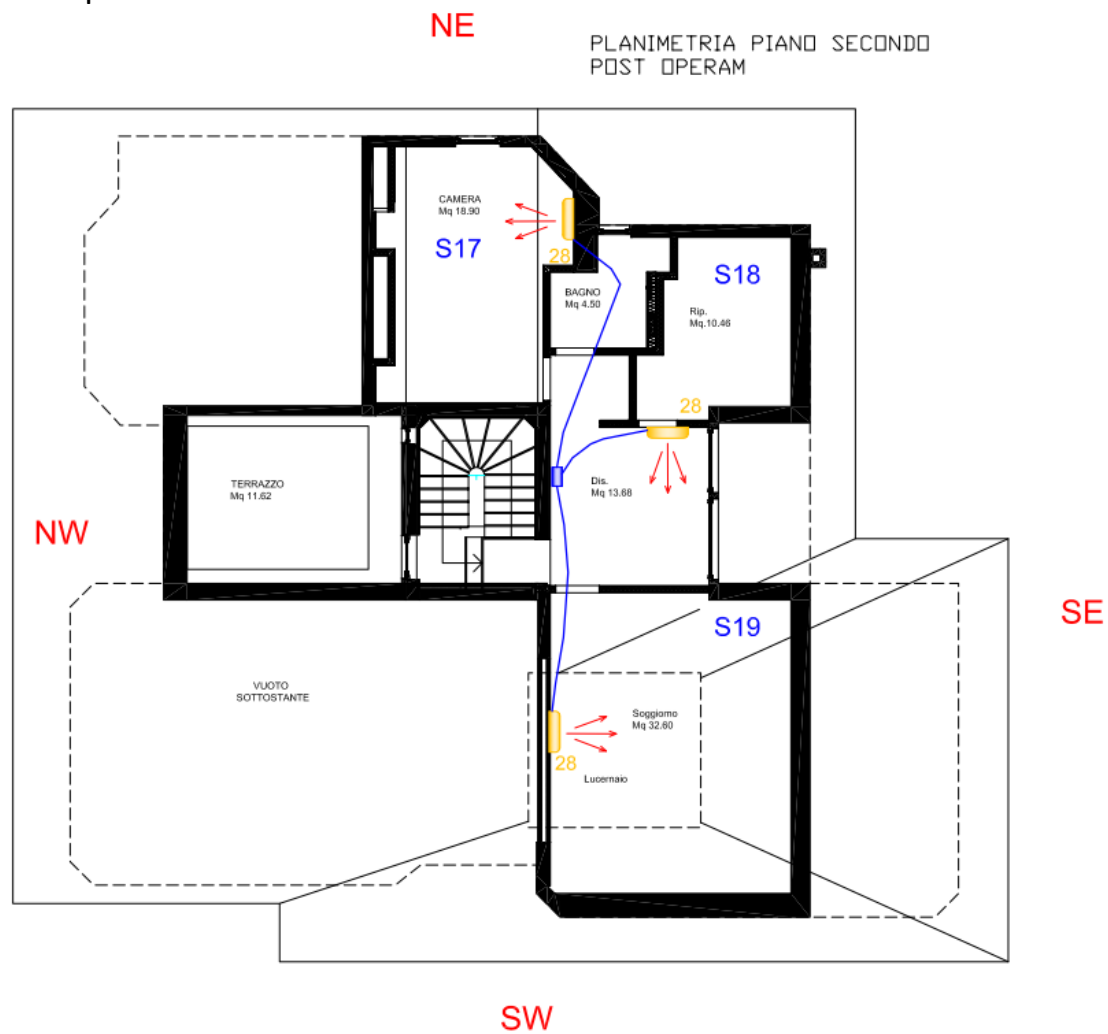
Schema Planimetrico Impianto





Caso Studio

Schema Planimetrico Impianto





Caso Studio

Riepilogo dei carichi Estivi e Invernali

Locale	Sens. Watt	Lat. Watt	Estivo Tot. Watt	ora	Invernale Watt
T1	6624	281	6905	15	2153
T2	2902	516	3418	7	1509
T7	1850	258	2108	15	659
T8	1102	191	1293	15	541
T5	1046	93	1139	15	258
T4	646	516	1162	11	607
T3	473	101	574	10	256
T9	1174	101	1275	10	343
P9	1289	236	1525	17	760
P14	2893	362	3255	15	1195
P15	1288	218	1506	15	485
P16	1372	236	1608	15	645
P12	864	93	957	7	302
P10	285	122	407	7	237
P17	453	180	633	7	345
P18	393	94	487	11	247
P19	384	74	458	11	210
P20	959	133	1092	10	323
S17	462	229	691	17	587
S18	270	167	437	16	284
S19	1143	377	1520	16	711
S20	488	168	656	7	168
Somma dei massimi			33106		12825
MAX contemp.			28106	15	

