



Ricerca di Sistema elettrico

Raccolta delle principali attività di
diffusione dei risultati del Progetto
D.3 “Processi e macchinari industriali”
PAR2017

A cura di I. Bertini

RACCOLTA DELLE PRINCIPALI ATTIVITÀ DI DIFFUSIONE DEI RISULTATI DEL PROGETTO D.3 “PROCESSI E MACCHINARI INDUSTRIALI”

A cura di I. Bertini

Settembre 2017

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Annuale di Realizzazione 2016

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

Progetto: D.3: Processi e macchinari industriali

Obiettivo: Comunicazione e diffusione dei risultati

Responsabile del Progetto: Ing. Ilaria Bertini, ENEA



Indice

1	INTRODUZIONE	4
2	PUBBLICAZIONI SCIENTIFICHE.....	6
3	DIFFUSIONE DELL' INFORMAZIONE SULL'ETICHETTATURA ENERGETICA E L'ECODESIGN E SULLA SORVEGLIANZA DEL MERCATO.....	29

1 Introduzione

Il Ministero dello Sviluppo Economico (MiSE) ed ENEA hanno stipulato un Accordo di Programma in base al quale è concesso il contributo finanziario per l'esecuzione delle linee di attività del Piano Triennale della Ricerca e Sviluppo 2015-2017 di interesse generale per il Sistema Elettrico Nazionale.

Il presente documento si riferisce al Piano Annuale di Realizzazione 2017, per quanto attiene all'Area "Efficienza energetica e risparmio di energia negli usi finali elettrici e interazione con altri vettori energetici", Progetto D.3 "Processi e macchinari industriali".

Il periodo di svolgimento delle attività è 1 ottobre 2017 -30 settembre 2018.

Il progetto ha come la realizzazione di strumenti e metodi, che mirano alla promozione di tecnologie ad alta efficienza energetica, allo scopo di favorire il mercato di prodotti più performanti sia a livello di componenti, che consumano energia, sia a livello di sistemi che la producono e di migliorare la qualità dei processi industriali più energivori per contribuire alla riduzione della bolletta energetica nazionale e aumentare la competitività del settore produttivo rispetto ai mercati internazionali.

L'attività a termine, con un orizzonte temporale triennale, si articola attraverso le seguenti cinque linee di attività, più una dedicata alla diffusione dei contenuti e dei risultati ottenuti.

a. Studio e applicazione di tecnologie per l'efficientamento di macchinari

a.1 Facility per la sperimentazione e verifica di motori elettrici ad alta efficienza

Obiettivo di questa linea di attività è stato l'avvio delle operazioni di accreditamento del laboratorio per la verifica di motori elettrici ad alta efficienza fino a 55 kW , i collaudi e verifiche per i sistemi di misura e taratura e la messa a regime dei banchi prova. L'Università degli Studi de L'Aquila e l'Università degli Studi di Messina collaboreranno per le attività inerenti l'applicazione appropriata dell'incertezza di misura e l'idoneità, taratura e manutenzione delle attrezzature per le prove.

a.2 Tecniche di efficientamento di sistemi per saldature

L'obiettivo finale della presente linea di attività consiste nella definizione di uno standard di verifica dei consumi energetici normalizzati per l'etichettatura di vari generatori di energia per saldatura e la predisposizione di linee guida per il risparmio energetico nel settore della saldatura Industriale.

A tale scopo è stato realizzato data base di FEE rilevati in condizioni operative di saldatura sia presso il laboratorio prove Fisso allestito nel CR ENEA Casaccia, sia on site presso le aziende fabbricanti. Attraverso questi dati è stato possibile validare lo Standard di Etichettatura ECOWELDESIGN; proposto.

a.3 La progettazione ecocompatibile all'interno dell'economia circolare

Obiettivo di questa linea è lo sviluppo di specifiche e requisiti tecnici per le politiche di efficienza energetica, principalmente etichettatura energetica-ecoprogettazione (ecodesign) all'interno del cosiddetto pacchetto dell' "economia circolare".

Le attività della presente annualità hanno previsto il monitoraggio della presenza delle etichette energetiche per 11 prodotti in un campione di negozi di un significativo numero di Regioni - workshop per la presentazione dei risultati dell'indagine e la conclusione dell'analisi della non-conformità tecnica e

documentale di lampade LED (47 modelli), forni elettrici (23 modelli), lavastoviglie (9 modelli), condizionatori monoblocco e monosplit (15 modelli), cantinette per i vini (13 modelli).

b. Efficientamento di processi industriali

b.1 Materiali innovativi per lo sviluppo di sistemi per il recupero energetico da cascami termici in ambito industriale

L'obiettivo finale di questa linea di attività nell'orizzonte temporale triennale è lo sviluppo di un sistema prototipale ad assorbimento o adsorbimento per il recupero di calore di scarto a bassa temperatura. L'attività del terzo anno sono state finalizzate alla caratterizzazione del ciclo termodinamico mediante test sperimentali sui materiali in bulk sul banco di prova, al confronto con i dati chimico fisici e selezione del materiale per il sistema dimostrativo e alla definizione delle metodologie di confinamento e di processamento del materiale adsorbente nel sistema di prova. - Sviluppo del sistema dimostrativo e relative valutazioni

b.2 Studio di catalizzatori magnetici a elevata attività con finalità di efficientamento energetico dei processi produttivi nell'industria chimica

L'attività mira alla progettazione e sviluppo di nuovi catalizzatori a supporto magnetico da utilizzare ai fini dell'efficientamento energetico di processi produttivi in ambito chimico industriale, con particolare focalizzazione al sistema nazionale (chimica farmaceutica, petrolchimico, sintesi di materie plastiche, sviluppo di coatings, prodotti avanzati per l'edilizia). L'obiettivo finale consiste nell'allestimento di un reattore a scala di laboratorio per la sperimentazione di nuovi materiali (catalizzatori) da utilizzare nella catalisi magnetica per induzione, tecnica che si configura come game-changer nel settore della chimica industriale..

L'attività del terzo anno sono state finalizzate all'ottimizzazione della morfologia, attività e stabilità dei catalizzatori più performanti sviluppati nella seconda annualità, l'allestimento del reattore scala banco, la definizione delle condizioni operative migliori al fine di ottimizzare l'energia trasferita dall'induttore al materiale e valutazione di resa comparata e di consumo energetico rispetto alle metodologie tradizionali.

b.3 Sistema di supporto alle decisioni per il risparmio energetico nella produzione e nell'utilizzazione dell'aria compressa

Obiettivo finale della presente linea è la definizione di metodi per la riduzione dei consumi degli impianti di produzione, trattamento, distribuzione e utilizzo dell'aria compressa e la realizzazione di uno strumento di supporto alle decisioni (DSS, Decision Support Systems) in grado di indirizzare le aziende di vari settori produttivi verso l'adozione di tali buone pratiche secondo le modalità e le specifiche esigenze del settore e dell'impianto. Le attività della terza annualità sono state orientate allo sviluppo di applicativi (in excel, Matlab ecc.) per supportare il benchmark delle performance dei CAS's sulla base dei dati in input forniti dalle singole aziende, allo sviluppo di modelli di calcolo per il supporto nella valutazione della fattibilità economico-finanziaria dei principali interventi di efficientamento energetico (EMOs, Energy Management Opportunities), alla sperimentazione diretta a un campione di aziende dei sistemi sviluppati (benchmarking, modello di maturità, linee guida, strumenti), loro validazione e diffusione, scelto sulla base delle analisi condotte nella seconda annualità.

c. Metodologie per la caratterizzazione di processi industriali energivori: benchmark e valutazione dei potenziali di risparmio energetico

Definizione di metodologie per il calcolo dei rendimenti dei processi

Obiettivo delle attività è stata l'individuazione di indici di prestazione nei seguenti settori: produzione della pasta, del cemento e dell'acciaio. Si è valutato l'impatto potenziale derivante dall'implementazione di strumenti tecnico-finanziari (diagnosi energetica, rete d'impresa, ecc;) all'interno di PMI del settore industriale, in termini di risparmio energetico e costi da sostenere per l'esecuzione dei necessari interventi di efficientamento.

d. Applicazione di campi elettrici pulsati nei processi industriali

Obiettivo finale della linea di attività è la realizzazione di prototipo per l'inattivazione batterica degli alimenti basato su campi elettrici pulsati (PAEF). Nella presente annualità si sono ottenuti i seguenti risultati: assemblaggio del sistema PEF, già progettato nel secondo anno di attività, sperimentazione di vari campioni di prodotti sotto varie configurazioni del sistema sperimentale, costruzione degli opportuni modelli matematici di inattivazione batterica, messa in opera di un sistema di misura opportuno per la conducibilità elettrica dei liquidi oggetto della sperimentazione, messa a punto di un sistema di simulazione del campo elettrico in regime stazionario per la realizzazione di un prototipo della camera di trattamento che permetterà la diretta sperimentazione delle procedure studiate e conseguente valutazione dell'efficientamento energetico.

Nel presente documento è stato collezionato il materiale delle principali azioni di diffusione dei risultati relative alle attività del PAR 2015 dei ricercatori ENEA e cobeneficiari.

2 Pubblicazioni scientifiche

1. Barbieri, G. et al., "Portable System for the Measure of Efficiency in Arc Welding Processes", Thermec 2018, International Conference on PROCESSING & MANUFACTURING OF ADVANCED MATERIALS, Parigi 9-13 Luglio 2018.
2. Di Girolamo, G. et al., "Efficienza energetica ed efficacia di saldature laser su acciaio e leghe di alluminio", Lamiera, 9 (2018), ed. Tecniche Nuove, Milano .
3. F. Varsano, M. Bellusci, F. Padella, A. La Barbera ,M. Albino, M. Petrecca, D. Peddis, C. Sangregorio, ISMANAM 2018 - The 25th International Symposium on Metastable, Amorphous and Nanostructured Materials, Rome 2-6 Luglio 2018 (poster).
4. F. Varsano, M. Bellusci, M. Petrecca, C. Sangregorio, Reforming Reaction powered by Induction, HYPOTHESIS-XIII 2018 HYdrogen POwer THEoretical and Engineering Solutions International Symposium, Singapore 24-27 luglio 2018
5. F. Bonfá, M. Benedetti, S. Ubertini, V. Introna, A. Santolamazza, New efficiency opportunities arising from intelligent real time control tools applications: the case of Compressed Air Systems' energy efficiency in production and use, ICAE 2018, Hong Kong, Agosto 2018.

