

Motori ad alta efficienza e inverter

Descrizione della tecnologia

I **motori elettrici ad alta efficienza** sono motori elettrici che, grazie a specifici accorgimenti costruttivi, a parità di potenza offrono rendimenti superiori e più costanti, al variare del carico, rispetto a quelli di motori elettrici standard.

Parte dei consumi attribuiti al funzionamento dei motori elettrici sono dovuti alla presenza di perdite di vario tipo (perdite meccaniche, dispersioni di energia, perdite per correnti parassite, ecc.). Nei dispositivi ad alta efficienza queste perdite sono state ridotte intervenendo sui materiali con cui i motori sono fabbricati o modificando alcuni elementi costruttivi quali:

- *nucleo*, realizzato con lamierini a basse perdite che diminuiscono le perdite a vuoto;
- *conduttori dello statore e del rotore*, realizzati con sezione maggiorata in modo da ridurre le perdite per effetto Joule;
- *cave*, attentamente selezionate sia come numero sia come geometria.

Tali accorgimenti comportano inoltre un minor sviluppo di calore nel motore e rendono pertanto possibile l'impiego di ventole di raffreddamento più piccole (con minori perdite meccaniche e consumi elettrici inferiori).

Gli azionamenti a velocità variabile (consistenti in **inverter** che modulano la frequenza di alimentazione del motore e quindi la sua velocità in funzione del carico) servono per modificare la velocità di un motore elettrico che di regola è invece fissa e dipende dal numero di poli del motore. Questi dispositivi possono quindi essere utilizzati vantaggiosamente per variare, ad esempio, la portata di una pompa o di un ventilatore: a differenza dei tradizionali sistemi di controllo – valvole di strozzamento, serrande, ecc. – i regolatori di frequenza agiscono andando a variare, in funzione del bisogno, la velocità del motore e conseguentemente la potenza elettrica da esso assorbita (piccole diminuzioni della velocità del motore comportano significative riduzioni della potenza assorbita e quindi, del consumo energetico generato).

Altri interventi per realizzare una riduzione dei consumi di elettricità legati al funzionamento dei motori elettrici riguardano i **dispositivi di trasmissione**, impiegati per trasmettere il moto dal motore elettrico alla macchina operatrice qualora non vi sia accoppiamento diretto tra i vari alberi (situazione molto frequente¹). I sistemi di trasmissione non sono in grado di trasmettere alla macchina operatrice tutta la potenza fornita dal motore e quindi la scelta dei sistemi a maggior rendimento si traduce in un contenimento delle perdite e dei consumi di energia. Le cinghie trapezoidali sono uno dei sistemi di trasmissione più utilizzati in funzione della loro praticità e basso costo. Il loro rendimento di trasmissione, inizialmente piuttosto elevato (attorno al 97%), decade piuttosto rapidamente con il funzionamento a causa dell'usura e della perdita di aderenza delle cinghie, rendendo necessari – pena grosse dispersioni di energia – frequenti interventi di manutenzione e regolazione. L'utilizzo di sistemi di distribuzione con rendimenti elevati e costanti nel tempo, quali ad esempio le cinghie dentate², consente di ovviare a tali problematiche e di ridurre i consumi di energia.

Specifiche tecniche per l'installazione e la manutenzione

I motori ad alta efficienza coprono la gamma di potenze che va da 1,1 a 90 kW con due o quattro poli e sono suddivisi in due classi (eff1 e eff2) in base alla loro efficienza. In **Tab.1** sono riportati i rendimenti minimi di tali apparecchiature in funzione della loro potenza.

¹ L'accoppiamento diretto è spesso impedito da problematiche di posizionamento e dalla diversità di rotazione tra motore e macchina.

² Lo specifico dispositivo di distribuzione applicabile deve essere valutato caso per caso. Le cinghie dentate, ad esempio, poiché non slittano sono da evitare – o da accoppiare ad una frizione – se si vuole che la macchina operatrice (es. un tritatore) si blocchi in caso di ingresso di un corpo estraneo.

Tab.1 – Rendimenti minimi dei motori ad alta efficienza in funzione della potenza nominale.

Potenza nominale (kW)	Rendimenti motori a 2 poli (%)	Rendimenti motori a 4 poli (%)
5,5	88,6	89,2
7,5	89,5	90,1
11	90,5	91,0
15	91,3	91,8
18,5	91,8	92,2
22	92,2	92,6
30	92,9	93,2
37	93,3	93,6
45	93,7	93,9
55	94,0	94,2
75	94,6	94,7
90	95	95,0

La manutenzione dei motori elettrici ad alta efficienza è analoga a quella dei motori standard.

