

LE TRE CLASSI DI EFFICIENZA DEI MOTORI

Franco Bua

Con l'obiettivo di conseguire un aumento dell'efficienza energetica in Europa, la Commissione Europea ha messo in moto una serie di azioni ad hoc: nel 2005 ha delineato nel Libro Verde le modalità che possono portare a tale obiettivo, nel 2006 ha predisposto un piano di azione che illustra la strategia per sfruttare appieno il potenziale legato al miglioramento dell'efficienza degli usi finali dell'energia, piano di azione fatto proprio dal Consiglio Europeo nella primavera del 2007.

Nel gennaio 2008, il pacchetto sull'energia rinnovabile e i cambiamenti climatici ha ribadito il ruolo centrale dell'efficienza energetica nell'ambito della politica energetica europea, ottenendo l'impegno degli Stati membri a conseguire traguardi ambiziosi in termini di sviluppo dell'impiego di fonti rinnovabili e riduzione delle emissioni¹ [1].

Questi documenti si inseriscono in un quadro politico più ampio e consolidato di promozione dell'efficienza energetica [2] i cui riferimenti principali sono riassunti in Tabella 1.

Tabella 1 – Principali Direttive EU in materia di efficienza energetica

End-use Efficiency & Energy Services	Directive 2006/32/EC
Energy Efficiency in Buildings	Directive 2002/91/EC
Eco-design of Energy-Using Products	Directive 2005/32/EC
Energy Labelling of Domestic Appliances	Directive 2003/66/EC Directive 2002/40/EC Directive 2002/31/EC
Combined Heat and Power	Directive 2004/8/EC
Energy Star Programme	Council decision of 18 December 2006

Come dimostrano numerosi studi, è principalmente grazie all'introduzione di norme e di programmi di etichettatura energetica che si sono conseguiti i miglioramenti di efficienza energetica di alcuni prodotti. Afferma infatti il WEO²: *“The most effective way of encouraging investment in energy-efficiency improvements is the well-designed and well-enforced regulations on efficiency standards, coupled with appropriate energy-pricing policies”*.

Tale affermazione sottolinea il ruolo chiave che la normazione tecnica può svolgere nel garantire il raggiungimento degli obiettivi di promozione dell'efficienza energetica in quanto strumento tecnico a supporto delle politiche energetiche nazionali ed internazionali.

Su questa linea, il CEI ha costituito il CT311 diviso in due sotto comitati, uno dei quali, il SC311B, è specificatamente dedicato all'elaborazione di norme o linee guida sull'efficienza energetica negli usi finali elettrici³.

Il SC311B è organizzato in 5 gruppi di lavoro sulla base dei sistemi maggiormente rilevanti ai fini dell'efficienza energetica tra i quali il GdL 3 dedicato ai “Sistemi Motore”.

In ottica di coordinamento, si noti che il SC311B si occupa del tema dell'efficienza energetica esclusivamente da un punto di vista di sistema, rispettando l'ambito di competenza dei

¹ Ridurre del 20% le emissioni di gas a effetto serra, portare al 20% la quota di energia rinnovabile nel consumo finale di energia nell'UE e migliorare del 20% l'efficienza energetica entro il 2020.

² IEA - World Energy Outlook 2006

³ È bene precisare che il SC311B è un comitato che non si occupa di efficienza energetica di prodotti ma bensì dei sistemi.

singoli comitati di prodotto in tema di miglioramento della prestazione energetica del singolo componente.

Nel seguito dell'articolo si illustrerà la scelta di un motore elettrico sulla base di considerazioni di TOC oltre che tecniche.

Particolare attenzione è riservata ai documenti normativi che possono essere d'aiuto operativamente nella scelta di un motore elettrico, nella ricerca di soluzioni tecnologiche che consentano il miglioramento della prestazione energetica.

