

# Nuove tecnologie dei motori

## I cinque punti principali

1. La corretta integrazione del motore nell'intero sistema di azionamento e il corretto dimensionamento sono fondamentali.
2. Per azionamenti che funzionano per lunghi periodi o in continuo a velocità costante, i motori asincroni ad alta efficienza (IE3 o IE4) sono i più adatti.
3. Per sistemi di azionamento con potenza e velocità variabili, si consiglia di utilizzare un convertitore di frequenza (CF) e un motore ad alta efficienza (IE3 o IE4).
4. Per sistemi di azionamento con rapide variazioni di velocità, si possono utilizzare motori a magneti permanenti (PMM) e motori a riluttanza commutata (SRM) ad alta efficienza (IE3 o IE4).
5. Per l'avviamento e il funzionamento diretto alla rete di alimentazione sono disponibili motori a magneti permanenti e motori sincroni a riluttanza ibridi, che offrono elevata efficienza in condizioni di funzionamento nominale.

## Obiettivi e destinatari

La scheda tematica N. 29 di Topmotors fornisce una panoramica sistematica e aggiornata delle varie tecnologie di motori elettrici, delle loro caratteristiche e del loro potenziale energetico all'interno del sistema di azionamento. Nella scheda tematica sono illustrati vantaggi e svantaggi delle diverse tecnologie, come il motore asincrono (ASM), il motore a magneti permanenti (PMM) o il motore a riluttanza commutata (SRM). Le applicazioni tipiche delle varie tecnologie sono descritte e confrontate tra di loro. La scheda tematica è stata creata per coloro che sono interessati a questioni tecniche: utenti, progettisti, installatori, consulenti per l'energia, ecc.

## Principi fondamentali

I motori elettrici rappresentano una buona metà del consumo mondiale di energia elettrica. Essi sono l'elemento centrale di tutti i sistemi di azionamento per pompe, ventilatori, compressori, macchine per la movimentazione e per i processi, ecc. (Figura 1).

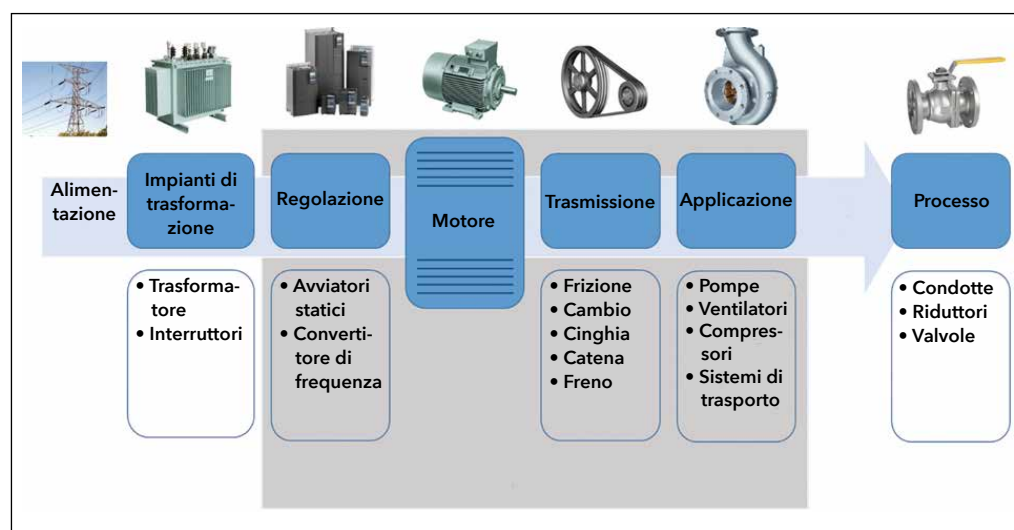


Figura 1: L'unità di azionamento e suoi componenti (fonte: IEC 60034-31, 2019)

I motori elettrici sono suddivisi in tipologie diverse in base alle loro caratteristiche:

- Motori con funzionamento prolungato o continuo a velocità costante (S1 secondo la norma IEC 60034-1) e parzialmente anche a velocità variabile (coppia)
- Motori con funzionamento molto variabile (velocità o coppia) con l'utilizzo di un convertitore di frequenza, parzialmente anche con accelerazioni rapide (come i motori di veicoli)
- Motori per il posizionamento (servomotori) con movimenti rotanti brevi, rapidi e parzialmente reversibili.

I motori elettrici con 2 fino a 8 poli con potenze nominali comprese tra 0,12 kW e 1000 kW sono testati secondo la norma IEC 60034-2-1 e classificati in base alla loro effi-

cienza nelle seguenti classi di rendimento (codice IE secondo la norma IEC 60034-30-1):

- IE4 Super premium
- IE3 Premium
- IE2 Alto rendimento
- IE1 Rendimento standard

L'efficienza del motore è notevolmente influenzata dalla potenza nominale: nell'ambito di applicazione della norma IEC, l'efficienza di un motore IE3 a 4 poli varia da circa il 65% con 0,12 kW fino al 96% con 1000 kW di potenza nominale. Oggi in Svizzera, per le nuove installazioni è consentito installare solo motori IE3 e motori più efficienti (anche IE2 con convertitore di frequenza).

