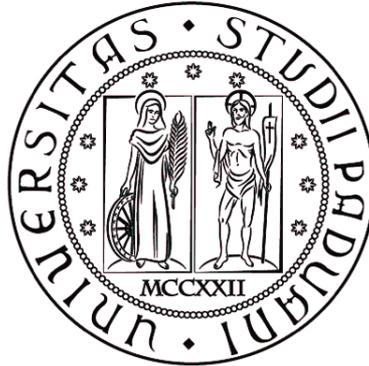


UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA
FACOLTA' DI INGEGNERIA



Dipartimento di Ingegneria Elettrica
Corso di Laurea Triennale in Ingegneria Elettrotecnica

Elaborato Finale

**AZIONI DI RISPARMIO ENERGETICO
PER UNA LINEA LUCIDATRICE
DI LASTRE DI MARMO**

Relatore
Ch.mo Prof. Giuseppe Buja

Laureando
Manuel Siciliano

Correlatore
Luciano Donà
Breton S.p.A.

ANNO ACCADEMICO 2009/2010

INDICE

1. Introduzione	Pag 5
2. Presentazione Aziendale	Pag 6
3. Presentazione macchina	Pag 7
-3.1 Caratteristiche tecniche Levibreton KFG 3000	Pag 19
4. Il risparmio energetico nel settore Industriale	Pag 20
-4.1 Accenno alla normativa	Pag 20
-4.2 Principali consumi elettrici nel settore industriale	Pag 25
-4.3 Direttiva Europea sulla Compatibilità Elettromagnetica	Pag 28
5. Il rifasamento	Pag 39
-5.1 Principi di rifasamento Levibreton KFG 3000	Pag 39
-5.2 Generalità rifasamento	Pag 40
-5.3 Il problema delle armoniche nel rifasamento	Pag 57
6. Applicazioni di azionamenti per macchine utensili	Pag 63
7. Motori ad elevata efficienza energetica	Pag 69
-7.1 Classificazione dei motori efficienti	Pag 70
-7.2 Scelte dell'Energy manager	Pag 75
-7.3 Strumenti di valutazione e diagnosi	Pag 82
8. Valutazione benefici economici con l'impiego di motori EFF1 nella Levibreton KFG 3000	Pag 86
-8.1 Sostituzione motore convenzionale in caso di rottura con motore EFF1	Pag 95
-8.2 Sostituzione motore convenzionale funzionante con motore EFF1	Pag 98
-8.3 Acquisto nuovo motore ad alta efficienza EFF1	Pag 100
9. Recupero di energia in rete con l'uso dell'invertitore	Pag 103
-9.1 Rigenerazione in frenata	Pag 107
10. Valutazione benefici economici con recupero di energia dell'invertitore nella KFG 3000	Pag 110
-10.1 Costi dell'installazione motore EFF1+invertitori	Pag 114
-10.2 Considerazioni sulla scelta di installazione motori EFF1+invertitore a recupero	Pag 116
11. Conclusioni	Pag 117
APPENDICE A : Rifasamento distribuito	Pag 118
APPENDICE B : Rifasamento parziale	Pag 119
APPENDICE C : Rifasamento centralizzato a potenza costante	Pag 120
APPENDICE D : Rifasamento centralizzato automatico	Pag 121
APPENDICE E : Rifasamento misto	Pag 122
APPENDICE F : Esempio di risparmio annuo di energia con l'uso di motore EFF1 ed EFF2	Pag 123
Ringraziamenti	Pag 124
Bibliografia	Pag 125

1. INTRODUZIONE

La tesi dell'attività di tirocinio svolta presso l'azienda Breton s.p.a. ha avuto come scopo lo studio e l'analisi dei consumi energetici messi in gioco dalle linee ad alta produzione operanti su lastre di marmo.

In particolare l'attenzione si è focalizzata sulla Levibreton KFG 3000, macchina lucidatrice di lastre di marmo della quale si è preso in considerazione il complesso delle macchine utensili operanti in essa.

L'analisi dei consumi energetici dei motori elettrici è strutturata in modo tale da poter essere effettuata per tutte le linee produttive operanti con macchine utensili come la Levibreton KFG 3000.

Le azioni di risparmio energetico ricercate per questa tipologia di prodotti aziendali sono il rifasamento dell'impianto (inteso come rifasamento automatico centralizzato), l'impiego di motori ad elevata efficienza e l'eventuale possibilità di recupero di energia in rete derivante dalla frenata di parti meccaniche della macchina stessa.

La valutazione dei benefici economici riguarda:

- il risparmio energetico in termini economici derivante dall'impiego di motori ad alta efficienza;
- il risparmio energetico in termini economici derivante dal recupero di energia in rete attraverso l'invertitore nella fase di frenata della trave di sostegno dei mandrini leviganti.

Per il primo caso, considerando ciascun motore che aziona una macchina utensile (nella Levibreton KFG 3000 sono tutti motori sincroni a 4 poli), nota la Potenza nominale, il fattore di carico, le ore di funzionamento annue ed il rendimento, si calcola il tempo di ritorno dell'investimento detto anche payback che deve essere compatibile con quello aziendale e successivamente l'effettivo risparmio economico annuo di energia di tutta la linea di produzione.

Nel secondo caso si stima il risparmio energetico-economico attraverso l'uso di un invertitore a recupero in rete in fase di frenata della trave; questa stima è effettuata attraverso un test della durata di 6 ore che rileva l'accumulo di energia attraverso un wattmetro esterno installato a monte della sistema invertitore-motori-trave. Anche qui si valuta il payback relativi vantaggi/svantaggi.

Infine vengono fatte delle considerazioni sulla 'combinazione' di queste due soluzioni ai fini di rendere l'impianto il più efficiente possibile dal punto di vista energetico.

2. PRESENTAZIONE AZIENDALE

L'azienda opera nei seguenti settori industriali:

Aerospaziale , Difesa , Aeronautico , Automobilistico , Navale , Corse , Ingranaggi , Energia , stampi , Modellazione e Prototipazione automobilistica e navale , Industria manifatturiera in genere.

Breton detiene l'esclusiva della tecnologia "Metalquartz" applicata al settore dei centri di lavoro ad alta velocità, grazie alla quale le performance di lavorazione vengono sensibilmente aumentate.

La gamma dei centri di lavoro Breton è concepita per lavorare i seguenti materiali : Alluminio , Acciaio , Titanio, Leghe speciali , Compositi.

3. PRESENTAZIONE MACCHINA

Levibreton KFG 3000

Linea ad alta produzione per la lucidatura di lastre di marmo

Filosofia produttiva

Le linee di lucidatura per marmo Levibreton KFG 3000 rappresentano oggi una risposta valida ed avanzata per le aziende che richiedono altissime produzioni associate a bassi costi di trasformazione.

La Levibreton KFG 3000 sviluppa altissime produzioni anche perché deriva dal progetto della lucidatrice da granito Levibreton KG, della quale riprende la struttura robusta e dimensionata per lavorare il granito.



Fig 3-1 Mandrino

I gruppi leviganti-lucidanti

I gruppi leviganti-lucidanti in fusione di ghisa sono frutto di un nuovo disegno che ha consentito di contenere il peso e di aumentare la rigidità.

Il sistema di sollevamento/abbassamento dei mandrini è perfettamente equilibrato, realizzato con una coppia di pistoni con steli interni protetti.

I manometri per la regolazione della pressione delle singole teste, sono posizionati in corrispondenza ad ogni mandrino sul fronte macchina, sotto i carter di protezione.

Un sistema ingegnoso e semplice assicura il sollevamento/abbassamento delle teste in frazioni di secondo, con sollevamento minimo delle teste consentendo così di lucidarne meglio i bordi e una maggiore velocità di lavoro.



Fig 3-2 Vista superiore mandrini

I piatti portabrasivi

Ogni mandrino è dotato di uno speciale piatto portabrasivi ad alto rendimento, dal diametro di 550 mm, a 9 abrasivi, che assicura elevatissima capacità di asportazione e stabilità di lavoro per una lucidatura perfetta ed uniforme fino ai bordi del materiale.

I speciali piatti sono dotati di un esclusivo sistema di ammortizzatori unidirezionali che assicurano la giusta elasticità e un'omogenea ed ottimale pressione di lavoro.

Ne deriva anche un minor consumo di abrasivi.



Fig 3-3 Piatto a 9 abrasivi

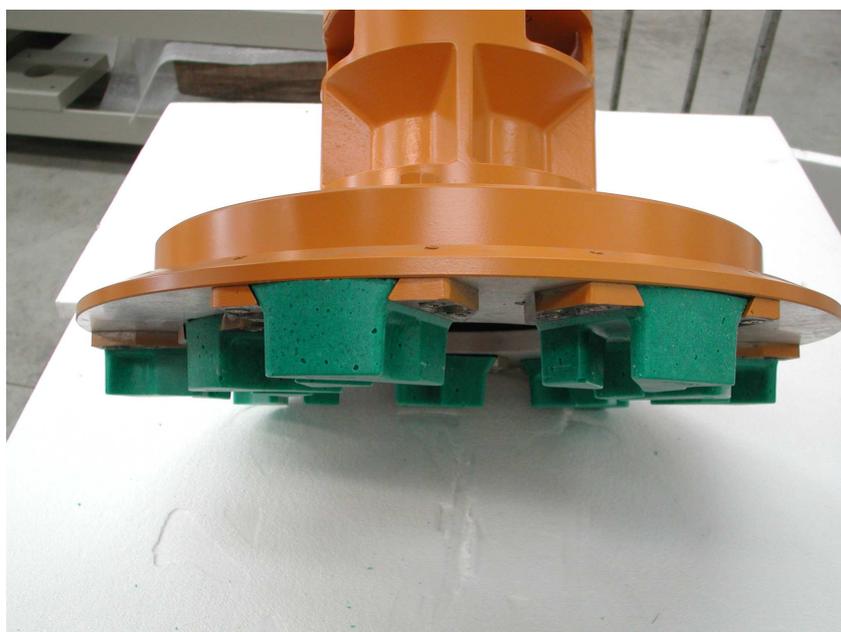


Fig 3-4 Vista fondo piatto mandrino

La trave

La trave è strutturata secondo uno speciale disegno a profilo rettangolare chiuso per contenere il peso e conferire elevata rigidità. Il complesso trave/mandrini risulta così molto dinamico e consente di ottenere rampe di accelerazione/decelerazione rapide e immediate ed elevate velocità effettive di traslazione (fino a 60m/min)



Fig 3-5 Trave macchina

La motorizzazione della trave

Lo spostamento alternativo della trave è comandato da due potenti motoriduttori fissati alle estremità della stessa, sincronizzati meccanicamente e comandati da un unico invertitore. La trasmissione del moto avviene a mezzo di sistema pignone/cremagliera. La velocità di lavoro della trave arriva a 60 m/min



Fig 3-6 Motorizzazione della trave

Il bancale

Il bancale costituisce la struttura portante della macchina, ed è realizzato come un monoblocco in acciaio elettrosaldato indeformabile.

La superficie sulla quale scorre il nastro trasportatore è in acciaio di grosso spessore fresato in una unica soluzione per assicurare la perfetta planarità.



Fig 3-7 Bocca di avanzamento bancale



Fig 3-8 Struttura laterale bancale

Ponti si scorrimento della trave

La trave poggia su due spalle scorrevoli lungo robusti ponti in fusione di ghisa, nei quali sono alloggiati piste di scorrimento temprate e rettificate di grosso spessore con pattini a rulli di grosso diametro in bagno d'olio. Gli scorrimenti sono protetti da carter a labirinto in acciaio inox.



Fig 3-9 Vista laterale ponte di scorrimento

La rilevazione del profilo e dello spessore delle lastre

Un lettore ottico rileva la forma delle lastre, con risoluzione di 10x10 mm, mentre un rilevatore sonar ne rileva lo spessore. Le due apparecchiature lavorano senza alcun contatto con il materiale. Il sistema consente l'intervento automatico delle teste, garantisce l'autoadeguamento della corsa della trave portamandrini alla larghezza delle lastre lavorate, ed il posizionamento automatico delle barriere antispruzzo / fonoassorbenti frontali, in funzione dello spessore delle lastre lavorate.



Fig 3-10 Scanner di rilevazione profilo lastra



Fig 3-11 Controllo rilevazione profilo

Il controllo automatico del consumo degli abrasivi

Il sistema, collegato al PC di gestione ed al sensore sonar per il controllo dello spessore di ogni singola lastra, svolge le seguenti funzioni :

- controllo continuo automatico del consumo di abrasivo di ogni singola testa, con messaggi video e preallarme prima dell'esaurimento completo dell'utensile;
- bloccaggio automatico della discesa delle teste prima che gli utensili vadano a toccare il nastro trasportatore in caso di anomalia e/o casuale rottura di una lastra



Fig 3-12 Gruppo adduzione idrica mandrini

Il sistema idrico

L'adduzione idrica alle teste avviene tramite una tubazione centrale comune in PVC, di grosso diametro, posta superiormente ai mandrini.

L'adduzione dell'acqua dalla tubazione principale alle lastre passa verticalmente in asse all'interno dell'albero del mandrino. Con questo sistema, quando la macchina viene fermata, tutta l'acqua all'interno delle tubazioni defluisce automaticamente per gravità evitando così ogni stagnazione con conseguente formazione di residui solidi all'interno dei condotti.

Un ingegnoso sistema devia l'acqua all'esterno del corpo mandrino in caso di sovralimentazione od otturazione per evitare così che l'acqua in eccesso possa andare a contatto con gli organi interni del corpo mandrino.

Profibus network

- 1 Personal Computer
Personal Computer
- 2 Cavo "Profibus"
"Profibus" cable
- 3-7 Quadri ausiliari
Auxiliary boards
- 8 Modem
Modem

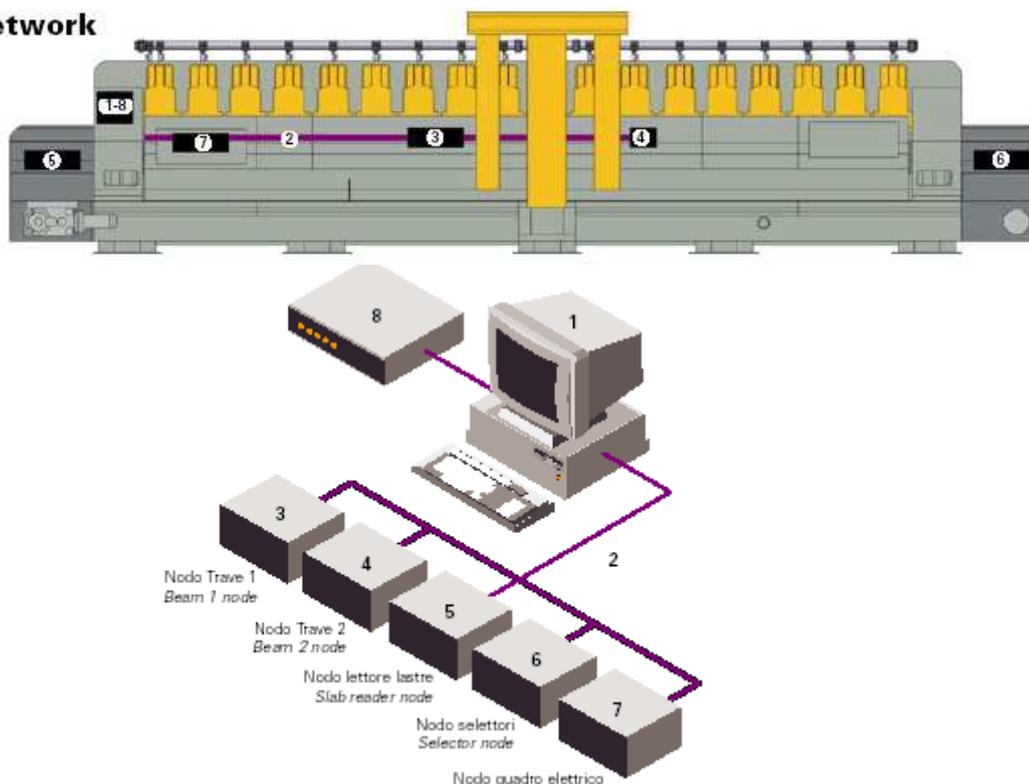


Fig 3-13 L'interfaccia profibus

L'impianto elettrico/elettronico

L'impianto elettrico/elettronico è cablato con la tecnica a "bus di campo". Si tratta di un semplice unico cavo che porta tutti i segnali dal PC alle varie centraline poste a bordo macchina, con trasmissione digitale dei segnali. Con questo sistema la trasmissione dei segnali è sicura e più esente da interferenze, e l'individuazione di eventuali guasti è molto semplificata. Il collegamento elettrico tra la parte fissa della macchina e la trave mobile è realizzato mediante un sistema a guaine parallele, garanzia di sicurezza e di lunga durata dei cavi. Tutte le apparecchiature elettriche/elettroniche compreso il PC a bordo macchina sono di tipo commerciale, di primari produttori mondiali, così da agevolare l'assistenza tecnica e la reperibilità di ricambi praticamente ovunque nel mondo.



Fig 3-14 Collegamento elettrico trave mobile

La lubrificazione automatica centralizzata

Un sistema centralizzato composto da un serbatoio per il grasso, pompa pneumatica, distributori progressivi e tubazioni flessibili provvede alla lubrificazione automatica dei mandrini e dei punti rilevanti delle parti in movimento della macchina.



Fig 3-15 Lubrificazione mandrini e parti mobili

La pulizia delle lastre

Una barriera in gomma in uscita provvede a rimuovere l'acqua dalla superficie delle lastre. Opzionale: un mandrino solidale alla trave a comando pneumatico, dotato di spazzola, provvede alla pulizia delle lastre dopo la lucidatura intervenendo automaticamente al passaggio di ogni lastra. Una barriera in gomma in uscita provvede a rimuovere l'acqua dalla superficie delle lastre.



Fig 3-16 Spazzola di pulizia lastre

Le protezioni

Le Levibreton KFG 3000 sono dotate di pannelli frontali di protezione antinfortunistica, fonoassorbenti scorrevoli lateralmente, realizzati con una struttura sandwich in ABS e poliuretano, robustissima ed inattaccabile da acqua e residui delle lavorazioni. Protezioni paraspruzzi fonoassorbenti con struttura sandwich in acciaio inox e poliuretano sono installate sulla trave davanti alle teste a “livello” della lastra, ed hanno posizionamento verticale motorizzato automatico per adattarsi allo spessore delle lastre e aprirsi per il cambio abrasivo.



Fig 3-17 Pannelli frontali protettivi



Le teste lucidatrici per le diverse esigenze

L'elevata velocità di lavoro consentita dalla struttura delle macchine Levibreton KFG 3000 può richiedere per alcuni tipi di materiali o di lavorazione (es. stuccatura o resinatura) una più elevata capacità di asportazione delle teste operatrici.

Per questo possono essere installati (opzionali) sui primi mandrini leviganti motori più potenti (18 kW) e le teste a rulli diamantati veloci mod. SP-6VP oppure le teste a settori oscillanti mod. SG/6 sono teste molto affidabili grazie ai loro cinematismi interni in bagno d'olio semplici e robusti ed alla intensa sperimentazione.

Fig 3-18 Tipologie di teste lucidatrici

La programmazione

L'interfaccia operatore è semplice ed immediata, realizzata con un PC che opera in ambiente Windows, dotato di touch-screen. Vengono gestite le principali funzioni di lavorazione, fra le quali :

- velocità nastro della macchina e sincronismo di tutta la linea compresi caricatori e rulliere di collegamento;
- correzione dello slittamento all'indietro sul nastro antisdrucchiolo di lastre incurvate mal segate, per la singola lastra o per il pacco lastre;
- movimento trave (velocità, programmazione personalizzata delle rampe di accelerazione e decelerazione);
- controllo continuo automatico del consumo di abrasivo di ogni singola testa, con messaggi video e preallarme prima dell'esaurimento completo dell'utensile;
- possibilità di "escludere" tutte, alcune o una sola lastra in lavoro, oppure anche solo parte di una lastra (testa, coda, angolo) in lavoro.



Fig 3-19 Controllo diagnostico macchina

Telediagnosi

La Levibreton KFG 3000 è dotata di modem per la connessione con l'azienda per la telediagnosi facilitando così una diagnosi a distanza degli eventuali inconvenienti tecnici con conseguente riduzione dei tempi per la loro eliminazione.

Le statistiche

Il PC consente inoltre di raccogliere ed organizzare un insieme di dati statistici sulla produzione e sui consumi, come ad esempio :

- statistiche di produzione su periodi parziali, o per commessa, per turno, progressive, totali (tempo macchina accesa, in lavoro, in allarme, metri quadrati lavorati...);
- statistiche di consumo utensili (per singola testa, metri quadrati prodotti in un dato periodo con l'utensile in lavoro, metri quadrati prodotti con l'ultimo utensile sostituito...);
- diagnostica dello stato macchina, con descrizione a video degli allarmi intervenuti;
- programmazione della manutenzione con allarme in video alla scadenza degli intervalli di manutenzione preventiva;
- archivio immagini delle lastre lavorate (così come rilevate dal lettore ottico in entrata della macchina). La gestione di questi dati con PC rende inoltre queste informazioni facilmente trasferibili ad altri PC di supervisione o controllo. Oppure esportate in files formato .txt, per essere elaborati per mezzo di un qualsiasi software applicativo d'office automation (es. Word, Excel, ecc.).

Codice	Commessa	Inizio	Fine	T.Lav.	M² tot.	M² com.	Lunghezza	Larghezza	Spessore
L_20011025_0000000001.TXT		25/10/01 16.29	25/10/01 16.54	0h 09'	3.2	0.0	201	160	0
L_20011025_0000000002.TXT		25/10/01 16.45	25/10/01 16.54	0h 07'	3.0	0.0	190	160	20
L_20011025_0000000003.TXT		25/10/01 17.24	25/10/01 17.44	0h 17'	2.8	0.0	178	159	21
L_20011025_0000000004.TXT		25/10/01 17.52	25/10/01 18.14	0h 18'	3.0	0.0	188	159	20
L_20011026_0000000005.TXT		26/10/01 08.26	26/10/01 08.33	0h 07'	2.8	0.0	180	160	21
L_20011026_0000000006.TXT		26/10/01 08.42	26/10/01 09.01	0h 19'	3.0	0.0	190	160	22
L_20011026_0000000007.TXT		26/10/01 15.06	26/10/01 15.37	0h 30'	3.0	0.0	189	160	22
L_20011026_0000000008.TXT		26/10/01 16.04	26/10/01 16.20	0h 15'	4.7	0.0	282	188	21
L_20011026_0000000009.TXT		26/10/01 16.40	26/10/01 17.01	0h 19'	5.2	0.0	308	184	22
L_20011029_0000000011.TXT		29/10/01 14.59	29/10/01 15.14	0h 09'	6.0	0.0	340	195	32
L_20011029_0000000012.TXT		29/10/01 15.15	29/10/01 15.34	0h 19'	5.3	0.0	334	170	32
L_20011029_0000000013.TXT		29/10/01 15.54	29/10/01 16.22	0h 16'	5.4	0.0	334	167	31
L_20011029_0000000014.TXT		29/10/01 15.58	29/10/01 16.27	0h 17'	5.4	0.0	335	173	30
L_20011029_0000000015.TXT		29/10/01 17.06	29/10/01 17.44	0h 27'	5.3	0.0	303	187	20
L_20011029_0000000016.TXT		29/10/01 17.12	29/10/01 17.51	0h 30'	5.3	0.0	307	184	23
L_20011030_0000000018.TXT		30/10/01 08.03	30/10/01 08.07	0h 04'	3.9	0.0	221	185	32
L_20011030_0000000019.TXT		30/10/01 08.10	30/10/01 08.32	0h 21'	5.5	0.0	313	189	31
L_20011030_0000000020.TXT		30/10/01 08.17	30/10/01 08.36	0h 19'	5.5	0.0	311	190	31
L_20011030_0000000021.TXT		30/10/01 08.21	30/10/01 08.41	0h 19'	5.5	0.0	315	190	31
L_20011030_0000000021.TXT		30/10/01 08.26	30/10/01 08.45	0h 19'	5.5	0.0	311	191	31

Fig 3-20 Statistiche lastre

Le attrezzature a corredo

Sono disponibili, con gli stessi standard qualitativi della macchina, tutte le attrezzature automatiche di servizio alle Levibreton KFG 3000 per le operazioni di carico, stuccatura manuale o automatica, asciugatura, pulitura, deposizione automatica del film protettivo in polietilene e scarico delle lastre.

Le foto che seguono evidenziano alcune attrezzature, la cui tipologia e dimensionamento variano di volta in volta sulla base delle necessità dell'utilizzatore



Fig 3-21 Caricatore/scaricatore automatico



Fig 3-22 Forno asciugatura prima della stuccatura



Fig 3-23 Macchina stuccatrice automatica



Fig 3-24 Forno indurimento stucco



Fig 3-25 applicatore foglio polietilene protettivo

3.1 Caratteristiche tecniche Levibreton KFG 3000

		KFG3000/011	KFG3000/018
Larghezza massima di passaggio <i>Max. useful width</i>	mm	2.150	2.150
Larghezza max. di lucidatura <i>Max. polishing width</i>	mm	2.100	2.100
Spessore max. lavorabile (con abrasivi alti 60 mm) <i>Max. processable thickness (with 60 mm high abrasives)</i>	mm	110	110
Spessore min. lavorabile <i>Min. processable thickness</i>	mm	10	10
Numero gruppi leviganti e lucidanti <i>Number of honing/polishing units</i>	nr	11	18
Diametro piatti porta-abrasivo <i>Diameter of abrasive holding plates</i>	mm	550	550
Numero abrasivi per piatto <i>Number of abrasives per plate</i>	nr	9	9
Potenza dei mandrini allestiti con piatti porta-abrasivo <i>Power of the spindles with abrasive holding plates</i>	kW	15	15
Potenza spostamento trave <i>Power of the beam travel</i>	kW	2x7.5	2x7.5
Velocità spostamento trave <i>Beam travel speed</i>	m/min	0÷60	0÷60
Potenza trasportatore a nastro <i>Belt conveyor power</i>	kW	3	3
Velocità avanzamento del nastro <i>Belt advancement speed</i>	m/min	0.22÷6.75	0.22÷6.75
Fabbisogno idrico <i>Water requirements</i>	l/min	390	600
Dimensioni d'ingombro: lung./larg./alt. <i>Overall dimensions: length/width/height</i>	mm	10.000x3.900x2.900	13.600x3.900x2.900
Massa della macchina (circa) <i>Mass (weight) (approx.)</i>	kg	24.600	30.400
Livello di pressione sonora <i>Sound pressure level</i>	dbA	82	82

4. IL RISPARMIO ENERGETICO NEL SETTORE INDUSTRIALE

La diminuzione dei consumi

La dipendenza energetica dell'Italia dall'estero è ormai ben nota. Non disponendo in misura significativa di fonti energetiche nazionali, preso atto dell'apporto limitato delle fonti rinnovabili, avendo rinunciato a un programma nucleare, il nostro Paese, per far fronte alla crescente domanda di energia elettrica, è costretto da sempre ad importare quote significative sia di combustibili fossili dalle aree di estrazione sia di energia elettrica dai nostri vicini d'oltralpe, evidenziando la sua vulnerabilità a causa delle perduranti oscillazioni del prezzo del greggio e delle possibili tensioni politiche nei Paesi produttori con le conseguenti difficoltà di approvvigionamento.

Basti pensare che anche negli ultimi anni i consumi elettrici sono ulteriormente aumentati, anche e soprattutto d'estate, con il rischio che, in situazioni particolari o di picco, la domanda superi l'offerta e si rendano inevitabili distacchi programmati del carico.

Inoltre la forte dipendenza della produzione di energia elettrica dai combustibili fossili si riflette negativamente sia sulle emissioni inquinanti, sia sul costo della bolletta: prova ne sia che l'Italia, tra i paesi europei, ha uno dei prezzi più alti dell'energia elettrica per le aziende industriali, le quali si trovano così a dover competere nel mercato globale con le concorrenti estere gravate da un handicap in partenza.

È dunque imperativo, al fine di migliorare la propria competitività, che le imprese cerchino di contenere i costi della bolletta elettrica, riducendo i consumi.

Vari studi, afferenti al Progetto SAVE della Commissione Europea, hanno evidenziato la possibilità di risparmiare sino al 29% dell'energia consumata dagli azionamenti elettrici (il che corrisponde ad un massimo di 16 milioni di tonnellate di CO₂ non immesse in atmosfera, pari a oltre il 17% di quanto l'Italia dovrebbe tagliare per centrare l'obiettivo previsto dal Protocollo di Kyoto), tramite interventi aventi un tempo di ritorno degli investimenti inferiore a tre anni.

Si può in modo sommario porre attenzione sulla legislazione vigente ivi compresa la legge finanziaria 2007 e i relativi decreti attuativi per sfruttare, in ambito industriale, quelle tecnologie che consentono di ottenere interessanti risparmi di energia elettrica e conseguentemente limitano l'emissione di gas serra dannosi per l'ambiente.

4.1 Accenno alla normativa

La legge finanziaria 2007 (riportata qui di seguito per estratto limitatamente ai commi 358, 359 e 360), nell'intento di promuovere il risparmio energetico, dispone incentivi per l'acquisto e l'installazione di motori elettrici ad alta efficienza di potenza compresa tra 5 e 90 kW e per l'installazione di invertitori su impianti di potenza tra 7,5 e 90 kW.

Tali incentivi consistono in una detrazione di imposta pari al 20% di quanto speso, sino ad un massimo di 1500 euro in un'unica rata per ciascun apparecchio. Se si considera che i 2/3 di tutti i consumi elettrici industriali sono dovuti ai motori elettrici, per la maggior parte di efficienza molto bassa, ben si comprende la ragione dell'intervento del legislatore.

La legge finanziaria 2007 e il decreto MSE del 19 febbraio 2007

<p><i>L. 27 dicembre 2006 n. 296 (legge finanziaria 2007). Disposizioni per la formazione del bilancio annuale e pluriennale dello Stato. Art. 1 (estratto).</i></p> <p><i>(S.O.G.U. n. 299 del 27/12/2006)</i></p> <p>Comma 358 (Detrazione spese per acquisto di motori ad elevata efficienza di potenza elettrica)</p> <p><i>Per le spese documentate, sostenute entro il 31 dicembre 2007, per l'acquisto e l'installazione di motori ad elevata efficienza di potenza elettrica, compresa tra 5 e 90 kW, nonché per la sostituzione di motori esistenti con motori ad elevata efficienza di potenza elettrica, compresa tra 5 e 90 kW, spetta una detrazione dall'imposta lorda per una quota pari al 20 per cento degli importi rimasti a carico del contribuente, fino a un valore massimo della detrazione di 1.500 euro per motore, in un'unica rata.</i></p> <p>Comma 359 (Detrazione spese per l'acquisto e l'installazione di variatori di velocità (inverter) su impianti con potenza elettrica)</p> <p><i>Per le spese documentate, sostenute entro il 31 dicembre 2007, per l'acquisto e l'installazione di variatori di velocità (inverter) su impianti con potenza elettrica compresa tra 7,5 e 90 kW spetta una detrazione dall'imposta lorda per una quota pari al 20 per cento degli importi rimasti a carico del contribuente, fino a un valore massimo della detrazione di 1.500 euro per intervento, in un'unica rata.</i></p> <p>Comma 360 (Modalità attuative dei commi 358 e 359)</p> <p><i>Entro il 28 febbraio 2007, con decreto del Ministro dello sviluppo economico, di concerto con il Ministro dell'economia e delle finanze, sono definite le caratteristiche cui devono rispondere i motori ad elevata efficienza e i variatori di velocità (inverter) di cui ai commi 358 e 359, i tetti di spesa massima in funzione della potenza dei motori e dei variatori di velocità (inverter) di cui ai medesimi commi, nonché le modalità per l'applicazione di quanto disposto ai commi 357, 358 e 359 e per la verifica del rispetto delle disposizioni in materia di ritiro delle apparecchiature sostituite.</i></p>
--

In sostanza, è prevista una detrazione di imposta del 20% per l'acquisto e l'installazione di motori elettrici trifasi in bassa tensione ad elevata efficienza con potenza compresa tra 5 e 90 kW, sia nel caso di nuova installazione che per la sostituzione di vecchi apparecchi. Per riqualificare anche i consumi energetici aziendali, la stessa detrazione si ha per l'acquisto e l'installazione di variatori di velocità (o inverter) con potenze da 7,5 a 90 kW.

L'agevolazione

L'agevolazione riguarda l'acquisto e l'installazione o la locazione finanziaria di motori elettrici asincroni trifasi alimentati a 400 V e 50 Hz, a due o quattro poli, che garantiscano un rendimento in linea con i migliori standard italiani e europei e che siano utilizzati in Italia. Il rendimento minimo, a pieno carico e per ciascuna fascia di potenza, deve essere dichiarato dal produttore su un certificato che accompagni la macchina ed è chiaramente riportato in tab 1.

Inoltre la stessa agevolazione è riservata anche ai variatori di velocità (o inverter) applicati ai motori elettrici e basati sul principio di variazione della frequenza e della tensione di alimentazione.

Ammontare dell'incentivo

E' il 20% della spesa totale sostenuta, comprensiva dei costi di acquisto e installazione, che deve essere detratto dall'imposta lorda 2007. Tuttavia il decreto fissa tetti massimi di acquisto per ciascun motore o inverter per ogni fascia di potenza, avendo come riferimento i prezzi di mercato e anche un costo massimo di installazione a forfait (v. tab. 2 e 3). In nessun caso la detrazione potrà superare i 1.500 euro per ciascun apparecchio.

Tabella 1 – Motori ad elevata efficienza. Rendimenti minimi in funzione della potenza nominale.

<i>Potenza nominale (kW)</i>	<i>2 poli</i>	<i>4 poli</i>
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	95,0%	95,0%

Tabella 2 – Motori ad alta efficienza. Tetto di spesa ammissibile in funzione della potenza nominale.

<i>Potenza nominale (kW)</i>	<i>Spesa massima ammissibile per ogni motore (€)</i>		
	<i>Acquisto</i>	<i>Installazione</i>	<i>Totale</i>
5,5	700	100	800
7,5	850	100	950
11	1000	100	1100
15	1200	100	1300
18,5	1500	150	1650
22	1800	150	1950
30	2200	150	2350
37	2600	150	2750
45	3300	200	3500
55	4000	200	4200
75	5300	200	5500
90	6100	200	6300

Tabella 3 – Variatori di velocità. Tetto di spesa ammissibile in funzione della potenza nominale.

<i>Potenza nominale (kW)</i>	<i>Spesa massima ammissibile per ogni variatore (€)</i>		
	<i>Acquisto</i>	<i>Installazione</i>	<i>Totale</i>
7,5	1200	200	1400
11	1450	200	1650
15	1850	200	2050
18,5	2400	300	2700
22	2700	300	3000
30	3400	300	3700
37	3800	400	4200
45	4600	400	5000
55	5300	400	5700
75	6200	500	6700
90	7700	500	8200

L'attenzione è posta sugli incentivi volti a migliorare l'efficienza energetica nel settore industriale, promuovendo l'utilizzo di motori ad alta efficienza e di variatori di velocità.

Tabella 4 – Facsimile scheda riepilogativa sui motori ad alta efficienza installati da inviare all'ENEA.

Foglio ____

Dati Richiedente: Nome Cognome o Ragione Sociale _____

Comune _____ CAP _____ tel _____

Via e numero civico _____

CF o Partita IVA se persona giuridica _____

Tipologia attività utente: (contrassegnare, nelle caselle sottostanti, la categoria di appartenenza)

Industria a un turno di lavoro	Industria a due turni di lavoro	Industria a tre turni di lavoro	Industria stagionale	Impresa artigiana
Grande distribuzione	Edificio pubblico o privato	Ospedale	Utente privato	Altro

Sito di installazione finale dei componenti di cui al presente elenco: _____

Pos	Codice d'identificazione motore ad elevata efficienza	Potenza nominale (kW)	Nuovo acquisto o sostituzione (1)	Spesa acquisto (€) (2)	Spesa installazione (€) (3)	Spesa totale (€)	Spesa detraibile (€) (4)
				A	B	A+B	
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
TOTALE							

Risparmio energetico totale annuo stimato a seguito dell'utilizzo dei componenti sopra riportati:

_____ kWh.

Il sottoscritto _____ in qualità di _____
 attesta sotto la propria responsabilità che i motori ad elevata efficienza di cui alla presente scheda rispondono ai requisiti di cui all'articolo 2 e per essi è in possesso della documentazione tecnica richiesta nell'allegato A, dichiara inoltre che i componenti sostituiti sono stati trattati secondo quanto riportato nell'articolo 9.

Firma _____

(1) scrivere N per nuovo motore, S per motore sostituito; (2) riportare la spesa di acquisto del motore come da articolo 3; (3) riportare la spesa forfetaria di installazione come da articolo 3; (4) riportare la spesa detraibile calcolata come da articolo 3.

Per quanto riguarda i variatori di velocità dei motori elettrici esiste una scheda analoga riportato a pagina successiva

Tabella 5 – Facsimile scheda riepilogativa sui variatori di velocità installati da inviare all'ENEA.