Project : Villino Unifamiliare

Project Ref : 012-2023

System : Default System 0

Design Conditions: 27,0°C DB, 19,0°C WB / 35,0°C DB

Total Pipe Run : 122,0m of 1000,0m

Total Connected Indoor Units : 14

Total Actual Cooling : 40,48 kW / 34,85 kW

Total Required Cooling : 35,60 kW / 29,60 kW

Connected Capacity : 482 / 520

Diversity Factor : 0%

Additional Refrigerant : 8,1 kg

Total refrigerant amount : 19,6 kg

Total weight of CO2 equivalent : 41 t

Max.Cont. = 28 kW

Tot. Loc. = 33 kW

Tot. Req. = 35,6

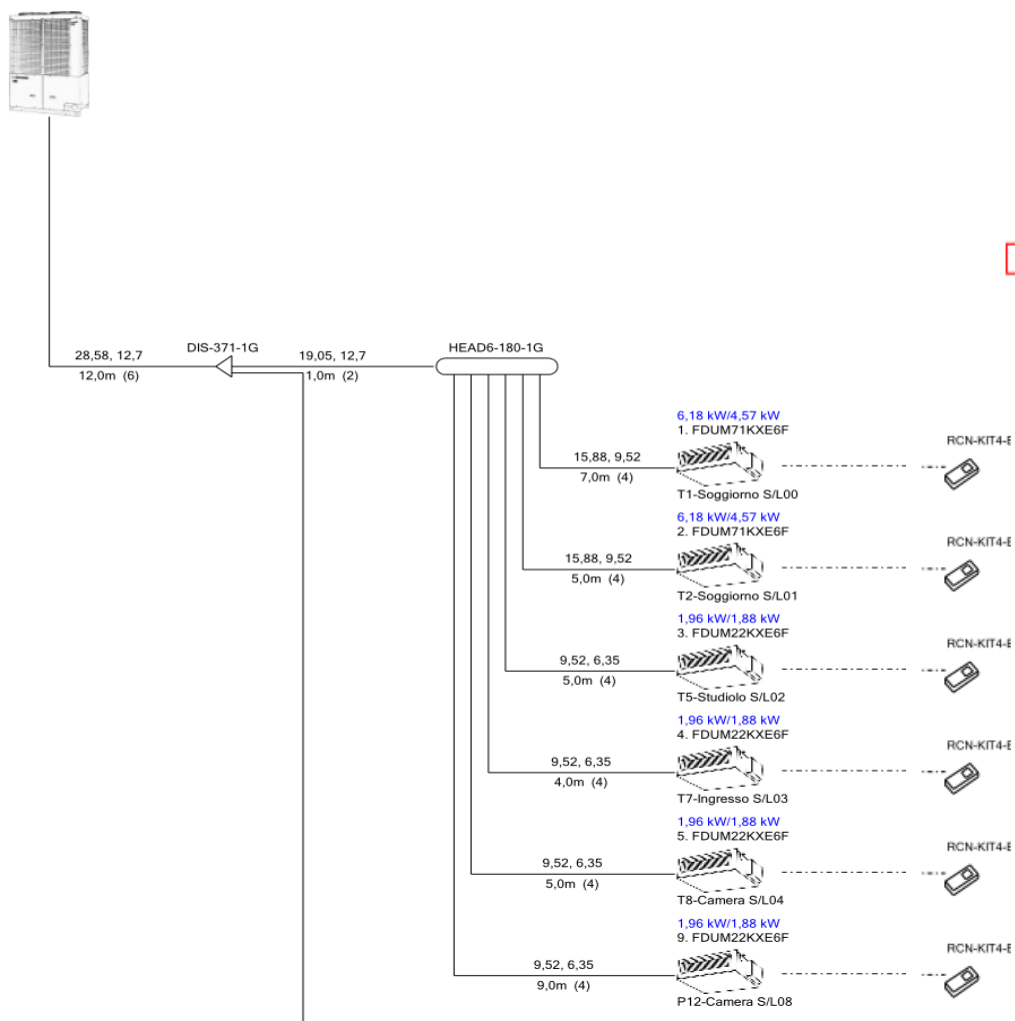
