



---

## Misura standardizzata KA-05

# Ottimizzazione dell'esercizio di impianti di refrigerazione

## Documentazione

Numero della misura

KA-05

Versione

1.0 (11.2024)

---



## 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 (LEne; RS 730.0), 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) che può essere 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 risparmio energetico 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

Il presente documento ha l'obiettivo di fornire una stima generale del risparmio di elettricità ottenibile riducendo i tempi di esercizio degli impianti di refrigerazione. I tempi di esercizio possono essere ridotti spegnendo l'impianto di refrigerazione in determinati giorni della settimana (ad es. il sabato e la domenica) oppure per intere settimane senza esercizio (ad es. vacanze semestrali, vacanze aziendali). La presente misura è applicabile soltanto ad impianti di refrigerazione destinati alla climatizzazione comfort.

## 3 Simboli, termini e unità di misura

### Lettere latine

Simbolo	Termine	Unità
$E$	Consumo annuo di elettricità	kWh/a
$\Delta E_{eco}$	Risparmio di elettricità computabile	MWh
$f$	Fattore	-
$n$	Numero	
$N_s$	Durata standard dell'effetto	a
$T$	Temperatura	°C
$\dot{Q}$	Potenza refrigerante	kW
$Q$	Fabbisogno annuo di freddo	kWh/a
$t$	Durata secondo il metodo BIN	h/a
$EER$	Rapporto di efficienza energetica	-

### Lettere greche

Simbolo	Termine	Unità
$\eta$	Coefficiente di sfruttamento	-

### Indici

Indice	Stato (vecchio, nuovo)
$x$	



$i$	Categoria di applicazione
$j$	Temperatura esterna
$k$	Categoria di edificio

## 4 Descrizione del calcolo ex ante

### 4.1 Risparmio computabile

Il risparmio di elettricità computabile  $\Delta E_{eco}$  della misura è determinato dalla differenza fra il consumo di elettricità attuale (stato attuale)  $E_{alt}$  e quello nuovo (stato dopo il rinnovamento)  $E_{neu}$ , moltiplicata per la 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.

$$\Delta E_{eco} = 0.001 \cdot (E_{alt} - E_{neu}) \cdot f_{eco} \cdot N_s$$

$\Delta E_{eco}$	Risparmio di elettricità computabile 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 nel vecchio stato

Se il consumo annuo di elettricità nel vecchio stato  $E_{alt}$  è noto (ad esempio perché si possiedono i dati sui consumi relativi all'anno precedente), è possibile indicarlo direttamente. Se invece non si conosce il consumo annuo di elettricità dell'impianto di refrigerazione, lo si calcola a partire dalla somma dei quozienti di carico di raffreddamento annuo ed efficienza dell'impianto, che a loro volta dipendono dall'applicazione e dalle specifiche condizioni d'esercizio.

$$E_{alt} = \sum_{j=1}^n \left( \frac{Q_j}{EER_j} \right)$$

$Q_j$	Energia frigorifera in funzione della temperatura esterna, in kWh/a
$EER_j$	Rapporto di efficienza energetica in funzione della temperatura esterna

L'energia frigorifera dipende dal numero di ore in cui si manifesta la temperatura esterna  $T_j$  e dal fabbisogno di potenza refrigerante alla temperatura esterna data  $T_j$ .

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

$Q_j$	Energia frigorifera in funzione della temperatura esterna, in kWh/a
$t_j$	Numero di ore secondo il metodo BIN in cui si manifesta la temperatura esterna, in h/a
$T_j$	Temperatura esterna in °C
$\dot{Q}_j$	Fabbisogno di potenza refrigerante alla temperatura esterna, in kW

Il numero di ore annue in cui si manifesta la temperatura esterna  $T_j$  si calcola secondo il metodo BIN, basandosi sulla norma SN EN 14825. Il fabbisogno di potenza refrigerante in funzione della temperatura esterna si calcola ricorrendo a un'indicazione di potenza alla temperatura esterna data e a un profilo di carico definito a dipendenza dell'applicazione di refrigerazione, come mostrato nella tabella 2.

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 da quella di evaporazione  $T_0$ , la quale può essere ottimizzata a seconda della misura.

$$EER_j = \frac{T_{0,i} + 273,15}{T_{C,j} - T_{0,i}} \cdot \eta_{CG}$$

$EER_j$	Rapporto di efficienza energetica in funzione della temperatura esterna
$\eta_{CG}$	Fattore di degradazione (del rendimento di Carnot), senza unità di misura
$T_{0,i}$	Temperatura di evaporazione (in funzione dell'applicazione di refrigerazione), in °C
$T_{C,j}$	Temperatura di condensazione (in funzione della temperatura esterna), in °C

La temperatura di condensazione  $T_{C,j}$  dipende dalla specifica temperatura ambiente  $T_j$  e dal delta di temperatura complessivo  $\Delta T_{tot,c}$ .