Foglio ____

Dati Richiedente: Nome Cognome o Ragione Sociale _____

Comune _____ CAP _____ tel _____

Via e numero civico _____

CF o Partita IVA se persona giuridica _____

Tipologia attività utente: (contrassegnare, nelle caselle sottostanti, la categoria di appartenenza)

Industria a un turno di lavoro	Industria a due turni di lavoro	Industria a tre turni di lavoro	Industria stagionale	Impresa artigiana
Grande distribuzione	Edificio pubblico o privato	Ospedale	Utente privato	Altro

Sito di installazione finale dei componenti di cui al presente elenco: _____

Pos	Codice d'identificazione variatore di velocità	Potenza nominale (kW)	Macchina azionata (1)	Spesa acquisto (€) (2)	Spesa installazione (€) (3)	Spesa totale (€)	Spesa detraibile (€) (4)
				A	B	A+B	
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
TOTALE							

Risparmio energetico totale annuo stimato a seguito dell'utilizzo dei componenti sopra riportati:

_____ kWh.

Il sottoscritto _____ in qualità di _____
attesta sotto la propria responsabilità che i variatori di velocità di cui alla presente scheda rispondono ai requisiti di cui all'articolo 5.

Firma _____

(1) scrivere V per ventilatore, P per pompa, CA per compressore aria, CF per compressore frigorifero, T per trasportatore, A per altro; (2) riportare la spesa di acquisto del variatore di velocità come da articolo 6; (3) riportare la spesa forfetaria di installazione come da articolo 6; (4) riportare la spesa detraibile calcolata come da articolo 6.

In base a direttive comunitarie riguardo alle politiche energetiche, l'Italia ha di recente varato un sistema di misure finalizzate al risparmio energetico negli usi finali dell'energia.

Tra queste troviamo misure volte a riqualificare i consumi energetici delle imprese e le prestazioni energetiche degli impianti produttivi (Incentivi previsti dalla finanziaria 2007 e riconfermati per il 2008).

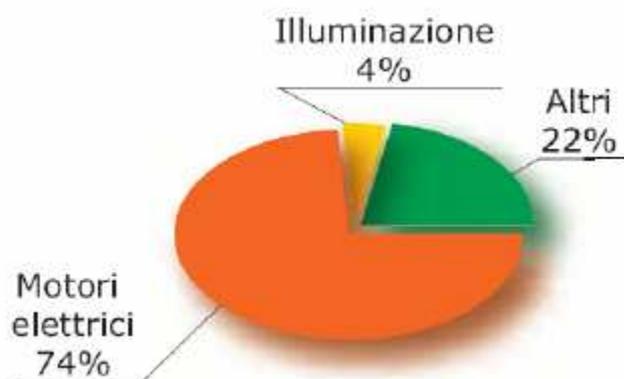
Nel settore industriale il consumo di energia elettrica è dovuto per circa il 74% al funzionamento dei motori elettrici. Non solo, nel ciclo di vita di un motore elettrico il costo dell'energia utilizzata per il suo funzionamento è pari mediamente al 98% del costo complessivo.

In questo scenario, uno dei primi interventi da realizzare per la riqualificazione energetica dei processi produttivi delle imprese, è la sostituzione dei motori tradizionali con quelli a più elevata efficienza e l'utilizzo di apparecchiature per il controllo della velocità dei motori stessi (invertitore). Si tratta di interventi realizzabili nel breve periodo e con un elevato ritorno economico.

A tal proposito, i risultati di una valutazione tecnico-economica della convenienza a introdurre nei processi produttivi motori elettrici ad alta efficienza ed invertitore sono sorprendenti e mostrano, in termini di costi/benefici, l'opportunità di utilizzare motori elettrici ad alta efficienza e invertitore anche a prescindere dagli incentivi economici a tal proposito disponibili.

Infine si richiamano le modalità e procedure previste dalla Finanziaria 2007, e confermate da quella per il 2008, per l'ottenimento delle agevolazioni economiche.

4.2 Principali consumi elettrici nel settore industriale



A livello nazionale l'energia elettrica utilizzata dal settore industriale nel 2008 è stata pari al 50,3% del consumo totale e di questa circa il 74,3% (pari a 113000 GWh) è stata utilizzata per il funzionamento dei sistemi a motore.

Costo del ciclo di vita di un motore

Il consumo di energia dei motori elettrici nel settore industriale è circa il 74% di quello totale.

L'adozione dei motori ad alta efficienza è una delle misure esplicitamente suggerite sia dai decreti del luglio 2004, sia dalla finanziaria 2007 per ottenere una detrazione di imposta. I motori sono tra le macchine elettriche più affidabili: operano per molti anni con manutenzione assai ridotta e si adattano a prestazioni diverse a seconda delle esigenze.

Nonostante ciò, non ci si preoccupa in genere di quanto consumano, ma solo del prezzo d'acquisto: però se si considera che il costo di un motore nella propria vita è mediamente dovuto per il 98,4% al consumo di energia elettrica e solo per l'1,3% alle spese per acquisto e manutenzione o, in altri termini, che il costo di un motore è paragonabile a quanto il motore stesso consuma in tre mesi di lavoro, si può ben vedere come sia conveniente prendere in considerazione apparecchi ad alta efficienza.



Fig 4-1 Costo di acquisto e manutenzione motore elettrico

In linea di massima perciò la suddivisione del costo totale di vita di un motore elettrico (in percentuale) può essere così schematizzata:

- 0,3% spese di manutenzione;
- 1,3% spese d'acquisto;
- 98,4% consumo dell'energia.

Motori più efficienti

Ogni motore, durante il suo funzionamento, è soggetto ad alcune perdite di energia dissipata in calore.

Le perdite sono classificabili in:

- perdite fisse (indipendenti dal carico), costituite dalle perdite nel ferro (circa 18%) e dalle perdite meccaniche (circa 10%);
- perdite variabili con il carico, costituite dalle perdite per effetto joule negli avvolgimenti di statore (circa 34%) e di rotore (ca. 24%) e dalle perdite addizionali (ca. 14%).

Aumentare il rendimento di un motore significa ridurre queste perdite in modo da ottenere un vantaggio considerevole in termini di risparmio energetico, ma non solo.

Un motore più efficiente è anche più affidabile e necessita di minore manutenzione: grazie alla riduzione delle sovratemperature, infatti, si allunga il ciclo di vita degli avvolgimenti, dei cuscinetti e dell'isolamento. Inoltre, la maggiore efficienza aumenta la tolleranza agli stress termici e alle variazioni di tensione nella rete di alimentazione; il contenimento delle perdite fisse permette maggiori rendimenti ai carichi ridotti.

La riduzione delle perdite fisse e variabili nei motori ABB



Valutazione di un investimento in efficienza energetica

Nel momento in cui si deve valutare un investimento riguardante i motori di un complesso industriale o terziario, è bene avere presenti alcuni aspetti molto utili per fare una scelta oculata e soddisfacente nel tempo.

Si è già detto che un motore ad alta efficienza, pur avendo un costo superiore agli analoghi di minor rendimento, offre dei vantaggi che vanno al di là di semplici considerazioni di maggior costo iniziale.

Si può quindi affermare che è sostanzialmente sempre conveniente sostituire un motore con uno ad alta efficienza, anche perché ogni riavvolgimento riduce di almeno un punto percentuale l'efficienza di un motore.

Per quanto concerne l'applicazione degli invertitori, particolare attenzione va rivolta agli aspetti impiantistici: non sempre soluzioni proposte a minor prezzo sono le più sicure, per esempio rispetto ai disturbi che possono comportare malfunzionamenti e guasti all'impianto.

Anzitutto i cavi interessati dai collegamenti degli invertitori devono sempre essere schermati; inoltre, la scelta di invertitori già dotati per costruzione di filtri e dispositivi per la riduzione delle armoniche offrono generalmente maggiore sicurezza impiantistica e il loro costo lievemente superiore si ripaga comunque in tempi molto brevi.

Da ultimo è interessante ricordare che lo svolgimento di attività per una maggiore efficienza energetica, attraverso interventi sui motori elettrici, non crea normalmente particolari difficoltà o problemi nell'organizzazione aziendale.

Per esempio, con un'adeguata programmazione si può diluire l'investimento in 2 o 3 anni, mentre i risparmi si riscontrano praticamente da subito; inoltre, gli interventi possono essere realizzati durante i fermi impianto programmati e possono essere considerati parte delle normali attività di manutenzione, non richiedendo risorse aggiuntive di personale.

Un'attenta analisi preliminare per la ricerca delle opportunità di miglioramento dell'efficienza degli impianti è fondamentale; ma anche in questo caso non occorre destinare specifiche risorse se ci si avvale del supporto di operatori o aziende con esperienza.

4.3 Direttiva Europea sulla Compatibilità Elettromagnetica (EMC)

Generalità

La direttiva EMC (89/336) vigente dal 01/01/96 indica che ogni apparecchiatura elettrica o elettronica, commercializzata nella Comunità Europea, sia elettromagneticamente compatibile con il mondo esterno, cioè sufficientemente immune ad ammissibili livelli di disturbi ambientali e sufficientemente poco emettitrice rispetto ai livelli consentiti, in altre parole la compatibilità elettromagnetica EMC è “ La capacità di un dispositivo a funzionare in un ambiente elettromagnetico in modo soddisfacente, senza produrre a sua volta disturbi elettromagnetici intollerabili per tutto ciò che si trova nello stesso ambiente”.

Le norme relative ai vari prodotti stabiliscono l'entità dei disturbi che possono essere emessi e l'immunità che lo stesso dispositivo deve avere per funzionare in ambiente disturbato.

Essere conformi alle direttive EMC vuol dire che l'apparecchiatura in oggetto è conforme ai limiti imposti dalla relativa normativa di prodotto.

Disturbi generati negli azionamenti da invertitori

1) SCHEMATIZZAZIONE INVERTER

Negli azionamenti ad invertitori sono molto importanti i disturbi elettromagnetici che si vengono a generare durante il normale funzionamento dei cicli produttivi industriali. Viene proposta qui di seguito una schematizzazione molto semplice di un tipico inverter trifase (il suo principio di funzionamento verrà approfondito più avanti):

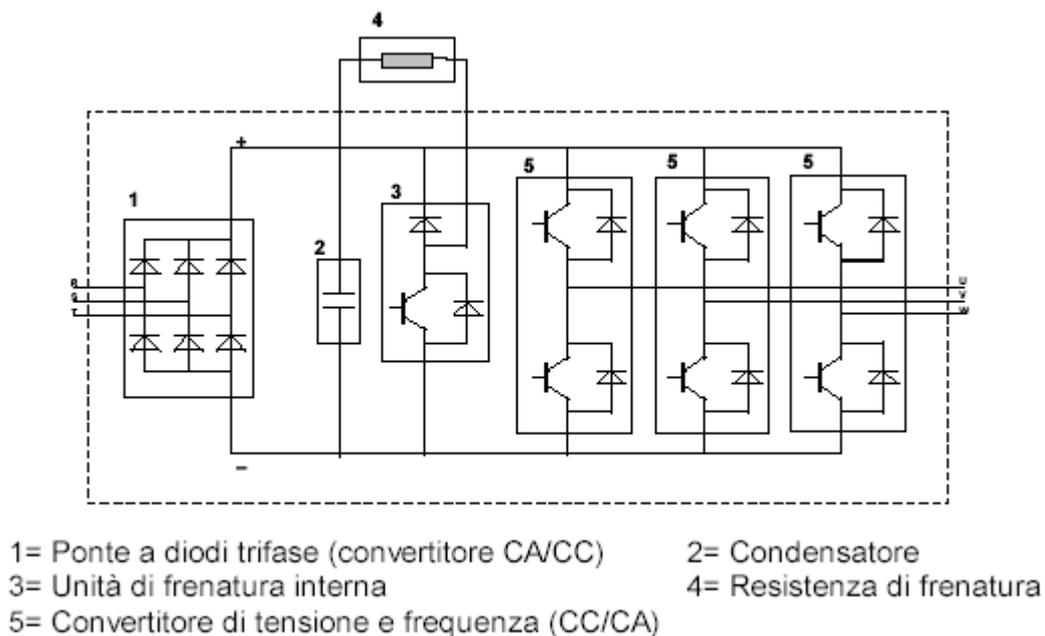


Fig 4-2 Schema a blocchi dell'inverter

Come si può vedere dallo schema a blocchi, l'alimentazione di rete dell'invertitore viene raddrizzata da un semplice raddrizzatore trifase, livellata dal condensatore e successivamente, tramite IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) la tensione continua viene trasformata in alternata a valori di frequenza e tensione variabile in un determinato range di funzionamento.

In genere la frequenza varia da zero a qualche centinaio di Hz, mentre la tensione varia da zero al valore della tensione di rete.

2) FORME D'ONDA DI TENSIONE E CORRENTE

La tensione di uscita dell' invertitore che arriva al motore, non è sinusoidale, ma è costituita da un treno di impulsi a tensione costante e larghezza variabile che si susseguono a frequenza elevata (2-16 kHz), in modo da costruire una corrente quasi sinusoidale per il motore, grazie anche all'effetto filtrante del motore stesso, che è un carico induttivo.

Nelle figure seguenti viene mostrata la forma d'onda della corrente in ingresso all' invertitore e della tensione in uscita, con il relativo spettro delle armoniche.

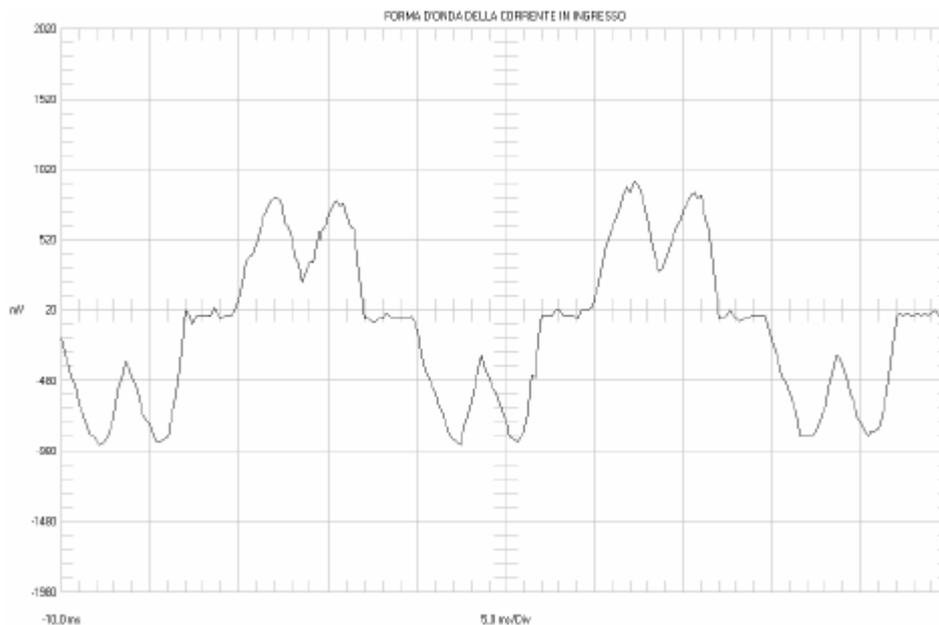


Fig 4-3 Forma d'onda della corrente in ingresso

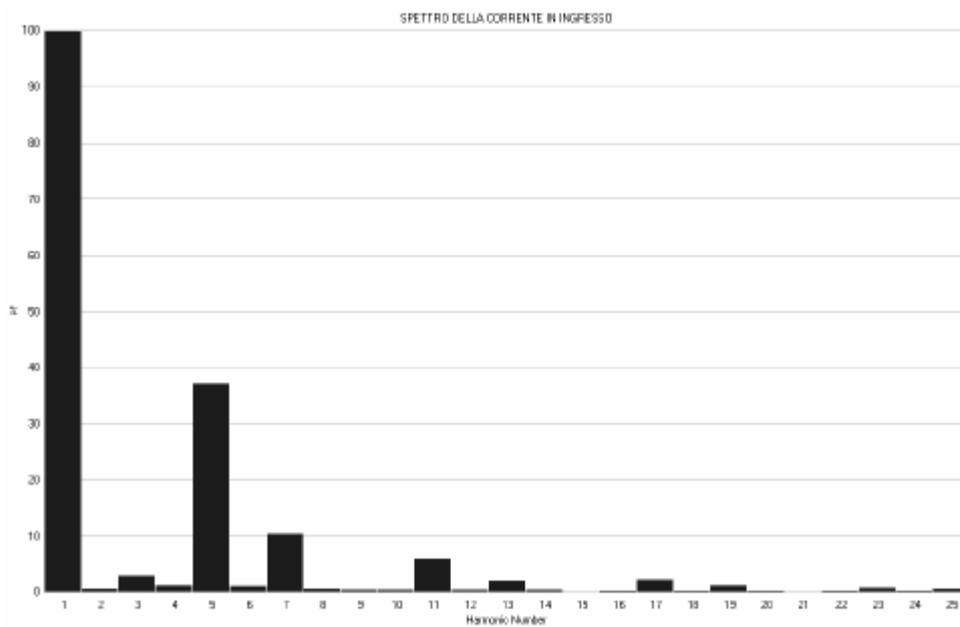


Fig 4-4 Spettro della corrente in ingresso

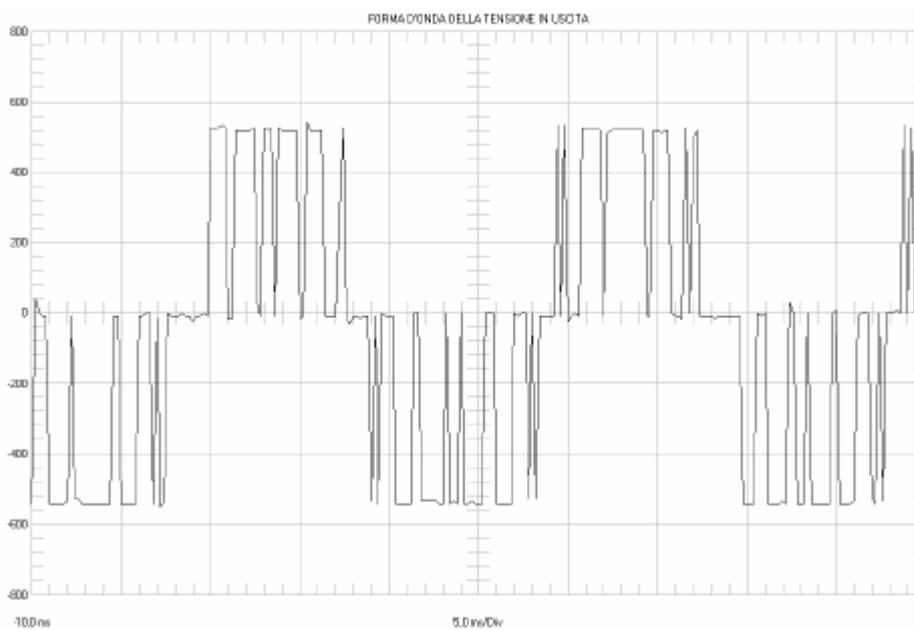


Fig 4-5 Forma d'onda della tensione in uscita

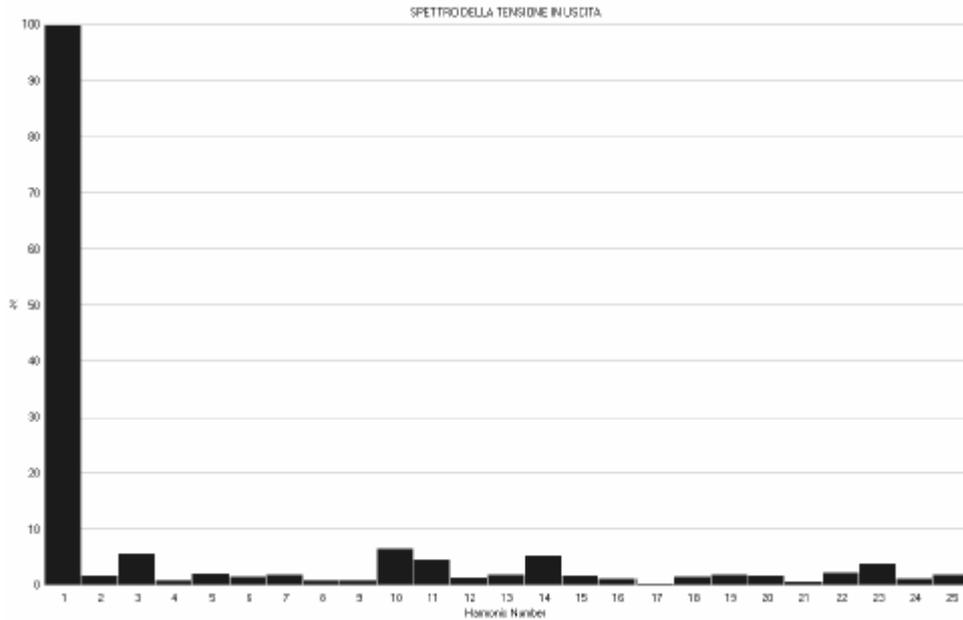


Fig 4-6 Spettro della tensione in uscita

Per rendere minime le perdite di commutazione degli IGBT e per poter funzionare a frequenza di commutazione elevata, in modo da contenere i rumori emessi dal motore, il tempo di accensione e spegnimento deve essere il più rapido possibile (70,80 nanosecondi).

Questa rapidità di commutazione provoca delle elevate variazioni di tensione nel tempo (elevati dv/dt) ed è la principale causa dei disturbi elettromagnetici: infatti, a causa dei picchi di tensione, nascono delle correnti impulsive di carica/scarica attraverso le capacità parassite del sistema (invertircavi- motore) e la terra, ritornando poi all'alimentazione attraverso i più vari percorsi possibili.

Altre correnti parassite, nascono tra i vari avvolgimenti del motore, per accoppiamento tra cavi e circuiti vicini: attraverso il ponte di diodi in ingresso vengono poi trasmessi alla rete di alimentazione.

I vari disturbi generati dal convertitore sono accoppiati con la linea e la terra, e attraverso questi conduttori arrivano alle altre apparecchiature; inoltre i cavi di collegamento invertitore/motore irradiano anche onde radio.

Come si vede nelle figure sopra, oltre ai disturbi ad alta frequenza sopra riportati, gli invertitori producono disturbi a bassa frequenza sotto forma di distorsione armonica, dovuta al fatto che il ponte trifase a diodi sul lato linea si comporta come un generatore di corrente continua, con sovrapposte delle armoniche di ordine dispari (3a, 5a, 7a, 11a, 13a, 17a, 19a, 23a, 25a), e il valore di queste armoniche varia in base a diverse condizioni: impedenza dei cavi, reattanza lato alternata e/o continua, ecc., per cui la forma d'onda della tensione non è più sinusoidale pura, ma esiste una fondamentale e tante armoniche, con conseguente nascita di disturbi.

3) DISTURBI SUL MOTORE

Anche il motore, che a prima vista sembra tollerare benissimo l'alimentazione da invertitore, in quanto, su applicazioni con molti avviamenti/ora come l'ascensore, si scalda meno, non fa rumore, riduce i picchi di corrente di avviamento, ecc., a lungo andare può avere dei problemi in quanto i veloci fronti di salita della tensione di alimentazione, attraverso le capacità e induttanze distribuite sui cavi di collegamento, provocano delle extratensioni che sollecitano in modo consistente l'isolamento degli avvolgimenti.

I picchi di tensione ai capi del motore variano in base al tipo e lunghezza del cavo e alla frequenza di commutazione, e possono raggiungere anche valori elevati.

I motori per invertitori devono quindi avere un isolamento robusto per sopportare sollecitazioni che non sono presenti in un normale motore alimentato da rete sinusoidale; questo è facile da ottenere quando si fanno nuove installazioni e il motore "nasce" per invertitori, quando invece si modificano vecchi impianti conservando lo stesso motore, per limitare lo stress degli isolamenti è necessario intervenire esternamente nella connessione invertitore - motore.

Il più semplice rimedio è quello di inserire dei nuclei di ferrite su cui avvolgere con una o più spire i cavi di collegamento al motore, o inserire delle induttanze in serie al motore stesso.

4) TIPI E MODO DI TRASMISSIONE DEI DISTURBI

Da quanto esposto, si deduce che ogni volta che in un circuito elettrico si è in presenza di una forma d'onda non perfettamente sinusoidale o non perfettamente continua, nascono disturbi che possono causare problemi alle altre apparecchiature, principalmente a quelle vicine.

I disturbi così generati vengono trasmessi in vario modo:

- 1- Attraverso la linea di alimentazione comune, cioè la rete elettrica;
- 2- Per conduzione nei circuiti di massa e di terra;
- 3- Per irradiazione attraverso l'aria.

I disturbi dei punti 1 e 2 sono trasmessi da un conduttore per cui si chiamano **disturbi condotti**.

I disturbi trasmessi dall'aria (punto 3) si chiamano **disturbi irradiati**.

La definizione esatta dei disturbi condotti e irradiati è la seguente:

a) **disturbi condotti**: sono segnali indesiderati che si presentano sotto forma di tensioni e correnti che entrano o escono dal dispositivo considerato tramite i conduttori elettrici, di segnale e/o alimentazione ad esso collegati.

b) **disturbi irradiati**: sono segnali indesiderati presenti sotto forma di campo elettromagnetico nello spazio.

5) FILTRI

Si intendono filtri, quei dispositivi addizionali da aggiungere alle apparecchiature, affinché il livello dei disturbi condotti e/o irradiati da queste ultime rientrino nei limiti stabiliti dalle norme, cioè svolgono la funzione di lasciar passare la parte utile ed eliminare la parte indesiderata dal segnale. I filtri sono usati in tantissime apparecchiature; infatti oltre ai variatori di frequenza le fonti dei disturbi sono moltissime:

- avviamento di grossi motori,
- lampade fluorescenti,
- saldatrici a punto,
- forni, apertura di carichi induttivi,
- calcolatori,
- motori corrente continua,-
- raddrizzatori, ecc..,

per ogni prodotto sono necessari gli opportuni filtri.

6) TERRA E MASSA

Si intende per TERRA il suolo del pianeta che nelle applicazioni elettriche viene preso come potenziale di riferimento "ZERO VOLT".

Qualunque impianto elettrico deve avere una buona ed unica presa di terra, a cui devono essere collegate tutte le masse e le strutture metalliche in modo da garantire la protezione delle persone contro i rischi elettrici legati ai contatti indiretti.

Per la maggior parte dei fenomeni EMC (transitori, campi ad alta frequenza, ecc..) in alta frequenza, l'impedenza del conduttore di terra è molto elevata, per cui la sola TERRA non è sufficiente a garantire un buon "filtraggio" ai disturbi EMC.

Per ottenere la conformità è di fondamentale importanza la maglia delle MASSE che, trovandosi nelle immediate vicinanze delle apparecchiature, diventa il punto di riferimento per i fenomeni in alta frequenza.

La MASSA è quindi un punto, una rete o un piano di collegamento equipotenziale, collegato o meno a terra, che serve da riferimento a un circuito o a un sistema.

7) REGOLE PER IL CABLAGGIO DI UN SISTEMA LOGICA - INVERTER – MOTORE CONFORME EMC

Considerando che più le capacità parassite sono piccole, minori sono le correnti verso terra e quindi minori sono i fenomeni EMC, le regole fondamentali che governano una buona installazione sono volte a ridurre al minimo le capacità parassite del sistema.

Si noti ancora che se le capacità parassite sono grandi, oltre ai problemi EMC vi saranno grandi correnti di fuga verso terra, con possibili problemi agli interruttori differenziali di protezione.

Un corretto cablaggio di un sistema LOGICA - INVERTITORE – MOTORE deve essere fatto nel modo seguente:

1- La terra generale dell'edificio, deve essere connessa direttamente sia all'armadio contenente l'azionamento e la logica di comando, sia al motore.

2- L'armadio deve comprendere una piastra di fondo quale piano di massa. Tutte le masse metalliche dei componenti all'interno dell'armadio (azionamenti, filtri, ecc...) dovranno essere "bullonate" direttamente sulla piastra del piano di massa assicurandosi che ci sia una buona connessione metallo/metallo.

N.B. Se le superfici sono verniciate è bene sverniciarle, inoltre ricordarsi che l'alluminio anodizzato non conduce.

3- E' bene prevedere una barra di terra imbullonata alla piastra di fondo, a cui fanno capo le masse e la terra del sistema.

4- I cavi di collegamento motore/invertitore devono essere il più corto possibile, quadripolari (tre fasi più filo giallo/verde di terra) di tipo schermato, oppure quattro cavi non schermati fasciati fra loro e inseriti all'interno di una canalina o un tubo metallico collegato a terra. In altre parole, nello stesso cavo o nello stesso tubo ci deve essere un conduttore di terra il più vicino possibile ai cavi di potenza.

Il conduttore giallo verde e lo schermo devono essere collegati a terra sia dal lato quadro che dal lato motore. Lo schermo deve essere messo a terra con una connessione a 360° (figura 6), o con morsetti speciali (figura 7); si deve assolutamente evitare la connessione a terra tramite cavetto oppure lo stesso schermo attorcigliato e imbullonato (impedenza alta alle alte frequenze).

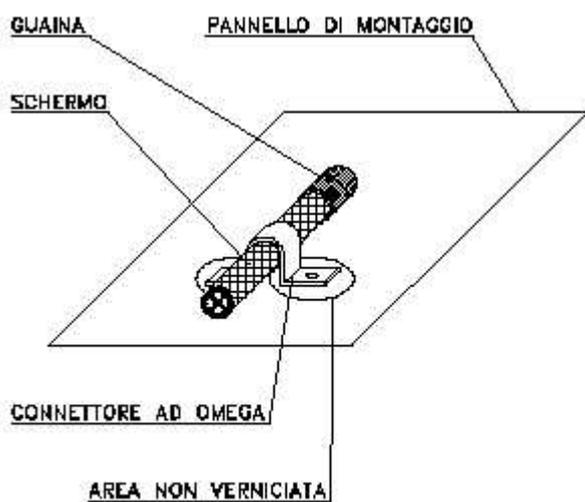


FIG.6

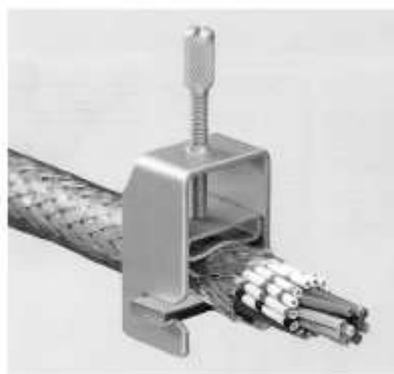


FIG.7

Nel caso che la connessione dello schermo a terra a 360° non sia possibile all'interno della morsettiere del motore, si deve mettere a terra lo schermo sulla carcassa prima di entrare in morsettiere.

5- I cavi di alimentazione dei motori c.c. o dei motori c.a. non regolati o regolati ACVV (soft starter) non necessitano di schermatura.

6- Il cavo di potenza e i cavi di comando devono essere il più lontano possibile e non essere paralleli, anche se schermati; nel caso che i cavi si incrocino, devono essere disposti in modo da formare un angolo di 90°.

7- Anche se non è indispensabile, è bene mettere il cavo schermato anche nella linea di potenza in ingresso, in modo da evitare che disturbi irradiati siano portati all'esterno dal cavo.

I cavi devono essere i più corti possibili ed il più vicino possibile alla piastra di fondo; inoltre i cavi di ingresso rete devono essere tenuti il più lontano possibile dai cavi di uscita motore per evitare accoppiamenti.

8- Indipendentemente dalla connessione alla terra generale dell'edificio, la carcassa del motore deve essere collegata sia allo schermo del cavo, sia al conduttore giallo/verde di terra che si trova all'interno del cavo schermato.

9- Per ridurre i disturbi irradiati dal cavo di potenza (il cavo emette disturbi anche se schermato) e proteggere l'isolamento del motore, si possono mettere degli anelli di ferrite o delle induttanze sui conduttori di potenza, il più vicino possibile all'invertitore.

10- Il filtro può essere interno all'azionamento oppure esterno; in quest'ultimo caso un morsetto di terra del filtro va collegato direttamente alla sbarra di terra del quadro, l'altro morsetto (se presente) e la carcassa metallica devono essere connessi elettricamente al pannello del quadro (contatto metallo/metallo). I cavi di connessione tra filtro e invertitore devono essere di lunghezza max 30 cm; se la lunghezza è maggiore si deve usare il cavo schermato.

Un cavo di massa deve essere collegato al morsetto di massa del filtro e al morsetto di terra dell'invertitore; se l'invertitore ha due morsetti di terra, l'altro morsetto deve essere direttamente collegato alla sbarra di terra.

11- Il cavo dell'encoder deve essere schermato e connesso a terra solo dal lato dell'invertitore. Verificare che lo schermo non sia collegato a terra dal lato motore controllando con un tester la connessione schermo/motore: qualora ci fosse la connessione dal lato motore e fosse impossibile eliminarla, non connettere a terra lo schermo dal lato invertitore.

Il giunto di collegamento encoder - motore deve essere isolato, per evitare che le correnti parassite si richiudano attraverso l'encoder.

Come per tutti gli altri schermi, anche per lo schermo dell'encoder la connessione a terra deve essere a 360°.

12- L'invertitore emette disturbi irradiati, di conseguenza questi disturbi possono essere captati e portati all'esterno dai cavi di collegamento, in particolare dai cavi flessibili che li irradiano nel vano di corsa.

Se si vuole evitare questo inconveniente, è bene avere l'invertitore e la parte di potenza in un armadio, la parte logica in un altro armadio, con i collegamenti in ingresso e uscita dall'armadio contenente l'invertitore fatti con il cavo schermato.

Soltanto se l'invertitore non ha una potenza elevata, può essere montato all'interno dello stesso armadio della logica; in questo caso, per ridurre al minimo l'accoppiamento dei cavi e quindi la trasmissione dei disturbi, occorre:

- Installare l'invertitore e la parte di potenza (contattori, resistenza di frenatura, morsetti di uscita, ecc.) il più lontano possibile dai PLC, microprocessori, amplificatori di segnale, ecc.

- I cavi di ingresso potenza e di uscita motore devono essere lontani tra loro; inoltre i cavi di uscita devono essere schermati con un conduttore giallo/verde di terra interno.

- Qualunque cavo, sia di comando che di collegamento esterno per vano e cabina, non deve mai essere vicino e parallelo al cavo di potenza, anche se schermato; se per necessità devono essere paralleli, è bene che siano in canaline metalliche distinte.

- Se possibile, separare con uno schermo metallico l' invertitore e la parte di potenza dal resto della logica (microprocessori, PLC, cavi di collegamento esterno, ecc.)

13- Tutti i collegamenti di terra (armadio - sportello, canalina - canalina, ecc..) devono essere il più corto possibile e larghi; si deve evitare di usare un normale conduttore cilindrico (vedi figura sotto).

A tal proposito si ricorda che la massa per la protezione dei radiodisturbi è un'altra cosa rispetto alla terra di sicurezza: infatti per i fenomeni EMC ad alta frequenza non si deve usare un conduttore unico, ma una maglia di fili intrecciati di sezione 10 mm², il più largo e corto possibile. Inoltre la barra di terra deve essere il più lontano possibile dai cavi di ingresso e uscita.

L'armadio contenente l' invertitore deve essere metallico, con gli sportelli collegati a massa.

