



Ricerca di Sistema elettrico

Potenziamento fino a 55 kW della facility
per la sperimentazione e verifica di motori
elettrici ad alta efficienza

M.A. Segreto, R. Guida, S. Beozzo

POTENZIAMENTO FINO A 55 KW DELLA FACILITY PER LA SPERIMENTAZIONE E VERIFICA DI MOTORI ELETTRICI
AD ALTA EFFICIENZA

M.A. Segreto, R. Guida, S. Beozzo (ENEA)

Settembre 2016

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

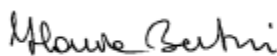
Piano Annuale di Realizzazione 2015

Area: Efficienza energetica e risparmio di energia negli usi finali elettrici e interazione con altri vettori energetici

Progetto: Potenziamento della facility per la sperimentazione e verifica di motori elettrici ad alta efficienza

Obiettivo: Efficienza energetica nel settore industria

Responsabile del Progetto: ing. Ilaria Bertini, ENEA



Responsabile scientifico ENEA: ing. Maria Anna Segreto



Indice

SOMMARIO.....	4
1 INTRODUZIONE.....	6
2 DESCRIZIONE DELLE ATTIVITÀ SVOLTE E DEI RISULTATI E DEFINIZIONE DELLE SPECIFICHE DI LABORATORIO	8
3 CONCLUSIONI.....	13
4 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	15
5 INDICE DELLE FIGURE	15

Sommario

Il report illustra le attività svolte per il potenziamento della sala prove per la verifica di motori elettrici ad alta efficienza.

Il 75% dell'energia elettrica consumata nel settore industriale è utilizzata per alimentare motori elettrici, diventa, quindi, indispensabile, soprattutto dal punto di vista dell'efficienza energetica, conoscere il rendimento di un motore elettrico.

I motori elettrici vengono classificati secondo classi di rendimento energetico "IE", stabilite dalla norma internazionale IEC 60034-30:2008. Il recepimento europeo fissa delle scadenze temporali per le quali possono essere immessi sul mercato motori elettrici aventi classe di efficienza almeno pari a quella prevista dalla normativa. Il regolamento 640/2009/CE, adottato il 22 luglio 2009, stabilisce che dal 16 giugno 2011 i motori immessi sul mercato devono avere classe di efficienza IE2, dal 1 Gennaio 2015 i motori con potenza tra 7,5 e 375 kW devono essere in classe di efficienza IE3 oppure IE2 se accoppiati ad inverter e dal 1 Gennaio 2017 i motori con potenza tra 0,75 e 375 kW devono essere in classe di efficienza IE3 oppure IE2 se accoppiati ad inverter [1]:

<i>Classe di efficienza</i>	<i>Livello di efficienza</i>
IE1	Motori con rendimento <i>standard</i>
IE2	Motori con rendimento <i>elevato</i>
IE3	Motori con rendimento <i>premium</i>
IE4	Motori con rendimento <i>super-premium</i>

Figura 1: Classi di efficienza dei motori elettrici

Fonte immagine: FIRE

Ad ognuna delle classi su espresse corrispondono, in funzione della potenza del motore, dei valori di rendimento:

		<i>TAGLIA [kWe]</i>					
		1.5	7.5	15	37	90	160
<i>CLASSE DI EFFICIENZA</i>	IE1	0.765	0.85	0.879	0.909	0.929	0.934
	IE2	0.828	0.877	0.906	0.927	0.942	0.949
	IE3	0.853	0.904	0.921	0.939	0.952	0.958
	IE4	In fase di ricerca e sviluppo					

Figura 2: Rendimenti motori elettrici in funzione delle classi di efficienza

Fonte immagine: FIRE

Obiettivo principe delle attività svolte è quello di realizzare una sala prove che possa mettere il laboratorio in condizione di testare i motori elettrici presenti sul mercato al fine di verificare le reali prestazioni degli stessi e constatarne la sostenibilità anche da un punto di vista ambientale; ciò col fine di concorrere al miglioramento della sostenibilità del sistema energetico nazionale.