Il contesto

Attualmente, i motori elettrici rappresentano sia in Europa sia in Italia, una quota considerevole dell'impiego dell'energia elettrica, tanto in ambito industriale (65-70%), quanto nel settore terziario (25-30%) essendo impiegati in molti impianti di servizio (sistemi di pompaggio, di produzione e distribuzione aria compressa, sistemi di ventilazione, etc)⁴.

Se, proporzionalmente, si traslassero tali dati dalla scala nazionale a quella aziendale, si intuisce facilmente come il miglioramento dell'efficienza di queste macchine incida in modo determinante sui costi energetici aziendali, in particolar modo se l'utilizzo di energia elettrica nel processo è preponderante.

L'impiego di motori elettrici ad alto rendimento (EEEM) è altamente conveniente a maggior ragione se si considera che, in generale, il costo d'acquisto è trascurabile rispetto al costo di esercizio lungo la vita utile del motore⁵.

Di norma, il rendimento di un motore elettrico⁶ dipende dal tipo di progetto ed in particolare dalla qualità e dalla quantità del materiale impiegato per la sua costruzione⁷ e varia variabile in funzione del tipo di motore, della taglia del motore ma soprattutto del coefficiente di utilizzo⁸. Il rendimento di un motore dipende, infatti, dal punto di lavoro e nello specifico, decresce al diminuire del coefficiente di utilizzo; quando questo è inferiore a 0,5-0,6 la diminuzione è particolarmente drastica (Figura 1). Con riferimento alla taglia del motore, il rendimento cresce all'aumentare della potenza nominale.

⁴ Il 23 luglio 2009 è stato pubblicato il "Regolamento N. 640/2009 della Commissione europea, recante modalità di applicazione della direttiva 2005/32/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio in merito alla progettazione ecocompatibile dei motori elettrici".

⁵ Il costo d'acquisto in rapporto al costo di esercizio è stimabile in una percentuale variabile tra il 15% ed il 5% circa.

⁶ Le perdite in un motore elettrico sono principalmente di tre tipi: le perdite dovute al carico, per effetto Joule negli avvolgimenti di statore e rotore, proporzionali al quadrato della corrente assorbita quindi della potenza erogata; le perdite a vuoto nel ferro per isteresi e per correnti parassite, proporzionali al quadrato della tensione; le perdite meccaniche, per attrito e per ventilazione.

⁷ Nei motori ad alta efficienza si utilizzano nella costruzione del nucleo, materiali magnetici a basse perdite e conduttori elettrici di sezione maggiorata per gli avvolgimenti di statore e di rotore insieme ad una opportuna scelta della geometria e del numero di cave.

⁸ Rapporto tra la potenza nominale erogata all'albero e la potenza nominale del motore.

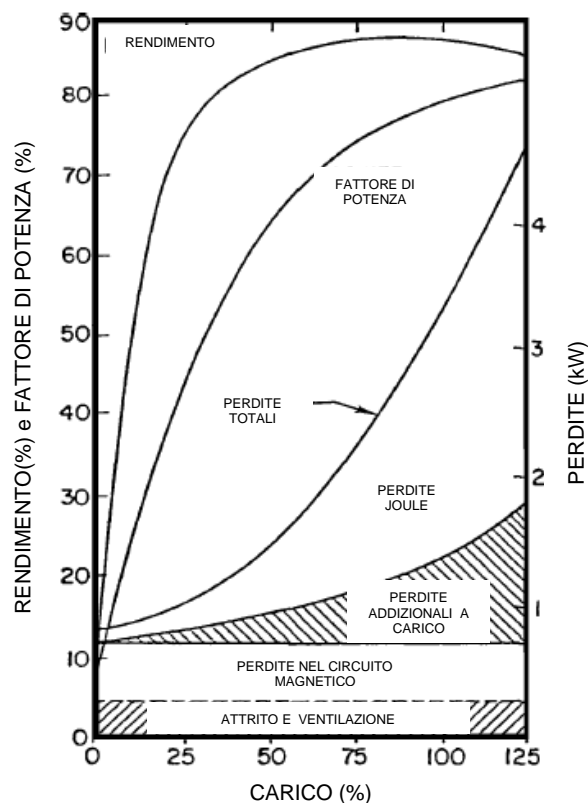


Figura 1 – Andamento delle perdite, dell'efficienza e del fattore di potenza di un motore asincrono in funzione del coefficiente di utilizzo.