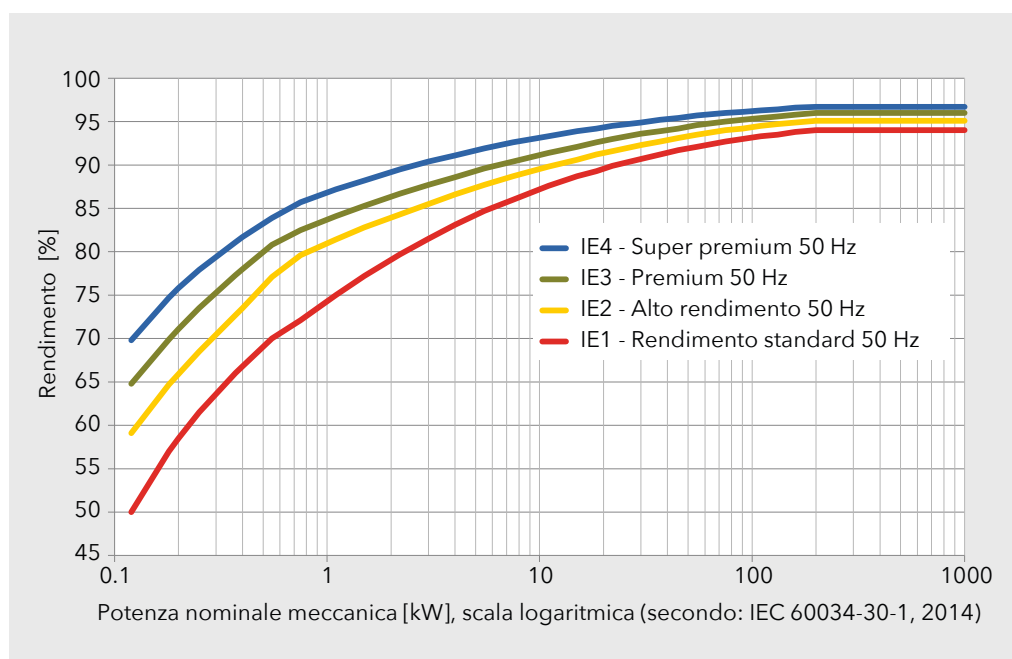


Figura 2: Classi di rendimento dei motori secondo la norma IEC 60034-30-1

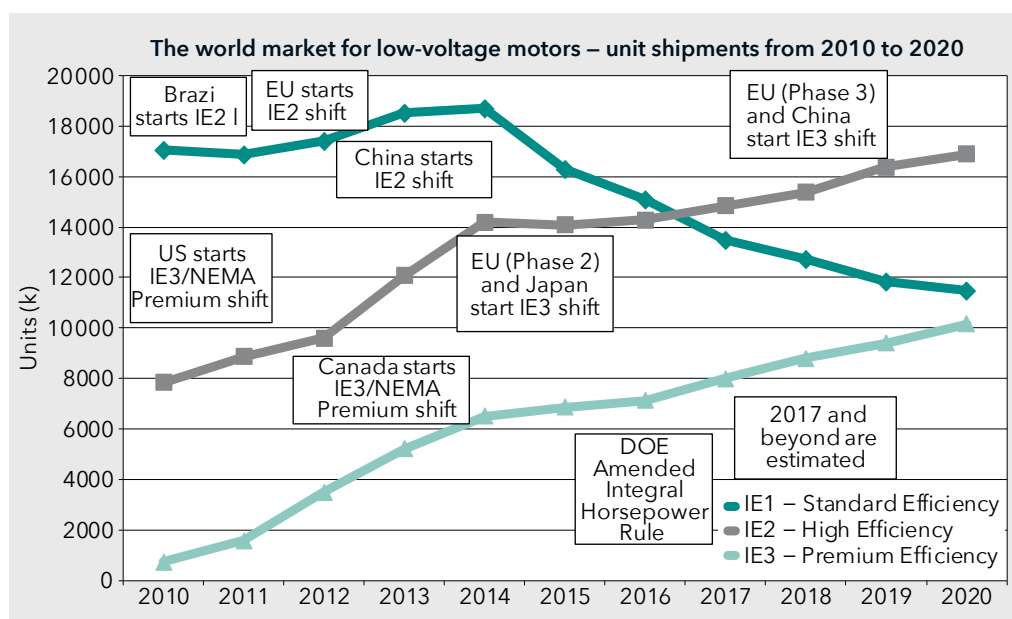


Figura 3: Sviluppo dei mercati globali dei motori: fino al 2016, indagine di mercato; dal 2017, stima (fonte: Preston Reine, IHS Markit, in Motor Summit 2017, Zurigo)

I motori che funzionano con un convertitore di frequenza sono testati come sistema secondo la norma IEC 60034-2-3 e classificati in base alla loro efficienza secondo la norma IEC 60034-30-2. Dal 2017 i convertitori di frequenza sono controllati secondo la norma IEC 61800-9-2 e suddivisi in classi di efficienza.

Negli impianti con un numero elevato di motori, la loro efficienza è di primaria importanza. Specialmente quando funzionano quasi costantemente a pieno carico, le spese aggiuntive per l'efficienza si ammortizzano molto rapidamente.

I mercati globali si stanno evolvendo: lo sviluppo verso motori ad alta efficienza e nuove tecnologie è inarrestabile. La figura 3 mostra il passaggio da motori IE1 a motori sempre più efficienti IE2 e IE3.

Nella figura 4 sono indicate le quote di motori per classe di efficienza che sono state vendute in Svizzera nel 2017, secondo il rapporto di mercato Topmotors 2018.

È evidente che i motori IE2 e IE3 dominano il mercato grazie ai requisiti minimi. Un risultato positivo è che i motori IE1 sono quasi scomparsi dal mercato e i motori IE4 continuano a guadagnare quota. Riepilogando i risultati in base alle potenze nominali, il vantaggio dei motori efficienti diventa ancora più chiaro (Figura 5).

Tuttavia, in Svizzera sono ancora in funzione un gran numero di motori con tecnologia obsoleta delle classi di efficienza IE0 e IE1 che, se sostituiti con motori moderni, rappresentano un notevole potenziale di risparmio energetico.