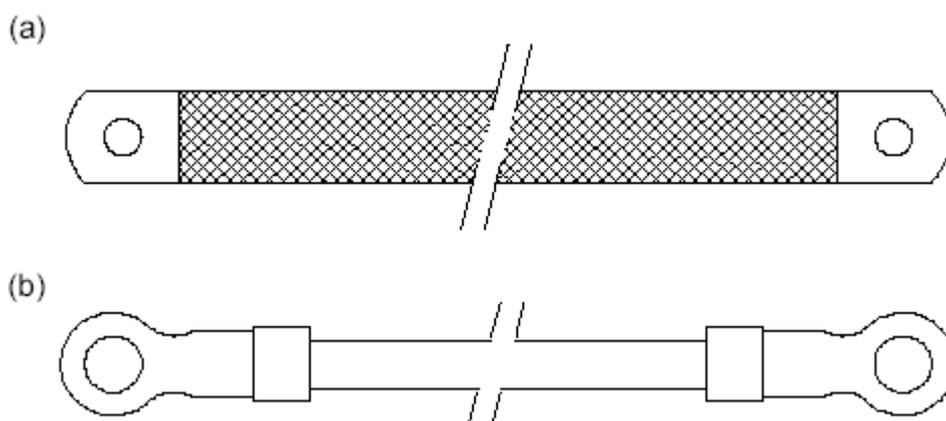


Fig 4-7 Esempi di connessioni per la messa a terra

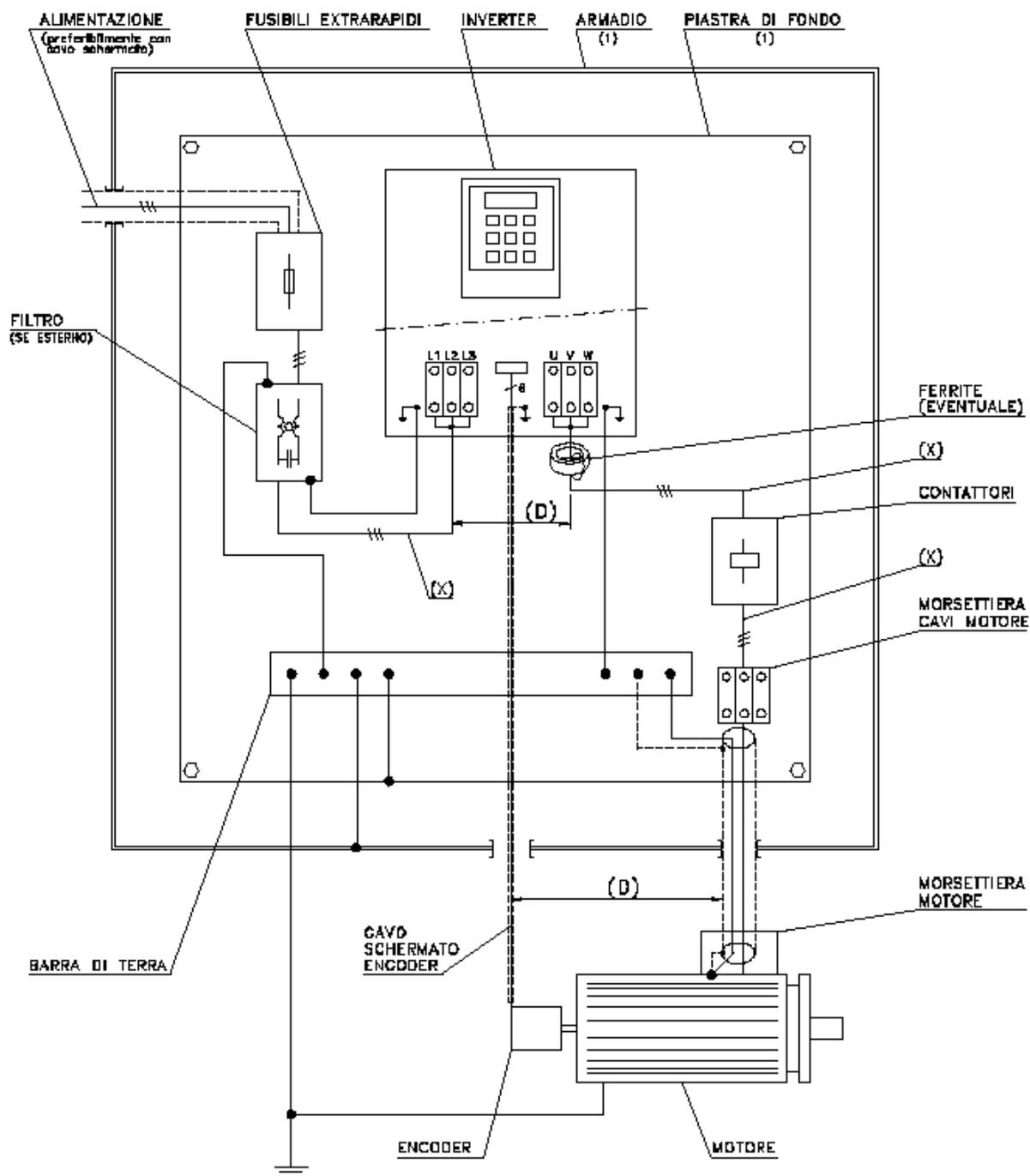
La soluzione (a) (treccia di rame) è preferibile alla soluzione (b) (conduttore).

14- Per i cavi di comando è bene usare doppini schermati con lo schermo collegato a terra da entrambi i lati. Non è consentito usare cavi schermati con lo schermo non collegato a terra, in quanto i disturbi, in tal caso, sono maggiori che con il cavo senza schermo.

15- Qualsiasi conduttore di un cavo multipolare libero o non utilizzato deve essere collegato a terra da entrambi i lati.

16- Per evitare interventi indesiderati dell'interruttore differenziale è bene:

- Fare il collegamento di potenza il più corto possibile
- Usare interruttori differenziali progettati per armoniche
- Diminuire (ove possibile) la frequenza portante dell'invertitore: infatti più bassa è la frequenza, maggiore è il rumore del motore, ma minori sono le correnti di fuga verso terra e minori sono anche i disturbi EMC.



NOTE:

- (1) PIASTRA DI FONDO E ARMADIO IN LAMIERA
ASSICURARE IL BUON COLLEGAMENTO: PIASTRA-ARMADIO, ARMADIO-SPORTELLI,
SCHERMO - MASSA, PIASTRA - BARRA DI TERRA.
- (D) DISTANZA TRA I CAVI: DEVE ESSERE LA MAGGIORE POSSIBILE
- (X) USARE CAVO SCHERMATO SE LA DISTANZA E' MAGGIORE DI 25 CM.

Fig 4-8 Schema di cablaggio consigliato per le applicazioni con inverter

8) REGOLE FINALI

Se si eseguono queste indicazioni e il cablaggio è eseguito a regola d'arte, i disturbi sono contenuti ma non eliminati.

Si ricorda che la conformità alla norma richiede, oltre all'immunità dell'apparecchiatura, i disturbi condotti e irradiati sono inferiori al limite massimo imposte dalle relative norme di prodotto.

5. IL RIFASAMENTO

5.1 Principi di rifasamento Levibreton KFG 3000

Come primo passo nella ricerca di ottimizzare il sistema produttivo in termini di risparmio energetico è quello di focalizzarsi sul fattore di potenza della macchina.

La Levibreton KFG 3000 è un complesso produttivo che deve essere visto nella sua totalità delle installazioni; cioè si devono considerare tutti i motori delle diverse applicazioni che costituiscono la macchina.

Per poter rifasare l'impianto, infatti si dovrebbe far riferimento al fattore di potenza globale dell'impianto cioè rispettivamente al fattore di potenza dei motori dei mandrini, del nastro, della spazzola, dei trasporti in ingresso e uscita, dei ventilatori e della trave mandrini.

Essendo la valutazione del fattore di potenza globale dell'impianto estremamente complessa data l'eterogeneità delle applicazioni motore della Levibreton KFG 3000, si preferisce rifasare l'impianto a monte di tutto il sistema.

Soltanto una analisi dettagliata (che qui non verrà proposta) dei singoli carichi motore e dei cicli di lavoro degli stessi permette di valutare l'entità della batteria di condensatori da porre in parallelo ad ogni gruppo di 'carichi motore' delle stesse caratteristiche in modo da effettuare il cosiddetto **rifasamento centralizzato**.

Verranno qui di seguito proposte le tipologie di rifasamento più usate nel settore industriale e gli aspetti del rifasamento centralizzato.

N.B.

Come è logico accada ai giorni d'oggi in tutti i processi produttivi di grosse entità, il rifasamento centralizzato sarà di tipo automatico, cioè il sistema valuta autonomamente le batterie di condensatori da inserire nell'impianto a seconda del fattore di potenza della fase di lavorazione specifica.

5.2 Generalità rifasamento

Gli impianti elettrici funzionanti a corrente alternata assorbono dalla rete sia potenza attiva sia potenza reattiva.

La potenza attiva compie un lavoro trasformandosi in altre forme di energia, come calore, illuminazione, movimento, mentre la potenza reattiva (induttiva) non si trasforma, ma è necessaria per l'eccitazione dei circuiti elettromagnetici di trasformatori, motori, reattori.

La potenza reattiva non trasformandosi in altre energie compie uno spostamento ciclico a frequenza di rete, tra la centrale di produzione di energia (fornitore) e gli utilizzatori (utente). Ciò comporta un trasporto ozioso di corrente reattiva lungo le linee, introducendo maggiori perdite elettriche e limitando la trasmissione di una maggiore potenza attiva. Inoltre la produzione di potenza reattiva comporta, da parte del distributore, maggiori oneri legati al dimensionamento degli impianti di produzione, trasformazione e trasporto, oneri che sono addebitati all'utente che assorbe potenza reattiva.

L'utente può ridurre la richiesta di energia reattiva dalla rete di alimentazione, rifasando in modo adeguato l'impianto; il rifasamento degli impianti è ottenuto installando in modo opportuno delle batterie di condensatori che assorbono una potenza reattiva capacitiva Q_c , di segno opposta alla potenza reattiva induttiva Q_l , in modo da portare lo sfasamento prossimo al valore unitario.

Aspetti teorici

Gli apparecchi elettrici dunque, assorbono dalla rete di alimentazione una certa quantità di corrente che dipende dalle caratteristiche elettriche degli apparecchi stessi. Il prodotto di tale corrente per la tensione applicata si chiama potenza apparente (S) ed è in base a questa potenza che gli impianti elettrici devono essere dimensionati.

La potenza che assorbe l'apparecchio e che è in grado di fornire all'esterno sotto forma di lavoro o di calore è normalmente minore della potenza apparente e si chiama potenza attiva (P). Il rapporto tra la potenza attiva e quella apparente è il fattore di potenza ($\cos\phi$ variabile da 0 a 1), ossia lo sfasamento esistente tra la corrente e la tensione.

La maggior parte degli utilizzatori presenta un basso fattore di potenza e richiede dalla linea più potenza apparente e quindi più corrente di quanta ne richiederebbe con un $\cos\phi$ maggiore.

Per questo motivo le normative vigenti e considerazioni di ordine tecnico impongono di utilizzare l'energia elettrica con un fattore di potenza non inferiore a 0,9.

Una situazione di questo tipo la si può ottenere inserendo nell'impianto delle batterie di condensatori e operando il cosiddetto rifasamento.

VANTAGGI DEL RIFASAMENTO

I vantaggi relativi ad un fattore di sfasamento prossimo ad uno sono:

- 1) nessuna penale sul consumo di energia reattiva da parte del fornitore di energia;
- 2) il rifasamento in fase di progetto dell'impianto comporta una scelta della potenza apparente contrattuale minore rispetto all'impianto non rifasato;
- 3) scelta dei trasformatori MT/BT con potenza apparente minore, a parità di potenza attiva richiesta dall'impianto;
- 4) diminuzione della caduta di tensione sulle linee;
- 5) diminuzione delle perdite di energia attiva, per effetto Joule sui cavi;
- 6) in fase di progetto, diminuzione della sezione dei cavi e dei dispositivi di protezione;
- 7) prelievo di tutta l'energia attiva contrattuale;
- 8) ad impianto esistente, il rifasamento permette l'inserimento di nuovi utilizzatori, poiché si rende disponibile maggior potenza.

Perciò sono due i principali vantaggi che fondamentalmente possono derivare dal rifasamento:

A)mancata penale che l'ente distributore solitamente pratica a chi utilizza energia elettrica con un fattore di potenza medio mensile inferiore a 0,9;

B)migliore utilizzazione degli impianti.

Sui vantaggi del primo tipo è superfluo fare qualsiasi commento mentre fra i vantaggi del secondo tipo possiamo metterne in evidenza alcuni tra i più importanti :

-minore immobilizzo di capitali (trasformatori di potenza minore, conduttori di sezione più piccola ecc..)

-minori perdite

-minor consumo di energia.

Il fattore di potenza può essere migliorato anche utilizzando le macchine in modo razionale ed in particolare usando motori e trasformatori correttamente dimensionati (possibilmente non devono funzionare a carico ridotto per tempi troppo lunghi), non utilizzando motori e trasformatori senza carico ed evitando di mantenere in funzione motori difettosi.

In un circuito funzionante in corrente alternata la corrente assorbita da un utilizzatore, esclusi i carichi puramente resistivi, è rappresentata da due componenti distinte: una corrente attiva I_a e una corrente reattiva I_r . La corrente attiva è destinata al lavoro utile prodotto dall'utilizzatore ed è in fase con la tensione applicata al circuito, mentre la corrente reattiva, destinata alla creazione dei campi magnetici indispensabili al funzionamento di molti utilizzatori elettrici, è in ritardo di 90° rispetto alla tensione applicata al circuito. La corrente risultante che ne deriva vale:

$$I = \sqrt{(I_a^2 + I_r^2)}$$

$$I_a = I \cos \varphi \quad \text{e} \quad I_r = I \sin \varphi$$

per i circuiti monofasi (U =tensione applicata):

$P = UI \cos \varphi$	Potenza attiva
$Q = UI \sin \varphi$	Potenza reattiva
$S = UI$	Potenza apparente

per i circuiti trifasi (U = tensione concatenata):

$P = \sqrt{3} UI \cos \varphi$	Potenza attiva
$Q = \sqrt{3} UI \sin \varphi$	Potenza reattiva
$S = \sqrt{3} UI$	Potenza apparente

Tali relazioni sono rappresentabili mediante il cosiddetto triangolo delle potenze da cui è possibile ricavare le seguenti espressioni:

$$\cos \varphi = P/S = P/\sqrt{(P^2 + Q^2)}$$

con: $Q/P = \tan \varphi$

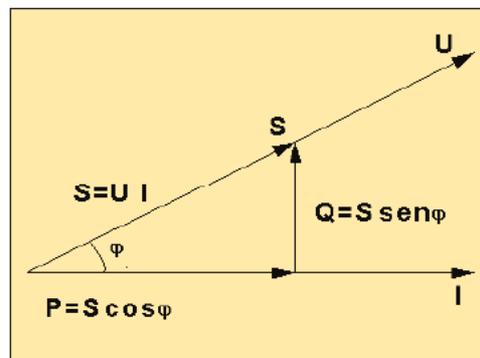


Fig 5-1 Triangolo delle potenze

Risulta evidente che, per fornire una potenza P ad una determinata tensione U , occorre una corrente pari a:

$$I = P/(U \cos \varphi) \quad \text{per il caso monofase}$$

$$I = P/(\sqrt{3} U \cos \varphi) \quad \text{per il caso trifase}$$

La corrente è inversamente proporzionale al $\cos\phi$ e quindi per ridurre tale corrente al valore più basso possibile dovrebbe essere $\cos\phi=1$ e in questo caso si avrebbe:

$$I=I_a=P/U \quad \text{in monofase}$$

$$I=I_a=P/\sqrt{3}U \quad \text{in trifase}$$

Problemi derivanti da un basso $\cos\phi$

Il dimensionamento di un impianto elettrico è realizzato in funzione della potenza apparente complessiva tenuto conto dei coefficienti di contemporaneità dei carichi. Il valore della corrente per cui si dimensiona l'impianto corrisponde alla somma vettoriale della corrente attiva I_a e della corrente reattiva I_l . Tale valore, restando costante il valore della corrente attiva necessaria, risulta tanto maggiore quanto maggiore è la corrente reattiva richiesta dai carichi e impone un sovradimensionamento della sezione dei cavi.

Si ha infatti un incremento delle perdite per effetto joule ($P_j=RI^2$) e delle cadute di tensione e dall'espressione della caduta di tensione $\Delta U=\sqrt{3}I(R\cos\phi+X\sin\phi)$ sostituendo si ottiene:

$$I=P/(\sqrt{3}U\cos\phi)$$

e semplificando è possibile ricavare:

$$\Delta U=[P/U\cos\phi](R\cos\phi+X\sin\phi)=(PR\cos\phi+QX\sin\phi)/U\cos\phi$$

da cui:
$$\Delta U/U=(PR+QX)/U^2$$

che evidenzia come a maggiori valori di Q corrispondono maggiori valori di ΔU . Tutto questo si traduce in pratica in un aumento dei costi a causa delle maggiori perdite o per la necessità di dover sovradimensionare l'impianto di distribuzione al fine di contenere le cadute di tensione al di sotto dei limiti imposti. A questo va ovviamente aggiunto l'eventuale sovrapprezzo imposto dall'ente distributore.

Scelta dei condensatori

Oltre ai carichi induttivi di cui sopra esiste un'altra categoria di carichi cosiddetti capacitivi (condensatori e compensatori sincroni).

Anche questi carichi assorbono energia reattiva ma, in questo caso, la corrente assorbita risulta sfasata in anticipo rispetto alla tensione.

Per questi carichi l'espressione della potenza reattiva capacitiva è simile a quella relativa alla potenza reattiva induttiva con la differenza che, poiché la corrente ha segno opposto, la potenza è negativa.

L'inserimento di un condensatore determina la riduzione della componente reattiva della corrente e la conseguente diminuzione della corrente complessiva assorbita dal circuito.

A tutto questo fa seguito una diminuzione complessiva della potenza reattiva necessaria e un miglioramento del fattore di potenza.

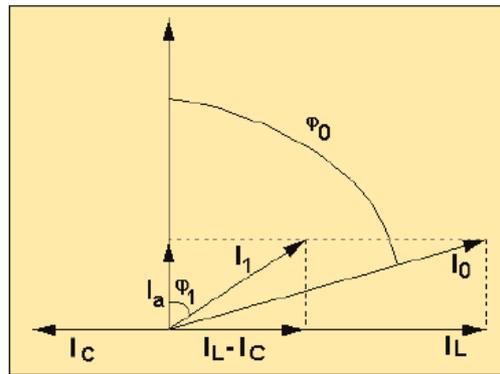


Fig 5-2 Diagramma vettoriale delle correnti in un circuito induttivo-capacitivo

E' possibile sfruttare il fenomeno appena descritto introducendo di proposito nell'impianto dei carichi capacitivi operando quell'operazione che prende appunto il nome di rifasamento.

Si pone a questo punto il problema di calcolare la potenza reattiva capacitiva necessaria per riportare il fattore di potenza a valori accettabili.

Scelta della potenza di una batteria di condensatori

La potenza reattiva capacitiva necessaria per ridurre la potenza reattiva dal valore Q_0 al valore Q_1 vale:

$$Q_c = Q_0 - Q_1$$

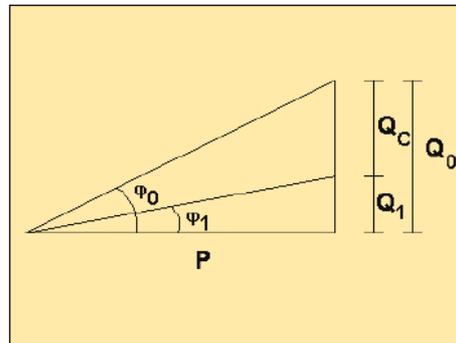


Fig 5-3 Diagramma delle potenze in un circuito induttivo - capacitivo

Essendo la potenza reattiva assorbita in assenza di rifasamento

$$Q_0 = P \operatorname{tg} \varphi_0$$

e la potenza reattiva a rifasamento inserito

$$Q_1 = P \operatorname{tg} \varphi_1$$

la potenza reattiva capacitiva dovrà essere:

$$Q_c = P(\operatorname{tg} \varphi_0 - \operatorname{tg} \varphi_1)$$

Tale relazione permette in generale, nota la potenza attiva richiesta dai carichi ed il relativo fattore di potenza, di ottenere direttamente il valore della potenza capacitiva della batteria di condensatori, per ottenere un determinato fattore di potenza $\cos \varphi_1$

In pratica l'applicazione delle succitate formule non è sempre agevole in quanto può a volte essere difficile stabilire il valore della potenza attiva P e del $\cos \varphi_0$ se questi sono variabili nel tempo.

Sarebbe necessario conoscere il diagramma di carico dell'impianto da rifasare, ovvero le curve della potenza o della potenza attiva e reattiva in funzione del tempo.

Tensione nominale delle batterie e potenza reattiva erogata

A seconda della tensione di alimentazione una batteria di condensatori, a parità di capacità, eroga un diverso valore di energia reattiva. In corrispondenza di un determinato valore di tensione nominale U_{nc} , la batteria di condensatori eroga una potenza nominale Q_{nc} . Quando la tensione di alimentazione U_n è inferiore a quella nominale l'erogazione è inferiore secondo la relazione:

$$Q = Q_{nc} / (U_n / U_{nc})^2$$

Per ottenere una potenza rifasante Q_c ad una particolare tensione U_n è perciò necessario prevedere una batteria avente potenza nominale:

$$Q_{nc} = Q (U_{nc} / U_n)^2$$

U_{nc} = tensione nominale della batteria di condensatori;

U_n = tensione nominale di alimentazione.

Scelta del condensatore

La scelta del condensatore è funzione del tipo di sistema (monofase o trifase) e del tipo di collegamento (stella o triangolo).

Dai dati di targa, le grandezze caratteristiche del condensatore possono essere ricavate dalle seguenti formule:

per unità monofase, la capacità C della batteria di condensatori è:

$$C = Q_n / (2\pi f U_n^2)$$

e la corrente nominale:

$$I_n = 2\pi f C U_n$$

per ciascuno dei tre condensatori di una unità trifase, si ha invece:

con collegamento a stella

$$C_y = Q_n / (2\pi f U_n^2)$$

$$I_{nc} = I_{linea} = (2\pi f C_y U_n) / \sqrt{3}$$

con collegamento a triangolo

$$C_t = Q_n / 3(2\pi f U_n^2)$$

$$I_n = (2\pi f C_t U_n)$$

$$I_{linea} = 2\pi f C_t U_n \sqrt{3}$$

Dove :

U_n = tensione concatenata del sistema di alimentazione;

I_{linea} = corrente di linea;

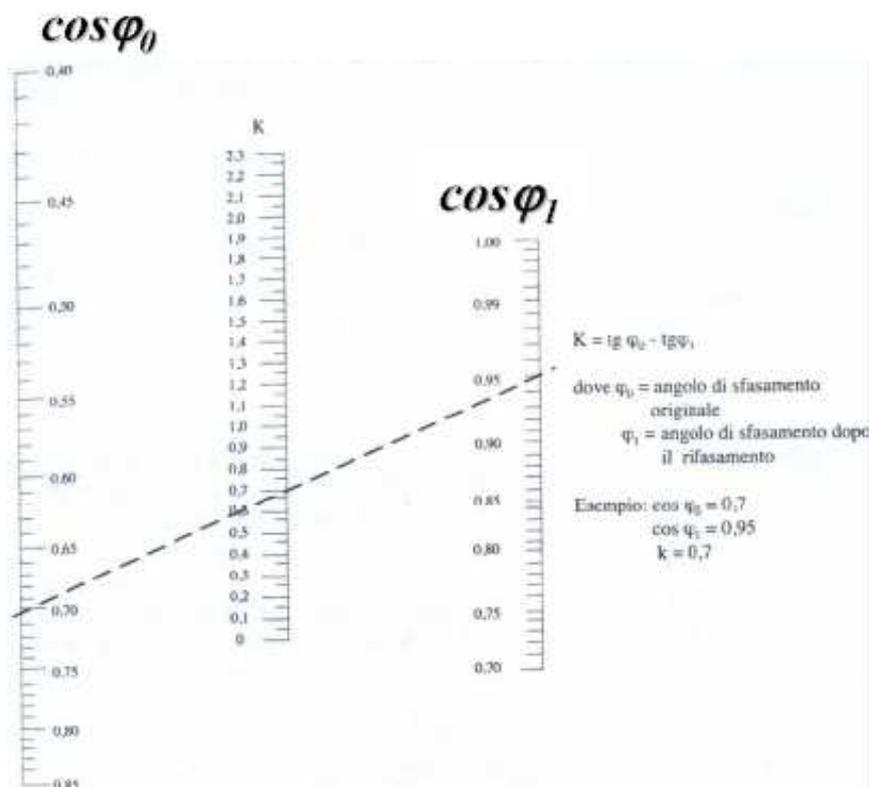
I_{nc} = corrente che attraversa il condensatore.

Da quanto sopra esposto si deduce che, a parità di potenza reattiva, la connessione a stella richiede capacità 3 volte maggiori e i condensatori sono sottoposti ad una tensione minore. A parità di capacità invece se il collegamento è a stella la potenza reattiva fornita è tre volte minore (la corrente e la tensione sul condensatore sono minori) che nel caso del collegamento a triangolo.

$$C_y = 3C_t$$

In bassa tensione si preferisce il collegamento a triangolo perché per le bassa tensioni si preferisce avere capacità più piccole visto che pesa poco il vincolo sulle tensioni di isolamento. In media tensione invece, si preferisce il collegamento a stella visto il vincolo più pesante sulle tensioni di isolamento.

NOMOGRAMMA di $K = \operatorname{tg} \varphi_0 - \operatorname{tg} \varphi_1$ tratto dal fascicolo 10 "il rifasamento per l'utente a media tensione" edito dall'ufficio stampa e pubbliche relazioni ENEL



Metodi di rifasamento

Prima di passare al dimensionamento della batteria di condensatori è necessario sceglierne l'ubicazione nell'impianto. In base a tale scelta è possibile individuare i diversi metodi di rifasamento ed è fatta in base ad una serie di considerazioni tecnico – economiche.

Si distinguono comunque i seguenti metodi di rifasamento:

- 1) **rifasamento distribuito;**
- 2) **rifasamento parziale(o per gruppi);**
- 3) **rifasamento centralizzato a potenza costante;**
- 4) **rifasamento centralizzato automatico;**
- 5) **rifasamento misto.**

1) rifasamento distribuito

Consiste nel rifasare localmente ciascun carico installando una batteria di condensatori dedicata (è il metodo utilizzato dai costruttori per rifasare le lampade fluorescenti).

Questa è la soluzione migliore in quanto permette non solo di ridurre la potenza reattiva richiesta alla rete di alimentazione ma anche di migliorare lo sfruttamento dell'impianto, riducendone le correnti e conseguentemente anche le perdite e le cadute di tensione. E' una soluzione piuttosto costosa e risulta solitamente conveniente solo per grossi carichi concentrati. Si preferisce quindi effettuare un rifasamento distribuito per gruppi o per settori dell'impianto.

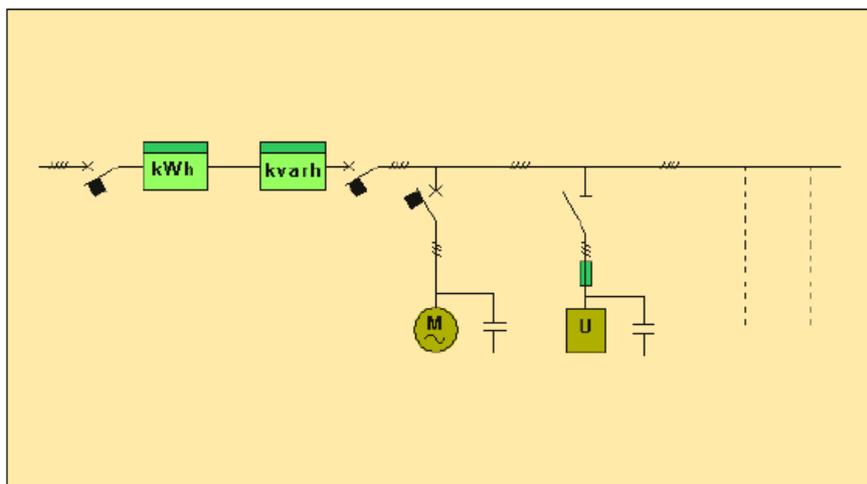


Fig 5-4 Rifasamento distribuito

Nell'appendice A (figura 4) è rappresentata una schematizzazione di un'applicazione industriale con schema unifilare dove in tratteggio è evidenziato il percorso della potenza reattiva messa in gioco dal condensatore:

2) rifasamento parziale (o per gruppi)

Il rifasamento parziale viene realizzato quando sono individuati gruppi di utilizzatori che presentano caratteristiche di funzionamento omogenee e che sono installati sotto lo stesso quadro.

Il rifasamento consiste nell'installare una batteria di condensatori nello stesso quadro da cui sono alimentati il gruppo di utilizzatori da rifasare.

La batteria di condensatori è provvista di un proprio dispositivo di manovra e protezione ed avrà un potenza reattiva calcolata in base alla potenza assorbita dal gruppo, tenendo conto del fattore di contemporaneità e di utilizzazione.

Gli svantaggi:

- solo una parte delle linee dell'impianto trae vantaggio del rifasamento;
- se il gruppo di utilizzatori non è in funzione, si introduce una potenza reattiva capacitiva sulla linea del fornitore di energia; questo rischio si elimina installando batterie di condensatori a rifasamento automatico;
- la batteria dei condensatori necessita di un proprio dispositivo di protezione.

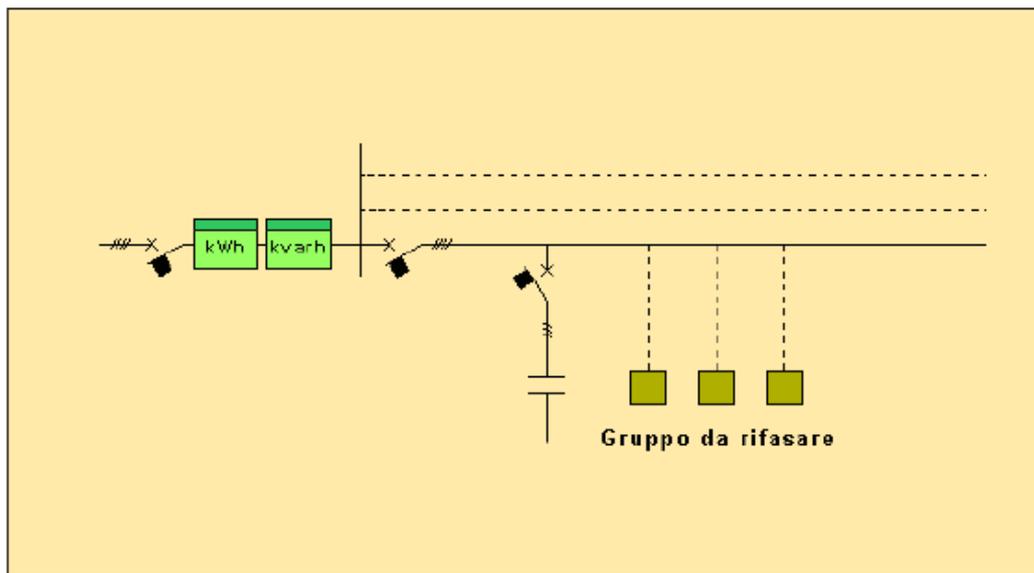


Fig 5-5 Rifasamento per gruppi

Anche in questo caso, in appendice B (figura 5) viene messo in evidenza il percorso ciclico della potenza reattiva per diversi quadri di distribuzione:

3) rifasamento centralizzato a potenza costante

Il rifasamento centralizzato è il metodo in assoluto più economico e consiste nell'installare un'unica batteria di condensatori a monte di tutto l'impianto. Può essere considerato l'opposto del rifasamento distribuito in quanto non determina uno sfruttamento ottimale dell'impianto.

E' senz'altro il sistema migliore se installato in impianti in cui si ha un assorbimento pressoché costante di potenza reattiva.

Esso consiste nell'installare un'unica batteria di condensatori a monte di tutto l'impianto, immediatamente a valle dei gruppi di misura.

Questo tipo di rifasamento viene scelto, quando l'impianto ha un assorbimento di potenza e un fattore di sfasamento costante. La potenza della batteria dei condensatori viene stabilita in base alla media mensile della potenza reattiva assorbita dall'impianto. L'inserimento e il disinserimento della batteria avviene in modo manuale.

Gli svantaggi sono:

- il rifasamento non comporta alcun vantaggio sulle linee dell'impianto;
- le perdite per effetto Joule e le cadute di tensione non si riducono;
- anche in questo caso, se una parte degli utilizzatori non sono funzione, si introduce una potenza reattiva capacitiva sulla linea del fornitore di energia.

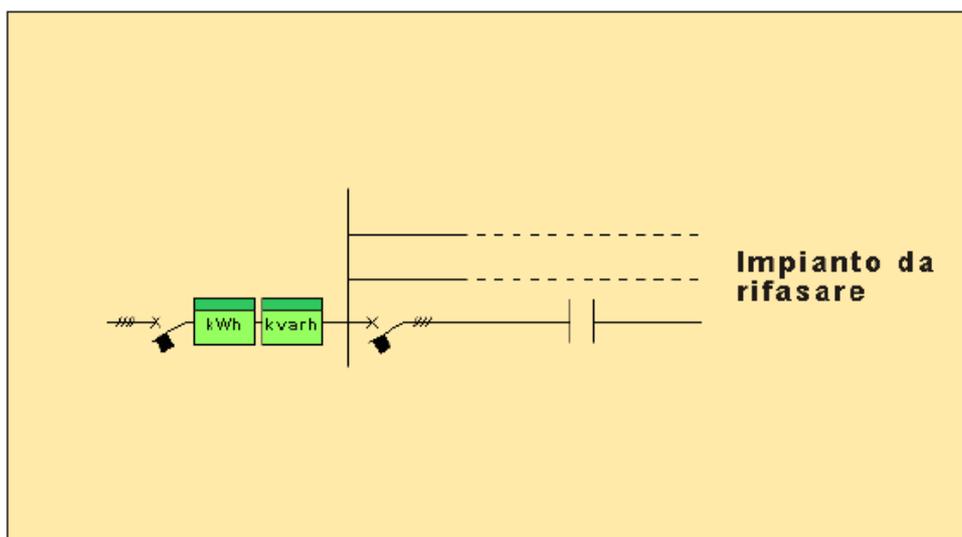


Fig 5-6 Rifasamento centralizzato

Nella specifica degli azionamenti è il metodo più utilizzato in quanto consente un controllo della potenza reattiva nel modo più semplice ed economico anche se è soggetto agli svantaggi sopra elencati.

In appendice C (figura 6) si mostra un esempio del percorso della potenza reattiva rifasante

4) Il rifasamento centralizzato automatico

Negli impianti in cui invece le condizioni di carico sono piuttosto variabili (si ricorda il divieto di abbassare il fattore di potenza al di sotto del valore 0,7 e la convenienza di mantenerlo al di sopra di 0,9, con potenze impegnate superiori a 15 kW, per evitare sovrapprezzi.

Anche il divieto per l'utente di erogare potenza reattiva verso la rete di fornitura è un ulteriore motivo che impone di controllare e regolare il rifasamento in funzione del carico che presenta durante il normale esercizio) vengono impiegati sistemi di rifasamento automatici che, per mezzo di un sistema di rilevamento di tipo varmetrico, permettono l'inserzione o la disinserzione automatica di diverse batterie di condensatori, seguendo in tal modo le variazioni della potenza reattiva assorbita e mantenendo costante il fattore di potenza dell'impianto.

Nello schema logico che segue è rappresentato il principio operativo dei quadri di rifasamento automatico: un opportuno dispositivo (relè di regolazione) confronta il valore desiderato del fattore di potenza a quelli effettivamente assunti dall'impianto durante l'esercizio.

In base allo scostamento rilevato comanda l'inserimento o il disinserimento, attraverso opportuni contattori, dei gruppi di condensatori (corrispondenti ai prefissati gradini di regolazione) necessari per mantenere il fattore di potenza al valore prefissato.

Il prelievo dei segnali, a monte del punto di installazione della batteria di condensatori, viene effettuato per il segnale amperometrico tramite un trasformatore di corrente (TA) posto su una delle tre fasi e mediante collegamento diretto, o mediante trasformatore di tensione (TV) sulle altre due fasi per il segnale voltmetrico.

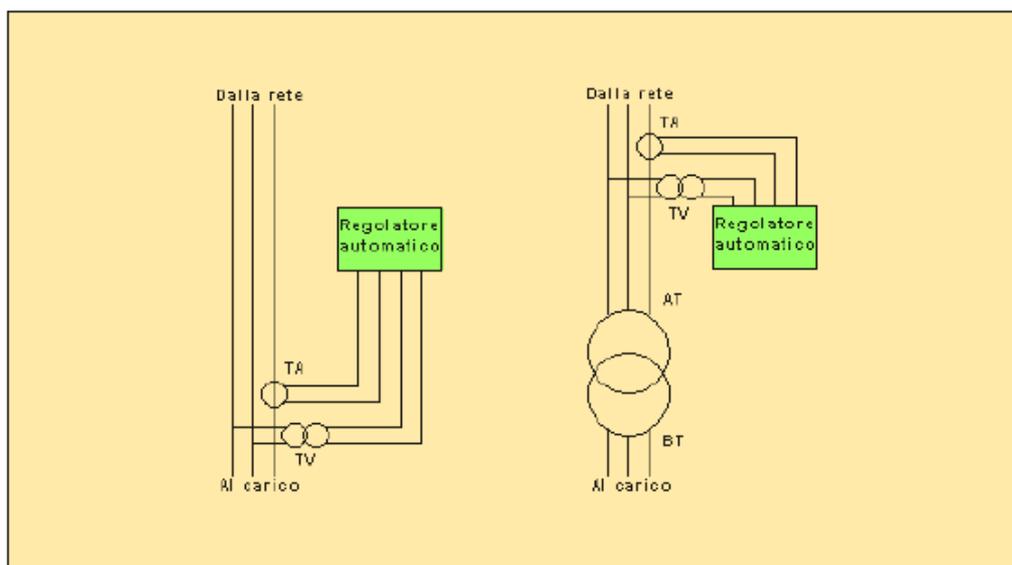


Fig 5-7 Schema di inserzione di un regolatore automatico

Adottando questo metodo perciò lo sfasamento dell'impianto si adatta, in modo continuo ed in modo automatico, al valore impostato. Gli svantaggi consistono in un costo maggiore dell'impianto di rifasamento rispetto ai precedenti.

Frazionamento delle batterie di condensatori

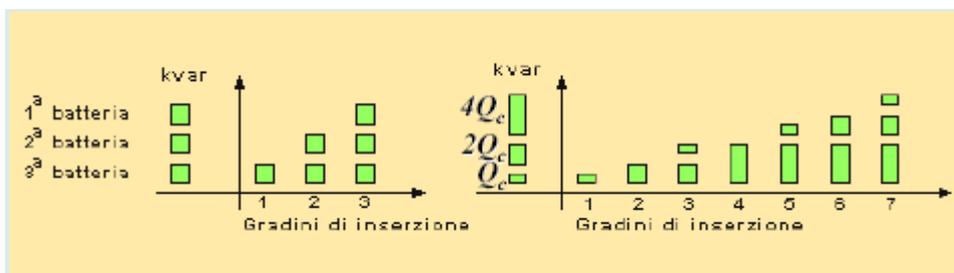
Per consentire un funzionamento senza pendolamenti (inserzione e disinserzione continua anche in presenza di piccoli carichi con basso fattore di potenza che potrebbero creare una situazione di instabilità con oscillazioni attorno a valori limite del fattore di potenza e provocare la rapida usura dei contatti e danni ai condensatori) nei regolatori più sofisticati vengono presi opportuni accorgimenti come tempi di risposta ritardati e intervalli di non intervento in funzione del valore della corrente nominale.

