



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Dipartimento federale dell'ambiente, dei trasporti,  
dell'energia e delle comunicazioni DATEC

Ufficio federale dell'energia UFE

---

Misura standardizzata MO-01

# Sostituzione di sistemi di azionamento fino a 75 kW

Documentazione

Numero della misura

MO-01

Versione

1.0 (11.2024)

---



## 1 Introduzione

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

L'obiettivo del presente documento è quello di fornire una stima generale del risparmio di elettricità associato alla sostituzione di motori elettrici nei seguenti casi standard:

- i. sostituzione di un motore a velocità fissa con un altro a velocità fissa;
- ii. sostituzione di un motore con variatore di velocità con un altro dotato di variatore di velocità.

L'aggiunta di un variatore o misure speciali associate a controlli della coppia o della potenza non rientrano nelle misure standard.

## 3 Simboli, termini e unità di misura

### Lettere latine

Simbolo	Termine	Unità
$\dot{E}$	potenza meccanica	kW
$E$	consumo annuo di elettricità	kWh/a
$\Delta E_{eco}$	risparmio di elettricità computabile	MWh
$f$	fattore	-
$N_s$	durata standard dell'effetto	a
$P_m$	potenza meccanica	kW
$t$	ore annuali di funzionamento	h/a

### Lettere greche

Simbolo	Termine	Unità
$\tau$	tasso di carico	-
$\eta$	rendimento	-

### Coefficienti

$x$	stato (attuale, nuovo)
$M$	motore
$T$	trasmissione



CF variatore di velocità

## 4 Descrizione del calcolo ex ante

### 4.1 Risparmio di elettricità 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

#### 4.2.1 Sostituzione di un sistema senza profilo di consumo

In assenza di dati sul carico annuo, il consumo elettrico di ogni anno è calcolato in base alla potenza nominale del motore (all'albero)  $P_{m,x}^{nom}$ , alle ore di funzionamento annue  $t$ , al tasso medio annuo di carico  $\tau_x$  e al rendimento nominale  $\eta_x$  del motore. Per tenere conto di perdite supplementari a tassi di carico parziale minori si aggiunge un fattore di degrado del rendimento  $f_{M,x}$ . In caso di sostituzione o di eliminazione del sistema di trasmissione, si tiene conto anche del suo rendimento con  $\eta_{T,x}$ . L'indice  $x$  designa lo stato attuale (*alt*) o lo stato dopo il risanamento (*neu*).

$$E_x = \frac{P_{m,x}^{nom} \cdot \tau_x}{\eta_{M,x} \cdot f_{M,x} \cdot \eta_{T,x} \cdot (\eta_{CF,x} + \Delta\eta_{CF,x})} \cdot t$$

$E_x$	consumo annuo di elettricità in kWh/a
$\eta_{M,x}$	rendimento nominale del motore
$\eta_{T,x}$	rendimento della trasmissione
$\eta_{CF,x}$	rendimento del variatore di velocità
$\Delta\eta_{CF,x}$	perdite supplementari del variatore di velocità a carico parziale
$\tau_x$	tasso di carico medio-annuo
$f_{M,x}$	fattore di degrado del rendimento
$P_{m,x}^{nom}$	potenza meccanica nominale (all'albero) in kW
$t$	ore annuali di funzionamento in h/a

Se il sistema di azionamento è dotato di variatore di velocità e non dispone di un profilo di consumo, le perdite nominali o il rendimento del variatore di velocità  $\eta_{CF,x}$  possono essere espressi in funzione della potenza nominale del motore (all'albero) [4]:

$$\eta_{CF,x} = 0.79 + 0.22 \cdot \left( 1 - \frac{1}{\log_{10}(40 \cdot P_{m,x}^{nom})} \right)$$

$\eta_{CF,x}$	rendimento del variatore di velocità
$P_{m,x}^{nom}$	potenza meccanica nominale (all'albero) in kW



Per tenere conto dell'effetto del carico parziale effettivo, le perdite supplementari del variatore di velocità possono essere espresse in funzione della potenza nominale del motore (all'albero) e del tasso medio di carico [4]:

$$\Delta\eta_{CF,x} = \left(10 - 9.5 \cdot (1 - e^{-0.6 \cdot P_{m,x}^{nom}})\right) \cdot \frac{1 - \tau_x}{0.5}$$