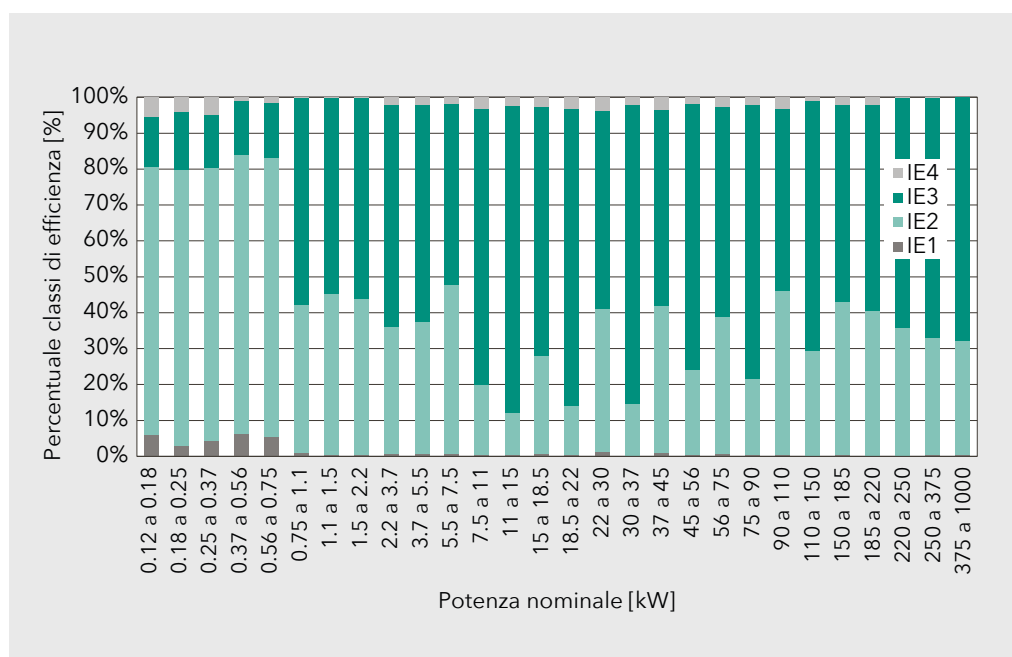


Figura 4: Motori venduti in Svizzera nel 2017 per classe di efficienza e potenza nominale (fonte: Rapporto di mercato Topmotors, 2018)

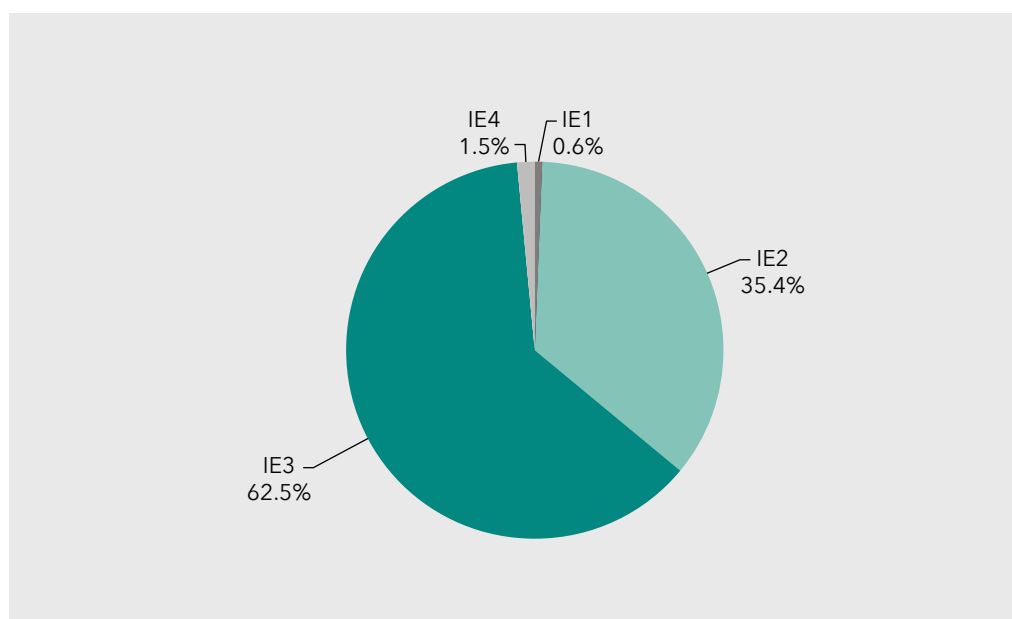


Figura 5: Classi di rendimento dei motori venduti in Svizzera nel 2017 e toccati dall'Ordinanza sull'efficienza energetica: da 0,75 kW fino a 375 kW (fonte: Rapporto di mercato Topmotors, 2018)

# Panoramica sulle tecnologie dei motori

Come si evince dal seguente elenco dei tipi di motori, le direttive Ecodesign in vigore in Europa dal 2008, i conseguenti requisiti minimi stabiliti in Svizzera e la richiesta di alta efficienza energetica hanno avuto un impatto enorme sul mercato dei motori più efficienti. Lo sviluppo tecnologico non è ancora completato e offre un notevole potenziale di ottimizzazione. Per l'utente è importante stabilire quando ha senso l'uso di un motore controllato e altamente efficiente e quale tecnologia di motore è più adatta alla specifica applicazione. Le tecnologie si diversificano per:

1. Costi: vedere la tabella 1
2. Rendimento in rapporto alla velocità: vedere la figura 6
3. Rendimento in rapporto alla velocità e alla coppia: vedere la figura 8
4. Peso: vedere la figura 7
5. Capacità di avviarsi rapidamente e frequentemente
6. ecc.

## Costi

Nell'ambito del rapporto di mercato Topmotors, vengono condotte ogni anno indagini di mercato sui costi dei motori IE2, IE3 e IE4. Vengono determinati i costi specifici in rapporto ai kW di potenza nominale (indipendentemente dalla tecnologia del motore) e vengono presentati i costi aggiuntivi per i motori ad alta efficienza energetica. I costi aggiuntivi rilevati con la valutazione dei dati di vendita del 2017 sono elencati nella tabella 1.

## Rendimento in rapporto alla velocità

L'adattamento della velocità ai carichi variabili mediante un convertitore di frequenza consente un risparmio notevole. Tuttavia, bisogna sempre ricordare che un convertitore di frequenza non risparmia energia in sé, al contrario. Come ogni componente di un sistema di azionamento, anche un convertitore di frequenza ha le sue perdite di energia, con un effetto negativo sull'efficienza energetica totale. È quindi importante fare in modo che riducendo la velocità si risparmi più energia di quella consumata dal CF. Soprattutto nei sistemi chiusi come gli impianti di ventilazione o i circuiti di pompaggio, la riduzione di velocità influisce con la terza potenza sulle prestazioni. La figura 6 mostra il risultato delle misurazioni per i motori da 2,2 kW

Classe	IE2	IE3	IE4
Prezzo relativo	100%	113%	131%

Tabella 1: Confronto dei prezzi tra le classi di rendimento dei motori: Valore medio dei prezzi specifici IE2, IE3, IE4 da 0,12 kW fino a 1000 kW (fonte: Rapporto di mercato Topmotors, 2018)

di diverse tecnologie. A potenze nominali più elevate le differenze di rendimento sono minori.

## Rendimento in rapporto alla velocità e alla coppia

Le varie tecnologie di motori mostrano caratteristiche diverse a seconda del carico (velocità e coppia). La figura 8 mostra i risultati delle misurazioni dell'efficienza di diverse tecnologie di motori, ciascuna con convertitore di frequenza.

