

Know-how
Tecnica del freddo

Be sure. **testo**



Know-how Testo sulla tecnica del freddo in 3 moduli.

Capire gli impianti frigoriferi. Nozioni fondamentali e componenti principali della tecnica del freddo.
Misurare correttamente gli impianti frigoriferi.

Indice

Modulo 1: Capire gli impianti frigoriferi	4
1.1 Indicatori dell'efficienza di un impianto frigorifero	4
1.2 Criteri per l'uso pratico dei refrigeranti	5
1.3 Valutare i refrigeranti	7
a) Il valore GWP	7
b) Il valore TEWI	8
1.4 Progettare e gestire in modo efficiente un impianto frigorifero	9
Modulo 2: Nozioni fondamentali e componenti principali della tecnica del freddo	10
2.1 Termodinamica	10
2.2 I quattro componenti principali del ciclo frigorifero a compressione	10
2.2.1 L'evaporatore	11
2.2.2 Il condensatore	13
2.2.3 Il compressore	15
2.2.4 L'organo di espansione	16
2.5 Altri importanti componenti nel ciclo frigorifero	18
Modulo 3: Misurare correttamente gli impianti frigoriferi	19
3.1 Misurare e valutare i principali parametri	19
3.2 Sottoraffreddamento	20
3.3 Surriscaldamento	22

Modulo 1: Capire gli impianti frigoriferi

Gli impianti frigoriferi sono diventati indispensabili in vari settori della nostra vita quotidiana. Garantiscono la climatizzazione ottimale negli edifici, raffreddano i processi industriali e ci permettono di conservare più a lungo e di congelare i generi alimentari. I vantaggi degli impianti frigoriferi sono però legati a un notevole consumo di risorse che aumenta sempre di più in tutto il mondo e inquina l'ambiente. Assume quindi un'importanza sempre maggiore saper progettare in modo professionale e gestire con la massima efficienza possibile gli impianti termoidraulici.

Un impianto frigorifero è un sistema di tubazioni chiuso e idealmente ermetico all'interno del quale circola un refrigerante. Il refrigerante è il fluido operativo di un ciclo frigorifero che ha la proprietà di assorbire calore a basse temperature e pressioni e di cedere calore ad alte temperature e pressioni. Questi cosiddetti circuiti di refrigerazione a compressione sono formati da almeno quattro componenti principali che vengono descritti più nel dettaglio qui di seguito. I materiali d'esercizio di un impianto frigorifero sono il refrigerante e l'olio presente nel compressore. La loro scelta dipende dalla destinazione d'uso e dal loro impatto sull'ambiente.

Nella valutazione e nella scelta devono confluire:

- la produzione dei componenti,
- il potenziale di pericolosità dei materiali d'esercizio in caso di perdita o avaria,
- l'energia motrice necessaria per l'erogazione del freddo e
- lo smaltimento dell'impianto al termine del suo ciclo di vita.

1.1 Indicatori dell'efficienza di un impianto frigorifero

Un buon valore comparativo è il COP (**C**oefficient **O**f **P**erformance) per le pompe di calore e l'**EER** (**E**nergy **E**fficiency **R**atio) per gli impianti frigoriferi. Questi coefficienti di prestazione rispecchiano il rapporto **costi / benefici** in uno speciale punto di lavoro dell'impianto in un determinato momento.

Se si desidera invece considerare l'efficienza dell'impianto frigorifero lungo tutto un anno, è sicuramente più espressivo il coefficiente **SEER (Seasonal Energy Efficiency Ratio)**. In questo caso nella valutazione confluiscono, oltre all'esercizio a pieno carico e alle condizioni di progetto, anche l'esercizio a carico parziale dell'impianto frigorifero. A causa delle condizioni climatiche estremamente variabili che si incontrano nel corso di un anno, la valutazione del carico parziale è oltremodo importante.

Un'efficiente regolazione delle prestazioni della refrigerazione (convertitore di frequenza per regolare la potenza del compressore e il numero di giri del condensatore o dei ventilatori dello scambiatore) è un must! Un utilizzo supplementare e integrativo degli accumulatori termici (ad es. accumulatori di ghiaccio) può compensare i carichi parziali o i picchi di carico estremi e garantire una maggiore sicurezza operativa e una migliore disponibilità dell'impianto.

1.2 Criteri per l'uso pratico dei refrigeranti

Teoricamente molte sostanze possono essere utilizzate come refrigerante. Tuttavia non tutto ciò che è possibile è anche consentito e opportuno: diversi requisiti di sicurezza, la tecnica disponibile nell'impianto e aspetti ambientali limitano fortemente questa scelta. Adatti per l'uso pratico sono solo quei materiali d'esercizio (nel nostro caso refrigeranti) che soddisfano determinati criteri quando vengono utilizzati in un circuito di refrigerazione chiuso.

Criteri per la scelta di un refrigerante

- Alle temperature di evaporazione desiderate, la **pressione del vapore** si trova al di sopra della pressione atmosferica.
- L'**entità della pressione di condensazione** non richiede una resistenza alla pressione superiore alla media dei componenti e delle tubazioni (ad es. max. $p_{ec} = 25$ bar con temperatura esterna di $+35$ °C). Fanno eccezione i cosiddetti refrigeranti per alte pressioni come R-410A o R-744.
- Il vapore surriscaldato aspirato dal compressore presenta **un volume basso alle condizioni di aspirazione**, per mantenere compatto il compressore (cilindrata).
- **Compatibilità** con i materiali comunemente utilizzati nella tecnica del freddo.
- **Minore inquinamento ambientale possibile** in fase di produzione e di smaltimento del refrigerante.
- **Manipolazione sostanzialmente sicura** per il tecnico o il personale del servizio di assistenza.

