

I variatori elettronici di velocità. Aspetti tecnici ed economici

Sigfrido Vignati, ENEA ACS Prot Ris

Introduzione

La finanziaria 2007 ha incentivato diverse iniziative atte a favorire il risparmio energetico e tra queste vogliamo evidenziare quella relativa ai variatori di velocità (inverter), riconoscendo a questi componenti un ruolo importante per il contenimento dei consumi di energia elettrica. Questa offerta ci sembra un'opportunità da cogliere immediatamente in quanto si potrebbe approfittare del contributo, offerto sotto forma di sgravio fiscale, per sfruttare gli interessanti vantaggi in termini di risparmio energetico ed economico derivanti dall'applicazione degli inverter.

Un'indagine della Commissione Europea afferma (*vedi tabella 1*) che sei pompe su dieci, presenti nei nostri impianti, potrebbero essere azionate con inverter ottenendo, un risparmio medio di energia elettrica di circa il 35%. La stessa cosa si può dire per i ventilatori mentre valori minori, ma

sempre interessanti, di applicabilità e di risparmio si possono avere per i compressori di aria o per quelli frigoriferi. Infine rimane un'ampia varietà di possibili apparecchi su cui può essere applicato l'inverter quali trasportatori, sollevatori, ecc. che vanno di volta in volta esaminati, ma che crediamo di poter inserire anch'essi nella lista degli interventi

« L'utilizzo di un variatore di frequenza può essere un'ottima soluzione per variare la velocità di una macchina operatrice e risparmiare energia elettrica »

vantaggiosi. Ad ogni modo il messaggio è chiaro: ci sono, nelle aziende, molte situazioni in cui si può e si deve intervenire. Crediamo, quindi, di fare cosa gradita ai lettori nell'espone, in questo articolo, i principi generali alla base dell'applicazione degli inverter, gli

aspetti tecnici ed economici ad essi collegati al fine di mettere in grado ogni tecnico di effettuare autonomamente un'analisi costi benefici rimandando invece a riviste specializzate gli aspetti legati all'elettronica del componente ed un approfondimento della sua interfaccia con il sistema elettrico circostante.

I variatori elettronici di velocità. Principi base

La velocità di rotazione (n) dei motori elettrici asincroni trifasi (in seguito chiamati motori elettrici) dipende dalla frequenza della tensione di alimentazione (f) e dal numero di poli (p) secondo la seguente relazione:

$$n = \frac{2 * 60 * f}{p}$$

Se si considera che la frequenza di rete ha un valore costante e pari a 50Hz, una volta stabilito il numero di poli la velocità di un motore elettrico è fissata e diventa una sua caratteristica.

Per la verità un motore elettrico asincrono non raggiungerà mai la velocità sopra riportata (velocità di sincronismo), ma un valore vicino in funzione del carico applicato.

Tutto questo però va bene, finché la macchina operatrice azionata dal motore elettrico necessita di una velocità di rotazione costante, nel qual caso il progettista sceglie il motore, in base alle sue caratteristiche tecniche tra le quali il numero di poli definiscono così anche la velocità.

Tuttavia ci sono molte applicazioni che richiedono che la macchina operatrice possa variare la velocità di rotazione per rispondere alle esigenze del processo produttivo. Si pensi, per esempio, al caso in cui occorre modificare la portata di un fluido, rallentare lo spostamento di un carico, diminuire la velocità di trasporto di un certo materiale.

In questi casi, non potendo adeguare la velocità del motore e di conseguenza quella della macchina alle diverse esigenze in quanto, come detto, è fissa, per ottenere l'effetto voluto vengono utilizzati altri sistemi come quelli di introdurre perdite di carico per variare, ad esempio, la portata di un fluido oppure il riciclo del materiale per modificare la quantità trasportata. Sono tutti sistemi che permettono di raggiungere lo scopo voluto, ma sono fonte di spreco di energia elettrica. La soluzione migliore sarebbe quella di

Tabella 1. Tasso di applicabilità e risparmio potenziale ottenibile con i variatori di velocità

Applicazione	Applicabilità (%)	Risparmio Medio (%)
Pompe	60	35
Ventilatori	60	35
Compressori d'aria	30	15
Compressori frigoriferi	40	15
Trasportatori	60	15
Altro	60	15

Fonte: European Commission. Improving the penetration of Energy-Efficient motors and drives

variare la velocità della macchina adeguandola alle esigenze volute agendo sulla velocità del motore elettrico che la aziona. Questo è possibile in vari modi quali per esempio, utilizzando motori a doppia velocità, modificando il rapporto di trasmissione tra motore e macchina oppure variando, tramite un inverter, la frequenza della tensione di alimentazione del motore elettrico che aziona la macchina. Tra tutti i metodi citati, noi esamineremo l'ultimo in quanto più valido per diverse ragioni che andremo ad esporre.