Portable System for the Measure of Efficiency in Arc Welding Processes

Giuseppe Barbieri^{1,a*}, Stefano Bifaretti^{2,b}, Vincenzo Bonaiuto^{2,c},
Francesco Cognini^{1,d}, Massimo Moncada^{1,e}, Roberto Montanari^{2,f},
Sabino Pipolo^{2,g}, Maria Richetta^{2,h} and Alessandra Varone^{2,i}

¹ ENEA, Department for Sustainability - Research Centre of Casaccia,
Santa Maria di Galeria, 00123, Rome, Italy

² Department of Industrial Engineering, University of Rome Tor Vergata,
Via del Politecnico 1, 00133, Rome, Italy

^agiuseppe.barbieri@enea.it, ^bstefano.bifaretti@uniroma2.it, ^cvincenzo.bonaiuto@uniroma2.it,
^dfrancesco.cognini@enea.it, ^emassimo.moncada@enea.it, ^froberto.montanari@uniroma2.it,
^gsabino.pipolo@uniroma2.it, ^hmaria.richetta@uniroma2.it, ⁱalessandra.varone.@uniroma2.it

Keywords: Welding Machines, Efficiency.

Abstract. In recent years, the monitoring of the energy consumption in the industrial processes shows a growing interest due to its strong fallout on environmental pollution and environmental sustainability. On this purpose, this paper deals with the design of a portable Digital Acquisition system (DAQ) tailored for monitoring the energy consumption in different classes of welding machines. The proposed system is a multichannel DAQ able to measure the overall power consumption at the input of the machine (including those relative to the secondary equipment present in the welding process as gas pumps, chillers, etc.) together with some other physical quantities in output (which depend on the features own of the welding machine). The results of these measurements will be deeply investigated and, by a proper metallurgical analysis, related to the mechanical characteristics of the welded joint. Some results on preliminary measures performed on a Tungsten Inert Gas (TIG) welding machine in a real industrial welding process will be shown in the paper.

Introduction

In each of the latest United Nations Climate Change Conferences (COP21, COP22 and COP23) it has been strongly reaffirmed the need to reduce the amount of greenhouse gases by an improvement of the response to the increasing energy demand and prompting the governments to policies of incentives for the reduction of energy production by fossil fuel. Therefore, while one of the main strategies is represented by the improvement of the structure of the grid in order to reduce the transport losses, on the other hand, a further trend is represented by the identification of new strategies for the improvement of the energy efficiency in both the industrial and civil sectors. Nevertheless, until now, the major efforts have been limited to improve the efficiency in civil building rather than in industrial sector and, above all, in the latter case, it has been not an operation oriented in the upgrading and replacement of the production processes.

On this subject, it is worth to note that the welding [1,2] is one of the most exploited processes in industrial manufacturing (small metal carpentry, household appliances, shipbuilding, automotive, etc.) and, for this reason, a could be really interesting make available a system focused on the evaluation of the energy losses of the process. Different class of welding process involve various energy efficiencies since each of them presents typical features (often very different one from the others). For example, in some cases, the junction is carried out in a single step while in other cases, more steps are required and, consequently, there are portions of material that melt and solidify several times during the process.

Among the others, the arc welding process, by exploiting an electric arc attaining the melting by Joule effect with spherical energy distribution, shows considerable losses of heat by conduction and represents one of the most energy consuming process [3-6]. For this reason, this study has been focused on the measure of the electrical efficiency on arc welding processes. The arc welding processes that will be taken into account are, among the others, the most common industrial ones that are represented by the GMAW "Gas Metal Arc Welding" or continuous wire welding; GTAW "Gas Tungsten Arc Welding" or the tungsten infusion electrode welding; the SAW "Submerged Arc Welding" or the Submerged Arc welding; and for welding on site the SMAW "Shielding Metal Arc Welding" or the common coated electrode welding.

The measurement system

In any welding process (Arc, Plasma or Laser), the power consumption depends on several parameters (output load and mains voltage) as well as the amount of melted material and the welding operating mode. However, it could be interesting to identify a single global parameter useful to characterize the overall efficiency of any welding process. It can be identified as the ratio of total volume of melted metal and the whole amount of energy used in the process. Concerning the energy used by the welding process, it will be considered the whole amount supplied by the grid, regardless of how much of it is actually used to melt the metal.

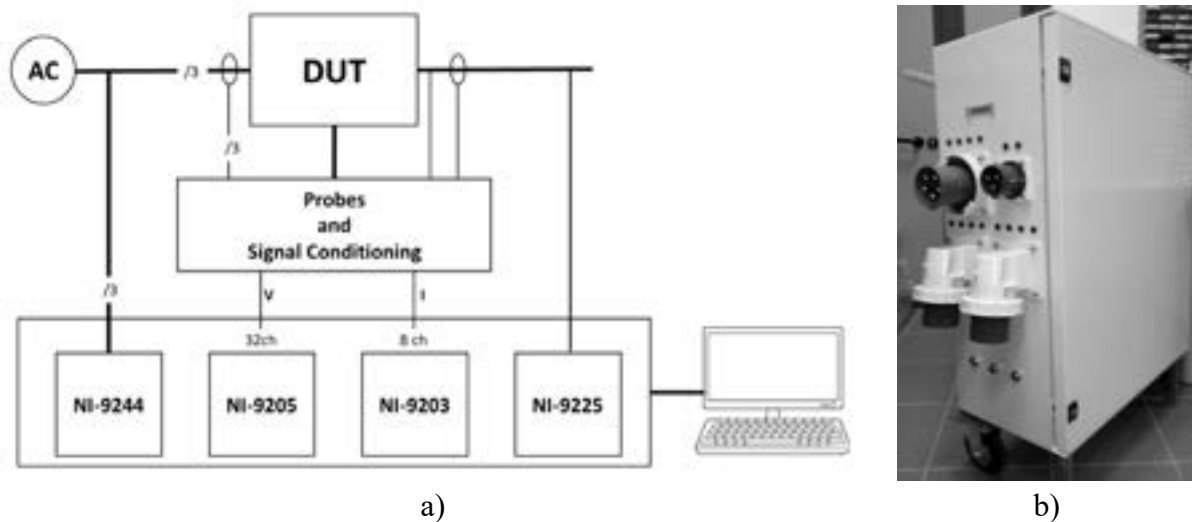


Figure 1 – (a) Block scheme and (b) photo of the system

The goal of the project is to develop a portable multichannel DAQ (Digital Acquisition system) well suited for the monitoring of the instantaneous energy consumption, in an industrial environment and operative conditions, of different welding processes. Such a system has to present a high class, in terms of precision and accuracy in the measure of the electrical parameters of the machine under investigation, together with an appropriate degree of versatility that is required to make the measure possible on systems with very different features. Furthermore, the measuring system must be able to measure both for the main machine systems and for its accessory devices (e.g. gas pumps or the "chiller" in the case of a Laser welding machine, etc.) and it has to be provided of Ethernet and wireless (IEEE 802.11g) interconnection feature. A block scheme of the designed system is depicted in Fig.1a. It is based on a high performance digital acquisition system (National Instruments CompactDAQ) [6] and it is based by a rack (NI-CDAQ 9188) able to host up to eight acquisition boards. In this rack it has been installed four different boards for the direct measure (or through a proper signal conditioning hardware) of the input or output electrical parameters of the welding machine. In particular, this is composed of current and voltage sensors (Table 1). All the current sensors are in Hall effect technology (LEM HAS-50, LEM HTR-50 and LEM LF-306). They have been chosen on the basis of the nominal current value to be measured, the

maximum measurable value and the size of the cable. These sensors have also been used for AC current measurements as they guarantee greater accuracy and better bandwidth than conventional current transformers. The measure of the whole voltages (three-phase and single-phase) have performed by using Hall effect probes (LEM LV 20-P). These are voltage transducer (Closed loop compensated) which output is represented by a value of current proportional to the input voltage. The acquisition modules (whose main features are shown in Table 2) have been chosen in order to ensure a good definition of the signals to be acquired, so they present the following design specifications:

- high sample rate (in order to allow the analysis of the transients)
- adequate accuracy and resolution
- enough number of acquisition channels (taking into account possible future expansions)

Table 1: CURRENT AND VOLTAGE SENSORS

Input	Model	Range	Accuracy	Output	Ø cable [mm]
Current	LEM HAS-50 panel mount	nom ± 50 [A] max ± 150 [A]	$<1\% @ I_{PN} = 0.5$ [A]	Voltage ± 4 [V] Closed-loop	20.4x10.4
Current	LEM HTR 50-SB split core	nom ± 50 [A] max ± 100 [A]	$<2\% @ I_{PN} = 1$ [A]	Voltage ± 4 [V] Open-loop	21
Current	LEM LF 306-S panel mount	nom ± 300 [A] max ± 500 [A]	$0.4\% @ I_{PN} = 1.2$ [A]	Current nom 150 [mA] max 250 [mA]	24.5
Voltage	LEM LV 20-P	max 500 [V]	$\pm 1.0\% @ V_{PN} = 250$ [V]	Current	NA

Table 2: DIGITAL ACQUISITION MODULES

Module	Range	Sample Rate	Resolution	Ch. num.
NI 9242 3-Ch Analog Input	250 [V _{rms}] L-N 400 [V _{rms}] L-L	50 [kS/s]	24-Bit	3
NI 9225 3-Ch Analog Input	300 [V _{rms}]	50 [kS/s]	24-Bit	3
NI 9205 Voltage Analog Input	± 10 [V]	250 [kS/s]	16-Bit	32
NI 9203 Current Analog Input	± 20 [mA]	200 [kS/s]	16-Bit	8

The first three analogue modules of Table 2 are input voltage modules, while the last one is an input current module. The first module (NI 9242) is able to manage input voltages ranges up to $400V_{RMS}$ and it can be used to measure the input voltage of the welding machine directly from the grid (L-N or L-L). The second one (NI 9225) manages input voltage up to $300V_{RMS}$ and it can be used to measure input voltage (but only in a L-N measure) of the grid or an output voltage, where available (as for the TIG machines). The NI 9205 module manages input voltage up to $\pm 10V$ and it is used for the measurement of the current in input to the welding machines by the proper Hall effect transducer previously described (HAS-50, HTR 50-SB and LF 306-S) or other sensors (e.g. a calorimeter to measure the output energy in a laser welding process). The last module (NI 9303) is a current input module that manages currents up to ± 20 20mA and are used to measure voltage inputs by using the currents probes (LV 20-P) [8].