Come hanno evidenziato numerosi studi, le cause della scarsa efficienza di questi sistemi possono ricondursi prevalentemente ai seguenti fattori:

- dimensionamento improprio;
- bassa efficienza elettrica dei motori utilizzati;
- bassa efficienza meccanica dell'utilizzatore finale (pompe, ventilatori, compressori, ecc);
- assenza di sistemi di controllo della velocità;
- manutenzione scarsa o addirittura inesistente.

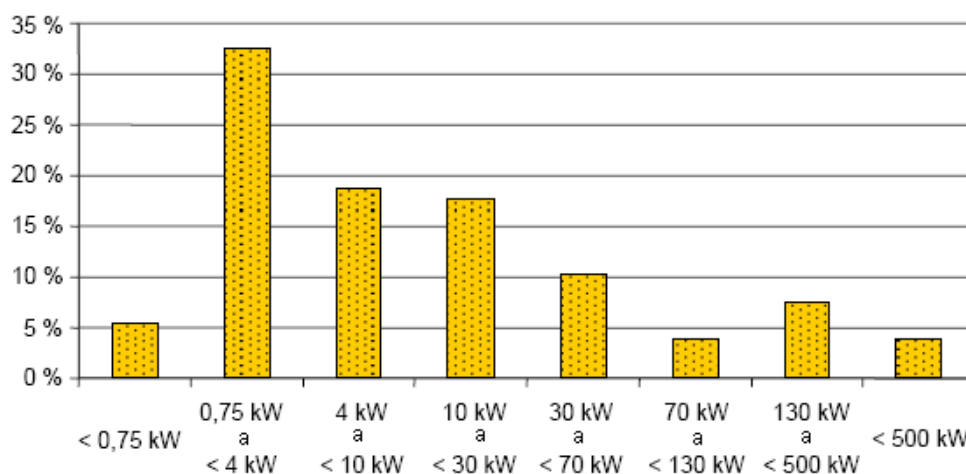


Figura 2 – Potenziale di risparmio energetico nel settore industriale conseguente all'impiego di motori elettrici ad alta efficienza [9]

La Tabella 2 riporta una panoramica del potenziale di efficienza energetica nei sistemi motore.

Tabella 2 – Benefici derivanti dall'applicazione delle misure di risparmio energetico nei sistemi motore [8]

Misure di risparmio energetico	Valori tipici
Descrizione intervento	
Impiego di motori alta efficienza (EEM)	2-8%
Corretto dimensionamento	1-3%
Riparazione motori alta efficienza (EEMR)	0,5-2%
Utilizzo di variatori di velocità (VSD)	10-50%
Utilizzo di trasmissioni alta efficienza/riduttori	2-10%
Controllo della qualità della potenza fornita	0,5-3%
Funzionamento e manutenzione del sistema	
Lubrificazione, riparazioni, messa a punto delle macchine	1-5%

Il quadro normativo di riferimento

Ma quali sono gli standard energetici dei motori BT realmente disponibili sul mercato? Un accordo volontario siglato nel 2000 tra i più grandi produttori europei di macchine elettriche rappresentati dal CEMEP⁹ e la Commissione Europea DG XVII, definiva le tre classi di efficienza per i motori elettrici: EFF1, EFF2 e EFF3.

Da allora questo accordo volontario ha costituito il principale riferimento per la classificazione del rendimento dei motori elettrici, fino a quando, nel marzo 2009, è stata pubblicata la norma CEI EN 60034-30 (CEI 2-43) [9] che intende fornire un'armonizzazione internazionale delle classi di efficienza dei motori elettrici.

