

# SISTEMI AZIONATI DA MOTORI ELETTRICI:

## LE TECNICHE DI DIAGNOSTICA PER IL MIGLIORAMENTO DELL'EFFICIENZA ENERGETICA.

di FLAVIO CONTI [flavio.conti@email.it](mailto:flavio.conti@email.it)

### 1. Introduzione

L'importanza dei sistemi azionati da motori elettrici ai fini del risparmio d'energia è stata trattata in precedenti pubblicazioni, ove sono state altresì illustrate le numerosissime misure d'intervento migliorativo di tali sistemi. In quest'articolo si cerca di illustrare con quali metodologie diagnostiche è possibile analizzare i sistemi azionati da motori elettrici onde definire mirati progetti di intervento migliorativo.

La maggior parte dei sistemi con motore elettrico è costituita da componenti che non sempre risultano ottimizzati. I motivi di queste situazioni sono svariati. Innanzi tutto, ricordando che i motori elettrici possono avere una durata di vita assai lunga (20 – 30 anni), ciò significa che i vecchi motori ancora in funzione sono di vecchia concezione e quindi operano con almeno un paio di punti percentuali d'efficienza in meno rispetto a quelli attualmente in vendita. In altri casi, i motori ed i componenti non più funzionanti sono stati sostituiti con altri disponibili negli stock di riserva dell'azienda e non sempre ottimali per quel particolare sistema. Nelle vecchie catene di funzionamento le informazioni di progetto ed i dati di targa sono spesso mancanti, per cui la sostituzione con nuovi componenti può non coincidere con le specifiche originali. Inoltre, il tipo di carico, sia in termini di potenza che di durata d'utilizzo, può mutare nel tempo per esigenze di produzione, senza che il sistema sia stato ottimizzato alle nuove condizioni. Troppe volte si ritrovano motori sovradimensionati poiché le esigenze di carico nel tempo si sono ridotte. Ogni esperto di motori elettrici può indicare numerosissimi esempi di configurazioni di sistemi con motori elettrici molto irrazionali dal punto di vista dell'efficienza energetica.

Non va dimenticato che nei contesti industriali la principale esigenza è la continuità ed affidabilità delle catene produttive. Pertanto, l'auditor che propone la sostituzione dei componenti esistenti con altri a maggiore efficienza deve fornire al management le massime garanzie non solo riguardo i risparmi monetari ma soprattutto riguardo l'affidabilità delle nuove soluzioni. Per questo motivo, chi deve condurre una diagnosi energetica sia in Piccole o Medie Industrie (PMI) che nelle grandi industrie (ove le modalità di diagnosi sono diverse), deve muoversi con grande professionalità e seguire collaudati schemi di auditing, onde poter determinare con sicurezza tutte quelle misure di risparmio che siano al contempo importanti, convenienti e, soprattutto, affidabili.