## Peso

A seconda delle tecnologie e dei materiali utilizzati, si riscontrano pesi diversi a parità di potenza nominale. In funzione dell'applicazione, questo potrebbe influire sulla progettazione, quindi dovrebbe essere esaminato e preso in considerazione. La figura 7 mostra il risultato di un'indagine sul peso relativo delle singole tecnologie rispetto a un motore asincrono IE3 da 11 kW.

## Capacità di avviarsi rapidamente e frequentemente

I motori adatti per gli avviamenti rapidi e frequenti richiedono una bassa inerzia, ossia un rotore leggero. Per le funzioni di azionamento con precisa posizione angolare, con accelerazione e velocità di rotazione controllate, sono utilizzati i cosiddetti servomotori. Un servomotore è un comune motore elettrico che, indipendentemente dalla sua tecnologia, ha una elevata dinamica, una bassa inerzia (rotore sottile) e un controllo di posizione.

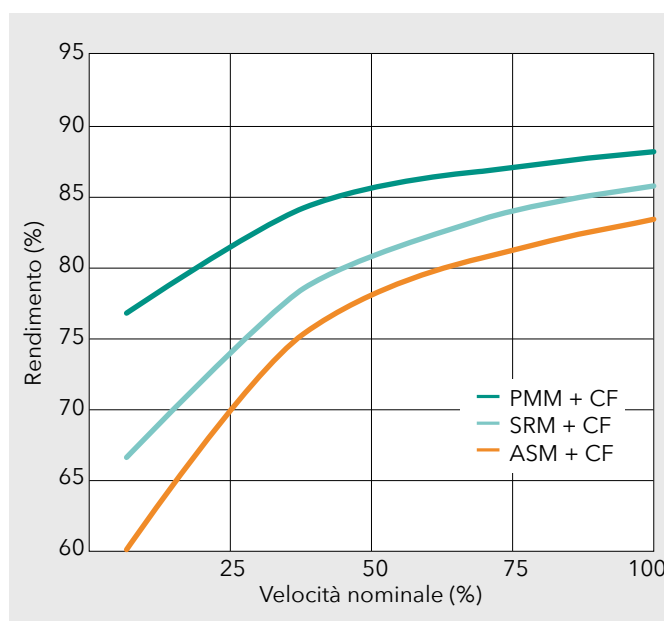


Figura 6: Confronto del rendimento per motori a 4 poli da 2,2 kW, con una coppia di 7 Nm. (fonte: Jorge Estima/EEMODS'17)

## Motore asincrono (ASM)

Ancora oggi il motore asincrono, sviluppato da AEG nel 1889, è un «elemento portante» nell'industria. È molto robusto e affidabile. La tendenza verso il motore ASM è stata ulteriormente rafforzata dallo sviluppo degli avviatori statici e dei convertitori di frequenza. L'avviatore statico consente di accelerare delicatamente un motore entro il tempo desiderato, riducendo così la corrente di avviamento. Dopo l'avviamento e dopo aver raggiunto la velocità nominale, l'avviatore statico viene generalmente bypassato; il motore viene quindi collegato direttamente alla rete. Il motore può anche essere arrestato in un determinato intervallo di tempo. Un avviatore statico è quindi ideale per avviare e arrestare le applicazioni a velocità costante. Se la velocità del motore deve essere modificata durante il funzionamento, è necessario un convertitore di

frequenza che, oltre all'avviamento e all'arresto controllato, consente anche un controllo preciso ed efficiente della velocità del motore.

Il motore asincrono è una forma semplice di motore a induzione ed è composto da uno statore fisso in cui gira il rotore. Lo statore è di solito anche l'alloggiamento e nei motori elettrici è costituito da un pacchetto di lamierini di acciaio con cave che servono come nucleo comune per gli avvolgimenti dello statore. Nelle cave dello statore ci sono gli avvolgimenti in filo di rame, che sono collegati in base al numero di poli del motore. Il numero di poli determina la velocità sincrona del motore (vedi tabella 2). Lo sfasamento della rete trifase crea un campo rotante nello statore che agisce sul rotore. Le potenze minori (< 2 kW) possono essere gestite anche con l'ausilio di un condensatore con l'alimentazione di rete monofase a 230 V.

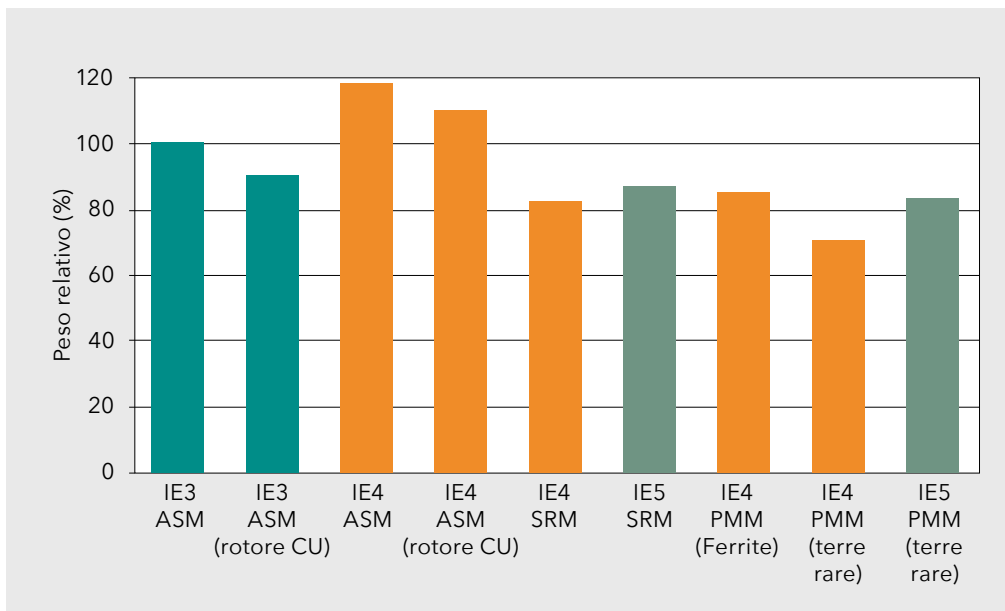


Figura 7: Confronto del peso tra le diverse tecnologie di motori (base: motori da 11 kW, IE3, ASM; 1500 giri/min; alloggiamento in alluminio) (fonte: Anibal de Almeida, MS'16)