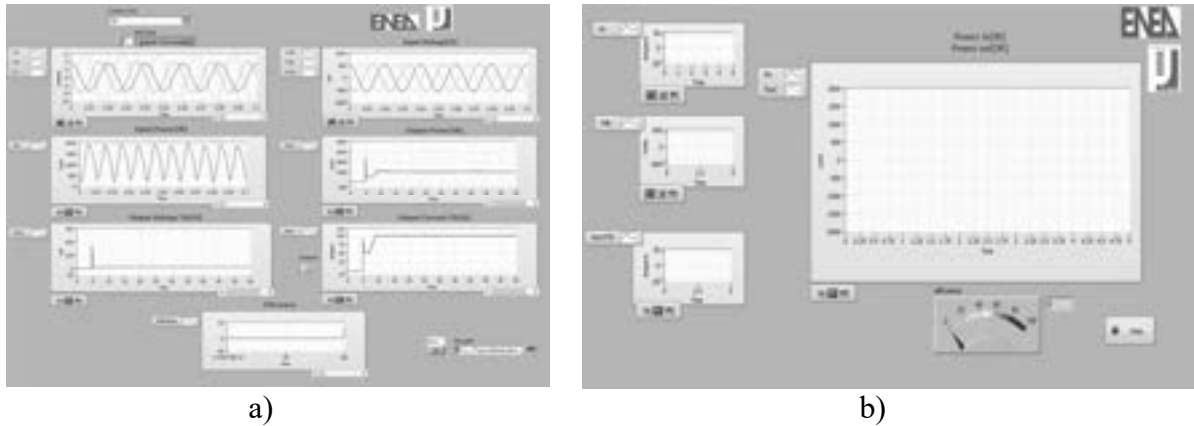


Figure 2 – Screenshot of the system control software

The system is controlled by a PC by using a suitably developed software and implemented in LabVIEW language. This provides for:

- the initialization of the acquisition modules
- the selection of the measurement channels
- the display and the analysis of the measured results (waveforms and text)
- the display and the analysis of previously acquired data
- the harmonic analysis
- the export of the acquired data (i.e Excel, Matlab, etc.)

In Fig.2 are depicted two sections of the software. In particular, the Fig.2a shows a monitor for evaluate the correct behavior of the system while the acquisition is running. The Fig.2b shows the measure of the efficiency. The software also performs the harmonic analysis of the input currents and the evaluation of the THD coefficient (Total Harmonic Distortion) as defined by CEI EN 61000-3-12 for welding machines with a power supply between 16A and 75A per phase (Fig.3).

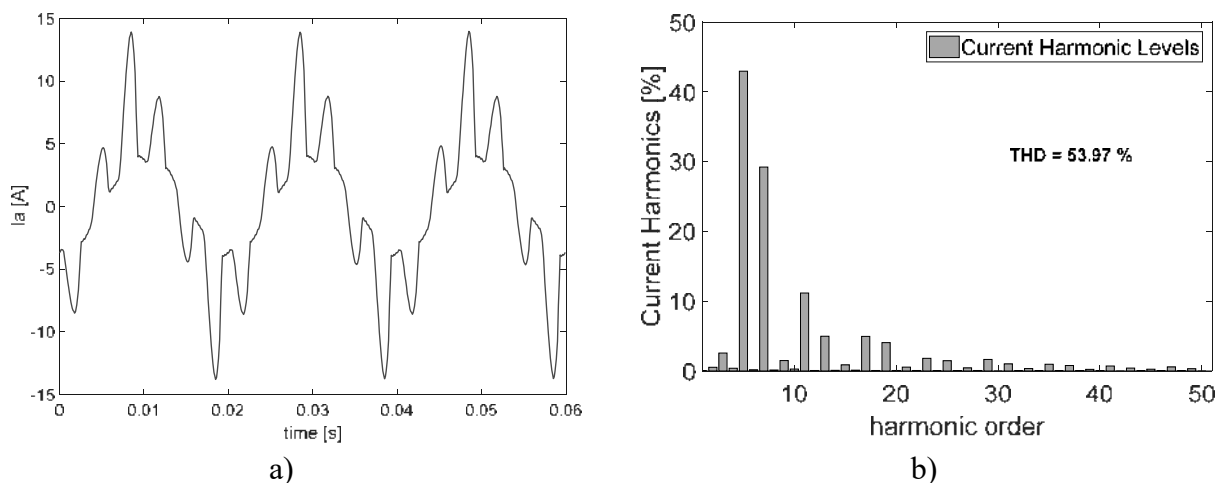


Figure 3 – TIG NERTAMATIC 450 harmonic current analysis: (a) waveform (b) harmonics

The investigation on the source of the perturbations is carried out by measuring the THD of the input current (THC) on the arrival and on all the departures of the different circuits. Depending on the measured THC value, it is possible to identify possible system malfunctions and adopt specific measures. The Figure 3 depicts an example of harmonic analysis for a measure of the input current for TIG welding machine. It is worth noting that the THD depends on the particular operating situation of the machine and, for this reason, it can be computed only in the time intervals in which the signal can be considered as in steady state.

Measurement results

Some preliminary measurements on the functionality of the system as well as for the assessment of the procedures for a measure of the energy efficiency of the machines have been done. In particular, in this paper will be shown a series of "electrical" tests were carried out to measure losses and energy efficiency from an electrical point of view (output power - input power) on a TIG NERTAMATIC 450 welding machine.

The tests were performed on carbon steel and stainless steel in the following conditions:

- 1 test in continuous TIG mode with step progress
- 9 tests in continuous TIG mode varying the height of the welding head

Each test was performed by varying the welding process parameters described:

- Arc length in the range from 2 to 4 mm
- Welding current in the range from 100A to 180A
- The other parameters have been kept constant for all the tests:
- Welding speed of 2 mm/s
- Argon protective gas with a flow rate of 6 l/min

Fig. 4 shows the output power evaluated for the four tests. All the tests are relative to automated welding processes where in which the arc length is kept constant throughout the whole process and, therefore, there is not any significant change in the measured voltage and current output values and, consequently, in the calculated value of the power. As far as the efficiency, this value ranges, in the four tests, between about 35% and 45% and the best performance, from efficiency point of view, occurred with the test number 4 (44.6% with an arc length of 2 mm and maximum output current set to 170A).

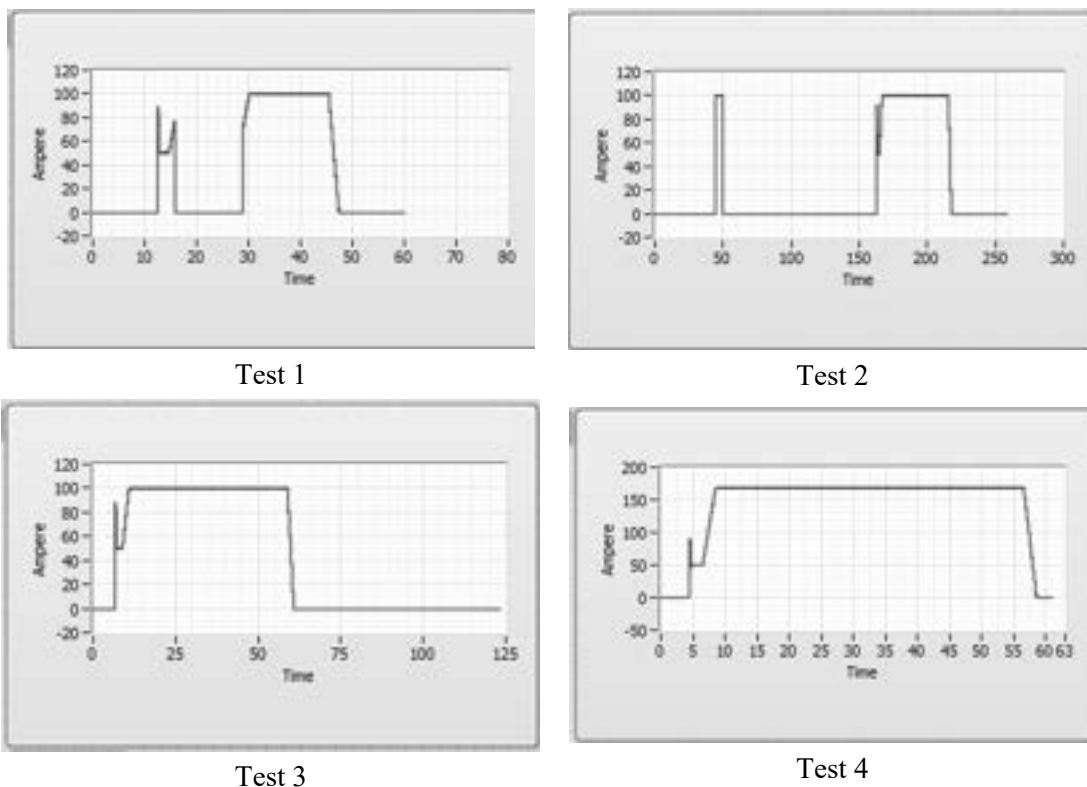


Figure 4 – TIG NERTAMATIC 450: Output power evaluated in the four tests

As previously discussed, in a welding process the energy efficiency can be correlated to the power consumption and to the amount of melted material. For this reason, metallurgical observations were carried out on welded carbon steels in order to calculate the volume involved in welding process and to characterize macrostructure and hardness across the seam.

Conclusions

In this paper, it has been shown a new DAQ system well suited for the assessment of the energy performances on welding machines. Some electrical tests together with some metallurgical analysis have been performed and described in the paper in order to point out the features of the developed system as well as to identify a reliable methodology for the evaluation of the energy losses in the welding processes. The equipment was laboratory tested on industrial welding generator and it is now ready to be applied to on site industrial evaluation of welding process efficiency on several kind of arc generator like Gas Tungsten Arc Welding (GTAW), Gas Metal Arc Welding (GMAW) Submerged Arc Welding (SAW) and so on. The final objective is to introduce a label system for industrial welding process.

