

# Sottoraffreddamento: la chiave per l'efficienza e la sicurezza operativa

Costruttori e progettisti intelligenti di macchine sottoraffreddano volutamente il refrigerante. Così facendo aumentano anche del 25 per cento la sicurezza operativa e l'efficienza energetica degli impianti di refrigerazione. Uno studio della ZHAW ci spiega i diversi tipi di sottoraffreddamento. Che si tratti di scambiatori di calore interni, di economizzatori o di sottoraffreddatori, se correttamente progettati e integrati tutti contribuiscono ad aumentare l'efficienza.

Proprio come molti atleti professionisti fanno dei bagni nel ghiaccio per aumentare le proprie prestazioni fisiche, così anche la tecnica di refrigerazione sfrutta attivamente il sottoraffreddamento. Costruttori e progettisti intelligenti di macchine sottoraffreddano volutamente il refrigerante per aumentare la sicurezza operativa e l'efficienza energetica degli impianti di refrigerazione.

SvizzeraEnergia ha voluto sapere esattamente quali vantaggi offre il sottoraffreddamento, quali collegamenti si addicono in quali situazioni e in che misura si possono ottenere guadagni di efficienza per gli impianti di refrigerazione.

A queste domande ha cercato di rispondere uno studio preliminare condotto dall'Institute of Energy Systems and Fluid Engineering della ZHAW. In questa scheda informativa vi proponiamo, in forma sintetica e comprensibile, i risultati principali cui è pervenuto questo studio. I professionisti del freddo che vogliono approfondire il tema possono consultare lo studio preliminare dove trovano tutti i calcoli e i risultati ottenuti (vedi pagina 14).



# Cosa si intende per sottoraffreddamento?

## Sottoraffreddamento

All'interno del condensatore, il vettore termico (aria o acqua), che è freddo, sottrae energia al refrigerante caldo allo stato gassoso ( $2 \rightarrow 3'$ ). Durante questo processo il refrigerante si raffredda e si condensa, passando dallo stato gassoso a quello liquido. Se, una volta completato il processo di condensazione, in corrispondenza della curva di evaporazione il refrigerante viene ulteriormente raffreddato, si ottiene quello che viene chiamato sottoraffreddamento ( $3' \rightarrow 3$ ).

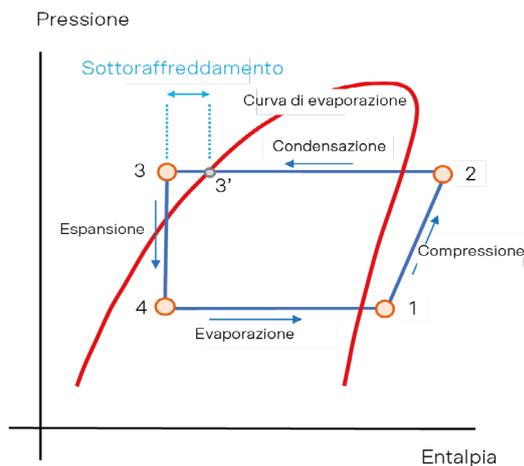


Figura: Sottoraffreddamento nel diagramma log p-h

## Perché si sottoraffredda il refrigerante?

Il sottoraffreddamento è necessario per evitare che nel refrigerante si formino delle bolle di vapore a monte della valvola di espansione (3), condizione essenziale per essere certi che l'impianto funzioni in maniera stabile e sicura. Infatti troppe bolle di gas (il cosiddetto flash gas) causano un funzionamento instabile dell'impianto e possono persino danneggiare la valvola di espansione. Inoltre riducono la potenza refrigerante e di conseguenza l'efficienza energetica dell'impianto.

In linea di principio, per funzionare correttamente qualsiasi impianto necessita di un minimo di sottoraffreddamento. Che questo determini un incremento dell'efficienza è di fatto secondario.

## Sicurezza operativa ed efficienza energetica

Fino a che punto il refrigerante debba essere sottoraffreddato per garantire la sicurezza operativa dell'impianto dipende in larga misura da come è realizzato il singolo impianto di refrigerazione. Un ruolo importante lo svolgono anche i seguenti fattori:

- le perdite di pressione e la differenza di altezza p.es. dovute a importanti differenze di altezza tra il condensatore (accumulatore) e l'evaporatore (punto di raffreddamento) installati negli edifici
- l'apporto di calore nel circuito frigorifero (p.es. attraverso valvole e tubazioni).

Sottoraffreddando il refrigerante oltre questo punto, si riesce ad aumentare l'efficienza energetica dell'impianto di refrigerazione. Ovviamente esistono dei limiti ben definiti entro i quali questa operazione ha una logica.

## Limiti al sottoraffreddamento

Occorre tuttavia evidenziare che un eccessivo sottoraffreddamento impedisce la formazione di flash gas non solo a monte ma anche a valle della valvola di espansione (4). Queste bolle di gas, o comunque una quantità minima di vapore a valle dell'espansione, sono però assolutamente necessarie perché la valvola di espansione possa funzionare in maniera corretta. Il vapore infatti si attenua nel momento in cui si innesca il processo, e in questo modo previene colpi di ariete nelle valvole e nelle tubazioni.

Inoltre le bolle di gas migliorano la trasmissione del calore nell'evaporatore ( $4 \rightarrow 1$ ) e di conseguenza l'efficienza energetica dell'impianto. Questo spiega perché il sottoraffreddamento deve essere limitato a quel tanto che basta affinché la quantità minima necessaria di vapore sia in linea con le indicazioni del produttore della valvola di espansione.

