



Ricerca di Sistema elettrico

# DIAGNOSI E MONITORAGGIO IN AMBITO INDUSTRIALE: MISURA E VERIFICA SUI CONSUMI DEI MOTORI ELETTRICI

M.A. Segreto, M. Artioli, S. Beozzo

## DIAGNOSI E MONITORAGGIO IN AMBITO INDUSTRIALE: MISURA E VERIFICA SUI CONSUMI DEI MOTORI ELETTRICI

M.A. Segreto, M. Artioli, S. Beozzo

Si ringrazia per la partecipazione alle attività di testing:

A. Gugliandolo, L. Leto, M. Tarantini, S. Tamburrino, A. Di Micco [ENEA]

G. Campobello, N. Donato, A. Segreto, S. Serrano [UNIME]

E. Fiorucci, A. Ometto, F. Ciancetta [UNIVAQ]

Arch. G. Margareci [EGE, libero professionista]

Settembre 2017

### Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

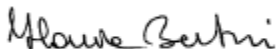
Piano Annuale di Realizzazione 2015

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 DATI DA ACQUISIRE PER I TEST SU MOTORI ASINCRONI.....	8
3 DESCRIZIONE DELLE ATTIVITÀ SVOLTE.....	14
4 MONITORAGGIO COME STRUMENTO PER L'EFFICIENTAMENTO.....	21
5 LIVELLO DI INCERTEZZA DEL MONITORAGGIO.....	28
6 ULTERIORI ATTIVITÀ SVOLTE.....	30
6.1 ALCUNE DELLE AZIENDE PARTNER.....	32
7 CONCLUSIONI.....	34
8 COMPETENZE ENEA COINVOLTE NELL'ANNUALITÀ ED ATTIVITÀ SVOLTE.....	35
9 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI.....	37
10 INDICE DELLE FIGURE.....	38

## Sommario

Il report illustra le attività svolte sulla realizzazione di prove in situ su 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 reale 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 regolamento 640/2009/CE, adottato il 22 luglio 2009, stabilisce che 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]:

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

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:

		TAGLIA [kWe]					
		1.5	7.5	15	37	90	160
CLASSE DI EFFICIENZA	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 delle attività svolte in passato 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. Al tempo stesso diventa essenziale verificare quali differenze possano nascere dalle misure effettuate in sala prove e quelle effettuate in situ in fase d'uso reale dei motori.

In funzione di queste ultime considerazioni, le attività svolte nell'ambito del PAR 2016 hanno avuto come obiettivo l'analisi di dati per il monitoraggio delle condizioni di utilizzo effettivo dei motori elettrici asincroni e l'esame delle procedure di verifica delle incertezze nella fase di acquisizione del dato.

L'attività principale svolta nell'annualità ha riguardato l'installazione di reti di monitoraggio presso aziende partner che si sono rese disponibili a dare supporto al progetto.

## 1 Introduzione

Sulla base delle indicazioni del Piano Triennale 2015-2017 della Ricerca di Sistema Elettrico sono state individuate delle tematiche di interesse nazionale sull'analisi dei processi industriali, con particolare riguardo alla sostituzione di tecnologie ed apparecchiature, che oltre ad essere più efficienti elettricamente risultino più efficienti nel processo, al fine di introdurre elevati vantaggi in termini di efficienza elettrica al tessuto industriale nazionale.

Per quanto riguarda l'efficientamento dei processi industriali risulta di rilevanza il settore dei motori elettrici: la capillare diffusione dei motori a livello industriale, in Italia, fa sì che i tre quarti dell'energia elettrica consumata nel settore sia imputabile al loro utilizzo. Questo valore corrisponde a circa il 40% del consumo elettrico nazionale e, di conseguenza, emerge che le potenzialità complessive di miglioramento dell'efficienza energetica di questi sistemi in modo economicamente efficace possono essere quantificate attorno al 20-30% complessivo.

Tuttavia, un importante ostacolo all'attuazione dei programmi di riduzione dei consumi energetici e che viene spesso denunciato dal settore produttivo interessato, riguarda proprio la verifica dei prodotti che vengono immessi nel mercato e la mancanza di strumenti adatti per un adeguato controllo.

Sulla base di quanto sopra descritto, negli anni passati sono state svolte attività specifiche atte a progettare e ad eseguire l'upgrading di una facility sperimentale, costituita da tre banchi prova per testing su motori elettrici fino a 55 kW, con lo scopo di ampliare la fascia di mercato dei motori che possono essere sottoposti a controllo e verifica.

Ulteriore elemento preso in considerazione all'interno delle tematiche progettuali è quello relativo al fatto che non sempre i motori sono impiegati in modo ottimale, in modo cioè da operare in condizioni di pieno carico o in prossimità del carico corrispondente al massimo rendimento; alcuni motori possono essere sovradimensionati per l'effettivo impiego cui sono destinati mentre altri possono operare anche in sovraccarico.

Nel panorama produttivo italiano, infatti, nel quale operano aziende di dimensioni medio-piccole, spesso si riscontra una non corretta valutazione dei carichi e della loro ripartizione tra i motori installati; ciò costituisce, quindi, un costo che può però essere ridotto mediante un attento monitoraggio delle effettive condizioni di funzionamento dei motori, su un periodo di tempo significativo, a valle del quale si possono adottare correttivi efficaci, quali sostituzione di motori sotto o sovra utilizzati, ed eventuali migliorie sui cicli di lavorazione e coefficienti di utilizzazione.

Le attività di monitoraggio consentono di determinare le effettive prestazioni in fase d'uso dei motori e permettono una più corretta valutazione dello scostamento dei parametri uso-laboratorio utile alla verifica della reale efficienza dei motori elettrici. Anche alla luce delle nuove linee guida emanate nell'ambito dei monitoraggi obbligatori ante diagnosi per la risposta agli obblighi per grandi imprese ed imprese energivore definiti dal decreto 102/2014 e smi, il monitoraggio delle apparecchiature diventa il punto cardine dell'efficienza energetica e della razionalizzazione delle risorse. E' proprio partendo da queste considerazioni che sono state sviluppate le attività descritte nel presente report.

Le attività sono state svolte in collaborazione con l'Università degli Studi di Messina e l'Università degli Studi de L'Aquila ed hanno condotto allo sviluppo di reti di monitoraggio ad hoc ed alla realizzazione di una campagna di misure. Sono, infatti, state effettuate delle prove in situ in fase d'uso dei motori per verificarne le prestazioni. I risultati saranno utilizzati in futuro per le verifiche su banco della facility. Ciò consentirà di mettere a confronto le prestazioni del motore durante la fase di processo con le stesse prestazioni validate in condizioni standard.

## 2 Dati da acquisire per i test su motori asincroni

Il motore asincrono trifase (MAT) assolve il fondamentale compito di convertire l'energia elettrica in energia meccanica per azionare meccanismi semplici ed economici; viene alimentato direttamente dalla rete, a tensione e frequenza costanti, e la sua velocità di rotazione è praticamente costante in quanto lo scarto di velocità, da vuoto a pieno carico, non supera il 4%. Il suo principio di funzionamento si basa sulla creazione di un campo rotante, realizzabile per mezzo di circuiti fissi nello spazio e percorsi da correnti polifasi, in particolare da correnti trifasi. Laddove si presenti la necessità di azionare un dispositivo meccanico di qualunque natura, senza particolari esigenze di regolazione di velocità o di coppia (ascensori, macchine utensili, pompe, ventilatori ecc...), l'applicazione del MAT è la soluzione più adatta; l'unico ostacolo che si oppone ad una sua diffusione praticamente universale è l'impossibilità di regolare velocità e coppia in ampi intervalli, a costi contenuti. Il MAT ha un funzionamento reversibile e può, quindi, funzionare anche da generatore, ma la sua utilizzazione in questa veste non è molto frequente.