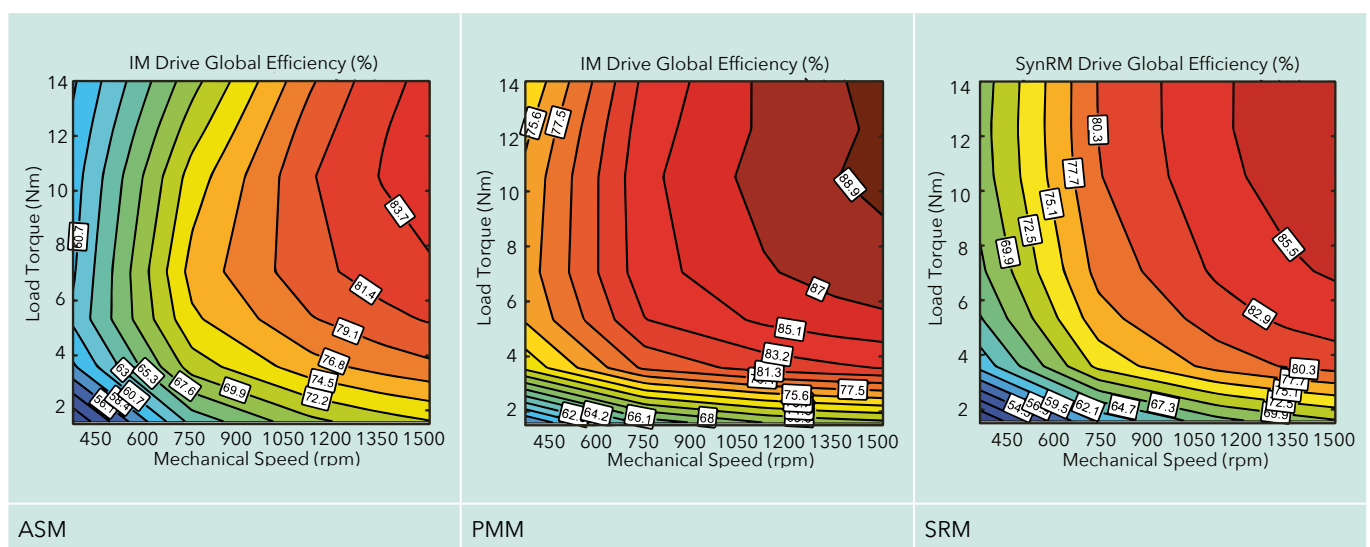


Figura 8: Curve con la stessa efficienza in funzione della coppia e della velocità per motori asincroni, a magneti permanenti e sincroni a riluttanza, ciascuno con convertitore di frequenza, potenza 2,2 kW (sorgente: Jorge Estima/EEMODS'17)

Il rotore di un motore elettrico è composto dall'albero e dall'avvolgimento. Di regola, l'avvolgimento è costituito da un pacchetto di lamierini d'acciaio in cui sono inserite barre di rame o alluminio - la cosiddetta gabbia. Il rotore e lo statore sono separati da una piccola intercapedine d'aria. Il campo magnetico dello statore induce una corrente nel rotore attraverso il traferro, il quale crea un campo rotante radiale che genera il movimento rotatorio nel rotore. Si parla di motore a induzione poiché sono correnti indotte nel rotore.

In funzione del carico, la velocità del rotore è inferiore a quella del campo magnetico rotante dello statore. La velocità reale del rotore a carico nominale è indicata sulla targhetta identificativa del motore. Quando è al regime minimo, è molto vicino alla velocità sincrona. La differenza tra la velocità sincrona dovuta alla frequenza di rete (campo rotante dello statore) e la velocità del rotore (velocità nominale del motore) è detta scorrimento. Il motore ASM deve il suo nome al fatto che il motore non ruota in sincronia con il campo di rotazione dello statore.

Per migliorare l'efficienza dello statore e del rotore, spesso sono utilizzati lamierini magneticamente migliori, più grandi o più numerosi. Nella pratica, questo può tradursi in motori di dimensioni maggiori. Tuttavia, tutti i produttori si impegnano a mantenere le dimensioni standard IEC (secondo la norma IEC 60072-1/-2/-2/-3) per garantire la compatibilità con i motori ampiamente utilizzati nelle installazioni già esistenti. Pertanto, le dimensioni standardizzate (distanza tra i piedi, altezza dell'albero, diametro dell'albero) sono di solito le stesse, solo quelle dello statore sono leggermente maggiori (più lungo).

Prima di sostituire un motore, occorre verificare se veramente ne vale la pena. Un ASM di dieci anni può avere spesso un rendimento sufficiente, per cui è più vantaggioso sostituire altre componenti del sistema che costano di meno.

Numero di poli	Coppie polari	Velocità sincrona $n_{sync}$ a 50 Hz giri/min
2	1	3000
4	2	1500
6	3	1000
8	4	750
10	5	600
12	6	500
14	7	429
16	8	375

Tabella 2: Velocità sincrone in base al numero di poli

La norma IEC 60034-30-1 per i motori presuppone che la classe di efficienza IE4 sia in linea di principio possibile con un ASM. Molto più difficile da raggiungere è la classe di efficienza IE5 con i motori alimentati in rete.

Una variante del motore asincrono standard ad alta efficienza è il motore ASM con una gabbia di rame nel rotore invece di una gabbia di alluminio. Questa variante presenta la stessa struttura e lo stesso principio funzionale, ma differisce nel materiale del rotore. L'avvolgimento in rame ha una resistenza elettrica inferiore a quella dell'alluminio, riducendo così le perdite nel rotore. Il motore può così raggiungere facilmente la classe di efficienza IE3 o addirittura IE4. L'ASM con rotore in rame può essere utilizzato anche direttamente sulla rete elettrica oppure con un convertitore di frequenza. Il suo design consente di realizzare motori della classe di efficienza fino a IE4 nelle dimensioni standard IEC. In alcuni casi questo tipo di motore può raggiungere la potenza richiesta anche con dimensioni inferiori. A questi vantaggi si contrappongono i maggiori costi di produzione. L'elevata temperatura di fusione del rame (circa 1100°C) rispetto all'alluminio (circa 660°C) richiede utensili e attrezzature per la pressofusione di qualità superiore e aumenta i costi di materiale e di produzione del motore. Il rame è anche molto più costoso dell'alluminio. Grazie alla minore resistenza, i motori con rotor in rame hanno spesso una corrente di avviamento più elevata e una coppia di avviamento più bassa. Ciò deve essere considerato nella progettazione e nella sostituzione di vecchi ASM.