# Tipi di sottoraffreddamento

## Sottoraffreddamento permanente e temporaneo

Nel caso del sottoraffreddamento permanente il refrigerante viene sottoposto a sottoraffreddamento in maniera costante. È ciò che succede per esempio con l'acqua fredda (dissipatore di calore). In questo caso in sede di dimensionamento del compressore, delle valvole di espansione e delle tubazioni si possono scegliere apparecchiature più piccole.

I componenti più piccoli costano meno e grazie al sottoraffreddamento l'intero impianto di refrigerazione è più efficiente. Per contro crescono i costi di esercizio a causa dei costi di sottoraffreddamento (p.es. i costi per l'acqua fredda e la corrente elettrica per le pompe).

Nel caso di una soluzione temporanea il sottoraffreddamento lavora invece saltuariamente, per esempio quando la zona fredda nella parte inferiore del serbatoio dell'acqua calda viene usata per il sottoraffreddamento. I componenti del circuito refrigerante devono quindi essere dimensionati in modo che l'impianto lavori senza sottoraffreddamento.

Soprattutto nel caso del sottoraffreddamento permanente con uno scambiatore di calore interno occorre prestare attenzione al fatto che il sottoraffreddamento supplementare fa aumentare il surriscaldamento e la potenza refrigerante. Sugli impianti sovradimensionati questo può causare problemi, che si manifestano per esempio con un surriscaldamento dell'olio che, a sua volta, può provocare il coking dello stesso.

## Sottoraffreddamento interno ed esterno

Oltre alle componenti «temporali» (permanente, temporaneo), il sottoraffreddamento si distingue anche tra interno ed esterno.

### Sottoraffreddamento interno

Nel sottoraffreddamento interno viene usato il refrigerante proprio dell'impianto. Non vi è alcun apporto di energia dall'esterno né alcuna cessione all'esterno. I principali collegamenti:

- scambiatore di calore interno SCI
- scambiatore di calore interno con bypass del fluido
- economizzatore
- autosottoraffreddamento

### Sottoraffreddamento esterno

Il sottoraffreddamento esterno ha sempre bisogno di un dissipatore di calore che trasferisca il calore verso l'esterno.

- Sottoraffreddatore esterno
- Booster con raffreddatore di gas / sottoraffreddatore esterno
- Combinazione di freddo positivo e freddo negativo

Di seguito sono descritti i principali collegamenti per il sottoraffreddamento.

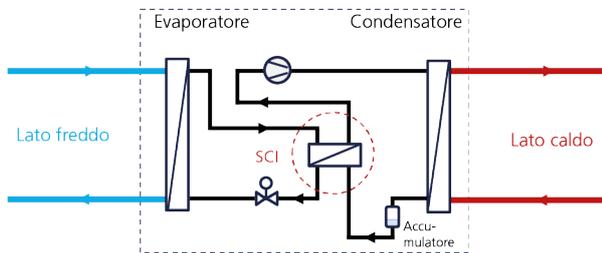
### Accumulatore di refrigerante

Affinché il sottoraffreddamento sia efficace, a valle del condensatore viene installato un accumulatore di refrigerante che in presenza di carichi di refrigerazione variabili serve ad accumulare provvisoriamente il refrigerante non utilizzato. Se il refrigerante viene sottoraffreddato già nel condensatore, nell'accumulatore si scalda nuovamente e perde quindi il suo «sottoraffreddamento».

Il sottoraffreddamento senza accumulatore è possibile solo se è garantita la completa condensazione del refrigerante prima che raggiunga il sottoraffreddatore (non contiene più gas). In alcuni impianti split questo si realizza utilizzando un condensatore a contatto diretto di dimensioni molto grandi.

# Scambiatore di calore interno (SCI)

Lo scambiatore di calore interno (SCI) sottrae ulteriore calore al refrigerante a valle del condensatore. In questo modo il refrigerante viene sottoraffreddato a monte della valvola di espansione e contemporaneamente surriscaldato a monte del compressore (gas aspirato).



Lo scambiatore di calore interno è una soluzione molto semplice che può essere adottata con tutti i tipi di compressori. Il più delle volte quindi lo scambiatore di calore interno viene usato per ottimizzare la sicurezza operativa.

In determinate configurazioni lo scambiatore di calore interno presenta anche dei vantaggi in termini energetici. Tuttavia il surriscaldamento e la temperatura di fine compressione, che sono influenzati dallo scambiatore di calore interno, pongono ulteriori limiti all'utilizzo.

## Maggiore efficienza con uno scambiatore di calore interno

Se e in che misura uno scambiatore di calore interno può aumentare l'efficienza dell'impianto di refrigerazione dipende prevalentemente da tre fattori:

1. esponente dell'adiabatica del refrigerante
2. perdita di pressione nello scambiatore di calore interno
3. temperatura di evaporazione

## Esponente dell'adiabatica

I refrigeranti idonei per aumentare l'efficienza degli impianti di refrigerazione con uno scambiatore di calore interno sono soprattutto quelli con un esponente dell'adiabatica<sup>1</sup> prossimo a 1 (vedi tabella).