Anche la norma CEI EN 60034-30 definisce 3 classi di efficienza per i motori trifase (IE1, IE2, IE3), fornendo uno standard mondiale per la classificazione ed ampliando il campo di applicazione rispetto a quello dell'accordo volontario CEMEP-EU, in quanto comprende anche i motori di potenza da 0,75 kW fino a 375 kW.

Da notare che i limiti fissati per la classe IE1 (motori standard) e per la classe IE2 (motori ad alta efficienza) si basano, sostanzialmente, sui limiti delle classi EFF2 ed EFF1 rispettivamente, con leggere modifiche per tenere conto dei differenti metodi di prova.

Per la classe IE3 (motori premium efficiency) i limiti invece sono inferiori a quelli fissati per la classe IE2 in una percentuale compresa tra il 15% ed il 20%.

La EN 60034-30 contiene anche alcuni cenni alla cosiddetta Super-Premium Class (IE4) che sarà oggetto di un'edizione successiva della norma.

In ambito IEC è inoltre in fase di voto finale una guida tecnica che offre orientamento nella scelta dei cosiddetti motori elettrici ad alta efficienza e dei convertitori di frequenza [10].

⁹ Comitato Europeo costruttori Macchine rotanti e Elettronica di Potenza

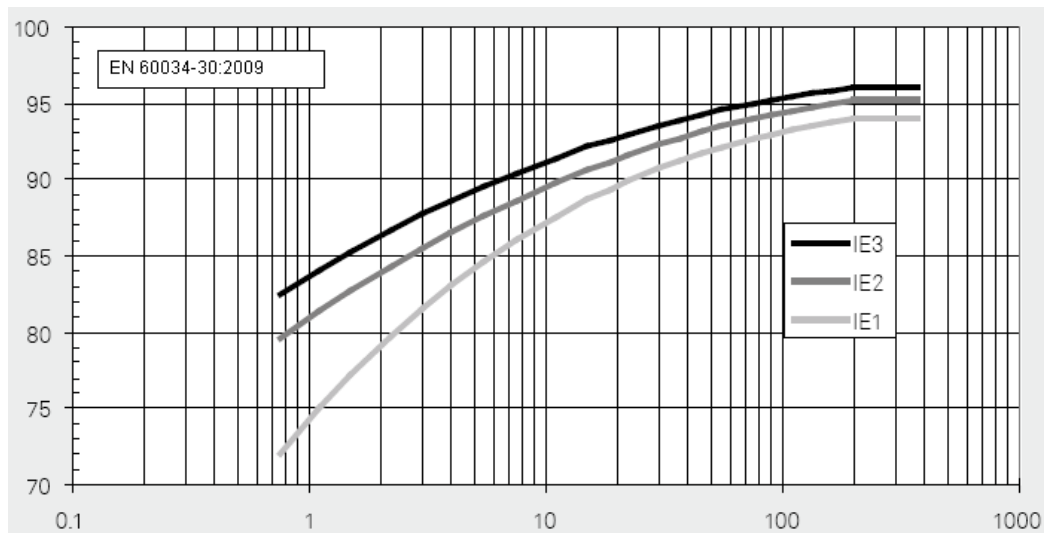


Figura 3 – Esempio delle classi di efficienza energetica fissate dalla norma EN 60034-30 per motori elettrici a 4 poli, 50 Hz (la potenza del motore è riportata sull'asse orizzontale in scala logaritmica, il rendimento minimo sull'asse verticale in percentuale)

Criteri di valutazione economica

Tre sono gli scenari che offrono occasione per una valutazione di convenienza economica dell'impiego di motori elettrici ad alta efficienza:

- l'acquisto di un nuovo motore;
- l'acquisto di un motore ad alta efficienza invece di riparare un motore guasto;
- la sostituzione di un motore in servizio con un motore ad alta efficienza.