Al fine di fornire una potenza che sia la più vicina possibile a quella richiesta, l'inserzione dei condensatori avviene a gradini con una precisione di controllo che sarà tanto maggiore quanto numerosi saranno i gradini e quanto più piccola sarà la differenza tra l'uno e l'altro.

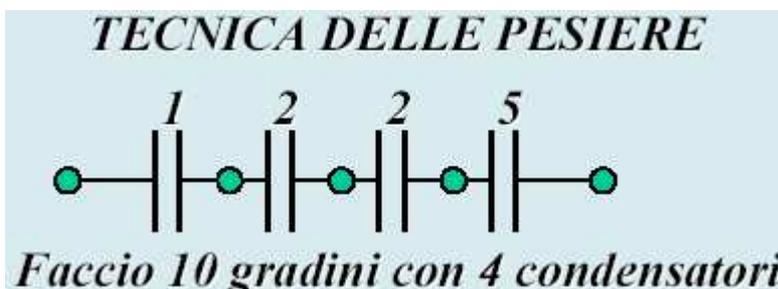
La potenza complessiva viene frazionata in un certo numero di batterie uguali oppure con potenza che segue la proporzione 1,2,4,8,... 2^{n-1} .

Nel primo caso il numero delle combinazioni è uguale al numero di batterie di condensatori mentre nel secondo caso il numero delle combinazioni è molto elevato ($2^n - 1$, essendo n il numero delle batterie di condensatori) permettendo una regolazione dell'energia reattiva più precisa.

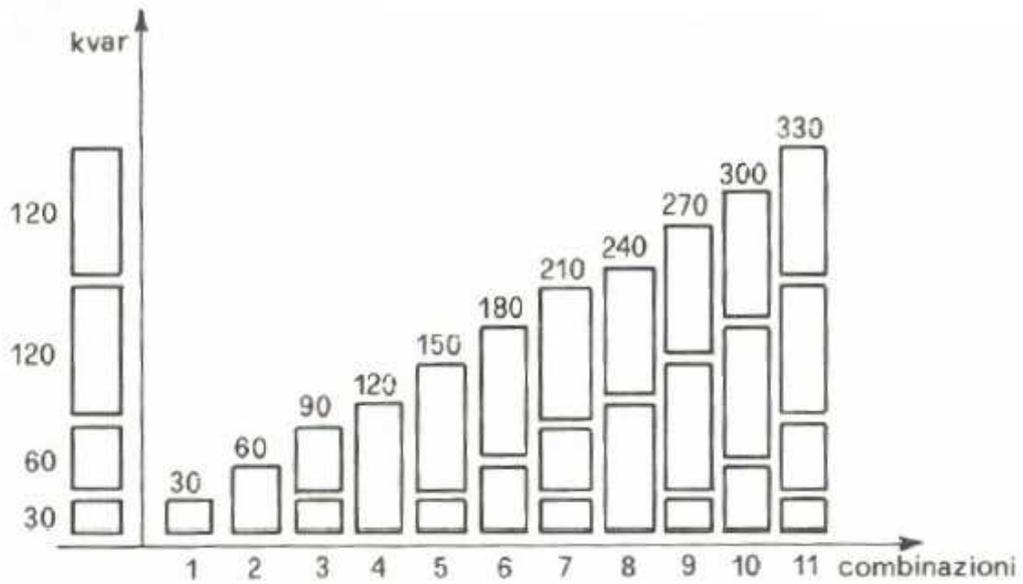
Se da un lato la regolazione risulta più precisa con questo secondo tipo di batterie è bene però ricordare che in questo caso esiste il problema, in fase di inserzione, della scarica di una batteria sull'altra essendo tanto più problematico quanto più le batterie sono di potenza diversa.



Numero di combinazioni
 $2^n - 1$
infatti con $n=3$
si hanno 7 combinazioni



Esempio per una batteria da 300Kvar



In appendice D (figura 7) si riporta lo schema unifilare del rifasamento automatico con le relative protezioni.

Qui di seguito viene chiarito meglio in uno schema a blocchi l'inserimento dei gradini delle batterie di condensatori

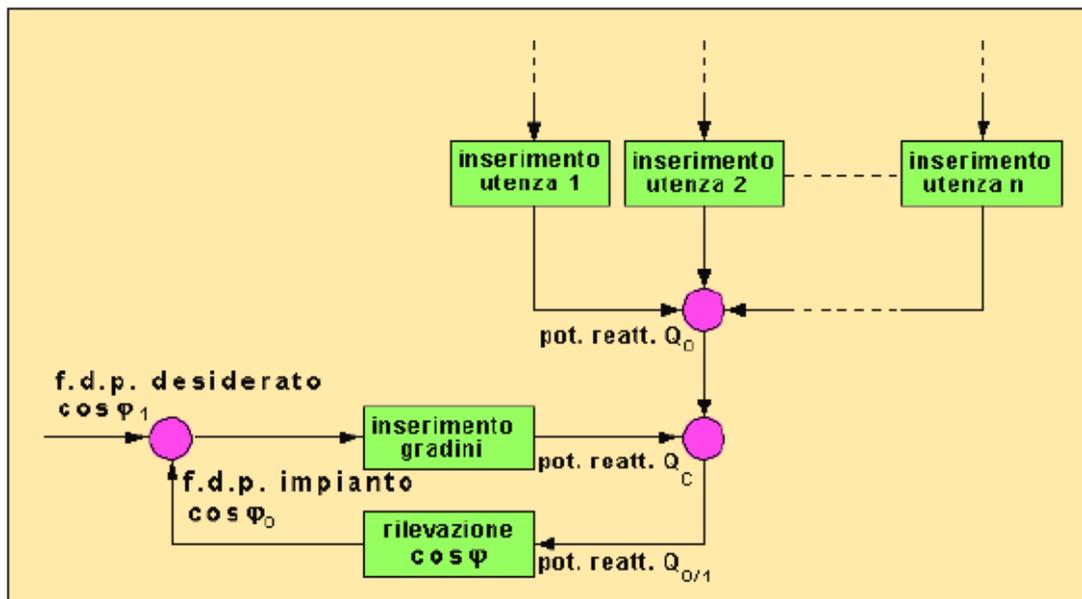


Fig 5-8 Schema logico di funzionamento dei quadri di rifasamento automatici

5) rifasamento misto

Esso consiste nel rifasare utilizzando tutti o parte dei metodi sopra descritti; ad esempio si possono rifasare una parte di utilizzatori di maggior potenza con il metodo del rifasamento distribuito, altri possono essere rifasati a gruppi e per i restanti utilizzatori si può installare a valle del gruppo di misura un sistema di rifasamento centralizzato automatico.

In appendice E (figura 8) viene riportato un esempio di rifasamento misto.

Problemi di inserzione e disinserzione batterie

I condensatori sono sensibili alle sovratensioni di manovra, alle sovracorrenti e agli shock termici; sono proprio le manovre che provocano l'eventuale "scoppio" ma essi sono appositamente costruiti per essere inseriti e disinseriti.

Valori delle correnti di inserzione:

-PER BATTERIE SINGOLE LA SOVRACORRENTE È DELL'ORDINE DI 10-30 VOLTE I_n

-LA FREQUENZA PROPRIA DEL TRANSITORIO COMPRESA TRA 300 E 1000 Hz

-PER BATTERIE FRAZIONATE LA SOVRACORRENTE È DELL'ORDINE DI 30-50 VOLTE I_n

Una possibile soluzione per ovviare a questi problemi è l'utilizzo di **induttanze limitatrici**.

Il rifasamento dei motori asincroni

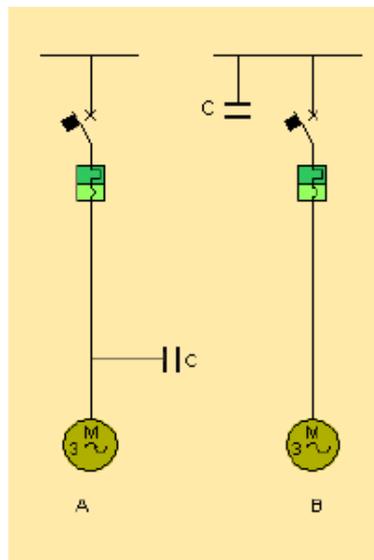


Fig 5-9 Modalità diverse di rifasamento motori asincroni

Nel caso A occorre assicurarsi che il motore non giri troppo a lungo per inerzia dopo l'interruzione dell'alimentazione potrebbe verificarsi una lenta scarica del condensatore ad esso collegato provocando il mantenimento di pericolosi valori di tensione (problema risolto introducendo le resistenze di scarica opportunamente dimensionate).

Ciò non si verifica nel caso B.

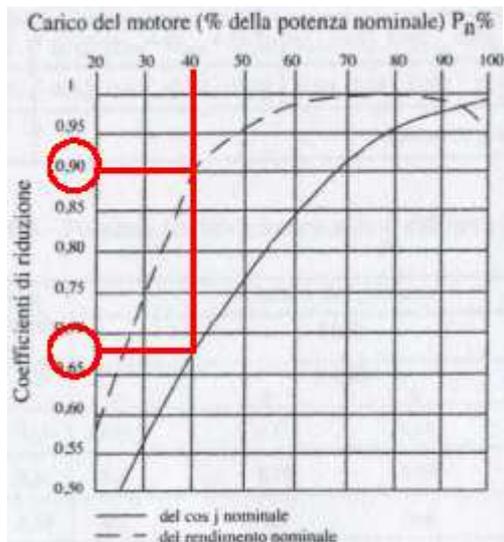
Il rifasamento dei motori asincroni trifase non può essere dimensionato con grande precisione perché il fattore di potenza è fortemente influenzato dalle condizioni di carico.

Fattore di potenza nominale dei motori in funzione della potenza nominale e del numero di poli

Potenza nominale		Numero di poli			
kW	HP	2	4	6	8
1,1	1,5	0,85	0,79	0,75	0,75
1,5	2	0,85	0,79	0,75	0,75
2,2	3	0,85	0,79	0,75	0,75
3	4	0,86	0,80	0,75	0,75
4	5,5	0,87	0,82	0,76	0,76
5,5	7,5	0,88	0,85	0,76	0,76
7,5	10	0,88	0,85	0,76	0,76
11	15	0,88	0,85	0,77	0,80
15	20	0,88	0,85	0,80	0,80
18,5	25	0,88	0,85	0,82	0,81
22	30	0,88	0,85	0,83	0,82
30	40	0,88	0,86	0,84	0,83
45	60	0,89	0,87	0,86	0,84
55	75	0,89	0,88	0,87	0,85
75	100	0,89	0,88	0,88	0,86
90	125	0,89	0,88	0,88	0,86
		cos ϕ			

Esempio: macchina asincrona da 11kW,
6 poli, carico 40% della Pn

dalla tabella $\cos\phi=0,77$



dal diagramma del rendimento sopra: $\eta=0.86$
 e dai coefficienti di riduzione: a $\cos\phi$ ho 0,67 ed al η corrisponde 0,90

quindi si hanno:

$$\begin{aligned} \cos\phi_i &= 0,77 \times 0,67 = 0,515 \\ \eta &= 0,86 \times 0,90 = 0,774 \\ P_{mecc} &= 11 \times 0,4 = 4,4 \text{ kW} \\ P_{ass} &= 4,4 / 0,774 = 5,68 \text{ kW} \end{aligned}$$

Quindi: $Q_{rifasante} = P_{ass}(1,66 - 0,3287) = 7,56 \text{ kvar}$

In modo più sbrigativo il valore del $\cos\phi$ può essere ricavato dalla seguente tabella:

Tab. 1.4.2 - Valori indicativi del fattore di potenza in funzione del carico nei motori asincroni tri fase con motore a gabbia.

Potenza nominale motore	Carico del motore (% della potenza nominale)															
	25%				50%				75%				100%			
	a. poli		a. poli		a. poli		a. poli		a. poli		a. poli		a. poli			
kW CV	2	4	6	8	2	4	6	8	2	4	6	8	2	4	6	8
0,1 0,13	0,35	0,30	0,28	0,27	0,55	0,46	0,43	0,42	0,68	0,57	0,53	0,52	0,74	0,62	0,58	0,57
0,25 0,34	0,38	0,33	0,31	0,29	0,59	0,51	0,48	0,45	0,73	0,62	0,58	0,56	0,80	0,68	0,64	0,61
0,5 0,68	0,39	0,35	0,32	0,31	0,61	0,54	0,50	0,48	0,75	0,67	0,61	0,59	0,82	0,73	0,67	0,65
1 1,36	0,40	0,36	0,34	0,32	0,62	0,56	0,52	0,50	0,77	0,70	0,64	0,61	0,84	0,76	0,70	0,67
2,5 3,40	0,41	0,38	0,35	0,34	0,63	0,59	0,55	0,52	0,78	0,72	0,68	0,64	0,85	0,79	0,74	0,70
5 6,80	0,41	0,39	0,36	0,35	0,64	0,60	0,56	0,53	0,79	0,74	0,70	0,67	0,86	0,81	0,76	0,73
10 13,6	0,42	0,39	0,37	0,36	0,64	0,61	0,58	0,56	0,80	0,75	0,71	0,70	0,87	0,82	0,78	0,75
25 34	0,42	0,40	0,38	0,37	0,65	0,62	0,59	0,58	0,81	0,77	0,72	0,71	0,88	0,84	0,79	0,78
50 68	0,42	0,41	0,38	0,38	0,65	0,63	0,59	0,59	0,81	0,78	0,73	0,72	0,88	0,85	0,80	0,79
100 136	0,43	0,41	0,39	0,38	0,66	0,64	0,60	0,59	0,82	0,79	0,74	0,73	0,89	0,86	0,81	0,80

e quello della potenza reattiva rifasante dalla:

Tab. 1.4.3 - Potenza reattiva necessaria a rifasare a $\cos\phi$ 0,9.

Potenza nominale motore		Carico del motore				Carico del motore			
		50%				75%			
		n. poli				n. poli			
kW	CV	2	4	6	8	2	4	6	8
0,1	0,17	0,08	0,13	0,16	0,27	0,07	0,12	0,15	0,25
0,25	0,34	0,17	0,24	0,29	0,50	0,12	0,22	0,28	0,45
0,5	0,68	0,3	0,4	0,48	0,82	0,2	0,33	0,41	0,66
1	1,26	1,1	1,3	1,5	1,8	0,34	0,53	0,67	1,05
2,5	3,40	1,2	1,4	1,8	1,9	0,74	1,1	1,34	2,04
5	6,80	2,3	2,6	3	3,3	1,3	1,9	2,3	3,6
10	13,6	4,4	4,9	5,5	6	2,3	3,4	4,3	6,6
25	34	10	12	13	14	5,1	7,2	10	15
50	68	20	22	25	28	10	13	16	24
100	136	38	41	46	51	18	24	29	42
Fattore di potenza									

5.3 Il problema delle armoniche nel rifasamento

Le armoniche provocano i seguenti problemi:

1-nelle macchine rotanti si ha l'insorgere di coppie parassite, che danno luogo a vibrazioni, e l'aumento delle perdite che provoca riscaldamento indesiderati;

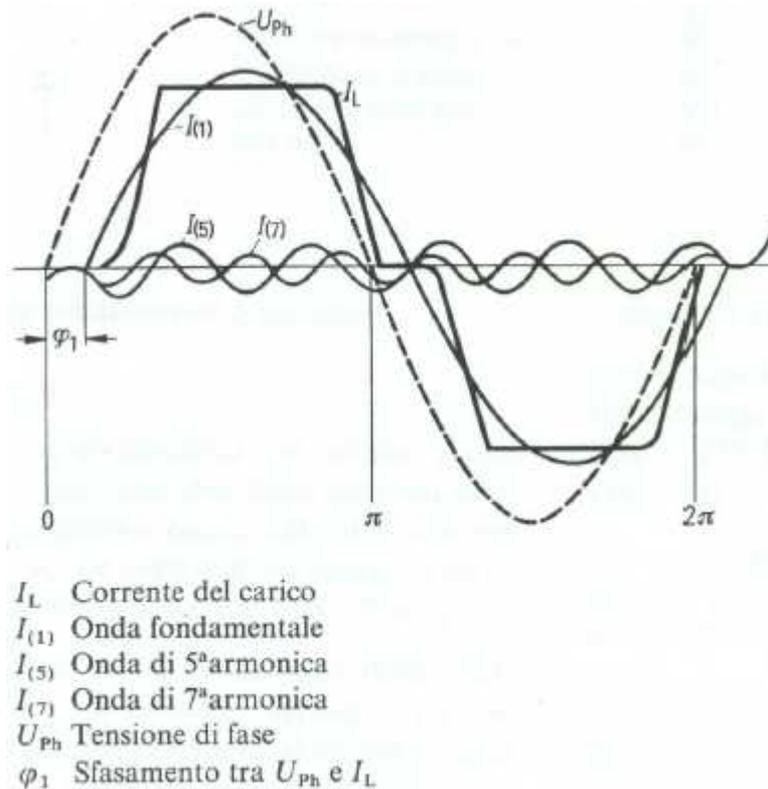
2-nei trasformatori causano l'aumento delle perdite nel rame e nel ferro e l'eventuale presenza di componenti continue di tensione o corrente può comportare la saturazione del nucleo;

3-i condensatori ne risentono dal punto di vista del riscaldamento e dell'aumento della tensione (che provocano una riduzione della vita media).

Le armoniche sono prodotte da carichi cosiddetti non lineari e cioè:

- apparecchiature per ufficio (PC, fotocopiatrici, ecc.),
- lampade a scarica nei gas,
- UPS,
- motori comandati da convertitori statici,
- convertitori statici,
- forni ad arco.

Esempio convertitore statico con circuito ponte trifase a 6 impulsi con 5a e 7a armonica



Le ampiezze delle armoniche decrescono all'aumentare dell'ordine di armonica ad esempio:

$$\begin{aligned}
 I_{(5)} &= 0,25I_n \\
 I_{(7)} &= 0,13I_n \\
 I_{(11)} &= 0,09I_n \\
 I_{(13)} &= 0,07I_n
 \end{aligned}$$

La connessione in serie di un'induttanza a una capacità comporta valori di impedenza molto bassi in una certa gamma di frequenze, prossima quella di risonanza. Questo effetto è chiamato **risonanza serie**.

La connessione in parallelo di un'induttanza a capacità comporta valori di impedenza molto elevati in una certa gamma di frequenze, prossima quella di risonanza. Questo effetto è chiamato **risonanza parallelo**.

Una risonanza serie e/o una risonanza parallelo possono essere presenti nella stessa rete entro una vasta gamma di frequenze.

Se sorgenti di armoniche di tensione di corrente eccitano tali circuiti risonanti, può verificarsi una amplificazione delle tensioni delle correnti che può provocare disturbi, sovraccarichi e anche distruggere componenti di rete

Frequenza di risonanza

Un condensatore è in risonanza con una armonica se: $n = \sqrt{S/Q}$

Dove:

S = Potenza di cortocircuito (MVA) nel punto in cui il banco deve essere inserito;

Q = Potenza reattiva del banco in MVA;

n = è l'ordine dell'armonica cioè il rapporto tra l'armonica di risonanza (Hz) e la frequenza di rete (Hz)

Non è sufficiente che il valore di **n** non coincida con quello di un'armonica esistente per escludere il pericolo di risonanza, ma è sufficiente che le armoniche esistenti cadano dentro la curva di amplificazione perché si creino situazioni pericolose!

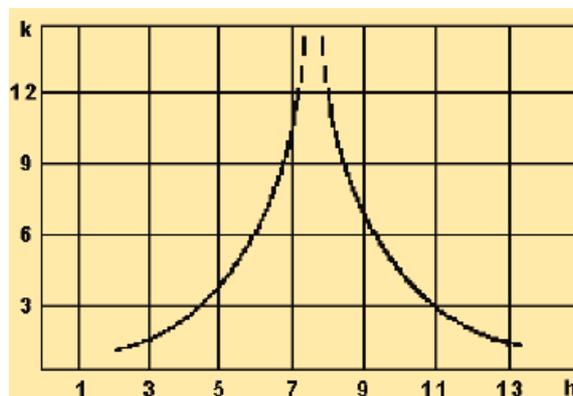


Fig 5-10 Coefficiente di amplificazione k di armonica in funzione dell'ordine di armonica n

I condensatori sono estremamente sensibili a questo fenomeno in quanto la loro impedenza decresce proporzionalmente all'ordine delle armoniche presenti.

Se la frequenza di risonanza dell'insieme condensatore-rete è prossima alle frequenze delle armoniche presenti in rete, tali armoniche verranno amplificate e si potranno verificare sovratensioni.

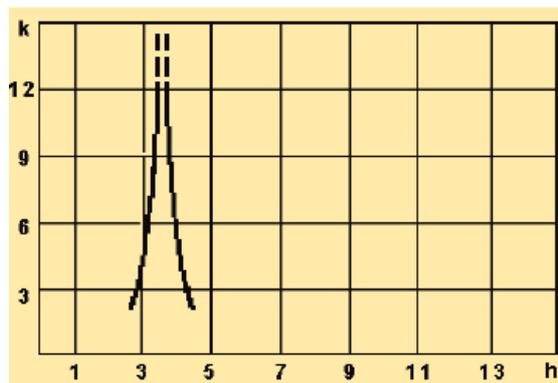


Fig 5-11 Effetto del reattore di sbarramento sul coefficiente di amplificazione di armonica

La soluzione a queste problematiche sarà l'impiego di **filtri di sbarramento** (detuned filter o filtri non accordati) ottenibile ponendo in serie ai condensatori delle reattanze che, spostando la frequenza di risonanza dell'impianto al di sotto dell'armonica più bassa esistente, sono in grado di proteggere i condensatori e, nel contempo, di evitare risonanze pericolose.

Vediamo ora le **reattanze filtranti** (tuned filter).

Se non esiste nessuna possibilità, mediante la scelta di un adeguato schema del convertitore, di mantenere relativamente piccole o di eliminare completamente le armoniche, queste possono essere quasi totalmente assorbite da un circuito filtrante evitando che vengano immesse in rete.

I circuiti filtranti sono "circuiti risonanti in serie" costituiti da induttanze e condensatori che a differenza dei condensatori previsti con reattanza di sbarramento sono proprio accordati esattamente frequenza delle correnti di armonica e frequenza delle correnti di armonica e che per questo rappresentano per detta frequenza un'impedenza approssimativamente nulla.

Può essere assorbito fino al 90% dell'armonica stessa!

Aumento di tensione

Il collegamento di un condensatore di rifasamento determina un aumento permanente di tensione dato dalla seguente espressione:

$$\Delta U/U \approx Q/S$$

Dove:

ΔU è l'aumento di tensione in Volt;

U è la tensione prima del collegamento del condensatore in Volt.

Sovratensioni ammissibili per i condensatori di rifasamento:

- | | |
|------------------|----------------------------------|
| -Sovratensione % | +10% con durata massima 8ore; |
| -Sovratensione % | +15% con durata massima 0,5ore; |
| -Sovratensione % | +20% con durata massima 5minuti; |
| -Sovratensione % | +30% con durata massima 1minuto; |

Criteria di installazione e manutenzione

I condensatori soffrono soprattutto sovratemperature causate da non adeguata ventilazione o da irraggiamento solare. Per questo motivo il locale in cui installare i condensatori deve essere ubicato in luogo fresco e ben ventilato con una distanza fra i vari elementi e dal pavimento non inferiore ai 3-4 cm.

Quando questo non è possibile (installazione all'interno di quadri) si può aumentare la tensione nominale della batteria del 20-30% ottenendo in tal modo una minore potenza specifica e di conseguenza una diminuzione della temperatura.

Periodicamente si devono pulire gli isolatori ed è utile il controllo periodico della temperatura delle custodie dei condensatori.

La verifica ad intervalli regolari della potenza assorbita dal condensatore e dalla batteria permette di accertare, se la potenza assorbita è inferiore a quella nominale, l'eventuale danneggiamento del dielettrico.

Per motivi di sicurezza delle persone i morsetti dei condensatori devono essere collegati in cortocircuito tra loro e la terra quando si devono praticare operazioni di manutenzione.

Norme di riferimento

Per quanto riguarda le caratteristiche generali, le prestazioni e le prescrizioni per la sicurezza bisogna fare riferimento alle seguenti norme:

Norma CEI 33-9 (del 1997):

Condensatori statici di rifasamento di tipo autorigenerabile per impianti di energia a c.a. con tensione nominale inferiore o uguale a 1000 V.

Parte I:

generalità, prestazioni, prove e valori nominali;
prescrizioni per la sicurezza;
guida per l'installazione e la sicurezza;
guida per l'installazione e l'esercizio.

Norma CEI 33-8 (1997):

come sopra ma riferita a condensatori di rifasamento di tipo non autorigenerabile.

Altre Norme complementari riguardano:

-fusibili interni (CEI 33-1);
-prove di invecchiamento (CEI 33-11);
-prove di autorigenerazione (CEI 33-10).

Esempio penali

Rifasamento industriale per impianti trifase con potenza di fornitura e di contratto superiori a 15 kW		
E = Energia attiva consumata base mese in kWh, misurata dal relativo contatore		
EQ = Ene. reattiva scambiata dall'utenza e misurata dal contatore, base mese in kvarh		
Condizioni:	$EQ \leq 0,5 * E$	nessun addebito
	$0,5 * E < EQ \leq 0,75 * E$	E add = $EQ - 0,5 * E$ al prezzo $c1=0,08$ €/kWh
	$0,75 * E < EQ \leq E$	E add = $EQ - 0,5 * E$ al prezzo $c2=0,12$ €/kWh $c2 > c1$
	$EQ > E$	può imporre il rifasamento
<p>La prima condizione considera un angolo limite di 26 gradi, a cui corrisponde un $\cos \varphi = 0,89879$ L'ultima condizione si ha per $\cos \varphi < 0,7071$ e angoli maggiori di 45 gradi. nota: c1 e c2 elementi variabili</p>		

6. APPLICAZIONI DI AZIONAMENTI PER MACCHINE UTENSILI

Nel settore dell'automazione industriale esistono diverse applicazioni di altrettante diverse macchine utensili che permettono le più svariate lavorazioni del prodotto che viene inserito nel ciclo produttivo delle macchine stesse.

La materia prima sottoposta ai vari processi produttivi aziendali della Breton è principalmente il marmo e molti altri minerali da esso derivati di diverse composizioni molecolari del minerale stesso; è pertanto opportuno adattare la lavorazione in modo da ottenere sì il prodotto finale desiderato ma soprattutto è importante adattarla in base alle caratteristiche della materia prima onde evitare imperfezioni (sbavature ecc..) o, nel peggiore dei casi, prodotti finiti con proprietà meccanico-fisiche diverse da quelle preposte e quindi potenzialmente pericolose se inserite nei luoghi di destinazione del prodotto.

Le principali lavorazioni delle macchine utensili impiegate sono:

- taglio;
- lucidatura;
- levigatura;
- calibratura

Ogni lavorazione esige un particolare azionamento di macchine utensili di caratteristiche ben precise perciò per ogni macchina che esegue un determinato lavoro vanno scelti i motori che riescono a dare i risultati migliori per quel tipo di processo.

La distinzione generale nella scelta del motore adeguato si fa tra:

- motori asincroni;
- motori sincroni.

L'impiego dei motori convenzionali

Per una prima valutazione della possibilità di ottenere un risparmio energetico durante il ciclo produttivo e della sua efficienza, è importante conoscere le principali applicazioni nell'ambito dell'automazione industriale della Breton dei cosiddetti motori convenzionali distinguendo:

- 1) motori sincroni per asse;
- 2) motori asincroni per mandrino.

Sistemi di raffreddamento

-Temperatura di funzionamento: da -15 °C fino a +40 °C

I dati fanno riferimento ad una temperatura ambiente massima di +40 °C e ad un sistema non isolato termicamente

-In caso di temperatura ambiente superiore ai +40 °C , è necessario considerare degli appropriati fattori di declassamento per i valori nominali di coppia-potenza

Raffreddamento naturale

Il calore generato dalle perdite di potenza viene dissipato mediante convezione naturale ed irraggiamento, quindi il motore deve essere correttamente montato per assicurare una adeguata dissipazione del calore.

Raffreddamento forzato

Il calore generato dalle perdite di potenza viene dissipato mediante ventilazione assistita.

Raffreddamento a liquido

Il calore generato dalle perdite di potenza viene dissipato mediante un liquido refrigerante (acqua, olio) che percorre un apposito circuito realizzato al di sopra dello statore del motore.

Utilizzando acqua come liquido refrigerante, questa deve essere mescolata con un additivo anticorrosione (max 25% sul volume totale della miscela).

Utilizzando altri tipi di liquidi refrigeranti, può rendersi necessaria una riduzione delle prestazioni del motore, in modo da non superare il suo limite termico.

Il liquido refrigerante deve essere filtrato ad un grado minimo di 100 mm. La temperatura di ingresso consigliata per il liquido refrigerante è pari a 25 °C (le prestazioni nominali dei motori sono riferite a questa condizione).

N.B.: per ridurre al minimo la possibilità di formazione di condensa, la temperatura di ingresso del liquido refrigerante (T_{in}) deve essere:

$$T_{in} \geq T_{ambiente} - 3^{\circ}\text{C}$$

Per applicazioni in ambienti particolarmente critici (umidità dell'aria molto elevata), la temperatura di ingresso del liquido refrigerante dovrebbe essere:

$$T_{in} \geq T_{ambiente} \leq 40^{\circ}\text{C}$$

Per valori superiori ai 40 °C, occorre considerare un declassamento delle prestazioni nominali del motore.

I vantaggi del raffreddamento a liquido visti in grafico sono:

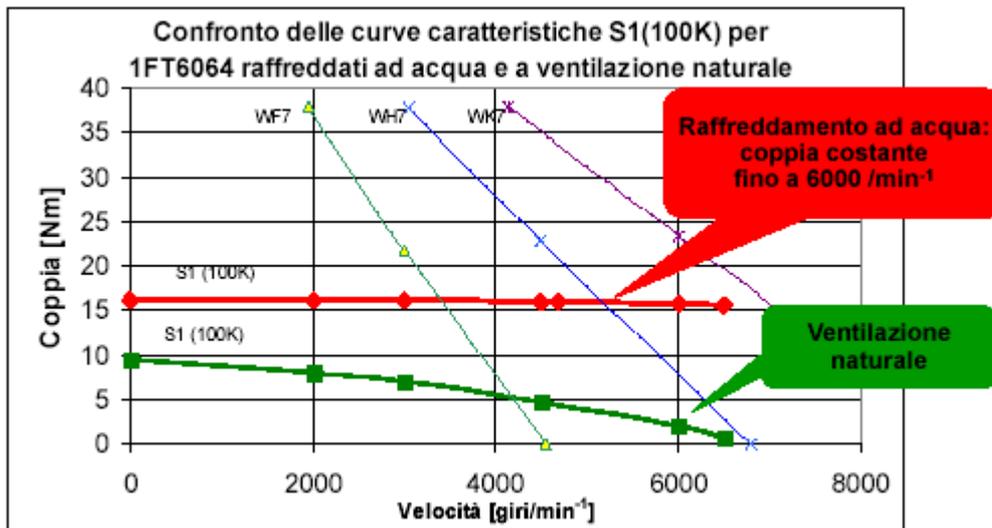


Fig 6-1 Confronto curve caratteristiche di sistemi di raffreddamento ad acqua e ventilazione naturale

cioè i benefici sono:

- maggiore potenza specifica;
- Coppia da fermo più elevata e coppia costante fino alla velocità nominale;
- Migliore dissipazione del calore (anche rispetto alla versione servoventilata) per montaggio in spazi ridotti.

L'impiego dei motori per azionamenti diretti

Azionamenti tradizionali:limiti tecnologici

La continua evoluzione delle macchine utensili ha fatto emergere i vincoli che limitano le prestazioni dei sistemi di azionamento tradizionali (attuatore connesso all'elemento da azionare in modo indiretto).

Le principali limitazioni sono:

- Scarsa rigidità e presenza di giochi e non linearità variabili che limitano l'efficienza dei sistemi di regolazione;

-Generazione di calore prodotto dagli attriti e dai precarichi, con conseguente caduta del rendimento della catena cinematica e insorgenza di fenomeni di dilatazione termica che si ripercuotono sulla precisione e sulla ripetibilità di lavorazione;

-Velocità massime limitate dalle velocità periferiche limite delle sfere, della chiocciola e degli altri componenti della trasmissione.

I motori per azionamenti diretti si possono suddividere in:

- 1)motori lineari;
- 2)motori torque;
- 3)motori sincroni per elettromandrino;

Per quanto riguarda il riscaldamento del rotore è notevole la differenza di temperatura che si genera, a parità di condizioni, tra i motori sincroni e asincroni; in grafico ciò è visto così:

Condizioni operative:

- identico volume delle parti attive;
- identica potenza fornita all'albero del mandrino.

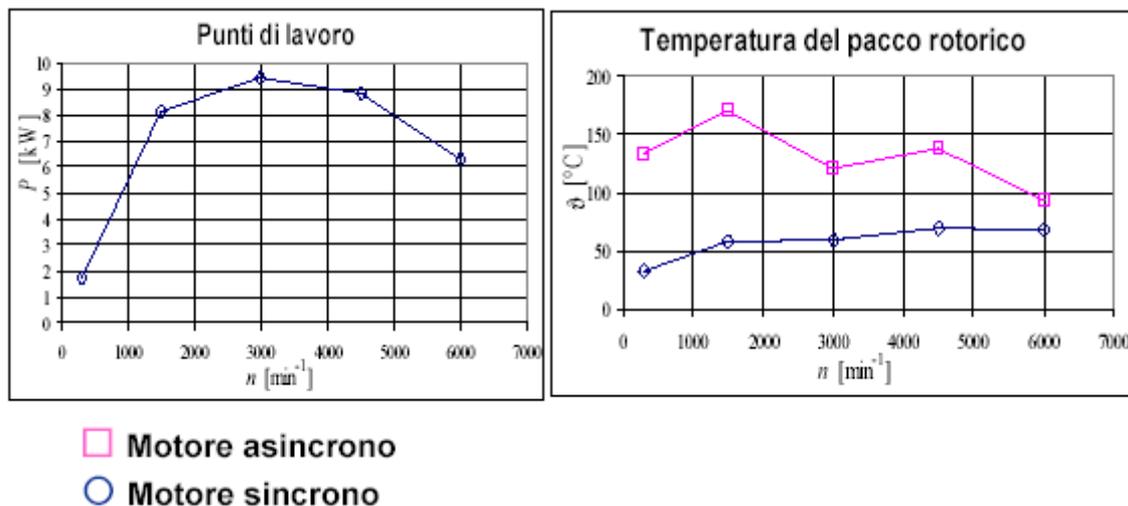


Fig 6-2 Grafici di alcune caratteristiche di funzionamento motori sincroni e asincroni

I vantaggi degli elettromandri con motore sincrono possono essere riassunti in questo diagramma:

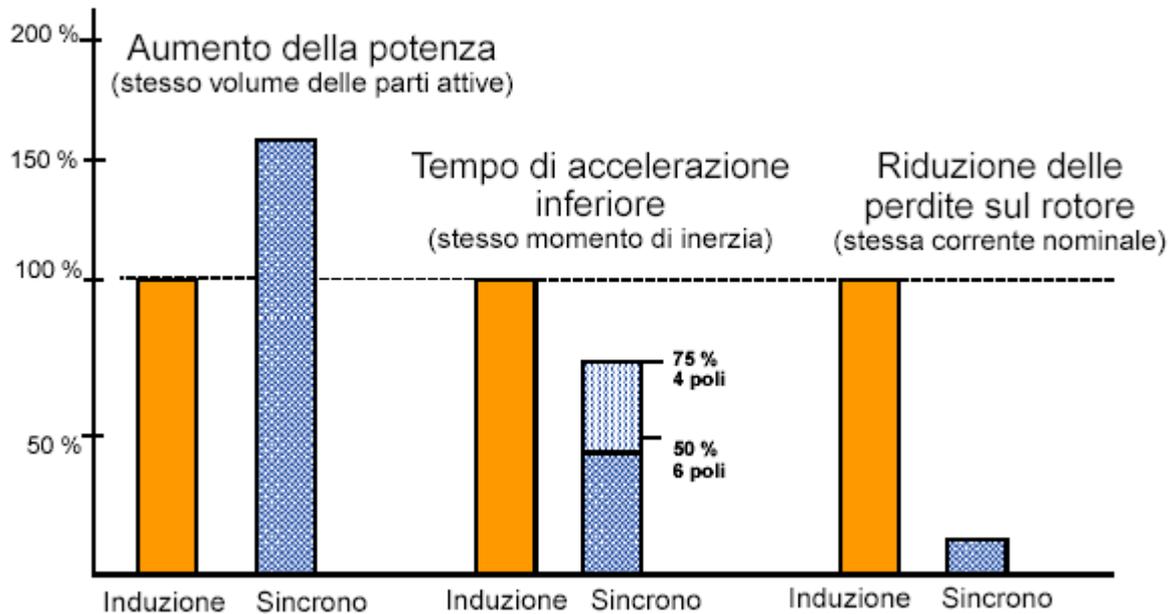


Fig 6-3 Diagramma differenze motori sincroni e asincroni mandrino

Concludendo, una comparazione generale tra motore sincrono e asincrono può essere sintetizzata valutando in diagramma la differenza delle perdite generate sotto forma di calore al variare della velocità. Qui sotto viene riportato quanto detto per la gamma dei motori FANUC:

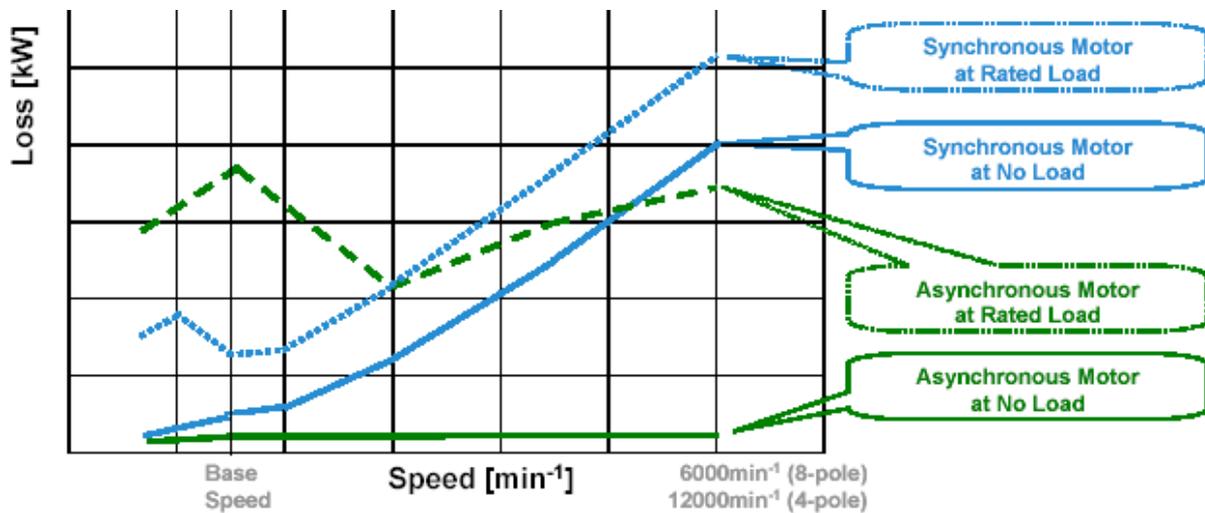


Fig 6-4 Grafico curve di perdita motore sincrono e asincrono in funzione della velocità

Dunque le curve blu evidenziano le perdite in kW del motore sincrono e più precisamente:

- linea continua: funzionamento a vuoto;
- linea tratteggiata: funzionamento a carico nominale.