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

Occorre ricordare che la temperatura di condensazione non può mai essere inferiore al valore 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, la differenza di temperatura tra  $T_{0,i}$  e  $T_{C,j}$  non deve mai essere inferiore a  $\Delta T_{0,C,min}$ , anche quando la temperatura esterna e  $T_{C,min}$  lo permetterebbero.

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

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

Il delta di temperatura complessivo  $\Delta T_{tot,c}$  è formato da più componenti, laddove occorre distinguere tra una condensazione diretta (aria/condensatore diretto) e un raffreddamento tramite liquido (raffreddatore con circuito secondario).

#### 4.2.1 Condensazione diretta (aria/condensatore diretto)

Nel caso di una condensazione diretta (aria), il delta di temperatura complessivo si ricava dal  $\Delta T$  tra la temperatura di condensazione e la temperatura esterna ( $\Delta T_{c-j}$ ).

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

$\Delta T_{tot,c}$	Delta di temperatura complessivo in K
$\Delta T_{c-j}$	Delta di temperatura tra temperatura di condensazione e temperatura esterna in K

#### 4.2.2 Raffreddamento tramite liquido (raffreddatore con circuito secondario)

Nel caso di un raffreddatore con circuito secondario, il delta di temperatura complessivo si ricava dal  $\Delta T$  tra la temperatura di condensazione e la temperatura di mandata del circuito secondario del condensatore ( $\Delta T_{c-sek,ein}$ ) come anche dal  $\Delta T$  tra la temperatura di mandata del circuito secondario del condensatore e la temperatura ambiente ( $\Delta T_{sek,ein-j}$ ).



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

$\Delta T_{tot,c}$	Delta di temperatura complessivo in K
$\Delta T_{c-sek,ein}$	Delta di temperatura tra temperatura di condensazione e temperatura di mandata in K
$\Delta T_{sek,ein-j}$	Delta di temperatura tra temperatura di mandata e temperatura ambiente in K

#### 4.3 Consumo annuo di elettricità nel nuovo stato

Il consumo annuo di elettricità nel nuovo stato  $E_{neu}$  si ottiene calcolando il risparmio dovuto alla riduzione dei tempi di esercizio sulla base del precedente consumo di elettricità  $E_{alt}$ . I tempi di esercizio possono essere ridotti spegnendo l'impianto di refrigerazione in determinati giorni della settimana oppure per intere settimane senza esercizio.

- A. Se l'impianto di refrigerazione può sempre restare spento in determinati giorni della settimana per la durata dell'intero periodo di raffreddamento, il consumo annuo di elettricità nel nuovo stato  $E_{neu}$  si calcola in base ai giorni della settimana senza esercizio  $n_d$  e a un fattore di riduzione  $f_{a,k}$ .

$$E_{neu} = E_{alt} - E_{alt} \cdot \frac{n_d}{7} \cdot f_{a,k}$$

$n_d$	Numero di giorni settimanali senza esercizio, in giorni
$f_{a,k}$	Fattore di riduzione annuo (a seconda della categoria di edificio)

Il fattore di riduzione dà conto del fatto che il carico di raffreddamento nei giorni senza esercizio è inferiore rispetto a quello nei giorni di normale esercizio (a causa delle persone presenti e dei carichi interni).

- B. Se l'impianto di refrigerazione può restare spento per uno o più settimane per la durata del periodo di raffreddamento (ad es. per via di vacanze aziendali), il consumo annuo di elettricità nel nuovo stato  $E_{neu}$  si calcola sottraendo dal precedente consumo di elettricità il carico di raffreddamento durante le settimane di vacanza.

$$E_{neu} = E_{alt} - E_{alt} \cdot (\eta_{w,m,k} \cdot n_w \cdot f_{m,k})$$

$\eta_{w,m,k}$	Quota di raffreddamento settimanale (a seconda del mese e della categoria di edificio)
$n_w$	Numero di settimane senza esercizio, in settimane
$f_{m,k}$	Fattore di riduzione mensile (a seconda del mese e della categoria di edificio)

La quota di raffreddamento settimanale  $\eta_{w,m,k}$  indica la percentuale di carico di raffreddamento annuale riferibile a una settimana di un determinato mese. Il valore dipende dal mese e dalla categoria di edificio. Il fattore di riduzione mensile  $f_{m,k}$  dà conto del fatto che il carico di raffreddamento durante le settimane senza esercizio è inferiore rispetto a quello nelle settimane di normale esercizio. Anche il fattore di riduzione dipende dal mese e dalla categoria di edificio.