Idoneità	Refrigerante	Esponente dell'adiabatica <sup>2</sup>
Per lo più idoneo	R290 (propano)	1,07
	R1234ze	1,11
	R513A	1,12
Verificare l'idoneità	R449A	1,20
	R32	1,20
	R454B	1,21
Generalmente non idoneo	R744 (CO <sub>2</sub> )	1,30
	R717 (NH <sub>3</sub> )	1,31

Variazione dell'EER in %

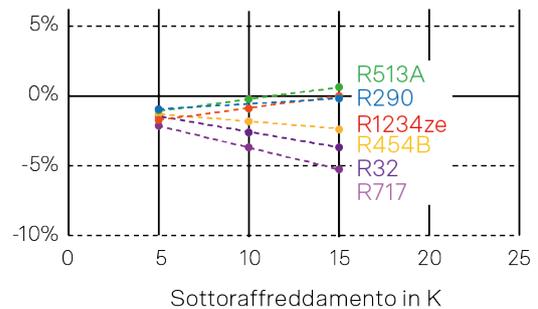


Figura: Variazioni dell'EER di un impianto di climatizzazione con refrigerante ( $T_0 = 5\text{ }^\circ\text{C}$ ) a differenti valori di sottoraffreddamento. Perdita di pressione nello scambiatore di calore interno 0,05 bar.

<sup>1</sup> L'esponente dell'adiabatica è il rapporto tra la capacità termica del refrigerante allo stato gassoso a pressione costante e la capacità termica del refrigerante a volume costante.

<sup>2</sup> Valori a 1,013 bar e 0 °C

### Temperatura di evaporazione

Più la temperatura di evaporazione è bassa, maggiore è l'efficienza dello scambiatore di calore interno. Questa regola è valida soprattutto per le applicazioni industriali. In questi casi conviene verificare l'opportunità di installare uno scambiatore di calore interno.

**Soprattutto per le applicazioni industriali della refrigerazione conviene verificare l'opportunità di avere uno SCI.**

### Perdita di pressione nello SCI

Se l'obiettivo è un incremento dell'efficienza, la perdita di pressione nello scambiatore di calore interno dovrebbe mantenersi intorno a 0,05 bar ovvero tra 0,3 e 0,5 K (perdita di pressione equivalente). Gli scambiatori di calore interni con una perdita di pressione di 0,1 bar e più hanno un costo d'acquisto senz'altro inferiore, in cambio però il loro EER peggiora rapidamente riducendosi del 5-30%, con un conseguente incremento dei costi di esercizio.

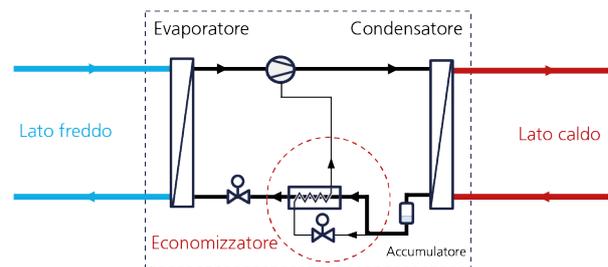
### Scambiatore di calore interno sovradimensionato

Se sono sovradimensionati, gli scambiatori di calore interni sottoraffreddano eccessivamente il refrigerante. Il forte sottoraffreddamento causa un surriscaldamento del refrigerante a monte del compressore, cosa che a sua volta può creare problemi di compressione (temperatura di fine compressione, temperatura del gas caldo). Quando si dimensiona lo scambiatore di calore interno quindi si devono sempre considerare più punti operativi, e non solo il punto di progetto.

Quando si dimensiona lo SCI devono sempre considerare entrambi gli aspetti: il sottoraffreddamento e il surriscaldamento.

### SCI con bypass del fluido

Il collegamento di uno scambiatore di calore interno con bypass del fluido ha caratteristiche analoghe a quello senza bypass. Il vantaggio di avere il bypass del fluido è che si può regolare il surriscaldamento. L'installazione però è leggermente più dispendiosa.



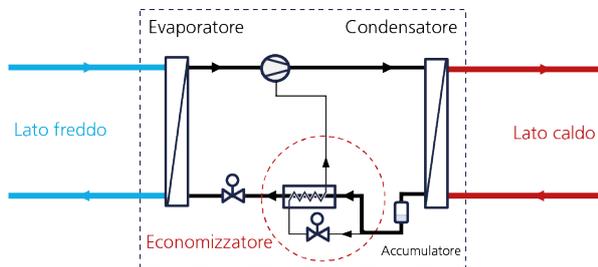
### Uno sguardo critico

Alcuni produttori e istituzioni mettono a disposizione degli strumenti che permettono di calcolare il guadagno di efficienza che si può ottenere con uno scambiatore di calore interno. Quando si utilizzano questi strumenti occorre fare attenzione a quanto segue:

1. Lo strumento tiene conto della perdita di pressione nello scambiatore di calore interno? In caso affermativo, qual è la perdita di pressione considerata? La perdita di pressione è uno dei parametri fondamentali che influiscono sull'efficienza. Gli strumenti che eseguono i calcoli basandosi su una perdita di pressione di 0 bar potrebbero promettere un guadagno di efficienza troppo alto.
2. Di norma il guadagno di efficienza viene determinato nel punto di progetto. Per gli impianti che spesso lavorano a carico parziale.

# Economizzatore

In caso di collegamento di un economizzatore, a valle del condensatore una parte del refrigerante viene deviata e fatta espandere. Successivamente il flusso principale di refrigerante viene sottoraffreddato nell'economizzatore mentre il flusso secondario, portato a media pressione, viene convogliato verso il compressore.