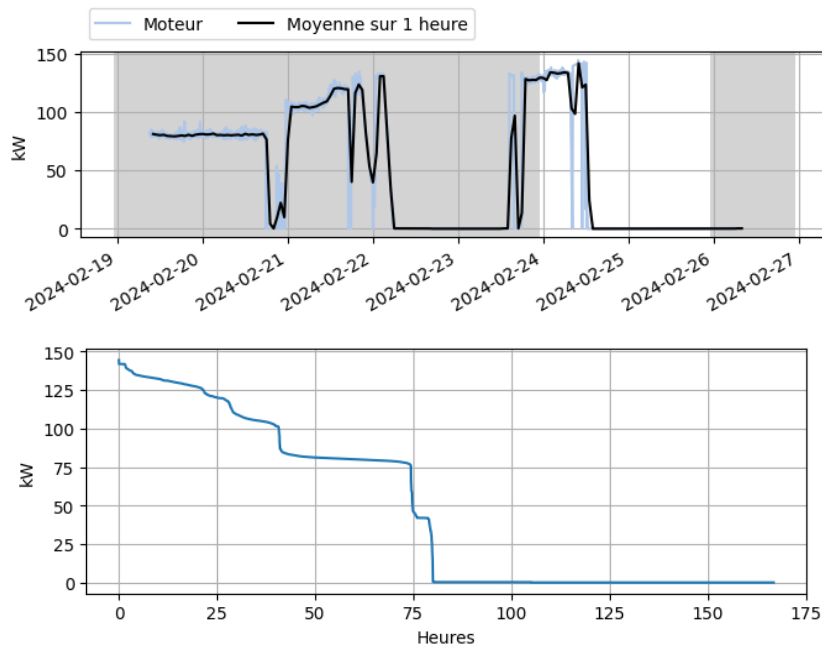
$\Delta\eta_{CF,x}$	perdite supplementari del variatore di velocità a carico parziale
$\tau_x$	tasso di carico medio-annuo
$P_{m,x}^{nom}$	potenza meccanica nominale (all'albero) in kW

#### 4.2.2 Sostituzione di un sistema con profilo di consumo

Quando è noto il profilo di consumo annuo, il metodo di calcolo si basa sul corrispondente profilo di potenza classificata. In una prima fase, si determina la potenza media (al di fuori dei periodi di fermo)  $\dot{E}_{avg,alt}$ . Nell'esempio riportato nella figura 1, questo valore è 98.7 kW. È possibile utilizzare profili di consumo inferiori a 1 purché siano rappresentativi dell'operatività dell'impianto. In tal caso, le ore annuali di funzionamento  $t$  sono stimate per estrapolazione. In questo esempio,  $t$  equivale a 50.5 % x 8'760 h/a, ossia 4'424 h/a. Pertanto, il consumo elettrico del sistema attuale è definito nel modo seguente:

$$E_{alt} = \dot{E}_{avg,alt} \cdot t$$

$E_x$	consumo annuo di elettricità in kWh/a
$\dot{E}_{avg,x}$	potenza elettrica media in funzionamento, in kW
$t$	ore annuali di funzionamento in h/a



**Figura 1** Esempio di profilo di consumo (in alto) e di potenze classificate (in basso) [5]

Per determinare il rendimento medio del motore vecchio, occorre determinare i tassi di carico medio dello stato attuale. Poiché le perdite supplementari nel caso di carico parziale del variatore di velocità  $\Delta\eta_{CF,x}$  dipendono a loro volta dal tasso di carico medio attuale, questo fattore non compare nell'equazione che segue. Tuttavia, si stima che la differenza sia trascurabile.



$$\tau_{alt} = \dot{E}_{avg,alt} \cdot \frac{\eta_{M,alt} \cdot \eta_{CF,alt}}{P_{m,alt}^{nom}}$$

$P_{m,x}^{nom}$	potenza meccanica nominale (all'albero) in kW
$\dot{E}_{avg,x}$	potenza elettrica media in funzionamento, in kW
$\eta_{M,x}$	rendimento nominale del motore
$\eta_{CF,x}$	rendimento nominale del variatore di velocità
$\tau_x$	tasso di carico medio annuo

Successivamente, si calcola la potenza meccanica media utile  $P_{nom,u}$  tenendo conto del degrado del rendimento nominale del motore a tassi di carico parziale mediante un fattore  $f_d$  (definito in funzione del tasso di carico medio).

$$P_m^u = \dot{E}_{avg,alt} \cdot (\eta_{CF,alt} + \Delta\eta_{CF,alt}) \cdot \eta_{M,alt} \cdot f_{M,alt} \cdot \eta_{T,alt}$$

$P_m^u$	potenza meccanica utile in kW
$P_{el,avg,x}$	potenza elettrica media in funzionamento, in kW
$f_{M,x}$	fattore di degrado del rendimento
$\eta_{M,x}$	rendimento nominale del motore
$\eta_{T,x}$	rendimento della trasmissione
$\eta_{CF,x}$	rendimento del variatore di velocità
$\Delta\eta_{CF,x}$	perdite supplementari del variatore di velocità a carico parziale
$\tau_x$	tasso di carico medio-annuo