Le curve verdi, invece sono quelle del motore asincrono e anche in questo caso:

- linea continua: funzionamento a vuoto;
 - linea tratteggiata: funzionamento a carico nominale.
- Il risultato di questa analisi è che:

Nel motore asincrono la potenza dissipata in calore è proporzionale al carico applicato all'albero.

Nel motore sincrono la potenza dissipata in calore non è proporzionale al carico applicato soprattutto a velocità elevate.

Perciò:

- Nel motore asincrono le perdite di potenza in calore che dipendono dalla velocità sono minime.
- Nel motore sincrono invece le perdite di potenza in calore dipendono fortemente dalla velocità.

Si conclude infine riassumendo i principali vantaggi, svantaggi ed applicazioni di entrambe le tipologie di motori:

MOTORE ASINCRONO:

- strutturalmente robusto, adatto negli impieghi ad velocità elevate;
- perdite di potenza in calore minime a velocità elevate;
- assemblaggio facile;
- buone prestazioni nelle operazioni di foratura;
- necessita di elevate potenze di alimentazione per operare;

MOTORE SINCRONO:

- design compatto che favorisce una bassa inerzia al rotore;
- fornisce coppie elevate anche a basse velocità;
- rotazione stabile alle basse velocità (non ha i problemi delle vibrazioni come l'asincrono);
- difficoltà di regolazione della velocità;
- adatto per impieghi di foratura e filettatura;
- elevata precisione nelle applicazioni in cui è impiegato.

7. MOTORI AD ELEVATA EFFICIENZA ENERGETICA

L'efficienza energetica non è più solamente un tema attuale ma anche una necessità sempre più pressante ma anche conveniente e possibile.

Tra i vari ambiti di intervento sia nelle industrie sia nel settore terziario, i motori elettrici ad alto rendimento e invertitori consentono i migliori benefici economici con i più rapidi tempi di rientro degli investimenti.

Come già detto nel 2007, i 27 Stati membri dell'Unione Europea hanno siglato un accordo che sanciva il loro impegno alla riduzione delle emissioni di gas serra di un 20% entro il 2020, rispetto ai valori registrati nel 1990. Si tratta di un obiettivo ambizioso, che raddoppia le riduzioni di emissioni già stabilite dal Protocollo di Kyoto per il 2012.

Nel 2006 Confindustria ha istituito una speciale task force con l'obiettivo di analizzare i potenziali risparmi ottenibili nelle varie aree di consumo ed evidenziare le migliori tecnologie disponibili per implementare piani di efficienza energetica, senza impattare sulla produttività industriale e senza introdurre oneri aggiuntivi per le imprese.

La situazione energetica italiana è infatti da anni tra le più critiche a livello europeo. La forte dipendenza dell'Italia dalle risorse straniere, in termini sia di energie primarie sia di energia elettrica, è tra le principali cause degli elevati prezzi dell'energia per i consumatori italiani, che si trovano a subire costanti incrementi di prezzo su valori già nettamente superiori a quelli delle corrispondenti realtà negli altri Paesi europei.

Il Ministero dello Sviluppo Economico ha presentato alla Comunità Europea un "Piano nazionale per l'efficienza energetica" nel quale, tra le iniziative nazionali avviate per promuovere l'efficienza energetica, si evidenzia l'incentivo istituito per migliorare l'efficienza dei motori elettrici, che assorbono circa il 40-45% dell'elettricità complessiva in Italia.

Iniziative della Commissione Europea nel campo dei motori elettrici

Lo sviluppo e la messa a disposizione di validi strumenti informativi, quali studi tecnici, banche dati, schemi di diagnostica e approfondimenti di mercato, insieme a chiare definizioni dei livelli prestazionali dei prodotti, sono stati considerati dalla Commissione Europea come le azioni più valide per abbattere queste barriere e operare una rapida trasformazione del mercato.

Pertanto la Commissione Europea fissò fra i suoi principali compiti:

- distinguere e definire, le tecnologie e processi efficienti da quelli obsoleti;
- promuovere l'introduzione e la diffusione sul mercato delle migliori tecnologie disponibili;
- sviluppare adeguati strumenti diagnostici, informativi e progettuali;
- informare, sensibilizzare i consumatori sull'esistenza delle migliori tecnologie (chiamate anche B.A.T. dall'inglese *Best Available Technologies*)

Motori ad alto rendimento

In particolare, nell'industria i motori elettrici assorbono quasi il 75% dell'energia elettrica totale attribuita al settore. Migliorando le caratteristiche tecnologiche dei motori stessi e le modalità secondo cui ne viene gestito il funzionamento si possono ottenere molteplici vantaggi, primo tra tutti i notevoli risparmi economici sulla bolletta dell'utente.

Le attuali tecnologie permettono di raggiungere elevati livelli di efficienza energetica principalmente attraverso due tipi di interventi, tra loro integrabili, potendo in tal modo accumularne i vantaggi: utilizzare nuovi motori ad alta efficienza e controllarne la velocità secondo le reali esigenze di ogni applicazione, evitando il funzionamento alla massima potenza quando non è richiesto.

Per ciò che riguarda i motori è importante notare che, grazie alle moderne tecnologie dei materiali e una più attenta progettazione in grado di ottimizzare le parti attive, è oggi possibile costruire motori di efficienza più elevata che in passato.

7.1 Classificazione dei motori efficienti

In Europa, dove non è ancora stata promulgata una legge che definisca degli standard minimi accettabili, esiste un accordo volontario (CEMEP) tra i più importanti produttori di motori in base al quale è stata definita una classificazione in tre diverse classi di efficienza: EFF1, EFF2, EFF3.

I motori EFF1 sono quelli a più alto rendimento e rappresentano, insieme ai convertitori di frequenza, un'importante soluzione per ridurre considerevolmente i consumi di energia rispetto alle soluzioni tradizionali: fino al 20% utilizzando motori EFF1 e fino al 60% controllandone la velocità mediante l'utilizzo di invertitori.

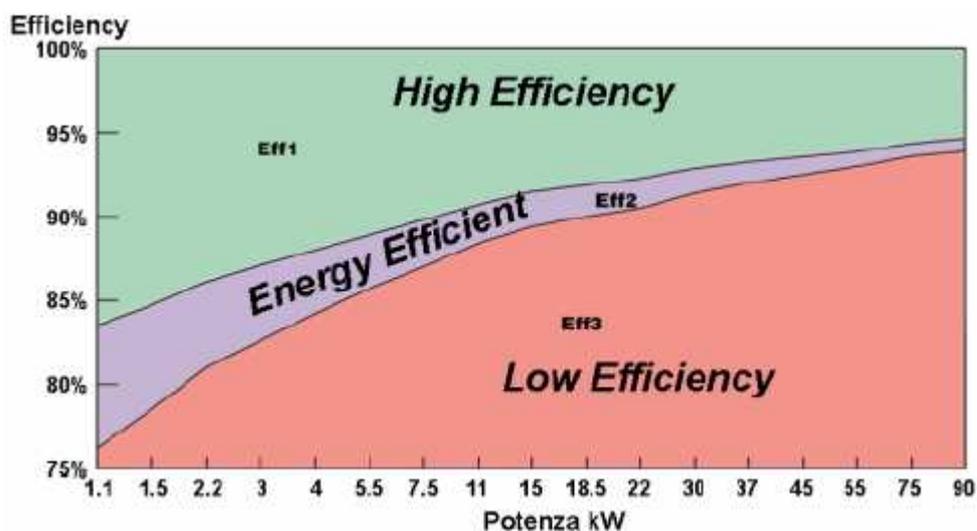


Fig 7-1 Livelli di efficienza definiti dall'accordo volontario CEMEP per motori elettrici

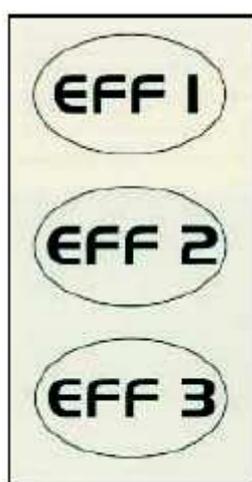
Come si può facilmente dedurre dal grafico, man mano che aumenta la potenza le differenze di rendimento tra le classi si assottigliano.

I motori ad alta efficienza EFF1, con tutti i vantaggi che comportano, sono, quindi, già pienamente disponibili sul mercato; però la loro diffusione, soprattutto in Italia, è ancora troppo ridotta. Si stima, infatti, che nel nostro Paese siano installati quasi 20 milioni di motori elettrici, di cui 9,5 milioni a 2 o 4 poli, di potenza compresa tra 1,1 e 90 kW; di questi, meno del 2% sono in classe EFF1, rispetto al 9% della media europea e a circa il 70% dei nuovi motori installati nei Paesi Scandinavi.

Il motivo di questa differenza rispetto ad altre realtà è dovuta principalmente alla consueta tendenza che privilegia l'attenzione verso il prezzo di acquisto rispetto ai vantaggi economici che si accumulano nei tempi immediatamente successivi. In altre parole al costo del ciclo di vita del motore.

I motori EFF1, con le loro caratteristiche tecnologiche più avanzate, costano, in effetti, in media il 20-30% in più rispetto agli equivalenti in classe EFF2, a parità di configurazione; ma è assolutamente riduttivo assumere questo aspetto come parametro di scelta, se si tiene conto che il costo di acquisto è solo l'1,3% del costo totale della vita del motore, mentre i costi correlati al consumo di energia possono superare il 98%. In quest'ottica, va da sé che i risparmi reali e più consistenti si possono ottenere durante il ciclo di vita del prodotto e non al momento dell'acquisto.

Ciò, oltretutto, vale sia in caso di acquisto di nuovi motori sia in caso di sostituzione di quelli esistenti.



In virtù di tale accordo ogni motore avrà la sua marcatura (il simbolo della marcatura è riportato nella figura) a dimostrazione della classe di efficienza alla quale appartiene.

Così, d'ora in poi, un industriale quando acquisterà un motore elettrico, scegliendo la classe di efficienza, avrà fatto una scelta ben precisa sui costi di esercizio.

Fig 7-2 Sigle efficienza motori

Distribuzione dei motori a seconda del tipo di applicazione

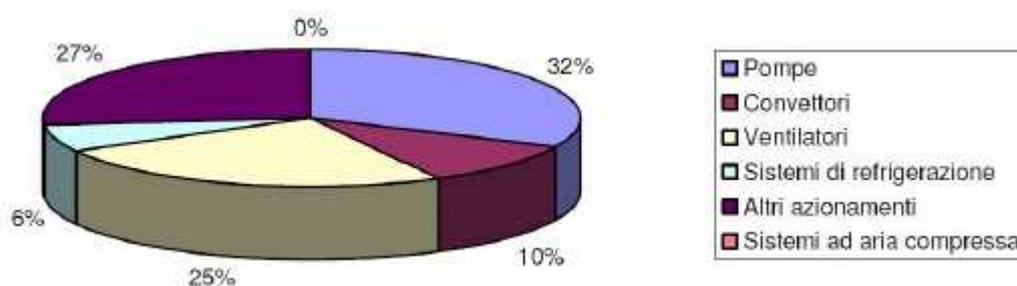


Fig 7-3 Percentuale delle applicazioni più diffuse dei motori elettrici

Le proprietà fondamentali che contraddistinguono i motori ad elevata efficienza rispetto a quelli tradizionali sono:

- Qualità dei materiali utilizzati:lamierini a bassa perdita ed elevata % di purezza del rame;
- Ottimizzazione del design:circuito elettromagnetico e spessore del lamierino;
- Precisione delle lavorazioni meccaniche:cave di statore e pressofusione del rotore;
- Scelta accurata dei componenti utilizzati:cuscinetti,guarnizioni,morsettiera.

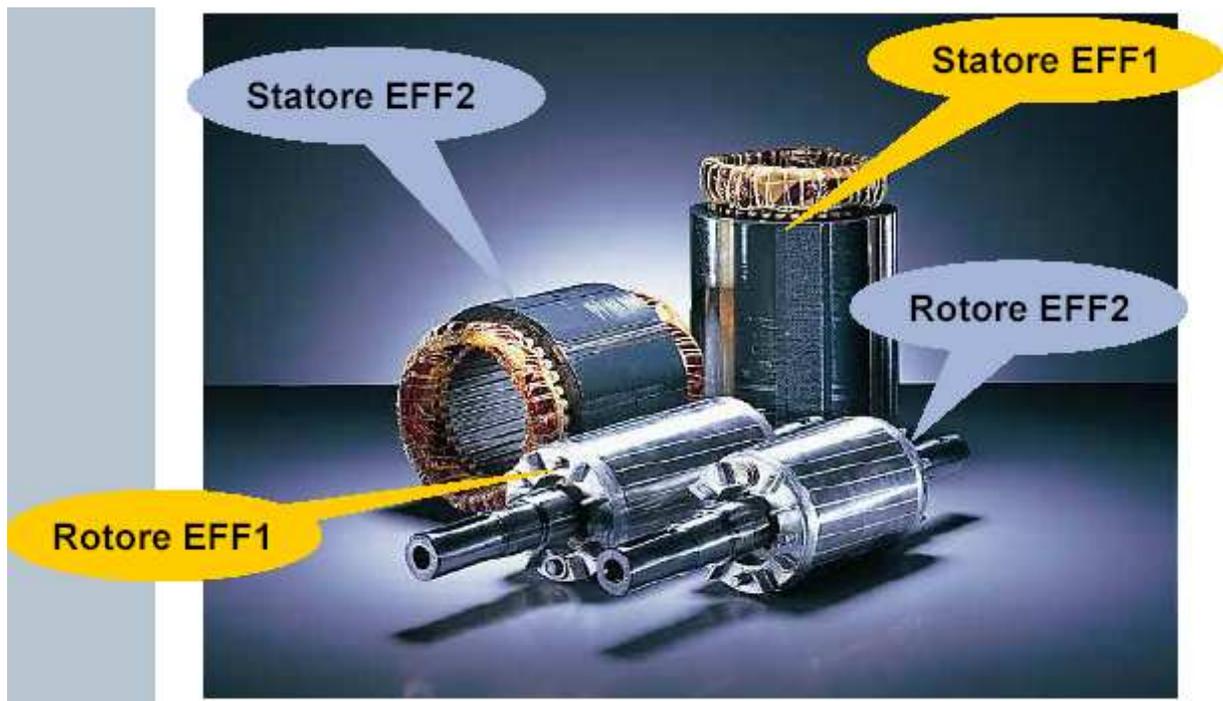


Fig 7-4 Vista dei componenti statore e rotore dei motori EFF1 ed EFF2

L'azione di classificazione dei motori fu sostenuta da un'altra importante azione parallela della Commissione Europea, volta alla creazione di un database europeo di tutti i motori elettrici.

Questa iniziativa portò negli anni fra il 1996 ed il 1999 alla creazione del software EURODEEM che raccoglieva in un unico sito i dati prestazionali dei motori presenti sul mercato europeo.

Questo permise per la prima volta il confronto fra i rendimenti dei motori dei vari produttori, consentendo ai responsabili della CEMEP e della Commissione Europea (C.E.) di pervenire alla definizione delle 3 classi di raggruppamento sopra definite per i motori elettrici ad induzione trifase a 2 poli e 4 poli con potenze nel campo fra 1,1 kW e 95 kW con alimentazione a 400 V e 50 Hz.

Dal 2011 ci sarà il cambio del metodo di misurazione delle perdite e quindi il cambio del metodo di classificazione dei motori ad elevata efficienza

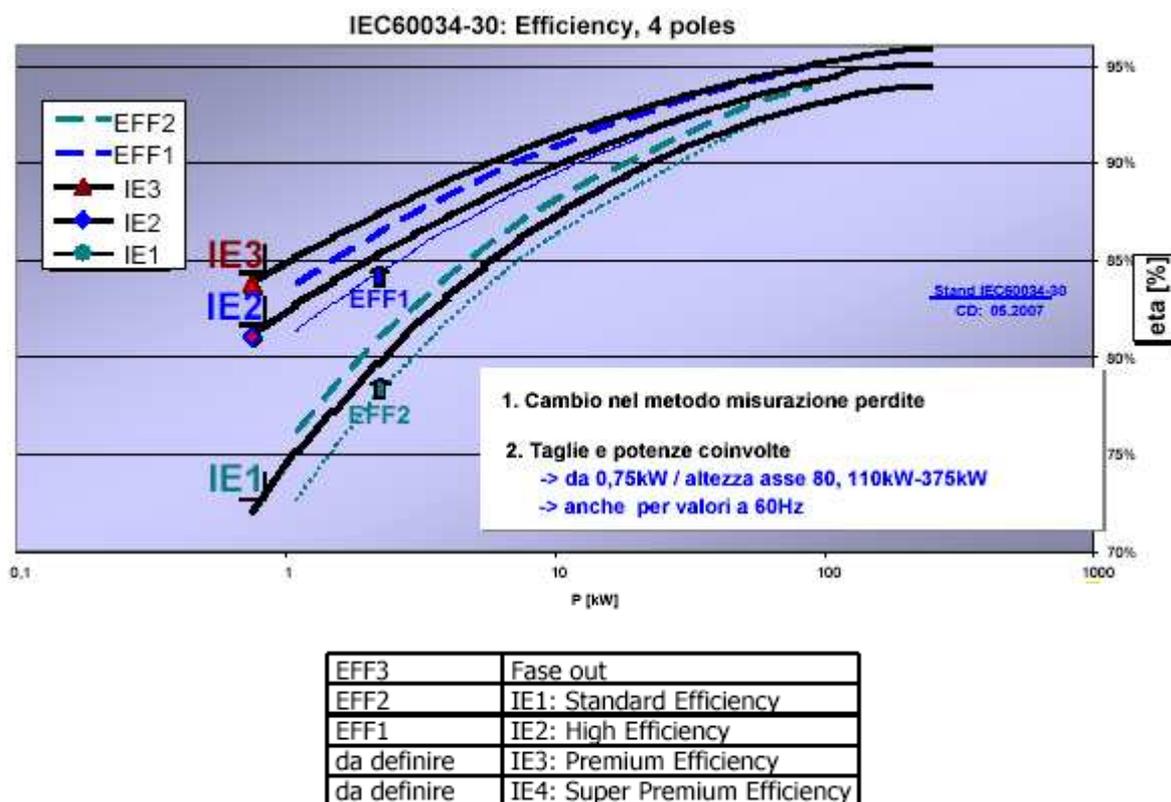


Fig 7-5 Curve efficienza motori elettrici futuri in progettazione

Uno degli aspetti più importanti della realizzazione futura di categorie di motori ancora più efficienti (già in fase di produzione la categoria di quelli IE3 ma in previsione una ancora migliore IE4) è la riduzione dei consumi energetici, quindi delle emissioni di CO₂ nell'ambiente delle centrali elettriche; ciò diventa di fondamentale importanza in particolare per le applicazioni che utilizzano pompe e compressori in quanto è richiesta una elevata efficienza del motore ed un controllo di velocità specifico.

La gamma di motori IE3 prodotti da YASKAWA è una classe che:

- riduce i consumi quindi le conseguenti emissioni di CO₂ nell'aria;
- rispetta i regolamenti approvati dalla commissione europea;
- ha una realizzazione di taglie di struttura compatta;
- ha un particolare design adatto per le applicazioni con coppie fortemente variabili.

Ovviamente la combinazione di questa classe di motori con l'invertitore costituisce un sistema di notevole efficienza nell'applicazione in cui il motore stesso è impiegato.

A conferma di quanto detto viene fornita la taglia dei motori IE3 o ECOiPM (in relazione alla loro potenza nominale) a confronto con la classe IE2 per un dato numero di giri (es 1450 rpm).

kW	IE3 (ECOiPM) 1450 rpm	IE2 (Induction motor) 1450 rpm
0.4	63A	71M4B
0.75	63B	80M4B
1.5	63B	100LA
2.2	71A	100L4A
3.7	80A	112M4A
5.5	90A	132S4A
5.5	90B	132M4A

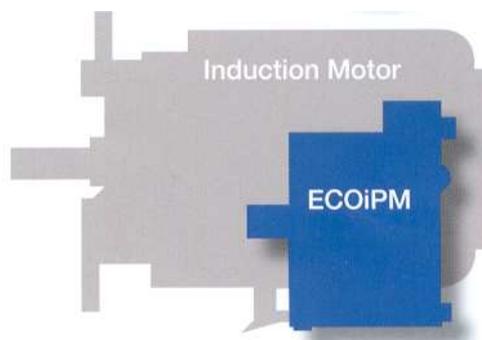


Fig 7-6 Tabella taglie commerciali motori IE3 e IE2 e volumi a confronto



Fig 7-7 Motore ECOiPM

Una semplice analisi del vantaggio offerto dall'uso di questa classe di motori si può effettuare ipotizzando: potenza in gioco 450W, 5000 ore lavorative annue con un costo di energia pari a 0,135€/kWh; si ottiene:

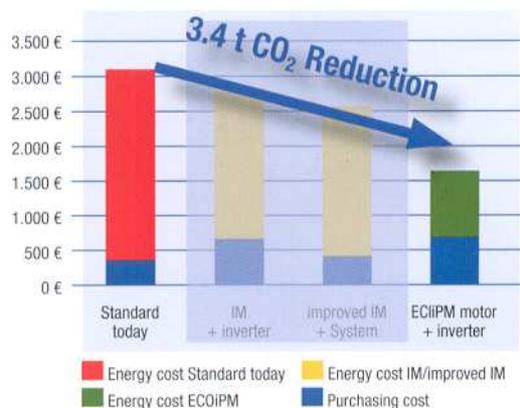


Fig 7-8 Diagramma che mostra la notevole riduzione di emissioni di CO2 grazie all'ECOiPM

7.2 Scelte dell'energy manager

La prima cosa da fare è un inventario di tutti i motori presenti nello stabilimento. L'inventario non dovrà limitarsi ad un semplice elenco di motori come può essere quello presente presso il magazzino ricambi o il reparto manutenzione. Esso dovrà contenere dati tecnici importanti quali: potenza, anno di installazione, rendimento, ore di funzionamento annue, fattore di carico, numero di avvolgimenti subiti, etc.

Tutti questi dati permetteranno di conoscere l'energia elettrica consumata dal motore nell'arco dell'anno, l'incidenza percentuale sui consumi dell'azienda, quali motori hanno consumi importanti e meritano attenzione.

Una volta completato l'inventario, il nostro scopo è verificare se e quando è conveniente utilizzare i motori ad alta efficienza. Per ogni motore dell'inventario simuliamo due alternative: la prima è che il motore si rompa, la seconda è che il motore anche se funzionante possa essere sostituito con uno ad alta efficienza.

Se il motore si rompe (rottura degli avvolgimenti statorici o rotorici) si hanno due possibilità:

- fare riavvolgere il motore, come usualmente fatto;
- sostituirlo.

Ma se si deve sostituire, sembra giusto farlo con uno ad alta efficienza, anche se costa un po' di più.

Prima di prendere qualsiasi decisione fare due conti. Possiamo, per esempio, calcolare il payback (ritorno dell'investimento in anni) e vedere se è compatibile con quello accettato dall'azienda. Se il payback è inferiore a quel valore acquisteremo il motore ad alta efficienza, in caso contrario porteremo il motore dal riparatore per farlo riavvolgere.

Una cosa importante da non dimenticare è che un motore riavvolto ha un rendimento inferiore rispetto a quello dello stesso motore nuovo. Questa diminuzione può variare dallo 0,5%, se il riavvolgimento è fatto bene, fino al 4%.

Per il calcolo si utilizzano un valore conservativo: 1%. Se è la seconda volta che effettuiamo il riavvolgimento, il declassamento del rendimento sarà del 2% e così via. Di questo se ne deve tenere conto nel calcolo.

Facciamo un esempio generico mettendo tutto in forma grafica in maniera da consentire di fare valutazioni in modo sicuramente più veloce e più comodo, anche se meno preciso (più avanti verrà proposto il caso relativo alla levibretton).

Vorrà dire che, se le indicazioni provenienti dal grafico sono interessanti, si potrà procedere con un calcolo puntuale.

Il grafico di figura successiva mostra il numero minimo di ore annue richieste per poter affermare che è meglio in caso di rottura sostituire il motore con uno ad alta efficienza piuttosto che riavvolgerlo.

È evidente che il grafico risente delle ipotesi assunte per un caso generico, ma l'obiettivo è quello di dare uno strumento operativo di valutazione immediato anche se meno preciso.

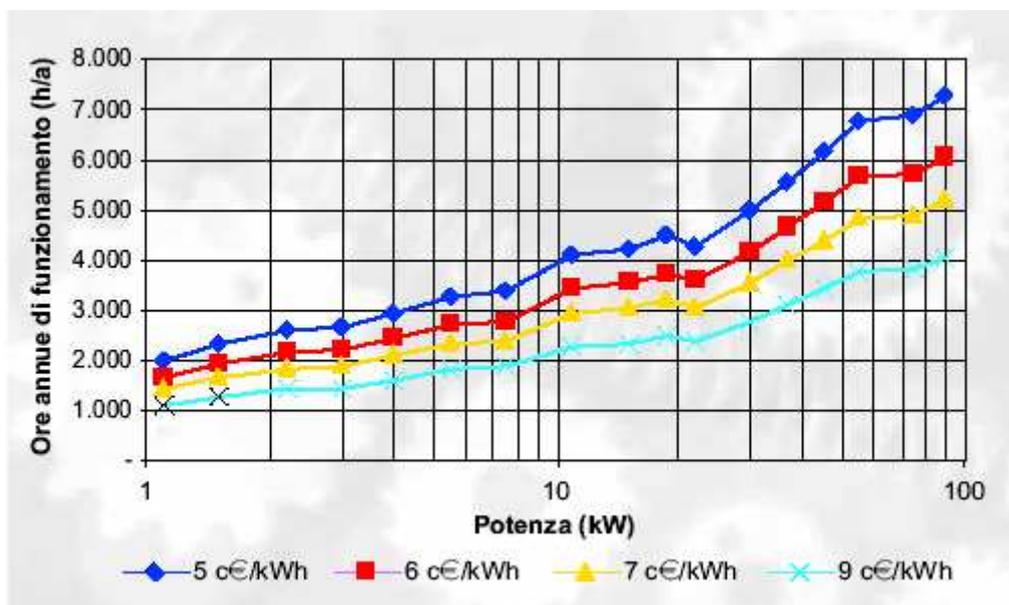


Fig 7-9 Convenienza sostituzione motore fuori uso con uno ad alta efficienza

Sull'asse orizzontale si individua la potenza del motore in questione.

Ci si muove in verticale fino ad incontrare la curva corrispondente al costo dell'energia elettrica; poi si traccia una retta orizzontale e si legge il numero minimo di ore che il motore deve lavorare in un anno perché sia conveniente effettuare l'acquisto di un motore ad efficienza eff1 anziché effettuare il riavvolgimento.

Come si potrà notare dal grafico, per i motori piccoli (sotto gli 11 kW) sono sufficienti poche migliaia di ore per rendere conveniente la sostituzione. Per i motori più grandi è necessario un maggior numero di ore.

Anche il costo dell'energia ha, come è ovvio, la sua grande influenza. Il grafico mostra che più questo è basso e più aumenta il numero di ore di lavoro minimo per la convenienza.

La scelta di sostituzione di un motore fuori uso può a sua volta suddividersi in tre sottocasi:

- 1) Sostituire con un motore nuovo in EFF1;
- 2) Sostituire con un motore nuovo in EFF2;
- 3) Riavvolgere il motore.

Caso1

Generalmente ciò conviene a partire da 2000 ore lavorative per anno; un motore ad alta efficienza può già essere una buona soluzione.

Vantaggi:

- +2% circa di rendimento;
- Il motore offre una riserva (fattore di servizio 1,15);
- Il motore scalda meno;
- I cuscinetti hanno maggiore durata;
- Meno manutenzione;
- Maggiori vantaggi nelle applicazioni con invertitore;
- Capacità a sopportare variazioni di tensione nell'alimentazione

Caso2

Conviene per periodi inferiori a 2000 ore lavorative per anno.

Ad esempio per gli attuatori, i motori ad EFF2 sono sufficienti.

Caso3

Per quanto riguarda il riavvolgimento dei motori guasti gli svantaggi sono:

- Perdita eccessiva di caratteristica e picco di consumo;
- 2% circa di rendimento / +4% circa di kWh / anno consumati;

Un intervento professionale di questo tipo si riassume in:

- Riavvolgimento;
- Sostituzione dei cuscinetti;
- Verifica dei bilanciamenti elettrici e meccanici;
- Prova al banco.

Si può anche vedere se conviene sostituire un motore funzionante con uno ad alta efficienza senza aspettare che questo si rompa.

Non si dovrà più considerare il decremento del rendimento dovuto al riavvolgimento, ma solo il rendimento del motore in uso.

A rigore dovremmo considerare a numeratore, nella formula di calcolo del payback, il costo del motore ad alta efficienza diminuito del valore economico del motore sostituito.

Possiamo però dire che non esiste un mercato esteso dei motori usati e quindi abbiamo considerato questo valore pari a zero. Certo, in questo caso le condizioni di convenienza sono più difficili a realizzarsi.

Come fatto precedentemente si riassumono i risultati nel grafico di figura sottostante:

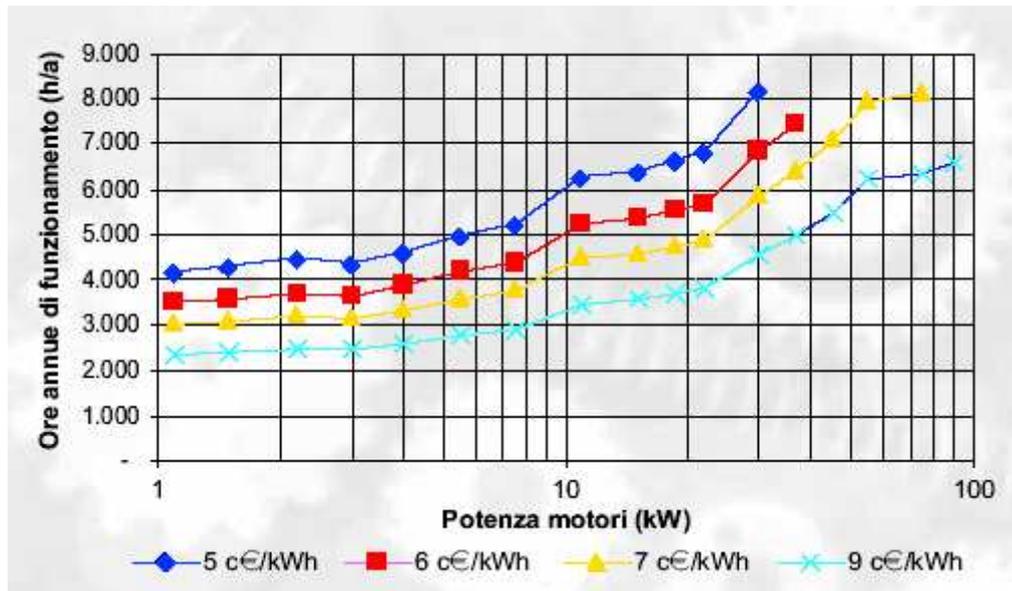


Fig 7-10 Convenienza sostituzione motore funzionante con motore ad alta efficienza

Nel caso di acquisto di un motore nuovo invece (scelta se acquistare un motore standard oppure uno ad alta efficienza), bisognerà fare alcune valutazioni sul payback.

Occorrerà fare la differenza di investimento tra motore ad alta efficienza e quello standard. Per il resto tutto rimane come nel caso precedente.

Anche in questo caso si riportano in grafico di figura successiva i risultati:

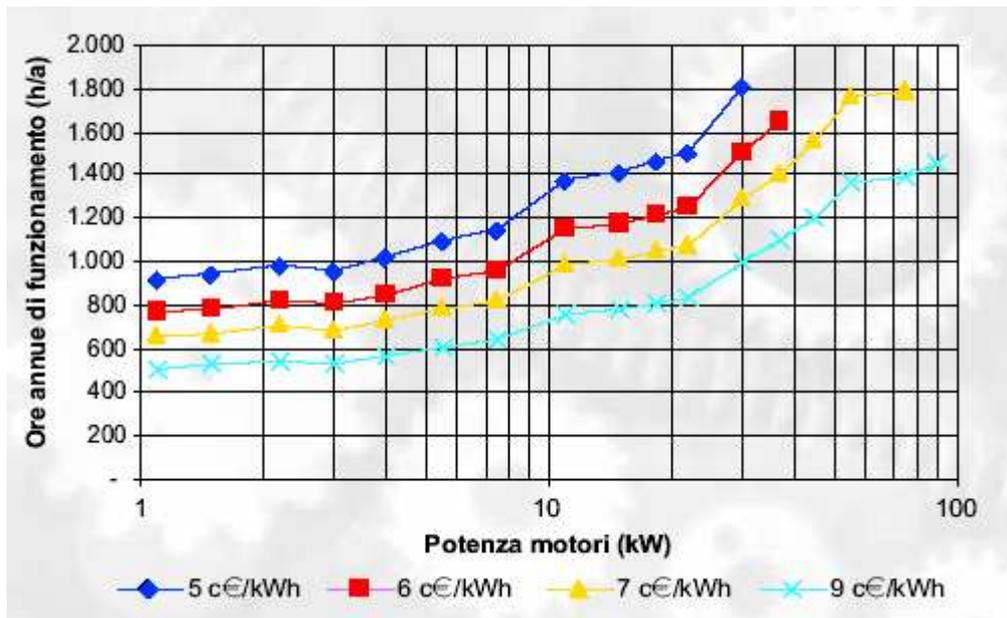


Fig 7-11 Convenienza acquisto motori nuovi ad alta efficienza

L'efficienza di un sistema è data, oltre che dall'utilizzo di motori ad alta efficienza, anche da altri fattori ognuno dei quali con un determinato 'peso' cioè:

- impiego di un motore ad alta efficienza 2 – 8%
- corretto dimensionamento 1 - 3%
- utilizzo di trasmissioni ad alta efficienza 2 -10%
- lubrificazione, messa a punto delle macchine 1 – 5%
- controllo della qualità della potenza fornita 1 – 3%
- utilizzo di variatori di velocità Inverter 10 - 40%

La restante percentuali dipende da sistema a sistema ed a volte è difficilmente quantificabile.

Valutazioni energetiche sugli invertitori

Si è detto che un altro intervento importante per conseguire un'elevata efficienza energetica è quello di evitare il funzionamento dei motori alla massima potenza quando non è richiesto dalle esigenze dell'impianto, controllandone la velocità mediante i convertitori di frequenza.

La loro applicazione risulta poi particolarmente favorevole, ad esempio, in sistemi come pompe, ventilatori e compressori, molto diffusi nell'industria ma anche in altri settori, quali i servizi idrici e gli impianti di climatizzazione degli edifici (riscaldamento, condizionamento, ventilazione ecc.) dove, ancora oggi, è fin troppo diffusa la consuetudine di mantenere i motori a velocità costante e gestire la portata con metodi di regolazione tradizionali e fortemente dissipativi come serrande, valvole di strozzamento o di bypass o regolazione on-off.