Il tema dell'efficienza energetica, infatti, assume un ruolo primario nell'ambito dell'installazione di un motore elettrico anche perché il costo dell'energia consumata rappresenta, nel ciclo di vita utile del prodotto, una porzione importante del total cost of ownership (TCO).

Da un punto di vista legislativo la Comunità Europea ha affrontato il problema con il Regolamento della Commissione 640/2009, adottato il 22 luglio 2009 il quale specifica i requisiti in materia di progettazione ecocompatibile per i motori elettrici definendo le specifiche per l'appartenenza alle classi di efficienza minima (IE2, IE3) e i tempi di introduzione delle suddette classi di efficienza.

Nell'ambito del Regolamento 2009/640/CE, il Ministero dello Sviluppo Economico ha riconosciuto in ENEA il suo braccio operativo per tutto ciò che riguarda l'ERP (Energy Related Products) e nell'ambito della Direttiva 2012/27/UE, recepita dal D.Ls. 102/2014, ha affidato a ENEA il compito di svolgere i controlli di conformità delle diagnosi energetica fatte nelle aziende energivore, dove spesso vengono impiegati motori elettrici e, più in generale, di stimolare le PMI all'uso di tecnologie efficienti.

1 Introduzione

Il costo di vita di un motore è dovuto per il 98% all'acquisto di energia elettrica e solo per il 2% ad acquisto e manutenzione. L'efficienza di un motore elettrico dipende, normalmente, da più fattori:

1. Perdite
2. Presenza di sistemi di controllo delle velocità del motore
3. Qualità dell'alimentazione
4. Corretto dimensionamento
5. Eventuali perdite di distribuzione
6. Corretta manutenzione

Le perdite possono essere di tre tipi:

- perdite meccaniche, dovute all'attrito nei cuscinetti e nelle spazzole
- perdite nel ferro a vuoto, proporzionali al quadrato della tensione e dovute ad isteresi (energia dispersa nei cambi di direzione del flusso) e a correnti parassite
- perdite per effetto Joule, proporzionali al quadrato della corrente e alla resistenza dei conduttori.

Esse possono essere ridotte migliorando i materiali utilizzati per la realizzazione o prevedendo particolari accorgimenti costruttivi quali:

- Il nucleo, realizzato con lamierini a basse perdite perché più sottili e minore traferro che diminuiscono le perdite a vuoto
- Aumentando la sezione dei conduttori dello statore e del rotore per ridurre le perdite per effetto Joule;
- Praticando un attenta scelta del numero delle cave e della geometria delle stesse.

Tutte queste modifiche comportano, inoltre, una minore produzione di calore e di conseguenza l'impiego di ventole di raffreddamento più piccole e quindi minori perdite meccaniche.

Queste considerazioni in combinazione con il fatto che la maggior parte dell'elettricità utilizzata nell'industria viene, in generale, assorbita dai motori, con il 74% dei consumi elettrici totali ci permette di affermare che migliorando le caratteristiche tecnologiche dei motori stessi, si possono ottenere importanti vantaggi in termini di efficienza energetica e quindi di risparmio economico.

Migliorare l'efficienza energetica del motore significa incrementarne il rendimento, ossia ridurre il fabbisogno di potenza elettrica assorbita a parità di potenza meccanica prodotta:

$$P_{in} = \frac{P_{out}}{\eta_m}$$

Dove:

P_{in} è la potenza elettrica assorbita

P_{out} è la potenza meccanica prodotta

η_m è il rendimento

I motori elettrici ad alta efficienza presentano un rendimento più alto delle macchine tradizionali proprio perché hanno minori perdite.