In base alla potenza meccanica media utile, il nuovo motore può essere ridimensionato secondo il fabbisogno reale [3]. Il tasso di carico del nuovo motore è approssimativamente pari al rapporto tra le potenze meccaniche:

$$\tau_{neu} = \frac{P_m^u}{P_{m,neu}^{nom} \cdot \eta_{T,neu}}$$

$P_m^u$	potenza meccanica utile in kW
$P_{m,x}^{nom}$	potenza meccanica nominale (all'albero) in kW
$\tau_x$	tasso di carico medio annuo

Infine, in base alle equazioni precedenti, il consumo annuo di elettricità del nuovo sistema può essere espresso come:

$$E_{neu} = \dot{E}_{avg,neu} \cdot t = \frac{P_{m,neu}^{nom} \cdot \tau_{neu}}{(\eta_{CF,neu} + \Delta\eta_{CF,neu}) \cdot \eta_{M,neu} \cdot f_{M,neu} \cdot \eta_{T,neu}} \cdot t$$

$E_x$	consumo annuo di elettricità in kWh/a
$\dot{E}_{avg,x}$	potenza elettrica media in funzionamento, in kW
$t$	ore annuali di funzionamento in h/a
$P_{m,x}^{nom}$	potenza meccanica nominale (all'albero) in kW
$f_{M,x}$	fattore di degrado del rendimento
$\eta_{M,x}$	rendimento nominale del motore
$\eta_{T,x}$	rendimento della trasmissione
$\eta_{CF,x}$	rendimento del variatore di velocità
$\Delta\eta_{CF,x}$	perdite supplementari del variatore di velocità a carico parziale



## 5 Variabili di ingresso

### In generale

- Potenza meccanica nominale (all'albero) in kW (*numero*)
- Numero di poli (*selezione multipla*)
- Anno di costruzione del motore (*scelta multipla*)
- Tipo di trasmissione (*selezione multipla*)
- Variazione di velocità (*selezione booleana*)
- Ore annuali di funzionamento in h/a (*numero intero*)

### Con profilo di consumo

- Potenza elettrica media assorbita in kW (in funzionamento) (*numero*)

## 6 Ipotesi e dati

### In generale

- Per i motori che superano i 20 kW si considera una durata standard dell'effetto  $N_s$  di 25 anni; per i motori più piccoli tale durata è di 15 anni.
- Il numero delle ore annuali di funzionamento  $t$  non cambia dopo il risanamento.
- Il rendimento dei motori soddisfa i requisiti minimi secondo la classe di efficienza IE del regolamento europeo 2019/1781 [1]. La classe di efficienza del motore vecchio è determinata in base all'anno di costruzione dell'apparecchio, secondo la tabella 1.

- Tabella 1** Classe di efficienza secondo l'anno di costruzione [4]

Anno di costruzione	Classe
<1999	IE1
1999 – 2008	IE2
2008 – 2016	IE3
≥ 2016	IE4

- Il degrado del rendimento dei motori a carico parziale è calcolato in base alla tabella 2.

**Tabella 2** Degrado del rendimento dei motori a carico parziale [2]

$P_m$ [kW]	Tasso di carico $\tau_x$ [%]													
	5	10	15	20	25	30	35	40	50	60	70	80	90	100
0.1	18.1	36.2	48.8	61.5	69.9	77.7	82.3	86.9	91.5	96.2	97.7	99.2	99.6	100
1.8	19.4	38.7	51.8	64.9	73.4	82.0	86.5	91.1	94.6	98.1	98.9	99.6	99.8	100
3.7	20.6	41.2	54.7	68.2	77.2	86.1	90.6	95.1	97.6	100	100	100	100	100
5.5	24.4	48.8	61.5	74.1	81.6	89.0	92.4	95.7	97.9	100	100	100	100	100
7.4	28.1	56.3	68.1	80.0	85.9	91.9	94.1	96.3	98.1	100	100	100	100	100
12.9	31.7	63.5	73.4	83.4	88.1	92.8	94.7	96.7	98.3	100	100	100	100	100
18.4	35.3	70.6	78.7	86.8	90.3	93.8	95.4	97.1	98.5	100	100	100	100	100
31.2	37.5	75.1	81.9	88.6	91.5	94.3	95.8	97.3	98.6	100	100	100	100	100
44.1	39.8	79.6	85.0	90.5	92.7	94.9	96.2	97.4	98.7	100	100	100	100	100
58.8	41.1	82.2	87.3	92.4	94.4	96.4	97.2	98.0	99.0	100	100	100	100	100
73.5	42.4	84.4	89.5	94.2	96.0	97.8	98.2	98.6	99.3	100	100	100	100	100

- I dati sul rendimento dei principali tipi di trasmissione sono riportati nella tabella 3.

