



Misura standardizzata KA-04

Ottimizzazioni dell'esercizio di impianti di refrigerazione mediante ottimizzazione della temperatura di evaporazione

Documentazione

Numero della misura

KA-04

Versione

2.0 (11.2025)

Versione	Modifiche rispetto alla versione precedente
1.0	Prima versione
2.0	Calcolo dei risparmi di elettricità computabili in kWh Diverse modifiche testuali



1 Prefazione

Con la legge federale su un approvvigionamento elettrico sicuro con le energie rinnovabili, nella sessione autunnale del 2023 il Parlamento ha fissato l'obbligo per i fornitori di elettricità di adottare misure di miglioramento dell'efficienza energetica. Secondo l'articolo 46b della legge sull'energia (RS 730.0; LEne), i fornitori di elettricità devono realizzare gli obiettivi mediante misure volte a migliorare l'efficienza energetica applicate ad apparecchi, impianti e veicoli elettrici esistenti presso i consumatori finali svizzeri oppure, se le misure vengono realizzate da terzi, devono fornire le relative prove. L'Ufficio federale dell'energia (UFE) definisce ogni anno un elenco di misure standardizzate e i relativi risparmi di elettricità computabili. Le misure non incluse nel catalogo delle misure standardizzate possono essere sottoposte all'UFE per approvazione come cosiddette misure non standardizzate.

Per ogni misura standardizzata, l'UFE fornisce un protocollo di risparmio con cui i fornitori di elettricità possono notificare le misure adottate. Nella documentazione accompagnatoria viene illustrata in modo chiaro la metodologia utilizzata per determinare il risparmio di elettricità computabile. Questa metodologia fornisce una stima generale del risparmio cumulativo di elettricità (energia finale) generato dall'adozione della corrispondente misura di efficienza elettrica per la durata dell'effetto. Si basa su un calcolo ex ante e utilizza ipotesi e fattori che sono stati definiti in base a norme attuali, studi di mercato, letteratura scientifica e contributi di esperti.

La documentazione si rivolge ai fornitori di elettricità, a coloro che adottano misure di miglioramento dell'efficienza energetica ed anche a chiunque altro sia interessato al risparmio di elettricità nell'ambito del miglioramento dell'efficienza energetica in base all'articolo 46b LEne.

2 Obiettivo

L'obiettivo del presente documento è quello di fornire una stima generale del risparmio di elettricità derivante dall'aumento della temperatura di evaporazione degli impianti di refrigerazione attraverso varie misure.

3 Simboli, termini e unità di misura

Lettere latine

Simbolo	Termine	Unità
E	Consumo annuo di elettricità	kWh/a
ΔE_{eco}	Risparmio cumulativo di elettricità	kWh
f	Fattore	-
N_s	Durata standard dell'effetto	a
T	Temperatura	°C
\dot{Q}	Potenza di raffreddamento	kW
Q	Fabbisogno di freddo annuo	kWh/a
t	Durata del Bin	h/a
EER	Indice di efficienza energetica	-

Lettere greche

Simbolo	Termine	Unità
η	Coefficiente di sfruttamento	-

Indici

x	Stato (vecchio, nuovo)
i	Categoria di impiego
j	Temperatura esterna



4 Descrizione del calcolo ex ante

4.1 Risparmio computabile

Il risparmio di elettricità computabile ΔE_{eco} della misura è determinato dalla differenza fra il consumo annuale di elettricità attuale (stato attuale) E_{alt} e quello nuovo (stato dopo il rinnovamento) E_{neu} , cumulato nel corso della durata standard dell'effetto N_s .

