

# Ottimizzare gli azionamenti elettrici

## I cinque punti principali

- I costi per l'energia elettrica prevalgono sui costi del ciclo di vita di un sistema di azionamento, in genere con una quota superiore al 90%.
- I sistemi di azionamento correttamente dimensionati e non troppo potenti riducono sia l'investimento iniziale sia i costi operativi.
- Specifiche dei requisiti: al fine di evitare un sovradimensionamento, occorre definire con cura i requisiti del processo per gli azionamenti.
- Ottimizzare l'efficienza complessiva: tutti i componenti di un sistema di azionamento devono essere perfettamente coordinati tra loro e concepiti per un determinato processo (di produzione). L'efficienza di un sistema di azionamento è legata in particolare al punto di funzionamento effettivo.
- Consultare gli specialisti: all'interno delle aziende, spesso il necessario know-how sui sistemi di azionamento ad alta efficienza energetica è insufficiente e deve essere supportato

## Introduzione

In Svizzera, i motori industriali consumano il 27% dell'energia elettrica, e i sistemi di azionamento elettrico nel loro insieme consumano circa il 50%, come mostra la figura 1. Si stima che il numero di motori elettrici installati in Svizzera nel 2006 sia di 2.2 milioni (Baumgartner, 2006). Non sono disponibili dati più recenti.

Un rilevamento su oltre 4100 motori eseguito nel 2014 nell'ambito del programma di finanziamento «EASY» ha evidenziato quanto segue:

- Il 56.4% dei motori rilevati sono più vecchi della loro vita utile tecnicamente prevista (< 1kW: 10 anni; da 1 fino a 10 kW: 12 anni, da 10 fino a 100 kW: 15 anni, > 100 kW: 20 anni). I motori che hanno già superato la loro vita utile tecnicamente prevista, nel 99% dei casi sono troppo vecchi.

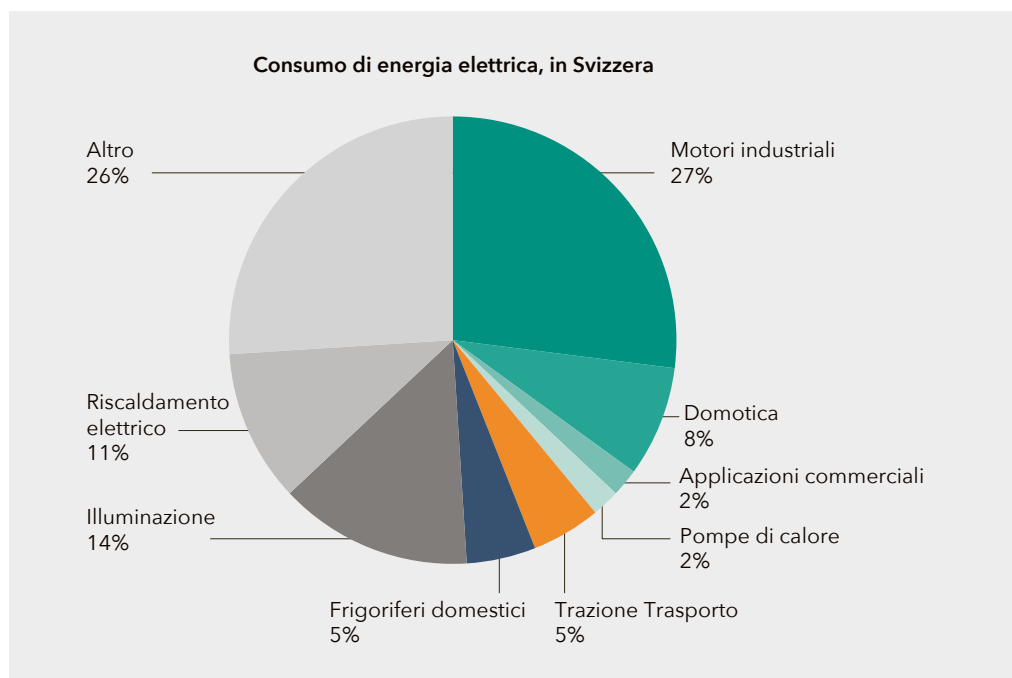


Figura 1: Percentuale dei sistemi di azionamento sul consumo di energia elettrica in Svizzera (S.A.F.E./ J. Nipkow, 2013). I sistemi di azionamento elettrico sono inclusi nelle categorie dei motori industriali, della domotica, delle applicazioni commerciali, delle pompe di calore, della trazione per il trasporto e degli elettrodomestici; questi costituiscono il 49% del consumo.

- Il 19.8% dei motori rilevati sono dotati di un convertitore di frequenza (CF).
- Il 68% dei motori esaminati hanno un fattore di carico medio inferiore al 60%, sono quindi considerati sovradimensionati.
- La quota del consumo di energia elettrica per i motori nelle aziende industriali rilevate è dell'86.8%.
- Le ricerche di Topmotors mostrano che il potenziale di risparmio energetico per quanto riguarda i sistemi di azionamento elettrico molto spesso varia dal 20 al 30%, a seconda della situazione iniziale.

La figura 2 mostra i componenti di un sistema di azionamento elettrico. Questo sistema è costituito da quattro componenti principali: convertitore di frequenza, motore elettrico, componenti meccanici (ad es. cinghia trapezoidale) e applicazione (ad es. ventilatore). Nei sistemi di azionamento elettrico rimane ancora un notevole potenziale di risparmio energetico. Il risparmio è stimato, ad esempio, dal 5 al 15% nel caso di un ridimensionamento, dal 5 al 50% per l'ottimizzazione dei processi, dal 2 al 20% per i componenti meccanici ad alte prestazioni (ad es. cinghie, riduttori, strozzamenti, ecc.) e dal 2 al 20% per le applicazioni (ad es. pompe, ventilatori, compressori, trasporti) (dati UFE, Motor Summit 2021). Il potenziale di risparmio energetico può essere realizzato tramite due diverse strategie:

**1. Requisiti minimi:** I requisiti minimi di efficienza energetica impediscono l'impiego di componenti con bassa efficienza energetica (come motori e ventilatori). I requisiti minimi dei sistemi di azionamento elettrico sono di enorme importanza, poiché la durata utile dei motori elettrici, già molto lunga, da 10 a 20 anni (anche in base alla potenza nominale del motore), viene spesso prolungata nella pratica.

**2. Ammodernamento dei sistemi di azionamento elettrico esistenti:** Questo è molto più complesso da realizzare. È evidente che spesso non si investe nell'efficienza energetica dei sistemi di azionamento elettrico, anche se il ritorno

economico, dopo un determinato periodo, è garantito. I motivi di solito sono:

- Quando si procede a scegliere un nuovo sistema, l'attenzione è rivolta a moderare i costi di acquisto, mentre i costi operativi da sostenere nel corso della vita utile vengono raramente considerati.
- Spesso mancano le necessarie conoscenze nell'ambito dei sistemi di azionamento elettrico.
- soprattutto nelle piccole e medie aziende.
- Le interruzioni di produzione hanno una grande incidenza sul lavoro quotidiano e spesso le conseguenze sono costose e su vasta scala. Non sono quindi auspicabili le interruzioni che si possono evitare («mai toccare un sistema in funzione»).
- Le modifiche dei processi certificati sono molto complessi da realizzare e devono essere documentati in modo abbastanza elaborato.
- Con la protezione dei segreti commerciali è difficile per gli esperti esterni analizzare i dati di produzione e i risultati delle misurazioni.

I requisiti minimi e le disposizioni di legge sono vincolanti per tutti e quelle attuali mirano a migliorare l'efficienza energetica a livello dei componenti. Le specifiche attualmente in vigore non possono garantire un'efficienza ottimale a livello dell'intero sistema, poiché l'interazione dei singoli componenti del sistema di azionamento e la loro capacità di coordinamento con il processo è complessa e non è vincolata ai requisiti minimi di efficienza energetica. Con la ristrutturazione dei sistemi esistenti, gli esperti possono incidere notevolmente e in maniera diretta sul consumo di energia e i costi operativi a lungo termine dei loro sistemi di azionamento. È molto importante considerare sempre il sistema di azionamento nel suo insieme, il potenziale di risparmio varia per ogni singolo caso.

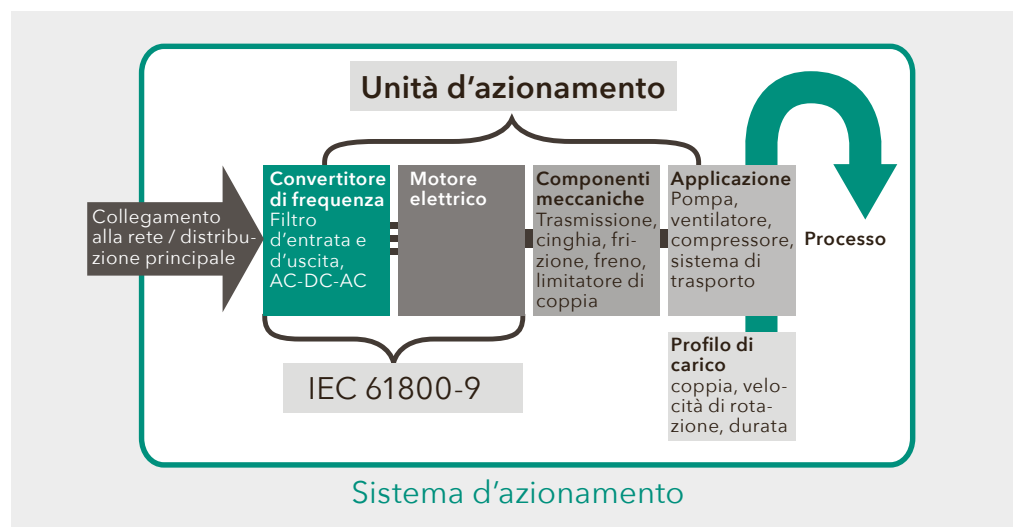


Figura 2: Definizione di un sistema di azionamento. (fonte: Topmotors)