## 5 Variabili di ingresso

### In generale

- Tipo di applicazione di refrigerazione (*selezione duplice*)
- Tipo di cessione di calore (*selezione duplice*)
- Fabbisogno di potenza refrigerante in kW (*decimale*)

### Dopo la misura

- Tipo di riduzione dell'esercizio (*selezione duplice*)
- Categoria di edificio (*selezione multipla*)
- Numero di giorni settimanali senza esercizio (*numero intero*)



- Numero di settimane senza esercizio (*numero intero*)
- Mese in cui cadono le settimane senza esercizio (*selezione multipla*)

## 6 Ipotesi e dati

### In generale

- La durata standard di utilizzo delle misure  $N_S$  è di un anno ogni volta.
- La temperatura esterna per la quale è definito il fabbisogno di potenza refrigerante è di 35 °C.
- La temperatura di condensazione minima  $T_{C,min}$  e il delta di temperatura  $\Delta T_{0,C,min}$  sono pari a 25 °C.
- Le durate secondo il metodo BIN corrispondono ai valori standard della stazione climatica di Zurigo secondo il quaderno tecnico SIA 2028 [1].
- Il grado di efficienza di Carnot  $\eta_{CG}$  è pari a 0.45 [2,3].
- I delta di temperatura  $\Delta T_{c-j}$ ,  $\Delta T_{c-sek,ein}$  e  $\Delta T_{sek,ein-j}$  sono definiti nella tabella 1 [4].

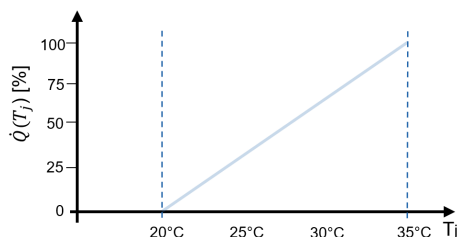
**Tabella 1** Determinazione di  $\Delta T_{c-j}$ ,  $\Delta T_{c-sek,ein}$  e  $\Delta T_{sek,ein-j}$

Condensatore / raffreddatore	Calcolo del $\Delta T$	$\Delta T$ [K]
Aria (condensatore diretto)	$\Delta T_{c-j} = T_c(\text{temperatura di condensazione})$ – $T_{aria}(\text{intervento del condensatore})$	13
Acqua (raffreddatore)	$\Delta T_{c-sek,ein}$ = $T_c(\text{temperatura di cond.})$ – $T_{termovettore}(\text{intervento del condensatore})$	9
Acqua (raffreddatore)	$\Delta T_{sek,ein-j} = T_{termovettore}(\text{intervento del condensatore})$ – $T_j(\text{temp. esterna})$	6

### Dopo l'applicazione

- La temperatura di evaporazione  $T_{0,i}$  dipende dall'applicazione in base alla tabella 2 e con essa si definisce anche il profilo di carico [2].
- Il metodo descritto vale, a dipendenza dell'applicazione, solo fino a un determinato fabbisogno di potenza refrigerante  $\dot{Q}_{max}$ . Gli specifici valori sono stabiliti nella tabella 2.

**Tabella 2** Temperatura di evaporazione e profilo di carico a seconda dell'applicazione

Applicazione di refrigerazione	$\dot{Q}_{max}$ [kW]	$T_{0,i}$ [°C]	Profilo di carico
Climatizzazione comfort (evaporazione diretta)	80	7	
Climatizzazione comfort (tramite fluido di raffreddamento)	200	3	

- I fattori di riduzione mensili e quello annuale dipendono dalla categoria di edificio. Il fattore di riduzione annuale  $f_{a,k}$  corrisponde al valore medio dei fattori di riduzione mensili, ponderato in base alla loro quota rispetto al carico di raffreddamento annuale.

I fattori di riduzione sono calcolati sulla base del quaderno tecnico SIA 2024 Dati d'utilizzo di locali [5]. A tal fine, in una prima fase si calcola il fabbisogno mensile di freddo (con un



irraggiamento solare del 100 %) per tutti i locali climatizzati, detratti i carichi interni dovuti a persone, apparecchi e illuminazione. Il fattore di riduzione mensile  $f_{w,m,k}$  corrisponde al rapporto tra il carico di raffreddamento senza incarichi interni e il carico di raffreddamento quando questi ultimi sono inclusi. Il fattore può variare da mese a mese.

Nella fase successiva si armonizzano i fattori di riduzione dei locali per le categorie di edificio selezionate. Le categorie di edificio si compongono di più locali e per ciascuna di esse si calcola il valore medio dei fattori di riduzione, ponderato in base alla percentuale di superficie tipica dei locali per ciascuna categoria di edificio in base al Quaderno tecnico SIA 2024 (Allegato F) [5].