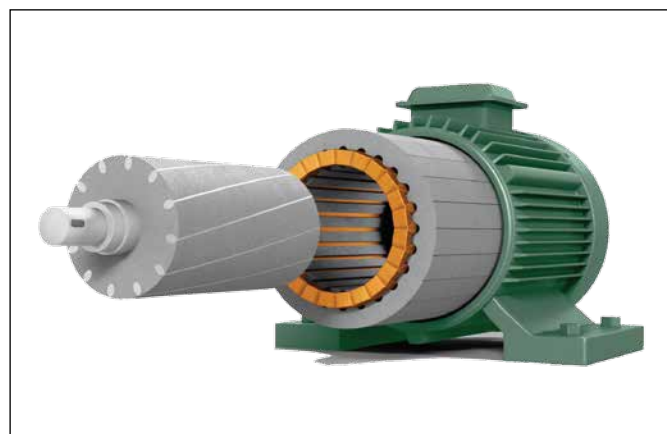


Figura 9: Schema di un ASM (fonte: Danfoss)

## Motore a magneti permanenti (PMM)

In confronto al motore ASM, il PMM non possiede un avvolgimento del rotore, ma magneti permanenti che sono montati sul rotore o integrati al suo interno. Nel caso più semplice, lo statore è concepito come un avvolgimento trifase distribuito analogo al motore ASM.

Il PMM è un motore sincrono, cioè non c'è scorrimento tra il rotore e il campo rotante dello statore come per il motore ASM. I magneti permanenti forniscono la necessaria magnetizzazione dell'intero motore, che viene realizzata senza perdite. Questo aumenta l'efficienza rispetto al motore ASM, che presenta maggiori perdite di resistenza del rotore e dello statore in rame (alluminio), dovute dalla corrente necessaria per la magnetizzazione. Questa tecnologia è da tempo utilizzata nei servomotori. Innovativa, invece, è l'applicazione, grazie alla maggiore efficienza, come motore conforme alla norma IEC e il relativo design. Per un breve periodo, tra il 2000 e il 2010, i prezzi dei magneti sono stati molto alti, perché per la loro produzione sono necessarie le cosiddette terre rare (elementi chimici) molto costose. Oggi, i prezzi delle terre rare sono notevolmente diminuiti perché sono state scoperte nuove miniere per queste materie prime o perché sono disponibili materiali sostitutivi più economici. I produttori stanno verificando se possono essere utilizzati i magneti con ferrite invece delle terre rare. I primi test sono molto promettenti. Uno svantaggio del PMM è la necessità di utilizzare un convertitore di frequenza per il funzionamento. Inoltre, questi ultimi devono ricevere un feedback di posizione per adattare in modo ottimale il campo magnetico alla posizione dei magneti permanenti e generare la rotazione. Due ulteriori svantaggi dei motori sono da un lato il pericolo di smagnetizzazione dovuto all'alto voltaggio e alle alte temperature, che nella pratica sono piuttosto rare, e dall'altro un problema di manutenzione dei motori: A causa della forte magnetizzazione del rotore, risulta difficile estrarre quest'ultimo dallo statore ed eseguire la manutenzione con gli appositi attrezzi.

Nella pratica, gli attuali motori PMM raggiungono le classi di efficienza IE3 e IE4. Per fare in modo che il motore PMM possa funzionare anche a velocità costante senza il convertitore di frequenza - che consuma anch'esso energia - è stato sviluppato uno speciale motore LSPM (Line Start Permanent Magnet). Si tratta di una soluzione ibrida di ASM e PMM. Questo motore è dotato di un rotore a gabbia in cui i magneti sono integrati tra la superficie e l'asse. Il risultato è una costruzione più complessa del rotore, che rende il motore più costoso. Tuttavia, ha un vantaggio significativo rispetto a un motore PMM convenzionale: può essere avviato e può funzionare direttamente sulla rete di alimentazione senza convertitore di frequenza. L'avvolgimento della gabbia è attivo durante l'avviamento. Quando il motore ha accelerato alla velocità impostata dalla frequenza di rete, si comporta come un motore PMM e passa al funzionamento sincrono. Anche questa forma di avviamento presenta uno svantaggio: il motore può girare brevemente all'indietro (per un massimo di mezzo polo) all'avviamento. Questo fenomeno all'avviamento si verifica anche con il motore ASM sulla rete di alimentazione. Tuttavia, è molto più accentuato con il motore LSPM. Inoltre, i picchi di coppia all'avviamento possono essere molto elevati - in casi estremi fino a 17 volte la coppia nominale. Questo tipo di motore non è in grado di gestire avviamenti pesanti e non dispone di elevata dinamica. Inoltre, il motore può perdere il sincronismo durante i picchi di carico o quando il carico è leggermente troppo alto, il che riduce drasticamente l'efficienza. Reagisce inoltre in modo sensibile alle sottotensioni, che possono verificarsi con le fluttuazioni di rete.

Se alimentati in rete, i motori LSPM raggiungono le classi di efficienza IE3 e IE4. Da considerare che con l'applicazione del convertitore di frequenza, possibile in linea di principio, il rendimento può diminuire dal 5% al 10% rispetto all'azionamento con la rete di alimentazione. La ragione è l'avvolgimento a gabbia, che funge da smorzamento. I modelli disponibili sono conformi alla norma



Figura 10: Due PMM, a sinistra con magneti integrati, a destra con magneti montati in superficie (fonte: Danfoss)



IEC o sono leggermente più piccoli. Inoltre, con questo motore si ripresentano i problemi di approvvigionamento di terre rare, poiché anche in questo caso sono utilizzati magneti permanenti.

L'impiego di un motore LSPM deve essere esaminato criticamente perché la classe di efficienza IE4 può essere raggiunta anche con un motore ASM in rame.

### **Motore a commutazione elettronica (ECM)**

Il motore ECM è disponibile in molte varianti. Ad esempio è utilizzato come piccolo servomotore con pochi watt, ma anche nell'ambito di riscaldamento, ventilazione e climatizzazione come rotore esterno in ventilatori e pompe di circolazione senza premistoppa. Viene spesso presentato dai costruttori come un motore ad altissima efficienza. Ciò è vero per i micro drive, dove il motore ECM è nettamente superiore al motore universale o a poli schermati (che hanno una efficienza inferiore al 30%). In base alla versione, l'efficienza dell'attuale motore ECM è paragonabile ai motori asincroni da IE2 a IE4.