Size PdC = 40,48 kW

28,1 → 35,6 → +26,7%



Caso Studio

Funzionale impianto VRV

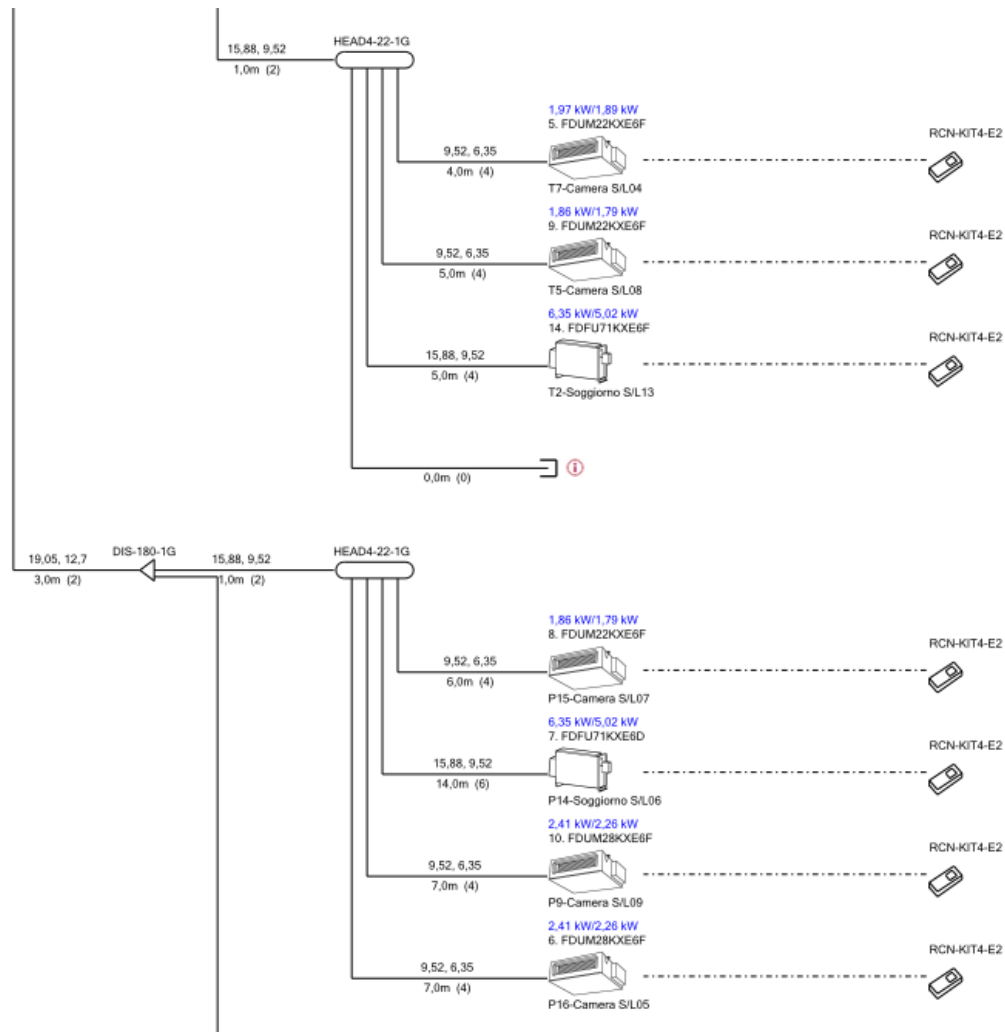


Project : Villino Unifamiliare
Project Ref : 012-2023
System : Default System 0
Design Conditions: 27,0°C DB, 19,0°C WB / 35,0°C DB
Total Pipe Run : 85,0m of 1000,0m
Total Connected Indoor Units : 13
Total Actual Cooling : 39,91 kW / 33,84 kW
Total Required Cooling : 35,10 kW / 29,30 kW
Connected Capacity : 451 / 800
Diversity Factor : 0%
Additional Refrigerant : 6,8 kg
Total refrigerant amount : 18,3 kg
Total weight of CO2 equivalent : 38,19 t