Prima di parlare di inverter e delle loro applicazioni vogliamo spendere due parole sul perché diminuire la velocità di un motore elettrico e della macchina ad esso collegata porta ad una diminuzione dei consumi elettrici e in che misura. Se non si afferra questo, non si riesce neanche a capire l'importanza di un variatore di frequenza ai fini del risparmio energetico e quindi valutarne la sua utilità.

La potenza utile erogata da un motore elettrico è data dal prodotto della coppia resistente (M in Nm) ad esso applicata per la velocità di rotazione (ω in rad/s), ovvero:

$$P = M \cdot \omega \quad (W) \quad (2)$$

Se si esprime la velocità di rotazione (n) in giri/min la (2) diventa:

$$P = (M \cdot n) / 9,55 \quad (W) \quad (3)$$

Dalla (2) e dalla (3) si evince subito che la potenza utile e quindi quella assorbita da parte di un motore dipendono dalla coppia applicata e dalla velocità di rotazione. In particolare ne deriva che se si riduce la velocità di rotazione la potenza varia in dipendenza di come varia la coppia applicata.

Nella pratica, la coppia può avere diversi andamenti al variare della velocità di rotazione in funzione del tipo di macchina che si considera. I casi che ci interessano principalmente sono due:

- coppia costante
- coppia quadratica

Se la coppia è costante la potenza

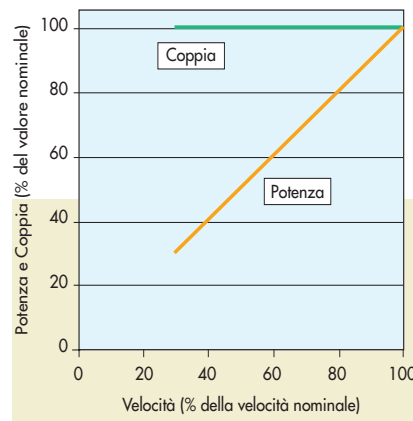


Figura 1. Coppia costante

decrece linearmente al diminuire del numero di giri. Si avrà un andamento come nel grafico in figura 1. La coppia costante è presente in applicazioni quali nastri trasportati, compressori a vite, compressori alternativi, agitatori.

Se la coppia decresce con legge quadratica la potenza varia con il cubo della velocità come riportato nel grafico di figura 2. La coppia quadratica è presente nelle applicazioni quali pompe centrifughe e ventilatori. In entrambi i casi, coppia costante e coppia quadratica, ci saranno vantaggi energetici, ma nel secondo sono molto più consistenti in quanto se si diminuisce, per esempio, il numero dei giri del 20% si ottiene una diminuzione della potenza utile di circa il 50%. In pratica si dimezzano i consumi.

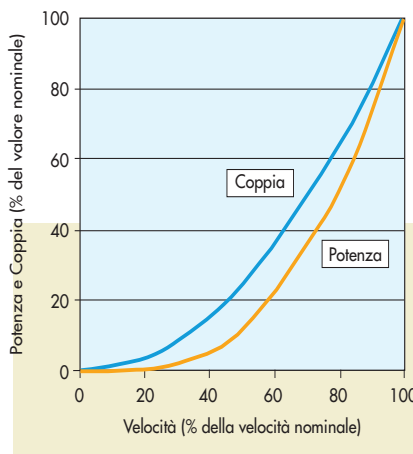


Figura 2. Coppia quadratica

I variatori applicati alle pompe

Dunque i componenti che possono meglio sfruttare i vantaggi energetici dei variatori di frequenza sono quelli che hanno una coppia resistente che varia con legge quadratica al variare della velocità e tra questi sottolineiamo i ventilatori e le pompe centrifughe.

Per questo motivo esaminiamo ora i vantaggi energetici derivanti dall'applicazione di un variatore di frequenza ad una pompa centrifuga per acqua potabile, ma il metodo può essere applicato a qualsiasi altra pompa di processo o ventilatore.