Variazione dell'EER in %

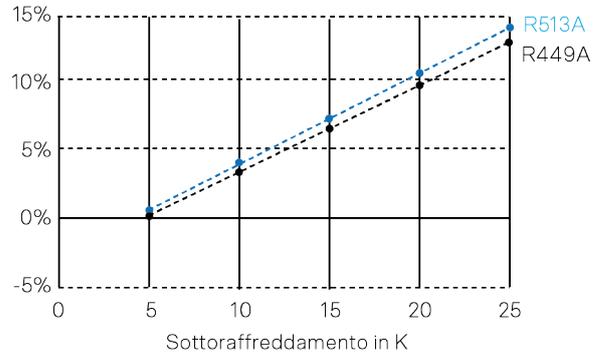


Figura: Variazioni dell'EER in un caso di sottoraffreddamento con un economizzatore di un impianto a freddo positivo ( $T_0 = -10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) con differenti valori di sottoraffreddamento.

Il sottoraffreddamento supplementare ottenuto con l'economizzatore contribuisce ad aumentare leggermente la potenza refrigerante. Inoltre si riduce la potenza assorbita dal compressore perché una sola parte dell'intero flusso di massa necessita di una ridotta pressione differenziale. L'economizzatore aumenta così l'efficienza di una macchina refrigerante.

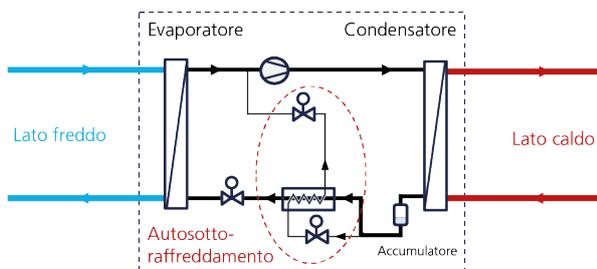
Inoltre le macchine refrigeranti con un economizzatore hanno un surriscaldamento costante e la temperatura di fine compressione diminuisce sensibilmente: dal punto di vista della sicurezza operativa questo è positivo.

La realizzazione del collegamento è un po' più dispendiosa. Inoltre gli economizzatori possono essere montati solo in caso di processi a 2 stadi o di compressori per i quali è possibile un'alimentazione in media pressione:

- compressori scroll
- compressori a vite
- turbocompressori

# Autosottoraffreddamento

Come avviene con l'economizzatore, anche nel caso dell'autosottoraffreddamento una parte del refrigerante viene deviata, con un conseguente sottoraffreddamento del suo flusso principale. Per eseguire questa operazione, con una valvola di espansione e un regolatore della pressione di aspirazione (regolatore di pressione all'evaporatore) viene creata una media pressione «artificiale» prima che il flusso parziale di refrigerante venga fatto nuovamente confluire nel flusso principale a valle dell'evaporatore.



L'autosottoraffreddamento non influisce in alcun modo sul surriscaldamento e sulla temperatura di fine compressione. Inoltre è una soluzione che può essere adottata per tutti i tipi di compressori.

Per contro, però, non ha (purtroppo) neanche alcun effetto sull'efficienza dell'impianto. Solitamente si opta per questa soluzione quando non è possibile raggiungere il sottoraffreddamento minimo necessario senza ricorrere a interventi aggiuntivi, come per esempio nel caso di impianti di refrigerazione il cui progetto prevede l'installazione del condensatore o dell'accumulatore in cantina e dei punti di raffreddamento (evaporatori) al 1°, 2° e 3° piano.

Poiché non incide sull'efficienza energetica, nello studio preliminare della ZHAW questo tipo di sottoraffreddamento non è stato oggetto di una più profonda analisi.

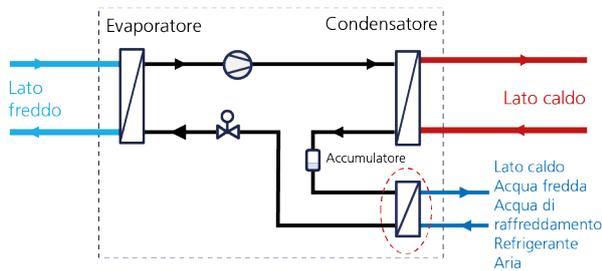
## Caso particolare: NH<sub>3</sub> (ammoniaca)

L'ammoniaca è uno dei refrigeranti migliori, sia in termini di efficienza energetica sia dal punto di vista dell'ambiente. A causa delle proprietà delle sostanze che la compongono, per esempio un alto esponente dell'adiabatica (vedi pagina 4), la NH<sub>3</sub> non è però adatta per il sottoraffreddamento con uno scambiatore di calore interno. Laddove è collegato un economizzatore, il guadagno in termini di efficienza è scarso. E anche con uno scambiatore di calore esterno il miglioramento dell'EER in virtù di un sottoraffreddamento supplementare è pari solo alla metà di quello che si otterrebbe con altri refrigeranti.

Negli impianti ad ammoniaca il sottoraffreddamento è quindi focalizzato principalmente sulla sicurezza operativa più che sull'efficienza energetica.

# Sottoraffreddatore esterno

Nel caso del sottoraffreddamento esterno, a valle del condensatore e dell'accumulatore il refrigerante viene sottoraffreddato utilizzando uno scambiatore di calore supplementare. Il sottoraffreddamento può essere fatto con acqua fredda, acqua di raffreddamento, refrigerante (2° circuito refrigerante) o aria.