# Requisiti minimi attualmente in vigore

Sul sito [www.topmotors.ch/it/normen](http://www.topmotors.ch/it/normen) troverete informazioni dettagliate sulle norme e i regolamenti che riguardano i sistemi di azionamento. Quella che segue è una versione abbreviata:

## Motori elettrici e convertitori di frequenza

A partire dal **1° luglio 2021**, per l'immissione sul mercato e la distribuzione si applica quanto segue:

■ **Classe di efficienza IE2 (o superiore) per motori** con una potenza nominale da 0.12 kW fino a meno di 0.75 kW

■ **Classe di efficienza IE3 (o superiore) per motori** con una potenza nominale 0.75 kW fino a 1 000 kW

■ **Classe di efficienza IE2 per convertitori di frequenza** progettati per funzionare con motori da 0.12 kW fino a 1 000 kW

Dal **1° luglio 2023** anche i motori con una potenza nominale di almeno 75 kW e fino a un massimo di 200 kW, immessi sul mercato e distribuiti, devono soddisfare i requisiti della classe di efficienza IE4 (o superiore). Vedere:

■ OEEne allegato 2.7: Requisiti di efficienza energetica, per l'immissione sul mercato e la distribuzione dei motori e dei convertitori di frequenza [Download](#) (OEEne, 2017)

■ Potete trovare tutte le informazioni sui regolamenti in Svizzera e nell'UE anche in forma compatta nella scheda [Topmotors INFO n. 1: Requisiti più severi per l'efficienza energetica](#)

■ Potete trovare ulteriori informazioni sulle eccezioni, i periodi di transizione e sulla vendita di motori IE1, IE2 e IE3 che non sono conformi ai regolamenti in vigore in: [Topmotors INFO n. 2: Vendite di motori](#)

## Circolatori

Dal 1° agosto 2015, è richiesto un indice di efficienza energetica (IEE) di 0.23 per i circolatori senza premistoppa con una potenza idraulica da 1 W fino a 2 500 W.

Vedere OEEne allegato 2.8: Requisiti per efficienza energetica per l'immissione sul mercato e la distribuzione dei circolatori senza premistoppa [Download](#) (OEEne, 2017).

## Pompe per acqua

Dal 1° agosto 2015, le pompe per acqua devono rispettare un indice di efficienza minimo (MEI) di 0.4, misurato nel punto di massima efficienza.

Vedere l'allegato 2.9: Requisiti per l'efficienza energetica per l'immissione sul mercato e la distribuzione delle pompe per acqua [Download](#) (OEEne, 2017).

## Ventilatori

Dal 1° gennaio 2015, i ventilatori con una potenza di azionamento elettrica tra 125 W e 500 kW devono soddisfare i requisiti minimi di efficienza energetica del secondo livello.

Vedere OEEne allegato 2.6: Requisiti per efficienza energetica per l'immissione sul mercato e la distribuzione dei ventilatori [Download](#) (OEEne, 2017).

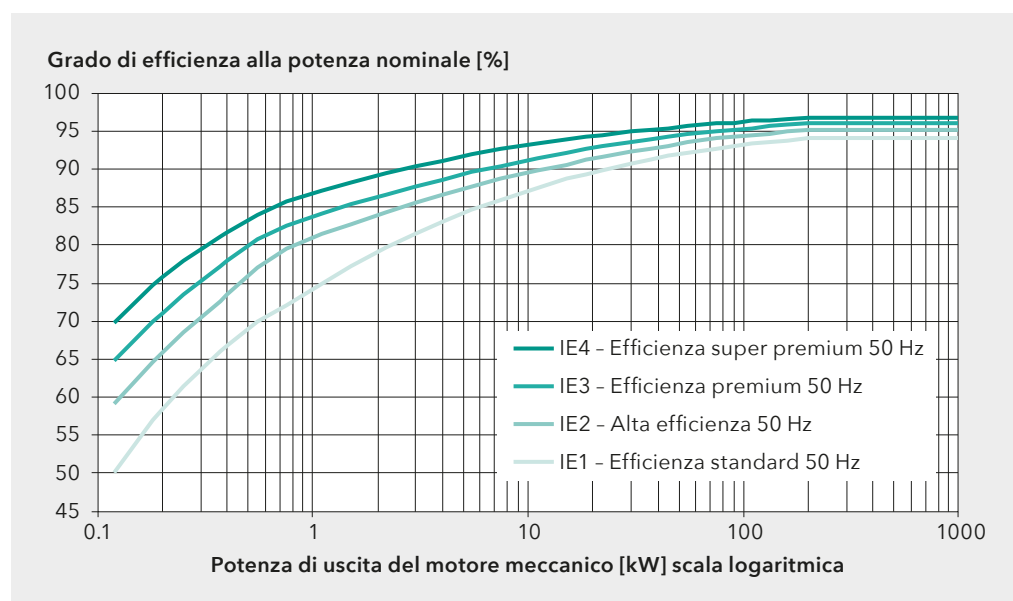


Figura 3: Grado di efficienza dei motori elettrici a 4 poli conformi alla norma IEC 60034-30-1:2014.

# Classi di efficienza per motori, convertitori di frequenza e sistemi di azionamento

In Svizzera esistono dal luglio 2021 norme per l'efficienza energetica minima di motori elettrici e convertitori di frequenza (CF). I motori elettrici e i CF sono suddivisi in classi di efficienza sulla base delle loro perdite di potenza o del loro grado di efficienza. Le classi di efficienza sono definite da norme internazionali della Commissione Elettrotecnica Internazionale IEC, corrispondono a un consenso mondiale e sono designate secondo il codice di efficienza internazionale (codice IE) o il codice del sistema di efficienza internazionale (codice IES).

## Motori delle classi di efficienza IE

I motori elettrici sono suddivisi in classi sulla base al loro grado di efficienza. Si distinguono tra motori alimentati dalla rete con velocità costante e motori alimentati solo con convertitore di frequenza a velocità variabile:

### Motori azionati dalla rete con velocità costante

La norma IEC 60034-30-1:2014 definisce quattro classi di efficienza, vedere la tabella 2. Il valore di riferimento per l'efficienza minima da raggiungere nella relativa classe dipende da vari fattori, tra cui ci sono:

- Potenza nominale (meccanica) del motore da 0.12 a 1 000 kW
- Numero di poli del motore da 2 a 8

Nell'allegato A della norma, è stata delineata una classe di efficienza IE5. I motori di questa classe di efficienza dovrebbero avere circa il 20% in meno di perdite di potenza rispetto ai motori IE4. La classe IE5 non è stata però effettivamente definita e in Svizzera non ci sono regolamenti per l'efficienza minima che fanno riferimento a questa classe (aggiornamento al dicembre 2021).

### Motori a velocità variabile (alimentati solo con convertitore di frequenza)

Per gli azionamenti elettrici a velocità variabile, è stata pubblicata la specifica tecnica IEC TS 60034-30-2:2016. Secondo questa specifica tecnica, gli azionamenti a velocità variabile adatti al funzionamento continuo possono anche essere classificati nelle cinque classi IE1, IE2, IE3, IE4, IE5 in relazione alla loro efficienza energetica.

### Codice IE per i convertitori di frequenza

Dal 1° luglio 2021, si applicano i requisiti minimi di efficienza anche ai convertitori di frequenza progettati per il funzionamento di motori con una potenza nominale da 0.12 kW fino a 1 000 kW. I convertitori di frequenza devono soddisfare almeno i requisiti della classe di efficienza energetica IE2, vedere l'Ordinanza OEEne allegato 2.7. La base per la suddivisione in classi di efficienza è la norma IEC 61800-9-2:2017, che definisce le classi di efficienza internazionali IE0, IE1 e IE2 per i convertitori di frequenza, vedere la tabella 1. La suddivisione nelle tre classi di efficienza viene eseguita confrontando la perdita di potenza del convertitore di frequenza con la perdita di potenza di un convertitore di riferimento, che corrisponde allo stato dell'arte, vedere la figura 4.

Codice IE	Classe di efficienza
IE4	Efficienza Super Premium
IE3	Efficienza Premium
IE2	Alta efficienza (ex Eff1)
IE1	Efficienza standard (ex Eff2)

Tabella 2: Codice IE per le classi di efficienza secondo la norma IEC 60034-30-1:2014.

Ambito di applicazione		Codice	Classe di efficienza	Norma o Specifica tecnica (TS)
Motore	Motore a velocità costante, alimentato con la rete	Codice IE	IE1, IE2, IE3, IE4	IEC 60034-30-1:2014
Motore	Motore a velocità variabile, predisposto per il funzionamento con convertitore di frequenza, senza alimentazione diretta online	Codice IE	IE1, IE2, IE3, IE4, IE5	IEC TS 60034-30-2:2016
CDM	Convertitore di frequenza	Codice IE	IE0, IE1, IE2	IEC 61800-9-2:2017
PDS	Sistemi di azionamento (incluso motore e CDM)	IES-Code	IES0, IES1, IES2	IEC 61800-9-2:2017
EP	Settore produttivo ampliato	-	-	EN 50598-3:2015

Tabella 1: Codice IE e codice IES per la classificazione degli azionamenti elettrici o dei convertitori di frequenza e dei sistemi di azionamento.