Questo elenco è solo una selezione delle principali caratteristiche. Attualmente non esiste nessun refrigerante che può essere considerato ideale per qualsiasi applicazione. Di conseguenza occorre sempre trovare un giusto compromesso.

Negli ultimi anni hanno assunto un'importanza sempre più alta i refrigeranti naturali, non per ultimo dopo l'entrata in vigore di leggi più severe in tutto il mondo (come ad es. il regolamento sui gas fluorati a effetto serra dell'UE nel 2014). Tra questi rientrano, oltre all'anidride carbonica (R-744), soprattutto gli idrocarburi come l'isobutano (R-600A) e il propano (R-290). Soprattutto nella refrigerazione industriale si è affermata da molti anni l'ammoniaca (R-717).

Sia dal punto di vista termodinamico che del bilancio climatico, i refrigeranti naturali si contraddistinguono per essere fluidi operativi durevoli ed ecologici. Queste caratteristiche positive permettono il loro impiego in settori che in alcuni casi fissano requisiti nettamente più severi alla tecnica degli impianti e ai lubrificanti. Ad es. la CO_2 e il propano vengono impiegati nel settore dei supermercati.

1.3 Valutare i refrigeranti

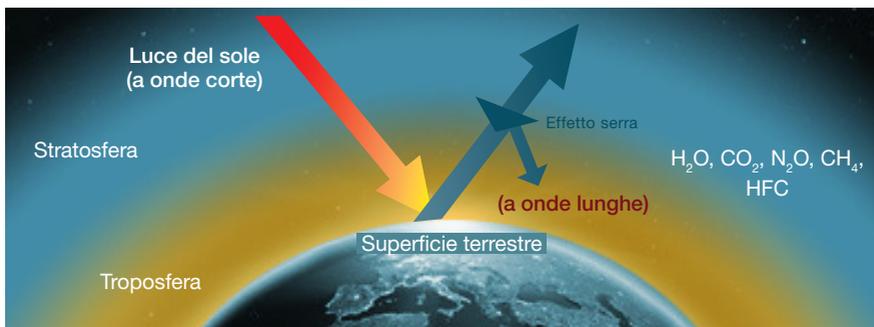
a) Il valore GWP

Il **Global Warming Potential** (in italiano: potenziale di riscaldamento globale) è un valore numerico che esprime gli effetti che esercita una sostanza sull'atmosfera e quindi il suo contributo all'effetto serra e al riscaldamento globale. Come base si usa la CO_2 , il cui potenziale di riferimento è pari a 1. Questo valore indica quanto 1 kg di un refrigerante nell'atmosfera contribuisce al riscaldamento globale rispetto a 1 kg di CO_2 .

Il valore GWP è quindi la rappresentazione di un equivalente della CO_2 .

Refrigerante	GWP
R-12	10.900
R-502	4.657
R-507A	3.985
R-404A	3.922
R-407A	2.107
R-22	1.810
R-407C	1.774
R-134a	1.430
R-32	675
R-290 (propano)	3.3
R-600a (isobutano)	3
R-1270 (propilene)	1.8
R-774 (CO_2)	1
R-717 (ammoniaca)	0

Il refrigerante R-12 esercita ad es. un effetto più forte di 10.900 volte rispetto alla CO_2 .



Valori GWP di alcuni noti refrigeranti e i loro effetti sull'atmosfera

a) Il valore TEWI

Il valore **TEWI (Total Equivalent Warming Impact)**, in italiano: impatto totale equivalente di riscaldamento) include in aggiunta anche la valutazione ecologica di un impianto.

Con questo valore è possibile descrivere l'effetto serra globale di una macchina frigorifera con ad es. svariati materiali d'esercizio (refrigeranti).

Il valore TEWI considera la somma delle emissioni dirette e indirette di gas serra. Il calcolo è particolarmente indicato per una valutazione momentanea e comparativa. I motivi ecologici citati sopra si traducono in un fabbisogno urgente di garantire un funzionamento delle

applicazioni della tecnica del freddo senza gas serra nocivi. È assolutamente necessario realizzare circuiti di refrigerazione a tenuta ermetica, in modo da evitare ampiamente una dispersione nell'ambiente dei materiali d'esercizio. Il valore TEWI descrive però anche l'energia primaria necessaria per la refrigerazione, visto che anche questa, a seconda di come viene prodotta l'energia, può contribuire all'effetto serra globale.

Per questo motivo è opportuno progettare e costruire impianti efficienti dal punto di vista energetico che, per raggiungere la capacità frigorigena desiderata, consumano la minore quantità possibile di energia primaria.

$$\text{TEWI} = (\text{GWP} \times \text{L} \times \text{n}) + (\text{GWP} \times \text{m} [1 - \alpha_{\text{recovery}}]) + (\text{n} \times \text{E}_{\text{annual}} \times \beta)$$



GWP:	Global Warming Potential	[-]
L:	tasso di perdita	[kg/a]
n:	ciclo di vita	[a]
m:	quantità di refrigerante contenuta nell'impianto	[kg]
α_r:	percentuale di recupero all'atto dello smaltimento	[-]
E_a:	consumo di energia annuo	[kWh/a]
β:	emissioni di CO ₂ causate dal consumo di energia	[kg/kWh]

Calcolo del valore TEWI

1.4 Progettare e gestire in modo efficiente un impianto frigorifero

Per garantire una buona progettazione e un esercizio efficiente degli impianti frigoriferi è necessario svolgere misure precise sugli impianti e valutarle correttamente.