È noto che una pompa dell'acqua potabile deve erogare una portata variabile nel tempo per soddisfare le diverse richieste della popolazione che mutano dal periodo all'altro nell'anno ed anche nell'ambito dello stesso periodo, per esempio tra il giorno e la notte.

Per questo motivo il progettista sceglie la pompa in corrispondenza del valore di portata massima, individuando quella più adatta per quella condizione operativa e per la quale avrà il rendimento massimo.

Nella realtà però, come accennato, la pompa funzionerà solo per un certo tempo alla portata massima, mentre per il resto dovrà erogare una portata inferiore.

Per fare fronte alle diverse condizioni operative e ottenere che la pompa possa dare la portata voluta si usa, nella pratica, una valvola di regolazione sulla mandata che, opportunamente azionata introduce una perdita di carico aggiuntiva portando la pompa ad erogare la portata voluta. In pratica quello che accade è chiaro dal grafico di figura 1.

In esso è rappresentata la curva (a) caratteristica della pompa e la curva (b) caratteristica dell'impianto. Il punto di incontro (C) delle due curve è il punto di lavoro della pompa a valvola tutta aperta ovvero quando la portata è massima e il rendimento è vicino al valore massimo. La potenza assorbita

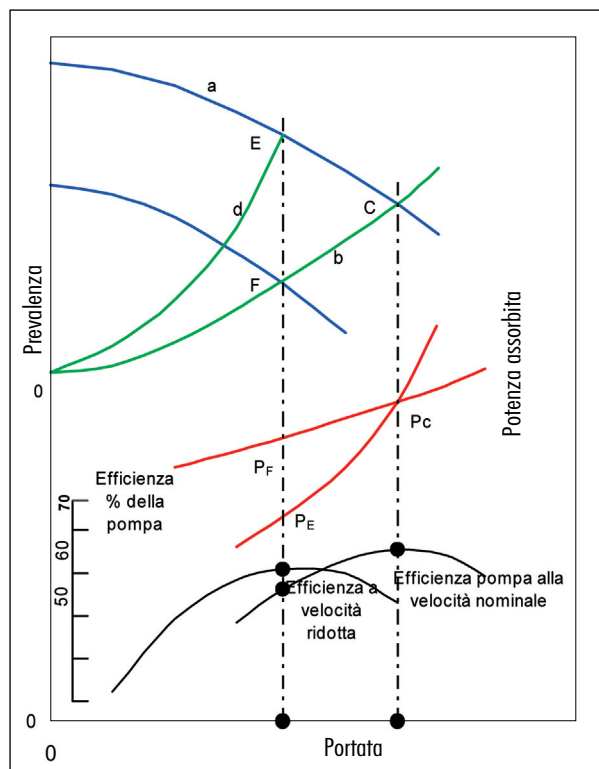


Figura 3. Curve caratteristiche della pompa e dell'impianto

è proporzionale al prodotto della portata per la prevalenza ed è rappresentata dal punto P_C . Se è necessario diminuire la portata della pompa del 20%, si agisce, come accennato, su una valvola di regolazione appositamente prevista. Questa operazione ha lo scopo di incrementare le perdite di carico del circuito e quindi modificare la curva caratteristica dell'impianto che sarà la (d) e il nuovo punto di

sponde al valore di portata voluto, ma con una prevalenza molto minore di quella corrispondente al punto (E). Quindi non si avrebbe la perdita rappresentata dal tratto di prevalenza EF che corrisponde dal punto di vista energetico ad un spreco di energia. La potenza, in questo caso, sarebbe molto minore rispetto al caso precedente e pari al valore rappresentato da P_E .