Il motore asincrono è costituito da due parti fondamentali di forma cilindrica coassiali: una parte esterna, fissa, detta 'statore' ed una interna, coassiale, munita di albero, sostenuto da due supporti, libera di ruotare intorno all'asse della macchina, detta 'rotore':

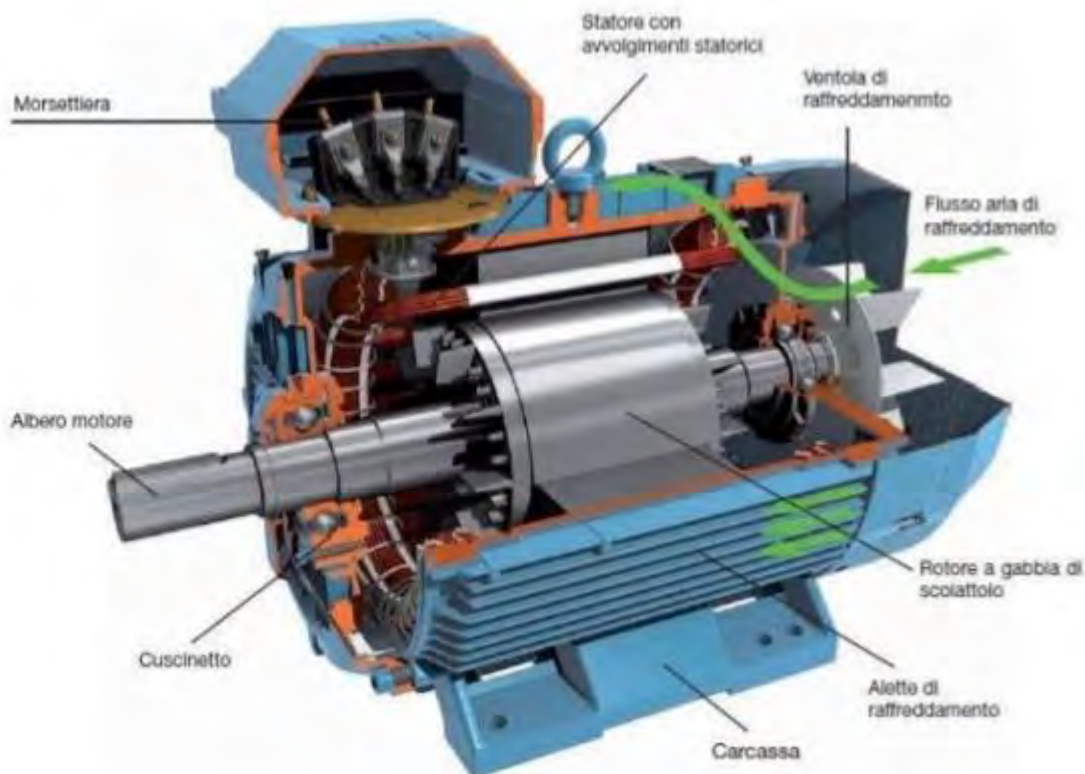


Figura 3: spaccato di un motore asincrono a gabbia (Fonte: la rete)



Figura 4: immagine di uno statore (Fonte: la rete)



Figura 5: immagine di un rotore (Fonte: la rete)



Figura 6: Figura 5: immagine di un rotore a gabbia (Fonte: la rete)

Per quanto riguarda i test da effettuarsi su motori asincroni si possono distinguere i seguenti tipi di prove:

- a. prove di carattere generale: comuni a tutte le macchine elettriche e comprendono prove di riscaldamento, prove di isolamento e prove di rendimento;
- b. prove speciali: specifiche per ogni singolo tipo di macchina e che riguardano essenzialmente la determinazione delle varie caratteristiche di funzionamento;
- c. prove sul rumore acustico e sulla compatibilità elettromagnetica.

L'efficienza di un motore elettrico dipende 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.

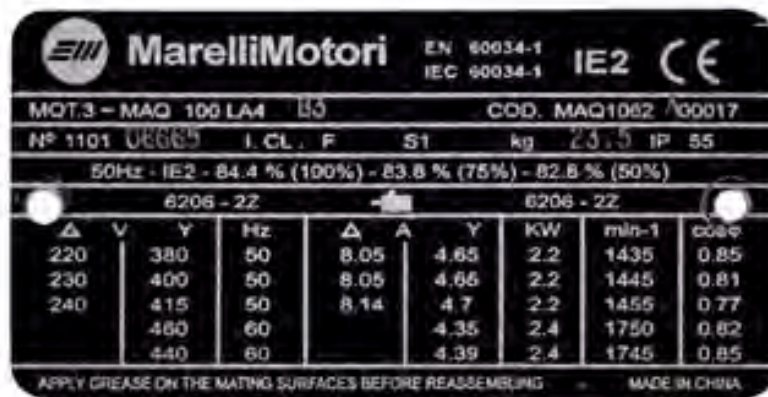
Per poter conoscere in maniera puntuale l'energia elettrica consumata dai motori presenti in azienda nell'arco dell'anno, l'incidenza percentuale sui consumi dell'azienda, quali motori hanno consumi elevati e meritano perciò maggiore attenzione, è necessario acquisire dati specifici di targa (che obbligatoriamente devono essere presenti su ogni motore prodotto e immesso sul mercato così come previsto dalle norme CEI):

- Tipo di macchina (generatore o motore; rotore avvolto o a gabbia)
- Tipo di servizio, durata dei cicli e rapporto di intermittenza
- Potenza nominale  $P_n$  [W]
- Tensione nominale  $V_n$  [V]
- Corrente nominale  $I_n$  [A]

- Frequenza nominale  $f_n$  [Hz] e numero delle fasi
- Velocità nominale  $n_n$  [giri/1']
- Classe di isolamento
- Collegamento delle fasi (stella o triangolo)
- Fattore di potenza della corrente nominale
- Tensione agli anelli a circuito rotorico aperto e corrente di rotore in condizioni nominale (solo per le macchine con rotore avvolto ed anelli)
- Senso di rotazione, con riferimento all'ordine ciclico di alimentazione
- Momento d'inerzia delle masse rotanti

Oltre ai dati di targa, altre grandezze caratteristiche molto importanti per i motori sono:

- Corrente di spunto e suo sfasamento
- Coppia nominale
- Coppia massima e scorrimento per il quale essa si verifica
- Perdite meccaniche, perdite nel ferro e perdite negli avvolgimenti in condizioni nominali di funzionamento
- Rendimento nelle condizioni nominali di funzionamento
- Corrente assorbita a vuoto e suo sfasamento
- Tensione di cortocircuito
- Anno di installazione
- ore di funzionamento annue
- fattore di carico



6206 - 2Z		6206 - 2Z	
$\Delta$	Y	$\Delta$	Y
220	380	8.05	4.65
230	400	8.05	4.65
240	415	8.14	4.7
	460		4.35
	440		4.39

Figura 7: esempio di dati di targa di un motore elettrico

Nell'effettuazione di prove speciali sui motori asincroni è necessario ricavare le seguenti caratteristiche:

- a) caratteristiche elettromeccaniche quali l'andamento della velocità e della coppia motrice in funzione della corrente assorbita dal motore per tensione e frequenza applicate alla macchina costanti e pari a quelle nominali:

$$n = f(I) , C = f(I) \text{ per } V = V_n = \text{cost.} , f = f_n = \text{cost}$$

- b) caratteristica meccanica quale l'andamento della coppia in funzione della velocità di rotazione o dello scorrimento per tensione e frequenza costanti e pari ai valori nominali:

$$C = f(n) , C = f(s) \text{ per } V = V_n = \text{cost.} , f = f_n = \text{cost}$$

- c) curva del rendimento, cioè l'andamento del rendimento in funzione della corrente assorbita o della potenza resa per tensione e frequenza costanti e pari ai valori nominali:

$$h = f(I) , h = f(P) \text{ per } V = V_n = \text{cost.} , f = f_n = \text{cost}$$

A seconda della potenza e quindi del rendimento del motore, queste caratteristiche si possono ricavare con il **metodo diretto** (per macchine con rendimento minore del 90%) o **col metodo indiretto** (per quelle con rendimento maggiore del 90%).