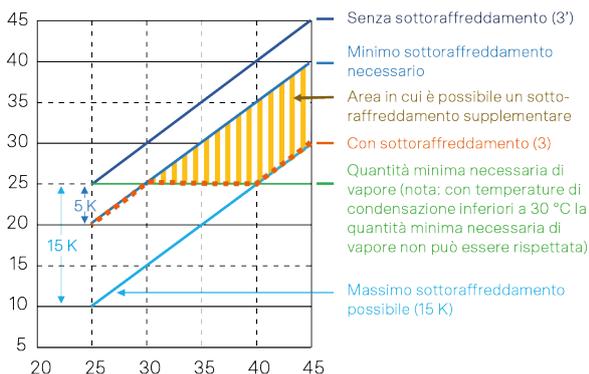


Il grosso vantaggio del sottoraffreddamento esterno è che non incide direttamente sul compressore. Il sottoraffreddamento supplementare non determina quindi né un maggiore surriscaldamento né il superamento della temperatura di fine compressione ammissibile. Inoltre la soluzione del sottoraffreddamento esterno può essere adottata per tutti i tipi di compressori.

## Limiti del sottoraffreddamento esterno

Il massimo sottoraffreddamento supplementare possibile dipende dal dissipatore di calore presente (p.es. 15 K). Questo valore è limitato verso l'alto dalla quantità minima necessaria di vapore presente nel refrigerante a valle delle valvole di espansione ( $T_c \text{ min.} = 25 \text{ K}$ ). Verso il basso il limite è posto dal minimo sottoraffreddamento necessario (5 K).

Temperatura del refrigerante a valle del sottoraffreddatore (punto 3') in °C



Temperatura del refrigerante a monte del sottoraffreddatore (punto 3) in °C

## Possibilità di incrementare l'efficienza del 10-15%

Un sottoraffreddatore esterno permette di aumentare significativamente la potenza refrigerante dell'impianto di refrigerazione incrementandone contestualmente l'efficienza anche del 25% a seconda del punto operativo e del refrigerante utilizzato. Nell'arco di un intero anno si tratta di un miglioramento dell'efficienza energetica compreso tra il 10 e il 15%.

Anche in questo caso appare chiaro come un refrigerante con un basso esponente dell'adiabatica sia tendenzialmente più adatto a garantire un sottoraffreddamento efficace.

Variazione dell'EER in %

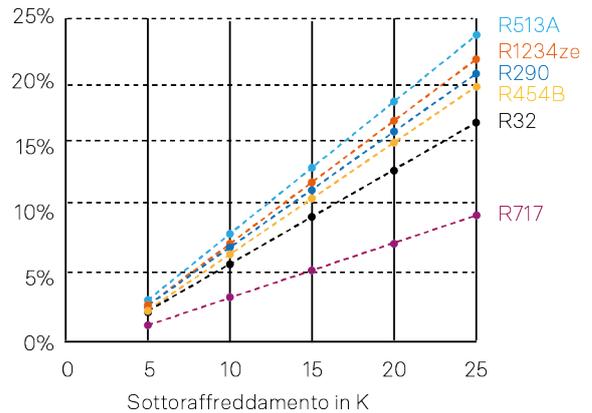


Figura: Variazioni dell'EER di un impianto di climatizzazione con refrigerante ( $T_o = 5 \text{ °C}$ ) a differenti valori di sottoraffreddamento e con diversi refrigeranti.

# Esempi di dissipatori di calore

## Quali sono i dissipatori di calore adatti?

Come dissipatori di calore per il sottoraffreddamento vanno bene tutti i mezzi con una temperatura più bassa di quella del refrigerante a valle del condensatore. Nella pratica sono utilizzati i dissipatori di calore seguenti:

### Aria esterna

La maggior parte degli impianti possono essere sottoraffreddati con aria esterna. Poiché la temperatura dell'aria è soggetta a variazioni, questa opzione non garantisce però un sottoraffreddamento permanente con temperature fisse. Inoltre il contributo del sottoraffreddamento diminuisce in caso di funzionamento a carico parziale. L'aria esterna può tuttavia essere un interessante dissipatore di calore, in particolare per gli impianti di refrigerazione che lavorano in maniera costante tutto l'anno.

### Acqua potabile (acqua fredda)

Durante tutto l'anno l'acqua potabile ha una temperatura compresa tra 10 e 14 °C e sarebbe adatta per un sottoraffreddamento permanente. Volendo utilizzare l'acqua potabile come dissipatore di calore, bisogna necessariamente calcolare il costo di approvvigionamento e di smaltimento dell'acqua e le tasse annuali supplementari da versare, e tenerne debitamente conto in sede di valutazione. In alcuni Comuni inoltre bisogna farsi rilasciare un'autorizzazione.

### Acqua di falda

In Svizzera le temperature dell'acqua freatica variano da 5 a 15 °C; quest'acqua è quindi adatta per un sottoraffreddamento permanente. Il suo utilizzo è soggetto al rilascio di opportuna autorizzazione e comunque comporta un certo onere ed eventualmente il pagamento delle spese di utilizzo.

### Serbatoio di acqua calda

Il serbatoio di acqua calda è alimentato con acqua potabile fredda a 12 °C, che successivamente viene riscaldata a 60 °C. Durante questa operazione la bassa temperatura dell'acqua fredda sottoraffredda il refrigerante preriscaldando così l'acqua contenuta nel serbatoio.