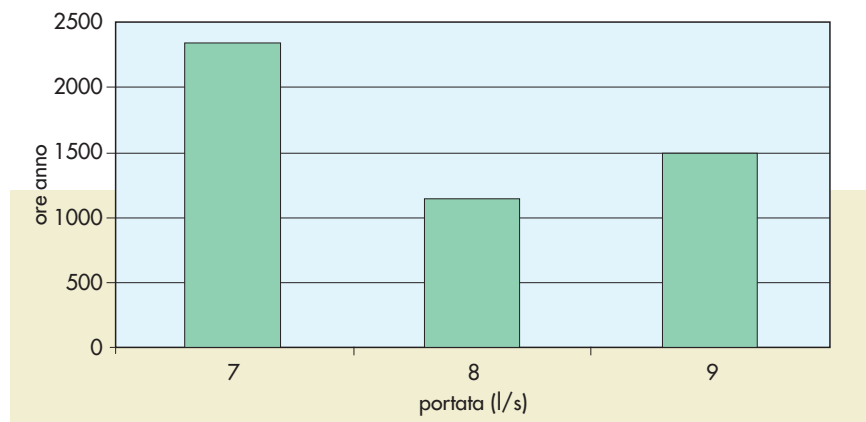


Figura 4. Variazione della portata in funzione del numero di ore

lavoro della pompa si sposterà in E. Si otterrà così il valore della portata voluto. La potenza assorbita dalla pompa in questa situazione sarà solo di poco inferiore a quella corrispondente all'erogazione del 100% della portata ed è rappresentata dal punto P_F . Se invece variassimo la velocità della pompa agendo sulla velocità del motore si potrebbe ottenere lo stesso risultato con un forte risparmio energetico. In pratica è come se si modificasse la caratteristica della pompa scegliendo proprio quella passante per il punto (F) che corri-

Un esempio reale

Esaminiamo ora un esempio reale. Supponiamo di avere una pompa per acqua potabile azionata da un motore della potenza nominale di 22 kW. I dati della pompa sono i seguenti:

Tipo	centrifughe ad asse verticale
Portata nominale	9 l/s
Prevalenza totale	150 m
Prevalenza statica	70 m
Rendimento	71,3 %
Potenza richiesta	18,7 kW
Ore di lavoro annuo	4974 h/a

La portata della pompa varia nell'arco dell'anno secondo quanto riportato sul grafico di figura 4.

I dati riferiti alle diverse portate sono riportati nella tabella 3. In particolare nella tabella sono riportate per ogni regime di portata, la potenza richiesta dalla pompa, le ore di funzionamento a quella portata e l'energia elettrica consumata nella situazione in cui la portata sia variata tramite una valvola di regolazione. Supponiamo ora di utilizzare un inverter che ci permette di ottenere le differenti portate variando la velocità del motore e quindi della pompa. Il riepilogo dei dati è riportato nella tabella 4. Il risparmio energetico che si otterrà sia in termini elettrici che economici dopo l'introduzione dell'inverter è riportato nella tabella 5. Nel calcolo del risparmio energetico sono stati considerati due aspetti importanti che incidono sulla sua entità e non vanno trascurati se si vuole fare una valutazione dell'intervento rigorosa e soprattutto non approssimata per eccesso. Ci riferiamo al:

- rendimento dell'inverter che, in via cautelativa, è stato considerato pari al 96%,
- rendimento del motore elettrico che, quando funziona ad un numero di giri inferiore a quello nominale, subisce un decremento.

Tabella 3. Dati funzionamento della pompa

Portata	Potenza richiesta	Potenza nominale	Ore funzionamento	η	Energia elettrica
l/s	kW	kW	h/a	%	kWh
7	17,8	22	2345	82,0%	50.904
8	18,2	22	1143	82,0%	25.369
9	18,7	22	1486	82,0%	33.888
					110.161
			4974		

Tabella 4. Dati caratteristici della pompa in funzione della diversa frequenza della tensione di alimentazione

	l/s	7,0	8,0	9,0
frequenza	Hz	42,8	46,2	50,0
velocità	g/m	2.480	2.680	2.900
prevalenza	m	120,0	130,0	150,0
potenza pompa	kW	11,0	14,0	18,7
rendimento motore	%	79,0	80,0	82,0
potenza assorbita dal motore	kW	13,9	17,5	22,8
rendimento inverter	%	96,0	96,0	96,0
energia elettrica consumata	kWh/a	34.012,39	20.835,94	35.300,05
totale consumo energia elettrica				90.148

Tabella 5. Riepilogo consumi di energia elettrica prima e dopo l'introduzione dell'inverter

Energia elettrica consumata prima dell'intervento	kWh/a	110.161
Energia elettrica consumata dopo dell'intervento	kWh/a	90.148
Risparmio energetico annuo	kWh/a	20.012
Risparmio energetico	%	18,2
Costo energia elettrica	€/kWh	0,11
Risparmio economico	€/anno	2.201
Risparmio energetico in energia primaria (2.200 kcal/kWh)	tep/a	4,40

Aspetti economici

Il riepilogo dei dati economici è riportato in *tabella 6*. In prima battuta è stato valutato il tempo di ritorno dell'investimento senza alcun tipo di incentivo. Esso risulta essere pari a circa due anni.