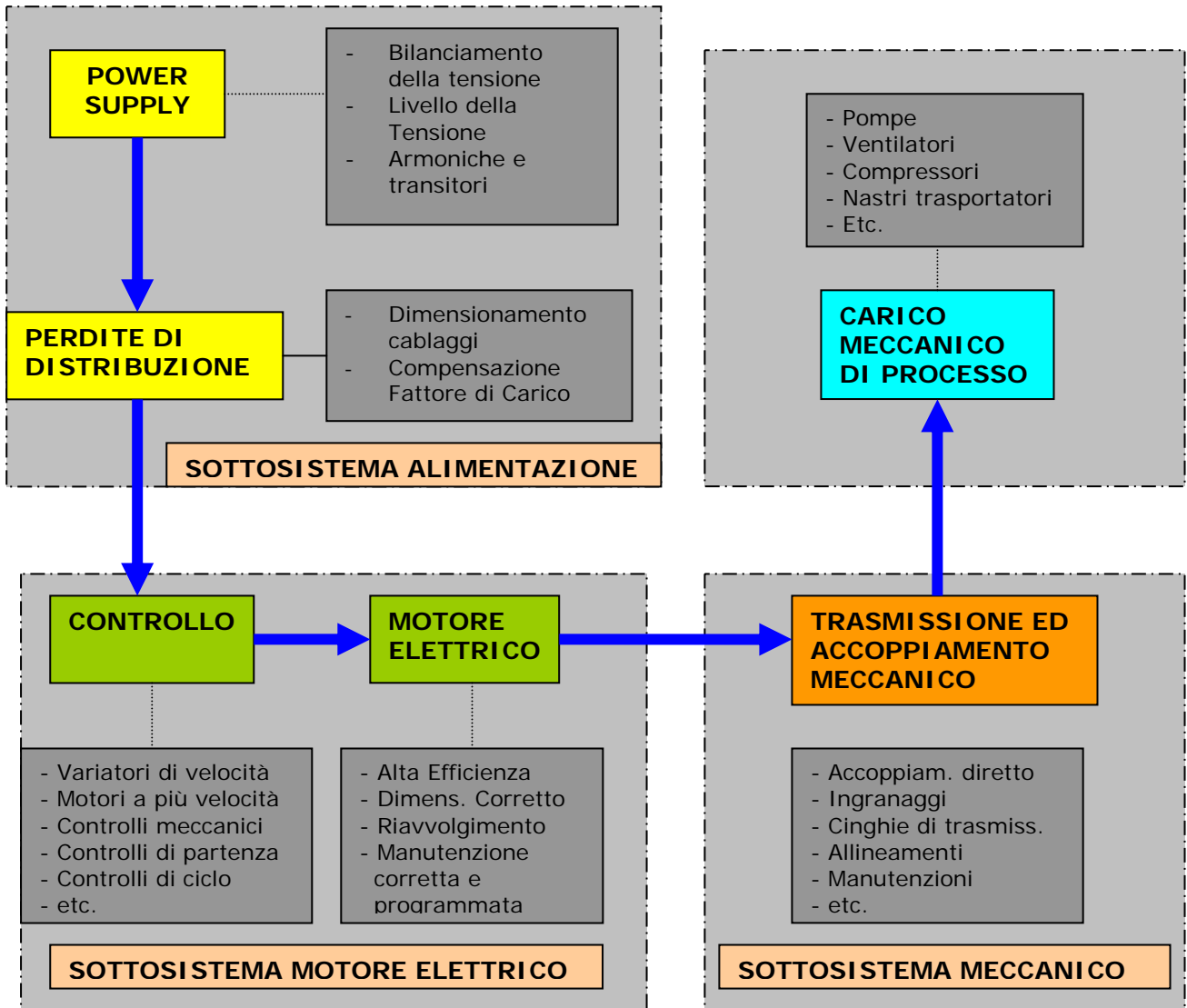
### 2. Schema di diagnosi energetica

In una tipica fabbrica circa il 60% dell'elettricità è assorbita dai sistemi azionati da motori elettrici. Le decisioni su priorità e misure da adottare non sono sempre facili ed evidenti. Ciò è dovuto principalmente a 3 ragioni:

- In molte industrie può essere assai grande il numero di sistemi azionati da motori elettrici di dimensioni ed utilizzi diversi. Questo rende difficile decidere da dove cominciare.
- Una raccolta generali di dati necessari per prendere decisioni può essere lunga e costosa, mentre non è evidente quali dati sono effettivamente essenziali per la diagnosi.

- Numerosissime sono poi le misure di risparmio adottabili, ma spesso molte vengono trascurate perché è impossibile prenderle tutte in considerazione e molte di esse possono non essere convenienti nelle situazioni in considerazione.

*Fig. 1 Sistema azionato da motore elettrico*



Per questi motivi le compagnie che offrono diagnosi energetiche o interventi “completi”, come le Compagnie di Servizio Energetico (ESCo), devono essere equipaggiate con schemi e strumenti diagnostici sofisticati che consentano di sfruttare al massimo le informazioni da raccogliere, senza tralasciare le più importanti opportunità.

In generale, gli schemi di diagnosi, a qualsiasi campo siano applicati, prevedono una sequenza di passi logici, che iniziano con l’analisi (audit) preliminare, molto semplice ed approssimata, della situazione esistente, per decidere se vale la pena intervenire. I passi successivi consistono nella raccolta dei dati necessari e la scelta tecnico-economica delle misure d’intervento. Infine, se le misure proposte sono adottate ed implementate, vi può essere un passo finale di verifica e monitoraggio dei risultati ottenuti da confrontare con le aspettative di progetto.