Come per il motore PMM, il rotore è dotato di magneti e lo statore di avvolgimento trifase. Nel concetto originale, il motore ECM lavorava con una corrente continua a commutazione elettronica (Direct Current, DC), che fluisce sempre solo tra due circuiti, da qui il nome BLDC (Brushless DC Motors) o ECM (Electronically Commutated Motor). Dal punto di vista tecnologico, il BLDC appartiene al gruppo dei motori a corrente alternata. Ne consegue che il termine BLDC può essere leggermente fuorviante. Per compensare gli svantaggi del concetto BLDC, come la maggiore corrente di fase e l'ondulazione di coppia, i produttori hanno sviluppato metodi di controllo migliori. Nel frattempo sono già disponibili processi sensorless. Entrambi i concetti - il BLDC e il nuovo controllo sinusoidale a modulazione di larghezza di impulso (modulazione PWM) - sono chiamati motori EC. Pertanto, l'utente si trova di fronte al problema di differenziare se si tratta di un BLDC o di un concetto migliorato di tipo PMM. Inoltre a causa dei magneti permanenti, in relazione alle terre rare e alla manutenzione, ci si trova di fronte alle stesse problematiche dei motori PPM.

### **Il motore sincro a riluttanza (SRM)**

Un'altra variante dei motori trifase a corrente alternata sono i motori sincro a riluttanza SRM, senza i costosi magneti. Utilizzano la forza di riluttanza risultante dalla variazione della resistenza magnetica secondo la posizione del rotore. Questa tecnologia non è nuova, ma è stata introdotta da poco sul mercato. Ciò è dovuto al fatto che i produttori non avevano finora adeguato questi motori all'efficienza energetica. Tagli speciali delle piastre del rotore guidano le linee magnetiche all'interno del

rotore e producono così una coppia di riluttanza con elevata efficienza energetica. Nella pratica ciò si traduce in classi di efficienza che vanno da IE2 a IE4; per le potenze minori piuttosto IE2.

Questi motori raggiungono la classe di efficienza IE4 solo a partire da una potenza di circa 15 kW e mostrano anche un ottimo comportamento alle basse velocità.

Se alimentati in rete, i motori SRM, come i motori PMM, necessitano di un convertitore di frequenza. Attualmente, questi motori hanno ancora costi piuttosto elevati. Tuttavia, con l'aumento della produzione, si prevede un calo dei prezzi, poiché il montaggio e la produzione sono relativamente semplici.

Come per il motore LSPM, il motore SRM Direct-On-Line (DOL) utilizza il principio del rotore a gabbia. A tale scopo, si riempiono gli spazi aperti tra i lamierini del rotore in alluminio e si mettono in corto circuito le estremità. Anche in questo caso, il grande vantaggio è che questo motore può essere avviato e può funzionare direttamente sulla rete di alimentazione. Allo stesso tempo, risulta un migliore  $\cos \varphi$ . Lo svantaggio è che l'ulteriore smorzamento dell'avvolgimento a gabbia genera di nuovo perdite maggiori con il funzionamento del convertitore di frequenza.

### **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 devono essere compensati da risparmi energetici 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 complessivi. Alcune tecnologie offrono l'opportunità di utilizzare motori più piccoli e leggeri con le stesse prestazioni e una maggiore efficienza. Minori perdite e quindi temperature più basse hanno generalmente un effetto positivo sulla durata tecnica e sui costi di esercizio.

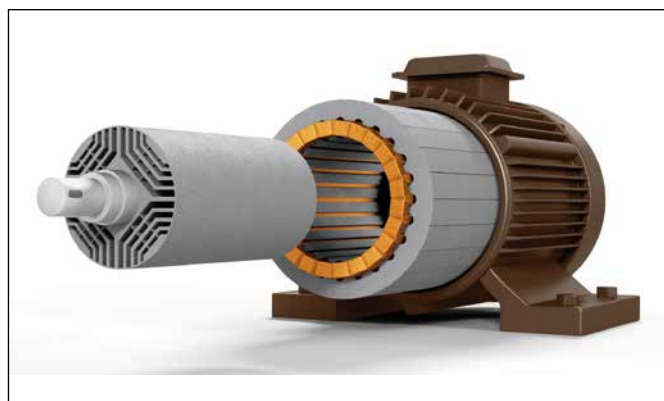


Figura 11: Disegno schematico di un SRM (fonte: Danfoss)



Con l'aumento 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 1:1 con un motore nuovo delle stesse dimensioni (senza CF), si deve tener conto del fatto che pompe e ventilatori, ad esempio, funzionano ad una velocità leggermente superiore e quindi convogliano più aria o più acqua di prima. Nonostante il motore sia più efficiente, questo può portare a un maggiore consumo di energia elettrica (consumi aumentano alla terza potenza con la portata). Questo effetto può essere evitato adeguando la trasmissione (rapporto di trasmissione) o utilizzando un convertitore di frequenza.

I risparmi derivanti dal passaggio da IE3 a IE4 sono inferiori a quelli da IE1 a IE2 di qualche anno fa, il che significa che l'utilità marginale per un'efficienza ancora più elevata sta diminuendo.

Un motore IE4 non è consigliabile per tutte le applicazioni a causa dei maggiori costi di acquisto o, nel caso di applicazioni con molti cicli di carico, a causa di momenti di inerzia potenzialmente più elevati. Tuttavia, un motore PMM può essere costruito con un momento di inerzia di massa inferiore rispetto a un motore ASM.

Alcuni degli svantaggi delle diverse tecnologie dei motori possono essere mitigati da ottimizzazioni come, ad esempio, il comportamento all'avvio dei motori PMM azionati direttamente in rete.

L'ottimizzazione deve avvenire in tutta l'unità di azionamento (motore, CF, riduttore, trasmissione e applicazione). Un buon motore da solo non è sufficiente per ottenere una migliore efficienza dell'intero sistema. Altre misure

che possono eventualmente portare a un miglioramento dell'efficienza dell'intero sistema: dimensionamento più preciso, buona messa a punto dei singoli componenti, migliore regolazione del carico durante il funzionamento, azionamento diretto invece di trasmissione e riduttore, migliore efficienza dell'applicazione (pompa, ventilatore, compressore, ecc.), ecc.