Acknowledgement

This work has been carried out within the framework of the Programme Agreement with the Italian Ministry of Economic Development: project D3 “Processes and Industrial equipments”

References

- [1] C. Mose, N. Weinert, Process chain evaluation for an overall optimization of energy efficiency in manufacturing-The welding case, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 34 (2015) 44-51.
- [2] M.A. Purslow, Reducing the ecological impact of arc welding, *Welding Journal*, December (2012) 24-27.
- [3] A. Bahrami, D.T. Valentine, D. Aidun, Computational analysis of the effect of welding parameters on energy consumption in GTA welding process, *International Journal of Mechanical Sciences*, 93 (2015) 111–119.
- [4] S. Chayoukhi, Z. Bouaziz, A. Zghal, Cost estimation of joints preparation for GMAW welding process using feature model, *Journal of materials processing technology*, 199 (2008) 402–411.
- [5] A. Haelsing, P. Mayr, Energy balance study of gas-shielded arc welding processes, *Weld World* DOI 10.1007/s40194-013-0073-z.
- [6] Q. Zhang, M. Mahfouf, G. Panoutsos, K. Beamish, X. Liu, Multiobjective optimal design of friction stir welding considering quality and cost issues, *Science and Technology of Welding and Joining*, ISSN: 1362-1718 (Print) 1743-2936 (Online) J. homepage: <http://www.tandfonline.com/loi/ystw20>.
- [7] NI cDAQTM 9171/9174/9178, User Manual, 372838E-01 National Instruments, July 2016
- [8] Industry Current and Voltage Transducers, Edition 2013, Published by LEM International SA©, Switzerland 2013

Efficienza energetica ed efficacia di saldature laser su acciaio e leghe di alluminio

Autori: Giovanni Di Girolamo^a, Giuseppe Barbieri^b, Daniele Mirabile Gattia^b, Francesco Cognini^b, Massimo Moncada^b

^aENEA, SSPT-PROMAS-MATPRO, Centro di Palermo, Via Principe di Granatelli 24, Palermo

^bENEA, SSPT-PROMAS-MATPRO, Centro Ricerche Casaccia, Via Anguillarese 301, Roma

e-mail: giovanni.digirolamo@enea.it

Sommario

L'articolo presenta un aggiornamento delle attività sperimentali condotte da ENEA nell'ambito dell'AdP (Accordo di Programma) sulla Ricerca di Sistema Elettrico e volte all'efficientamento energetico e all'etichettatura di processi e macchinari di saldatura. Tale ricerca è volta a colmare un gap normativo e tecnologico che esiste a livello europeo e che urge risolvere nell'ottica della riduzione dei consumi elettrici.

A tal fine, sono state realizzate saldature laser su materiali diversi e di ampio uso industriale (leghe di acciaio e alluminio), definendo e calcolando un fattore di efficienza energetica che può essere esteso a varie tipologie di tecnologie di saldatura. I giunti saldati sono stati caratterizzati mediante analisi metallografica e controllo radiografico, al fine di individuare le condizioni migliori di processo, sia in termini di efficienza che di efficacia.

Attività sperimentale per la valutazione dell'efficienza energetica di processi di saldatura laser

Negli ultimi anni sono stati effettuati grossi sforzi per il miglioramento dell'efficienza energetica nel settore industriale. La sostituzione delle tecnologie e delle apparecchiature attuali con sistemi analoghi ma più efficienti porterebbe a notevoli vantaggi in termini di efficienza energetica nel tessuto produttivo industriale nazionale. Lo stato delle normative, degli studi e delle direttive governative sull'efficienza energetica nel settore dei processi di saldatura risulta ancora carente e rimane facoltativa l'indicazione dei dati relativi all'efficienza energetica di macchine e processi [1]. Nell'ambito dell'attività dell'AdP sulla Ricerca di Sistema Elettrico, ENEA ha un ruolo di primo piano, in ambito nazionale, riguardo allo sviluppo di soluzioni e buone pratiche per l'efficientamento e l'etichettatura energetica dei processi industriali di saldatura. È stato definito l'indicatore "fattore di efficienza energetica" (FEE), dato dal rapporto tra

$$\frac{\text{sezione resistente "efficace"}}{\text{energia utilizzata}}$$

in un determinato processo di saldatura. Per processi di saldatura laser (considerando anche l'energia per il sistema di manipolazione del fascio e degli ausiliari, in primis il chiller), nel caso più semplice di saldatura autogena su giunti testa-testa a singola passata, ipotizzando in prima approssimazione di non avere decadimento delle proprietà meccaniche del materiale, il valore di FEE può essere calcolato secondo la formula seguente:

$$FEE = \frac{L s}{P t} = E_{WP} \frac{v_s s}{P_L}$$

(L: lunghezza giunto, s: spessore, P: potenza assorbita dalla rete, t: durata della saldatura, E_{WP} : Efficiency Wall Plug, efficienza energetica complessiva della sorgente laser comprensiva degli ausiliari, v_s : velocità di saldatura, P_L : potenza laser impiegata).

Qualora la saldatura determinasse una diminuzione delle prestazioni del materiale occorrerebbe tenere conto di uno spessore equivalente s_e , considerando la caratteristica meccanica di riferimento.

Per la generica sollecitazione ammissibile:

$$s_e \sigma_{am} = s \sigma_{ams}$$

$$s_e = s \frac{\sigma_{ams}}{\sigma_{am}} = s e$$

(σ_{am} : tensione ammissibile del materiale base, σ_{ams} : tensione ammissibile del materiale saldato, e : efficienza di saldatura), da cui deriva

$$FEE = E_{WP} e \frac{v_s s}{P_L}$$

L'efficienza di saldatura deve essere tenuta certamente in considerazione per quei materiali che sono soggetti a "softening" come le leghe di alluminio che, a causa della fusione, perdono le caratteristiche meccaniche indotte dai processi di incrudimento ed invecchiamento artificiale.

L'Eurocodice 9 di progettazione di strutture saldate in leghe di alluminio, ad esempio, considera un'efficienza di saldatura pari o inferiore, in funzione della tecnologia di saldatura e/o della specifica lega, non superiore all'85% [2].

L'attività sperimentale, alla base del presente lavoro, è stata effettuata su una sorgente laser installata presso i laboratori ENEA del Centro della Casaccia. Il laser è particolarmente adatto a saldare componenti in larga serie (es. strutture leggere del settore dei trasporti, parti meccaniche di precisione, recipienti alimentari, etc.) garantendo riproducibilità ed elevata velocità di processo. La saldatura laser riduce le distorsioni e consente di ottenere elevate profondità, riducendo il consumo di materiale e la necessità di successive lavorazioni di finitura. La saldatura laser avviene principalmente attraverso un processo *keyhole* il quale sfrutta l'elevata densità di potenza generata nel punto focale che produce un'istantanea vaporizzazione del metallo. È stata utilizzata una sorgente laser in fibra all'itterbio con architettura modulare: Il fascio di alta potenza è ottenuto dalla somma dei contributi di alcune unità uguali, ciascuna contenente una fibra attiva e un certo numero di diodi laser per il pompaggio ottico della stessa. La sorgente laser è stata caratterizzata dal punto di vista dell'assorbimento energetico misurando contemporaneamente:

- potenza laser utile con sensore calorimetrico Primes Power Monitor PM48.
- assorbimento elettrico mediante analizzatore di rete Fluke 1730.

L'assorbimento a potenza zero, cioè in condizione di attesa, è dovuto agli ausiliari interni: unità di condizionamento e deumidificazione interna della parte ottica del laser; computer, che gestisce anche la comunicazione con l'interfaccia utente e il posizionatore cnc; alimentatori a bassa tensione del quadro elettrico. All'esterno del laser opera un sistema di raffreddamento (chiller) aria-acqua che dissipa il calore generato nel funzionamento della sorgente e contiene: compressore frigorifero, pompa di circolazione dell'acqua e ventilatore aria. Per una valutazione completa dell'efficienza energetica, è quindi necessario monitorare tutte le utenze. Per le prove di saldatura si è cercato di definire condizioni operative realistiche, mediante la scelta di materiali e parametri di processo rappresentativi. La successiva valutazione dell'efficienza energetica ha il fine di fornire linee guida per l'efficientamento e l'etichettatura energetica dei processi di saldatura.

Una serie di test preliminari di rifusione (*bead-on-plate*) ha evidenziato l'influenza delle diverse variabili di processo. I cordoni sono stati analizzati con esame visivo e macrografie di sezioni trasversali.

I materiali scelti sono quattro, di largo impiego in ambito industriale:

- lastre in acciaio inox (AISI 316), spessore 4 mm ;
- lastre in acciaio al carbonio (S460 NL), spessore 5 mm ;
- lastre in lega di alluminio (AA1070), spessore 6 mm ;

- lastre in lega di alluminio (AA6060), spessore 6 mm

Come è noto, diversi parametri di processo influiscono sul risultato della saldatura laser, con interazioni varie; in questo caso le variabili controllate sono state:

- la velocità di saldatura “V” (17÷25 mm/s per l'acciaio, 12÷25 mm/s per le leghe di alluminio);
- la potenza “P” (2÷4 kW per l'acciaio, 3÷4 kW per le leghe di alluminio);
- la posizione del fuoco “F” rispetto alla superficie del campione;
- la portata di Argon (gas di protezione del bagno di fusione) utilizzata sul dritto (D) e sul rovescio (R) del cordone di saldatura.
- i parametri di *wobbling* (oscillazione circolare del fascio laser), quali il diametro “d” del cerchio e frequenza “F” di rotazione.

Una volta raggiunte condizioni operative ottimali (piena penetrazione, aspetto regolare) sono stati realizzati dei simulacri di giunti saldati e misurati i reali consumi energetici. Per i campioni in cui si è ottenuta la completa penetrazione è stato calcolato il fattore di efficienza:

$$FEE = \frac{v S}{P_{tot}}$$

Per il laser si è utilizzato il valore di consumo (in kW) P_{tot} dato dalla correlazione [1]:

$$P_{tot} = 2,56 \times P_L + 1,1 + 5,1$$

dove P_L è la potenza utile del fascio laser, 2.56 e 1.1 sono dei coefficienti ottenuti sperimentalmente effettuando dei rilievi di potenza mediante calorimetro e misure di assorbimento alla presa.