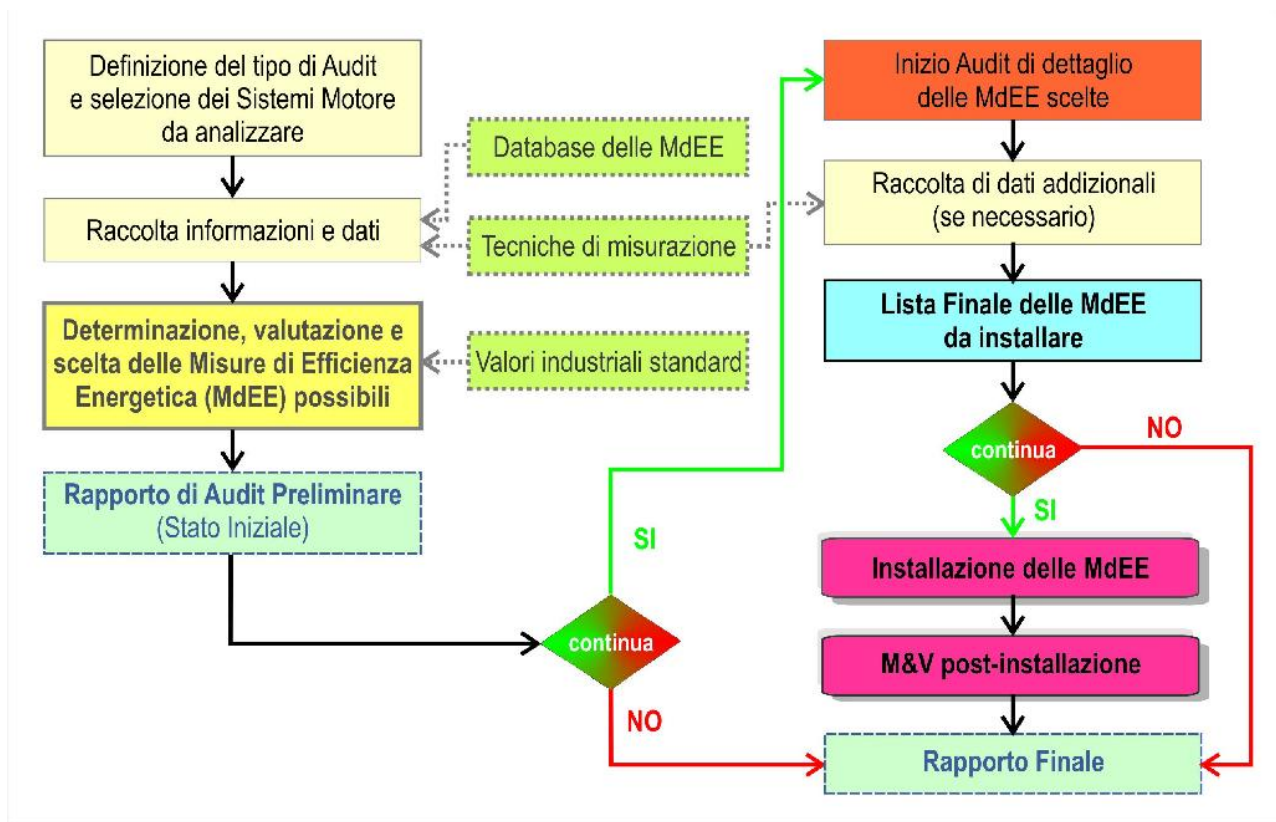


Fig. 2 Schema di audit completo

Ovviamente, questa sequenza generale della diagnostica va adattata non solo al campo in cui si applica (motori elettrici, illuminazione, consumi termici di un edificio o altro), ma anche in base al tipo e alle dimensioni del committente (ad es. Piccola o Grande Industria, Terziario, etc.), agli obiettivi e criteri aziendali, alle disponibilità finanziarie, etc. etc. A seconda delle decisioni del Management, alcune delle fasi possono essere semplificate o non effettuate. Se le indicazioni del Rapporto Preliminare individuano ampie possibilità di risparmio con interventi semplici, si può già decidere di intervenire subito. Se invece si desiderano acquisire i Titoli di Efficienza Energetica (TEE), allora l'intero processo diagnostico va condotto con una maggior attenzione per rispettare le procedure concordate di Misure e Verifica (ad esempio l'IPMVP [ ref. 2,3 ] ).