## Codice IES per i sistemi di azionamento

Un motore elettrico, ad esempio in un sistema di ventilazione in funzionamento continuo, può generare considerevoli costi energetici. Questi possono essere diminuiti a lungo termine utilizzando un sistema di azionamento ad alta efficienza. I requisiti vigenti sono specificati nell'OEEne per i singoli componenti: motori, CF, pompe o ventilatori. Purtroppo, la buona interazione dei singoli componenti e quindi anche l'efficienza del sistema, che è il fattore determinante per ridurre i costi dell'elettricità, viene spesso trascurata durante la pianificazione, in quanto sono coinvolti diversi attori con contratti separati e spesso il cliente non specifica i requisiti minimi per l'efficienza energetica dell'intero sistema. Nel cosiddetto «approccio ampliato», vedere la figura 6, si tiene invece conto di queste interazioni.

La suddivisione nelle tre classi di efficienza IES per i sistemi di azionamento è stata eseguita confrontando la perdita di potenza del sistema con la perdita di potenza di un sistema di azionamento di riferimento, vedere la figura 5. L'ambito

di applicazione delle classi di efficienza IES comprende, tra l'altro, il range di potenza da 0.12 kW fino a 1000 kW; il range di tensione da 100 V fino a 1000 V; i sistemi di azionamento AC/AC ad asse singolo.

L'approccio di sistema permette di determinare il livello di efficienza effettivo o la classe di efficienza di un sistema di azionamento. A tale scopo viene valutata l'interazione dei singoli componenti. Questo consente di eseguire calcoli di efficienza più precisi e un dimensionamento più accurato dei sistemi di azionamento. Le classi di efficienza IES sono un passo importante per rendere efficienti i processi dinamici e utilizzare in modo ottimale l'energia. Non esiste ancora un programma per l'introduzione di regolamenti che riguardano l'efficienza energetica dei sistemi di azionamento (Power Drive System; PDS).

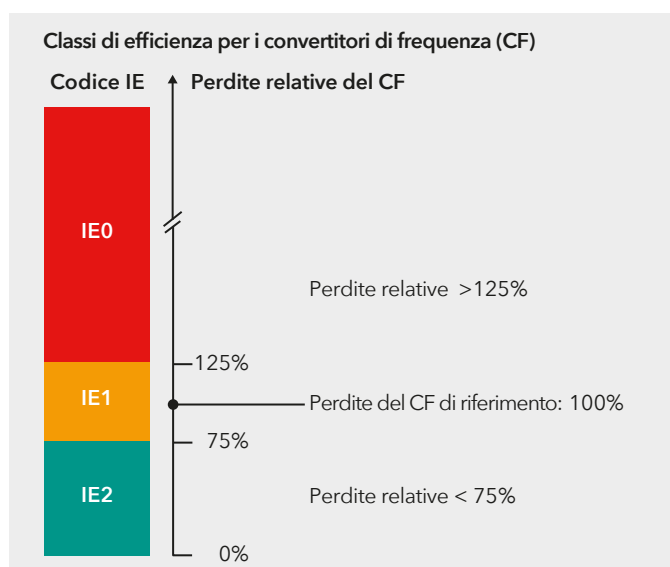


Figura 4: Classi di efficienza per i convertitori di frequenza, secondo la norma IEC 61800-9-2:2017. L'efficienza energetica di un convertitore di frequenza viene valutata in base a un confronto. Per il confronto vengono utilizzati i valori di riferimento per la perdita di potenza stabiliti nella norma.

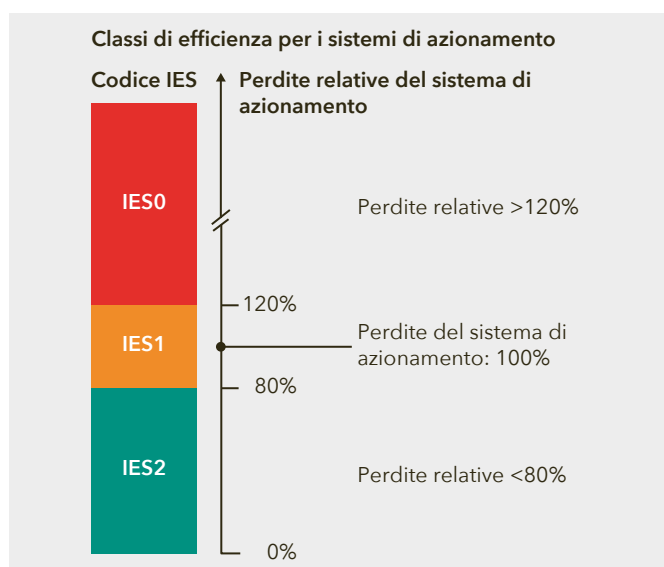


Figura 5: Classi di efficienza IES per i sistemi di azionamento (PDS) secondo la norma IEC 61800-9-2:2017. L'efficienza energetica di un sistema di azionamento viene valutata in base a un confronto. Per il confronto vengono utilizzati i valori di riferimento per la perdita di potenza stabiliti nella norma.

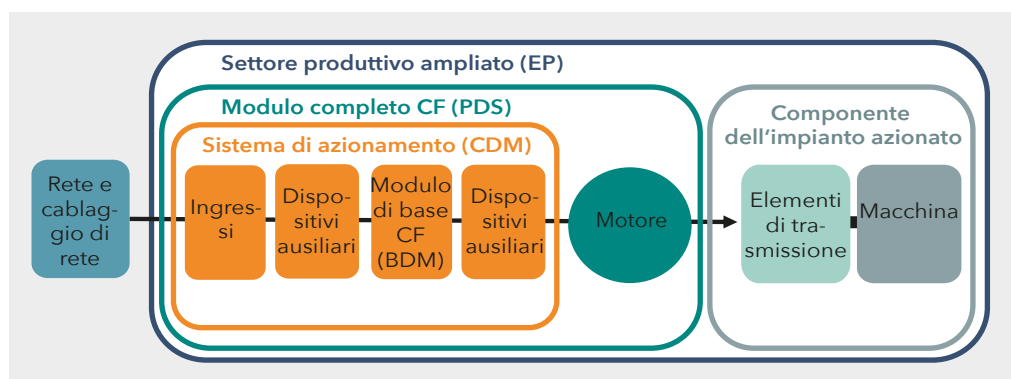


Figura 6: Approccio ampliato al sistema produttivo. (fonte: Topmotors)

# Ottimizzazione sistematica dei sistemi di azionamento

Un sistema di azionamento può funzionare in modo efficiente solo se tutti i componenti sono coordinati e vengono utilizzati nel relativo punto di funzionamento ottimale. Si dovrebbe anche sempre verificare se per una determinata applicazione è necessario un componente come di trasmissione (ad es. cinghia) o può essere omesso. In questo modo, possono essere eliminati i costi per l'acquisizione e la manutenzione del componente oltre a migliorare l'efficienza energetica.

Il fattore decisivo per il dimensionamento di tutti i componenti è sempre il processo. È quindi fondamentale registrare prima il funzionamento del processo nel modo più accurato possibile. Quanta pressione è necessaria per il mio processo? Quanto flusso volumetrico è necessario? Ci sono fluttuazioni? È necessario e sensato il controllo della velocità con un convertitore di frequenza (CF)?

In genere, per ottimizzare l'efficienza energetica si dovrebbero affrontare i seguenti punti:

1. Non sovradimensionare: progettare il sistema per soddisfare il fabbisogno e verificare obiettivamente i margini di sicurezza.
2. Azionare il sistema solo quando è necessario. Evitare il funzionamento senza alcuna utilità, come ad esempio di notte.
3. Evitare le perdite di potenza in standby.
4. Se possibile, utilizzare l'azionamento diretto senza trasmissione (cinghia trapezoidale, riduttore, ecc.)
5. Quando è utile, utilizzare sempre il controllo della potenza con un convertitore di frequenza.
6. Utilizzare componenti ad alta efficienza:
  - Motori: IE4 o superiore
  - Convertitore di frequenza: IE2 o superiore (tutti i CF con perdite di potenza relative; <75% sono considerati IE2! Per questo si raccomanda uno sguardo critico alle perdite di potenza relative dei CF).
  - La migliore tecnologia disponibile per le pompe, i ventilatori, i convertitori di frequenza, ecc.

# Gradi e catene di efficienza

Quando si utilizzano gli azionamenti elettrici in un ambiente industriale, la preoccupazione principale è il loro costo. Dal punto di vista economico, il rapporto tra costi e utilità è molto importante. Dal punto di vista tecnico, si tratta di utilizzare nel miglior modo possibile l'energia elettrica (in seguito si parla anche di elettricità). Il motore elettrico è un convertitore di energia: converte l'elettricità in energia meccanicamente utilizzabile. Il grado di efficienza del motore descrive con quale rendimento ovvero con quanta perdita di energia, avviene questa conversione. Dal punto di vista fisico, si considera il rapporto tra la potenza elettrica assorbita e la potenza meccanica erogata:

$$\eta = \frac{P_{mecc}}{P_{el}} = \frac{P_{mecc}}{P_{mecc} + P_{per}} = \frac{P_{el} - P_{per}}{P_{el}}$$

Grado di efficienza	$\eta$	1
Potenza erogata	$P_{mecc}$	W
Potenza assorbita	$P_{el}$	W
Perdita di potenza	$P_{per}$	W

Il grado di efficienza è un rapporto, che per un motore elettrico è compreso tra 0 e 1. Di solito viene indicato in percentuale (0-100%).

Un alto rendimento in un motore elettrico significa:

- $\eta \geq 93.3\%$  per un motore IE4 con potenza nominale 11 kW (IEC 60034-30-1:2014)
- Il motore ha una bassa perdita di potenza rispetto ai motori con una classe di efficienza inferiore grazie alle sue ottime caratteristiche tecniche.
- Il motore può essere gestito in modo economico e mantiene costi operativi relativamente bassi anche nel range di carico parziale.