Esempio:

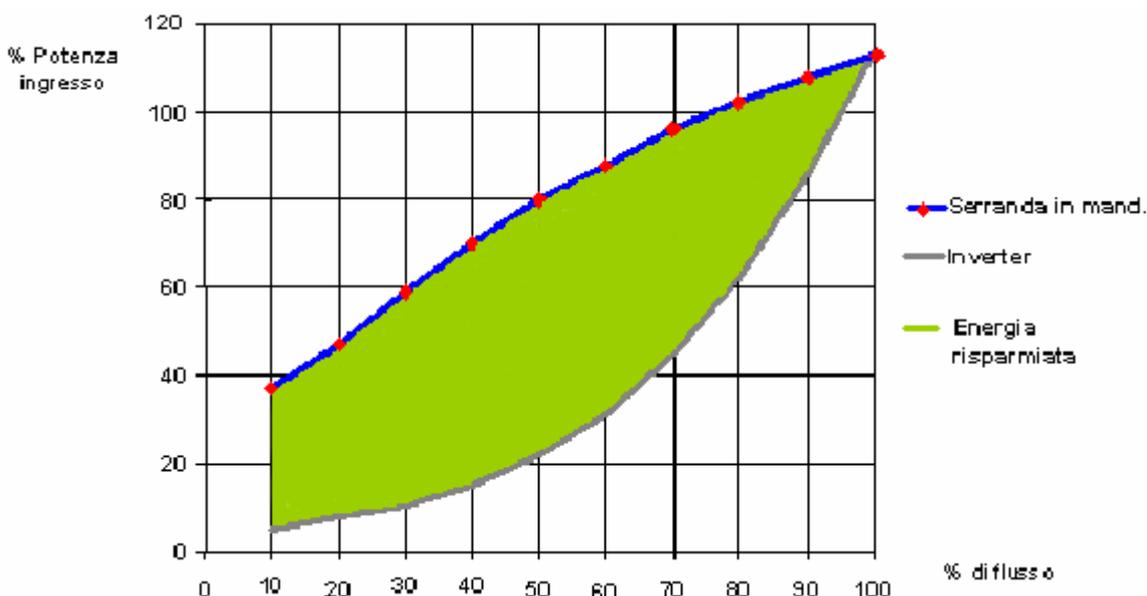


Fig 7-12 Consumo di un ventilatore al variare del flusso: confronto tra regolazione con invertitore e parzializzazione del flusso tramite serranda

Interporre un convertitore di frequenza tra la rete di alimentazione e il motore consente di regolare la portata del fluido (acqua o aria) variando direttamente il numero di giri della pompa o del ventilatore ed erogando solo la potenza realmente richiesta dal carico.

I risparmi ottenibili possono variare da un 20% a un 50% e oltre, nella media circa il 35% sul parco installato di pompe e ventilatori sotto i 90 kW. I corrispondenti investimenti si ripagano in un periodo variabile in funzione delle ore di funzionamento del macchinario, del costo dell'energia elettrica e del livello di parzializzazione necessario.

Sono assai comuni tempi di ritorno dell'investimento tra i 6 e i 18 mesi (più avanti verrà riportato il calcolo relativo alla Levibreton KFG 3000).

Gli invertitore consentono anche di elaborare la portata in funzione di un parametro specifico d'impianto, come per esempio la temperatura, la pressione o la fascia oraria; inoltre permettono di ridurre i costi di manutenzione, abbattere la rumorosità dell'impianto e rifasare il carico ad un valore di cosfi prossimo a 1 (tipicamente 0,98).

Seppur con una certa inerzia, gli utilizzatori stanno intraprendendo azioni per ottimizzare i propri consumi. Tra i possibili interventi, i motori elettrici ad alto rendimento e gli invertitore consentono di ottenere i migliori benefici con tempi di rientro degli investimenti estremamente brevi.

-L'introduzione di invertitore

Aggiungere un invertitore in sistemi tradizionalmente gestiti con sistemi elettromeccanici di regolazione del flusso genera normalmente dubbi negli operatori degli impianti. In realtà, gli invertitore aggiungono non solo un beneficio energetico ma anche un'ottimizzazione impiantistica, che risulta in una riduzione degli interventi manutentivi dell'intero sistema.

Inoltre, il fatto che gli invertitore introducano necessariamente disturbi armonici o in radiofrequenza (EMC) è ampiamente attenuato da opportuni filtri, in ingresso o in uscita dall'invertitore o addirittura già previsti di serie nelle versioni più robuste.

L'eventuale costo aggiuntivo è minimo e non sposta il tempo di rientro dell'investimento complessivo.

Lo stesso dicasi per eventuali particolari configurazioni della realizzazione, ad esempio elevato grado di protezione meccanica per l'installazione in ambienti ostili, quadri condizionati per temperature di funzionamento fuori standard, lunghe distanze tra gli invertitore e i motori.

Da non dimenticare sono i possibili risparmi energetici anche in sistemi di pompaggio o ventilazione oggi utilizzati a portata fissa: spesso infatti si tratta di impianti sovradimensionati, per i quali l'introduzione di inverter con una anche minima riduzione della velocità porta risparmi e conseguenti vantaggi economici tali da ripagare l'investimento in meno di un anno.

-Aspetti complessivi

Gli interventi di ottimizzazione con motori ad alto rendimento e invertitore sono generalmente molto semplici da realizzare, non sono invasivi perché difficilmente stravolgono la logica di funzionamento dell'impianto e non sono particolarmente impegnativi in quanto possono essere diluiti nel tempo.

In altre parole, con l'eventuale supporto dei fornitori o di esperti che conoscono i benefici di queste tecnologie, un imprenditore può individuare le applicazioni prioritarie e procedere con la graduale realizzazione degli interventi.

In questo modo i corrispondenti investimenti non gravano in maniera eccessiva sul bilancio dei costi aziendali, considerando anche che si tratta di investimenti con tempi di rientro estremamente brevi.

7.3 Strumenti di valutazione e diagnosi

EURODEEM

Come dianzi accennato, quasi contemporaneamente all'azione di classificazione la Commissione Europea aveva iniziato presso il Centro Comune di Ricerca ad Ispra lo sviluppo di una Banca Dati dei motori elettrici.

La necessità di questa banca dati si era da subito resa evidente non solo per poter procedere con una chiara base conoscitiva della realtà di mercato alla classificazione dei motori in funzione del loro rendimento, ma altresì per mettere a disposizione degli utilizzatori uno strumento assai utile per la ricerca e la scelta dei motori più efficienti. Infatti, causa la mancanza di un unico database dei motori, risultava per chiunque assai difficile dover ricercare presso i diversi produttori i migliori motori e soprattutto era quasi impossibile poterli rapidamente comparare con uno stesso algoritmo di calcolo.

Si decise perciò di sviluppare un database dei motori elettrici e si concordò di porre ambiziosi obiettivi per il nuovo software, chiamato EURODEEM (**European Database of Energy Efficient Motors**).

Esso doveva essere di generale accesso e di facile uso per tutti gli utilizzatori, servire non solo come semplice elenco dei motori esistenti, ma anche come strumento di supporto alla decisione e quindi di analisi e calcolo sulla base delle esigenze degli utilizzatori.

Nelle intenzioni degli sviluppatori doveva poi non solo essere limitato ai motori elettrici, ma anche estendersi ad altre componenti dei sistemi motore, quali la pompe, ventilatori, inverter, etc..



Fig 7-13 Logo EURODEEM

Analogamente a quanto avvenuto per la classificazione, lo sviluppo del database dei motori è avvenuto in collaborazione con la CEMEP.

Infatti, ogni progetto di sviluppo di database di prodotti industriali ha bisogno della collaborazione delle associazioni industriali del settore, in mancanza della quale è poi praticamente impossibile raccogliere i dati dei prodotti stessi.

Affinché il software fosse di generale accettazione da parte delle industrie, esso fu concepito in modo neutrale rispetto alle esigenze dei vari produttori ed utilizzatori.

Inoltre, onde promuovere la sensibilità e la comprensione del risparmio energetico, il database fu corredato di moduli di calcolo, di confronto prestazionale, di strumenti di diagnostica e d'analisi.

Il Programma Motor Challenge (MCP)

Anche questo programma lanciato dalla Commissione Europea è su base volontaria, indirizzato alle società industriali e del terziario per migliorare l'efficienza energetica dei loro azionamenti elettrici.



Fig 7-14 Logo Motor Challenge

Il potenziale di risparmio d'elettricità possibile al 2015 con misure economicamente convenienti nell'Unione Europea a 15 paesi è stato stimato intorno ai 90 TWh/a. Tale cifra ovviamente non è ottenibile con il semplice progresso tecnologico spontaneo, ma difficilmente potrà essere conseguito se non si avviano da subito incisive azioni che rendano gli utilizzatori più consapevoli delle opportunità di risparmio economico conseguibili dall'ammodernamento dei sistemi azionati dai motori elettrici.

La necessità di migliorare questi sistemi non è solo dettata da motivi di protezione ambientale, ma anche dall'urgenza di migliorare la competitività dell'industria europea.

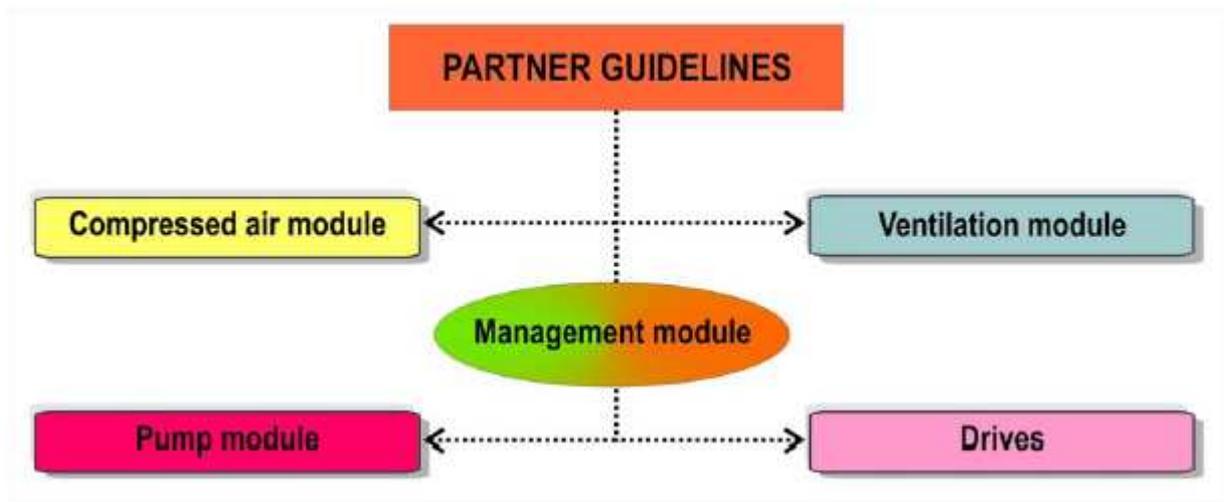


Fig 7-15 Schema operativo del Programma Motor Challenge

Le ditte che volontariamente aderiscono al Programma beneficiano non solo di supporto tecnico ma anche ottengono un riconoscimento pubblico per il loro contributo alla realizzazione degli obiettivi di politica energetica dell'Unione.

Con questo "progetto" ogni partecipante stabilisce in quali siti e su quali sistemi intende intervenire con misure specifiche di efficienza energetica.

Per rendere il programma flessibile e poco cogente, l'impegno può anche essere limitato ad interventi su un solo reparto ovvero sui siti individuati dal management.

I Partecipanti al Programma dovranno assicurare anche il mantenimento o il miglioramento dell'affidabilità e della qualità del servizio dei sistemi considerati, oltre che realizzare la maggior parte dei risparmi d'energia tecnicamente ed economicamente fattibili.



Fig 7-16 Agenzie energetiche internazionali partecipanti al progetto

Anche per la realizzazione del Programma Motor Challenge, la Commissione Europea ha coinvolto le Agenzie energetiche nazionali.

Nella figura sopra sono indicati i paesi e le agenzie aderenti sin dal suo inizio. Altri paesi si sono successivamente aggregati.

Quando Bulgaria, Lituania e Romania avranno firmato l'adesione, i paesi partecipanti saliranno a 20. All'inizio del 2005 le imprese partecipanti erano 21 mentre le imprese sostenitrici (Endorsers) sono 32.

Benefici finali

I benefici che l'Unione Europea a 25 paesi potrebbe trarre da un incisivo impegno di risparmio energetico nel settore dei sistemi azionati da motori elettrici sono considerevoli. (v. Tabella):

Benefici per i 25 paesi dell'U.E.	Beneficiari	Beneficio Annuo (miliardi di €/a)
Risparmio dei costi energetici, mediante riduzione di circa 200 TWh/a di consumi di elettricità	Industria	10
Benefici non legati all'energia: riduzione dei costi di manutenzione e migliore gestione	Industria	5-10
Riduzione dei costi ambientali: abbattimento di circa 100 mio. tCO2 (1/4 degli obiettivi di Kyoto)	Società	6
Valore in termini di ricavo della vendita dei titoli di emissione	Industria	2

Fig 7-17 Tabella dei Benefici ottenibili con l'adozione di efficienti sistemi di motori elettrici

Per ottenere questi benefici i paesi dell'Unione Europea debbono riservare maggiore attenzione al settore dei motori elettrici, che assorbe il 65% dell'elettricità consumata dall'industria ed attivare appropriati programmi di efficienza energetica.

La maggior parte degli esperti concordano nell'affermare che la miglior strategia deve basarsi su un mix di campagne informative, di regolamentazioni e di incentivazioni. La Commissione Europea ormai da anni ha avviato importanti azioni in questa direzione, come sopra illustrato, ma, senza un più profondo impegno degli stati nazionali, sarà difficile raggiungere gli obiettivi individuati.

Il Programma Motor Challenge è un buon inizio per sensibilizzare gli operatori del settore, ma senza adeguati e mirati investimenti gli obiettivi di risparmio energetico, di riduzione dei costi operativi, di maggior competitività e di riduzione dell'inquinamento possono restare un miraggio.

8. VALUTAZIONE BENEFICI ECONOMICI CON L'IMPIEGO DI MOTORI AD ELEVATA EFFICIENZA NELLA Levibreton KFG 3000

In tutte le applicazioni ed i processi industriali, nonché nei sistemi di condizionamento e ventilazione e nei circuiti idraulici connessi a ventilatori e pompe (ma anche nelle macchine utensili), 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:

- 1) 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%);
- 2) la durata di funzionamento;
- 3) il coefficiente di carico (ovvero la percentuale rispetto al pieno carico alla quale lavora il motore);
- 4) 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).

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>

Fig 8-1 Installazione motore ad alta efficienza: formule di valutazione del payback

Come già detto nel paragrafo riguardante i motori ad alta efficienza, nella valutazione della loro installazione è importante, oltre al risparmio energetico annuo, vedere se il tempo di ritorno dell'investimento (payback) è compatibile con quello stabilito dall'azienda.

Nel caso della Levibreton KFG 3000, noti i dati di targa di tutti i motori costituenti la macchina ed il loro regime di funzionamento, si propone l'analisi seguente dei consumi.

Parti costituenti linea ad alta produzione Levibreton KFG 3000

N.B. si considerano tutti motori sincroni 4 poli

- Motori mandrini leviganti : 22 da 15 kW ciascuno;
- Motori nastro trasportatore : 1 da 1,5 kW (comandato da inverter);
- Motori spostamento trave mandrini: 2 da 7,5 kW ciascuno collegati in parallelo a 220V (comandati da inverter);
- Motori spazzola pulizia lastre in uscita: 1 da 1,1 kW;
- Motori trasporto lastre in ingresso : 4 da 1,1 kW ciascuno (comandati da inverter);
- Motori trasporto lastre in uscita : 4 da 1,1 kW ciascuno (comandati da inverter);
- Motori ventilatori asciugatura lastre: 3 da 3 kW ciascuno;

Si ipotizza un funzionamento della macchina per 300 giorni all'anno (dai 365 si toglie un mese di ferie ed i vari weekend) per 12 ore al giorno essendo una linea ad alta produzione.

Il costo dell'energia elettrica in Italia aggiornato all'anno 2010 è di 0,2 cent€/Kwh.

A supporto dei calcoli eseguiti si riportano le tabelle di pagina seguente in cui si indica nella prima il tetto massimo di spesa per i motori ad elevata efficienza consentita dalla legge Finanziaria del 2007 affinché l'imprenditore possa usufruire dell'incentivo statale mentre nella seconda i vari rendimenti a pieno carico dei motori delle classi EFF a seconda delle loro caratteristiche.

P_n (kW)	Per ogni motore (€)	Per ogni inverter (€)
5,5	800	Non incentivato
7,5	950	1400
11	1100	1650
15	1300	2050
18,5	1650	2700
22	1950	3000
30	2350	3700
37	2750	4200
45	3500	5000
55	4200	5700
75	5500	6700
90	6300	8200

Fig 8-2 Spesa massima consentita per i motori ad elevata efficienza (o 4 poli) e per gli invertitori

P_n (kW)	E_{ff3} 2 e 4 poli η (%)	E_{ff2} 2 e 4 poli η (%)	E_{ff1} 2 poli η (%)	E_{ff1} 4 poli η (%)
1,1	< 76,2	\geq 76,2	\geq 82,8	\geq 83,8
1,5	< 78,5	\geq 78,5	\geq 84,1	\geq 85,0
2,2	< 81,0	\geq 81,0	\geq 85,6	\geq 86,4
3	< 82,6	\geq 82,6	\geq 86,7	\geq 87,4
4	< 84,2	\geq 84,2	\geq 87,6	\geq 88,3
5,5	< 85,7	\geq 85,7	\geq 88,6	\geq 89,2
7,5	< 87,0	\geq 87,0	\geq 89,5	\geq 90,1
11	< 88,4	\geq 88,4	\geq 90,5	\geq 91,0
15	< 89,4	\geq 89,4	\geq 91,3	\geq 91,8
18,5	< 90,0	\geq 90,0	\geq 91,8	\geq 92,2
22	< 90,5	\geq 90,5	\geq 92,2	\geq 92,6
30	< 91,4	\geq 91,4	\geq 92,9	\geq 93,2
37	< 92,0	\geq 92,0	\geq 93,3	\geq 93,6
45	< 92,5	\geq 92,5	\geq 93,7	\geq 93,9
55	< 93,0	\geq 93,0	\geq 94,0	\geq 94,2
75	< 93,6	\geq 93,6	\geq 94,6	\geq 94,7
90	< 93,9	\geq 93,9	\geq 95,0	\geq 95,0

Fig 8-4 Rendimento a pieno carico delle classi EFF1, EFF2 e EFF3 in funzione della potenza nominale e del numero di poli

potenza kW	efficienza motore standard
1,1	74,2%
1,5	76,5%
2,2	79,0%
3	80,6%
4	82,2%
5,5	83,7%
7,5	85,0%
11	86,9%
15	87,9%
18,5	88,5%
22	89,0%
30	90,3%
37	90,9%
45	91,4%
55	92,0%
75	92,6%
90	92,9%

Fig 8-3 Valori di efficienza motori convenzionali

Valutazione beneficio economico derivante dall'impiego di motori EFF1

Come è noto, il rendimento di un dato motore varia con il fattore di carico, cioè è massimo in corrispondenza di 3/4 del carico e si riduce notevolmente al di sotto di 1/2 di carico.

Nel calcolo dell'Energia elettrica annua assorbita da un motore va perciò considerato il fattore di carico e quindi la formula sarà:

$$E_{\text{ass}} = (P_n \cdot h \cdot f_c) / \eta$$

dove:

P_n = P nominale;

h = ore annue di funzionamento;

f_c = fattore di carico;

η = rendimento motore.

Con fattore di carico inteso come la percentuale del carico applicato all'albero rispetto a quello massimo applicabile (100%); in generale i motori elettrici hanno i migliori rendimenti tra il 70-80% del carico massimo.

Per la Levibretton KFG 3000, possiamo assumere come fattori di carico il funzionamento a pieno carico per i soli ventilatori in quanto, soprattutto per i motori di piccola taglia che assolvono a questa applicazione, una volta messi in funzione conservano la loro condizione di regime.

Si assume 0,7 di carico invece per i mandrini leviganti mentre per tutti gli altri motori si assume un fattore di carico pari a 0,75 e cioè per:

- Spazzola;
- Nastro;
- Trasporti;
- Trave.

Osservazione

La trave mobile è un asse che fa da supporto ai mandrini leviganti; essa è messa in movimento traslatorio da due motori sincroni 4 poli con Potenza nominale 7,5 kW (con il collegamento a stella) collegati in parallelo tra di loro alla tensione di 220V.

Questi sono motori speciali in quanto hanno un particolare sistema di raffreddamento basato su una struttura aerodinamica che permette una ventilazione elevata, dato lo sforzo a cui sono sottoposti visto che la trave dei mandrini è molto pesante.

La scelta della taglia dei motori da installare (o eventualmente da sostituire) e dell'invertitore di comando per questa funzione deve considerare che è richiesta una determinata potenza all'asse motore, e quindi una determinata coppia nominale, per il movimento dell'asse; il valore della potenza dipende dal collegamento degli avvolgimenti che perciò deve essere adeguato alle condizioni richieste.

Viene proposto di seguito lo schema a blocchi del sistema invertitore-motori-trave

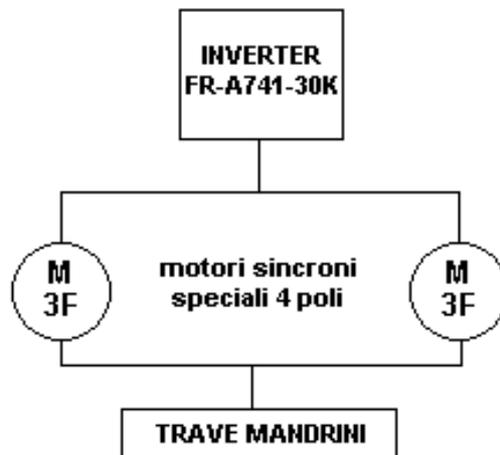


Fig 8-5 Schema a blocchi sistema invertitore-motori-trave

Come detto in precedenza la potenza disponibile all'asse varia a seconda del tipo di collegamento che viene fatto alla morsettiera del motore in quanto varia la tensione su ogni fase; le due tipologie di collegamento degli avvolgimenti sono:

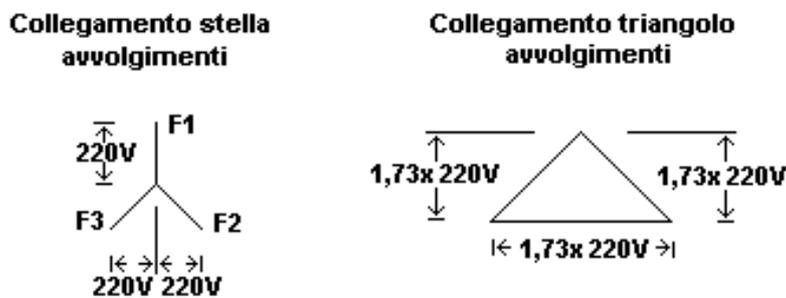


Fig 8-6 Schemi di collegamento e relative tensioni avvolgimenti motore

Poichè essendo che la movimentazione della trave richiede la maggior coppia possibile disponibile all'asse dei due motori connessi in parallelo, si sceglierà il tipo di collegamento che darà coppia e quindi potenza maggiore:

dato un sistema di tre avvolgimenti connessi a stella (come figura sopra), si avrà:

$$P_s = 3 V I \cos\varphi \quad \text{con } V = 220V$$

mentre nel caso a triangolo (ovviamente mantenendo la stessa tensione di alimentazione):

$$P_t = \sqrt{3} 3 V I \cos\varphi \quad \text{con } V = 220V$$

Ora, dai dati di targa del motore, si conosce la potenza P_n 7,5kW riferita al collegamento a stella; da questa posso ricavare quella del collegamento a triangolo che sarà sicuramente maggiore:

$$P_t = \sqrt{3} 3 V I \cos\phi = \sqrt{3} P_s = \sqrt{3} \times 7,5\text{kW} = 13\text{kW}$$

Quindi è come avessimo due motori sincroni 4 poli da 13kW connessi in parallelo con il collegamento degli avvolgimenti a triangolo.

In questo modo aumenterà anche la coppia disponibile all'asse perciò ci sarà più forza per il movimento del peso della trave.

L'aumento della coppia nominale può essere descritto dalla caratteristica meccanica in cui viene riportata anche la variazione del range di frequenza con cui lavora l'invertitore di comando dei motori.

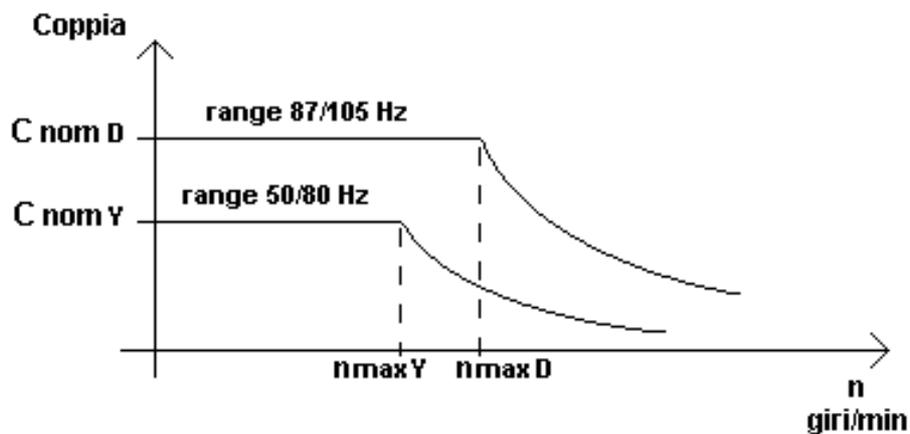


Fig 8-7 Spostamento della caratteristica meccanica in seguito al cambiamento del collegamento avvolgimenti motore

Si vede come la caratteristica meccanica si sia "innalzata" in seguito alla connessione a triangolo degli avvolgimenti dei motori.

Per quanto riguarda la scelta della taglia dell'invertitore, essendo esso a monte del sistema, si può vedere il parallelo dei due motori sincroni come avere $13\text{kW} + 13\text{kW} = 26\text{kW}$ cioè un unico motore da 26kW; la taglia commerciale appena superiore porterà a scegliere un invertitore da 30kW.

Nella caratteristica meccanica sono indicati gli estremi del range di frequenza che indicano rispettivamente la frequenza in gioco durante lo spostamento di velocità minima e massima della trave.

Viene fornita di seguito in tabella i vari fattori di carico, costi dei motori tradizionali, motori ad elevata efficienza EFF1 ed i costi degli invertitori.

Applicazione	fattore di carico	costo motore standard(euro)	costo motore alta efficienza(euro)	costo invertitore(euro)
Spazzola(1,1kW)	0,75	240	312	200
Trasporto lastra(1,1kW)	0,75	240	312	200
Nastro(1,5kW)	0,75	240	312	200
Ventilatore(3kW)	1	280	364	300
Trave mandrini(7,5kW)	0,75	950	1285	2000,3300 rec
Mandrino levigante(15kW)	0,7	450	585	1000

Fig 8-8 Tabella dei fattori di carico e costi dei motori standard, motori EFF1 ed invertitori

Il costo dei motori ad elevata efficienza segue più o meno la relazione:

$$\text{Costo motore EFF1} = \text{Costo motore standard} + 30\%$$

Per quanto riguarda il costo dell'invertitore in riferimento al controllo dei motori della trave, come detto in precedenza, si sceglie uno di taglia 30kW dato dalla somma delle potenze nominali dei due motori connessi in parallelo con avvolgimenti a triangolo; il prezzo di listino sale se si considera un invertitore con possibilità di recupero di energia in rete nella fase di frenata dell'asse mandrini (indicato con rec in tabella).

Energie assorbite con l'uso di motori convenzionali:

N.B. nel caso ci siano più motori per la stessa applicazione il calcolo è riferito ad uno solo di essi.

Ventilatore:

funzionamento a pieno carico $f_c = 1$

Potenza nominale $P_n = 3\text{kW}$

ore di funzionamento annue $h = 300\text{gg} \cdot 12\text{h/gg} = 3600\text{ ore}$

rendimento (dalla tabella 8-3) $\eta = 0,806$

quindi $E_{\text{ass}} = (P_n \cdot h \cdot f_c) / \eta$

$$E_{\text{ass}} = 13399,5 \text{ kWh}$$

Spazzola:

fattore di carico $f_c = 0,75$

Potenza nominale $P_n = 1,1\text{kW}$

ore di funzionamento annue $h = 300\text{gg} \cdot 12\text{h/gg} = 3600$ ore
rendimento (dalla tabella 8-3) $\eta = 0,742$

quindi $E_{\text{ass}} = (P_n \cdot h \cdot f_c) / \eta$ $E_{\text{ass}} = 4002,7$ kWh

Nastro:

fattore di carico $f_c = 0,75$
Potenza nominale $P_n = 1,5\text{kW}$
ore di funzionamento annue $h = 300\text{gg} \cdot 12\text{h/gg} = 3600$ ore
rendimento (dalla tabella 8-3) $\eta = 0,765$

quindi $E_{\text{ass}} = (P_n \cdot h \cdot f_c) / \eta$ $E_{\text{ass}} = 5294,1$ kWh

Trasporto:

fattore di carico $f_c = 0,75$
Potenza nominale $P_n = 1,1\text{kW}$
ore di funzionamento annue $h = 300\text{gg} \cdot 12\text{h/gg} = 3600$ ore
rendimento (dalla tabella 8-3) $\eta = 0,742$

quindi $E_{\text{ass}} = (P_n \cdot h \cdot f_c) / \eta$ $E_{\text{ass}} = 4002,7$ kWh

Mandrino:

fattore di carico $f_c = 0,7$
Potenza nominale $P_n = 15\text{kW}$
ore di funzionamento annue $h = 300\text{gg} \cdot 12\text{h/gg} = 3600$ ore
rendimento (dalla tabella 8-3) $\eta = 0,879$

quindi $E_{\text{ass}} = (P_n \cdot h \cdot f_c) / \eta$ $E_{\text{ass}} = 43003,4$ kWh

Trave:

fattore di carico $f_c = 0,75$
Potenza nominale $P_n = 7,5$ kW
ore di funzionamento annue $h = 300\text{gg} \cdot 12\text{h/gg} = 3600$ ore
rendimento (dalla tabella 8-3) $\eta = 0,850$

quindi $E_{\text{ass}} = (P_n \cdot h \cdot f_c) / \eta$ $E_{\text{ass}} = 23823,5$ kWh

Energie assorbite con l'uso di motori ad elevata efficienza EFF1:

Ventilatore:

funzionamento a pieno carico $f_c = 1$
Potenza nominale $P_n = 3\text{kW}$
ore di funzionamento annue $h = 300\text{gg} \cdot 12\text{h/gg} = 3600$ ore
rendimento (dalla tabella 8-4 motore a 4 poli) $\eta = 0,874$

quindi $E_{\text{ass}} = (P_n \cdot h \cdot f_c) / \eta$ $E_{\text{ass}} = 12357 \text{ kWh}$

Spazzola:

fattore di carico $f_c = 0,75$
Potenza nominale $P_n = 1,1\text{kW}$
ore di funzionamento annue $h = 300\text{gg} \cdot 12\text{h/gg} = 3600$ ore
rendimento (dalla tabella 8-4 motore 4 poli) $\eta = 0,838$

quindi $E_{\text{ass}} = (P_n \cdot h \cdot f_c) / \eta$ $E_{\text{ass}} = 3544,2 \text{ kWh}$

Nastro:

fattore di carico $f_c = 0,75$
Potenza nominale $P_n = 1,5\text{kW}$
ore di funzionamento annue $h = 300\text{gg} \cdot 12\text{h/gg} = 3600$ ore
rendimento (dalla tabella 8-4 motore 4 poli) $\eta = 0,850$

quindi $E_{\text{ass}} = (P_n \cdot h \cdot f_c) / \eta$ $E_{\text{ass}} = 4764,7 \text{ kWh}$

Trasporto:

fattore di carico $f_c = 0,75$
Potenza nominale $P_n = 1,1\text{kW}$
ore di funzionamento annue $h = 300\text{gg} \cdot 12\text{h/gg} = 3600$ ore
rendimento (dalla tabella 8-4 motore 4 poli) $\eta = 0,838$

quindi $E_{\text{ass}} = (P_n \cdot h \cdot f_c) / \eta$ $E_{\text{ass}} = 3544,2 \text{ kWh}$

Mandrino:

fattore di carico $f_c = 0,7$
Potenza nominale $P_n = 15\text{kW}$
ore di funzionamento annue $h = 300\text{gg} \cdot 12\text{h/gg} = 3600$ ore
rendimento (dalla tabella 8-4 motore 4 poli) $\eta = 0,918$

quindi $E_{\text{ass}} = (P_n \cdot h \cdot f_c) / \eta$ $E_{\text{ass}} = 41176,5 \text{ kWh}$

Trave:

fattore di carico $f_c = 0,75$
Potenza nominale $P_n = 7,5 \text{ kW}$
ore di funzionamento annue $h = 300 \text{ gg} * 12 \text{ h/gg} = 3600 \text{ ore}$
rendimento (dalla tabella 8-4 motore 4 poli) $\eta = 0,901$

quindi $E_{\text{ass}} = (P_n * h * f_c) / \eta$ $E_{\text{ass}} = 22475 \text{ kWh}$

Si può notare subito l'evidente minor consumo di energia annua che si ha grazie all'impiego di motori ad elevata efficienza;

Vediamo ora il tempo di rientro dell'investimento (payback) dei motori in tutte le loro funzioni.

8.1 Sostituzione motore elettrico in caso di rottura con motore EFF1

Dalla formula di tabella 8-1 ipotizzando un costo di riavvolgimento del motore in caso di riparazione pari a 100€, una perdita di efficienza dell' 1% (si va da un minimo di 0,5% ad un max di 4%) ed un costo dell'energia di 0,2 cent€/kWh per 3600 ore, si hanno i payback seguenti:

Ventilatore:

funzionamento a pieno carico $f_c = 1$
Potenza nominale $P_n = 3 \text{ kW}$
ore di funzionamento annue $h = 300 \text{ gg} * 12 \text{ h/gg} = 3600 \text{ ore}$
rendimento motore alta eff (dalla tabella 8-4 motore a 4 poli) $\eta_{\text{eff1}} = 0,874$
rendimento motore convenzionale (dalla tabella 8-3) $\eta_{\text{conv}} = 0,806$
perdita di rendimento dovuto al riavvolgimento $\eta_{\text{riavv}} = 0,01$
Costo eff1 (tabella 8-8) = 364€
Costo riavv = 100€
costo dell'energia di 0,2 cent€/kWh

quindi payback T = $(364-100) / \{3 * 1 * 3600 * 0,2 * [(1/0,806-0,01)-(1/0,874)]\} = 0,88 \text{ anni} = \underline{14 \text{ mesi}}$

Spazzola:

fattore di carico $f_c = 0,75$
Potenza nominale $P_n = 1,1 \text{ kW}$
ore di funzionamento annue $h = 300 \text{ gg} * 12 \text{ h/gg} = 3600 \text{ ore}$
rendimento motore alta eff (dalla tabella 8-4 motore a 4 poli) $\eta_{\text{eff1}} = 0,838$
rendimento motore convenzionale (dalla tabella 8-3) $\eta_{\text{conv}} = 0,742$
perdita di rendimento dovuto al riavvolgimento $\eta_{\text{riavv}} = 0,01$
Costo eff1 (tabella 8-8) = 312€
Costo riavv = 100€
costo dell'energia di 0,2 cent€/kWh

quindi payback T = $(312-100) / \{1,1 * 0,75 * 3600 * 0,2 * [(1/0,742-0,01)-(1/0,838)]\} = 2,07 \text{ anni} = \underline{25 \text{ mesi}}$

Nastro:

fattore di carico $f_c = 0,75$
Potenza nominale $P_n = 1,5\text{kW}$
ore di funzionamento annue $h = 300\text{gg} \cdot 12\text{h/gg} = 3600$ ore
rendimento motore alta eff (dalla tabella 8-4 motore a 4 poli) $\eta_{\text{eff1}} = 0,850$
rendimento motore convenzionale (dalla tabella 8-3) $\eta_{\text{conv}} = 0,765$
perdita di rendimento dovuto al riavvolgimento $\eta_{\text{riavv}} = 0,01$
Costo eff1 (tabella 8-8) = 312€
Costo riavv = 100€
costo dell'energia di 0,2 cent€/kWh

quindi $\text{payback } T = (312-100)/\{1,5 \cdot 0,75 \cdot 3600 \cdot 0,2 \cdot [(1/0,765-0,01)-(1/0,850)]\} = 1,77$ anni = 21 mesi

Trasporto:

fattore di carico $f_c = 0,75$
Potenza nominale $P_n = 1,1\text{kW}$
ore di funzionamento annue $h = 300\text{gg} \cdot 12\text{h/gg} = 3600$ ore
rendimento motore alta eff (dalla tabella 8-4 motore a 4 poli) $\eta_{\text{eff1}} = 0,838$
rendimento motore convenzionale (dalla tabella 8-3) $\eta_{\text{conv}} = 0,742$
perdita di rendimento dovuto al riavvolgimento $\eta_{\text{riavv}} = 0,01$
Costo eff1 (tabella 8-8) = 312€
Costo riavv = 100€
costo dell'energia di 0,2 cent€/kWh

quindi $\text{payback } T = (312-100)/\{1,1 \cdot 0,75 \cdot 3600 \cdot 0,2 \cdot [(1/0,742-0,01)-(1/0,838)]\} = 2,07$ anni = 25 mesi

Mandrino:

fattore di carico $f_c = 0,7$
Potenza nominale $P_n = 15\text{kW}$
ore di funzionamento annue $h = 300\text{gg} \cdot 12\text{h/gg} = 3600$ ore
rendimento motore alta eff (dalla tabella 8-4 motore a 4 poli) $\eta_{\text{eff1}} = 0,918$
rendimento motore convenzionale (dalla tabella 8-3) $\eta_{\text{conv}} = 0,879$
perdita di rendimento dovuto al riavvolgimento $\eta_{\text{riavv}} = 0,01$
Costo eff1 (tabella 8-8) = 585€
Costo riavv = 100€
costo dell'energia di 0,2 cent€/kWh

quindi $\text{payback } T = (585-100)/\{15 \cdot 0,7 \cdot 3600 \cdot 0,2 \cdot [(1/0,879-0,01)-(1/0,918)]\} = 1,04$ anni = 12 mesi e mezzo

Trave:

fattore di carico $f_c = 0,75$
Potenza nominale $P_n = 7,5\text{kW}$
ore di funzionamento annue $h = 300\text{gg} \cdot 12\text{h/gg} = 3600$ ore
rendimento motore alta eff (dalla tabella 8-4 motore a 4 poli) $\eta_{\text{eff1}} = 0,901$
rendimento motore convenzionale (dalla tabella 8-3) $\eta_{\text{conv}} = 0,850$
perdita di rendimento dovuto al riavvolgimento $\eta_{\text{riavv}} = 0,01$
Costo eff1 (tabella 8-8) = 1285€
Costo riavv = 100€

costo dell'energia di 0,2 cent€/kWh

quindi $\text{payback } T = (1285-100)/\{7,5*0,75*3600*0,2* [(1/0,850-0,01)-(1/0,901)]\} = 3,63 \text{ anni} = \underline{\text{più di 43 mesi}}$

Dunque il ritorno dell'investimento nella sostituzione di motori tradizionali guasti con motori ad alta efficienza EFF1 per la Levibreton KFG 3000 varia da caso a caso;escludendo il caso particolare dei motori della trave (payback elevato dato l'impiego di motori sincroni speciali) si va da un minimo di 12 mesi ad un max di 25 mesi quindi prendiamo indicativamente un **payback complessivo dell'impianto di 18 mesi cioè di un anno e mezzo**.tempo di ritorno investimento più che accettabile.