### Sonde geotermiche

Gli impianti di refrigerazione inseriti in un sistema che utilizza sonde geotermiche possono utilizzare tale sistema come dissipatore di calore. L'acqua fredda a 15 °C che fuoriesce dalla sonda geotermica sottoraffredda l'impianto di refrigerazione e ne migliora l'efficienza. L'impianto di refrigerazione a sua volta contribuisce alla rigenerazione della sonda geotermica.

### Rete anergetica

Le reti anergetiche lavorano a temperature comprese tra 10 e 20 °C. A condizione di non trovarsi nelle immediate vicinanze, queste reti sono adatte come dissipatori di calore per un sottoraffreddamento permanente. In sede di valutazione di questa opzione è in ogni caso opportuno calcolare con precisione i costi di allacciamento e di esercizio per evitare sorprese in termini di redditività.

## Redditività

Un sistema di sottoraffreddamento ben progettato permette di abbassare i costi energetici. Nel valutarne la redditività si deve però necessariamente tenere conto anche dei costi di investimento e di quelli di esercizio.

### Costi di investimento

- Spese supplementari per il circuito refrigerante quali scambiatore di calore interno, tubazioni, valvole ecc.:
- Scambiatori di calore supplementari (condensatore, serbatoio di acqua calda ecc.)
- Tubazioni per l'allacciamento all'acqua di falda, alla rete anergetica

### Costi di esercizio

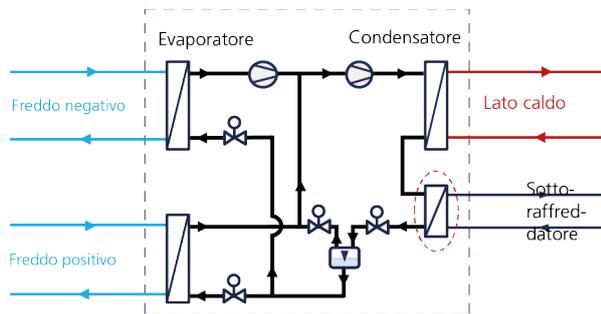
- Costi per l'acqua potabile e l'acqua di scarico
- Costi di energia elettrica per i ventilatori e le pompe supplementari
- Costi per l'utilizzo dell'acqua di falda o dell'energia prodotta dalle reti anergetiche

I maggiori costi di esercizio vengono molto spesso sottostimati. Solo se il guadagno di efficienza della macchina refrigerante è maggiore delle energie ausiliarie supplementari necessarie si ha un miglioramento dell'efficienza dell'intero sistema.

# Soluzioni speciali

## Impianto booster a CO<sub>2</sub> con sottoraffreddamento esterno

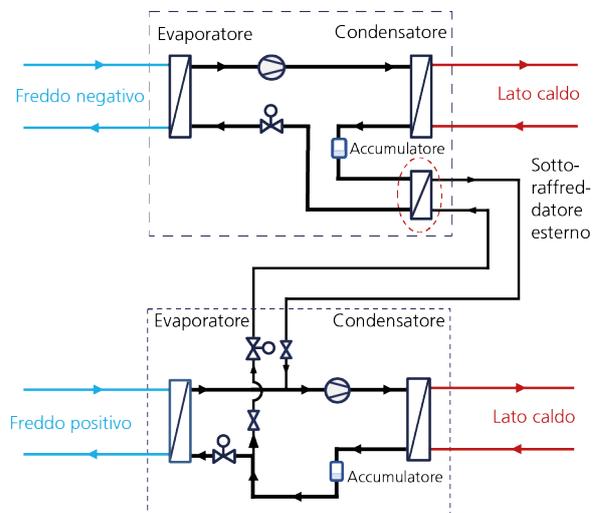
In un impianto booster a CO<sub>2</sub> si può incrementare l'efficienza del freddo positivo e del freddo negativo utilizzando un sottoraffreddatore esterno.



Con il sottoraffreddamento si può influire sia sul freddo positivo sia su quello negativo. A causa della differenza di temperatura il sottoraffreddamento supplementare del freddo positivo determina un miglioramento dell'efficienza leggermente superiore a quello di un sottoraffreddamento supplementare del freddo negativo.

## Combinazione di freddo positivo e negativo

In un impianto refrigerante con combinazione di freddo positivo e freddo negativo l'impianto refrigerante a freddo positivo può essere utilizzato come dissipatore di calore per sottoraffreddare ulteriormente l'impianto refrigerante a freddo negativo.

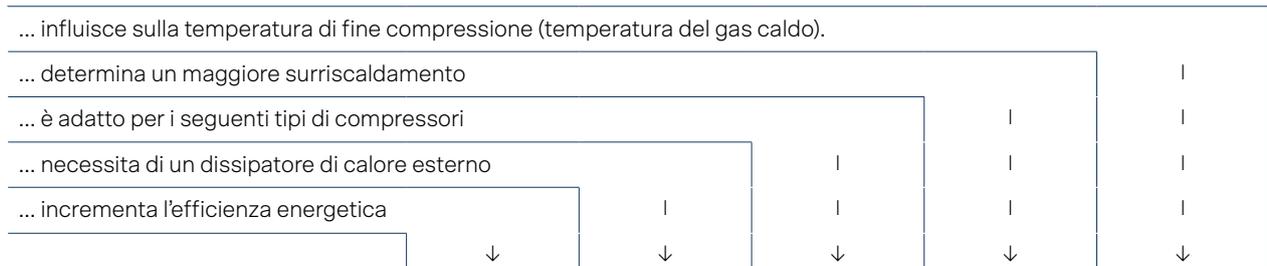


A causa della grossa differenza di pressione dell'impianto a freddo negativo, con questo collegamento viene leggermente migliorata l'efficienza dell'intero sistema. Il vantaggio di questo collegamento sta però principalmente nel fatto che accresce la potenza refrigerante e la sicurezza operativa dell'impianto a freddo negativo.