Per tenere conto del tasso di rinnovamento e ottimizzazione naturale di apparecchi e impianti, che porta a una riduzione del consumo energetico non dovuto a obblighi di legge, il risparmio di elettricità computabile viene ridotto mediante un fattore di riduzione f_{eco} pari a 0.75.

$$\Delta E_{eco} = (E_{alt} - E_{neu}) \cdot f_{eco} \cdot N_s$$

ΔE_{eco}	Risparmio cumulativo di elettricità in kWh
E_{alt}	Consumo annuo di elettricità nel vecchio stato in kWh/a
E_{neu}	Consumo annuo di elettricità nel nuovo stato in kWh/a
f_{eco}	Fattore di riduzione
N_s	Durata standard dell'effetto in anni

4.2 Consumo annuo di elettricità

Il consumo annuo di elettricità è la somma dei quozienti del carico frigorifero annuo e dell'efficienza del sistema, che dipendono a loro volta dall'impiego e dalle condizioni operative.

$$E_x = \sum_{j=1}^n \left(\frac{Q_j}{EER_{x,j}} \right)$$

E_x	Consumo annuo di elettricità in kWh/a
Q_j	Energia di raffreddamento in funzione della temperatura esterna in kWh/a
EER_j	Indice di efficienza energetica in funzione della temperatura esterna

L'energia di raffreddamento dipende dal numero di ore durante le quali è presente la temperatura esterna T_j e dal fabbisogno di potenza frigorifera a una determinata temperatura esterna T_j .

$$Q_j = t_j \cdot \dot{Q}_j$$

Q_j	Energia di raffreddamento in funzione della temperatura esterna in kWh/a
t_j	Numero di ore del Bin durante le quali è presente la temperatura esterna in h/a
\dot{Q}_j	Fabbisogno di potenza frigorifera alla temperatura esterna in kW

Il numero di ore per anno durante le quali è presente la temperatura esterna T_j viene calcolato mediante il metodo Bin basato sulla norma SN EN 14825. Il fabbisogno di potenza frigorifera in funzione della temperatura esterna si calcola mediante una specifica potenza a una determinata temperatura esterna e un profilo di carico registrato in funzione dell'applicazione di raffreddamento, conformemente alla tabella 3.

L'indice di efficienza energetica è il risultato della moltiplicazione fra il rendimento di Carnot teorico ed il fattore di degradazione (del rendimento di Carnot). Il rendimento di Carnot teorico dipende dalla temperatura di condensazione T_C e dalla temperatura di evaporazione T_0 , che può essere ottimizzata in base alla misura adottata.

$$EER_{x,j} = \frac{T_{0,x,i} + 273.15}{T_{C,j} - T_{0,x,i}} \cdot \eta_{CG}$$

$EER_{x,j}$	Indice di efficienza energetica in funzione della temperatura esterna, senza unità di misura
-------------	--



η_{CG}	Fattore di degradazione (del rendimento di Carnot), senza unità di misura
$T_{0,x,i}$	Temperatura di evaporazione (in funzione dell'applicazione di raffreddamento) in °C
$T_{C,j}$	Temperatura di condensazione (in funzione della temperatura esterna) in °C

La temperatura di evaporazione $T_{0,x,i}$ dipende dall'applicazione di raffreddamento e dall'ulteriore differenza di temperatura $\Delta T_{tot,0,x}$.

$$T_{0,x,i} = T_{0,i} + \Delta T_{tot,0,x}$$

$T_{0,i}$	Temperatura di evaporazione conformemente all'applicazione in °C
$\Delta T_{tot,0,x}$	Ulteriore differenza di temperatura in K

L'ulteriore differenza di temperatura $\Delta T_{tot,0,x}$ descrive la modifica mediante la misura di ottimizzazione che può essere realizzata variando la temperatura di utilizzo e/o pulendo il raffreddatore d'aria.

$$T_{tot,0,x} = \Delta T_{a,nutz} + \Delta T_{b,sch,x}$$

$\Delta T_{a,nutz}$	Differenza di temperatura dovuta all'adeguamento della temperatura di utilizzo in K
$\Delta T_{b,sch,x}$	Differenza di temperatura dovuta al raffreddatore d'aria sporco in K

Oltre all'adeguamento della temperatura di utilizzo e alla pulizia del raffreddatore d'aria si può impostare anche il surriscaldamento, come misura aggiuntiva. In questo caso la temperatura di evaporazione $T_{0,x,i}$ viene determinata dal tecnico prima e dopo l'impostazione e, pertanto, non deve essere calcolata.