Una volta recuperato l'investimento fatto,cioè dai 18 mesi in poi ci sarà un risparmio energetico-economico complessivo annuo dato dalla formula:

$$\text{€/anno} = (\text{Etot mot convvenz} * 0,2 \text{ cent€/kWh}) - (\text{Etot mot eff} * 0,2 \text{ cent€/kWh})$$

Etot assorbita motori convenzionali

sarà quella già trovata tenendo però in considerazione il numero complessivo di motori cioè:

Eass ventilatori = $13399,5 * 3 = 40198,5 \text{ kWh}$

Eass spazzola = $4002,7 * 1 = 4002,7 \text{ kWh}$

Eass nastro = $5294,1 * 1 = 5294,1 \text{ kWh}$

Eass trasporti = $4002,7 * 8 = 32021,6 \text{ kWh}$

Eass mandrini = $46003,4 * 22 = 946074,8 \text{ kWh}$

Eass trave = $23823,5 * 2 = 47647 \text{ kWh}$

Etot motori convenzionali = 1075238,7 kWh

Etot assorbita motori alta efficienza

anche in questo caso sarà quella già trovata tenendo in considerazione il numero complessivo di motori cioè:

Eass ventilatori = $12357 * 3 = 37071 \text{ kWh}$

Eass spazzola = $3544,2 * 1 = 3544,2 \text{ kWh}$

Eass nastro = $4764,7 * 1 = 4764,7 \text{ kWh}$

Eass trasporti = $3544,2 * 8 = 28353,6 \text{ kWh}$

Eass mandrini = $41176,5 * 22 = 905883 \text{ kWh}$

Eass trave = $22475 * 2 = 44950 \text{ kWh}$

Etot motori alta efficienza = 1024566,5 kWh

Quindi il risparmio economico annuo con motori EFF1 sarà:

$$\text{€/anno} = (1075238,7 * 0,2) - (1024566,5 * 0,2) = \mathbf{10134,5 \text{ €/anno}}$$

8.2 Sostituzione motore convenzionale funzionante con motore EFF1

Dalla formula di tabella 8-1 ipotizzando un costo dell'energia di 0,2 cent€/kWh per 3600 ore, si hanno i payback seguenti:

Ventilatore:

funzionamento a pieno carico $f_c = 1$

Potenza nominale $P_n = 3 \text{ kW}$

ore di funzionamento annue $h = 300 \text{ gg} * 12 \text{ h/gg} = 3600 \text{ ore}$

rendimento motore alta eff (dalla tabella 8-4 motore a 4 poli) $\eta_{\text{eff1}} = 0,874$

rendimento motore convenzionale (dalla tabella 8-3) $\eta_{\text{conv}} = 0,806$

Costo eff1 (tabella 8-8) = 364€

costo dell'energia di 0,2 cent€/kWh

quindi $\text{payback } T = 364 / \{ 3 * 1 * 3600 * 0,2 * [(1/0,806) - (1/0,874)] \} = 1,75 \text{ anni} = \underline{21 \text{ mesi}}$

Spazzola:

fattore di carico $f_c = 0,75$

Potenza nominale $P_n = 1,1 \text{ kW}$

ore di funzionamento annue $h = 300 \text{ gg} * 12 \text{ h/gg} = 3600 \text{ ore}$

rendimento motore alta eff (dalla tabella 8-4 motore a 4 poli) $\eta_{\text{eff1}} = 0,838$

rendimento motore convenzionale (dalla tabella 8-3) $\eta_{\text{conv}} = 0,742$

Costo eff1 (tabella 8-8) = 312€

costo dell'energia di 0,2 cent€/kWh

quindi $\text{payback } T = 312 / \{ 1,1 * 0,75 * 3600 * 0,2 * [(1/0,742) - (1/0,838)] \} = 3,4 \text{ anni} = \underline{41 \text{ mesi}}$

Nastro:

fattore di carico $f_c = 0,75$

Potenza nominale $P_n = 1,5 \text{ kW}$

ore di funzionamento annue $h = 300 \text{ gg} * 12 \text{ h/gg} = 3600 \text{ ore}$

rendimento motore alta eff (dalla tabella 8-4 motore a 4 poli) $\eta_{\text{eff1}} = 0,850$

rendimento motore convenzionale (dalla tabella 8-3) $\eta_{\text{conv}} = 0,765$

Costo eff1 (tabella 8-8) = 312€

costo dell'energia di 0,2 cent€/kWh

quindi $\text{payback } T = 312 / \{ 1,5 * 0,75 * 3600 * 0,2 * [(1/0,765) - (1/0,850)] \} = 3 \text{ anni} = \underline{36 \text{ mesi}}$

Trasporto:

fattore di carico $f_c = 0,75$

Potenza nominale $P_n = 1,1\text{kW}$

ore di funzionamento annue $h = 300\text{gg} \cdot 12\text{h/gg} = 3600$ ore

rendimento motore alta eff (dalla tabella 8-4 motore a 4 poli) $\eta_{\text{eff1}} = 0,838$

rendimento motore convenzionale (dalla tabella 8-3) $\eta_{\text{conv}} = 0,742$

Costo eff1 (tabella 8-8) = 312€

costo dell'energia di 0,2 cent€/kWh

quindi $\text{payback } T = 312 / \{1,1 \cdot 0,75 \cdot 3600 \cdot 0,2 \cdot [(1/0,742) - (1/0,838)]\} = 3,4$ anni = 41 mesi

Mandrino:

fattore di carico $f_c = 0,7$

Potenza nominale $P_n = 15\text{kW}$

ore di funzionamento annue $h = 300\text{gg} \cdot 12\text{h/gg} = 3600$ ore

rendimento motore alta eff (dalla tabella 8-4 motore a 4 poli) $\eta_{\text{eff1}} = 0,918$

rendimento motore convenzionale (dalla tabella 8-3) $\eta_{\text{conv}} = 0,879$

Costo eff1 (tabella 8-8) = 585€

costo dell'energia di 0,2 cent€/kWh

quindi $\text{payback } T = 585 / \{15 \cdot 0,7 \cdot 3600 \cdot 0,2 \cdot [(1/0,879) - (1/0,918)]\} = 1,6$ anni = 19 mesi

Trave:

fattore di carico $f_c = 0,75$

Potenza nominale $P_n = 7,5\text{kW}$

ore di funzionamento annue $h = 300\text{gg} \cdot 12\text{h/gg} = 3600$ ore

rendimento motore alta eff (dalla tabella 8-4 motore a 4 poli) $\eta_{\text{eff1}} = 0,901$

rendimento motore convenzionale (dalla tabella 8-3) $\eta_{\text{conv}} = 0,850$

Costo eff1 (tabella 8-8) = 1285€

costo dell'energia di 0,2 cent€/kWh

quindi $\text{payback } T = 1285 / \{7,5 \cdot 0,75 \cdot 3600 \cdot 0,2 \cdot [(1/0,850) - (1/0,901)]\} = 4,76$ anni = circa 57 mesi

Si vede subito che rispetto al caso prec (sostituzione motore guasto), anche in questa volta escludendo il caso particolare dei motori della trave (payback elevato dato l'impiego di motori sincroni speciali), il ritorno dell'investimento nella sostituzione di motori tradizionali funzionanti con motori ad alta efficienza EFF1 per la Levibreton KFG 3000 varia anche qui da caso a caso però è complessivamente maggiore di prima; si va da un minimo di 19 mesi ad un max di 41 mesi quindi prendiamo indicativamente un **payback complessivo dell'impianto di 30 mesi cioè di due anni e mezzo**, tempo di ritorno investimento meno accettabile di prima.

Anche qui, una volta recuperato l'investimento fatto, cioè dai 30 mesi in poi ci sarà il risparmio energetico-economico complessivo annuo calcolato in precedenza:

8.3 Acquisto nuovo motore alta efficienza EFF1

Ventilatore:

funzionamento a pieno carico $f_c = 1$

Potenza nominale $P_n = 3\text{kW}$

ore di funzionamento annue $h = 300\text{gg} \cdot 12\text{h/gg} = 3600$ ore

rendimento motore alta eff (dalla tabella 8-4 motore a 4 poli) $\eta_{\text{eff1}} = 0,874$

rendimento motore convenzionale (dalla tabella 8-3) $\eta_{\text{conv}} = 0,806$

Costo eff1 (tabella 8-8) = 364€

Costo conv (tabella 8-8) = 280€

costo dell'energia di 0,2 cent€/kWh

quindi $\text{payback } T = (364-280)/\{3 \cdot 1 \cdot 3600 \cdot 0,2 \cdot [(1/0,806)-(1/0,874)]\} = 0,4$ anni = 5 mesi

Spazzola:

fattore di carico $f_c = 0,75$

Potenza nominale $P_n = 1,1\text{kW}$

ore di funzionamento annue $h = 300\text{gg} \cdot 12\text{h/gg} = 3600$ ore

rendimento motore alta eff (dalla tabella 8-4 motore a 4 poli) $\eta_{\text{eff1}} = 0,838$

rendimento motore convenzionale (dalla tabella 8-3) $\eta_{\text{conv}} = 0,742$

Costo eff1 (tabella 8-8) = 312€

Costo conv (tabella 8-8) = 240€

costo dell'energia di 0,2 cent€/kWh

quindi $\text{payback } T = (312-240)/\{1,1 \cdot 0,75 \cdot 3600 \cdot 0,2 \cdot [(1/0,742)-(1/0,838)]\} = 0,8$ anni = 9 mesi e mezzo

Nastro:

fattore di carico $f_c = 0,75$

Potenza nominale $P_n = 1,5\text{kW}$

ore di funzionamento annue $h = 300\text{gg} \cdot 12\text{h/gg} = 3600$ ore

rendimento motore alta eff (dalla tabella 8-4 motore a 4 poli) $\eta_{\text{eff1}} = 0,850$

rendimento motore convenzionale (dalla tabella 8-3) $\eta_{\text{conv}} = 0,765$

Costo eff1 (tabella 8-8) = 312€

Costo conv (tabella 8-8) = 240€

costo dell'energia di 0,2 cent€/kWh

quindi $\text{payback } T = (312-240)/\{1,5 \cdot 0,75 \cdot 3600 \cdot 0,2 \cdot [(1/0,765)-(1/0,850)]\} = 0,7$ anni = 8 mesi

Trasporto:

fattore di carico $f_c = 0,75$

Potenza nominale $P_n = 1,1\text{kW}$

ore di funzionamento annue $h = 300\text{gg} \cdot 12\text{h/gg} = 3600$ ore

rendimento motore alta eff (dalla tabella 8-4 motore a 4 poli) $\eta_{\text{eff1}} = 0,838$

rendimento motore convenzionale (dalla tabella 8-3) $\eta_{\text{conv}} = 0,742$

Costo eff1 (tabella 8-8) = 312€

Costo conv (tabella 8-8) = 240€

costo dell'energia di 0,2 cent€/kWh

quindi $\text{payback } T = (312-240)/\{1,1*0,75*3600*0,2* [(1/0,742)-(1/0,838)]\} = 0,8 \text{ anni} = \underline{9 \text{ mesi e mezzo}}$

Mandrino:

fattore di carico $f_c = 0,7$

Potenza nominale $P_n = 15\text{kW}$

ore di funzionamento annue $h = 300\text{gg} * 12\text{h/gg} = 3600 \text{ ore}$

rendimento motore alta eff (dalla tabella 8-4 motore a 4 poli) $\eta_{\text{eff1}} = 0,918$

rendimento motore convenzionale (dalla tabella 8-3) $\eta_{\text{conv}} = 0,879$

Costo eff1 (tabella 8-8) = 585€

Costo conv (tabella 8-8) = 450€

costo dell'energia di 0,2 cent€/kWh

quindi $\text{payback } T = (585-450)/\{15*0,7*3600*0,2* [(1/0,879)-(1/0,918)]\} = 0,4 \text{ anni} = \underline{4 \text{ mesi e mezzo}}$

Trave:

fattore di carico $f_c = 0,75$

Potenza nominale $P_n = 7,5\text{kW}$

ore di funzionamento annue $h = 300\text{gg} * 12\text{h/gg} = 3600 \text{ ore}$

rendimento motore alta eff (dalla tabella 8-4 motore a 4 poli) $\eta_{\text{eff1}} = 0,901$

rendimento motore convenzionale (dalla tabella 8-3) $\eta_{\text{conv}} = 0,850$

Costo eff1 (tabella 8-8) = 1285€

Costo conv (tabella 8-8) = 950€

costo dell'energia di 0,2 cent€/kWh

quindi $\text{payback } T = (1285-950)/\{7,5*0,75*3600*0,2* [(1/0,850)-(1/0,901)]\} = 1,24 \text{ anni} = \underline{15 \text{ mesi}}$

In questo terzo caso escludendo sempre il caso particolare dei motori della trave (payback elevato dato l'impiego di motori sincroni speciali), si nota che il ritorno dell'investimento nell'acquisto di motori ad alta efficienza EFF1 per la Levibreton KFG 3000 varia anche qui da caso a caso ed è molto breve; si va da un minimo di 4 mesi e mezzo ad un max di 9 mesi e mezzo quindi prendiamo indicativamente un **payback complessivo dell'impianto di 7 mesi cioè di mezzo anno.** tempo di ritorno investimento ottimo.

Anche qui, dal settimo mese in poi ci sarà lo stesso risparmio energetico-economico complessivo annuo calcolato in precedenza.

In sintesi l'analisi dell'uso di motori EFF1 evidenzia che la soluzione migliore è quella di acquistare fin dall'inizio motori ad alta efficienza energetica, cioè da quanto l'impianto produttivo nasce

Considerata la durata media di vita di 20 anni dei motori elettrici, nel corso di un ventennio di produttività dell'impianto si risparmiano quote dell'ordine di 100/200 mila euro con notevoli benefici anche per la riduzione di CO2 nell'ambiente.

Per quanto riguarda gli incentivi che la Finanziaria fornisce per i motori ad elevata efficienza, si può vedere graficamente la differenza dei payback in anni con e senza incentivo (per diverse taglie di motori) in funzione delle ore di funzionamento annue, nella sostituzione di un motore EFF1 con uno standard.

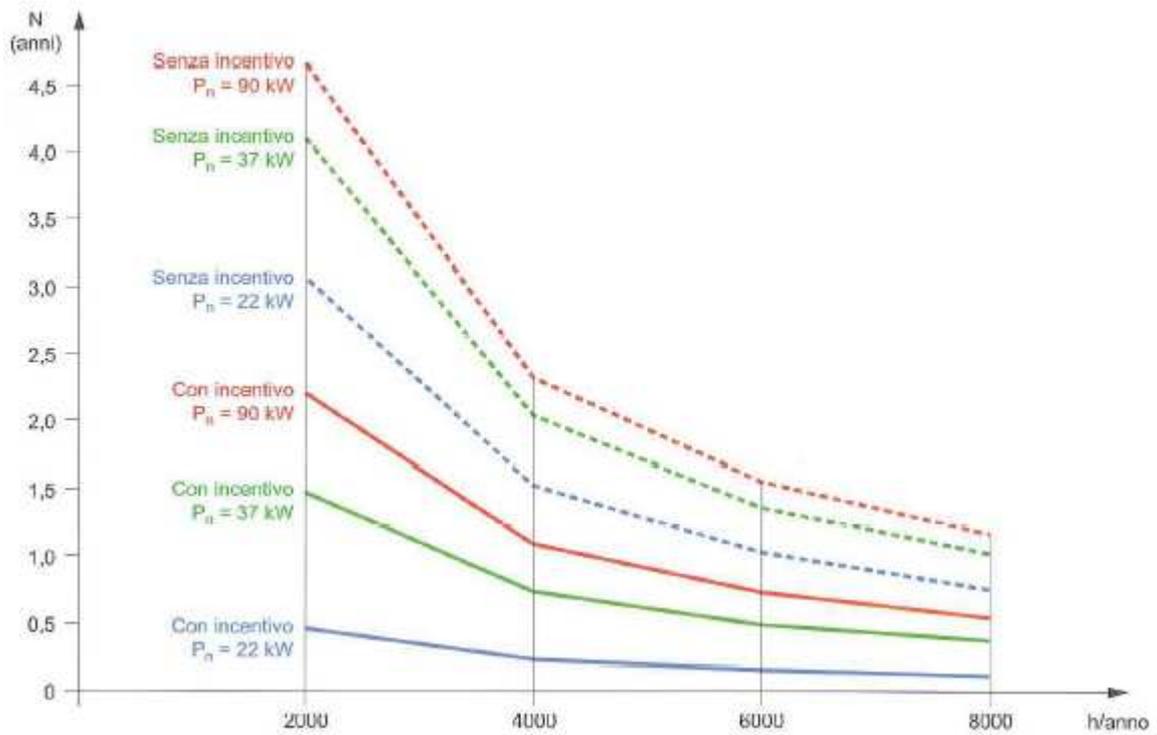


Fig 8-9 Numero di anni (N) per il ritorno dell'investimento per un motore di classe EFF1 rispetto ad uno tradizionale per diverse potenze ed in funzione delle ore annue di funzionamento

9. RECUPERO DI ENERGIA IN RETE CON L'INVERTITORE

Oltre all'impiego di motori ad elevata efficienza nei processi produttivi, di notevole importanza è (ovviamente dove ciò sia possibile) il risparmio energetico realizzabile attraverso il recupero di energia dal processo produttivo stesso.

Lo sviluppo degli azionamenti elettrici verificatosi nell'ultimo trentennio è stato incentivato dalla necessità di migliorare la qualità e la competitività di questi prodotti, unitamente alla crescente attenzione rivolta alle esigenze di risparmio di energia.

Gli azionamenti a velocità variabile (consistenti in invertitori 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).

Cenni teorici invertitore

Gli azionamenti elettrici trifase richiedono una tensione trifase modulata da fornire al motore, cioè con l'ampiezza e frequenza regolabili.

Si usa un circuito in cui sono presenti dei dispositivi a semiconduttore (IGBT Mosfet etc.) comandate periodicamente (con periodo T) e alternativamente a coppie, il cui ingresso è una tensione costante e l'uscita è una tensione che sarà alternativamente positiva e negativa.

Modo di funzionamento dell'invertitore

A seconda dell'impiego, è possibile impostare tramite dei codici i seguenti modi di funzionamento:

-Controllo caratteristica U/f con $U \sim f^2$:

caratteristica quadratica per impieghi nei settori degli azionamenti per pompe e ventilatori;

-Controllo vettoriale;

-Controllo sensorless della velocità:

impiego per azionamenti di avvolgimento, dove il valore di riferimento viene interpretato come valore di riferimento della velocità;

-Controllo caratteristica U/f con U~f: (impostazione Lenze standard).Impieghi:

Applicazioni con più motori in parallelo, motori a riluttanza, posizionamento, avanzamento e azionamenti di sollevamento.

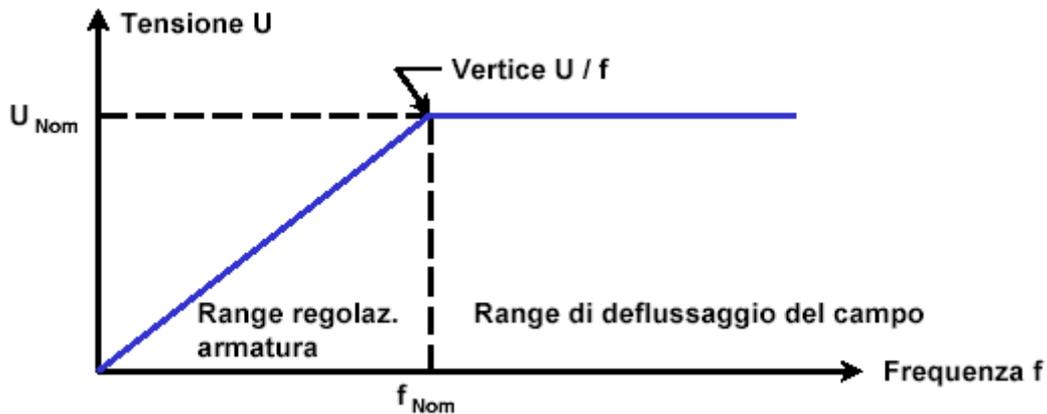


Fig 9-1 Controllo della caratteristica U/f

E' fondamentale segnalare che l'invertitore consente questo tipo di controllo sull'alimentazione del motore e quindi sul numero di giri della macchina. Anche se non è segnato nella caratteristica U/f per $f = 0$ Hz la tensione di alimentazione non è nulla; l'aumento di tensione per basse frequenze deve essere immesso per:

- realizzare la magnetizzazione del motore;
- adattare il carico;
- compensare le perdite ohmiche degli avvolgimenti;
- produrre una coppia di spunto/accelerazione.

L'impostazione del vertice U/f (frequenza nominale U/f) è liberamente selezionabile, però dipende dai dati riportati nella targhetta del motore trifase.

I dati della targhetta rilevanti sono la tensione nominale e la frequenza nominale.

-Motori trifase con tensione nominale pari a 230/400 V vengono azionati da invertitori a 230 V con collegamento a triangolo e da invertitori a 400 V con collegamento a stella. Frequenza nominale = 50 Hz.

-In caso di impiego dell'invertitori all'estero, osservare o calcolare le impostazioni seguendo le indicazioni riportate nelle istruzioni operative.

Questo sarà il circuito completo dell'invertitore con controllo PWM:

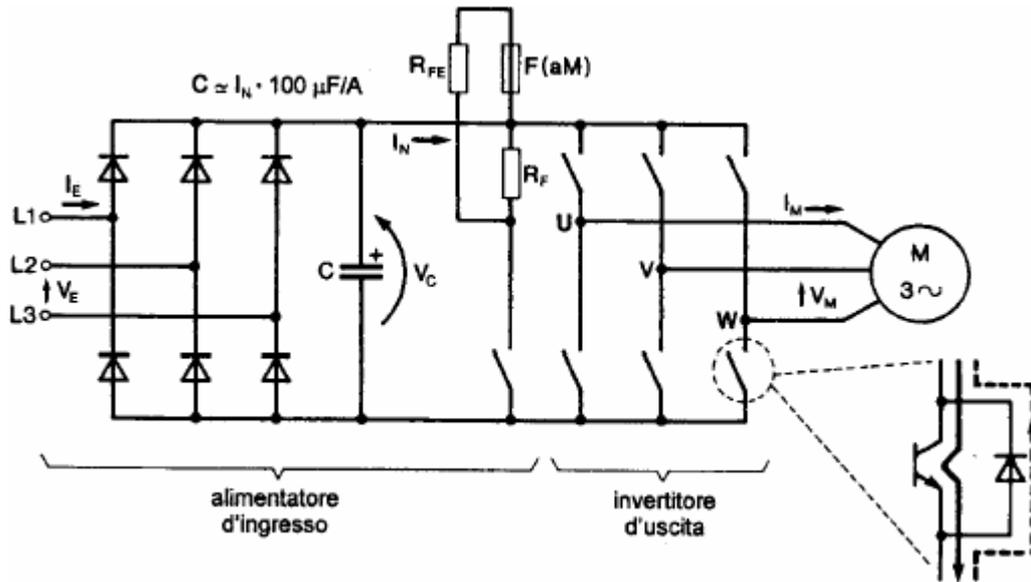


Fig 9-2 Circuito di potenza del convertitore con frenatura su resistenza

Quadranti di funzionamento dell'invertitore

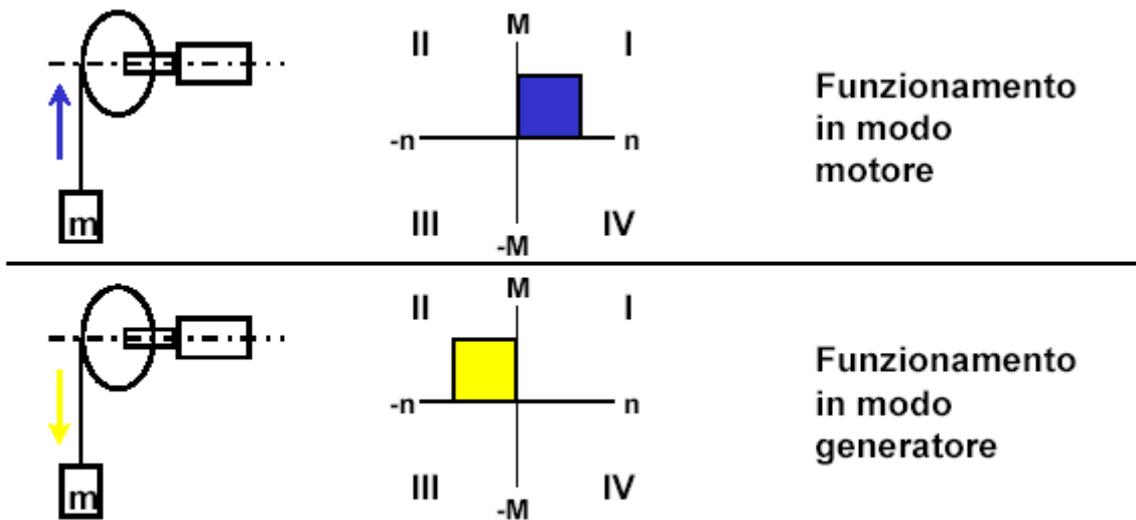


Fig 9-3 Quadranti di funzionamento invertitore

Nel funzionamento in modo generatore, quindi con energia immessa in rete, l'energia generata dal carico non è dissipata su resistenze ma viene recuperata.

La direzione dell'energia sarà perciò:

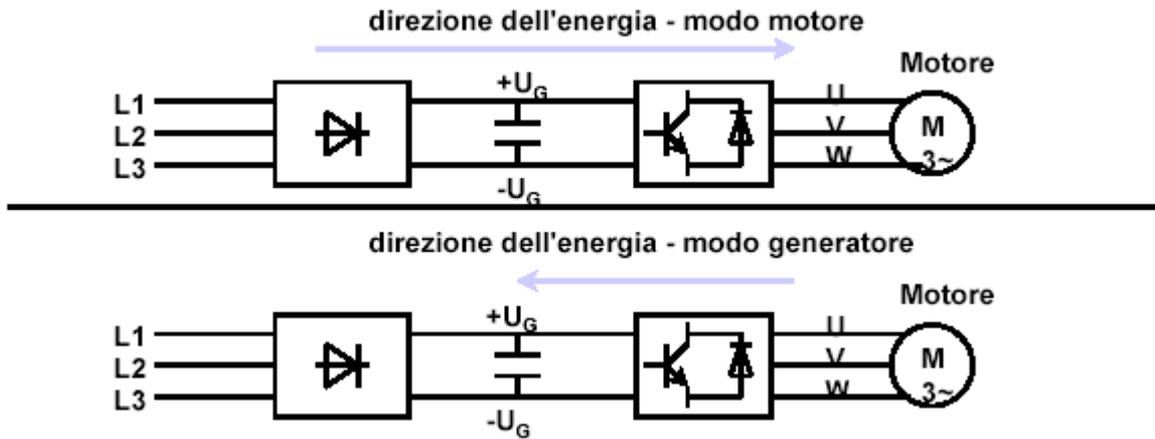


Fig 9-4 Schema a blocchi della direzione dell'energia

N.B.

Nel funzionamento in modo generatore, il recupero dell'energia determina un aumento della tensione del DC bus. Poiché il raddrizzatore d'ingresso è del tipo non controllato, non è possibile eseguire il recupero diretto nella rete.

Affinché nel DC bus non si sviluppi una tensione eccessiva, oltre la soglia consentita, viene utilizzato un modulo di frenatura.

Esempio di invertitore con modulo (chopper) di frenatura

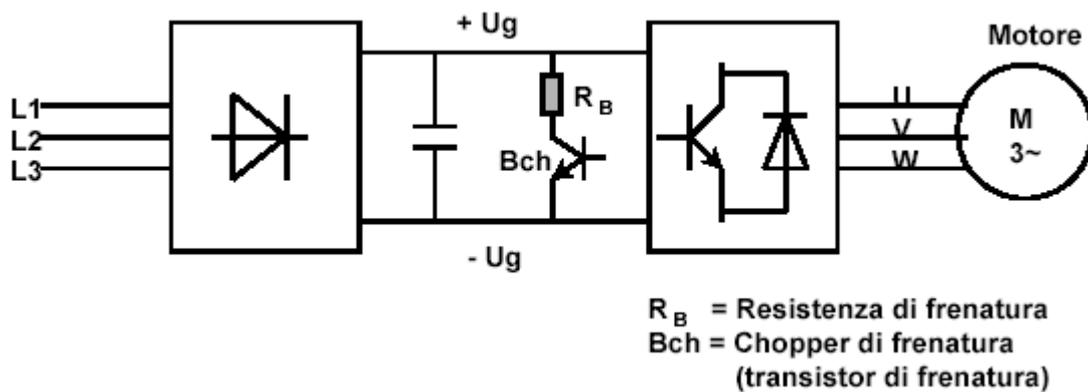


Fig 9-5 Sistema invertitore-motore con frenatura

In seguito ad un aumento della tensione del DC bus, interviene il transistor di frenatura. Il DC bus viene quindi caricato con la resistenza di frenatura.

Nella maggior parte degli invertitore il transistor è integrato, bisogna prevedere la resistenza esterna di frenatura.

9.1 Rigenerazione in frenata

L'idea di poter utilizzare l'energia rigenerativa generata durante il funzionamento di una macchina elettrica su un convertitore di frequenza è molto allettante. L'energia si genera poiché il motore trifase ad induzione gira ad una velocità di sincronismo superiore a quella della rete dalla quale trae potenza; questo si verifica principalmente quando il motore decelera.

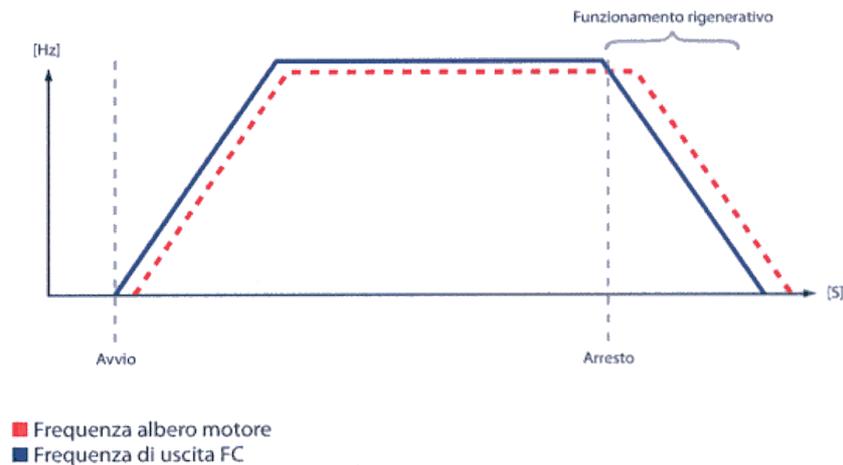


Fig 9-6 Recupero di energia nella fase di frenata del motore

Nella maggior parte dei casi l'utilizzatore conduce questa energia verso i resistori del freno, dove è convertita in calore. Potrebbe essere più logico rinviare questa energia alla rete o renderla disponibile alle altre macchine.

In pratica esistono due soluzioni tecniche:

Condivisione del carico/accoppiamento capacitivo

Molti invertitori sono in grado di connettere il loro collegamento CC ai circuiti intermedi su altri dispositivi, rendendo così l'energia rigenerativa direttamente disponibile ad altri dispositivi. Tuttavia, si deve tener conto delle condizioni limite.

E' necessario attuare alcune precauzioni, quali ad esempio, garantire che un corto circuito in un dispositivo non sia dannoso per gli altri dispositivi. Gli utilizzatori devono naturalmente considerare cosa succede quando tutti i dispositivi interconnessi emettono energia di rigenerazione in contemporanea.

Rigenerazione

I moduli di alimentazione rigenerativi di un convertitore di frequenza utilizzano un raddrizzatore controllato per rimandare l'energia di rigenerazione alla rete. La maggior parte delle applicazioni funziona principalmente durante l'attività del motore.

L'energia ottenuta grazie alla rigenerazione è spesso inferiore alle perdite extra generate dal raddrizzatore controllato durante l'attività del motore.

Per questo motivo, gli invertitori rigenerativi spesso hanno un maggior rendimento a potenze più elevate, considerando il ciclo di carico e le numerose condizioni limite, ad esempio la frenatura frequente.

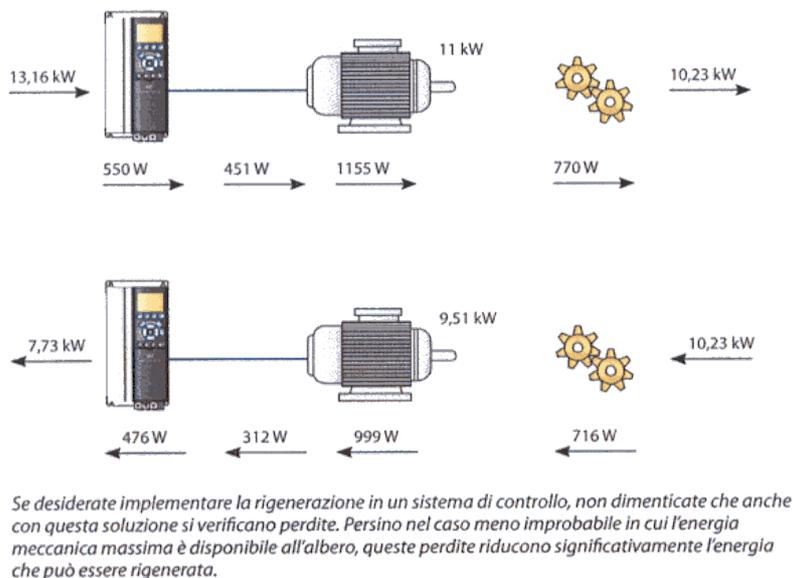


Fig 9-7 Esempio di Potenza recuperata in fase di frenata di un motore

Gli operatori dovrebbero eseguire accertamenti approfonditi prima d'investire in accoppiamenti capacitivi o sistemi rigenerativi.

Generalmente si sopravvaluta la quantità d'energia generata. Per valutare l'efficacia dei costi, è essenziale calcolare la proporzione del ciclo operativo durante il quale il sistema funziona in modalità di rigenerazione e valutare l'energia di frenatura media del sistema.

Nella maggior parte dei casi l'uso di resistori di frenatura è conveniente, sia in termini economici che ecologici, rispetto all'uso di energia generata nel funzionamento di frenatura.

Tipologie di frenatura

Le tre tipologie di freni più usati sono:

Freni idraulici

Nel freno idraulico il rotore viene frenato da acqua iniettata in corrispondenza di camere su rotore e statore, acqua che funge anche da raffreddamento. La regolazione si ottiene facendo variare la pressione dell'acqua all'interno del dinamometro.

Caratteristiche principali sono l'inerzia ridotta e la capacità di frenare grandi potenze in rapporto alle dimensioni. Potenza frenabile fino a 1800 KW. Funziona solo come freno. Tempo di risposta: centinaia di ms.

Freni a correnti parassite.

Il rotore viene frenato dall'interazione magnetica stabilita con lo statore (principio delle correnti di Foucault). Il calore generato da tale frenatura viene asportato dallo statore attraverso il circuito di raffreddamento ad acqua. Caratteristica di tali freni è la precisione di regolazione. Funziona solo come freno. Tempo di risposta: decine di ms.