Per i dettagli al riguardo si veda il rapporto della ZHAW, pagina 128.

# Quadro di sintesi sul sottoraffreddamento

I principali tipi di sottoraffreddamento e loro caratteristiche. Il sottoraffreddamento...



## Sottoraffreddamento interno

Scambiatore di calore interno	solo con refrigeranti con un basso esponente dell'adiabatica	dissipatore di calore non necessario	adatto per tutti i tipi	aumenta il surriscaldamento	aumenta sensibilmente la temperatura del gas caldo
Scambiatore di calore interno con bypass del fluido	solo con refrigeranti con un basso esponente dell'adiabatica	dissipatore di calore non necessario	adatto per tutti i tipi	aumenta il surriscaldamento	aumenta sensibilmente la temperatura del gas caldo
Economizzatore	aumenta l'efficienza fino al 15%	dissipatore di calore non necessario	solo per compressori scroll, a vite e turbo-compressori o processi a 2 stadi	nessun effetto sul surriscaldamento	riduce la temperatura del gas caldo
Autosottoraffreddamento	nessun effetto sull'efficienza	dissipatore di calore non necessario	adatto per tutti i tipi	nessun effetto sul surriscaldamento	nessun effetto sulla temperatura del gas caldo

## Sottoraffreddamento esterno

Sottoraffreddatore esterno	aumenta l'efficienza fino al 30%	dissipatore di calore necessario	adatto per tutti i tipi	nessun effetto sul surriscaldamento	nessun effetto sulla temperatura del gas caldo
Booster a CO <sub>2</sub> con sottoraffreddamento esterno	aumenta l'efficienza fino al 15%	dissipatore di calore necessario	adatto per tutti i tipi	nessun effetto sul surriscaldamento	nessun effetto sulla temperatura del gas caldo
Combinazione freddo positivo e negativo	effetto scarso sulla efficienza	dissipatore di calore necessario	adatto per tutti i tipi	nessun effetto sul surriscaldamento	nessun effetto sulla temperatura del gas caldo

■ ottimo presupposto

■ verificare le caratteristiche

■ verificare attentamente la caratteristica  
- event. non adatto

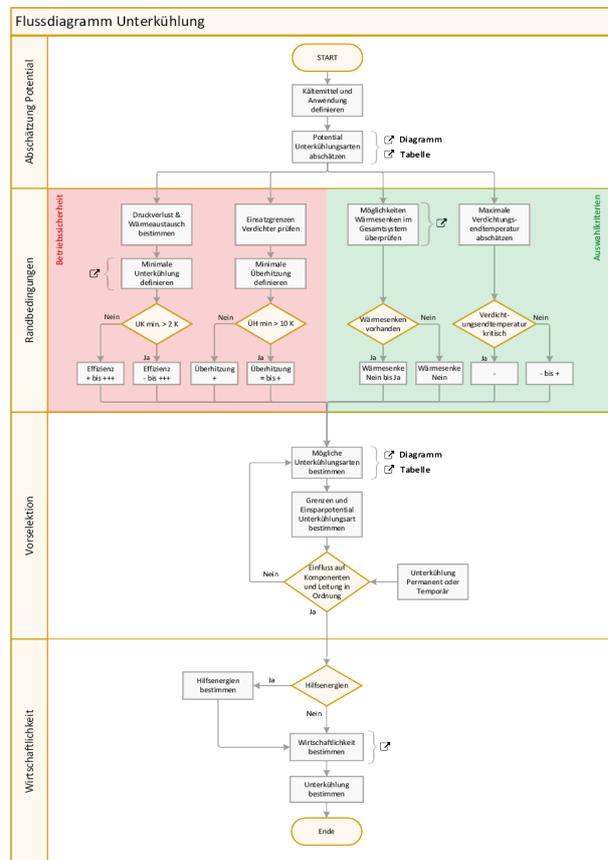
# Stabilire il tipo di sottoraffreddamento

## Sette punti sul sottoraffreddamento

Quale tipo di sottoraffreddamento sia la migliore soluzione e fino a che punto debba arrivare il sottoraffreddamento dipende dai sette punti seguenti:

1. L'applicazione di refrigerazione che richiede sottoraffreddamento: si tratta di un impianto di climatizzazione, di un impianto per freddo positivo o di un impianto per freddo negativo?
2. Il refrigerante e le caratteristiche delle sostanze che lo compongono (esponente dell'adiabatica).
3. Il sottoraffreddamento minimo necessario per un corretto funzionamento. Per determinarlo si considera la perdita di pressione tra accumulatore e valvola di espansione.
4. Il surriscaldamento minimo a monte del compressore necessario per un corretto funzionamento (come indicato dal produttore del compressore).
5. I dissipatori di calore (acqua fredda, aria fredda ecc.) di cui si dispone e che possono essere utilizzati a basso costo. I dissipatori di calore sono temporaneamente o permanentemente disponibili?
6. La massima temperatura di fine compressione che non è consentito superare con il refrigerante scelto.
7. La redditività del sottoraffreddamento supplementare: per valutarla si devono calcolare gli investimenti aggiuntivi e i costi di esercizio delle energie ausiliarie e delle risorse (acqua), che devono poi essere confrontati con i risparmi conseguiti grazie alla migliore efficienza.