Una temperatura di evaporazione più alta di 1 K o una temperatura di condensazione più bassa di 1 K causano un miglioramento del 2-3 % dei coefficienti di prestazione di un impianto frigorifero. Anche il surriscaldamento dell'evaporatore influisce notevolmente sulla quantità di calore che deve trasferire il prodotto refrigerato. Valori di surriscaldamento inutilmente alti (di norma > 8 K) o segnali di surriscaldamento instabili causano un riempimento non ottimale dell'evaporatore e quindi un indice di efficienza energetica più basso.

Durante la valutazione possono verificarsi diversi errori come ad es.:

- Precisione insufficiente degli strumenti di misura e dei loro sensori
- Errori matematici durante il calcolo dei valori caratteristici
- Errore di parallasse durante la lettura di indicatori analogici
- Distanza del sensore di misura dal punto di misura desiderato

A causa delle loro proprietà meccaniche, gli strumenti analogici a lancetta per la misura della pressione dell'impianto sono protetti solo limitatamente contro le vibrazioni e le variazioni di temperatura. Soprattutto durante il trasporto in un veicolo è praticamente impossibile evitare forti sollecitazioni. Inoltre, in caso di nette variazioni della pressione atmosferica (ad es. causate da diverse altitudini) è necessaria una correzione manuale. Gli strumenti elettronici come il manifold testo 550 combinano una misura ultra-precisa della pressione con la visualizzazione dei risultati in forma chiara e digitale. Così è praticamente esclusa qualsiasi interpretazione errata.

Modulo 2: Nozioni fondamentali e componenti principali della tecnica del freddo

2.1 Termodinamica

Il **1° principio fondamentale della termodinamica** afferma in forma semplificata che l'energia non viene persa, ma solo convertita in un'altra forma di energia. Questo fondamento è importante soprattutto quando si considerano i flussi di energia nella tecnica del freddo e del clima. I bilanci energetici devono quindi essere convincenti.

Nel corso di una considerazione semplificata è possibile rilevare che all'energia termica assorbita dall'evaporatore deve ancora essere aggiunto circa $\frac{1}{3}$ sotto forma di potenza di trasmissione del compressore. Questa energia totale deve poi essere di nuovo ceduta sul lato alta pressione dell'impianto frigorifero o, idealmente, continuare a essere utilizzata (utilizzo del calore residuo o recupero del calore).

Il **2° principio fondamentale della termoidraulica** non è meno importante nella tecnica del freddo. Esso afferma che per vie naturali l'energia (termica) viene sempre trasmessa da un corpo più caldo a un corpo più freddo. Se si impiega un'energia supplementare, si può però ottenere anche l'effetto inverso, come dimostra ad es. il flusso di energia totale di una pompa di calore

geotermica. Qui viene utilizzata l'energia proveniente dal terreno freddo per riscaldare. I singoli trasferimenti di energia seguono però sempre lo stesso principio: **"da caldo a freddo!"**

Il **3° principio fondamentale della termoidraulica** è strettamente legato al 2° principio. Se per vie naturali il calore scorre sempre da un corpo caldo a un corpo freddo, ne risulta che è impossibile raggiungere lo zero assoluto, perlomeno con mezzi termodinamici. Allo zero assoluto (0 K o $-273,15\text{ °C}$) le molecole e gli atomi di un sistema sono tutte allo stato fondamentale (ovvero il più basso livello di energia possibile).

2.2 I quattro componenti principali del ciclo frigorifero a compressione

In generale il ciclo frigorifero a compressione può essere definito con 4 componenti principali:

- 1) Evaporatore
- 2) Condensatore
- 3) Compressore
- 4) Organo di espansione

Il grafico illustra questi componenti principali nel circuito di refrigerazione. Nel grafico viene rappresentato un processo ciclico sinistrorso in cui il refrigerante circola all'interno di un circuito chiuso e cambia due volte il suo stato di aggregazione.

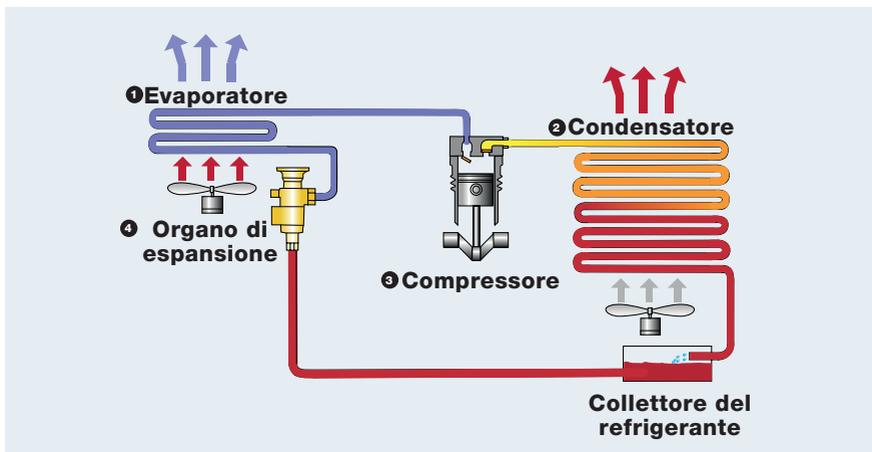
2.2.1 L'evaporatore

Un componente molto importante del circuito di refrigerazione è l'evaporatore, che rappresenta una sorta di "interfaccia" tra l'impianto frigorifero e la sostanza da raffreddare.

Esistono vari tipi di evaporatori:

- Scambiatore di calore a pacco lamellare: la sostanza da raffreddare è ad es. l'aria.
- Scambiatore di calore a piastre o a fascio tubiero: per raffreddare i liquidi.
- Evaporatore a contatto: per la trasmissione di calore tra sostanze solide.