Caso Studio

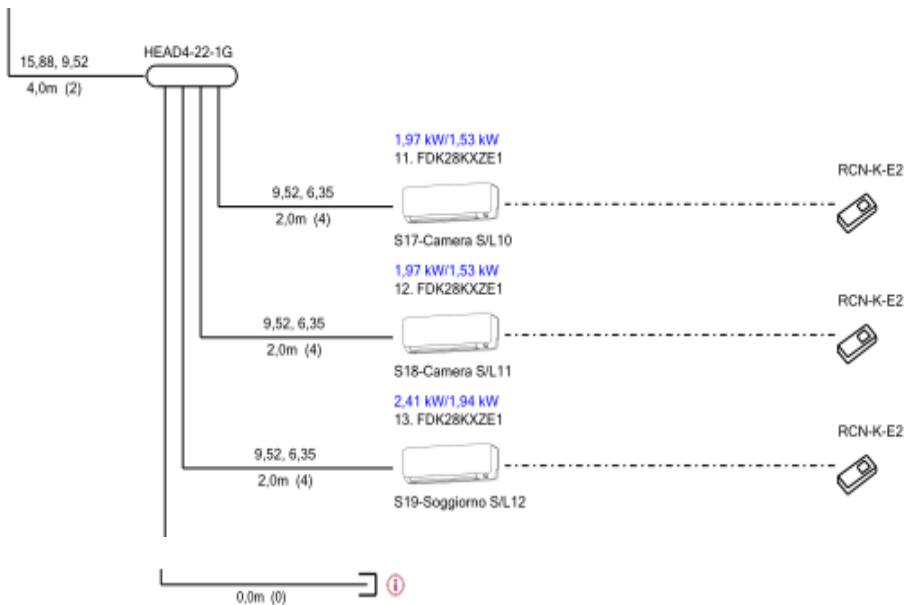
Funzionale impianto VRV





Caso Studio

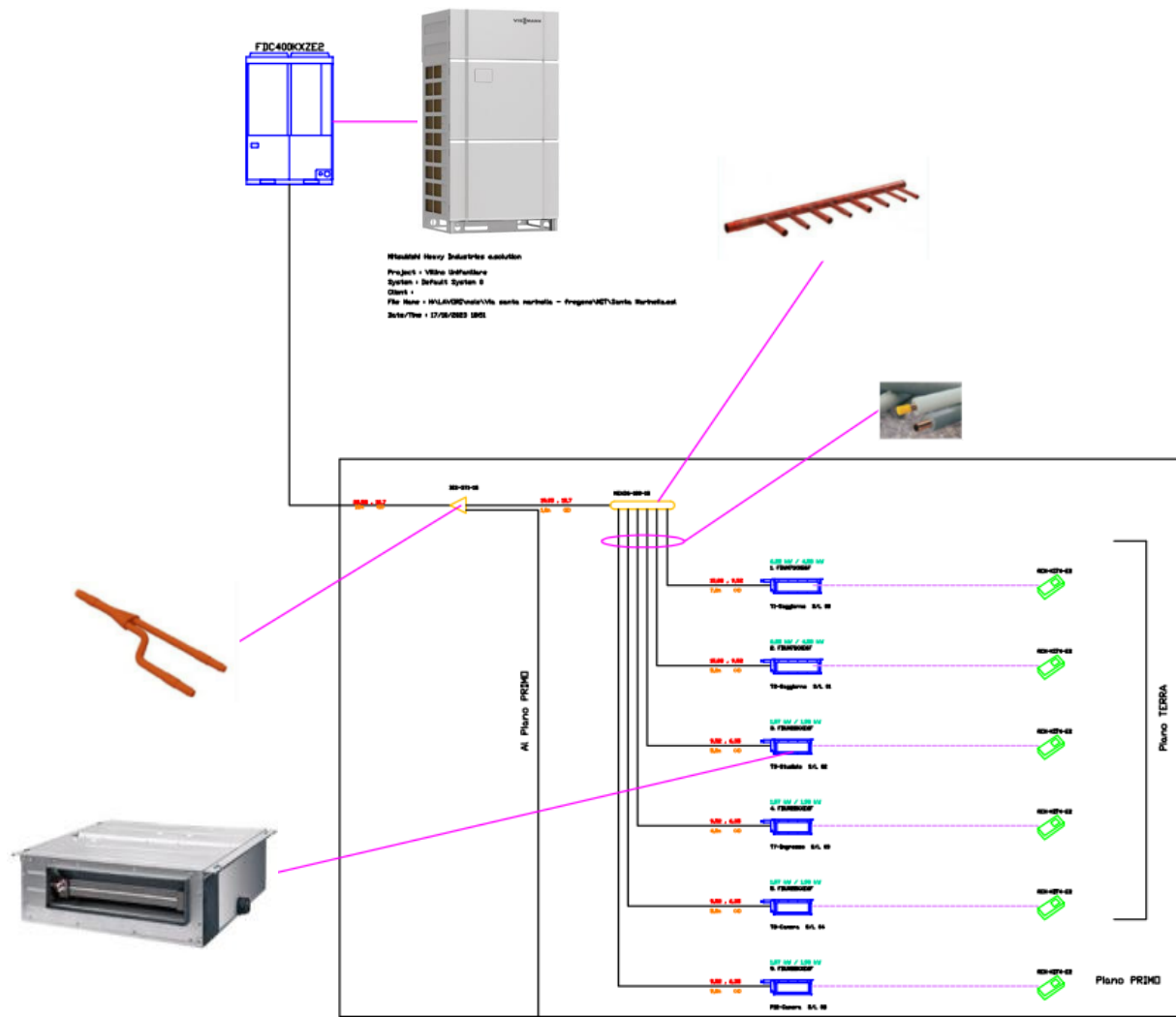
Funzionale impianto VRV



S. Int.	Imperial.
mm	in
3,18	1/8"
3,97	5/32"
4,76	3/16"
6,35	1/4"
7,94	5/16"
9,52	3/8"
12,7	1/2"
15,87	5/8"
19,06	3/4"
22,23	7/8"
24,4	1"
28,57	1-1/8"
34,92	1-3/8"
41,27	1-5/8"
53,97	2-1/8"
66,67	2-5/8"
79,37	3-1/8"
88,9	3-1/2"
92,07	3-5/8"
104,8	4-1/8"