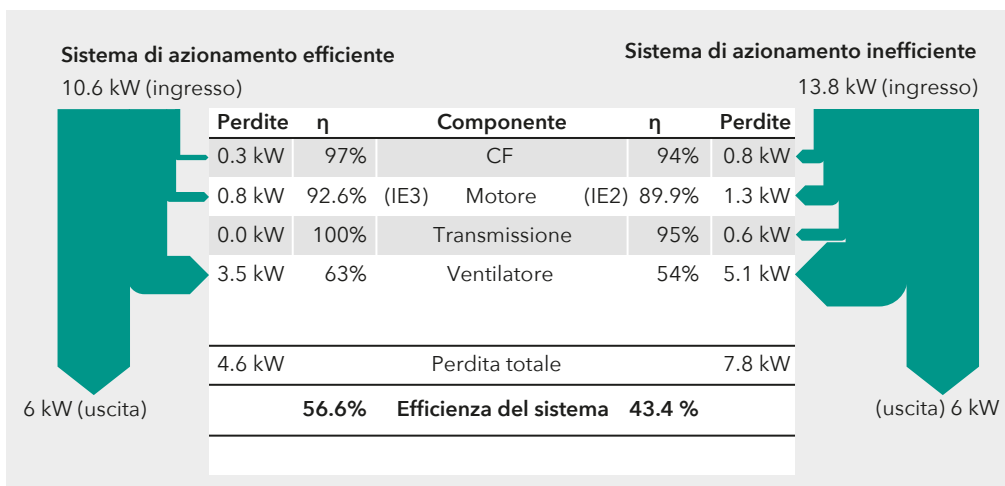
**Esempio: Efficienza complessiva dei sistemi di azionamento:** la figura 7 mostra il flusso e le perdite di potenza

che si verificano fino alla potenza utile dell'applicazione per due diversi sistemi di azionamento. Entrambi i sistemi di azionamento forniscono 6 kW di potenza a un determinato processo, ma il fabbisogno energetico è significativamente diverso. Il miglioramento dell'efficienza del sistema di azionamento consente di ridurre la potenza elettrica richiesta (input) di 3.2 kW (-24%). Nel corso di un anno, si traduce in un risparmio di 2 185 CHF (con 4 500 ore di funzionamento/anno, con un prezzo dell'elettricità di 0.15 CHF/kWh). Spesso, la maggior parte delle perdite di potenza si verifica nei componenti a monte e a valle del motore elettrico. Per una buona efficienza energetica del sistema di azionamento elettrico, è importante che ogni componente del flusso di potenza contribuisca il meno possibile alle perdite complessive del sistema. I componenti efficienti come i motori IE4 hanno un alto rendimento e forniscono la base ideale per un sistema di azionamento efficiente con un alto rendimento complessivo. Per calcolare il rendimento totale  $\eta_{Tot}$  del sistema di azionamento, i rendimenti dei componenti devono essere moltiplicati tra loro. Per un sistema composto da un convertitore di frequenza (97%), motore (92.6%), trasmissione (100%) e ventilatore (63%), il rendimento complessivo è solo del 56.6%:

$$\eta_{Tot} = \eta_{CF} \times \eta_{Motore} \times \eta_{Trasmissione} \times \eta_{Ventilatore}$$

$$= 0.97 \times 0.926 \times 1.0 \times 0.63 = 0.566 = 56.6\%$$

Anche se alcuni dei singoli componenti hanno un rendimento relativamente buono, il rendimento del sistema è del 43.4% (sistema di azionamento inefficiente) e del 56.6% (sistema di azionamento efficiente). Per il sistema di azionamento inefficiente, questo significa che meno della metà dell'energia elettrica impiegata (e pagata!) raggiunge il processo. Bisogna anche considerare che i dati



**Figura 7: Progettazione e flusso di potenza per due sistemi di azionamento.** Sulla base di una potenza richiesta di 6 kW da un ventilatore, vengono confrontati due esempi: sistema efficiente (a sinistra, con motore IE3) e sistema inefficiente (a destra, con motore IE2 e trasmissione).

sull'efficienza dei componenti di solito si riferiscono all'efficienza nel punto di funzionamento nominale. Tuttavia, un punto di funzionamento non ottimale ha spesso un'influenza negativa sull'efficienza del componente e di conseguenza su quella del sistema.

## Fattore di carico parziale

Quando un motore funziona a carico parziale, in genere la sua efficienza è ridotta. Questo effetto è particolarmente accentuato nei motori più vecchi. Il fattore di carico parziale è il rapporto tra la potenza effettiva assorbita dal motore e la potenza nominale. Si tratta di una grandezza legata al tempo e dipende dalla potenza assorbita dal motore. Per le analisi, il fattore di carico parziale viene calcolato come una media del periodo analizzato, ad esempio per un mese o un anno. La media viene calcolata sul tempo di funzionamento, il tempo in cui il motore è spento non viene calcolato.

## Indicatore per il dimensionamento del motore

Se il fattore di carico parziale per un anno è di molto inferiore a 1 (ad es. 0.5), il motore è stato utilizzato prevalentemente a carico parziale. Se non è stata prevista una variazione di potenza, significa che è stato installato un motore troppo potente e sovradimensionato.

## Attenzione: Funzionamento a carico parziale

Un carico parziale, cioè una potenza meccanica ridotta e/o una coppia ridotta, riduce il grado di efficienza. A seconda del motore e della classe di efficienza, la perdita di potenza è considerevole. Questo è uno dei motivi principali per cui il sovradimensionamento dei motori e dei componenti di un sistema di azionamento dovrebbe essere evitato (vedere a pag. 6: Ottimizzazione sistematica dei sistemi di azionamento). Con il crescente impiego dei convertitori di frequenza, il funzionamento a carico parziale con rendimento ridotto sta assumendo un ruolo sempre più importante nella progettazione dei sistemi di azionamento. La IEC ha quindi pubblicato la specifica tecnica IEC TS 60034-31:2021 e in particolare la tabella di calcolo disponibile (file .xls, a pagamento) per calcolare l'efficienza a carico parziale dei motori standard compresi i convertitori di frequenza.

La scheda informativa [Topmotors Info n. 3](#) descrive molto dettagliatamente il calcolo dell'efficienza nel funzionamento a carico parziale.

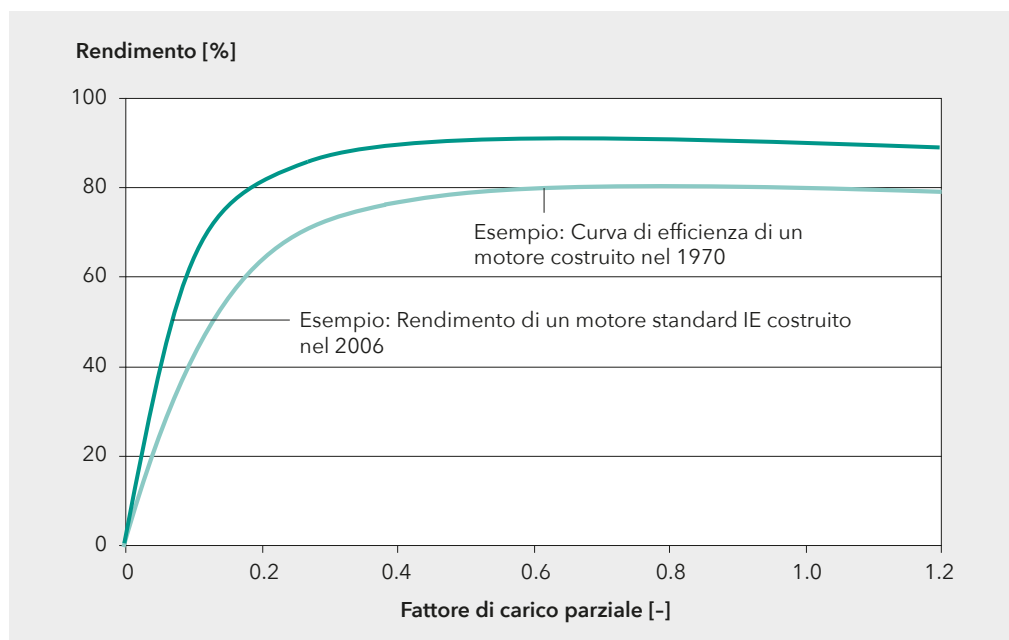


Figura 8: Con i motori più vecchi, non solo l'efficienza nominale è generalmente più bassa, ma a carichi parziali più piccoli il calo di efficienza rispetto ai motori più nuovi è ancora più accentuato (con la stessa potenza).  
(fonte: Topmotors, 2014)



# Misurazioni

Le misurazioni forniscono importanti informazioni sulla modalità di funzionamento e sul fabbisogno di potenza necessari per ottimizzare gli azionamenti elettrici esistenti. La misurazione dei valori elettrici (ad es. assorbimento di potenza elettrica attiva) è relativamente facile da eseguire e analizzare.

Per contro la misurazione dei valori meccanici (flusso volumetrico, pressione, velocità dei fluidi, velocità di rotazione, ecc.), richiede attrezzature più complesse, soprattutto se si devono aprire i circuiti dei liquidi o dell'aria. Spesso è possibile utilizzare gli ultrasuoni per misurare il flusso anche dall'esterno dei tubi. Le velocità possono spesso essere determinate senza contatto e sono quindi abbastanza facili da misurare. La registrazione delle coppie fuori da un banco di prova è molto complessa; tuttavia, è utile e necessaria solo in casi eccezionali. In caso di incarichi di misurazione, definire con attenzione cosa misurare esattamente (e quando, per quanto tempo), l'utilità e l'obiettivo della misurazione. Spesso sono sufficienti misurazioni semplici (elettriche) per una valutazione iniziale, ad es. del punto di funzionamento di una pompa o di un ventilatore.