Di massima, per valutare la convenienza economica di investimenti alternativi di questo tipo si considerano, principalmente, i seguenti fattori:

- costo dell'energia (€/kWh) e della potenza impegnata (€/kW);
- potenza nominale del motore;
- rendimento nominale del motore;
- fattore di carico del motore;
- ore di funzionamento annue del motore.

Di seguito si analizzano i 3 scenari sopramenzionati, fornendo informazioni utili a valutare in via preliminare la convenienza dell'impiego di motori ad alta efficienza: il criterio utilizzato per tale valutazione è il tradizionale *payback* tipicamente utilizzato dalle aziende per valutare i nuovi investimenti strumentali.

Si avverte, tuttavia, che l'utilizzo del semplice *payback* come indice di valutazione dell'investimento, non permette di tenere conto di quanto accade dopo il tempo di recupero del capitale e questo è particolarmente penalizzante nei casi di investimenti che garantiscono benefici nel lungo termine (molto superiore al tempo di ritorno).

La convenienza dell'impiego di EEEM aumenta con l'impiego di altri indici per la valutazione dell'investimento che tengano conto dell'intera vita utile del componente.

Primo scenario: nuovo acquisto

Nel valutare l'acquisto di un nuovo motore è possibile confrontare la convenienza dell'acquisto un motore ad alta efficienza rispetto a quello di uno tradizionale: fattore rilevante nella valutazione economica è la differenza del costo d'acquisto di un motore ad alta efficienza rispetto a quello di uno tradizionale.

A parità di potenza nominale, un motore ad alta efficienza ha un costo superiore del 20-40% rispetto ad un motore tradizionale. La differenza di costo si giustifica con la maggiore qualità

e quantità dei materiali utilizzati (e.g. lamierini a basse perdite, sezione più elevata dei conduttori degli avvolgimenti di statore e di rotore etc.).

Affinché l'investimento sia conveniente, l'impiego del motore ad alto rendimento deve essere pari ad un numero di ore decisamente elevato di funzionamento. In questi casi il *payback* è compreso tra 1 e 3 anni. Sempre indicativamente, si tenga conto che il *payback* diminuisce linearmente con le ore di funzionamento, mentre il trend è crescente nell'intervallo di potenze 100 – 250 kW.

Secondo scenario: sostituzione con EEEM in luogo della riparazione di un motore guasto

Nell'opzione di scelta tra la riparazione di un motore guasto¹⁰ e l'acquisto di un motore ad alta efficienza, il costo della soluzione energeticamente più efficiente è pari alla differenza tra il costo di un motore ad alta efficienza ed il costo il riavvolgimento di quello esistente.

Si tenga conto che, di norma, l'operazione di riavvolgimento comporta un peggioramento delle prestazioni energetiche del motore, peggioramento che varia, a seconda della perizia dell'operatore, tra 1 e 4 punti percentuali. Riavvolgere un motore elettrico significa ripristinare un motore il cui rendimento è minore rispetto al suo rendimento a inizio ciclo.

Come avviene nel primo scenario, la convenienza dell'acquisto di un motore ad alto rendimento è maggiore per motori destinati ad un numero elevato di ore di funzionamento (*payback* compresi tra 0,5 e 2 anni) ed il *payback* dell'investimento diminuisce linearmente con le ore di funzionamento.

Diversamente dal caso del nuovo acquisto, il *payback* mostra un trend crescente in funzione della potenza nominale del motore; ne consegue che per motori piccoli (1-11 kW) il *payback* risulta decisamente interessante.

Terzo scenario: sostituzione di un motore in servizio con un EEEM

Qualora la valutazione riguardasse la convenienza della sostituzione di un motore in servizio con un motore ad alta efficienza, la differenza di costo della soluzione energeticamente più efficiente sarebbe pari al costo del motore ad alta efficienza sommato al costo della manodopera impiegata per la rimozione del vecchio e l'installazione del nuovo.