L'assorbimento del chiller (Figura 1a) è considerato per semplificazione costante, pari al massimo assorbimento (5.1 kW), in quanto dai rilievi effettuati ai vari livelli di potenza l'assorbimento del chiller (non essendo inverter) rimane costante. Per cui, la potenza totale è la somma della potenza del chiller e della potenza laser effettiva. La Figura 1b mostra come, proprio a causa del chiller, il rendimento complessivo del sistema laser alle basse potenze risulti inferiore.

I risultati in termini di FEE sui diversi materiali sono riassunti nel grafico di Figura 2. La media generale è $7.0 \pm 1.3 \text{ mm}^2/\text{kJ}$. I diversi gruppi di materiali non si discostano eccessivamente da questo valore che può essere considerato in media rappresentativo della configurazione di saldatura utilizzata. Un certo grado di correlazione (positiva) con la velocità si evidenzia nel grafico di Figura 3.

Analisi del trasferimento di energia: confronto fra FEE e efficienze di trasferimento energetico e di fusione

Dopo aver scelto, sulla base di un'attenta analisi della forma del cordone, i parametri di saldatura ottimali per le diverse lamiere, sono stati realizzati giunti testa a testa per ogni tipologia di materiale e spessore, su una lunghezza di 400 mm circa cadauno, con $V=17\div 25 \text{ mm/s}$ e $P=3\div 4 \text{ kW}$.

Sulle sezioni metallografiche è stata misurata l'estensione della zona fusa e quest'ultima è stata correlata con i parametri di saldatura, calcolando il fattore di efficienza energetica FEE e i coefficienti η_t (efficienza di trasferimento di energia) e η_m (rapporto di fusione) che caratterizzano l'accoppiamento della radiazione laser con il materiale e le perdite di calore per conduzione, rispettivamente. Tali grandezze sono utili al tecnologo per valutare l'adeguatezza dei parametri e

del set-up della macchina e identificare possibili errori e/o anomalie di processo che influenzano negativamente l'efficienza energetica complessiva.

Per la valutazione dell'efficienza di trasferimento η_t è richiesta la stima dell'energia effettivamente assorbita dal materiale che può basarsi sia su modelli della diffusione del calore che su raccolte di dati sperimentali. Tre metodi sono stati approfonditi: rilievo della temperatura, modello della sorgente lineare ed elaborazione da dati calorimetrici. Il primo misura in tempo reale la temperatura raggiunta a distanza nota dalla saldatura al fine di risalire all'energia assorbita dal pezzo [3]. Il secondo considera lo scambio termico bidimensionale [4,5] che si verifica in lamiere sottili e/o in condizioni di saldatura profonda keyhole (laser, fascio elettronico, keyhole plasma). Infine, l'analisi esposta in [6,7] si basa sulla misura diretta dell'energia depositata nel materiale durante la saldatura laser eseguita su un certo numero di materiali, con vari parametri e condizioni diverse di focalizzazione del fascio. La terza metodologia è stata applicata ad una selezione dei campioni realizzati. Il rapporto di fusione è abbastanza uniforme, prossimo al valore limite del 48% (Figura 4).

L'efficienza di trasferimento mostra invece interessanti differenze: l'alluminio sembra avere assorbito la maggior parte della potenza laser. I campioni in acciaio, invece, sono stati probabilmente saldati con un surplus di potenza. I valori dell'efficienza energetica di trasferimento ottenuti con questo metodo sono stati confrontati con quelli ottenuti con il metodo di analisi della sorgente termica lineare (Figura 5). Tali valutazioni dipendono molto dai valori delle proprietà dei materiali impiegati, che sono più o meno dipendenti dalla temperatura.



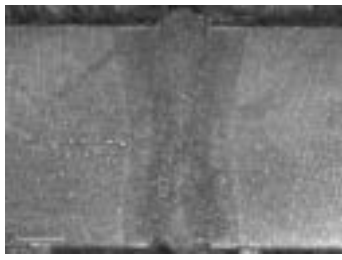
Il controllo radiografico dei giunti testa-testa è stato fatto sui campioni TI2 (materiale AISI316), TS3 (AA6060), TAL7 (AA1050), TA5 (S460 NL), utilizzando un'apparecchiatura Seifert ISOVOLT TITAN 160 M2. Le gradazioni di grigio rappresentano l'assorbimento dei raggi proporzionale alla densità del campione attraversato (Figura 6). Nella lastra saldata è possibile evidenziare difetti interni come porosità e inclusioni. Le porosità sono evidenziate da macchie chiare. I campioni in lega di alluminio mostrano una diffusa e grave presenza di porosità (il fenomeno, noto nella pratica ed ampiamente discusso in letteratura, è tipico della saldatura laser di leghe di alluminio) [8]: nonostante dal punto di vista delle valutazioni termiche ed energetiche del processo ciò non abbia rilevanza, ovviamente, a seconda dell'applicazione, è probabile che il livello di qualità del giunto non sia accettabile, ad esempio nel caso di sollecitazioni di fatica.

Il miglioramento può essere perseguito agendo in varie direzioni:



- controllo dello stato superficiale delle lamiere (decapaggio, pulizia).
- ottimizzazione del flusso di gas di protezione: tipo (Ar, He, azoto, miscele), portata al dritto e al rovescio, direzione.
- modulazione della potenza (sovrapponendo impulsi all'emissione continua).
- orbita del punto focale (wobbling): il sistema permette di far ruotare il fascio focalizzato con diametro e frequenza massima rispettivamente di 2.9 mm e 300 Hz.

L'ottimizzazione dei parametri ha consentito di limitare l'incidenza dei difetti. In Tabella 1 sono mostrate le sezioni metallografiche dei campioni analizzati. I fattori di efficienza energetica globale FEE sono calcolati sulla base dei rilievi di assorbimento elettrico del laser e del chiller [1].

Acciaio S460 NL

<p>A1</p>  <p>P = 3 kW, V = 17 mm/s FEE = 6.1, η_t = 0.47, η_m = 0.44 4.35 mm²</p>	<p>A3</p>  <p>P = 4 kW, V = 25mm/s FEE = 7.6, η_t = 0.45, η_m = 0.47 4.02 mm²</p>	<p>A5 (wob.: Ø 0,38 mm, 200 Hz)</p>  <p>P = 4 kW, V = 25 mm/s FEE = 7.6, η_t = 0.54, η_m = 0.47 4.89 mm²</p>
--	---	--

Alluminio 6060

<p>S1</p>  <p>P = 4 kW, V = 17mm/s FEE = 6.2, η_t = 0.90, η_m = 0.35 25.98 mm²</p>	<p>S3</p>  <p>P = 4 kW, V = 25mm/s FEE = 9.1, η_t = 0.95, η_m = 0,38 20.13 mm²</p>
---	--

Acciaio AISI316

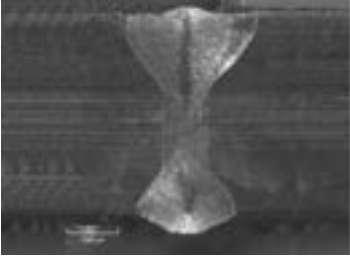


<p>I1</p>  <p>P = 3 kW, V = 17 mm/s FEE = 4.9, η_t = 0.66, η_m = 0.46 6.16 mm²</p>	<p>I2</p>  <p>P = 3 kW, V = 25 mm/s FEE = 7.2, η_t = 0.63, η_m = 0.47 4.06 mm²</p>
<p>I6</p>  <p>P = 3kW, V = 25mm/s FEE = 7.2, η_t = 0.75, η_m = 0.47 4.9 mm²</p>	

Tabella 1: Confronto dei parametri, rendimenti energetici e dimensioni della zona fusa per le diverse tipologie di giunti realizzati.

Dopo le analisi radiografiche, per ricavare le grandezze di interesse in termini di dimensione della zona fusa (ZF) e zona termicamente alterata (ZTA) e per valutare il rispetto dei requisiti di qualità delle norme di riferimento ISO 13919-1 e 2 level C, i campioni sono stati sottoposti ad analisi al microscopio ottico e al microscopio elettronico a scansione (SEM). Sono state fatte prove su tre differenti materiali: leghe di alluminio AA1050, AA6060, acciaio al carbonio manganese S460 NL e acciaio inossidabile AISI 316. Sotto ogni immagine è riportata l'area della sezione trasversale del cordone di saldatura con l'indicazione della dimensione dell'area fusa. L'acciaio inossidabile AISI 316L mostra una ZTA di dimensione estremamente limitata, da mettere in relazione con la minore conducibilità termica rispetto agli altri materiali analizzati. Questo, insieme al migliore accoppiamento laser-materia, dà luogo a una maggior efficienza di processo.

Conclusioni

Il presente articolo riporta i risultati delle attività sperimentali condotte da ENEA e volte all'efficientamento energetico dei processi di saldatura industriale.

La realizzazione di saldature laser su leghe di acciaio ed alluminio e la loro caratterizzazione hanno permesso di definire e valutare, per differenti materiali, un fattore di efficienza energetica che può essere esteso ad altre tecnologie di saldatura e che può rappresentare un utile strumento comparativo per gli utilizzatori industriali nella scelta del processo, al fine di utilizzare tecnologie e parametri di processo in un'ottica di riduzione dei consumi energetici di produzione. In particolare, confrontando i valori del FEE, che vuole essere un parametro ingegneristico di semplice interpretazione e fruibilità rispetto ai rendimenti termodinamici η_t e η_m , noti essenzialmente nel mondo della ricerca, si osserva come, mentre questi ultimi in differenti condizioni subiscono lievi variazioni, il FEE subisce variazioni dal 25 al 50%, fornendo una più diretta ed immediata correlazione riguardo alla maggiore o minore efficienza energetica del processo. Le attività tuttora in corso mirano all'etichettatura dei più diffusi processi e macchinari di saldatura (GMAW, GTAW, SAW, FSW etc..).

Lista Figure

Figura 1: (a) Rilievo dei consumi del chiller nelle condizioni di massimo e minimo assorbimento e (b) rilievo di rendimento elettrico complessivo del sistema laser EWP.

Figura 2: confronto efficienze complessive di rifusioni laser su materiali diversi.

Figura 3: correlazione del FEE con la velocità di saldatura.

Figura 4: grafici relativi all'efficienza di trasferimento energetico e rapporto di fusione per i differenti materiali trattati.

Figura 5: Confronto fra modello calorimetrico e sorgente termica lineare.

Figura 6: Immagini radiografiche del giunto TAL7.