In tutti i tre modelli il flusso di calore è identico: **da "caldo" a "freddo"**. Il refrigerante giunge a bassa pressione (pressione di aspirazione) per lo più ancora allo stato liquido nell'evaporatore. Qui evapora assorbendo calore che, in uno scenario ideale, proviene completamente dalla sostanza da raffreddare.



Schema di un semplice circuito di refrigerazione

L'obiettivo è quello di iniettare una sufficiente quantità di refrigerante nell'evaporatore, in modo che l'energia proveniente dalla sostanza da raffreddare sia sufficiente per il passaggio completo dallo stato liquido allo stato gassoso. Un leggero surriscaldamento del vapore nell'ultimo tratto dell'evaporatore funge da necessario sistema di regolazione per gli organi di iniezione. Nello stesso tempo si garantisce che ad es. in caso di variazioni di carico non possano verificarsi infiltrazioni di liquido nel compressore. I componenti evaporatore e organo di espansione devono quindi essere ben sintonizzati uno con l'altro.

Questa sintonia influisce nettamente sull'efficienza e la sicurezza dell'impianto. I parametri per un'evaporazione effettiva sono la giusta temperatura di evaporazione così come il surriscaldamento dell'evaporatore. Entrambi i valori possono essere misurati in modo sicuro con l'aiuto di un manifold digitale. Il processo di refrigerazione viene di norma controllato da un termostato che disattiva il punto di raffreddamento o anche l'intero impianto frigorifero. Uno **sbrinamento** necessario nell'evaporatore rappresenta un'altra interruzione nel punto di raffreddamento.

Consigli per lo sbrinamento

- **Non troppo presto:** perché nessuna brina o una formazione di brina troppo scarsa significano un'inutile irradiazione di calore e un'interruzione della refrigerazione.
- **Non troppo tardi:** perché una formazione eccessiva di brina nell'evaporatore peggiora notevolmente il trasporto del calore.
- **Non più del necessario:** perché il calore eccessivo prodotto dal riscaldamento per lo sbrinamento deve essere di nuovo dissipato dall'impianto frigorifero.
- **Più efficiente possibile:** non sbrinare con resistenze separate in un raffreddatore ad aria, ma sfruttare il calore di condensazione "proprio" dell'impianto dall'"interno verso l'esterno" (sbrinamento con vapore surriscaldato o vapore freddo, funzione commutabile) e fare in modo che il prodotto refrigerato possa utilizzare il necessario calore di fusione della brina.
- **Controllato:** sbrinare con l'aiuto di regolatori intelligenti o di un comando a distanza; sistemare una sonda di fine sbrinamento in posizione corretta nell'evaporatore.
- **Ben pianificato:** lo sbrinamento deve essere svolto quando necessario.

Negli evaporatori a pacco lamellare, il convogliamento dell'aria da parte dei ventilatori è un aspetto importante per la valutazione dell'efficienza dello scambiatore di calore.

Inoltre è necessario adattare la gittata del ventilatore e la portata volumetrica dell'aria in base ai requisiti del prodotto refrigerato. Attraverso un'accensione/spengimento intelligenti dei ventilatori durante le fasi di arresto, tra le altre cose è possibile:

- aumentare la qualità del prodotto refrigerato
- rimandare la necessità di uno sbrinamento
- migliorare il bilancio energetico dell'impianto frigorifero

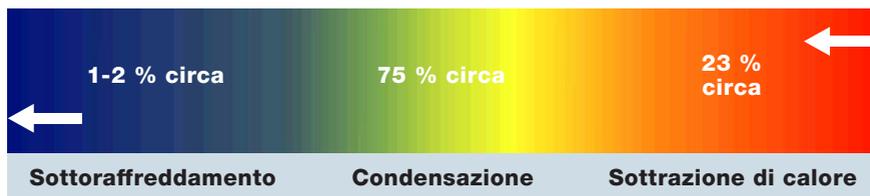
2.2.2 Il condensatore

Il compito del condensatore di un impianto frigorifero è quello di dissipare l'energia termica assorbita dal prodotto refrigerato e in massima parte la potenza elettrica assorbita dal compressore durante il processo di compressione. La potenza del condensatore è circa 1,3 volte superiore rispetto a quella dell'evaporatore (valore orientativo). Esattamente come l'evaporatore, anche il condensatore può essere realizzato a pacco

lamellare, essere raffreddato da un fluido o cedere il suo calore a una sostanza solida. L'utilizzo del calore per un ulteriore processo (utilizzo del calore residuo / recupero del calore) deve sempre essere posto al centro di una progettazione efficiente dal punto di vista energetico. Il refrigerante gassoso surriscaldato sotto alta pressione viene condensato tramite cessione di calore.

Principalmente un condensatore è suddiviso in tre zone:

- la zona di sottrazione del calore
- la zona di condensazione
- la zona di sottoraffreddamento



Andamento e percentuali delle singole zone presenti nel condensatore

Lo spazio maggiore viene occupato dalla condensazione del refrigerante. Nella prima fase e dopo la compressione, il vapore surriscaldato del refrigerante viene raffreddato alla necessaria temperatura di condensazione. In questo momento nel condensatore si forma la prima goccia di refrigerante liquido. Con l'ulteriore cessione di calore all'ambiente, questa goccia diventa sempre più grande, fino a quando il vapore non è più presente. A questo punto, se la costruzione del condensatore lo permette, può avvenire un leggero sottoraffreddamento del refrigerante.