Funzionale Impianto VRV







Caso Studio

Funzionale impianto VRV

Project : Villino Unifamiliare
Project Ref : 012-2023

System : Default System 0
Temperature Conditions (cooling)
outdoor dry bulb
35,0°C

indoor wet bulb
19,0°C

Temperature Conditions (heating)
outdoor wet bulb
2,0°C

indoor dry bulb
20,0°C

Unit	Room	Model	Nominal Capacity (kW)			Actual Capacity (kW)			Indoor Unit Position (m)		Actual Length (m)	Piping Length (m)	Address		
			Total	Sensible	Heating	Total	Sensible	Heating					S/L	O/U	I/U
		FDC400KXZE2	40,00	-	45,00	39,91	-	38,79					1	00	-
1	T1-Soggiorno	FDUM71KXE6F	6,55	4,72	7,27	6,18	4,57	5,95	Above	3,0	20,0	20,0	1	00	00
2	T2-Soggiorno	FDUM71KXE6F	6,55	4,72	7,27	6,18	4,57	5,95	Above	3,0	18,0	18,0	1	00	01
3	T5-Studiolo	FDUM22KXE6F	2,08	2,00	2,35	1,96	1,88	1,92	Above	3,0	18,0	18,0	1	00	02
4	T7-Ingresso	FDUM22KXE6F	2,08	2,00	2,35	1,96	1,88	1,92	Above	3,0	17,0	17,0	1	00	03
5	T8-Camera	FDUM22KXE6F	2,08	2,00	2,35	1,96	1,88	1,92	Above	3,0	18,0	18,0	1	00	04
6	P16-Camera	FDUM28KXE6F	2,69	2,37	3,04	2,54	2,31	2,49	Above	6,0	23,0	23,0	1	00	05
7	P14-Soggiorn	FDUM71KXE6F	6,55	4,72	7,27	6,18	4,57	5,95	Above	6,0	19,0	19,0	1	00	06
8	P15-Camera	FDUM22KXE6F	2,08	2,00	2,35	1,96	1,88	1,92	Above	6,0	22,0	22,0	1	00	07
9	P12-Camera	FDUM22KXE6F	2,08	2,00	2,35	1,96	1,88	1,92	Above	6,0	22,0	22,0	1	00	08
10	P9-Camera	FDUM28KXE6F	2,69	2,37	3,04	2,54	2,31	2,49	Above	6,0	23,0	23,0	1	00	09
11	S17-Camera	FDUM22KXE6F	2,08	2,00	2,35	1,96	1,88	1,92	Above	10,0	21,0	21,0	1	00	10
12	S18-Camera	FDUM22KXE6F	2,08	2,00	2,35	1,96	1,88	1,92	Above	10,0	21,0	21,0	1	00	11
13	S19-Soggiorn	FDUM28KXE6F	2,69	2,37	3,04	2,54	2,31	2,49	Above	10,0	21,0	21,0	1	00	12
TOTAL			42,28	35,25	47,38	39,91	33,84	38,79							

Outdoor Unit	380v	415v
Running Current (A)	17,60/16,70	16,30/15,50
Power (%)	95/93	94/92
Inrush Current (A)	5,00	
Max Current (A)	32	
Input (kW)	10,98/10,23	

Indoor Units (Cool/Heat)	220v	240v
Total Input (kW)	1,60/1,60	1,60/1,60
Total Running Current (A)	7,33/7,33	6,69/6,69

Electrical schematic diagrams are for guidance only.

Electrical installations must comply with statutory regulations.



Caso Studio

Funzionale impianto VRV

System Materials List

Project : Villino Unifamiliare
Project Ref : 012-2023
System : Default System 0

Outdoor Unit	Qty
FDC400KXZE2	1

Indoor Unit	Qty
FDUM71KXE6F	3
FDUM22KXE6F	7
FDUM28KXE6F	3

Branch	Qty
DIS-371-1G	1
DIS-180-1G	1

Header	Qty
HEAD6-180-1G	1
HEAD4-22-1G	2

Remote Controllers	Qty
RCN-KIT4-E2	13

Additional Refrigerant	6,8 kg
------------------------	--------

Pipe Diameter	Total Length (m)
6,35mm	49,0
9,52mm	69,0
12,7mm	16,0
15,88mm	20,0
19,05mm	4,0
28,58mm	12,0



GRAZIE PER L'ATTENZIONE

Relatore: Ing. Stefano Caroli
stcaroli@hotmail.com – 392-9866236