Bibliografia

-
- [1] G. Di Girolamo, G. Barbieri, D. Mirabile Gattia, F. Cognini, M. Moncada, Efficienza energetica dei processi di saldatura industriale, *Tecniche Nuove*, Lamiera, novembre 2017.
[2] G. Barbieri, F. Cognini, G. Lapi, F. Vivio, "Welding of Automotive Aluminum Alloys by Laser Wobbling Processing", *Materials Science Forum*, Vol. 879, pp. 1057-1062, 2017.

-
- [3] R. Niles and C. Jackson, "Weld thermal efficiency of the GTAW process," *Welding Research Supplement*, pp. 25-32, 1975.
- [4] D. T. Swift-Hook and A. E. Gick, "Penetration welding with lasers," *Weld. J.*, pp. 492-499, 1973.
- [5] M. N. Ozisik, *Heat conduction*, John Wiley & Sons, 1993.
- [6] P. W. Fuerschbach, "Application of a dimensionless parameter model for laser beam welding," Sandia National Laboratories, 1994.
- [7] P. W. Fuerschbach, "Measurement and prediction of energy transfer efficiency in laser beam welding," *Weld. J.*, no. 1, pp. 24-34, 1996.
- [8] S. Katayama, *Handbook of laser welding technologies*, Elsevier, 2013.

NiCo alloys as catalyst for magnetically induced dry reforming of methane

F. Varsano¹, M. Bellusci¹, F. Padella¹, A. La Barbera¹, M. Albino², M. Petrecca², D. Peddis,³ C. Sangregorio^{4,2}

1 ENEA - C.R. Casaccia, Via Anguillarese 301, 00123 Roma, Italy

2 INSTM and Dip di Chimica, Università di Firenze, via della Lastruccia 3, 50019, Sesto F.no, Italy

3 ISM-CNR, Roma, Monterotondo Scalo (RM), Italy

4 ICCOM- CNR, via Madonna del Piano 10, 50019 Sesto F.no, Italy,

The possibility of converting electromagnetic energy into heat utilizing magnetic materials has been recently exploited to satisfy the energetic needs of chemical processes [1, 2]. Energy is supplied by a radiofrequency alternating magnetic field in a fast and efficient way to a properly responding catalytic system, generally containing both a magnetic and a catalytic component. In such a way heat is provided directly by the catalytic bed avoiding unnecessary heating (and dissipation) of the whole chemical reactor, laying down the premises for “cold catalysis”.

Here we report the activation of the dry reforming reaction by induction heating by means of a NiCo alloy. The catalyst plays a double role, serving both as a promoter for the reforming reaction and heat generator by dissipation of the electromagnetic energy. The elevated temperatures imposed by the reforming reaction require the choice of an alloy with a Curie temperature $>800^{\circ}\text{C}$ a condition which is fulfilled by NiCo alloy with a 60:40 weight ratio, the catalyst used in this work. NiCo alloy has been synthesized by arc melting starting from metal pellets and catalytic sites for CH_4 and CO_2 activation are created by a mechanochemical treatment that increases solid-state defects. The catalyst powder has been pressed into cylindrical pellets and successively tested in a continuous-flow reactor working under atmospheric pressure. Methane conversion and hydrogen production yields have been measured as a function of the applied magnetic field, reactant flow rate and time on stream. Methane conversion values of 95% have been observed utilizing a 300 mg single pellet operating at 22 mT and 190 kHz, atmospheric pressure, gas hourly space velocity of $2.5 \cdot 10^4 \text{h}^{-1}$.

[1] T. K. Houlding, E. V. Rebrov, Application of alternative energy forms in catalytic reactor engineering, *Green Process Synth* 2012,1, 19-31.

[2] A. Bordet, L-M. Lacroix, P-F. Fazzini, J. Carrey, K. Soullantica, B. Chaudret, Magnetically induced continuous CO_2 hydrogenation using composite iron carbide nanoparticles of exceptionally high heating power, *Angew. Chem. Int. Ed.* 2016, 55, 15894-15898.

HYPOTHESIS XIII - July 24-27, 2018 - Singapore

Reforming reaction powered by induction

F. Varsano¹, M. Bellusci¹, M. Petrecca² and C. Sangregorio³

¹ ENEA-C.R. Casaccia, Via Anguillarese 301, 00123 Rome, Italy

² Dip. di Chimica, Univ. di Firenze, Via della Lastruccia 3, 50019 Sesto Fiorentino (FI), Italy

³ ICCOM – CNR 50019 Sesto Fiorentino (FI), Italy
francesca.varsano@enea.it

Reforming reactions are presently the main route to hydrogen production. Due to thermodynamic constrictions, the productivity of reforming plants is very dependent on how efficiently heat can be transferred to the catalytic bed.

In this work we report our experimental results on the catalytic activation of reforming reactions powered by induction heating. Energy is supplied by a radiofrequency alternating magnetic field in a fast and efficient way to a suitably responding catalytic material (figure 1). Ni based magnetic materials have been utilized as catalyst for reforming reactions and heat generator by dissipation of the electromagnetic energy. In such a way the heat of reaction is provided directly by the catalytic bed itself avoiding dissipation due to inefficient transfer from outside the reactor. Such concept has been recently referred to as "cold catalysis" [1].

Furthermore, thank to an immediate response of the material to the external power the security of chemical plants is increased. An instantaneous start up and switch off of the process make possible the coupling of the chemical reactor to intermittent energy production typical of renewable sources, opening the way to small-size and distributed reformers.

NiCo alloy catalysts are synthesized and successfully utilized to drive reforming processes supplying the required energy by a radio-frequency alternating electromagnetic field. Temperature higher than 850°C has been reached with methane conversion values up to 90%. In figure 2 hydrogen production yield and methane conversion obtained utilizing a Ni₆₀Co₄₀ alloy in a dry reforming experiment, are reported as a function of the applied magnetic field.

Preliminary tests have been performed to evaluate the effect of gas feed and the stability of the developed catalyst. Reported evidences open new opportunities in the research of magnetic materials for industrial chemical processes.



Figure 1: Example of a catalytic bed inside an induction coil. The catalyst material gets out of coil only for demonstration purposes.

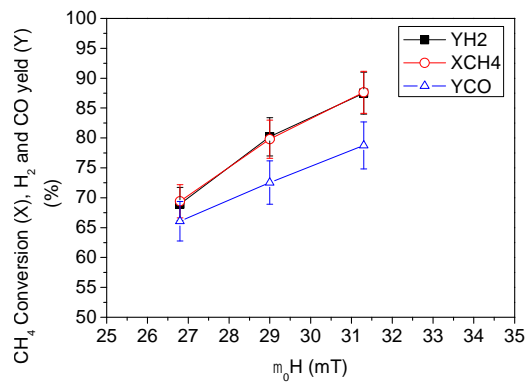


Figure 2: Methane conversion (X_{CH_4}) and hydrogen (Y_{H_2}) and carbon monoxide (Y_{CO}) yields as a function of magnetic field amplitude for dry reforming reaction. ($GHSV=9330h^{-1}$). Estimated temperature higher than $850^\circ C$.

References

- [1] A. Bordet, L-M. Lacroix, P-F. Fazzini, J. Carrey, K. Soulantica, B. Chaudret, Magnetically induced continuous CO_2 hydrogenation using composite iron carbide nanoparticles of exceptionally high heating power, *Angew. Chem. Int. Ed.* 55, 2016, 15894-15898.



Available online at www.sciencedirect.com

ScienceDirect

Energy Procedia 00 (2018) 000–000



www.elsevier.com/locate/procedia

10th International Conference on Applied Energy (ICAE2018), 22-25 August 2018, Hong Kong, China

New efficiency opportunities arising from intelligent real time control tools applications: the case of Compressed Air Systems' energy efficiency in production and use

Francesca Bonfá^a, Miriam Benedetti^b, Stefano Ubertini^c, Vito Introna^d, Annalisa Santolamazza^{d*}

^aEnergy, New Technology and Environment Agency (ENEA), Via Anguillarese 301, 00123 Rome, Italy

^bDepartment of Industrial Engineering, "Tor Vergata" University of Rome, Via del Politecnico, 1, 00133, Rome Italy

^cDEIM - School of Engineering, University of Tuscia, Largo dell'Università s.n.c., 01100 Viterbo

^dDepartment of Enterprise Engineering, "Tor Vergata" University of Rome, Via del Politecnico, 1, 00133, Rome, Italy

*Corresponding author email: annalisa.santolamazza@uniroma2.it

Abstract

Most of the production facilities in Europe make use of compressed air to drive equipment for manufacturing and Compressed Air Systems (CAS) account for about 10% of the total electrical energy consumption of European industries. Therefore, reducing CAS energy consumption is a crucial task to meet the European goals of improving energy efficiency and reducing environmental impact of the industrial sector. This work is part of a wider research activity aimed at developing a strategy to optimize the energy use in CAS. In particular, this paper shows the importance of monitoring energy consumption and control energy use in compressed air generation, to enable energy saving practices, enhance the outcomes of energy management projects, and to guide industries in energy management. We propose a novel procedure in which measured data are compared to a baseline obtained through mathematical modelling (i.e. regression functions) to enable faults detection and energy accounting, through the use of control charts (i.e. variations' control and the Cumulative Sums). The effectiveness of the proposed methodology is demonstrated in a case study, namely the compressed air system of a pharmaceutical manufacturing plant.

Copyright © 2018 Elsevier Ltd. All rights reserved.

Selection and peer-review under responsibility of the scientific committee of the 10th International Conference on Applied Energy (ICAE2018).

Keywords: Energy Efficiency; Compressed Air Systems; energy data analysis; energy measures

1. Introduction

The research activities presented herein belong to a larger research project on energy saving in Compressed Air Systems (CAS) in manufacturing plants aimed at assessing the potential of CASs' energy efficiency in energy intensive

companies in the Italian context and to provide support tools for the implementation of energy saving opportunities. [1-3]. In the first phase of the project, a massive survey has been performed to evaluate CASS' energy consumption in target companies [3]. Starting from the measurement of the actual operative conditions, a series of analyses has been run in order to quantify energy consumption related to compressed air generation in Italian industry. In particular, the survey revealed that only 14 % of companies measure CAS' energy consumption through a real-time monitoring system and only 4% measure the compressed air flow rate [3].