Scopo dell'attività svolta all'interno dell'accordo di programma è quello di allestire una facility che consenta la verifica di tutti quei parametri che concorrono ad individuare la reale efficienza di un motore elettrico e ne definiscano in maniera controvertibile le caratteristiche tecniche.

Nella prima fase delle attività, concluse nel 2015, era stata progettata e realizzata una facility per lo svolgimento di verifiche su motori elettrici asincroni fino a 15kW; questa seconda fase ci ha condotto all'implementazione della stessa fino ad una potenza massima di verifica di 55 kW.

Tale soluzione prevede un upgrade della strumentazione esistente consentendo l'integrazione degli strumenti già presenti con i nuovi dispositivi. Le attività svolte hanno riguardato principalmente la progettazione della nuova configurazione in integrazione a quella già esistente. Ciò, ovviamente, è stato possibile attraverso un'attenta analisi dei banchi già presenti che devono "integrarsi" e "interfacciarsi" con il nuovo. E' stata, inoltre, riprogettata la location ed i cablaggi e sono state ricalcolate le potenze necessarie per i nuovi quadri elettrici; ciò anche col l'obiettivo di avere piena compatibilità della soluzione integrata.

2 Descrizione delle attività svolte e dei risultati e definizione delle specifiche di laboratorio

Per lo svolgimento di verifiche su motori elettrici asincroni fino a 55kW, l'identificazione delle grandezze da misurare, della strumentazione più idonea e delle tecniche di misura richiedono la valutazione dell'ordine di grandezza dei parametri dei motori oggetto di verifica. A tal fine è stato, quindi, investigato e sintetizzato lo stato dell'arte inerente le misurazioni delle grandezze necessarie alle prove sperimentali ed individuata la strumentazione commerciale più adatta agli specifici obiettivi che il progetto si è proposto di raggiungere. Sono state dettagliatamente considerate e individuate le misurazioni di tensione, corrente, frequenza, potenza, resistenza, temperatura, velocità angolare e coppia.

Dopo un'attenta disamina dello stato dell'arte e dopo aver considerato tutte le opzioni disponibili sul mercato si è scelto di adottare dei banchi prova realizzati con motori ed inverter a recupero ed una adeguata meccanica che permettono di ottenere i seguenti vantaggi:

- Recupero di energia;
- Essendo i motori raffreddati con ventilazione forzata, si evita di realizzare un impianto di raffreddamento e trattamento acque necessario con l'adozione di freni a correnti parassite;
- Esecuzione caratteristica meccanica portando il motore da velocità di sincronismo fino a zero giri (con i freni a correnti parassite non è possibile se non abbinando un freno a polveri nella configurazione Tandem con i relativi costi);
- Esecuzione prove di trascinamento su organi passivi per verificarne l'assorbimento meccanico ai vari regimi (esempio: misura della resistenza meccanica delle giranti).

Al fine di mantenere un adeguato livello di accuratezza delle misurazioni per tutto il range di potenze dei motori elettrici sulla quale la facility dovrà operare, si è scelto di integrare ai due banchi prova esistenti, progettati per operare rispettivamente sui range di potenza 0,12-3kW e 3-15kW, un terzo banco attivo a recupero di energia mod. ACM/L/5000/460 che permetta di riuscire a frenare i motori in prova fino a 45 kW 2-4 poli e più precisamente:

Banco n.	Modello	Range motori			
		n. poli	Range [kW] (*)		
			Min	IEC60034-2-1	Max (**)
3	ACM/L/5000/460	2	11	15 ÷ 45	55 (**)
		4	11	15 ÷ 45	55

Note

(*) Le potenze indicate in tabella si riferiscono a:

- colonna "Min", alla potenza minima testabile con tutti i limiti di controllo e rilievo della coppia
- colonna "IEC60034-2-1, al range di potenza testabile in accordo con le normative IEC60034-2-1 e cioè considerando di effettuare prove a carico fino al 150% della coppia nominale. Ovviamente:
 - riducendo questa percentuale oppure effettuando le prove a coppia nominale, si possono testare motori anche di potenza maggiore di quelle indicate
 - rinunciando ad un pò di precisione si possono testare anche motori di potenza inferiore a quelle indicate
- colonna "Max", alla potenza massima testabile a regime nominale, o a tensione ridotta, senza sovraccarichi e quindi senza prove per alta efficienza.