Campo di applicabilità e di convenienza

Circa il 74% di tutti i consumi industriali di elettricità sono dovuti ai motori elettrici, pertanto interventi che portano ad incrementare l'efficienza di tali dispositivi producono una ricaduta di risparmio significativa.

Praticamente in tutte le applicazioni ed i processi industriali, nonché nei sistemi di condizionamento e ventilazione e nei circuiti idraulici connessi a ventilatori e pompe, sono presenti motori elettrici che possono essere sostituiti da motori elettrici ad alta efficienza, previa specifica valutazione di convenienza. Questo tipo di analisi deve considerare vari aspetti quali:

- la situazione dei motori elettrici esistenti (in caso di rottura di un motore elettrico è possibile intervenire con specifiche riparazioni – riavvolgimenti - che, pur rimettendo il dispositivo in funzione, comportano una perdita di rendimento che può andare dallo 0,5% al 4%);
- la durata di funzionamento;
- il coefficiente di carico (ovvero la percentuale rispetto al pieno carico alla quale lavora il motore);
- il costo di un motore elettrico ad alta efficienza, il costo di un motore elettrico tradizionale e i costi di riparazione.

La semplice comparazione del costo di acquisto sarebbe fuorviante in quanto, analizzando il costo di un motore elettrico nell'arco della sua intera vita, il costo di acquisto rappresenta meno del 2% mentre la restante parte è rappresentata quasi interamente dal consumo di elettricità (i costi di manutenzione sono infatti poco significativi in quanto i motori elettrici sono dispositivi molto affidabili e "infaticabili"); il "sovrapprezzo" legato alla scelta di un motore elettrico ad alta efficienza viene quindi coperto nel tempo dal risparmio di energia elettrica che questo dispositivo consente di ottenere. Il tempo necessario a rientrare dell'investimento dipende dal valore dell'investimento fatto e dall'entità del risparmio energetico prodotto (valore direttamente collegato alla potenza del macchinario, alla sua efficienza e alle ore di utilizzo). In **Tab.2** sono riportate le formule per calcolare lo specifico tempo di rientro dell'investimento per l'installazione di un motore elettrico ad alta efficienza nei vari casi possibili.

L'adozione dei sistemi di controllo della frequenza (inverter) consente di ridurre in modo considerevole il consumo energetico soprattutto nel campo delle frequenze elevate. Le applicazioni più convenienti interessano ventilatori e pompe, dove è possibile realizzare risparmi energetici dell'ordine del 35%. Le applicazioni su compressori, nastri trasportatori e altri dispositivi interessati da variazioni di carico offrono entità di risparmio inferiori, del 17% circa.

**Tab.2 – Installazione di un motore elettrico ad alta efficienza:
formule di valutazione del tempo di rientro dell'investimento**

Situazione specifica	Formula per il calcolo del tempo di rientro dell'investimento	Significato dei termini
Sostituzione di un motore elettrico tradizionale in caso di rottura	$T = \frac{(C_{hem} - C_{riav})}{\left(P \cdot Cc \cdot h \cdot c \cdot \left(\frac{1}{eff_{std}} - \frac{1}{eff_{hem}} \right) \right)}$	<p>T = tempo di rientro dell'investimento</p> <p>C_{hem} = costo motore alta eff. (€)</p> <p>C_{std} = costo motore standard (€)</p> <p>C_{riav} = costo del riavvolgimento (€)</p>
Sostituzione di un motore elettrico tradizionale funzionante	$T = \frac{(C_{hem})}{\left(P \cdot Cc \cdot h \cdot c \cdot \left(\frac{1}{eff_{std}} - \frac{1}{eff_{hem}} \right) \right)}$	<p>Cc = coeff. di carico</p> <p>h = durata di funzionamento (ore/anno)</p> <p>c = costo dell'energia elettrica (€/kWh)</p>
Acquisto di un nuovo motore	$T = \frac{(C_{hem} - C_{std})}{\left(P \cdot Cc \cdot h \cdot c \cdot \left(\frac{1}{eff_{std}} - \frac{1}{eff_{hem}} \right) \right)}$	<p>eff_{std} = rendimento nominale motore standard</p> <p>eff_{hem} = rendimento nominale motore alta efficienza</p> <p>eff_{riav} = perdita rendimento per riavvolgimento</p>

Pur ribadendo la necessità di procedere a valutazioni accurate di fattibilità dell'investimento, mediante i calcoli precedentemente evidenziati, possono essere fornite le seguenti utili indicazioni di massima:

- per motori di piccola taglia (sotto i 10 kW) sono sufficienti poche migliaia di ore di funzionamento per rendere conveniente la sostituzione di un motore standard fuori uso con un nuovo motore elettrico ad alta efficienza rispetto alla riparazione del motore standard. Il numero di ore di funzionamento oltre il quale si realizzano condizioni di convenienza aumenta all'aumentare della potenza del motore;
- in molte realtà i motori di piccola potenza possono essere convenientemente sostituiti con motori ad alta efficienza prima di aspettare che arrivino a rottura.