In questa fase è importante la massima pulizia delle superfici di trasmissione del calore, soprattutto nei condensatori raffreddati ad aria. In presenza di sporco, la trasmissione di calore peggiora e con lei anche l'efficienza dello scambiatore di calore. A sua volta questo causa un calo dei coefficienti di prestazione, una minore disponibilità dell'impianto o addirittura un guasto dell'impianto frigorifero.

Lo sfruttamento dell'energia termica non è solo un must per la progettazione di impianti nuovi, ma rappresenta anche un'opportuna integrazione negli impianti esistenti. Di norma il calore utilizzato per lo sbrinamento può essere utilizzato (in modo molto efficiente e vantaggioso!) per riscaldare un ambiente, per riscaldare l'acqua potabile o per un altro processo tecnico. Dal punto di vista energetico, per riscaldare un ambiente o l'acqua potabile è particolarmente efficiente utilizzare solo l'energia termica disponibile in quella situazione momentanea senza bisogno di ulteriori interventi (ad es. aumento della pressione). In caso di esercizio discontinuo di un impianto frigorifero conviene anche l'utilizzo di accumulatori tampone. Per motivi igienici, l'acqua potabile calda non dovrebbe essere accumulata, ma solo riscaldata quando necessario nei cosiddetti scaldacqua istantanei.

2.2.3 Il compressore

All'interno del circuito di refrigerazione, il compressore è il componente che consuma la maggior quantità di energia.

Quando si progetta un impianto, tutti gli sforzi dovrebbero essere rivolti a un uso efficiente del compressore.

Generalmente esistono tre tipi di compressori:

- **Compressore completamente ermetico:**

compressore incapsulato ermeticamente, prestazioni più basse, il motore elettrico e il compressore non sono accessibili dall'esterno, il motore elettrico viene raffreddato dal vapore aspirato freddo (raffreddamento a vapore aspirato) e/o dall'olio (raffreddamento a olio).

- **Compressore semiermetico:**

prestazioni medio-alte, il motore elettrico e il compressore sono collegati in modo solidale uno all'altro nel corpo, il motore viene raffreddato dal vapore aspirato freddo o da un ventilatore integrato, il motore elettrico può essere sostituito e le piastre delle valvole del compressore sono accessibili per gli interventi di manutenzione.

- **Compressore aperto:**

di norma il compressore e il motore sono collegati insieme da un albero o in forma magnetica. Il refrigerante non passa attraverso il motore elettrico, ma viene aspirato direttamente dal compressore, possibile la flangiatura a un riduttore, anche in questo caso le piastre delle valvole del compressore sono accessibili per gli interventi di manutenzione. Il motore elettrico viene raffreddato in modo attivo o passivo dall'aria atmosferica.

All'interno del circuito di refrigerazione, il compressore ha il compito di aspirare il vapore surriscaldato dalla tubazione di aspirazione (pressione di aspirazione) e di comprimerlo al livello di alta pressione. Questo livello, che risulta dal rapporto tra la potenza del condensatore alle relative condizioni ambientali e il carico attuale dell'impianto, varia costantemente. Variazioni di carico e oscillazioni stagionali causate da giorno/notte o da temperature annue più alte/basse sono solo alcuni dei fattori d'influenza.

Di conseguenza, la cosiddetta corsa di compressione del compressore e quindi anche il carico e l'efficienza sono variabili. Specialmente in caso di basse temperature esterne c'è il pericolo che la potenza di un condensatore raffreddato ad aria aumenti a dismisura. In questo caso è necessario un idoneo sistema di regolazione della potenza. La possibilità più semplice è una regolazione dei giri dei ventilatori controllata dalla frequenza. Negli impianti frigoriferi che possono spegnersi per lunghi intervalli di tempo in presenza di basse temperature, deve inoltre essere installato un sistema di regolazione della pressione del collettore. Diventa così possibile evitare un funzionamento a impulsi del compressore o un guasto nel sistema a bassa pressione all'avvio.

Durante la compressione del vapore surriscaldato aspirato, il vapore continua a surriscaldarsi nettamente. A seconda del refrigerante possono essere raggiunte temperature di oltre +100 °C all'attacco di pressione del compressore. Queste temperature richiedono pertanto anche oli speciali nel compressore, perché non devono perdere le loro proprietà lubrificanti neanche alle basse temperature di evaporazione.

2.2.4 L'organo di espansione

All'interno di un impianto frigorifero o di condizionamento, l'organo di espansione ha l'importante compito di iniettare nell'evaporatore una quantità di refrigerante liquido tale da far evaporare la maggiore quantità possibile di refrigerante al suo interno. Per farlo, il refrigerante che evapora ha bisogno di molta energia che viene sottratta al prodotto refrigerato. I modelli più diffusi sono

- tubo capillare
- valvola di espansione automatica
- valvola di espansione termostatica
- valvola di espansione a comando elettrico

Il **tubo capillare** è l'organo di strozzamento più semplice. Esso viene calcolato con precisione dal costruttore dell'impianto; di norma viene controllata anche la portata. La lunghezza e il diametro interno, che sono variabili, permettono di ottenere la pressione dinamica desiderata. Si tratta di un soluzione molto economica che però funziona in modo ottimale solo nelle condizioni di progetto. Questa tipologia di organo di espansione si trova quindi spesso ad es. nei frigoriferi.

La **valvola di espansione automatica** (meglio: valvola di espansione a pressione costante) viene utilizzata più raramente, perché tenta esclusivamente di mantenere costante la pressione di evaporazione. Queste valvole dovrebbero essere utilizzate solo negli impianti con variazioni di carico occasionali.