## 1. Fase: Concetto di misurazione

Per ogni macchina da analizzare, stabilire ciò che la misurazione deve mostrare:

- Consumo di energia istantaneo
- Avviamento (potenza, corrente)
- Comportamento a breve termine (minuti, ore)
- Profilo di carico, fattore di carico parziale, eventualmente avviamento/spunto

Questo permette di determinare il fattore di carico momentaneo e, in caso di funzionamento costante, eventualmente indicare un motore con una potenza minore. Quando si effettuano le misurazioni per determinare il fattore di carico, in base al quale valutare il dimensionamento del motore, è necessario accertarsi che venga misurato il carico massimo. Solo se non è richiesta una maggiore potenza, ad es. per altri prodotti, si può formulare una ipotesi affidabile sul dimensionamento del motore ed eventualmente optare per un motore con una potenza inferiore.

Prima però, è necessario fare chiarezza sui seguenti punti:

- Determinare la durata ragionevole/necessaria della misurazione
- Qual è la frequenza necessaria per i dati di misurazione? (ad es. numero di misurazioni al minuto) Questo consente di verificare il controllo e, se necessario, di raccomandare l'utilizzo di un convertitore di frequenza.
- Registrare lo stato di funzionamento del sistema durante la misurazione (ad es. utilizzo della potenza, prodotto, temperatura ambiente (stagione), ecc.)

■ Quali altre grandezze devono essere misurate oltre alla potenza elettrica?

■ Ci sono variabili ausiliarie facilmente misurabili o disponibili, come le ore di funzionamento, il prodotto, la portata, ecc. In questo modo, dalla misurazione istantanea, può essere ricavata la condizione annuale tipica o massima.

## Condizioni operative limite

Per eseguire le misurazioni, a seconda del tipo di impianto, singole macchine o interi impianti devono essere fermati, spenti o devono funzionare con parametri speciali. Questo comporta spesso delle limitazioni delle operazioni e deve essere ben concordato. Deve essere chiarita l'accessibilità al componente da misurare (motore? Quadro elettrico?) e devono essere considerati gli aspetti di sicurezza (scosse elettriche, protezione dalle esplosioni, blocco delle vie di fuga). L'installazione dei dispositivi di misurazione deve essere sempre effettuata da specialisti interni, con un'adeguata autorizzazione per i collegamenti.

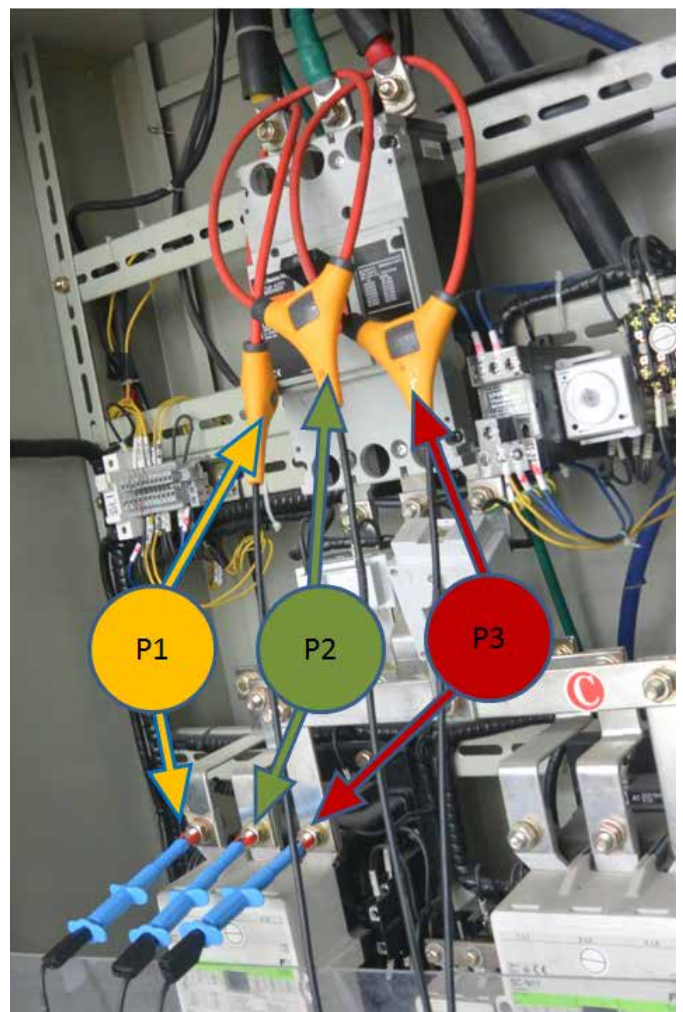


Figura 9: Esempio di installazione per la misurazione (Fonte: Topmotors)

## Strumenti di misurazione

Molte aziende industriali hanno i propri strumenti di misurazione per registrare la potenza attiva trifase con pinze amperometriche, spesso anche con data logger per registrare le sequenze temporali. Le pinze amperometriche possono essere utilizzate per misurare la corrente applicandole esternamente sui cavi elettrici (senza smontarli). Qualora l'attrezzatura di misurazione sia inadeguata o se sono previste misurazioni e valutazioni più complete, si può incaricare un'azienda di assistenza per i motori o il fornitore dei motori. Per le misurazioni rapide senza grandi esigenze di precisione, si può determinare il consumo di energia con un misuratore di potenza monofase con pinza amperometrica (supponendo un'alimentazione trifase simmetrica). In casi speciali, la misurazione della velocità può fornire informazioni aggiuntive sul punto di funzionamento di un motore.

## 2. Fase: Eseguire le misurazioni

### Preparazione, incarichi

Per evitare interruzioni del funzionamento, misurazioni errate o imprecise, la procedura di misurazione deve essere attentamente pianificata e il personale coinvolto deve essere ben informato. Nel caso di una serie di misurazioni più complesse, può essere utile scrivere tutta la procedura.

È importante anche documentare con precisione l'impostazione e la procedura di misurazione, ad es. con foto. Di conseguenza, si dovrebbe definire un incarico per ogni progetto di misurazione, sia che debba essere affidata a un'azienda esterna sia al personale interno. L'incarico di misurazione deve specificare l'obiettivo, le grandezze da misurare, la precisione, le condizioni limite e il tipo di rapporto, oltre al costo e alla tempistica.

## Precauzioni contro le scosse elettriche

Solo gli specialisti sono autorizzati a lavorare sui sistemi elettrici sotto tensione. Anche stabilire e garantire l'assenza di tensione richiede conoscenze specialistiche. Gli errori di questo tipo sono la causa della maggior parte degli incidenti elettrici. Le misurazioni devono quindi essere effettuate da elettricisti specializzati con attrezzature di misurazione proprie o ben conosciute.

## Controllare la correttezza delle connessioni e dei sensori

Nel corso delle misurazioni, si devono verificare attentamente tutte le connessioni e le posizioni dei sensori; le fasi invertite o le direzioni del flusso di corrente sono difficili da identificare a posteriori. Spesso vale la pena valutare una misurazione pilota prima di iniziare una serie più lunga di misurazioni o prima di smontare le attrezzature.

## 3. Fase: Valutazione

### Elaborazione di un rapporto

I risultati devono scaturire dai dati di misurazione ottenuti, in base agli obiettivi e al concetto di misurazione. Occorre anche documentare i metodi e le procedure di calcolo. I risultati del progetto di misurazione dovrebbero essere raggruppati in un rapporto insieme ai protocolli di misurazione.

### Fattore di carico parziale dalla misurazione di potenza

Dato che la potenza assorbita nel funzionamento nominale può essere determinata dalla targhetta identificativa o dai dati della scheda tecnica, il fattore di carico parziale istantaneo può essere determinato con una misurazione. Il quoziente delle grandezze elettriche determina il carico parziale elettrico; per determinare il carico parziale meccanico, bisogna includere anche i rendimenti.

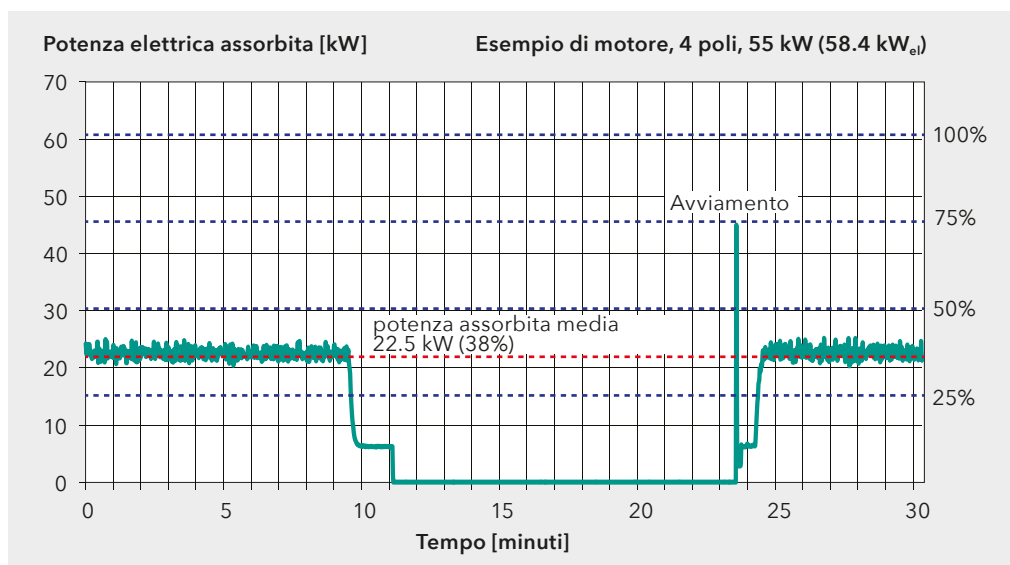


Figura 10: Esempio di un diagramma di misurazione. Mostra il consumo di energia elettrica con fluttuazioni di carico durante il funzionamento, una pausa e lo spunto/l'avviamento del motore. Colpisce la potenza assorbita media molto bassa (38%) - sovradimensionamento! (fonte: Topmotors, 2014)

La potenza nominale sulla targhetta identificativa e sulla scheda tecnica dei motori elettrici è la potenza meccanica sull'albero erogata dal motore  $P_{\text{output}}$ . La potenza elettrica assorbita dal motore è indicata con  $P_{\text{input}}$ .