Starting from a large dataset made up of more than 15000 energy audits, detailed analyses have been led on enterprises whose CAS electric energy consumption was bigger than 5% of total electric consumption. The selected sample was composed of about 1700 enterprises belonging to 10 different industrial sectors.

In order to get a large amount of detailed information from enterprises, a questionnaire, about technical and management aspects of CAS, has been submitted. The questionnaire contains 12 questions, grouped by the following 3 main contents: general aspects, measurement systems and working conditions of CAS. Each question has from 3 to 5 possible answers sorted by an increasing level of knowledge and awareness of the importance of performance monitoring. Starting from results analysis, the authors have collected a set of guidelines for the enterprises to help them improving CAS energy efficiency in a personalized manner and starting from effective critical issues (i.e. issues highlighted by questionnaire answers). This survey demonstrated that the actual state of the CAS within the Italian industry shows an average-low qualitative level either for dimensional, operational and managerial functions. Therefore, among the expected objectives of our research project, the assessment of the enterprises' state will allow the identification of the variables to be examined both directly and analytically.

Moreover, the answers highlighted, on the one hand, the high weight of compressed air production on the overall energy consumption in the whole Italian industrial sector, and, on the other hand, the low number of monitoring systems installed to measure the energy consumption of such systems [3]. In fact, while most researches and legislations highlight the importance of having a reliable measure of energy efficiency and energy savings in industrial sites, and suggest the adoption of real-time monitoring systems at least for significant energy uses [4-8], this is clearly still quite far from being implemented in practice. One reason for that is the scarce knowledge of the energy efficiency and non-energy efficiency benefits deriving from measuring energy consumption.

The present study aims at showing the importance of energy monitoring, which provides energy managers with feedback on energy saving practices, outputs of energy management projects, and guidance on reducing energy consumption. The technological improvements in the field of ICT have significantly improved the ability and the easiness of smart metering in real time, which, combined with machine learning and artificial intelligence technologies, would enable companies to manage energy use dynamically [9], in an Industry 4.0 perspective.

In fact, through the analysis of process data and the relationships among variables, it's possible to extract valuable information for different applications, such as process monitoring, fault diagnosis, mode clustering, soft sensing of key variables/quality variables, etc. [10]. Therefore, for energy management purposes, this would give the opportunity for more reliable benchmarking based on measured data that can be compared to a baseline obtained through mathematical modelling (i.e. physical models, regression functions, fuzzy neural networks).

Likewise, from a maintenance point of view, for example, the use of advanced techniques can enable real-time smart control of the performances in production with faults detection [11-14] and the prediction of machine health can result in a reduced downtime, supporting the ERP system to optimize manufacturing management, maintenance scheduling, and guarantee machine safety thanks to prognostics information available [15].

Moreover, advanced energy accounting systems [16] as well as real-time optimization [17] would be enabled.

The research presented in this paper originates from existing methods and approaches [18-19] and derives a general methodological approach that can be applied to any energy use in industry. In fact, most of the different approaches available in literature to monitor and control energy performances in industrial plants share the same main phases: measurement plan and data collection, baseline definition, implementation of control over time through comparison between the baseline and the monitored energy consumption. Moreover, a case study is presented focusing on compressed air systems to demonstrate the effectiveness of this approach and the related energy saving opportunities. Therefore, the present work establishes an intermediate step to define best practices to control (i) significant energy uses in general and (ii) compressed air systems in particular in an Industry 4.0 perspective.

2. Methodology

The methodology described herein defines a series of steps that support the users in the identification of changes to energy consumption patterns or degradation of energy performances often linked to sporadic faults or events. Moreover, it also provides a better understanding of the energy consumption behavior of the overall system.

When implementing an energy performance control, the boundaries and the level of detail of the analysis must be defined at first, identifying the main energy vectors and distinguishing between generation and utilization of energy

carriers. Then a measurement plan and data collection are needed. As energy consumption is often dependent on several variables, the characterization of the energy consumption behavior requires to collect different types of information: consumption data, production data, environmental data, technical (users) and operational data [19].

According to the technical and physical characteristics of the analyzed system, some of these variables might influence the performance of the system and should therefore be included in the measurement plan.

Data collected must be synchronized and show the appropriate level of detail. Moreover, the duration of data collection should be established considering the selected frequency and process dynamics to guarantee a correct representation of the process. The measurement plan has to be tailored to the scope of the analysis and has to clearly distinguish between energy generation systems and energy uses.

The next step is the definition of a system energy baseline, which is a key factor in enabling an effective control of the energy consumption behavior, as it serves as a reference against which the actual energy consumption is compared. There are several ways to define the algorithm to build the energy baseline. Statistical regression models [18, 20-22] are the most used and proposed in this paper. However, physical models, neural networks or even machine learning techniques [14, 23] are employable.

To develop a statistical regression model that characterizes the energy behavior of a system from a set of historical data, it is important to determine the factors influencing changes in the energy consumption (so called “energy drivers”) [16]. Indeed, the energy consumption of a system presents a variability due to both intrinsic and external causes. Preliminary phases in the analysis of collected data include the evaluation of the appropriate frequency for the analysis considering the purpose of the control and the users of the implemented system: for example, it will be lower if the goal is to provide strategic control tools, higher if the recipients are operators that should enact a more recurring control. In this phase, it is also important to acquire operational information related to changes in the system, such as maintenance operations and faults. The first statistical tool to use is the correlation analysis of the previously identified energy drivers and energy consumption. R^2 and “p_values” can be used in order to add quantitative data to correlation plots [20, 24]. After having ascertained the choice of energy drivers, through regression analysis between potential energy drivers and energy consumption, a multiple regression model can be extrapolated and statistically validated, by checking the significance of its coefficients.

Finally, a validation and a first analysis of the historical performance of the analyzed system must be carried out through the observation of two different control charts, widely used in Quality Control [24]: the variations’ control chart and the CuSum (Cumulative Sums chart). The first one illustrates the difference between the actual values of energy consumption and the predicted ones over time. Two lines, representing the control limits, estimated as multiples of the standard deviation of the variations’ statistical distribution (usually ± 2 or ± 3), can be added to enable the recognition of anomalous behaviors (e.g. points outside the control limits, non-random patterns like mixtures and shifts of the average). The CuSum shows the sum of all the residuals between actual values and predicted values accumulated until then and is therefore very useful to highlight trends in energy performance deviation. A change in the slope of the CuSum represents a variation of the system’s behavior: an upward trend represents a decrease in energy performance, while a downward trend signals an increase in energy performance (energy savings). Examining together these two control charts enables the immediate identification of anomalies and trends in consumption behaviors, thus allowing the definition of appropriate corrective and/or preventive actions.

The validation of the baseline model, which allows to verify the suitability of the chosen time period and the effectiveness of the energy drivers i can be performed in the following three ways [16]:

- considering the most recent available set of data (it is the best option when changes to technical, technological or structural configurations of the analyzed center have occurred);
- considering the data set that shows the best energy performance (more challenging in terms of energy objectives and usually considered in terms of continuous improvement);
- considering the data set that shows the most constant and stable energy behavior (generally considered when none of the two options previously mentioned is applicable).

After the model validation, it is possible to use the baseline model to implement a continuous control over time. Real-time data for both energy consumption and energy drivers can be acquired by metering systems the difference between the actual energy consumption and the value predicted from the baseline model can be evaluated at the frequency previously defined and represented on the control charts to highlight the presence of possible anomalies. Moreover, the setting of control limits and other alarm conditions can automatize the generation of alerts, enabling a real-time control by the operators and maintenance personnel.

3. Case study

The methodology described has been applied to the compressed air system of a pharmaceutical production plant located in central Italy. In the present study, the company decided to focus on the compressed air production phase in

order to identify additional improvement opportunities and to verify its correct operation and energy behavior. The plant is equipped with five screw compressors divided into two groups: a group of two located in room “A” and a group of three located in room “B”. The compressed air demand is lower than the total production of the five compressors, so that usually only two or three compressors are working contemporaneously. Only compressor 9, located in room “B” has a variable speed drive installed, and it serves as “master” (continuously functioning), while the others serve as “slaves”. The compressors are controlled and turned on and off by a central control system, according to compressed air demand. Some general information on the compressors (nominal and stand-by nominal power) is reported in the figure 1, together with energy and compressed air production data available at 15 minutes frequency. In addition, data related to compressed air pressure and temperature and to external air humidity are available every 15 mins, while the number of hours worked by each compressor are available weekly (cumulated).

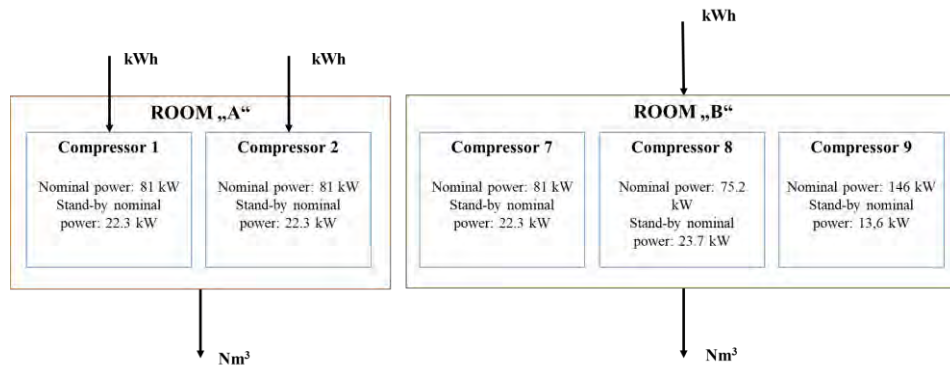


Figure 1 - Scheme of compressors’ groups and main data available.

Basing on the physics of the process, all these parameters are considered potential energy drivers, thus the first regression analysis is conducted taking all of them into account, apart from the amount of hours worked, as it is available at a lower frequency. In fact, for this first analysis, aimed at defining the energy drivers as well as the energy behavior of the system, a daily frequency is considered to be the most appropriate, and an observation period of one year is adopted. This is mainly due to the fact that when weather-related parameters are envisaged as energy drivers, it is advisable to try and observe the energy consumption in different seasons, thus observing the complete range of possible working conditions. This is done through a daily frequency, which does not require to handle a massive amount of data. In addition, the analysis is initially conducted on all compressors (considering the total energy consumption and the total compressed air production) in order to get an overall understanding. As a result, the only parameter showing a satisfying correlation with the energy consumption of the compressors and no multicollinearity with other parameters, is the amount of compressed air produced, as reported in table 1 (multicollinearity analysis’ results are not reported here for sake of brevity).