- A. L'ulteriore differenza di temperatura dovuta all'adeguamento della temperatura di utilizzo $\Delta T_{a,nutz,x}$ corrisponde alla modifica della temperatura di utilizzo. Se, ad esempio, la temperatura di utilizzo di un armadio frigo (plug-in) aumenta da 1 a 3 °C, anche la temperatura di evaporazione della refrigerazione cambia di +2 K.

$$\Delta T_{a,nutz} = T_{nutz,neu} - T_{nutz,alt}$$

$T_{nutz,alt}$	Vecchia temperatura di utilizzo di un'applicazione in °C
$T_{nutz,neu}$	Nuova temperatura di utilizzo impostata di un'applicazione in °C

I sistemi combinati sono esclusi da questa misura, a meno che la temperatura di utilizzo non sia regolata in tutti i punti di refrigerazione. In questo caso è il punto di refrigerazione con la variazione minore di temperatura di utilizzo a determinare il valore di $\Delta T_{a,nutz}$.

- B. L'ulteriore differenza di temperatura dovuta al raffreddatore d'aria sporco può essere usato solo per applicazioni con raffreddamento d'aria. Se il raffreddatore d'aria è *pulito*, non viene calcolata alcuna ulteriore differenza di temperatura rispetto alla temperatura di evaporazione. Se il raffreddatore d'aria è *sporco*, alla temperatura di evaporazione viene aggiunta un'ulteriore differenza di temperatura $\Delta T_{b,sch,x}$. La misura non può essere utilizzata per l'applicazione freddo di processo in quanto i raffreddatori del fluido non sono contemplati in questa misura.
- C. Impostando correttamente il surriscaldamento si può aumentare la temperatura di evaporazione. Con questa misura occorre indicare l'effettiva temperatura di evaporazione T_0 prima e dopo la misura. Questa può essere rilevata in parte poco tempo dopo l'impostazione e in parte (ad es. in caso di impianti combinati) solo dopo alcune settimane. Nell'impostare il surriscaldamento occorre garantire sempre la sicurezza operativa.

La temperatura di condensazione $T_{C,j}$ dipende dalla rispettiva temperatura ambiente T_j e dalla differenza di temperatura totale $\Delta T_{tot,c}$.



$$T_{C,j} = T_j + \Delta T_{tot,c}$$

Occorre fare attenzione che la temperatura di condensazione non sia mai inferiore alla soglia $T_{C,min}$.

$$T_{C,j} = \begin{cases} T_{C,j}, & T_{C,j} \geq T_{C,min} \\ T_{C,min}, & T_{C,j} < T_{C,min} \end{cases}$$

Inoltre lo scarto della temperatura di $T_{0,x,i}$ e $T_{C,j}$ non deve essere mai inferiore a $\Delta T_{0,C,min}$, nemmeno nel caso in cui la temperatura esterna e $T_{C,min}$ lo consentano.

$$T_{C,j} = \begin{cases} T_{C,j}, & T_{C,j} - T_{0,x,i} \geq \Delta T_{0,C,min} \\ T_{0,x,i} + \Delta T_{0,C,min}, & T_{C,j} - T_{0,x,i} < \Delta T_{0,C,min} \end{cases}$$

$T_{C,j}$	Temperatura di condensazione in °C
T_j	Temperatura esterna in °C
$\Delta T_{tot,c}$	Differenza di temperatura totale in K
$T_{C,min}$	Temperatura di condensazione minima in °C
$\Delta T_{0,C,min}$	Differenza di temperatura minima in K

La differenza di temperatura totale $\Delta T_{tot,c}$ è costituita da più componenti. Anzitutto occorre distinguere se si tratta di condensazione diretta (aria / condensatore diretto) o raffreddamento del fluido (raffreddatore con circuito secondario).