## Smart Metering

Una misurazione di potenza assorbita offre una buona panoramica sull'attuale utilizzo dei motori. Tuttavia, si tratta di un'istantanea limitata nel tempo, che spesso non è adatta per ottimizzare al meglio un sistema di azionamento. Grazie ai sensori intelligenti e alle soluzioni IoT, oggi i sistemi di azionamento possono essere monitorati in modo permanente con una spesa minima. Con le serie di dati rilevati nel lungo periodo di tempo, si possono formulare valutazioni fondate sul ridimensionamento del sistema di azionamento. Per questo motivo, vale la pena anche di effettuare

il retrofit dei motori più vecchi che dovranno comunque essere sostituiti negli anni seguenti. Inoltre, la registrazione completa dei parametri di funzionamento come la temperatura, le vibrazioni e la magnetizzazione permette una manutenzione basata sulle effettive condizioni. Una manutenzione ottimale prolunga la durata utile dei sistemi di azionamento e riduce i costi operativi. I convertitori di frequenza offrono spesso delle interfacce per un ulteriore utilizzo dei dati sulla potenza. Di conseguenza, questi sono adatti per implementare il monitoraggio continuo dell'energia senza installare sensori aggiuntivi. Nel caso sia già installato un convertitore di frequenza, è possibile utilizzarlo per la registrazione continua dei dati di misurazione. Alcuni convertitori di frequenza hanno anche funzioni di risparmio energetico. Attivando queste funzioni, si possono ridurre i costi operativi senza ulteriori investimenti.

# Acquisto di motori, progettazione e realizzazione dei sistemi di azionamento

Nelle richieste d'offerte per impianti e macchinari industriali i criteri di efficienza spesso non sono stati chiaramente specificati. La dichiarazione sulle proprietà di efficienza è lasciata al fornitore e questo rende molto difficile confrontare le diverse offerte. Le seguenti indicazioni possono essere utilizzate per determinare le proprietà di efficienza differenziate nelle offerte.

## Norme

Nella tabella 1 sono elencate le norme fondamentali e le classi di efficienza per i sistemi di azionamento. Grazie a queste norme, i fornitori di macchine e impianti sono ora nelle condizioni di dichiarare con precisione la classe di efficienza dei motori standard, dei convertitori di frequenza e dei sistemi di azionamento. Ai fornitori dovrebbe essere sempre richiesta la classe di efficienza più alta. Per i convertitori di frequenza, oggi molti prodotti superano già i requisiti della classe di efficienza più alta, IE2; quindi, nelle diverse offerte, si raccomanda di confrontare precisamente le perdite di potenza relative del convertitore di frequenza.

## Progettazione di nuovi impianti

Nella fase di progettazione e costruzione dei nuovi impianti completi, ci sono le condizioni ideali per esaminare i concetti e i componenti più efficienti. Per assicurare che gli obiettivi di efficienza siano presi sul serio anche dai progettisti e dai fornitori, possono essere stabi-

liti i seguenti «paletti» per chi esegue gli incarichi (sia alle aziende esterne sia al personale interno):

- La pianificazione concettuale e la selezione dei componenti per gli impianti di produzione (total cost of ownership) si devono basare sui costi complessivi per tutta la vita utile dell'impianto di x anni (ad es. 10) inclusi i costi operativi (energia!) e di manutenzione.

- Il calcolo dell'efficienza economica deve essere basato su prezzi energetici sempre crescenti, ad esempio con i valori di base del 2021 e i tassi di inflazione per l'elettricità.

- Qualora siano disponibili nuove varianti di tecnologie o componenti più efficienti, ma queste sembrano ancora antieconomiche, si dovrebbe poter presentare una variante di progettazione/offerta che preveda anche queste varianti.

Quando si progettano sistemi di infrastruttura nuovi o completamente ristrutturati come il riscaldamento, la ventilazione/climatizzazione degli ambienti, l'alimentazione dell'acqua di processo/acqua di raffreddamento/riscaldamento, l'aria compressa, i sistemi di trasporto, si devono tener presenti i seguenti punti:

- L'efficienza economica di questi impianti dovrebbe essere calcolata con tempi di payback più lunghi rispetto agli impianti di produzione, ad es. da 10 a 15 anni.

- Per tutti gli impianti per il trasporto dei fluidi, utilizzare tecnologie di controllo efficienti con regolazione della velocità ovvero con convertitori di frequenza. Le strozzature o i bypass sono da evitare.

## Costi del ciclo di vita (Life Cycle Cost)

Per un confronto approfondito delle varianti, è utile eseguire un'analisi dei costi per l'intero ciclo di vita. Tutte le misure di investimento e di funzionamento di una modifica sono qui quantificate. Per un nuovo impianto:

- Progettazione e acquisto dell'impianto o dei componenti
- Installazione e messa in servizio
- Costi operativi (costi energetici, manutenzione e mantenimento, riparazioni) per l'intera vita utile di 10-20 anni (vedere la figura 11)
- Smontaggio e smaltimento.

Nel caso di un impianto già esistente, deve essere considerato anche il valore residuo se non ha ancora raggiunto la fine della vita utile tecnicamente prevista.

Gli studi basati sui costi del ciclo di vita non sono molto frequenti, perché considerano un orizzonte di pianificazione più lungo.

Per le analisi del ciclo di vita, è essenziale conoscere i prezzi specifici dei motori e dei convertitori di frequenza,

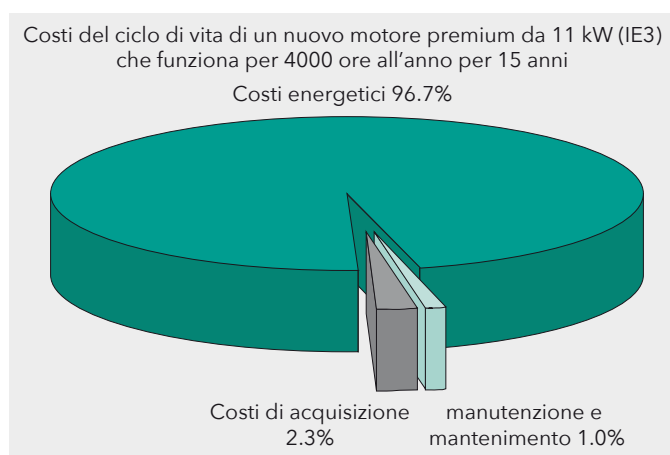


Figura 11: Esempio di costi del ciclo di vita di un motore (fonte: Topmotors)

oltre all'efficienza complessiva del sistema di azionamento nel punto di funzionamento. Il dimensionamento preciso (esatto) del motore e della potenza del convertitore di frequenza consente di risparmiare sia sui costi di investimento che sulle perdite di potenza.

## Prezzi dei motori

I prezzi dei motori sono soggetti a grandi fluttuazioni. Spesso vengono concessi diversi tassi di sconto per motivi diversi a seconda del volume dell'ordine e in base al cliente. Il diagramma mostra i prezzi dei motori in CHF/kW in funzione della potenza nominale per i motori IE2, IE3 e IE4. I prezzi specifici in CHF/kW per i motori sopra i 10 kW in pratica non diminuiscono più. Questo significa che il dimensionamento preciso (esatto) della potenza del motore consente di risparmiare sia sui costi di investimento che sui costi energetici.

## Costi aggiuntivi per motori più efficienti

Per quanto riguarda i costi aggiuntivi per i motori più efficienti, il Topmotors Market Report ha analizzato e valutato i prezzi di vendita dei motori in Svizzera. È stato analizzato quali sono i costi aggiuntivi da prevedere al momento dell'acquisto dei motori ad alta efficienza. I costi di acquisizione di un motore IE2 (100%) servono come costi di riferimento. Si può vedere che rispetto a un motore IE2, i costi per un motore IE3 comparabile sono maggiori del 15%, mentre per un motore IE4 del 33% circa.