Nel suo studio la ZHAW ha inserito un diagramma di flusso che descrive il percorso verso il sottoraffreddamento «ottimale». Sono presenti anche diversi grafici e tabelle che forniscono le basi decisionali necessarie alla scelta del tipo di sottoraffreddamento. Lo studio della ZHAW è disponibile in lingua tedesca.



# Errori in cui si rischia di inciampare

All'atto pratico nel campo del sottoraffreddamento si commettono sempre gli stessi errori.

## Sottoraffreddamento insufficiente

Un sottoraffreddamento insufficiente del refrigerante tra accumulatore e valvola di espansione porta alla formazione di gas flash, con i danni che ne conseguono. L'importanza di un sottoraffreddamento sufficiente viene spesso e volentieri trascurata, segnatamente in presenza di colonne montanti lunghe (quando i punti di raffreddamento sono collocati in posizione superiore rispetto al condensatore/accumulatore).

## Scambiatore di calore interno con un sottoraffreddamento eccessivo

Un sottoraffreddamento con uno scambiatore di calore interno genera un surriscaldamento piuttosto significativo del refrigerante a monte del compressore. A seconda del refrigerante e del tipo di compressore utilizzati, se il sottoraffreddamento è eccessivo si rischia di superare la temperatura di fine compressione. Si deve allora scollegare il compressore, per evitare che si danneggi.

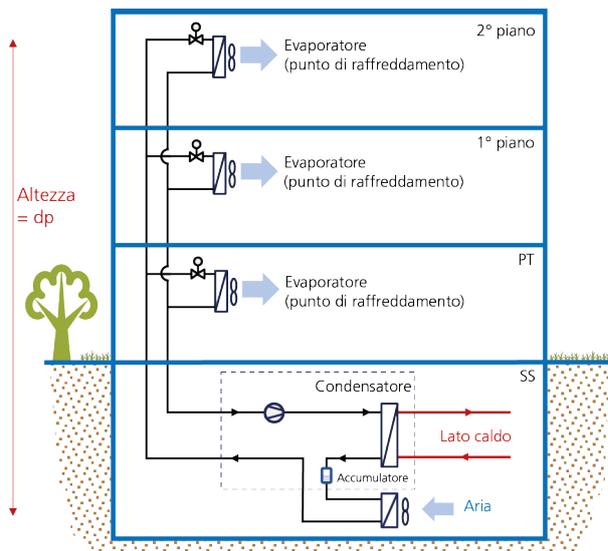
## Trascurato il funzionamento a carico parziale

Gli impianti di climatizzazione in particolare lavorano per il 98% del tempo a carico parziale. In sede di progettazione il contributo del sottoraffreddamento supplementare in condizioni di carico parziale è in questo caso determinante. A seconda della situazione, vengono posti dei limiti al sottoraffreddamento (p.es. intervenendo sull'intervallo operativo della valvola di espansione).

Della condizione di carico parziale si deve segnatamente tener conto anche in sede di valutazione della redditività.

## Scambiatore di calore interno con una perdita di pressione eccessiva

Se per ragioni di costo viene installato uno scambiatore di calore interno con una perdita di pressione eccessiva, il surriscaldamento sarà senz'altro minimo. Allo stesso tempo però l'efficienza dell'impianto peggiora sensibilmente. In un impianto di refrigerazione con uno scambiatore di calore interno che ha ben 0,6 bar di perdita di pressione l'EER si abbassa anche del 10%, a seconda del refrigerante utilizzato.



Solo se la perdita di pressione dello SCI si mantiene intorno a 0,05 bar è lecito ipotizzare un incremento dell'efficienza.

# Maggiori informazioni

Sottoraffreddamento del refrigerante: nozioni fondamentali e guida al guadagno di efficienza e al recupero di calore  
ZHAW 20 luglio, 2022

- Concetti fondamentali di sottoraffreddamento
- Descrizione della simulazione
- Risultati delle simulazioni di circuiti per i seguenti tipi di sottoraffreddamento
  - Scambiatore di calore interno
  - Scambiatore di calore interno con bypass del fluido
  - Economizzatore
  - Sottoraffreddatore esterno
  - Booster con sottoraffreddatore esterno
  - Combinazione di freddo positivo e negativo
- Diagramma di flusso: percorso verso il sottoraffreddamento ottimale
- Consigli di progettazione
- Errori frequenti

Download gratuito dello studio preliminare all'indirizzo

<https://pubdb.bfe.admin.ch/de/publication/download/11031>

Origine delle figure:

Foto in prima pagina: shutterstock

Illustrazioni: zweiweg

SvizzeraEnergia

Ufficio federale dell'energia UFE

Pulverstrasse 13

CH-3063 Ittigen

Indirizzo postale: CH-3003 Berna

Infoline 0848 444 444

[infoline.svizzeraenergia.ch](mailto:infoline.svizzeraenergia.ch)

[svizzeraenergia.ch](http://svizzeraenergia.ch)

[energieschweiz@bfe.admin.ch](mailto:energieschweiz@bfe.admin.ch)

[twitter.com/energieschweiz](https://twitter.com/energieschweiz)