Per il calcolo del rendimento convenzionale si assume come potenza resa quella di targa  $P_n$  del motore e si risale alla potenza assorbita  $P_A$  mediante la valutazione delle varie perdite  $P_p$ , per cui si avrà:

$$P_A = P_n + \sum P_p$$

In accordo alle norme CEI, le perdite da considerarsi sono:

1. perdite costanti al variare del carico (perdite del ferro e perdite meccaniche)
2. perdite sotto carico (perdite di Joule e perdite nelle spazzole)
3. perdite addizionali a carico (dovute al carico nel ferro attivo e perdite per correnti parassite nei conduttori).

Tutte le perdite si intendono valutate nelle condizioni nominali di funzionamento.

Le prove dirette, invece, su un motore asincrono ci consentono di rilevare tutte le caratteristiche, elettriche e meccaniche, durante l'effettivo funzionamento della macchina ed ovviamente ciò può avvenire solo attraverso misure effettuate in laboratorio con l'utilizzo di opportuni banchi come quello che comprende la nostra facility.

### 3 Descrizione delle attività svolte

L'attività principale svolta nell'annualità ha riguardato l'installazione di reti di monitoraggio presso aziende partner che si sono rese disponibili a dare supporto al progetto.

La procedura individuata per l'esecuzione delle prove può essere così riassunta:

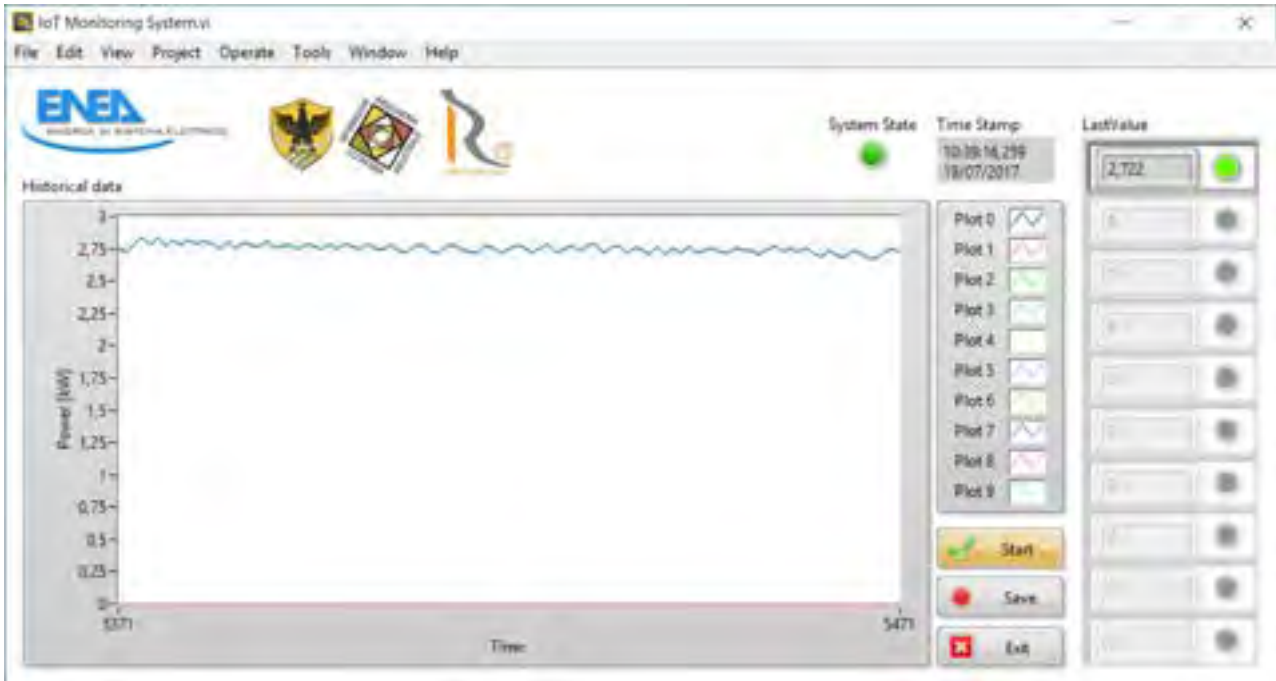
1. Scelta dell'azienda da sottoporre a test in situ
2. Acquisizione dei layout aziendali
3. Acquisizione delle informazioni inerenti il processo aziendale
4. Definizione del personale interno che supporterà le prove
5. Definizione concordata con l'azienda di eventuali procedure speciali da seguire per evitare interferenze con le attività lavorative
6. Accordi con lo staff aziendale per definire il periodo di effettuazione delle prove
7. Sopralluogo per verificare come e dove posizionare la strumentazione che costituirà la rete di monitoraggio
8. Verifica della presenza di una rete di comunicazione idonea per l'acquisizione e l'invio dei dati
9. Progetto, disegno e realizzazione dei supporti necessari
10. Installazione della rete
11. Acquisizione della documentazione del motore o dei motori da sottoporre a monitoraggio: dati di targa del motore e quanto altro utile desumibile dalla documentazione a disposizione
12. Elaborazione dei valori nominali del motore da verificare, quali modalità di concatenamento degli avvolgimenti di statore, tensione, corrente, frequenza, fattore di potenza, potenza, classe di isolamento, numero di giri, coppia
13. Scelta della strumentazione più opportuna per lo svolgimento delle diverse prove, considerando le tipologie di prova e gli intervalli di variazione delle grandezze di misura.
14. Esecuzione delle prove nelle differenti condizioni

Le acquisizioni effettuate sono state numerose ed hanno previsto differenti potenze e differenti condizioni di utilizzo.

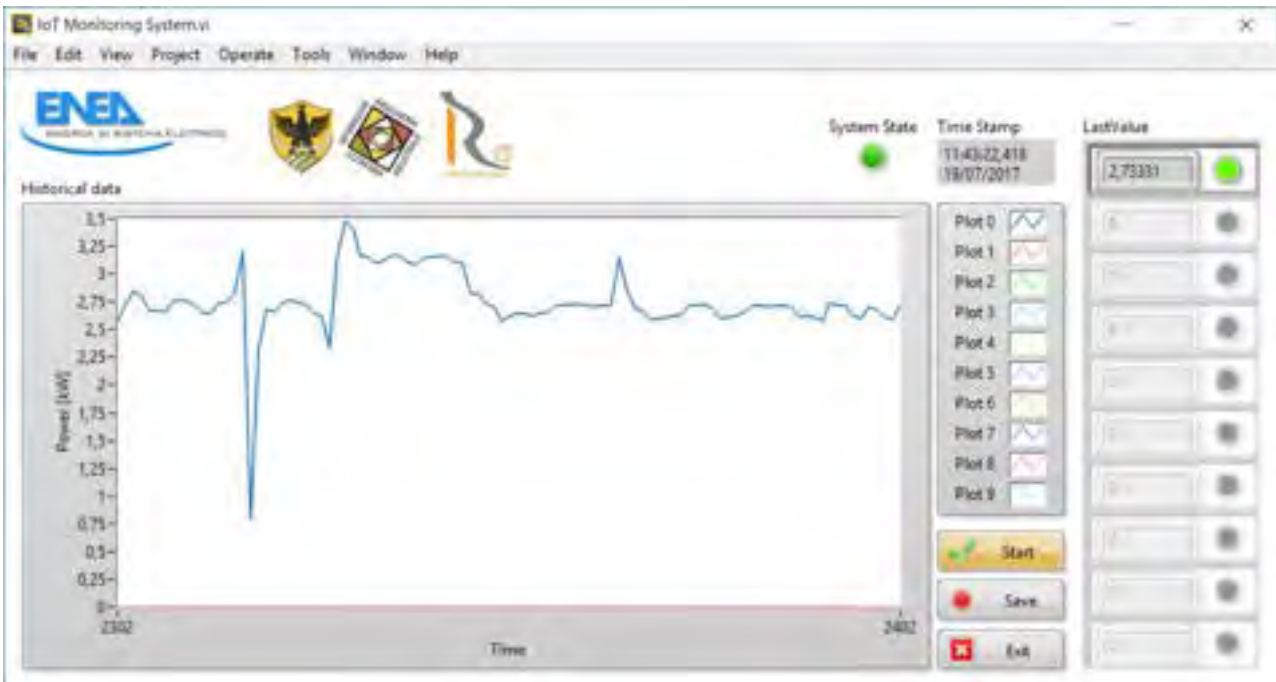
Qui di seguito alcuni esempi di acquisizione:

### Acquisizione con motore da 3 kW

*Potenza costante*



*Carico variabile*



### Acquisizione con motore da 5,5 kW

Potenza costante



Carico variabile

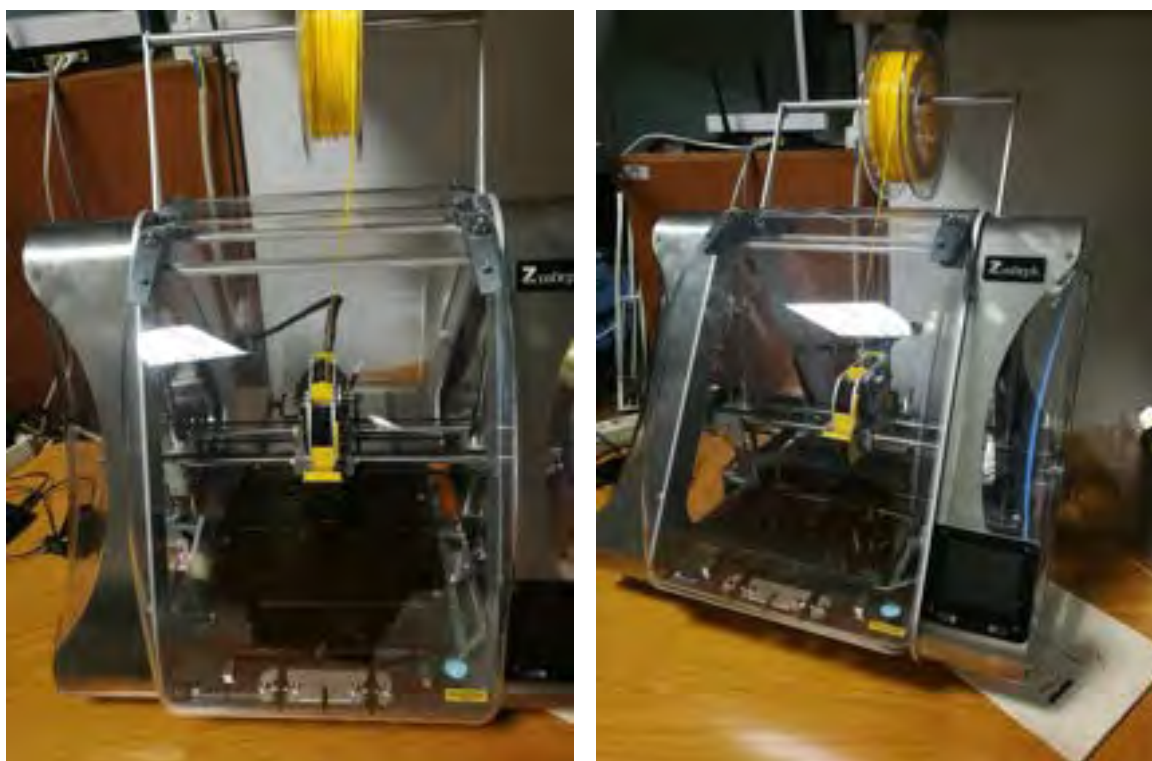


## Acquisizione con motore da 7,5 kW



I monitoraggi effettuati hanno consentito di esaminare eventuali malfunzionamenti, fermi o variazioni di potenza. Un dato molto interessante che emerge dal confronto dei diversi grafici di monitoraggio è, per esempio, l'enorme differenza tra le potenze impegnate durante il funzionamento a potenza costante e quello a carico variabile.

Per poter installare le reti e far sì che le stesse potessero adattarsi in maniera opportuna alle realtà industriali senza impattare sulla normale attività e senza creare alcun tipo di interferenza con processo produttivo, sono stati acquisiti che ci hanno consentito di realizzare reti di monitoraggio specifiche per ogni differente situazione: ad esempio, grazie ad una stampante 3D, è stato possibile realizzare supporti, sistemi di trattenimento cavi e cablaggi adattati alle diverse realtà industriali senza creare disagi o interferenze con le attività lavorative. Tutto ciò è stato possibile dopo un attento studio delle necessità del sito e attraverso un lavoro di progetto, disegno, realizzazione e installazione dei diversi supporti e sistemi.



**Figura 8: Stampante 3D con la quale sono stati realizzati gli elementi necessari per la realizzazione della rete di monitoraggio**

I sistemi sviluppati ed installati presso le aziende sono composti così come segue:

1. trasduttore di corrente con connettorizzazione a clip
2. unità centrale
3. sistema di alimentazione composta da un alimentatore monofase – 5 VDC



**Figura 9: composizione dei sistemi installati**

Il sistema di misura distribuito comunica tramite la rete WiFi. L'infrastruttura WiFi e, quindi, la rete WiFi, è stata sviluppata in loco attraverso l'installazione di uno o più access point (in funzione delle dimensioni degli ambienti aziendali monitorati).



Figura 10: collegamento dei sistemi ad un access point

Il sistema “finito” ha una configurazione come di seguito riportata e per il suo funzionamento è sufficiente un accesso alla rete internet tramite un punto di rete Ethernet:



Figura 11: configurazione del sistema completo

I segnali inerenti le grandezze fisiche che caratterizzano il funzionamento del motore (tensioni, correnti e velocità) sono stati acquisiti dai nodi sensori della rete e successivamente inviati, mediante un Router WiFi ad un sistema che ne visualizza i risultati.

Grazie a questo tipo di monitoraggi è stato possibile esaminare eventuali malfunzionamenti, fermi o variazioni di potenza.

Col fine di rendere maggiormente fruibile la rete di monitoraggio, è stata utilizzata un'applicazione su dispositivi mobili con sistema operativo Android (sviluppata dall'Università de L'Aquila) che fornisce informazioni sul monitoraggio:

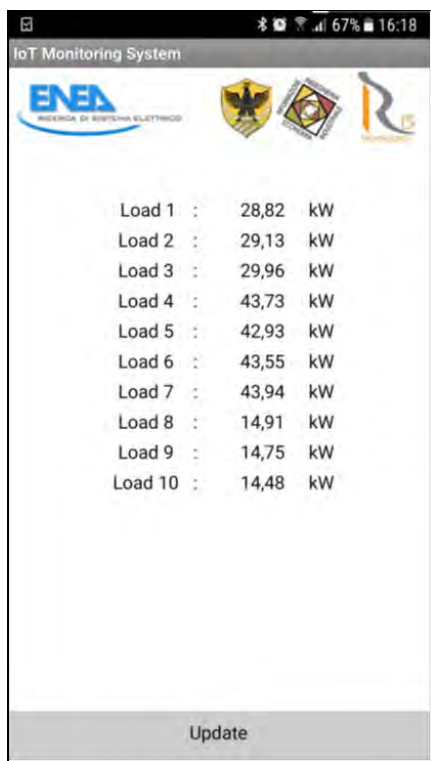


Figura 12: Esempio di dati visualizzati attraverso l'applicazione installata su cellulare con sistema operativo

## 4 Monitoraggio come strumento per l'efficiamento

L'importanza delle attività svolte, oltre ad essere di basilare importanza per la prosecuzione delle attività future in merito alla sorveglianza del mercato, rivestono anche un ruolo primario nell'ambito del miglioramento dell'efficienza energetica nel settore industriale così come esplicitato in numerose occasioni dalla Commissione Europea.

Le conclusioni del Consiglio Europeo del 17 giugno 2010 hanno confermato che la promozione dell'efficienza energetica rientra fra gli obiettivi prioritari della nuova strategia dell'Unione per una crescita intelligente, sostenibile ed inclusiva, la cosiddetta "strategia Europa 2020".