Classe di efficienza	IE2	IE3	IE4
Prezzo relativo	100%	115%	133%

Tabella 3: Confronto dei prezzi tra le classi di rendimento dei motori: Valore medio dei prezzi specifici IE2, IE3, IE4 per ognuno da 0.12 kW fino a 1 000 kW ciascuno (fonte: Rapporto di mercato Topmotors, 2020)

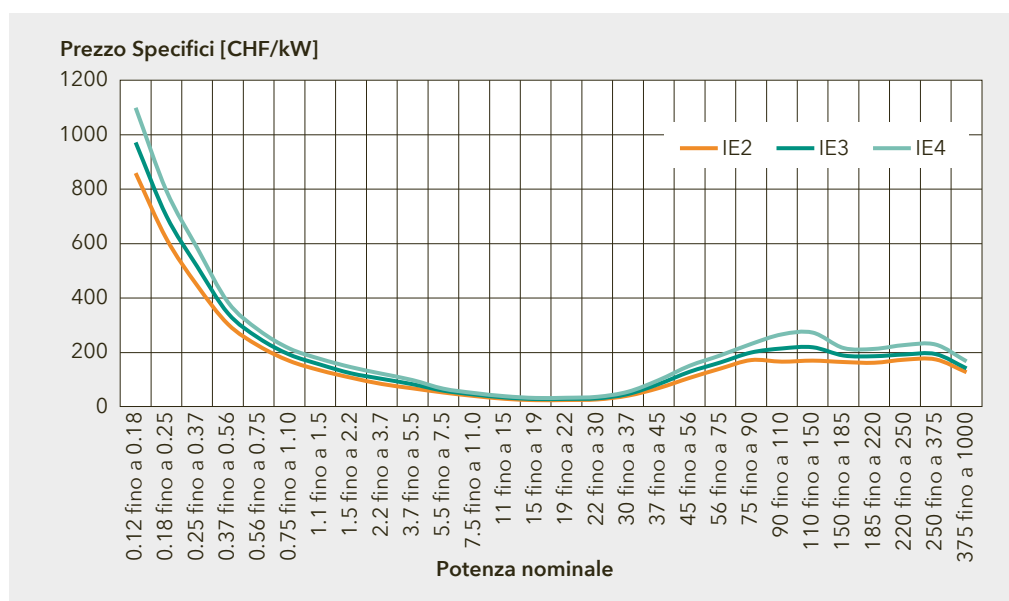


Figura 12: Prezzi specifici dei motori in CHF/kW, 2019. (fonte: Topmotors Market Report 2020)

## Pacchetto di soluzioni

Un passo importante è la formazione di un pacchetto di soluzioni da quelle singole esaminate. Le singole soluzioni sono classificate in base al payback e al risparmio energetico insieme a misure analoghe per le macchine con una identica costruzione (vedere la figura 13). Il payback cumulativo e i risparmi cumulativi mostrano chiaramente fino a che punto un certo numero di soluzioni formano un buon pacchetto per l'implementazione.

L'esperienza dimostra che sotto una soglia critica con un payback di 3 anni, ad esempio, possono essere implementate circa l'80% di tutte le soluzioni esaminate. Le soluzioni con un payback molto breve (meno di 1 anno) supportano anche soluzioni importanti con un payback di 5 o più anni.

## Tecnologie del motore

Le varie tecnologie del motore sono dettagliatamente descritte nella [Scheda tematica Topmotors n. 29](#). Nella scheda tematica sono illustrati vantaggi e svantaggi delle diverse tecnologie motoristiche, come il motore asincrono (ASM), il motore a magneti permanenti (PMM) o il motore sincrono a riluttanza (SRM, figura 16); le applicazioni tipiche delle varie tecnologie sono descritte e confrontate tra loro. Quella che segue è una selezione dei punti fondamentali.

Per l'utente è importante stabilire quando è utile utilizzare un motore controllato e altamente efficiente e quale tecnologia di motore è più adatta alla specifica applicazione. Le tecnologie sono diverse con vantaggi e svantaggi a seconda dell'applicazione. Le differenze riguardano, tra gli altri, i seguenti punti:

- Rendimento a velocità variabile
- Rendimento con coppia modificata
- Peso
- Adatto per avviamenti rapidi e frequenti



Figura 14: Schema di un motore asincrono (ASM). (fonte: Danfoss)



Figura 15: Due motori a magneti permanenti, sopra con magneti incorporati, sotto con magneti montati in superficie. (fonte: Danfoss)



Figura 16: Schema di un motore a riluttanza sincrona (SRM). (fonte: Danfoss)

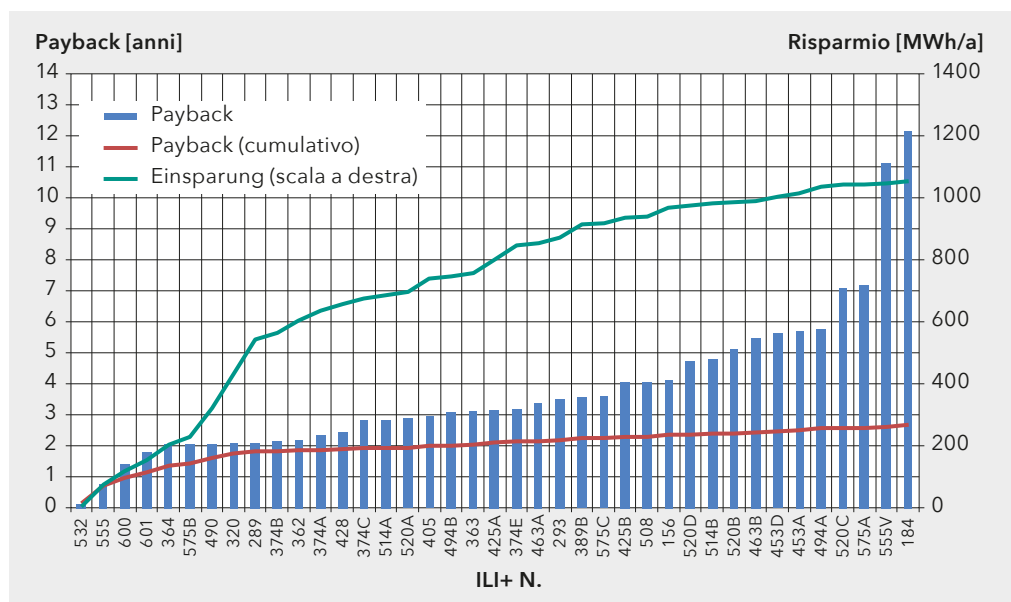


Figura 13: Esempio di un pacchetto di soluzioni: Sequenza delle singole soluzioni in base al payback e al contributo al risparmio energetico. Payback complessivo: 2.4 anni (cumulativo). (fonte: Topmotors, programma di finanziamento Easy, 2014)

■ Da utilizzare con/senza CF. I motori SRM e PMM richiedono un CF.

## Vantaggi e svantaggi dei moderni motori ad alta efficienza

Una maggiore efficienza del motore è sostanzialmente un contributo positivo al risparmio di energia elettrica. I costi aggiuntivi che spesso ne derivano vengono compensati dal risparmio energetico durante il funzionamento. Con oltre 2000 ore di funzionamento l'anno, questo richiede meno di 5 anni. Inoltre, un corretto dimensionamento e un funzionamento adeguato al carico sono sempre vantaggiosi e riducono i costi operativi. Alcune tecnologie dei motori offrono la possibilità di utilizzare motori più piccoli e leggeri con la stessa potenza e una maggiore efficienza. Minori perdite di potenza e quindi temperature più basse hanno generalmente un effetto positivo sulla durata utile e sui costi operativi.

### I motori efficienti girano più velocemente

Con un incremento dell'efficienza, la velocità nominale dei motori ASM e PMM aumenta leggermente. Questo effetto è dovuto al minore scorrimento tra la frequenza di rete e la velocità del rotore. Quando si sostituisce un vecchio motore con un nuovo motore della stessa potenza (senza CF), si deve considerare che, ad esempio, le pompe e i ventilatori funzionano a una velocità leggermente superiore e quindi trasportano più aria o acqua di prima. Nonostante un motore più efficiente, questo può portare ad un maggiore consumo di energia elettrica (terza potenza della velocità). Questo effetto può essere neutralizzato adeguando la trasmissione (rapporto di trasmissione) o utilizzando un convertitore di frequenza.

## Convertitore di frequenza (CF)

### Cos'è un convertitore di frequenza?

Un convertitore di frequenza (CF) consente il controllo della velocità negli azionamenti elettrici generando una tensione alternata con frequenza e ampiezza variabili per alimentare i motori elettrici dalla tensione alternata della rete (ad es. 400 V) e dalla frequenza di rete (50 Hz). Ciò consente di configurare un sistema di controllo con sensori di pressione, temperatura, ecc. che fornisce la potenza richiesta (e solo quella richiesta) al momento giusto come la portata volumetrica per una pompa, un ventilatore, ecc. Questo permette di risparmiare molta energia rispetto alla precedente variante con strozzamenti e regolatori.

I convertitori di frequenza sono oggi indispensabili per molte applicazioni di piccole e grandi dimensioni perché consentono un avvio graduale con coppie elevate, un'accelerazione regolare e continua e un controllo in funzione del carico per ottenere un risparmio energetico. Inoltre, un convertitore di frequenza può anche servire come interfaccia per l'integrazione dei sistemi di azionamento nelle applicazioni IoT.

### Potenziale di risparmio del CF in un circuito chiuso

Negli impianti con una curva di coppia quadratica, - come le pompe in un circuito chiuso, i sistemi di trasporto dell'aria, ecc. - i convertitori di frequenza hanno un grande potenziale di efficienza: anche una piccola percentuale di riduzione della portata volumetrica comporta a un risparmio energetico relativamente grande rispetto alla strozzatura meccanica, come mostra la figura 17 per una pompa di circolazione.