Questo tipo di freno è in genere quello che fino ad oggi è il più usato nei banchi prova per motori elettrici o motori a scoppio. Però è anche quello che determina un maggiore consumo di energia in quanto esaminando l'esempio di un motore a scoppio c'è bisogno di energia sia per far funzionare il motore sotto test, (carburante o energia elettrica) energia elettrica per alimentare il freno, energia per poter asportare il calore generato.

Freni dinamici

Il freno dinamico è un motore elettrico, abitualmente AC, usato come generatore. Il termine dinamico significa sostanzialmente la possibilità di funzionare anche come motore. L'energia meccanica del motore da testare è trasformata in energia elettrica che viene restituita alla rete mediante un apposito convertitore.

Questo è il caso della frenatura usata nell'asse di supporto dei mandrini della macchina Levibreton.

10. VALUTAZIONE BENEFICI ECONOMICI CON RECUPERO DI ENERGIA DELL'INVERTITORE NELLA Levibreton KFG 3000

L'adozione dei sistemi di controllo della frequenza (invertitore) 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.

Un invertitore consente di variare la frequenza e la tensione di alimentazione del motore e dunque permette di adeguare la coppia motrice e la velocità alle esigenze del carico, con conseguente risparmio di energia.

Il risparmio energetico è significativo:

- nel caso di frequenti avvii del motore;
- quando è necessario ridurre la portata di un fluido(ad esempio nelle pompe centrifughe e nei ventilatori, la potenza assorbita aumenta con il cubo della velocità del fluido).

Senza invertitore occorre, infatti, controllare la portata attraverso un sistema di regolazione meccanica del fluido dissipando una buona parte dell'energia fornita dal motore.

L'invertitore consente anche di eliminare le correnti di spunto del motore e il colpo d'ariete nelle tubazioni, di rifare il carico e di ridurre i costi di manutenzione.

In riferimento alla Levibreton KFG 3000 alcuni dei motori sono predisposti al funzionamento sotto comando dell'invertitore a seconda delle applicazioni e delle caratteristiche di funzionamento proprie.

L'invertitore è già predisposto per:

- trasporti (sia in ingresso che in uscita);
- nastro;
- trave.

Mentre si ha un 'funzionamento diretto' cioè senza comando inverter per:

- mandrini;
- ventilatori;
- spazzola.

Come già accennato in precedenza la scelta o meno dell'uso dell'invertitore in determinate applicazioni è giustificata dal fatto che:

1)alcune di esse hanno un ciclo di funzionamento variabile, cioè il ciclo lavorativo non è costante perciò è richiesta una velocità di rotazione del motore variabile;

2)si rende necessario limitare la corrente di spunto nelle condizioni in cui l'avviamento del motore è frequente e quindi nei casi in cui si determina una condizione di lavoro gravosa per lo stesso.

Nel caso specifico si vuole analizzare l'uso dell'invertitore nel movimento della trave in quanto offre la possibilità di un recupero di energia e quindi di un risparmio energetico-economico.

La trave infatti, non è altro che un asse di sostegno dei mandrini leviganti mosso da due motori da 7,5kW l'uno e collegati in parallelo a 220V con connessione degli avvolgimenti a triangolo per quanto visto in precedenza.

Questa, una volta arrivata a fine corsa deve fermarsi per poter tornare indietro e ricominciare il ciclo levigante:

è proprio in questa fase di frenata che l'inversione del flusso energetico, necessario ad invertire la velocità dei motori, può essere recuperato in rete attraverso l'invertitore evitando così di 'scaricare' l'energia di frenatura su resistenze e quindi trasformando potenza utile in calore per effetto Joule.

Nel dettaglio fotografico sottostante si può vedere la localizzazione di uno dei motori della trave



Fig 10-1 Motore trave comandato dall'invertitore

Dati tecnici trave:

- velocità massima : 60mt/min (87Hz)
- velocità usuale : 45mt/min (105Hz)
- accelerazione/decelerazione : 0,4 sec
- potenza freno resistore : 18kW

Tra tutti gli invertitori esistenti in commercio, per la Levibreton KFG 3000 si scelgono quelli a marchio Mitsubishi viste le loro ottime prestazioni fornite.

Dati tecnici:

- settore : macchina per marmo;
- taglie motori in parallelo del comando trave : 2 x 13 kW (per il discorso fatto in precedenza);
- invertitore comunemente usato : FR-A740-00770-EC;
- unità di frenatura : UFS110;
- resistori di frenatura : 13,6 ohm = 18 kW;

Verrà ora testato il recupero energetico di un nuovo prodotto Mitsubishi cioè l'invertitore FR-A741-30K

Strumento di misurazione : Wattmetro esterno accumulatore



Fig 10-2 Invertitore FR-A741-30K

N.B.

Per la taglia dell'invertitore, come detto in precedenza, si deve tener in considerazione entrambi i motori in parallelo quindi sommare le loro Potenze nominali:

$$13 \text{ kW} + 13 \text{ kW} = 26 \text{ kW} \text{ che implica una taglia da } 30 \text{ kW} \text{ dell'invertitore}$$

TEST del recupero energetico FR-A741-30K

Inizio test : 11 AM

Fine test : 17 PM

Energia accumulata : 6 Kwh

Risparmio energetico orario = $6\text{kWh}/6\text{h} = 1 \text{ kWh}$

Ora,imponendo come in precedenza un funzionamento dell'impianto di 12h al giorno per 300 giorni ed un costo dell'energia pari a 0,2cent€/kWh si ottiene:

Risparmio energetico annuo = $(12 \times 300) \times 1 = 3600 \text{ kWh}$

Perciò un risparmio economico annuo di:

$$3600 \text{ kWh} \times 0,2\text{cent€/kWh} = \mathbf{720 \text{ €/anno}}$$

Risparmio economico notevole in quanto prima questo era il valore dell'energia annua dissipata dai resistori!

Come fatto in precedenza per i motori ad alta efficienza,se supponiamo una durata di vita dei motori di 20 anni,il risparmio economico dovuto al solo recupero dell'energia in frenata della trave,grazie all'uso dell'invertitore,si aggira intorno a:

$$720 \text{ €/anno} \times 20 \text{ anni} = 14400\text{€}$$

risparmio importante.

Si possono allora definire i vantaggi ed eventuali svantaggi dell'invertitore che sono:

Vantaggi:

- 1) Assenza dell'uso di resistori di frenatura;
- 2) Il costo dell'invertitore FR-A741 è minore di quello FR-A740 (usato in precedenza)+gruppo freno UFS;
- 3) Ogni anno si avrà un risparmio di 720€.

Svantaggi:

- 1) La dimensione dell'invertitore FR-A741 è maggiore di quello FR-A740;

Infine se si vuole fare una stima del tempo di ritorno dell'investimento fatto per questo tipo di invertitore si può dire che:

dalla tabella 8-8 si vede che il costo di un invertitore senza recupero in rete si aggira attorno ai 2000€ mentre uno con recupero costa 3300€ perciò c'è una differenza di 1300€;essendo che il secondo di questi consente un risparmio annuo di energia pari a 720€,il payback dell'invertitore FR-A741 sarà meno di due anni,tempo accettabile e, trascorso questo periodo,si avrà l'effettivo risparmio di 720€/anno.

Dunque si vede subito che l'uso dell'invertitore FR-A741 è conveniente.

10.1 Costi dell'installazione motore EFF1 + invertitori

Si può fare la scelta di installare,oltre a quelli già presenti,invertitori a controllo di frequenza anche nelle applicazioni che funzionano usualmente con alimentazione 'diretta' cioè senza controllo da parte dell'invertitore.

L'impiego dell'invertitore consente di variare la velocità del motore a seconda delle diverse esigenze e di limitare la corrente di spunto nelle condizioni più gravose come in precedenza.

Attenzione particolare bisogna rivolgere ai ventilatori:in questo tipo di applicazioni essi richiedono,soprattutto per i motori di grossa taglia,una regolazione del flusso di ventilazione adeguato a seconda della fase di lavorazione del prodotto perciò è necessario il controllo tramite invertitore.

I costi delle installazioni motore EFF1+invertitore saranno allora:

Ventilatore:

Potenza nominale $P_n = 3\text{kW}$

Costo eff1 (tabella 8-8) = 364€

Costo invertitore (tabella 8-8) = 300€

Costo dell'installazione = $364+300 = 664\text{€}$

Spazzola:

Potenza nominale $P_n = 1,1\text{kW}$

Costo eff1(tabella 8-8) = 312€

Costo invertitore (tabella 8-8) = 300€

Costo dell'installazione = $312+300 = 612\text{€}$

Nastro:

Potenza nominale $P_n = 1,5\text{kW}$

Costo eff1(tabella 8-8) = 312€

Costo invertitore (tabella 8-8) = 300€

Costo dell'installazione = $312+300 = 612\text{€}$

Trasporto:

Potenza nominale $P_n = 1,1\text{kW}$

Costo eff1 (tabella 8-8) = 312€

Costo invertitore (tabella 8-8) = 300€

Costo dell'installazione = $312+300 = 612\text{€}$

Mandrino:

Potenza nominale $P_n = 15\text{kW}$

Costo eff1 (tabella 8-8) = 585€

Costo invertitore (tabella 8-8) = 1000€

Costo dell'installazione = $364+300 = 1585\text{€}$

Trave: (senza recupero in rete)

Potenza nominale $P_n = 7,5\text{kW}$

Costo eff1 (tabella 8-8) = 1285€

Costo invertitore (tabella 8-8) = 2000€

Costo dell'installazione = $1285+2000 = 3285\text{€}$

Trave: (con recupero in rete)

Potenza nominale $P_n = 7,5\text{kW}$

Costo eff1 (tabella 8-8) = 1285€

Costo invertitore (tabella 8-8) = 3300€

Costo dell'installazione = $1285+3300 = 4585\text{€}$

La valutazione sulla convenienza o meno della combinazione delle due soluzioni ricade sul calcolo del payback che deve tener conto sia dei motori EFF1 sia dell'invertitore utilizzato.

Osservazione:

Nella Levibreton KFG 3000 i ventilatori sono di piccola taglia quindi il flusso di ventilazione messo in movimento è di modeste entità, perciò non è necessariamente richiesta la regolazione di velocità del motore e quindi l'installazione di un invertitore in quanto non produce effetti significativi sul funzionamento di questa applicazione: quindi costo aggiuntivo ingiustificato.

10.2 Considerazioni sulla scelta di installazione motori ad elevata efficienza + invertitore a recupero in rete

Se si volesse rendere l'impianto il più possibile efficiente dal punto di vista energetico si potrebbe pensare di 'combinare' le soluzioni fin ora proposte cioè impiegare motori ad elevata efficienza EFF1 e l'invertitore a recupero in frenata della trave.

In termini economici questo comporterà conseguenze diverse sul payback a seconda del caso in cui ci si trova, cioè se si vanno a sostituire motori standard guasti o funzionanti o se si acquista direttamente un motore EFF1 fin dalla nascita dell'impianto cioè i casi affrontati in precedenza.

In generale si deve valutare il payback sia dei motori EFF1 che dell'invertitore a recupero in rete (valori già trovati).

Un dato certo è che, trascorso il tempo di ritorno dell'investimento sia dei motori EFF1 che dell'invertitore a recupero energetico, si avrà il seguente risparmio energetico annuo:

$$10134,5\text{€/anno} + 720/\text{anno} = 10854,5\text{€/anno}$$

cioè il risparmio economico annuo derivante dall'uso dei motori ad alta efficienza sommato a quello dovuto all'uso dell'invertitore.

In un ciclo di vita dei motori, esempio 20 anni e con l'invertitore a recupero in rete, si arriva a risparmiare complessivamente nella linea di produzione Levibreton KFG 3000 più di 200 mila euro.

Considerazione aggiuntiva

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 frequente).

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 dentate, consente di ovviare a tali problematiche e di ridurre i consumi di energia.

11. CONCLUSIONI

Lo studio effettuato in questa relazione ha avuto come obiettivo quello di stimare il risparmio energetico ed economico nell'impiego di motori ad alta efficienza e di un invertitore a recupero di energia nella fase di frenata della trave mandrini in una linea ad alta produzione per la lucidatura del marmo.

Si è inoltre determinato il tempo di ritorno dell'investimento (payback) sia dei motori ad alta efficienza che dell'invertitore per diversi casi possibili in cui ci si può imbattere nel corso del ciclo di vita dell'impianto.

L'analisi si è focalizzata sugli elementi principali che compongono linea produttiva, cioè su tutte le applicazioni e le macchine utensili che operano nell'impianto in quanto ulteriori elementi e dettagli tecnici sarebbero stati superflui al raggiungimento dell'obiettivo.

Le azioni di risparmio energetico individuate per la Levison KFG 3000 sono state il rifasamento centralizzato automatico, l'installazione di motori ad elevata efficienza EFF1 e di un invertitore che consente il recupero di energia in frenata dell'asse che in precedenza veniva 'scaricata' su un gruppo resistivo.

Il primo passo è stato quello di determinare l'energia assorbita annualmente, tenendo conto del fattore di carico, delle ore di funzionamento annue e del rendimento del motore, da parte di tutte le applicazioni sia con l'uso di motori standard che con l'uso di motori EFF1; fatto ciò si è reso possibile determinare il risparmio energetico annuo (e quindi economico conoscendo il costo dell'energia) dell'intero impianto che si rivela notevole.

Applicando le formule per il calcolo del payback nelle diverse situazioni ipotizzate, si è verificato che la condizione migliore che offre un tempo di ritorno dell'investimento breve è quella di installare fin dalla nascita dell'impianto motori ad elevata efficienza.

Particolare attenzione va posta per il funzionamento della trave dei mandrini: durante la fase di frenata-ritorno dell'asse, il flusso di energia si inverte per consentire questo movimento e l'installazione di un sistema per recupero in rete permette di evitare sprechi di energia inutili.

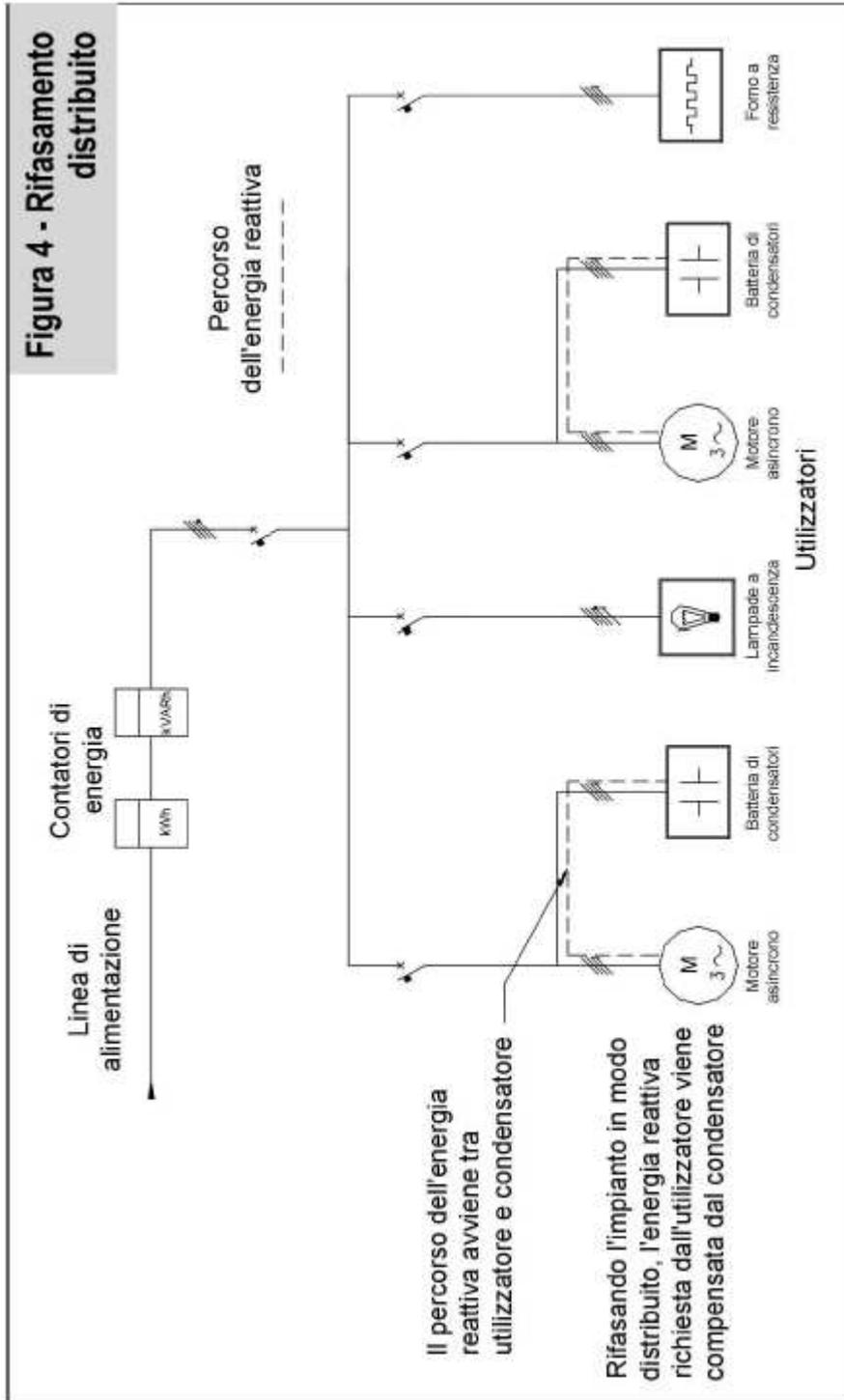
La stima dell'energia recuperabile è stata possibile attraverso un test di misurazione: con un wattmetro esterno accumulatore si è rilevata l'energia recuperabile in frenata per un tempo di 6 ore di funzionamento dell'impianto e questa ha permesso di determinare l'energia annua risparmiabile immettendola in rete; anche in questo caso i vantaggi economici non sono da trascurare.

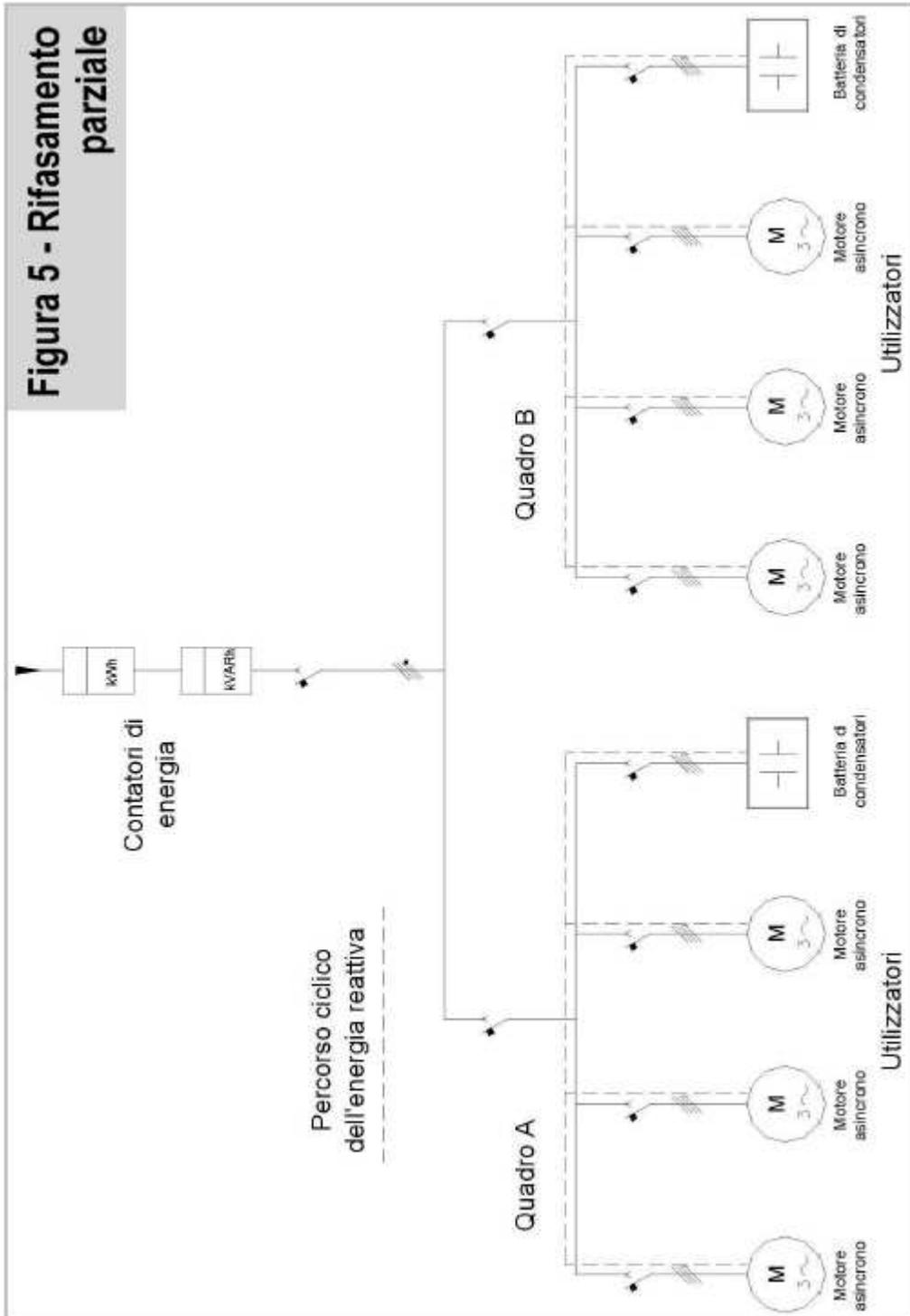
Anche in questo caso il payback dell'invertitore installato è decisamente compatibile con i limiti aziendali.

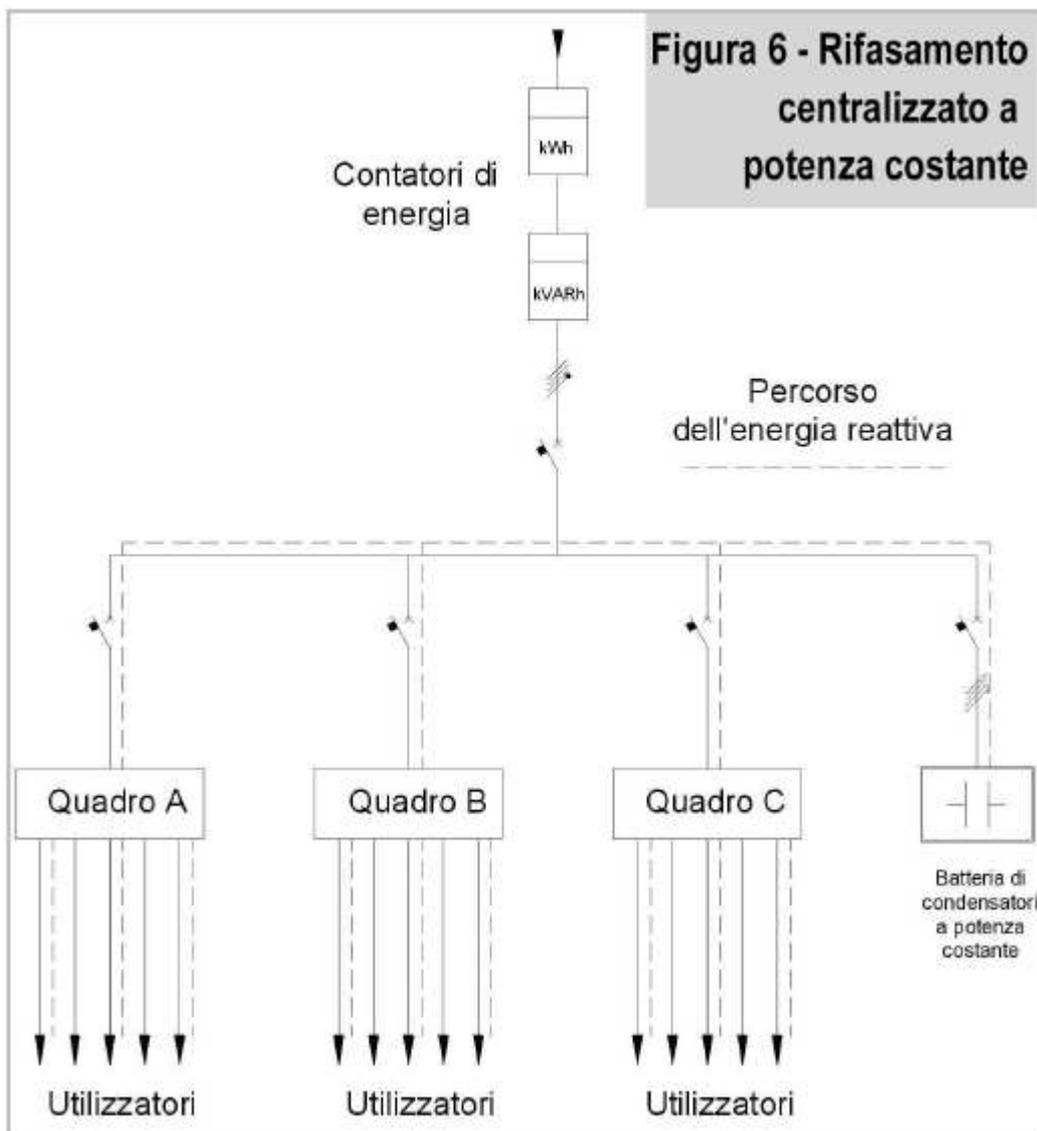
Infine si è valutata la fattibilità della 'combinazione' di queste due soluzioni, cioè i benefici che può portare l'uso contemporaneo sia dei motori ad elevata efficienza che di un invertitore a recupero in rete; ne è emerso che l'impianto ottenuto è ancora più efficiente ma bisogna affrontare un investimento maggiore alla nascita dello stesso.

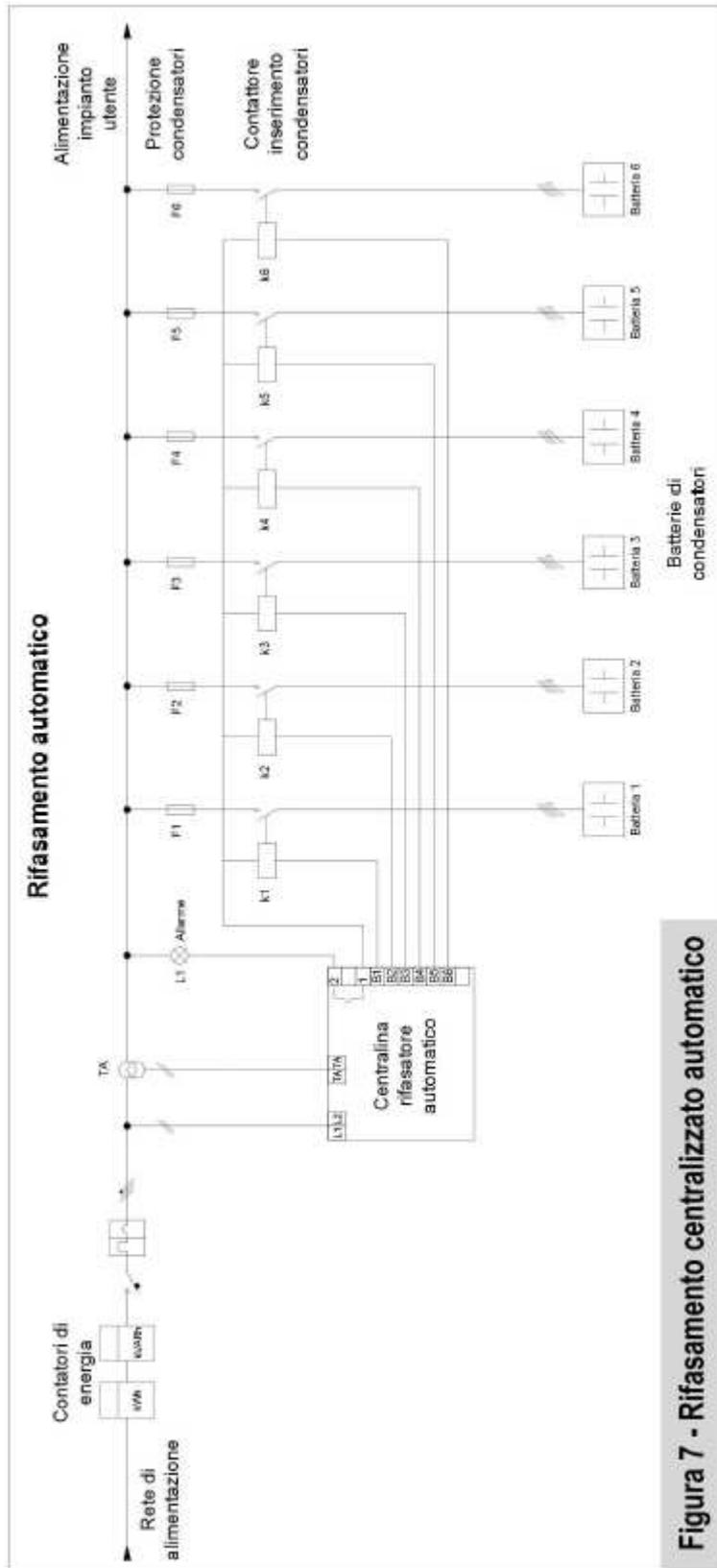
Di fondamentale importanza è segnalare che l'analisi effettuata in questa relazione è strutturata in modo tale da essere applicabile in qualsiasi altra linea produttiva che fa uso di macchine utensili.

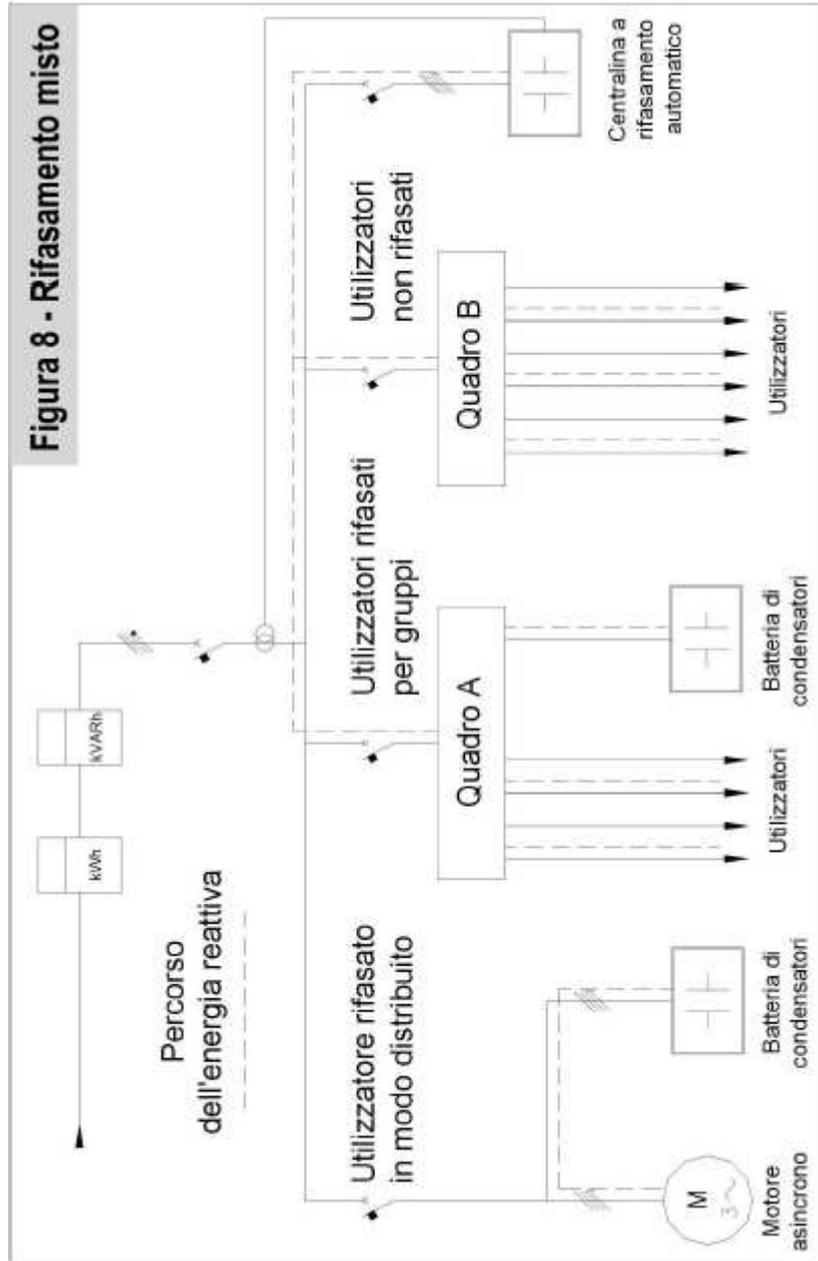
N.B. il tratteggio rappresenta in realtà il percorso della potenza attiva











APPENDICE F

P _n (kW)	2000 h/anno		4000 h/anno		6000 h/anno		8000 h/anno	
	2 poli €/anno	4 poli €/anno						
1,1	28	31	55	63	83	94	110	126
1,5	30	35	61	70	92	105	122	140
2,2	35	41	70	81	105	122	140	163
3,0	41	48	82	96	124	144	165	191
4,0	44	53	88	106	133	159	177	212
5,5	50	60	101	121	15	181	202	242
7,5	58	71	116	142	173	214	231	285
11	69	85	139	171	208	256	277	341
15	84	105	168	211	251	316	335	421
18,5	97	118	193	235	290	353	387	471
22	108	132	215	265	323	397	430	529
30	128	152	254	304	382	456	509	609
37	135	165	269	330	403	495	538	660
45	150	174	299	348	449	522	598	696
55	151	181	302	362	453	542	604	723
75	203	223	407	447	610	670	813	894
90	266	266	533	533	799	799	1065	1061

Esempio di risparmio annuo sulla bolletta elettrica di un motore classe EFF1 rispetto ad uno di classe EFF2 in funzione delle ore di utilizzo (fattore di carico $f_c = 0,75$ e costo dell'energia aggiornato)

RINGRAZIAMENTI

Vorrei per primo ringraziare il Dr. Ing. Giuseppe Buja riconoscendo l'impegno e la sua disponibilità nel seguire la stesura di questa relazione, impegno che si è rivelato un notevole aiuto visti i suoi puntuali interventi; si ringrazia ancora lo stesso per gli insegnamenti che ho potuto acquisire nel corso di Elettronica industriale di Potenza.

Altro importante riconoscimento va all'Azienda Breton S.p.A. che mi ha ospitato ed ha reso possibile lo svolgimento di questo lavoro; in particolare voglio ringraziare il mio tutor l'Ing. Luciano Donà per la sua disponibilità ma soprattutto Stefano Caratti in quanto mio referente durante tutto lo svolgimento del tirocinio che mi ha assistito e insegnato molto.

Inoltre voglio riconoscere la disponibilità di tutto lo staff di collaboratori dell' Ing Donà cioè del personale dell'ufficio progettazione elettrica (Upe), sempre pronto ad aiutarmi nei momenti di difficoltà.

Vorrei in conclusione esprimere la mia gratitudine ai miei compagni di corso Michele, Davide, Alessandro e soprattutto Nicola che mi hanno sempre aiutato in questi anni di studio e ringraziare la mia famiglia in quanto, senza il suo aiuto, il mio percorso universitario non si sarebbe realizzato.

BIBLIOGRAFIA

- [1] “Il giornale dell’Installatore Elettrico” di Antonino Condipodero e Giuliano Guido
- [2] “Motori elettrici ad alta efficienza e risparmio energetico” di Angelo Baggini e Franco Bua-Università degli studi di Bergamo
- [3] “Efficienza energetica ed azionamenti variabili”, Milano 7 settembre 2008
- [4] “Frequency converter” Edizione VACON
- [5] “Causa ed effetti delle correnti armoniche” di Giuseppe Priora
- [6] “Harmonic of inverter power line (input)”-FUJI INVERTER
- [7] “L’efficienza energetica e le imprese” di Ivano Olivetti-ENEA
- [8] Manuale Cremonese di meccanica elettrotecnica ed elettronica
- [9] “Motori a risparmio energetico” ABB SACE
- [10] “Azionamenti elettrici per l’industria e i trasporti” di Prof. F. L. Mapelli
- [11] “Note introduttive agli azionamenti elettrici” di ing. M. Zigliotto-Università degli studi di Udine
- [12] Appunti corso di “Elettronica industriale di potenza” di Giuseppe Buja-Università degli studi di Padova
- [13] Appunti corso di “Macchine elettriche” di Augusto Morini-Università degli studi di Padova
- [14] Catalogo “Levibreton KFG 3000”-Breton s.p.a.
- [15] “Risparmio energetico” di Pozza Gianfranco e Di Santo Federico
- [16] “Guida all’applicazione norme nel settore industriale”-TUTTONORME, Gennaio 2010
- [17] “Il miglioramento dell’efficienza dei motori”-SIEMENS in collaborazione con l’Università degli studi di Bologna, 26-10-2009
- [18] Catalogo e foglio di calcolo Mitsubishi electric gruppo Energy meeting, Aprile 2009
- [19] Cataloghi “Workshop progettisti meccanici”-SIEMENS di Francesco Biffi e Ilario Mauro
- [20] “Built-in motors” from FANUC to Breton, 27-05-2009
- [21] “Low energy ECOiPM featuring IE3, Efficiency class”-YASKAWA, working group 2008