**Tabella 3** Rendimento dei sistemi di trasmissione [3,4]

Sistema di trasmissione	Rendimento $\eta_{T,x}$ [-]
Nessun sistema / trasmissione diretta	1.000
Cavo / Catena	0.930
Cinghia in gomma o sintetica	0.830
Cinghia dentata o piatta	0.980
Cinghia trapezoidale	0.905
Ingranaggi (1 stadio)	0.985
Ingranaggi (2 stadi)	0.970
Ingranaggi (3 stadi)	0.955
Vite senza fine (9:1)	0.900
Vite senza fine (20:1)	0.850
Vite senza fine (40:1)	0.800
Vite senza fine (70:1)	0.650
Vite senza fine (240:1)	0.300

**Senza profilo di consumo**

- vi. Il vecchio motore (e il relativo variatore di velocità) viene sostituito con un motore (e un variatore di velocità) nuovo, di identiche dimensioni.
- vii. Nel caso in cui le informazioni non consentano di determinare il tasso di carico parziale del motore attuale, il fattore considerato automaticamente dipenderà dalla dimensione del motore, in base alla tabella 4. Il carico medio delle trasmissioni elettriche con variatori di velocità è mediamente del 15% inferiore a quello delle trasmissioni elettriche senza variatore di velocità di identiche dimensioni.

**Tabella 4** Tasso di carico predefinito [4]

Potenza meccanica $P_{nom}$	Tasso di carico $\tau_x$ [-]	
	Con variatore di velocità	Senza variatore di velocità
0 kW – 1 kW	0.30	0.40
1 kW – 10 kW	0.35	0.50
> 10 kW	0.45	0.60

- viii. La sostituzione di un vecchio motore con uno della stessa dimensione, di classe IE4 o superiore, comporterà – a parità di prestazioni – un fattore di carico più basso sul motore nuovo<sup>1</sup>.

**Con profilo di consumo**

- ix. La potenza meccanica utile  $P_{m,nom,u}$  è preservata dopo il risanamento.

**7 Risultati**

Tenuto conto delle ipotesi e dei dati sopra riportati, il risparmio energetico computabile è determinato in base alle variabili di ingresso succitate avvalendosi della lista di monitoraggio MO-01a.

<sup>1</sup> Per i motori asincroni, la sostituzione di un motore vecchio con uno recente di classe di efficienza elevata comporterà uno slittamento più debole che farà aumentare la velocità di rotazione del motore, con una prestazione più alta rispetto al vecchio motore (p. es., la portata d'aria del ventilatore con il nuovo motore a 50 Hz sarà maggiore) e con un potenza all'albero di fatto superiore. Una quota, talvolta importante, dell'incremento di rendimento non è quindi completamente rilevabile nel consumo. In questa sede non si tiene conto di questo effetto.



## 8 Esempio

Scenario A: sostituzione dei motori da 5.5 kW (data di costruzione 2002) di due sistemi di azionamento a cinghia piatta senza variatori di velocità, funzionanti 12 ore al giorno per tutto l'arco dell'anno. I nuovi motori hanno un rendimento nominale del 95.5 %. Non si dispone di alcuna misura del profilo di carico o del consumo elettrico.

Modello	Durata di esercizio	Risparmio di elettricità computabile	
	[h/a]	[MWh/unità]	[MWh]
Senza profilo di consumo	4'830	13.2	26.4
<b>Totale</b>			<b>26.4</b>

## 9 Fonti

- [1] Commissione europea, *Regolamento (UE) 2019/1718 della Commissione del 1° ottobre 2019 che stabilisce specifiche per la progettazione ecocompatibile dei motori elettrici e dei variatori di velocità in applicazione della direttiva 2009/125/CE del Parlamento europeo e del Consiglio recante modifica del regolamento (CE) n. 641/2009 della Commissione per quanto riguarda le specifiche per la progettazione ecocompatibile dei circolatori senza premistoppa indipendenti e dei circolatori senza premistoppa integrati in prodotti e abroga il regolamento (CE) n. 640/2009 della Commissione*, Bruxelles, 2019.
- [2] C. Burt, X. Piao, F. Gaudi, B. Busch e N. Taufik, *Electric Motor Efficiency under Variable Frequencies and Loads*, Journal of Irrigation and Drainage Engineering, Vol. 134 (2), pagg. 129–136, aprile 2008.
- [3] A. Huser, A. Huber et G. Huser, *RAVEL Manuale per l'industria – Concetti e dati concernenti la gestione dell'energia nell'azienda*, Ufficio federale dell'energia, Berna, 1995.
- [4] *Remplacement d'un entraînement électrique*, Programma PEIK, Berna, 2019.
- [5] *Courbes de charge tirées de cas pratique*, Planair SA, 2024.