Le conclusioni del Consiglio europeo del 4 febbraio 2011, hanno, altresì, sottolineato la necessità di aumentare l'efficienza energetica nell'Unione in modo da raggiungere l'obiettivo di un risparmio dei consumi di energia primaria del 20% rispetto alle proiezioni entro il 2020.

L'assorbimento di energia elettrica rappresenta una voce di spesa consistente soprattutto per le aziende manifatturiere; da dati Terna emerge che, nel solo 2015, le aziende manifatturiere italiane hanno usato 122.362,3 GWh su un totale di 297.179,9 GWh relativi all'intero sistema italiano.

Il corretto funzionamento di tutti i componenti è fondamentale per assicurare la massima efficienza e performance degli impianti industriali, di conseguenza, monitoraggio e corretta manutenzione possono fare la differenza.

Tra gli strumenti fondamentali per conseguire i risparmi energetici necessari, vi sono i regimi obbligatori previsti all'Art. 7 della Direttiva 2012/27/UE (EED) sull'efficienza energetica.

La consapevolezza dei propri consumi energetici è uno dei temi principali della EED e del relativo Decreto di recepimento al fine di avere coscienza del proprio profilo di consumo energetico, per eliminare gli sprechi, per rendere un audit energetico più affidabile e per tracciare le prestazioni e la redditività dei progetti di efficienza energetica: al monitoraggio energetico viene riconosciuto un ruolo fondamentale in tali azioni.

Un ulteriore elemento che ci consente di fare un quadro esaustivo rispetto alle norme e raccomandazioni in merito all'efficienza, al monitoraggio e all'analisi dei sistemi che utilizzano energia elettrica in ambito industriale è la Direttiva; il 21 ottobre 2009 è entrata in vigore una nuova versione di questa Direttiva (2009/125/CE) relativa all'istituzione di un quadro per l'elaborazione di specifiche per la progettazione ecocompatibile dei prodotti connessi all'energia (ERP – Energy Related Products). Essa rappresenta la più importante iniziativa intrapresa dall'UE in ambito di efficientamento energetico con l'obiettivo di raggiungere nel 2020 le mete proposte.

Nel corpo della norma si fa riferimento all'intero ciclo vita del prodotto e vengono esplicitati i requisiti per:

- Acquisizione di materie prime
- Produzione
- Acquisto e commercio
- Uso e manutenzione

Tra i prodotti elencati nella norma, quelli che hanno ricevuto un regolamento e sono obbligati a rispettare i requisiti della direttiva, sono:

- Boiler
- Elettronica di consumo
- Perdite di energia in modalità stand-by e off degli ErP
- Caricabatterie e alimentatori esterni
- Illuminazione per uffici
- Illuminazione stradale (pubblica)
- **Motori elettrici**
- Circolatori indipendenti e senza premistoppa
- Frigoriferi e congelatori ad uso domestico
- Decoder semplici
- Illuminazione domestica

L'attuazione della direttiva è avvenuta, in Italia, attraverso il D.Lgs. 15/2011.

Il Regolamento della Commissione 640/2009, adottato il 22 luglio 2009, specifica i requisiti in materia di progettazione ecocompatibile per i motori elettrici e l'uso del controllo elettronico della velocità. Questi requisiti si applicano anche quando questi dispositivi sono integrati in altri prodotti in accordo all'Articolo 2, comma 1 ovvero a motori trifase 2, 4 e 6 poli a singola velocità, con potenze da 0,75 kW a 375 kW compresi, tensione fino a 1000 V e con la capacità di operare in servizio continuo.

Sono esplicitamente esclusi (Articolo 1, comma 2) dal campo di applicazione i motori progettati per funzionare interamente immersi in un liquido, i motori completamente integrati in un prodotto per i quali non è possibile testare le prestazioni energetiche autonomamente dal

prodotto e i motori per applicazioni speciali quali i motori per ambienti ATEX e motori auto frenanti.

Le nuove classi IE definite dalla nuova norma IEC 60034-30:2008 si basano sul metodo di prova IEC 60034-2-1 del Settembre 2007.

Sulla base dello stesso criterio della precedente norma, vengono individuate delle differenti classi:

- IE1 = rendimento standard
- IE2 = alto rendimento
- IE3 = Premium Efficiency

I livelli di rendimento in accordo alla 60034-30:2008 devono essere misurati con l'applicazione del metodo specificato nella norma IEC 60034-2-1 e sono riportati tali e quali nell'Allegato I del Regolamento 640/2009/CE per le sole classi IE2 e IE3.

Con il nuovo Standard EN 50598-2, vengono definiti i Requisiti e limiti dei sistemi elettrici di azionamento (PDS) attraverso le classi IES (International Efficiency of Systems ISO/IES1/IS2), in questo modo è possibile determinare la classificazione di efficienza energetica/valutazione dell'insieme motore-sistema elettrico di azionamento.

La gamma media è IES1 e sistemi che non raggiungono il valore minimo di IES1 sono classificate come IES0, i sistemi più efficienti, con valori del 20% sopra IES1, sono identificati come IES2.

Questo nuovo standard aiuterà anche agli utenti finali in valutazioni più accurate.

Il Regolamento prevede 3 step di applicazione:

- 16 Giugno 2011 - Fase 1: tutti i motori dovranno avere come livello minimo di efficienza IE2.
- 01 Gennaio 2015 - Fase 2: i motori con potenza da 7,5 a 375 kW dovranno avere efficienza IE3, o IE2 nel caso il motore sia alimentato da inverter.
- 01 Gennaio 2017 - Fase 3: i motori con potenza da 0,75 a 375 kW dovranno avere efficienza IE3, o IE2 nel caso il motore sia alimentato da inverter.

Secondo Enerdata, nel 2015, l'Italia ha consumato 294 TWh pari al 9% dell'intero consumo dei paesi dell'Unione Europea. Considerato il suo tessuto socio/economico costituito da piccole medie industrie manifatturiere, si deduce che il nostro Paese può trarre grandi benefici dal monitoraggio costante dell'energia elettrica e offrire grandi opportunità di business nel settore dell'efficientamento energetico. Il Rapporto Annuale sull'Efficienza Energetica 2016 (ENEA) ci dice che il 43% delle PMI prevede di effettuare interventi di efficientamento energetico in un orizzonte

temporale di massimo cinque anni e più di un terzo di massimo tre anni: in entrambi i casi, le misure che prevedono di adottare forniranno un risparmio di circa il 30% rispetto agli attuali consumi.

L'articolo 8 del Decreto Legislativo 4 luglio 2014, n. 102 (recepimento della Direttiva EED) riferisce in merito all'obbligo di esecuzione periodica delle diagnosi energetiche nelle imprese che deve essere conforme ai dettati dell'Allegato 2 del Decreto: tale prescrizione risulta rispettata se la diagnosi è conforme ai criteri minimi contenuti nelle norme tecniche UNI CEI EN 16247 parti da 1 a 4. La procedura per l'esecuzione della diagnosi energetica prevede la messa a punto di una "struttura energetica aziendale" che, attraverso un percorso strutturato a più livelli, consente di avere un quadro completo ed esaustivo della realtà dell'impresa. Una corretta strategia di gestione dei consumi necessita di un attento monitoraggio dell'uso dell'energia elettrica e ciò può essere realizzato attraverso una rete di analizzatori congiunta a strumenti di raccolta e gestione dei dati. Combinati con le moderne tecnologie di comunicazione web based, infatti, questi sistemi permettono di raccogliere informazioni fondamentali sulla qualità e la quantità del consumo elettrico e di pianificare interventi di efficientamento e miglioramento nei consumi in ambito civile, commerciale o industriale arrivando, in alcuni casi, ad elaborare sistemi predittivi che individuano il comportamento futuro dei sistemi anticipandone così le inefficienze attraverso l'applicazione di azioni correttive prima che l'evento si palesi (sistemi proattivi).