**Tabella 3** Fattori di riduzione mensili e annuali in base alla specifica categoria di edificio

Categoria di edificio	$f_{w,mai,k}$	$f_{w,jun,k}$	$f_{w,jul,k}$	$f_{w,aug,k}$	$f_{w,sep,k}$	$f_{a,k}$
Ufficio	0.045	0.464	0.672	0.630	0.040	0.498
Scuola	0.000	0.044	0.241	0.198	0.000	0.159
Vendita (negozi specializzati)	0.000	0.192	0.426	0.422	0.000	0.248
Ristorante (con cucina)	0.000	0.042	0.119	0.104	0.000	0.087
Locale pubblico	0.000	0.051	0.129	0.120	0.000	0.079
Industria	0.000	0.162	0.669	0.629	0.000	0.547

- x. La quota di raffreddamento settimanale  $\eta_{w,m,k}$  indica la quota media di carico di raffreddamento annuale e dipende dal mese e dalla categoria di edificio. Per questo si calcola la percentuale del carico di raffreddamento di un mese in rapporto al carico di raffreddamento annuale in base a SIA 2024 [5]. Il valore viene moltiplicato per la quota di sette giorni nel mese specifico, ovvero 7/30 o 7/31.

**Tabella 4** Quota di raffreddamento settimanale per mese e categoria di edificio

Categoria di edificio	$\eta_{w,mai,k}$	$\eta_{w,jun,k}$	$\eta_{w,jul,k}$	$\eta_{w,aug,k}$	$\eta_{w,sep,k}$
Ufficio	0.022	0.050	0.071	0.066	0.019
Scuola	0.010	0.049	0.085	0.078	0.006
Vendita (negozi specializzati)	0.035	0.046	0.055	0.055	0.037
Ristorante (con cucina)	0.002	0.012	0.020	0.018	0.001
Locale pubblico	0.012	0.018	0.023	0.022	0.012
Industria	0.002	0.046	0.094	0.084	0.001

## 7 Risultati

Sulla scorta delle ipotesi e dei dati presentati, viene calcolato il risparmio di elettricità computabile per ogni impianto di refrigerazione, con riferimento alle variabili di ingresso stabilite. A tal fine si utilizza la lista di monitoraggio pubblica KA-05.

## 8 Esempio

Scenario A: Un edificio a uso uffici a Locarno può spegnere la climatizzazione comfort nel fine settimana per la durata dell'intero periodo di raffreddamento, per cui l'impianto di refrigerazione resta spento per due giorni ogni settimana.



Applicazione	Variabili di ingresso	Valori		Risparmio di elettricità computabile
		vecchio	nuovo	[MWh]
Climatizzazione comfort (evaporazione diretta)	Località	Locarno		
	Fabbisogno di freddo teorico, kW	50		
	Cessione di calore	Aria (condensatore diretto)		
	Categoria di edificio	Ufficio		
	Numero di giorni settimanali senza esercizio*	0	2	
Totale				0.7

\* Impianto di refrigerazione spento

Scenario B: Una scuola di Zurigo spegne l'impianto di refrigerazione durante le vacanze estive. Dato che l'ultima settimana delle vacanze scolastiche è utilizzata dal personale docente per la preparazione e la formazione continua, in quella settimana la climatizzazione deve nuovamente funzionare. Durante le prime quattro settimane di luglio l'impianto di refrigerazione può restare spento.

Applicazione	Variabili di ingresso	Valori		Risparmio di elettricità computabile
		vecchio	nuovo	[MWh]
Climatizzazione comfort (tramite fluido di raffreddamento)	Località	Zurigo		
	Fabbisogno di freddo teorico, kW	130		
	Cessione di calore	Acqua (raffreddatore)		
	Categoria di edificio	Scuola		
	Numero di settimane senza esercizio*	0	4	
	Mese in cui cadono le settimane senza esercizio	-	Luglio	
Totale				0.5

\* Impianto di refrigerazione spento

## 9 Fonti

- [1] 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.
- [2] BITZER Kühlmaschinenbau GmbH, *programma online per la scelta di compressori Bitzer - software Bitzer versione 6.5.0*, <https://www.bitzer.de/websoftware/Default.aspx>, ultima visita il 12 agosto 2024.
- [3] Tecumseh Products Company LLC, *programma online per la scelta di compressori Tecumseh - versione 4.0*, [http://www.tecumseh.com/de/Europe/Sel\\_Soft\\_V4\\_0](http://www.tecumseh.com/de/Europe/Sel_Soft_V4_0), ultima visita il 12 agosto 2024.
- [4] Workshop tra esperti, valori empirici.
- [5] Società svizzera degli ingegneri e degli architetti, *Dati d'utilizzo di locali per l'energia e l'impiantistica degli edifici*, SIA 2024, 01.12.2021.