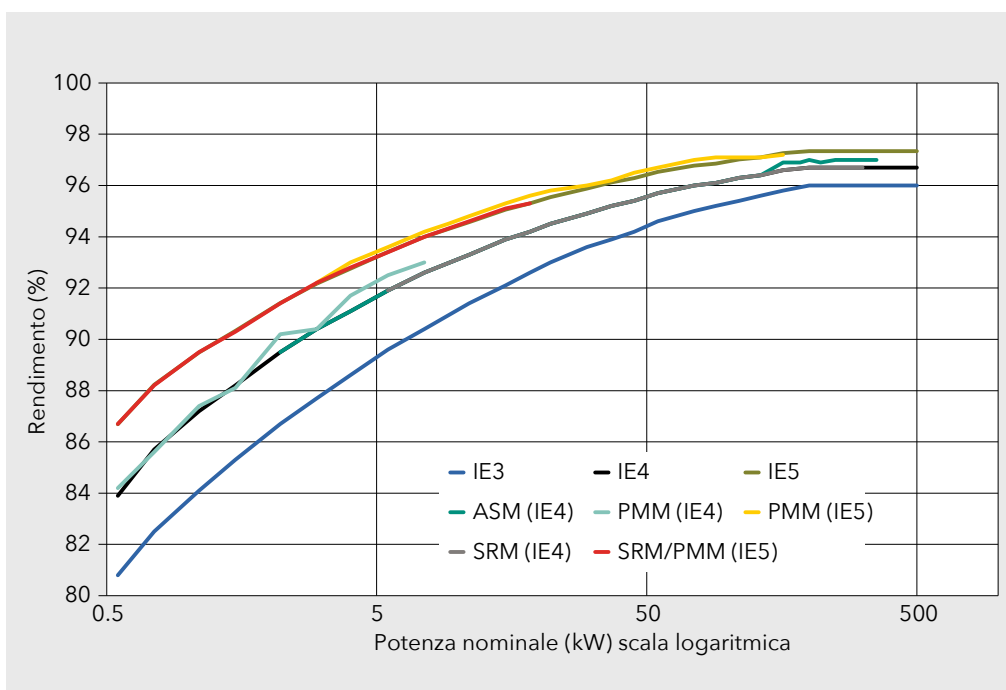


Figura 12: Dati di misurazione di diverse tecnologie di motori in rapporto alle classi IE (fonte: Anibal de Almeida, Motor Summit 2018)

# Maggiori informazioni

## Termini e unità di misura

Denominazione	Abbreviazione	Unità di misura	Indici, Spiegazione
Motore asincrono	ASM		
Motore a magneti permanenti	PMM		
Motore a commutazione	ECM		
Motore a corrente continua senza spazzole	BLDC		
Motore sincrono a riluttanza	SRM		
Convertitore di frequenza	CF		anche: VFD (Variable Frequency Drive)
Direct-On-Line	DOL		50 Hz alimentazione di rete
Line-Start			Avvio alla frequenza di rete (senza CF)
Ibrido	può essere utilizzato con DOL o CF		
Corrente continua	DC	A	Direct Current
Corrente alternata	AC	A	Alternating Current
Potenza	P	kW	e: elettrico m: meccanico
Rendimento	$\eta$ (eta)	-	
Coppia	M	Nm	
Codice IE	IE1, IE2, IE3, IE4		Classi di rendimento dei motori elettrici secondo IEC 60034-30-1

## Norme e leggi

### Norme IEC per le classi di efficienza del motore e le prove di efficacia

	Motore a velocità fissa	Motore a bassa velocità	Convertitore di frequenza
Condizioni generali, tolleranze	IEC 60034-1	IEC 60034-1	
Test di efficienza	IEC 60034-2-1	IEC 60034-2-3	IEC 61800-9-2
Classi di rendimento	IEC 60034-30-1	IEC 60034-30-2	IEC 61800-9-2
Dimensioni	IEC 60072-1/-2/-3		

## Direttive europee

■ Regolamento Ecodesign (CE) N. 640/2009 della Commissione del 22 luglio 2009, con le modalità di esecuzione della direttiva 2005/32/CE del Parlamento europeo e del Consiglio in merito alle specifiche per la progettazione ecocompatibile dei motori elettrici (pendente in revisione), Bruxelles, 2009

## Requisiti minimi svizzeri

■ Legge sull'energia, ordinanza del 1 novembre 2017 sui requisiti di efficienza energetica per impianti, veicoli e apparecchi prodotti in serie (Ordinanza sull'efficienza energetica, EnEV) (aggiornamento: 1 gennaio 2018)

■ Motori elettrici alimentati dalla rete di cui all'allegato 2.7, Berna

## Fonti e ulteriore letteratura

■ Michael Burghardt, Offenbach, Germania: Motoren-Technologien im Effizienz-Check, 2014, [www.computer-automation.de/field level/drives/articles/107212/8/](http://www.computer-automation.de/field-level/drives/articles/107212/8/)

■ Jorge Estima: CISE - Electromechatronic Systems, Research Centre, Universidade da Beira Interior, Calçada Fonte do Lameiro, P - 6201-001 Covilhã, Portogallo, in: EEMODS 2017, Roma

■ John Petro: Future Trends in Motor System Efficiency, in: Motor Summit, 2018, Zurigo

■ Anibal de Almeida: Electric Motors and Variable Speed Drives Efficiency - Adjusting MEPS to Technology Developments, in: Motor Summit 2018, Zurigo

■ Preston Reine: IHS Markit, A global update on the market for motor-driven systems, in: Motor Summit 2018, Zurigo

■ Impact Energy: Rapporto di mercato Topmotors 2018, Zurigo (inedito, pubblicato all'inizio del 2019)

## Nota editoriale

La scheda tematica Topmotors N. 29 Nuove tecnologie per i motori è stata preparata da Impact Energy nell'ambito del programma Topmotors per sistemi di azionamento efficienti. È stato sviluppato da Conrad U. Brunner (iE), Michael Burghardt e Norbert Hanigovszki (Danfoss), Prof. Andrea Vezzini (BFH), Jürg Nipkow (ARENA), Rolf Tieben e Petar Klingel (iE). Redazione e realizzazione grafica: Faktor Journalisten AG.