In Figura 2 ed in Tabella 1 sono riportati i passi e lo schema generale di una diagnosi completa, formata della fase di Prediagnostica, Audit Dettagliato e fase di controllo Post-Installazione. [ref. 1]

Tabella 1 - Sequenza di Passi di una Diagnosi Energetica di Sistemi con Motore Elettrico

1. Definizione del tipo di Audit e selezione dei sistemi motore	a) Scelta del tipo di audit b) Fissazione dei Criteri di Audit in accordo con i criteri dell'azienda; c) scelta dei sistemi motore da analizzare
2. Raccolta di Dati ed Informazioni	a) Raccolta di dati generali sui consumi energetici e le potenze installate nella struttura b) Raccolta dei dati di targa e di funzionamento del sistemi motore scelti per l'audit c) Ricorso ai studi precedenti (se esistenti) sia in azienda che di settore, per conoscere già a priori il tipo di misure adottabili e le informazioni e le esperienze di situazioni simili In questa fase l'auditor potrà usufruire di dati provenienti da studi settoriali,

	esperienze industriali varie e da database delle MdEE.
3. Selezione e determinazione delle Misure d'Efficienza Energetica (MdEE)	Per ogni sistema con motore elettrico l'Auditor compilerà: <ul style="list-style-type: none"> <li>- una lista delle MdEE più evidenti da adottare senz'altro</li> <li>- una lista delle MdEE che possono essere recepite ma che richiedono un'indagine più approfondita</li> </ul> una lista delle MdEE più marginali e di minor importanza da adottare solo dopo ulteriori indagini e da implementare solo quando sarà il momento più opportuno (strategie di installazione).
4. Compilazione del Rapporto Intermedio di Audit o Rapporto di Audit Preliminare da parte dell'Auditor o della ESCo.	Il rapporto Intermedio va redatto e sottoposto alla Direzione della struttura per discussione ed accettazione. A questo punto i decisori devono decidere su: <ul style="list-style-type: none"> <li>- accettazione del rapporto</li> <li>- implementazione delle MdEE da implementare subito</li> <li>- continuazione dell'audit per sfruttare tutte le potenzialità di risparmio evidenziate</li> </ul>
5. Pianificazione e conduzione dell'Audit Dettagliato	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Compilazione della Lista dei sistemi motore su cui condurre l'indagine dettagliata, con le specifiche delle MdEE da analizzare</li> <li>- Planning delle visite sul sito e della strumentazione da predisporre.</li> <li>- Se l'Audit fa parte di uno schema di Misure &amp; Verifica (M&amp;V), definire lo Stato Iniziale di Riferimento rispetto al quale calcolare i Risparmi.</li> </ul>
6. Misurazioni e Raccolta Dati	Per ogni MdEE da effettuare: <ul style="list-style-type: none"> <li>- stilare la Lista delle Misurazioni o Raccolta dati settoriali</li> <li>- condurre la Procedura di Audit (AP) utilizzando le Tecniche di Misurazione (MT) previste.</li> </ul>
7. Lista Finale delle MdEE e rapporto Finale dell'Audit	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sulla base delle Misurazioni effettuate eseguire il calcolo di convenienza tecnico-economica delle varie MdEE.</li> <li>- Completare la Lista delle MdEE da applicare</li> <li>- Redarre il Rapporto Finale per il Management, con tutte i dati necessari per la decisione</li> </ul>
8. Decisione	Il Management deve decidere, in base al Rapporto finale: <ul style="list-style-type: none"> <li>- l'installazione delle MdEE</li> <li>- i check Post-Installazione</li> <li>- il monitoraggio per la persistenza dei risparmi e le M&amp;V</li> </ul>
9. Misure e Verifiche dopo l'installazione delle MdEE	Le potenze ed il consumo d'energia sia dell'intera struttura che dei singoli sistemi motore sono misurate in modo spot o in continuo per un periodo concordato.
10. Rapporto Finale post Installazione	Al termine del periodo di controllo, l'Auditor (o la ESCo) consegnano al Management il rapporto di M&V che potrà essere utilizzato per la chiusura contrattuale che per l'acquisizione dei Titoli di Efficienza Energetica (TEE) o Certificati Bianchi.