Le informazioni raccolte durante il monitoraggio aiutano a comprendere e gestire la qualità della fonte di approvvigionamento elettrico e ad individuare i problemi di qualità dell'energia elettrica, quali cadute o sbalzi di tensione che possono causare danni alle apparecchiature e problemi di rifasamento.

Il sistema di monitoraggio energetico è lo strumento di controllo e analisi attraverso il quale è possibile supportare la strategia decisionale aziendale basando il processo conoscitivo su informazioni analitiche e consente di tracciare il rendimento degli impianti specie se oggetto di interventi di efficientamento energetico per poter tenere sotto controllo il ritorno degli investimenti.

E' lo strumento alla base di qualsiasi contratto di performance energetica ed è fondamentale per poter supportare efficacemente un EGE impegnato nella gestione efficiente dell'energia aziendale: una corretta pianificazione degli interventi di efficienza energetica, grazie al supporto di un

sistema di monitoraggio energetico ben progettato, permette di incrementare la bontà dell'intervento mediamente di circa un 20%.

La diagnosi energetica trova, poi, il suo completamento con l'individuazione di un percorso virtuoso, in termini di interventi di efficienza energetica, tale da ridurre i fabbisogni energetici a parità di attività/servizio e, quindi, creare i presupposti per una maggiore competitività dei prodotti e/o dei servizi forniti.

Nei diversi chiarimenti pubblicati nel corso degli anni sulle modalità di esecuzione di tali diagnosi, si fa riferimento anche all'obbligo di adozione di un ***piano di misurazione e/o monitoraggio***.

Nei Chiarimenti in materia di diagnosi energetica nelle imprese del novembre 2016 pubblicati dal Ministero dello Sviluppo Economico, si chiarisce l'importanza della suddivisione dell'azienda in aree funzionali e la conseguente acquisizione dei dati energetici generali di stabilimento; nel caso in cui non sia possibile accedere a misure specifiche grazie a contatori dedicati, per la prima diagnosi, il calcolo dei dati energetici di ciascuna unità funzionale viene ricavato dai dati disponibili. Nell'Allegato II dello stesso documento si prevede che, una volta definito l'insieme delle aree funzionali e determinato il peso energetico di ognuna di esse a mezzo di valutazioni progettuali e strumentali, si dovrà definire l'implementazione del piano di monitoraggio permanente in modo da tener sotto controllo continuo i dati energetici significativi aziendali e per acquisire informazioni utili al processo gestionale e dare il corretto peso energetico allo specifico prodotto realizzato o al servizio erogato.

I chiarimenti su indicati esplicitano che nelle diagnosi successive alla prima, devono essere previsti contatori dedicati, ovvero l'implementazione di una ***strategia di monitoraggio***.

E' inoltre specificato che le misure potranno essere effettuate adottando due differenti metodologie:

- ***Campagne di misura***: in questo caso , gli elementi caratterizzanti il monitoraggio sono la rappresentatività e l'estensione temporale della misura. La durata della campagna di misura dovrà essere scelta in modo rappresentativo in termini di significatività, riproducibilità e validità temporale rispetto alla tipologia di processo dell'impianto. La durata minima della campagna dovrà essere giustificata dal redattore della diagnosi in funzione di parametri da esso ritenuti congrui (stagionalità dell'impianto, periodi di picco, chiusura degli impianti...). I dati monitorati e misurati dovranno essere riportati in termini di consumo

specifico rapportandoli ad esempio alla produzione o al numero di addetti o altri parametri ritenuti opportuni.

- Installazione di strumenti di misura: nel caso in cui l'azienda opti per l'installazione di strumenti di misura permanenti, ovviamente, l'acquisizione del dato avverrà in maniera continuativa per l'intero anno solare.

Le tipologie di strumenti ammessi sono numerose e possono così classificarsi :

- Misuratori esistenti;
- Nuovi misuratori (manuali, in remoto, con software di monitoraggio con funzioni di memorizzazione e presentazione delle misure stesse).

Le linee guida non riportano obbligo di apparecchiatura MID, ma è ovvio che l'accuratezza e la precisione del dato raccolto sono due elementi fondamentali per l'analisi dei consumi energetici e per la corretta valutazione dell'efficacia delle azioni di miglioramento energetico.

Gli azionamenti elettrici rappresentano la relazione tra la fornitura di energia elettrica e la maggioranza dei processi meccanici che richiedono importanti quantità di energia.

Se si ipotizzasse, infatti, la sostituzione di tutti i sistemi esistenti nell'industria europea, nel commercio e nei servizi pubblici, con moderni sistemi di azionamento, sarebbe possibile ottenere un risparmio energetico annuo di 135 miliardi di chilowattora, ed utilizzando il controllo elettronico della velocità (inverter) e motori ad alta efficienza energetica, le emissioni di CO<sub>2</sub> potrebbero essere ridotte di 69 milioni di tonnellate.

Il consumo annuo di energia elettrica in Italia, associato all'uso di motori elettrici nell'industria, è stimabile in circa 120 TWh, pari a quasi il 40% dell'intero fabbisogno elettrico italiano al 2011.

Secondo le più recenti stime, in Italia circa il 50% dei motori installati è asservibile alla classe IE2, mentre la classe IE3 rappresenta ad oggi una porzione ridotta, dell'ordine del 10/15%: se tutti i motori elettrici installati a livello industriale appartenessero alla classe di efficienza IE3, si otterrebbe un risparmio annuo di energia elettrica di circa 7 TWh (dati ANIE Energia).

Se si considerano anche le nuove installazioni di motori elettrici attese da qui al 2020, nel caso in cui fossero di classe IE3, si stima di ottenere un ulteriore risparmio annuo teorico a regime di circa 0,2 TWh elettrici. Considerati questi dati, il tema dell'efficienza energetica assume un'importanza preponderante: l'efficienza energetica costituisce un fattore importante per 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): il costo relativo ai consumi energetici durante la vita utile di un motore elettrico incide percentualmente per circa il 98% sul totale, la manutenzione incide per meno dell'1% ed il costo per poco più dell'1%.

Le considerazioni sopra riportate dimostrano in maniera inequivocabile come sia più sensato spendere di più per un motore ad alta efficienza a fronte un grande risparmio nella fase d'uso durante il ciclo vita dello stesso.

All'interno di questo contesto si evince quanto i motori elettrici rappresentino uno degli elementi più importanti nell'ambito della diagnosi energetica industriale. La conoscenza, soprattutto se in real time, dei consumi, dei profili di utilizzo e delle eventuali anomalie, rappresenta uno strumento di razionalizzazione ed efficientamento utilissimo per l'implementazione di azioni di miglioramento e per la gestione di tutte le fasi di processo.

I sistemi di monitoraggio più evoluti sono in grado di fare anche proiezioni sugli andamenti futuri (analisi proattiva). Un buon sistema di monitoraggio e analisi permette, inoltre, di stimare i benefici economici derivanti dalle possibili azioni correttive adottabili e ottenere dati sulla tempistica del ritorno degli investimenti.

Pertanto, è possibile affermare che un sistema ben progettato consente di:

- Analizzare i dati sui consumi energetici nel tempo e restituire dati affidabili
- Individuare gli sprechi
- Visualizzare in tempo reale i consumi energetici
- Rappresentare la maggior fonte di informazione per poter attuare adeguati progetti di efficientamento energetico

In questo scenario, la determinazione del sistema di misura e monitoraggio per i motori elettrici sta acquisendo importanza crescente essendo chiaro che le misure devono risultare conformi a standard nazionali ed internazionali di riferimento (ISO, UNI, Protocollo IPMVP...).

## 5 Livello di incertezza del monitoraggio

Uno dei sistemi più attendibili, per la determinazione dei risparmi energetici e per tutte quelle rendicontazioni che richiedono un ragionevole livello di incertezza per poter essere ritenuti affidabili, è il sistema IPMVP® (International Performance Measurement and Verification Protocol), una raccolta delle migliori pratiche oggi disponibili per verificare i risultati di progetti di efficienza energetica, efficienza idrica e fonti rinnovabili in qualsiasi campo, dagli edifici civili ai siti industriali. L'incertezza del dato, infatti, può e deve essere gestita attraverso il controllo di errori casuali ed errori sistematici. I primi dipendono dalla qualità degli strumenti di misura, dalle tecniche di misura e dalla progettazione della procedura di campionamento; i secondi sono influenzati dalla qualità dei dati di misura, dalle ipotesi e dalle analisi.