4.2.1 Condensazione diretta (aria / condensatore diretto)

Nel caso della condensazione diretta (aria) la differenza di temperatura totale è data dal ΔT della temperatura di condensazione e della temperatura esterna (ΔT_{c-j}).

$$\Delta T_{tot,c} = \Delta T_{c-j}$$

$\Delta T_{tot,c}$	Differenza di temperatura totale in K
ΔT_{c-j}	Differenza fra la temperatura di condensazione e quella esterna in K

4.2.2 Raffreddamento del fluido (raffreddatore con circuito secondario)

In caso di raffreddatore con circuito secondario, la differenza di temperatura totale è data dal ΔT della temperatura di condensazione e della temperatura di ingresso del circuito secondario del condensatore ($\Delta T_{c-sek,ein}$) e dal ΔT della temperatura di ingresso del circuito secondario del condensatore e della temperatura ambiente ($\Delta T_{sek,ein-j}$).

$$\Delta T_{tot,c} = \Delta T_{c-sek,ein} + \Delta T_{sek,ein-j}$$

$\Delta T_{tot,c}$	Differenza di temperatura totale in K
$\Delta T_{c-sek,ein}$	Differenza fra la temperatura di condensazione e quella di ingresso in K
$\Delta T_{sek,ein-j}$	Differenza fra la temperatura di condensazione e quella ambiente in K

4.2.3 Free cooling server IT

Se è presente il free cooling nelle applicazioni di raffreddamento dei server IT, il carico frigorifero viene meno a partire da una determinata temperatura esterna (bulbo umido). Questa soglia dipende dalla temperatura dell'applicazione.

$$Q_j = \begin{cases} Q_j, & T_j > T_{fc,min} \\ 0, & T_j \leq T_{fc,min} \end{cases}$$



\dot{Q}_j	Fabbisogno di potenza frigorifera in kW
T_j	Temperatura esterna in °C
$T_{fc,min}$	Soglia per l'applicazione di free cooling in °C

4.2.4 Numero di ore di servizio dei chiller di processo

Poiché determinati *chiller di processo* non sono in funzione 24 ore al giorno, per questa applicazione di raffreddamento si può adattare il numero di ore di servizio $h_{pr.}$ al giorno. Pertanto si riducono le ore di servizio del Bin.

$$t_j = \begin{cases} t_j, & h_{pr.} = 24 \\ t_j \cdot \frac{t_{pr.}}{24}, & h_{pr.} < 24 \end{cases}$$

t_j	Numero di ore del Bin in h/a
$t_{pr.}$	Numero ore di servizio al giorno per i chiller di processo

5 Variabili di ingresso

In generale

- Tipo di applicazione di refrigerazione (*selezione multipla*)
- Tipo di cessione di calore (*scelta tra due opzioni*)
- Fabbisogno di potenza frigorifera, in kW (*numero decimale*)

Secondo l'applicazione

- La presenza di free cooling, per *server IT* (*scelta tra due opzioni*)
- Numero ore di servizio al giorno, per *chiller di processo* (*numero intero*)

Secondo la misura

- Adeguamento della temperatura di utilizzo, in °C (*numero decimale*)
- Pulizia del raffreddatore d'aria (*scelta tra due opzioni*)
- Impostazione del surriscaldamento, in °C (*numero decimale*)

6 Ipotesi e dati

In generale

- La temperatura esterna alla quale è definito il fabbisogno di potenza frigorifera è pari a 35 °C.
- La temperatura di condensazione minima $T_{c,min}$ e lo scarto della temperatura $\Delta T_{0,c,min}$ sono pari a 25 °C.
- Le durate del Bin corrispondono ai valori standard della stazione climatologica di Zurigo conformemente al Quaderno tecnico SIA 2028 [2].
- L'efficienza di Carnot η_{CG} è pari a 0.45 [3,4].
- Le differenze di temperatura ΔT_{c-j} , $\Delta T_{c-sek,ein}$ e $\Delta T_{sek,ein-j}$ sono definite nella tabella 2 [1].
- Il free cooling trova impiego quando la temperatura del bulbo umido dell'aria esterna è inferiore di 15 K $T_{fc,min}$ rispetto alla temperatura di applicazione (risp. 21 e 28 °C) [1]. A questo scopo si utilizza come limite per il free cooling la temperatura esterna con un'umidità relativa dell'aria del 50 %.