La **valvola di espansione termostatica** è momentaneamente ancora la soluzione standard utilizzata negli impianti frigoriferi industriali. Rispetto alla valvola di espansione a pressione costante, questa mantiene costante esclusivamente il tratto di surriscaldamento nell'evaporatore. Affinché questo tratto risulti più corto possibile, è particolarmente importante una regolazione precisa della valvola di espansione termostatica. In caso di variazioni di carico, varia il tratto di surriscaldamento nell'evaporatore e quindi anche la temperatura del vapore surriscaldato all'uscita dell'evaporatore. Questa è la grandezza di regolazione e la valvola varia solo la quantità di refrigerante iniettata. Modificando la pressione iniziale (alta pressione) a monte della valvola di espansione termostatica e modificando la temperatura del fluido refrigerante (sottoraffreddamento), le prestazioni della valvola possono

tuttavia cambiare notevolmente. Questa circostanza deve essere considerata in fase di progettazione dell'impianto!

La **valvola di espansione a comando elettrico** (chiamata spesso anche valvola di espansione elettronica) vanta la migliore qualità di controllo tra gli organi di espansione citati. L'obiettivo è quello di adattare in modo ottimale, con l'aiuto dell'energia ausiliaria (comando elettrico), il rapporto di surriscaldamento nell'evaporatore, da un lato in modo molto più preciso e, dall'altro, anche in presenza di variazioni di carico. Esistono sostanzialmente due tipologie di comandi: la modulazione di ampiezza di impulso e l'azionamento costante da parte di un motore passo-passo. Con la modulazione di ampiezza di impulso, una specie di valvola elettromagnetica viene comandata tramite impulsi. L'ampiezza di impulso è di norma pari a 6 secondi. Il tempo durante il quale la valvola rimane aperta durante questo intervallo viene deciso dal regolatore d'iniezione di livello superiore sulla base delle informazioni ricevute da diverse sonde nel e intorno all'evaporatore.

A causa della portata massica discontinua, queste valvole sono indicate meglio nei cosiddetti **impianti multicircuito** (più punti di raffreddamento in un circuito di refrigerazione). Qui il dimensionamento della tubazione del fluido è molto importante, perché consente di evitare colpi d'ariete. Le valvole di espansione a comando elettrico, che vengono azionate e regolate da un motore passo-passo, sono spesso la scelta migliore per gli impianti frigoriferi più esigenti. Esse iniettano continuamente il refrigerante liquido nell'evaporatore. Dal momento che il relativo regolatore elettronico controlla costantemente e se necessario corregge il livello di riempimento ottimale dell'evaporatore, queste valvole sono la soluzione ideale con condizioni di carico variabili.

2.5 Altri importanti componenti nel ciclo frigorifero

Il **collettore di refrigerante** ha il compito non solo di garantire una scorta sufficiente di refrigerante liquido per gli organi di espansione, ma anche quello di separare le eventuali bolle di vapore presenti nella condotta della condensa dal liquido. Per quanto riguarda la scelta della forma, è preferibile il **collettore verticale** rispetto a quello orizzontale. I

collettori verticali hanno una colonna di liquido più alta, quindi una migliore possibilità di controllare il livello di riempimento, e inoltre un guadagno in termini di sottoraffreddamento.

L'**essiccatore di refrigerante** – integrato nella tubazione del fluido – ha il compito di eliminare l'umidità residua dall'impianto. L'eventuale umidità residua presente, in combinazione con il refrigerante, l'olio e il calore, può formare un acido che attacca tra l'altro il filo di rame smaltato del compressore. Con l'uso di appositi additivi, è inoltre possibile ridurre al minimo il tasso di acidità nel circuito. Una cartuccia del filtro impedisce che corpi estranei come trucioli o impurità riescano a raggiungere la valvola elettromagnetica o la valvola di espansione. Dopo ogni intervento nel circuito di refrigerazione, questo filtro-essiccatore deve essere sostituito.

La **finestrella di ispezione** permette di gettare uno sguardo nella corrente di refrigerante. Se la finestrella di ispezione è montata direttamente a monte della valvola di espansione, consente di individuare facilmente un'eventuale pre- evaporazione causata da forti cadute di pressione nella tubazione del fluido così come un sottoraffreddamento insufficiente o una mancanza di refrigerante.

Modulo 3: Misurare correttamente gli impianti frigoriferi

3.1 Misurare e valutare i principali parametri

Per un'analisi completa dell'impianto e una regolazione corretta di un impianto di frigorifero o di condizionamento sono indispensabili valori misurati precisi e un know-how specialistico. Solo così è possibile rilevare e valutare le modalità operative e i parametri determinanti.

I principali parametri da misurare sono tra l'altro:

- Il **surriscaldamento dell'evaporatore**: per un riempimento ottimale dell'evaporatore e per il controllo del surriscaldamento attuale della valvola di espansione.
- Il **surriscaldamento del vapore aspirato**: per un esercizio del compressore nel quadro della sua curva di funzionamento, ad es. per garantire il raffreddamento del vapore aspirato ed evitare così una possibile cokefazione dell'olio.
- Il **funzionamento di uno scambiatore di calore interno liquido/vapore aspirato**: per verificare l'entità del sottoraffreddamento supplementare e del surriscaldamento causati dall'impiego di uno simile scambiatore di calore.

- La cosiddetta differenza di temperatura **trainante** nello scambiatore di calore: per migliorare o rivalutare l'efficienza dello scambiatore di calore.

Importante durante la messa in funzione di impianti frigoriferi

Quando viene messo in funzione un impianto frigorifero, le impostazioni fatte durante la messa in funzione rimangono spesso invariate per lunghi periodi di tempo. Un'impostazione sbagliata o imprecisa del surriscaldamento potrebbe quindi danneggiare il compressore.