Uno degli elementi che crea principalmente errori è il campionamento poiché non tutte le unità oggetto dello studio vengono misurate, infatti normalmente aumentando la dimensione del campione si riduce l'errore migliorando la precisione della stima anche se ciò porta ad un aumento dei costi.

Altro elemento che può condurre alla presenza di errori è dovuto al fatto che nessun contatore, anche il più sofisticato, è accurato al 100%: un corretto dimensionamento del contatore per l'intervallo di possibili grandezze da misurare assicura che i dati raccolti cadano all'interno di limiti di errore noti ed accettabili. Naturalmente, l'errore, oltre che dall'accuratezza del contatore, può dipendere da altri fattori quali il cattivo posizionamento o errori di telemetria.

L'IPMVP® è uno strumento per valutare i reali benefici energetici ed economici degli interventi ed è quindi molto utile quando si propongono azioni di miglioramento dell'efficienza e si attua un controllo nel tempo dell'andamento dei risparmi. Inoltre, essendo uno standard riconosciuto ufficialmente, diventa uno strumento fondamentale nei contratti a prestazioni garantite (Energy Performance Contract – EPC).

Il sistema è stato sviluppato negli anni novanta negli Stati Uniti e prevede due approcci e quattro opzioni che consentono di coprire tutti i possibili casi, dando un peso differente al risparmio generato dal singolo intervento e agli effetti sinergici con altri interventi e gli impianti esistenti:

- Opzione A: Isolamento dell'intervento – misura dei parametri principali. I risparmi sono determinati tramite la misura sul campo di uno o più parametri rilevanti delle prestazioni che siano in grado di definire il consumo energetico

del sistema o dei sistemi interessati dall'intervento. La frequenza di misura va da breve termine a continuativa, a seconda delle variazioni previste nel parametro misurato e della durata del periodo di rendicontazione. I parametri non selezionati per misure sul campo vengono stimati. Le stime possono essere basate su dati storici, specifiche del costruttore o valutazioni tecniche. Viene valutato un plausibile errore sui risparmi derivanti da una stima invece che da misura.

- Opzione B: Isolamento dell'intervento – misura di tutti i parametri. I risparmi sono determinati dalla misura sul campo del consumo energetico del sistema interessato dall'intervento. La frequenza di misura va da breve termine a continuativa a seconda delle variazioni previste nei risparmi e della durata del periodo di rendicontazione.
- Opzione C: Intero impianto/struttura. I risparmi sono determinati misurando il consumo di energia a livello dell'intero impianto/struttura o di una sua parte. Per tutto il periodo di rendicontazione vengono prese misure continuative del consumo energetico dell'intero impianto/struttura.
- Opzione D: Simulazione calibrata. I risparmi sono determinati misurando il consumo di energia a livello di intero impianto/struttura o di una sua parte. Le prestazioni dell'impianto/struttura vengono modellate e simulate tramite un software specifico.

Un altro aspetto importante è l'accuratezza delle valutazioni: il sistema richiede che l'accuratezza venga valutata, ma lascia ampia flessibilità alle parti di decidere qual è l'accuratezza più appropriata per ogni progetto.

Ovviamente il sistema ha come approccio metodologico quello della statistica e della modellazione matematica che consenta l'individuazione di relazioni tra variabili dipendenti e indipendenti: la variabile dipendente, di solito, è rappresentata dall'energia e viene modellata come se governata da uno o più variabili indipendenti (variabili esplicative).

Le considerazioni emerse dal presente documento sono state alla base delle applicazioni effettuate a casi reali per monitorare le condizioni di funzionamento di più motori asincroni anche mediante dispositivi mobili convenzionali, quali ad esempio smartphone e tablet.

## 6 Ulteriori attività svolte

Le attività eseguite, presentate in numerosi workshop ed incontri con le aziende, hanno destato un altissimo interesse da parte degli attori del mercato (sia produttori che clienti finali) ed hanno dato origine ad interessanti collaborazioni future: una di queste è la collaborazione nata con l'azienda Kaeser, leader mondiale dell'aria compressa. L'azienda ha espresso, infatti, la volontà di verificare un apparato di misura da loro brevettato che, collegato in maniera intelligente ai loro sistemi di aria compressa, consente di fornire dati energetici e di produzione consentendo il rilevamento di eventuali anomalie della rete permettendo interventi di manutenzione mirata di natura predittiva. Il sistema descritto sarà testato e verificato attraverso il confronto con una rete di monitoraggio progettata e sviluppata ad hoc che prende origine dagli studi, le analisi e le valutazioni effettuate nell'ambito della Ricerca di Sistema Elettrico e dei progetti elaborati all'interno delle nostre attività.

Durante l'annualità è, inoltre, continuata l'attività di popolazione del Portale sul database dei motori elettrici (<http://motorielettrici.enea.it>) realizzata all'interno della Ricerca di Sistema Elettrico in collaborazione con ANIE Energia, che rappresenta, all'interno di ANIE Federazione, le aziende che producono, distribuiscono ed installano apparecchiature, componenti e sistemi per la Generazione, Trasmissione e Distribuzione di energia elettrica per il suo utilizzo efficiente nelle applicazioni industriali e civili. Il Portale ha l'obiettivo di raccogliere sul sito i prodotti conformi al Regolamento della Commissione (CE) 640/2009 su efficienza energetica e classi di efficienza, oltre a segnalare le future evoluzioni normative sul tema. Questa attività consentirà, una volta ottenuta la certificazione ISO/IEC 17025 per i laboratori di prova e taratura, di poter sottoporre le aziende a test sui motori elettrici prodotti: in una prima fase la verifica avverrà su base volontaria e costituirà l'avvio di una fattiva sorveglianza del mercato nel settore della produzione di motori elettrici.

Sono, inoltre, continuate le attività in collaborazione con le Associazioni di categoria per diffondere l'utilizzo delle elettrotecnologie, promuovere l'approccio sul ciclo di vita dei sistemi e favorire la costituzione di gruppi di lavoro e procedure per avviare azioni volte alla partecipazione a programmi di ricerca ed innovazioni collegati all'efficienza energetica.

Le attività hanno, inoltre, dato vita ad un progetto denominato ROVERI SMART VILLAGE, che vede come protagonista l'area industriale Roveri di Bologna. Il progetto è condiviso con il Comune di Bologna, la Regione Emilia-Romagna, ARPE, Confindustria e CNA.

L'idea progettuale è quella di accompagnare e sostenere la trasformazione del distretto industriale Roveri verso la sostenibilità ambientale, sociale ed energetica, e realizzare così un ambito industriale pioniere nel campo dell'economia circolare, nel segno dell'innovazione e dell'efficientamento. Il distretto delle Roveri comprende circa 350 aziende ed il tema dell'efficientamento energetico legato all'utilizzo dei motori elettrici è uno dei temi centrali delle attività future che saranno svolte in collaborazione con ENEA.