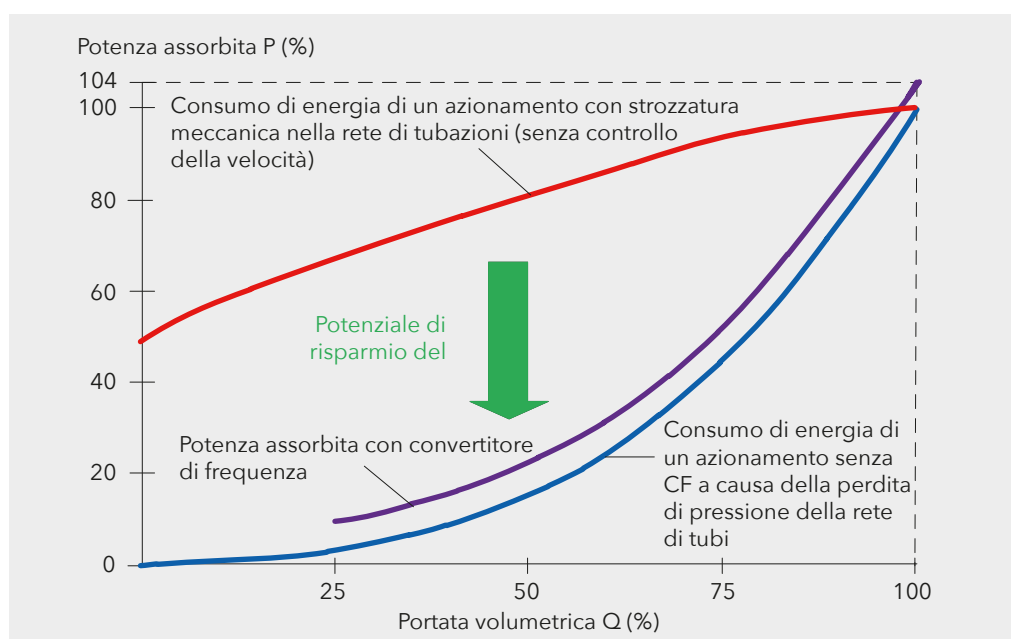


Figura 17: Potenziale di risparmio nell'ambito del trasporto dei fluidi con CF. (fonte: Topmotors)

Le perdite di potenza del CF sono mostrate schematicamente nella figura 17. A seguito delle perdite proprie del CF (in questo esempio 4%), con il carico nominale ( $Q = 100\%$ ) il consumo di energia del variatore di velocità con CF è maggiore ( $P = 104\%$ ) rispetto a un motore con alimentazione diretta in rete senza CF ( $Q = 100\%$ ,  $P = 100\%$ ). Una ricerca di Topmotors su 4 142 azionamenti nell'industria svizzera ha mostrato che circa il 20% di tutti i sistemi di azionamento sono dotati di CF, anche se solo il 50% circa sono adatti a questo (aggiornato al 2013).

### Indicazioni essenziali sull'utilizzo dei convertitori di frequenza

- Nel caso di un'applicazione con fabbisogno di potenza variabili frequentemente: verificare l'impiego di un CF.
- Utilizzare i CF solo per azionamenti correttamente dimensionati; un CF non è una misura correttiva per un sistema sovradimensionato.
- Regolare la velocità secondo chiari criteri di fabbisogno con sensori appropriati: Pressione, temperatura, portata, volume, ecc.
- I motori più vecchi che non sono predisposti a funzionare con un convertitore di frequenza, non sono particolarmente adatti, poiché possono presentare difetti di isolamento.
- Attenta impostazione dei parametri in base alle effettive esigenze.
- Le correnti dei cuscinetti derivano dall'uso di convertitori di CF nei sistemi di azionamento elettrici e possono portare a guasti prematuri dei cuscinetti. Potete trovare ulteriori informazioni su questo argomento nella [Scheda tematica Topmotors n. 31](#).

### Svantaggi dei convertitori di frequenza

I convertitori di frequenza di per sé non fanno risparmiare elettricità, al contrario. Hanno un loro grado di efficienza e generano ulteriori perdite che devono essere recuperate. Inoltre, caricano la rete elettrica di armoniche, che devono essere sempre considerate quando si progettano gli impianti.

La [scheda tematica n. 25 di Topmotors: Convertitore di frequenza](#) fornisce informazioni dettagliate sulle modalità di funzionamento e sugli effetti dei CF.

### Prezzi dei convertitori di frequenza

I convertitori di frequenza (CF) sono utilizzati per regolare continuamente la coppia e la velocità del motore con la potenza meccanica richiesta. Dato che un CF costa circa quanto un motore, il suo utilizzo dovrebbe essere analizzato con attenzione. I prezzi dei CF, come quelli dei motori, sono soggetti a grandi fluttuazioni. Spesso vengono concessi diversi tassi di sconto per motivi diversi a seconda del volume dell'ordine e in base al cliente. La figura 17 mostra i prezzi dei CF in CHF/kW in funzione della potenza nominale. I dati aggiornati saranno pubblicati ogni due anni nel [Market Report](#).

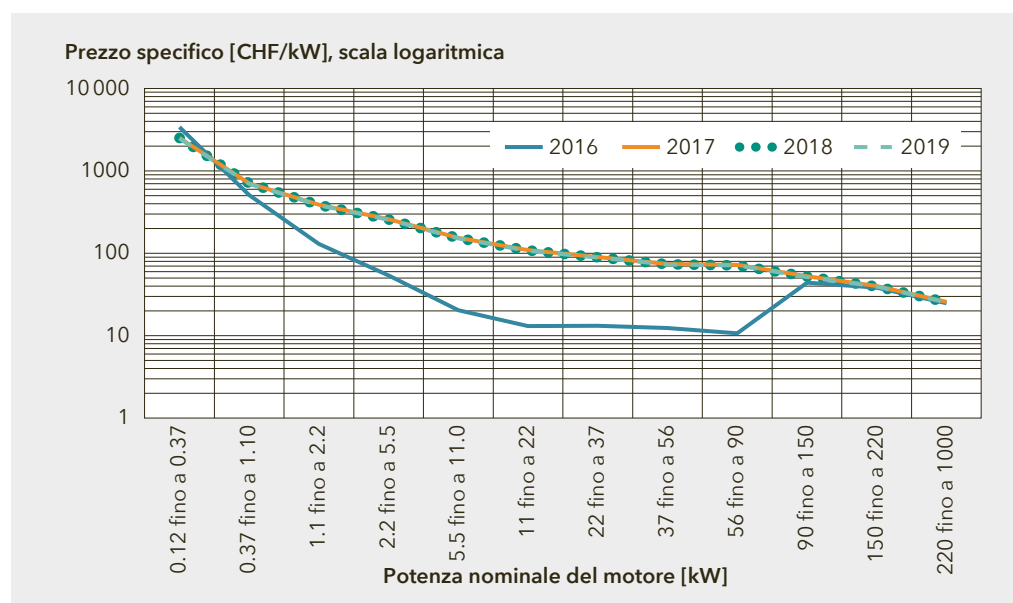


Figura 18: Prezzo specifico per convertitore di frequenza in CHF/kW, 2016-2019, (fonte: Rapporto di mercato Topmotors, 2020)

# Maggiori informazioni

## Concetti e unità di misura

Denominazione	Abbrev. - sigla	Unità di misura	Indice e spiegazione
Sistema d'azionamento	PDS		Inglese: power drive system. Consiste in CDM e motore
Settore merceologico ampliato	EP		Inglese: extended product approach (EPA)
Convertitore di frequenza	FU		Inglese: variable frequency drive (VFD), basic drive module (BDM)
Modulo completo CF	CDM		Inglese: complete drive module (CDM)
International Electrotechnical Commission	IEC		
Potenza	P	W	
Sistema d'azionamento	PDS		Inglese: power drive system (PDS)
Grado di rendimento	$\eta$	-	Normalmente dati in %

## Norme, leggi, regolamenti, fonti

### Norme

- IEC 60034-30-1:2014 Macchine elettriche rotanti - parte 30-1: Classi di efficienza dei motori a corrente alternata a comando in linea (codice IE).
- IEC TS 60034-30-2:2016 Macchine elettriche rotanti - parte 30-2: Classi di efficienza dei motori a corrente variabile (codice IE).
- IEC 61800-9-2:2017 Azionamenti elettrici a velocità variabile - parte 9-2: Progettazione ecocompatibile per i sistemi di azionamento, avviatori di motori, elettronica di potenza.
- EN 50598-3:2015 Progettazione ecocompatibile per sistemi di azionamento, avviatori di motori, elettronica di potenza e relative applicazioni - parte 3: Approccio quantitativo alla progettazione ecocompatibile attraverso la valutazione del ciclo di vita, comprese le regole della categoria di prodotto e il contenuto delle dichiarazioni ambientali

### Leggi e regolamenti

- Legge sull'energia, ordinanza del 1° novembre 2017 sui requisiti di efficienza energetica per impianti, veicoli e apparecchi prodotti in serie (SR 730.02 Ordinanza sull'efficienza energetica, OEEne) (aggiornata al 1° luglio 2021), in particolare gli allegati 2.6, 2.7 (motori e CF), 2.8 e 2.9.
- Regolamento (UE) 2019/1781 del 1° ottobre 2019 che stabilisce i requisiti della progettazione ecocompatibile dei motori elettrici e dei variatori di velocità, data di applicazione relativa all'efficienza energetica dei motori e dei variatori di velocità: 1° luglio 2021, vedere l'art. 12. Il Regolamento (CE) n. 640/2009 è stato abrogato a partire dal 1° luglio 2021.

### Fonti

- Baumgartner, W. Massnahmen zum Stromsparen bei elektrischen Antrieben, Berna, 2006
- Topmotors: Schede tematiche n. 1-31, sito web e Market Report 2020, Zurigo, 2014-2020
- Programma di finanziamento EASY, Efficiency for Drive Systems, non pubblicato, Zurigo, 2010-2014.

### Ulteriori informazioni

- [www.topmotors.ch](http://www.topmotors.ch) - La piattaforma informativa per sistemi di azionamento efficienti in Svizzera
- [Schede tematiche dalla n. 1 alla n. 31](#), Zurigo, 2014-2020
- [Topmotors Market Report 2020](#), Zurigo, 2021
- Topmotors INFO [n.1](#), [n. 2](#) e [n. 3](#), Zurigo, 2021

### Nota editoriale

La scheda tematica Topmotors n. 32 Linee guida per l'ottimizzazione degli azionamenti elettrici è stata preparata da Impact Energy nell'ambito del programma di implementazione Topmotors per sistemi di azionamento efficienti. Topmotors è la piattaforma informativa per sistemi di azionamento efficienti in Svizzera ed è supportata da SwissEnergy. La scheda tematica è stata preparata da Rolf Tieben (iE) e Viktor Hangartner (iE). Redazione e realizzazione grafica: Faktor Journalisten AG. La scheda tematica è disponibile in tedesco, francese, italiana e inglese su [www.topmotors.ch](http://www.topmotors.ch).