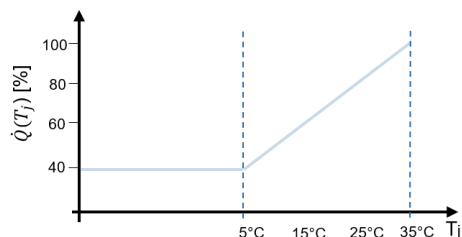
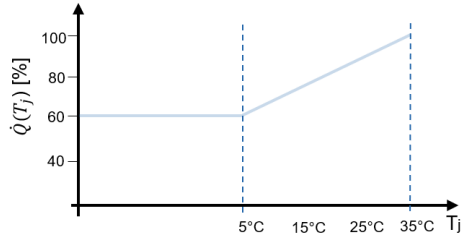
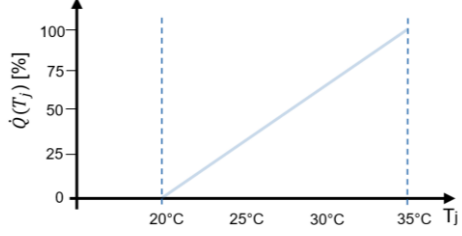
Tabella 2 Determinazione del ΔT_{c-j} , $\Delta T_{c-sek,ein}$ e $\Delta T_{sek,ein-j}$

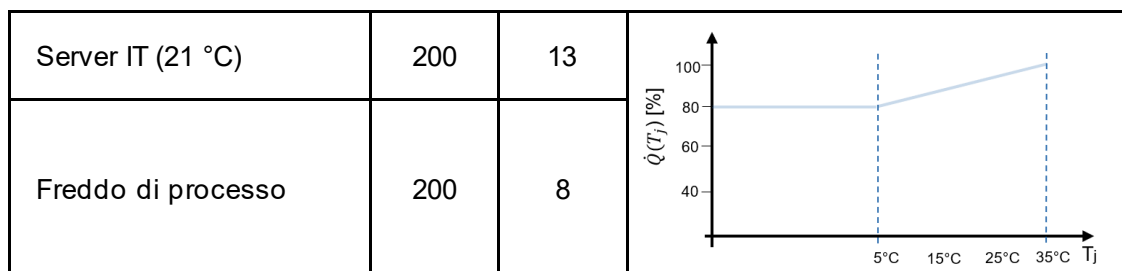
Condensatore / raffreddatore ad aria	Calcolo ΔT	ΔT [K]
Aria (condensatore diretto): applicazione raffreddamento a temperatura negativa	$\Delta T_{c-j} = T_c(\text{temperatura di condensazione}) - T_{luft}(\text{ingresso condensatore})$	10
Aria (condensatore diretto): applicazioni residue	$\Delta T_{c-j} = T_c(\text{temperatura di condensazione}) - T_{luft}(\text{ingresso condensatore})$	13
Acqua (raffreddatore ad aria)	$\Delta T_{c-sek,ein} = T_c(\text{temp. condensazione}) - T_{vettore termico}(\text{ingresso condensatore})$	9
Acqua (raffreddatore ad aria)	$\Delta T_{sek,ein-j} = T_{vettore termico}(\text{ingresso condensatore}) - T_j(\text{temp. esterna})$	6

Secondo l'applicazione

- vii. La temperatura di evaporazione $T_{0,i}$ dipende dall'applicazione come da tabella 3. In questo modo viene definito anche il profilo di carico [1].
- viii. Il metodo descritto, in funzione dell'applicazione, è valido solo fino a un determinato fabbisogno di potenza frigorifera \dot{Q}_{max} . I rispettivi valori sono definiti nella tabella 3.

Tabella 3 Temperatura di evaporazione e profilo di carico secondo l'applicazione

Applicazione di raffreddamento	\dot{Q}_{max} [kW]	$T_{0,i}$ [°C]	Profilo di carico
Raffreddamento a temperatura positiva	40	-10	
Raffreddamento a temperatura negativa	30	-30	
Climatizzazione comfort (evaporazione diretta)	80	7	
Climatizzazione comfort (fluido di raffreddamento)	200	3	
Server IT (28 °C)	200	20	