## 2.1 L'Audit Preliminare

La fase iniziale dell'audit è una delle più critiche, in quanto deve affrontare il problema del DOVE INIZIARE? Tuttavia, prima di descrivere i vari passi tecnici della diagnostica, va subito chiarito con il cliente il quadro operativo dell'Audit stesso, cioè a dire:

- il **Tipo di Audit**: in base al budget disponibile ne deriva il tempo ed il costo dell'audit e di conseguenza la precisione dei risultati.
- I **Criteri dell'Audit**: il cliente può specificare i suoi propri criteri di convenienza economica (ad es. il tempo di payback massimo accettabile), il budget disponibile ed il tipo di contratto preferito per le azioni di retrofit, particolari attenzioni per alcune produzioni, se necessita una fase di Misure e Verifica o Contratti basati sulle Prestazioni.

In questa fase (chiamata anche *Walk-through* o *Screening Energy Audit*) il tecnico di diagnostica, mediante una prima ispezione rapida, può già individuare le zone più critiche di potenziale risparmio energetico e notare quelle misure più evidenti e banali da adottare, in una logica di buone conduzione degli impianti.

## 2.2 La raccolta Dati, Informazioni e le Tecniche di Misurazione

Al fine di minimizzare il tempo ed i costi dell'Audit, l'esperto deve concentrare gli sforzi su un numero abbordabile di sistemi motore. Uno dei migliori approcci iniziali è di evidenziare i sistemi a più alto consumo d'energia. Un metodo rozzo ma efficace è di determinare subito i costi operativi di ogni sistema moltiplicando fra loro a) la potenza nominale del motore b) le ore di funzionamento e c) il costo del kWh. Questo prodotto, pur trascurando il rendimento ed il carico, consente di ordinare per ordine decrescente di importanza i vari sistemi motori presenti senza dover eseguire alcuna misurazione. Ad esempio, in un sito dove l'elettricità costa 0,06 €/kWh un motore da 1 kW con un rendimento assunto pari al 90% in un anno (8000 h) costa 533 €. Tenendo conto che quanto maggiore è il consumo, tanto maggiore è il potenziale risparmio, ecco che l'ordinare i sistemi in ordine d'importanza fornisce una guida per le ispezioni più approfondite.

Se però si desidera procedere in modo un po' più sistematico, le informazioni da raccogliere in questa fase sono:

- **Informazioni di carattere generale:** riguardo l'edificio o il reparto, la potenza totale installata, il numero dei sistemi-motore presenti, i livelli di produzione o di servizio, in termini di quantità o di ore di funzionamento della struttura;
- **Raccolta di tutti i dati disponibili dei sistemi motore:** dati di targa con la potenza d'ogni motore, dati di funzionamento (tipo e fattore di carico, orari di funzionamento, intermittenze)
- **Riferimenti a studi esemplari e casi di riferimento precedenti:** se esistono studi di settore applicabili, questi sono utilissimi per disporre dati di riferimento e fornire indicazioni circa le più probabili misure di intervento.

## 2.3 La selezione delle MdEE e il Rapporto dell'Audit Preliminare

Le varie Misure di Efficienza Energetica (MdEE) sono classificabili in 6 Aree di Risparmio Energetico riportate in Tabella 2. (Ref. 4). Il diagnosticatore cerca in questa fase di trovare tutte quelle MdEE più ovvie ed evidenti, che avrebbero dovuto già essere implementate se la gestione fosse attenta agli aspetti dell'efficienza energetica. La disponibilità di Data Base con la descrizione standardizzata delle varie MdEE e/o di programmi software dedicati alla diagnosi dei sistemi a motore elettrico (Ref. 5, 6) possono aiutare molto nelle fasi sia di audit preliminare che dettagliato.

**Tabella 2. Aree di Risparmio Energetico**

1. Controlli e Regolazione
  - Spegnere il motore quando non è necessario
  - Installare Regolatori di Velocità quando la velocità del carico è variabile
2. Ridurre le perdite del motore
  - Migliorare il rendimento del motore
  - Migliorare l'accoppiamento con il carico
3. Ridurre le perdite di trasmissione meccanica
4. Ridurre le perdite nella distribuzione elettrica
5. Migliorare la qualità dell'alimentazione elettrica
6. Ridurre le perdite dovute al carico ossia ottimizzare le apparecchiature azionate dal motore (pompe, compressori, ventole, refrigeratori, rulli, etc. )

In questa fase dell'Audit, il diagnosticatore per ogni sistema motore :

- compila una lista (N. 1) delle MdEE più ovvie che debbono essere implementate senza ulteriori approfondimenti, comprese quelle relative alla manutenzione
- compila una seconda lista (N. 2), con le MdEE che sembrano applicabili, ma che richiedono una verifica più accurata
- infine, compilerà una terza lista (N.3) con le MdEE di minor importanza che potranno essere eventualmente adottate qualora vi siano circostanze di implementazione favorevoli.