Figura 13: Logo e evento inaugurale del progetto ROVERI SMART VILLAGE

A partire dal 1 Settembre 2017, inoltre, le attività svolte ci hanno consentito di partecipare ad un progetto della Climate KIC, il progetto è denominato BEST Energy Check up (**B**usiness parks **E**nergy positive & **S**me energy check up **nE**Tworks). Il progetto ha come partner l'Italia (ENEA ed ASTER) e l'Olanda (TNO e CCS) ed ha come obiettivo principe il coinvolgimento di aree industriali da sottoporre a check up energetici e monitoraggi: uno degli obiettivi è quello di definire le reali caratteristiche degli equipment presenti in azienda e di proporre azioni di miglioramento; i motori elettrici sono al centro dello studio che sarà effettuato. Il progetto, inoltre, utilizzando due applicativi esistenti (BE+ e SME energy check up) per la valutazione dei risparmi di energia, consentirà la possibilità di avere una visione a largo spettro dei risparmi ottenibili sia a livello individuale che regionale attingendo ad organizzazioni esistenti o creando nuove reti regionali. Gli applicativi esistenti saranno adattati al caso italiano ed il monitoraggio dei consumi si trova alla base di tutte le attività previste secondo il principio per cui il monitoraggio attenua i rischi finanziari, può eliminare l'influenza del comportamento del consumatore e può funzionare come

una misura oggettiva dell'efficacia delle azioni di miglioramento. Le attività svolte da ENEA prevedono anche lo sviluppo e l'integrazione di un modulo di monitoraggio, che sarà interfacciato al tool SME Energy CheckUp, e sarà in grado di importare, leggere e salvare i dati del contatore intelligente tramite l'operatore di rete e/o tramite la porta P1 dello smart meter stesso. I dati acquisiti potranno essere utili sia alle PMI che alle ESCo ai fini della più opportuna implementazione delle misure di miglioramento energetico più efficaci. Inoltre il modulo di monitoraggio può essere il punto di partenza per servizi aggiuntivi come warning, condivisione dei dati, combinazione dei dati acquisiti con i dati metereologici...



Figura 14: Kickoff meeting del progetto BEST (Utrecht - NL)

### 6.1 Alcune delle aziende partner

Di seguito si indicano alcune delle aziende partner del progetto:

AAVID THERMALLOY Srl

BASTELLI HTS Srl

CHIODINI-MINERVA

FIVE

KAESER

POLIGRAFICI BORGIO

ZINCATURIFICIO BOLOGNESE

## 7 Conclusioni

Le attività svolte hanno dato avvio alla fase finale del progetto che si concluderà con la terza annualità (2017-2018) durante la quale si procederà con i passi necessari all'ottenimento della qualificazione del Laboratorio da parte di un ente terzo. 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.

Importante indicazione che ci è stata data dal mercato durante questa annualità è l'interesse dei diversi stakeholders: aziende, produttori, acquirenti e addetti ai lavori hanno supportato gli eventi organizzati e si sono detti disponibili ad avviare percorsi condivisi per quanto riguarda la sorveglianza del mercato dei motori elettrici.

L'avvio, inoltre, di diversi progetti legati alle attività del PAR ha dimostrato che il lavoro fatto comincia a produrre il suo effetto sia a livello italiano che europeo.

## 8 Competenze ENEA coinvolte nell'annualità ed attività svolte

Il gruppo ENEA che ha lavorato alla realizzazione di questa annualità è composto così come riportato di seguito:

1. Ing. Maria-Anna Segreto – Responsabile Scientifico del Laboratorio e del Progetto

L'attività svolta ripercorre tutti i passi del progetto dalla stesura iniziale, al coinvolgimento delle competenze universitarie, alla scelta delle attività da svolgere e all'indicazione delle singole mansioni di ogni elemento che compone il gruppo di lavoro. Ha seguito le procedure di gara e di assegnazione per gli acquisti, si è interfacciata con i fornitori ed ha supervisionato le fasi di test. Ha, inoltre, seguito il processo di scelta delle aziende partner ed ha contribuito alla stesura del report finale.

2. Ing. Marcello Artioli – Responsabile della Unità Operativa RSR del Laboratorio

L'attività svolta riguarda principalmente il coordinamento delle attività di testing sulla in collaborazione con l'Università de L'Aquila. Si è interfacciato con i fornitori ed ha avuto parte attiva nella scelta dei componenti da acquisire. E' stato parte attiva nel coordinamento della fase di installazione dei nuovi componenti. Ha collaborato alla stesura del report finale.

3. S. Beozzo – Tecnico Elettronico

Le mansioni principali sono state in una prima fase legate alla scelta dei singoli componenti in funzione delle richieste normative e tecniche. Ha fattivamente collaborato alla fase di installazione, verifica e collaudo ed ha contribuito alla realizzazione dei test. Ha collaborato alla stesura del report finale.

4. Ing. A. Di Micco – Ingegnere Meccanico

Ha seguito la parte relativa alla scelta di alcuni componenti ed ha supervisionato la fase di collaudo. Ha collaborato fattivamente alla fase di divulgazione e formazione delle aziende. Ha collaborato alla stesura del report finale.

5. Ing. A. Gugliandolo – Ingegnere Edile

Si è occupata dei rapporti con le aziende partner ha fattivamente collaborato alla fase di divulgazione e formazione organizzando gli eventi e progettando i programmi dei diversi incontri. Ha organizzato giornate di formazione per le aziende ed ha partecipato come

docente sui temi inerenti la diagnosi energetica. Ha collaborato alla stesura del report finale.

6. Ing. Luigi Leto – Ingegnere Meccanico

Ha partecipato alla progettazione degli incontri con le aziende ed ha svolto attività di docenza sui temi della diagnosi energetica concentrando l'attenzione sugli interventi di efficientamento energetico attraverso la sostituzione di motori elettrici con motori ad alta efficienza. Ha collaborato alla stesura del report finale.

7. Ing. Salvatore Tamburrino – Ingegnere Meccanico

Ha supportato le aziende partner ed ha collaborato fattivamente alla fase di divulgazione e formazione delle aziende. Ha collaborato alla stesura del report finale.

8. Ing. Roberto Moneta – Ingegnere Civile

Ha avuto ruolo primario nell'interfaccia con le istituzioni (Comune, Regione, ARPAE, Associazioni di categoria...). Ha partecipato a numerosi eventi di divulgazione delle attività ed ha supervisionato le fasi di testing e monitoraggio.

Un particolare ringraziamento per il supporto dato alle attività va all'Arch. Giovanni Margareci che ha seguito le attività di monitoraggio, acquisizione ed elaborazione dei dati.

## 9 Riferimenti bibliografici

- [1] FIRE, "Motori ad alta efficienza e controllo a velocità variabile", [www.fire-italia.org](http://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
- [3] 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", ENEA, RdS-PAR2015-052, 2016
- [4] E. Fiorucci, G. Bucci, A. Ometto, F. Parasiliti Collazzo, M. Tursini, M. Villani, "Sviluppo di un protocollo contenente le procedure per le verifiche su motori elettrici fino a 15 kW così come previste dal Regolamento della Commissione 640/2009", Report RdS/PAR2014/045, ENEA, 2015
- [5] E. Fiorucci, G. Bucci, A. Ometto, F. Parasiliti Collazzo, M. Villani, "Determinazione dell'incertezza nella misura del rendimento di motori asincroni polifase secondo i metodi prescritti dalla norma IEC 60034-2-1", Report RdS/PAR2015/053, ENEA, 2016
- [6] [www.anie.it](http://www.anie.it)
- [7] [www.energiaenergetica.enea.it](http://www.energiaenergetica.enea.it)
- [8] [www.enea.it](http://www.enea.it)
- [11] [www.motorielettrici.enea.it](http://www.motorielettrici.enea.it)
- [10] [www.terna.it](http://www.terna.it)

## 10 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: spaccato di un motore asincrono a gabbia (Fonte: la rete) .....	8
Figura 4: immagine di uno statore (Fonte: la rete) .....	9
Figura 5: immagine di un rotore (Fonte: la rete) .....	9
Figura 6: Figura 5: immagine di un rotore a gabbia (Fonte: la rete) .....	9
Figura 7: esempio di dati di targa di un motore elettrico .....	11
Figura 8: Stampante 3D con la quale sono stati realizzati gli elementi necessari per la realizzazione della rete di monitoraggio .....	18
Figura 9: composizione dei sistemi installati .....	18
Figura 10: collegamento dei sistemi ad un access point .....	19
Figura 11: configurazione del sistema completo .....	19
Figura 12: Esempio di dati visualizzati attraverso l'applicazione installata su cellulare con sistema operativo .....	20
Figura 13: Logo e evento inaugurale del progetto ROVERI SMART VILLAGE .....	31
Figura 14: Kickoff meeting del progetto BEST (Utrecht - NL) .....	32