Secondo la misura

- ix. La durata di utilizzo standard N_s delle misure per l'adeguamento della temperatura di utilizzo (A) e la pulizia del raffreddatore d'aria (B) è pari a 1 anno.
- x. La durata di utilizzo standard N_s della misura per l'impostazione del surriscaldamento (C) è pari a 3 anni.
- xi. Per le misure di adeguamento della (A) temperatura di utilizzo e (C) impostazione del surriscaldamento si ipotizza che tutti gli scambiatori di calore siano *puliti*.
- xii. La misura di impostazione del surriscaldamento (C) può essere inserita solo se sono state eseguite precedentemente le misure (A) e (B).
- xiii. L'ulteriore differenza di temperatura dovuta al raffreddatore d'aria sporco può essere utilizzata solo per applicazioni con raffreddamento d'aria. Se il raffreddatore d'aria è pulito, non viene calcolata alcuna ulteriore differenza di temperatura rispetto alla temperatura di evaporazione (come da tab. 3). Se il raffreddatore d'aria è sporco, viene aggiunta un'ulteriore differenza di temperatura $\Delta T_{b,sch,x}$ alla temperatura di evaporazione, come da tabella 1 [1].

Tabella 1 Abbassamento della temperatura di evaporazione dovuto al raffreddatore d'aria sporco

Applicazione	Sporco	$\Delta T_{b,sch,x}$ [K]
Climatizzazione comfort (evaporazione diretta e fluido di raffreddamento)	Pulito	0.0
	Sporco	-2.0
Raffreddamento a temperatura positiva, Raffreddamento a temperatura negativa	Pulito	0.0
	Sporco	-0.4
Server IT (21 °C), Server IT (28°C)	Pulito	0.0
	Sporco	-2.0

7 Risultati

Sulla base delle ipotesi e dei dati presentati, il risparmio di elettricità computabile per ogni impianto di refrigerazione è determinato in relazione alle variabili di ingresso definite. A questo scopo si utilizzano le liste di monitoraggio KA-04 pubblicamente accessibili.

8 Esempio

Scenario A: gli armadi frigo per il raffreddamento a temperatura positiva vengono puliti. La potenza di raffreddamento complessiva è pari a 20 kW, il negoziante di generi alimentari si trova a Zurigo.



Applicazione	Variabili di ingresso	Valori		Risparmio di elettricità computabile
		Vecchio	Nuovo	[kWh]
Raffreddamento a temperatura positiva	Luogo	Zurigo		
	Fabbisogno di raffreddamento di progetto in kW	20		
	Cessione di calore	Aria (diretta)		
	Temperatura di utilizzo in °C	1.0	1.0	
	Stato di sporcizia del raffreddatore d'aria	Sporco	Pulito	
Totale				300

Scenario B: climatizzazione comfort con rete di trasporto del freddo a Locarno. La potenza di raffreddamento al punto di progetto a 35 °C è pari a 120 kW. Per prima cosa è stata impostata la temperatura di utilizzo (8 °C) sull'impianto di refrigerazione ed è stato pulito il raffreddatore d'aria. In seguito è stato impostato il surriscaldamento. Prima dell'impostazione, la temperatura di evaporazione era pari a 1 °C, dopo l'impostazione era pari a 4 °C.

Applicazione	Variabili di ingresso	Valori		Risparmio di elettricità computabile
		Vecchio	Nuovo	[kWh]
Climatizzazione comfort (fluido di raffreddamento)	Luogo	Locarno		
	Fabbisogno di raffreddamento di progetto, kW	120		
	Cessione di calore	Aria (diretta)		
	Temperatura di utilizzo in °C	8.0	8.0	
	Stato di sporcizia del raffreddatore d'aria	Pulito	Pulito	
	Temperatura di evaporazione prima/dopo impostazione surrisc. in °C	1.0	4.0	
Totale				3'700

9 Fonti

- [1] Workshop di esperti, valori empirici.
- [2] Società svizzera degli ingegneri e degli architetti, *Dati climatici per la fisica della costruzione, per l'energia e per l'impiantistica degli edifici*, SIA 2028, 2010.
- [3] BITZER Kühlmaschinenbau GmbH, *Programma online per la scelta dei compressori Bitzer - Bitzer Software Versione 6.5.0*, <https://www.bitzer.de/websoftware/Default.aspx> (consultato da ultimo il: 12 agosto 2024).
- [4] Tecumseh Products Company LLC, *Programma online per la scelta dei compressori Tecumseh - Versione 4.0*, (consultato da ultimo il: 12 agosto 2024).