I risultati dell'Audit Preliminare possono già essere direttamente riportati nel Rapporto di Audit Preliminare e utilizzabili dal cliente. Anche se basati su valutazioni approssimate e sull'esperienza del diagnosticatore, molte delle MdEE individuate sono immediatamente adottabili con investimenti nulli o bassissimi. L'alta convenienza economica e l'evidenza tecnica giustificano abbondantemente l'approssimazione delle valutazioni. Il Management della ditta deve a questo punto o approvare il rapporto ed implementare le MdEE suggerite oppure far proseguire l'Audit onde sfruttare del massimo del potenziale di risparmio consentito. Nel caso in cui si debba documentare il risparmio per ottenere e valorizzare i Titoli di Efficienza Energetica (TEE) (Ref. 7) il Rapporto Preliminare dovrà contenere una precisa descrizione della Situazione Pre-Intervento rispetto alla quale verrà poi calcolato il Risparmio Energetico ottenuto, secondo Protocolli di Misura & Verifica (ref. 2 e 3).

## 2.4 L'audit dettagliato

Dopo che il Facility Management ha deciso il completamento dell'Audit, è necessario passare alla raccolta e l'analisi dei dati relativi alle MdEE incluse nella Lista N. 2. E' essenziale raccogliere solo quei dati necessari per la valutazione della redditività dell'intervento e quindi per la decisione finale d'implementazione. A tale scopo il tecnico di diagnostica dovrà disporre di strumenti di supporto informativo adeguati. Ci riferiamo qui non solo a programmi di analisi e database (v. paragr. Seguento), ma anche a schede standard dettagliate per ogni Misura di Efficienza Energetica, dove non solo la misura è descritta in dettaglio, ma sono anche specificati i dati necessari per l'analisi, le procedure e le tecniche di misurazione, i metodi di collaudo e di accettazione, i criteri decisionali, e quant'altro può essere utile ai fini progettuali e decisionali. L'efficienza dell'audit risiede fondamentalmente nell'esperienza del tecnico, che quindi deve basarsi su strumenti informatici potenti che gli consentano di disporre rapidamente delle informazioni di cui necessita. Pertanto egli dovrà disporre, per ogni Misura di Efficienza Energetica di:

- **Procedure di Analisi:** intendendosi con questo termine la sequenza di operazioni elementari (raccolta informazioni e dati, misurazioni, calcoli) necessari per pervenire alla decisione di adottare o meno la MdEE sotto analisi;
- **Tecniche di Misurazione:** La determinazione dell'energia consumata richiede un limitato numero di misurazioni condotte con modi e strumenti diversi, a seconda della precisione desiderata. Ogni Tecnica di Misurazione deve essere standardizzata, almeno a livello del diagnosticatore.
- **Valori di referenza:** Spesso durante un audit i dati concernenti il fattore di carico dei vari sistemi motore non sono noti. E' quindi necessario disporre di valori di riferimento ottenuti da inchieste fatte in condizioni analoghe. Vari studi su vari settori industriali forniscono preziose informazioni riguardo il consumo d'energia di diversi utilizzi finali, fattori di carico per vari dimensioni di motore e applicazioni, indicazioni delle inefficienze più frequenti e delle MdEE più appropriate in ogni settore e per le varie applicazioni.

## 2.5 I Software di diagnostica e valutazione

Numerosi sono gli strumenti informatici a supporto del processo di diagnosi. Non potendo, per motivi di spazio, descrivere questi software, ci limitiamo a menzionare i più noti, suddivisi in base alle loro caratteristiche.