In questo scenario, il calcolo economico non può, di fatto, considerare il valore del motore sostituito benché funzionante, in quanto non esiste un mercato rilevante di motori usati.

Ne deriva che la sostituzione di motori in servizio non è particolarmente interessante a meno che il numero di ore di funzionamento annuo sia superiore alle 2000, a meno che il costo dell'energia non sia particolarmente elevato.

Conclusioni

L'impiego dei motori elettrici BT ad alta efficienza, disponibili sul mercato, costituisce un potenziale risparmio per la bolletta energetica di un'azienda da un lato e rappresenta un'efficace misura di riduzione dell'impatto ambientale del processo di produzione dall'altro.

L'elemento che guida la scelta di un motore elettrico dovrebbe essere non tanto il prezzo di acquisto, bensì l'analisi di costo del ciclo di vita tenendo in debito conto il valore delle perdite dato che oltre il 90% dei costi operativi di un motore elettrico sono costituiti dai consumi di energia.

Si noti che, in generale, la riduzione delle perdite in un motore produce un duplice beneficio: da un lato il vantaggio del risparmio energetico e dall'altro una riduzione delle sovratemperature con un conseguente aumento della vita della macchina (a parità di sistema

¹⁰ Tipicamente la riparazione consiste nella sostituzione degli avvolgimenti (riavvolgimento), mantenendo, se possibile, il circuito magnetico.

di isolamento) e del grasso di lubrificazione con la possibilità di ridurre la ventilazione e la rumorosità ad essa collegata. Inoltre, un motore con rendimenti più alti consente:

- maggiori rendimenti ai carichi ridotti, essendo maggiormente contenute le perdite a vuoto;
- maggiore capacità di sopportare squilibri e variazioni di tensione della rete di alimentazione;
- maggiori vantaggi nelle applicazioni con alimentazione da inverter.

E' importante sottolineare che nella valutazione della convenienza dell'impiego di EEEM si considerano anche alcune iniziative in ambito nazionale ed europeo che possono influire, in modo anche determinante, sulla decisione finale di acquisto.

1. RIFERIMENTI

- [1] Comunicazione della Commissione al Parlamento Europeo, al Consiglio, al Comitato Economico e Sociale Europeo e al Comitato delle Regioni COM(2008) 30 Definitivo, Bruxelles 23 gennaio 2008
- [2] Comunicazione della Commissione al Consiglio, al Parlamento europeo, al comitato economico e sociale e al comitato delle regioni – Piano d'azione per migliorare l'efficienza energetica nella comunità europea. COM(2000) 247 definitivo del 26 aprile 2000.
- [3] International Energy Agency: "Key world energy statistics 2009", www.iea.org
- [4] Franco Bua: "Il punto sull'attività normativa internazionale e nazionale in materia di efficienza energetica", Convegno Nazionale AEIT, Catania, 28-30 settembre 2009.
- [5] CEI UNI 11339 (311-3) "Gestione dell'energia - Esperti in gestione dell'energia - Requisiti generali per la qualificazione", Dicembre 2009.
- [6] Futura UNI/CEI 11352 "Gestione dell'energia - Società che forniscono servizi energetici (ESCO) – Requisiti generali e procedure di qualificazione".
- [7] The scope for energy saving in the EU through the use of energy efficient distribution transformers. Thermie Project n° STR-1678-98 - BE
- [8] Motor Challenge Programme:
<http://re.jrc.ec.europa.eu/energyefficiency/motorchallenge/index.htm>
- [9] CEI EN 60034-30 (CEI 2-43) "Macchine elettriche rotanti – Parte 30: Classi di rendimento dei motori asincroni trifase con rotore a gabbia ad una sola velocità (Codice IE)
- [10] IEC/TS 60034-31 Ed.1: Rotating electrical machines – Part 31: Guide for the selection and application of energyefficient motors including variable-speed applications