(**) Per motivi strutturali, tecnici ed economici, la potenza massima testabile è limitata a 55kW.

Si riporta di seguito lo schema funzionale della strumentazione integrata e il layout del laboratorio:

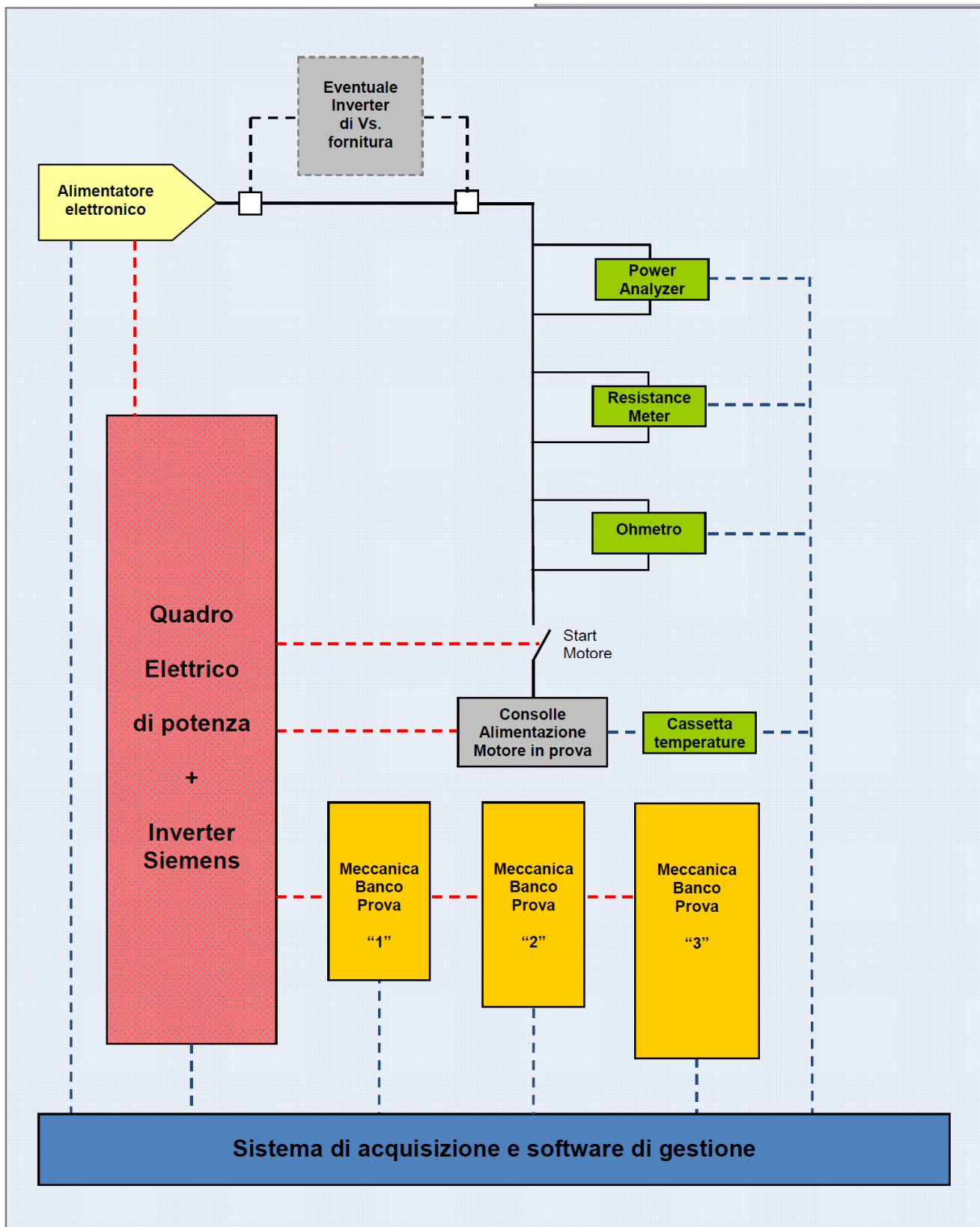


Figura 3: Schefa funzionale della facility

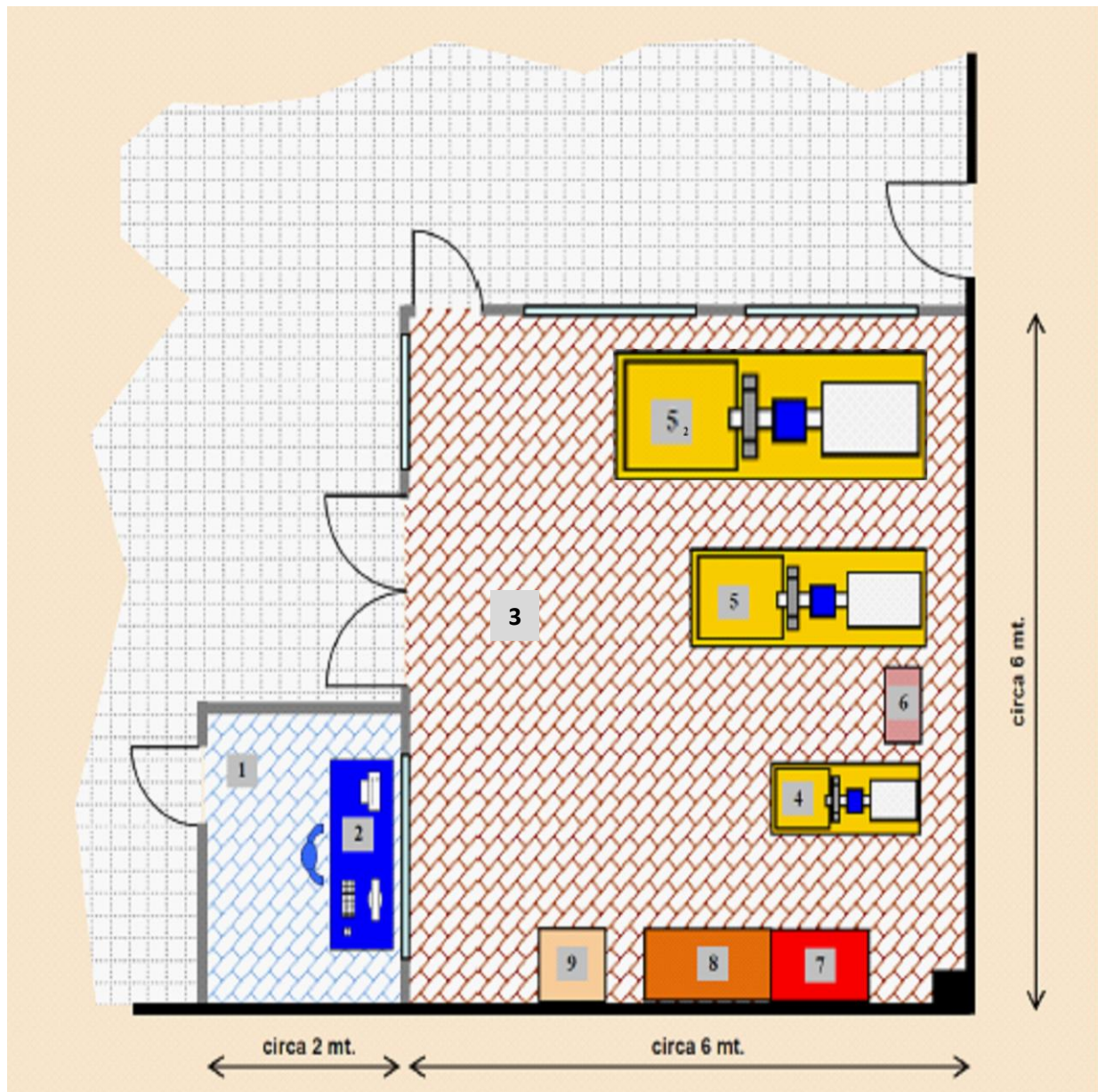


Figura 4: Layout del laboratorio

Nell'immagine su riportata si definisce:

- 1 sala comandi
- 2 scrivania per sistema di acquisizione
- 3 sala prove
- 4 – 5 - 5₂ banchi attivi
- 6 consolle a bordo banco
- 7 quadro elettrico gestione potenza
- 8 quadro elettrico inverter Siemens
- 9 alimentatore elettronico

Per per il test di motori di grossa taglia per il rilievo delle correnti massime e di spunto, si è scelto di adottare n°3 TA di precisione da 500/700A di cui riportiamo le principali caratteristiche:


Transducer	
Primary Current Range DC, Peak RMS Sinus	700A 500A
Overload Ability Normal Operation Short Time (100mS)	110% (770A _{pk}) 500% (3500A _{pk})
Bandwidth	DC ... 250kHz