- **Programmi di screening rapido:** Il programma *QuickStart* della ETSU inglese consente di identificare quale sistema motore richiede la maggior attenzione.
- **Programmi di Analisi di Sistema:** sono programmi che considerano non solo il motore ma l'intero sistema, consentendo di simulare varie opzioni di intervento. Il Programma *Pump-Flo* consente di analizzare i sistemi di pompaggio, *ASD-master* (EPRI) considera anche i vantaggi non-energetici, *Danfoss He-VAC city* considera le applicazioni possibili in una città virtuale
- **Programmi di database e inventario:** sono programmi che gestiscono database di componenti (motori, pompe, VSD, etc.) e consentono di scegliere i più componenti più efficienti. (*EuroDEEM [5]*, *MotorMaster +*). Programmi che consentono di caricare ed analizzare l'inventario dei sistemi motore del cliente possono facilitare non solo la compilazione del rapporto di Audit, ma anche forniscono uno strumento di gestione permanente e prezioso per l'utente..



**EURODEEM<sup>99</sup>**

The European Database  
of  
Efficient Electric Motor Systems



**Fig. 3** LOGO di alcuni programmi d'analisi di sistemi azionati da motori elettrici (*QuickStart*, *EuroDEEM*, *MotorMaster+*.)

## 2.6 Il Rapporto Finale e le sue ricadute

La redazione del Rapporto Finale richiede particolare attenzione da parte del diagnosticatore, poiché è sulla base della relazione presentata che il Management deciderà le azioni e gli investimenti. Anche se esistono formati standard di Rapporto Finale, questo va però adattato al tipo ed agli scopi dichiarati dell'Audit. Nel caso in cui l'Audit sia parte di un contratto di Contratto basato sulle Prestazioni il Rapporto deve chiaramente riportare i consumi d'energia e le potenze nelle situazioni di *prima* e *dopo* l'implementazione degli interventi, nonché la descrizione degli *aggiustamenti* necessari onde poter comparare correttamente le due situazioni.

Il Rapporto Finale deve includere, oltre che i risultati del Rapporto Preliminare, anche le misurazioni sul sito, l'analisi delle MdEE considerate, il Piano d'Azione e la strategia implementativi suggeriti, la descrizione delle situazioni *Prima* e *Dopo* l'installazione e, naturalmente, i minori costi ed i risparmi d'energia ottenuti.

### 3. CONCLUSIONI

Il potenziale di risparmio d'energia dovuto ai sistemi azionati dai motori elettrici sia nel settore industriale che nel terziario sono considerevoli. Per sfruttare questa "miniera virtuale" di risparmio energetico è necessario intervenire in moltissime situazioni in questi settori con strumenti adeguati. Mentre le tecniche di progettazione dei sistemi con motore elettrico sono note da moltissimi decenni, molto meno sviluppate sono le tecniche di diagnosi per interventi sull'esistente. Le Misure di Efficienza Energetica in questo campo sono numerosissime e procedure di misurazione ed analisi debbono essere definite e consolidate in modo razionale affinché il processo diagnostico sia appropriato e conveniente. Se poi le azioni sono condotte da ESCo che debbono formalizzare i risparmi d'energia ottenuti onde ottenere i Titoli d'Efficienza Energetica (noti anche come *Certificati Bianchi*), allora disporre di una schema-tipo (o Linee Guida) per la Diagnostica dei sistemi motore diventa ancor più urgente e necessario.

### Referenze

- [1] F. Conti, "*The energy audit of Electric Motor Driven Systems*", Proceedings of "*Energy efficiency in Motor driven systems*" International Conference, Treviso 2003, ISBN 3-540-00666-4, Springer Verlag
- [2] Dept. of Energy, "*International Performance Measurement & Verification Protocol*", DOE/EE-0157 Report, Dec. 1997.
- [3] F. Conti, "*The Importance of Measurement & Verification Protocol in the implementation of Energy Efficiency Measures by ESCOs and utilities.*", Proc. of IEECB 2002 Conference, Nice
- [4] F. Conti, "*Rassegna delle Misure di Efficienza Energetica per i Sistemi Azionati da Motori Elettrici*", Progetto Elettrico N30 **Anno 2005**
- [5] F. Conti, P. Bertoldi, S. Cocchi, V. Berrutto, "*The software EURODEEM as Support tool for Auditors*", Proc. of EEMODS 2002 International Conference, Treviso 2002, ISBN 3-540-00666-4 Springer Verlag, pagg. 290- 296
- [6] J. Malinowski, "*BE\$T, an Energy Saving Tool*", Baldor Electric Company, Proc. of EEMODS 2002 International Conference, Treviso 2002, ISBN 3-540-00666-4 Springer Verlag, Pagg. 270-277