- Valori di surriscaldamento **troppo bassi** possono causare un'erosione dei cuscinetti, una scarica fra gli avvolgimenti o la formazione di schiuma nell'olio.
- Valori di surriscaldamento **troppo alti** possono causare tra l'altro prestazioni ridotte, un congelamento eccessivo nell'evaporatore e quindi tempi di sbrinamento più lunghi.

L'efficienza dell'impianto e il bilancio ecologico peggiorano nettamente, il cliente è insoddisfatto e gli interventi di assistenza inutili si moltiplicano.

Importante durante gli interventi di assistenza

Durante gli interventi di assistenza è spesso determinante che il tecnico riceva soprattutto **velocemente i principali parametri dell'impianto**. Il cosiddetto manifold è lo strumento di misura più importante per il tecnico addetto all'assistenza. Questo indispensabile strumento è però spesso esposto a sollecitazioni meccaniche e termiche nel cantiere o durante il trasporto in un veicolo.

La versione analogica, cioè il classico manometro con lancette meccaniche, è particolarmente incline a fornire valori imprecisi a causa delle sollecitazioni a cui è esposto. Inoltre non consente di leggere direttamente valori fondamentali come ad es. **surriscaldamento** (v. cap. 3.2) e **sottoraffreddamento** (v. cap. 3.3). Se questi valori vengono calcolati manualmente, c'è sempre il rischio che oltre all'errore di parallasse si verifichino anche altri errori matematici.

Con un manifold digitale le cose cambiano radicalmente. Con questi strumenti è possibile rilevare **in modo parallelo e molto preciso** le pressioni dell'impianto e le relative temperature per il calcolo automatico di surriscaldamento e sottoraffreddamento. Errori di parallasse e altri errori matematici diventano così praticamente impossibili.

Il display retroilluminato, la compensazione della pressione atmosferica così come l'archiviazione dei valori misurati sono solo alcune delle altre utili funzioni che rendono l'intervento del tecnico veloce ed efficiente. Ecco perché oggi gli strumenti elettronici per la misura del freddo come il manifold digitale testo 550 rientrano ormai nella dotazione standard di qualsiasi tecnico professionista che opera nel settore termoidraulico.

3.2 Sottoraffreddamento

Principalmente, il sottoraffreddamento del refrigerante liquido si misura al meglio a monte dell'organo di espansione. I calcoli del sottoraffreddamento a valle del condensatore o a valle del collettore (verticale) sono rilevanti esclusivamente per l'analisi di sezioni parziali dell'impianto. Determinante è tuttavia lo stato di aggregazione in cui si trova il refrigerante a monte dell'organo di espansione.

Il sottoraffreddamento è un parametro di valutazione molto importante per l'efficienza di un impianto frigorifero. Quando in un secondo tempo viene integrato nel circuito di refrigerazione un sottoraffreddamento supplementare (garantito ad es. da un sottoraffreddatore esterno), tutti i componenti della tubazione del fluido devono essere controllati e corretti.

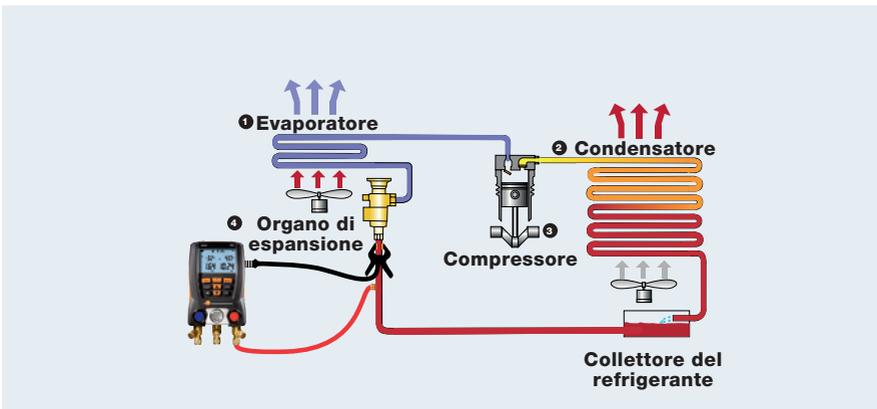
Da un lato il sottoraffreddamento consente un guadagno in termini di entalpia, aumentando così la quantità di calore che l'evaporatore è in grado di assorbire.

Dall'altro, è necessario per poter superare le cadute di pressione nella tubazione del fluido senza bisogno di una pre-evaporazione.

Nota bene

- Il sottoraffreddamento sulla superficie del fluido nel collettore è **sempre di 0 K**.
- Un sottoraffreddamento supplementare deve **sempre essere situato immediatamente a valle del collettore**.
- In un **condensatore raffreddato ad aria** le opzioni di sottoraffreddamento sono piuttosto scarse.
- L'**aumento delle prestazioni che si registra parallelamente** al sottoraffreddamento nell'organo di espansione, nella valvola elettromagnetica e nell'evaporatore deve essere considerato già nella fase di progettazione.

- **Sottoraffreddamenti molto forti** possono causare una mancata attenuazione durante l'apertura delle valvole elettromagnetiche e quindi colpi d'ariete nella tubazione del fluido.
- Per questioni fisiche, immediatamente a valle del collettore di refrigerante sono possibili solo valori molto bassi. Questi dipendono dalla **temperatura ambiente**, dalla **forma** del collettore (verticale/orizzontale), dalla presenza di un eventuale **sottoraffreddamento all'ingresso** del refrigerante nel collettore così come dall'**attuale livello di riempimento** nel collettore del refrigerante (altezza geodetica).