Queste considerazioni non tengono conto di altri possibili vantaggi economici realizzabili mediante l'installazione di motori elettrici ad alta efficienza (es. forme di incentivo fiscale o altro) ma considerano solo il risparmio energetico ottenibile (in **Tab.3** sono riportati alcuni valori indicativi di risparmio energetico prodotto in funzione della potenza del motore e delle ore di funzionamento).

Tab.3 – Valori di risparmio energetico ottenibili con utilizzo di motori elettrici ad alta efficienza in sostituzione di un motore standard (assunzioni per i calcoli: coeff. di carico pari a 0,75; rendimenti dei motori ad alta efficienza pari a quelli minimi dei motori di classe eff1)

potenza kW	efficienza motore standard	risparmi in Tep/anno			risparmi in kWh/anno			risparmi in €/anno		
		ore annue di funzionamento del motore			ore annue di funzionamento del motore			ore annue di funzionamento del motore		
		2000	4000	7680	2000	4000	7680	2000	4000	7680
1,1	74,2%	0,06	0,11	0,22	255,00	509,00	978,00	45,90	91,62	176,04
1,5	76,5%	0,06	0,13	0,25	294,00	588,00	1129,00	52,92	105,84	203,22
2,2	79,0%	0,08	0,16	0,30	358,00	716,00	1374,00	64,44	128,88	247,32
3	80,6%	0,10	0,19	0,37	434,00	869,00	1668,00	78,12	156,42	300,24
4	82,2%	0,11	0,22	0,43	504,00	1009,00	1936,00	90,72	181,62	348,48
5,5	83,7%	0,13	0,27	0,51	608,00	1216,00	2334,00	109,44	218,88	420,12
7,5	85,0%	0,16	0,33	0,63	749,00	1498,00	2877,00	134,82	269,64	517,86
11	86,9%	0,19	0,38	0,72	855,00	1711,00	3285,00	153,90	307,98	591,30
15	87,9%	0,24	0,48	0,92	1087,00	2175,00	4176,00	195,66	391,50	751,68
18,5	88,5%	0,28	0,55	1,06	1258,00	2517,00	4832,00	226,44	453,06	869,76
22	89,0%	0,32	0,63	1,22	1442,00	2883,00	5535,00	259,56	518,94	996,30
30	90,3%	0,34	0,68	1,31	1551,00	3101,00	5954,00	279,18	558,18	1071,72
37	90,9%	0,39	0,77	1,49	1761,00	3522,00	6763,00	316,98	633,96	1217,34
45	91,4%	0,43	0,87	1,66	1966,00	3932,00	7550,00	353,88	707,76	1359,00
55	92,0%	0,46	0,92	1,77	2094,00	4189,00	8042,00	376,92	754,02	1447,56
75	92,6%	0,59	1,19	2,28	2694,00	5388,00	10345,00	484,92	969,84	1862,10
90	92,9%	0,71	1,41	2,71	3212,00	6425,00	12335,00	578,16	1156,50	2220,30

1 Tep = 4545,455 kWh

1 kWh = $0,22 \times 10^{-3}$ Tep

costo energia elettrica assunto pari a 0,18 €/kWh

Considerazioni ambientali

Le apparecchiature descritte, portando ad una riduzione dei consumi di energia elettrica, determinano ricadute ambientali positive in termini di contenimento delle emissioni di gas serra e di riduzione del consumo di fonti non rinnovabili ascrivibili alle centrali termoelettriche che alimentano la rete.

Fonti

- *“I motori elettrici ad alta efficienza”*, Sigfrido Vignati e Ennio Ferrero, ENEA; articolo pubblicato su Gestione Energia n°4/2002.
- *“Trasmissioni con cinghie – Come risparmiare energia elettrica”*, Sigfrido Vignati, ENEA; articolo pubblicato su Gestione Energia n°2/2006.
- *“Risparmiare energia elettrica per essere più competitivi. Il programma Motor Challenge”*, Giampaolo Valentini e Sigfrido Vignati, ENEA; opuscolo realizzato nell’ambito del progetto “Dissemination, Extension, Application of Motor Challenge Program”, giugno 2006.
- *“Motori elettrici e variatori di velocità ad alta efficienza”*, ENEA, marzo 2007.
- *“Motori ad alta efficienza e controllo a velocità variabile”*, FIRE – Federazione Italiana per l’uso Razionale dell’Energia, www.fire-italia.it