Temperature Influence	1ppm/K
Output Ratio	400mA _{pk} at 700A _{pk}
Linearity	0.001%
Offset	0.004%
Frequency Influence	0.12%/kHz
Angular Influence	0.01° + 0.12°/kHz

Figura 5: Caratteristiche TA

I banchi prova hanno un alto grado di automazione e sono corredati di software specialistici per la gestione del processo, l'elaborazione dei dati e la generazione di reportistica adeguata.

La seconda fase delle attività ha previsto un'analisi di mercato, sia sfruttando i dati e le informazioni inserite sull'apposito portale dedicato (<http://motorielettrici.enea.it>) sia rivolgendoci ad aziende partner, col fine di verificare la propensione da parte dei costruttori a sottoporsi a verifiche di natura volontaria. Dall'analisi è emerso che vige una certa diffidenza da parte dei costruttori a sottoporsi volontariamente ad operazioni di questo tipo, ma al tempo stesso è stato possibile riscontrare che alcune aziende con una politica energetica più "green" e più volta verso un futuro sostenibile si direbbero disposte a controlli di natura volontaria.

Queste ultime aziende vedono come un'opportunità gli accertamenti: esse infatti sono convinte che un risultato positivo dei test può essere utilizzato come strumento di lancio sul mercato con conseguente aumento della fiducia da parte dei clienti finali. Questa attività ci ha permesso di individuare alcune possibili aziende da utilizzare come partner volontari per le prove in situ oggetto delle attività della prossima annualità.

Come attività parallela alle principali, su esposte, si è, inoltre, continuato a gestire e popolare il portale che sta, giorno dopo giorno, diventando sempre più un punto di riferimento per gli operatori del settore.

Si è, infine, cominciato a verificare quali siano i passi necessari per poter ottenere la certificazione come laboratorio qualificato.

3 Conclusioni

E', ovviamente, stato definito il campo di applicazione sulla quale la facility dovrà operare, definendo delle specifiche per i motori che potranno essere testati.