Rilevamento del sottoraffreddamento a monte della valvola di espansione

3.3 Surriscaldamento

Esattamente come il sottoraffreddamento, anche il surriscaldamento è uno dei principali parametri per valutare l'attuale efficienza di un impianto. Sostanzialmente occorre distinguere in quale punto del circuito di refrigerazione deve essere calcolato il surriscaldamento:

- 1) Surriscaldamento dell'evaporatore
- 2) Surriscaldamento nella tubazione di aspirazione
- 3) Surriscaldamento nel manicotto di aspirazione
- 4) Surriscaldamento nel compressore

In riferimento al punto 1)

Il **surriscaldamento dell'evaporatore** viene misurato immediatamente a valle dell'evaporatore e all'inizio della tubazione di aspirazione. Nello stesso punto si trova la sonda della valvola di espansione termostatica o del sensore di surriscaldamento della valvola di espansione a comando elettrico.

In riferimento al punto 2)

Il **surriscaldamento nella tubazione di aspirazione** si crea normalmente in seguito alle infiltrazioni di calore dall'ambiente esterno attraverso l'isolamento della tubazione di aspirazione. Di norma – e in un impianto progettato e costruito

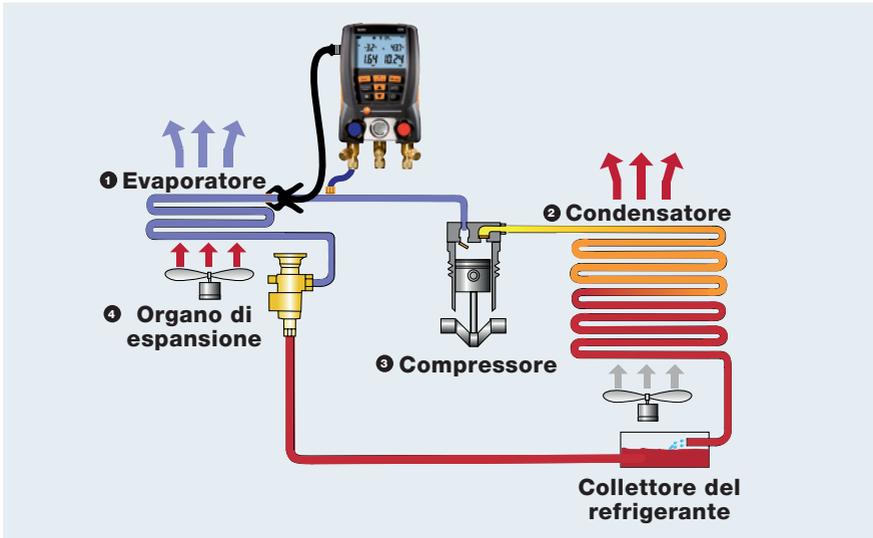
a regola d'arte – queste infiltrazioni di calore non sono gradite, perché questo calore aggiuntivo deve essere trasportato lungo il circuito di refrigerazione. Quando nella tubazione di aspirazione sono incorporati ulteriori scambiatori di calore che in qualità di cosiddetti "scambiatori interni" garantiscono un collegamento termico tra la tubazione di aspirazione e quella del fluido, si tratta in definitiva di un effetto molto positivo che contribuisce ad aumentare le prestazioni (eccetto con R-717 ed R-22).

In riferimento al punto 3)

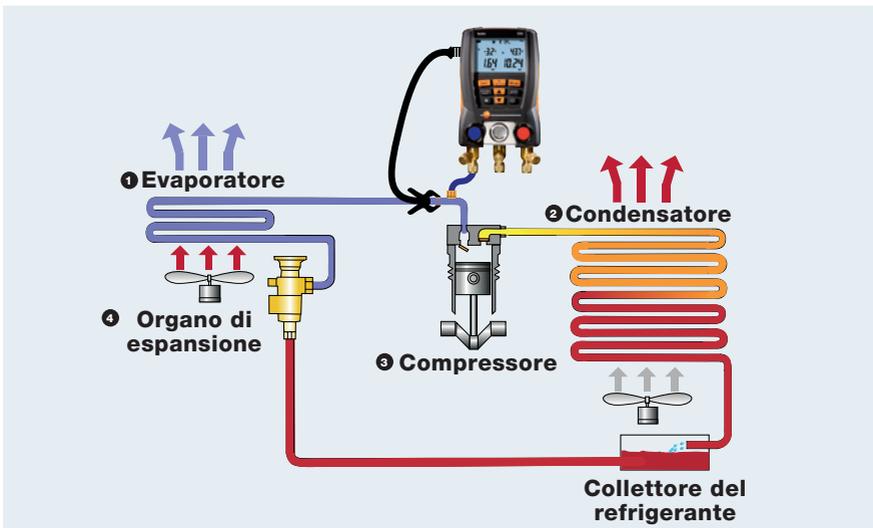
Il **surriscaldamento nel manicotto di aspirazione**, misurato direttamente a valle dell'ingresso del vapore surriscaldato aspirato nel compressore, risulta dalla somma del surriscaldamento dell'evaporatore e della tubazione di aspirazione, incluso un eventuale scambiatore di calore interno presente.

In riferimento al punto 4)

Il **surriscaldamento supplementare** presente nel compressore è praticamente impossibile da misurare e quindi non ha alcuna importanza per l'assistenza. Questo surriscaldamento viene provocato in massima parte dal raffreddamento del vapore aspirato del compressore e varia di marca in marca.



Determinazione del surriscaldamento dell'evaporatore



Determinazione del surriscaldamento del manicotto di aspirazione