L'investimento considerato corrisponde ad un variatore di velocità della potenza di 30 kW.

La scelta di una potenza maggiore di quella corrispondente al motore della pompa è dettata dalla necessità di tenere conto della potenza assorbita dal motore che anche se di poco

è superiore a 22kW e quindi comporta che la scelta della potenza del variatore ricada su una potenza maggiore.

Inoltre i variatori di velocità fanno parte di quei componenti presi in considerazione dai decreti sull'efficienza energetica e rientrano così nel meccanismo dei titoli di efficienza energetica (TEE) o certificati bianchi. Quindi, anche se non direttamente, ma attraverso un distributore od una ESCO, un'azienda può usufruire di un beneficio economico derivante dai TEE a fronte dell'intervento fatto. Si può così aggiungere al flusso di cassa dovuto al risparmio di energia elettrica anche quello derivante dai certificati bianchi avendo considerato, in via ipotetica, che il ritorno per l'azienda sia di 50 €/tep.

Il tempo di ritorno si riduce a meno di due anni.

Nel descrivere questo aspetto per motivi di spazio siamo stati volutamente approssimativi, rimandando, per un approfondimento della tematica, a specifici articoli.

Consideriamo ora quale può essere il tempo di ritorno dell'investimento se si considerano gli attuali incentivi disponibili a livello nazionale. Come accennato all'inizio dell'articolo, per tutto il 2007 gli inverter possono godere degli incentivi previsti dalla finanziaria 2007 che consistono in una detrazione dall'imposta pari al 20% del loro costo di acquisto e di installazione. In pratica però il decreto applicativo che riguarda gli inverter, emesso a fine febbraio 2007, definisce quale spesa detraibile la minore tra, il 20% del costo di acquisto del componente e un tetto di spesa massimo differente per ogni classe di potenza e stabilisce un "bonus" per l'installazione. Nel nostro caso, per quanto riguarda il costo, ci si è riferiti al tetto massimo ammissibile in quanto minore. In questo caso il tempo di ritorno è di circa un anno e mezzo.

I risultati di quanto sopra esposto sono riassunti nella *tabella 6*.

Tabella 6. Analisi costi benefici

Costo variatore di velocità	€	4.000
Installazione	€	600
Totale investimento	€	4.600
Tempo di ritorno	anni	2,09
Contributo TEE	€	220,14
Tempo di ritorno con TEE	anni	1,90
Tetto spesa massimo definito dal decreto Fin. 2007	€	3400
Bonus previsto dal defreto Fin. 2007 per installazione	€	300
Detrazione finanziaria costo acquisto	€	680
Detrazione finanziaria costo installazione	€	60
Totale detrazione finanziaria 2007	€	740
% investimento		16%
Tempo di ritorno con finanziamenti	anni	1,60

Conclusioni

Dopo quanto detto ci sembra di poter concludere che utilizzare un variatore di frequenza è un'ottima soluzione per variare la velocità di una macchina operatrice e risparmiare energia elettrica. I

vantaggi dell'utilizzo di un variatore di frequenza vanno però oltre quelli energetici dovuti alla regolazione della velocità del motore, essi riguardano anche alcuni aspetti elettrici non meno importanti, quali la funzione di softstart e l'innalzamento del fattore di potenza con

risvolti sulle perdite della rete interna dello stabilimento e sull'entità della potenza di rifasamento ed i relativi costi di investimento. Oggi questo componente è incentivato dalla finanziaria 2007 attraverso sgravi fiscali che sommati ai benefici provenienti dai titoli di efficienza energetica possono portare a ridurre fortemente l'investimento da effettuare ed i relativi tempi di ritorno. Anche a livello europeo Motor Challenge (<http://motorchallenge.casaccia.enea.it/>), il programma che aiuta le aziende a risparmiare energia elettrica, considera l'inverter uno tra gli interventi più convenienti da realizzare negli azionamenti elettrici per ridurre i costi aziendali e migliorare la competitività. Ci sembra quindi di poter concludere che ogni azienda, sulla base di quanto riportato in questo articolo, dovrebbe effettuare un inventario delle possibili macchine azionabili con inverter e che ne sono ancora sprovviste e per ognuna effettuare un'analisi costi benefici così come sopra descritta. Quelli che lo faranno non rimarranno delusi. ■

Questo articolo è stato realizzato con il supporto di

Intelligent Energy  Europe