La IEC 60034-30-1:2014 è applicabile ai motori con le seguenti caratteristiche [2]:

- motori elettrici a velocità singola (mono e trifase), 50 e 60 Hz;
- 2, 4, 6 o 8 poli;
- potenza nominale compresa tra 0,12 kW e 1000 kW;
- tensione nominale superiore a 50 V fino a 1 kV;
- motori in grado di operare in servizio continuativo alla rispettiva potenza nominale con sovratemperatura che rientri nei limiti della specifica classe di isolamento termico;
- motori marcati con range di temperatura ambiente compreso tra -20° C e +60° C;
- motori marcati con altitudine massima di 4000 m sul livello del mare;

I seguenti motori non sono inclusi nello standard IEC 60034-30-1:2014:

- motori a velocità singola a 10 o più poli o motori a più velocità;
- motori totalmente integrati in una macchina (ad esempio pompe, ventilatori o compressori) che non possono essere testati separatamente dalla macchina;
- motori elettrici autofrenanti, se il freno non può essere smontato o alimentato separatamente.

Dal momento che il regolamento 2009/640/CE si basa sulla IEC 60034-30:2008, si definisce come massima classe di rendimento la IE3, inoltre, il campo di applicazione del suddetto regolamento include soltanto i motori a induzione a gabbia, monovelocità e trifase, con una frequenza di 50 Hz o 50-60 Hz con le seguenti caratteristiche:

- tensione nominale fino a 1.000 V;
- potenza nominale compresa tra 0,75 kW e 375 kW;
- da 2 a 6 poli;
- Per servizio continuo.

Vista la discrepanza a livello normativo e legislativo si ipotizza un'evoluzione del quadro vigente al fine di ottenere un'armonizzazione globale.

Alla luce dei risultati ottenuti e delle risorse disponibili si è cercato di individuare la gamma di motori sul quale indirizzare la ricerca e sviluppo potendo così definire il campo di applicazione sulla quale la facility dovrà operare, definendo le specifiche per i motori che potranno essere testati.

Come già detto, l'implementazione della facility esistente ci ha consentito di ampliare in maniera considerevole il range di applicazione e i tre banchi lavoreranno in maniera integrata interfacciandosi.

Con l'implementazione il nuovo campo di applicazione si riferisce ai motori elettrici aventi le seguenti caratteristiche:

- motori asincroni;
- monovelocità e trifase;
- frequenza di 50 Hz o 50-60 Hz;
- tensione nominale fino a 1.000 V;
- potenza nominale compresa tra 0,12 kW e 55 kW;
- da 2 a 8 poli;
- per servizio continuo

Il laboratorio di verifica, dovrà soddisfare i requisiti di qualità previsti dalle norme in materia, la norma UNI CEI EN ISO/IEC 17025 che indica i requisiti generali per la competenza dei laboratori ad effettuare prove e/o tarature, compreso il campionamento.

Essa si applica alle prove e tarature eseguite utilizzando metodi normalizzati, non-normalizzati e metodi sviluppati da laboratori.

Per come è stata strutturata, i laboratori di prova e di taratura che operano in conformità alla presente norma internazionale operano anche in conformità alla ISO 9001; non è da considerarsi però vero il viceversa, in quanto la conformità del sistema di gestione per la qualità, all'interno del quale opera il laboratorio, ai requisiti della ISO 9001, non costituisce da sé prova della competenza del laboratorio a produrre dati e risultati tecnicamente validi. La conformità dimostrata alla presente norma internazionale non implica la conformità del sistema di gestione per la qualità attuato dal laboratorio a tutti i requisiti della ISO 9001.

4 Riferimenti bibliografici

[1] FIRE, "Motori ad alta efficienza e controllo a velocità variabile", www.fire-italia.org

[2] M.A. Segreto, R. Guida, "Progettazione della facility per il testing di motori elettrici", Report RdS/PAR2014/044, ENEA, 2015

5 Indice delle figure

Figura 1: Classi di efficienza dei motori elettrici.....	4
Figura 2: Rendimenti motori elettrici in funzione delle classi di efficienza.....	4
Figura 3: Schefa funzionale della facility	10
Figura 4: Layout del laboratorio	11
Figura 5: Caratteristiche TA	12