Table 1. Results of regression analysis.

Regression analysis results considering all parameters		Regression analysis results considering only compressed air production	
R ²	0.96	R ²	0.94
P_value	9.45 x 10 ⁻¹⁵⁷	P_value	1.69 x 10 ⁻¹²⁵
P_value intercept	0.76	P_value intercept	0.34
P_value compressed air production	8.32 x 10 ⁻¹¹⁹		
P_value external temperature	2.06 x 10 ⁻¹⁷		
P_value external humidity	0.01		
P_value pressure	0.84		

The baseline is represented by the following relationship:

$$\text{Energy consumption [kWh]} = 0.1575 \times \text{Compressed air produced [Nm}^3\text{]} - 80.02 \quad (1)$$

The CuSum chart and the variations chart for seven of the twelve months initially considered are given in figure 2, where four energy behaviors for the whole group of compressors are also highlighted using different colors.

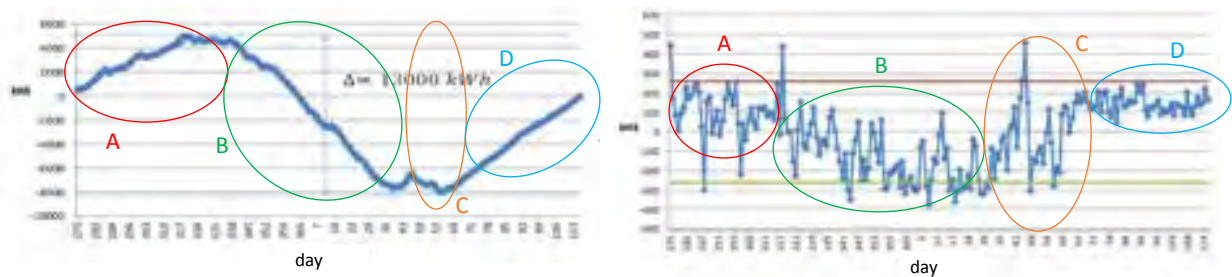


Figure 2 - CuSum and variations charts over a seven months period (daily data).

The causes of these different behaviors are further investigated (mainly through the observation of daily consumption data over time and interviews to operators) and finally identified to be the following:

- Red period (“A”): compressor 2 presented a higher specific consumption, and the problem was solved around day 325 thanks to a maintenance intervention;
- Green period (“B”): following a change to the activation sequence, compressor 7 was mainly working together with compressor 9, while the others were rarely on;
- Orange period (“C”): an evident malfunctioning related to the fact that compressor 1 was stuck in stand-by for three whole consecutive days;
- Blue period (“D”): following a change to the activation sequence, compressor 8 was mainly working together with compressor 9, while the others were rarely on.

From these analyses it is therefore possible to highlight two different maintenance-related events as well as a quite strong dependency of the energy behavior on the set of compressors working and therefore on compressors’ activation sequence (also confirmed by further analyses on the amount of hours worked by each compressor). An optimal activation sequence was therefore identified and uploaded into the central control system. Control charts were used for a continuous monitoring and control and provided to the maintenance team. These actions produced an energy saving that was estimated to be around 10% of the annual energy consumption of air compressors (achieving a lower specific consumption and also preventing higher consumptions due to maintenance issues).

4. Conclusion and future developments

We have developed a methodology to reduce energy consumption of significant energy uses in industrial plants, through monitoring and control. The methodology has been applied to CAS. A baseline of the energy consumption behavior is built through statistical regressions that correlate energy consumption to the main energy drivers. Then control charts are used to identify changes to energy consumption patterns or degradation of energy performances related to sporadic faults or events. The application of the proposed methodology to the CAS of a pharmaceutical production plant allowed to highlight maintenance-related events and to define an optimal activation sequence of the different compressors, thus generating an energy saving of around 10%. This work also demonstrates that the measurement of actual operative conditions are crucial to characterize the energy consumption related to compressed air generation. In our research activity related to energy consumption in CAS, comprising the data analysis, we submitted a questionnaire to Italian industries considering the general aspects, the measurement systems and the operating conditions. Such a survey demonstrated that only few companies perform measurements on CAS, and a high level of awareness on measurements is observed mainly in the pharmaceutical and the chemical sectors.

Acknowledgements: This work is part of the Electrical System Research, implemented under Programme Agreements between the Italian Ministry for Economic Development and ENEA, CNR, and RSE S.p.A.

References

- [1] Benedetti M, Bertini, I, Bonfá F, Ferrari S, Introna V, Santino D, Ubertini S, Assessing and improving compressed air systems’ energy efficiency in production and use: findings from an explorative study in large and energy-intensive industrial firms. *En Proc* 2017;105:3112-3117.
- [2] Benedetti M, Bonfá F, Bertini I, Introna V, Ubertini S. Explorative study on compressed air systems’ energy efficiency in production and use: first steps towards the creation of a benchmarking system for large and energy-intensive industrial firms. *Appl Energy* 2017; article in press.
- [3] Salvatori S, Benedetti M, Bonfá F, Introna V, Ubertini S. Inter-sectorial benchmarking of compressed air generation energy performance: methodology based on real data gathering in large and energy-intensive industrial firms. *Appl Energy* 2018;217:266-280.
- [4] Directive 2012/27/EU of the European Parliament and of the Council of 25 October 2012 on energy efficiency; 2012. OJ L315/1.
- [5] ISO International Standard Organization. *ISO 50001 Energy Management Systems - Requirements with Guidance for Use*; 2011.
- [6] Efficiency Valuation Organization. *IPMVP Volume 1 – Concepts and Options for Determining Energy and Water Savings*; 2012.
- [7] Tan YS, Ng YT, Low JSC. Internet-Of-Things Enabled Real-Time Monitoring of Energy Efficiency on Manufacturing Shop Floors. *Procedia CIRP* 2017;61: 376-381.

- [8] Hu S, Liu F, He Y, Hu T. An on-line approach for energy efficiency monitoring of machine tools. *J Clean Prod* 2012;27:133-140.
- [9] Ge Z. Review on data-driven modeling and monitoring for plant-wide industrial processes. *Chemometr Intell Lab Syst* 2017;171:16-25.
- [10] Ge Z, Song Z, Ding SX, Huang B. Data Mining and Analytics in the Process Industry: The Role of Machine Learning. *IEEE Access* 2017;5: 20590-20616.
- [11] Tran DAT, Chen Y, Chau MQ, Ning B. A robust online fault detection and diagnosis strategy of centrifugal chiller systems for building energy efficiency. *Energy and Buildings* 2015;108:441-53.
- [12] Xiao F, Zheng C, Wang S. A fault detection and diagnosis strategy with enhanced sensitivity for centrifugal chillers. *Appl Therm Eng* 2011; 31: 3963-70.
- [13] Qi G, Zhu Z, Erqinhu K, Chen Y, Chai Y, Sun, J. Fault-Diagnosis for reciprocating compressors using big data and machine learning. *Simul Model Pract Theory* 2018;80:104-27.
- [14] Magoulès F, Zhao HX. *Data Mining and Machine Learning in Building Energy Analysis: Towards High Performance Computing*. John Wiley & Sons; 2016.
- [15] Lee J, Kao H-A, Yang S. Service Innovation and Smart Analytics for Industry 4.0 and Big Data Environment. *Procedia CIRP* 2014;16:3-8.
- [16] Benedetti M, Cesarotti V, Introna V. From energy targets setting to energy-aware operations control and back: an advanced methodology for energy efficient manufacturing. *J Cle Prod* 2018;167:1518-1533.
- [17] Xenos, DP et al.. Optimization of a network of compressors in parallel: Real Time Optimization (RTO) of compressors in chemical plants – An industrial case study. *Appl Energy* 2015; 144: 51-63.
- [18] Cesarotti V, Deli Orazi S, Introna V. Improve Energy Efficiency in Manufacturing Plants through Consumption Forecasting and Real Time Control: Case Study from Pharmaceutical Sector. *Proceedings of International Conference on Advances in Production Management Systems (APMS 2010)* (2010), ISBN 9788864930077, 11-13 October 2010, Cernobbio, Como, Italy.
- [19] Capobianchi S, Andreassi L, Introna V, Martini F, Ubertini S. Methodology Development for a Comprehensive and Cost-Effective Energy Management in Industrial Plants. In *Energy Management Systems*. InTech; 2011.
- [20] Morvay ZK, Gvozdenac DD. *Applied Industrial Energy and Environmental Management*. John Wiley & Sons; 2008.
- [21] Nikula R, Ruusunen, M, Leiviskä K. Data-driven framework for boiler performance monitoring. *Appl Energy* 2016;183:1374-1388.
- [22] Song B, Ao Y, Xiang L, Lionel K. Data-driven Approach for Discovery of Energy Saving Potentials in Manufacturing Factory. *Procedia CIRP* 2018;69:330-335.
- [23] Benedetti M, Cesarotti V, Introna V, Serranti S. Energy consumption control automation using artificial neural networks and adaptive algorithms: proposal of a new methodology and case study. *Appl Energy* 2016;165:60-71.
- [24] Montgomery DC. *Introduction to statistical quality control*. John Wiley & Sons; 2007.

3 DIFFUSIONE DELL' INFORMAZIONE SULL'ETICHETTATURA ENERGETICA E L'ECODESIGN E SULLA SORVEGLIANZA DEL MERCATO

Di seguito si riporta l'elenco degli eventi di diffusione ed informazione: convegni, seminari, lezioni, articoli, ecc. rivolti al pubblico che ENEA ha realizzato o a cui ha partecipato per la disseminazione presso il grande pubblico e gli operatori economici del mercato per la diffusione delle informazioni sull'etichettatura energetica, l'ecodesign e la sorveglianza del mercato.

- a. "Workshop formativo sull'Etichettatura Energetica e i requisiti di Ecodesign degli Apparecchi Domestici a Biomassa", Lainate (Mi), 26 ottobre 2017
- b. "Master in Energy Management- MIP in collaborazione con BIP", Ispra 16 febbraio 2018
- c. "MCE-BIE, 13-16 marzo Milano SPAZIO WORKSHOP", Rho (MI), 15 marzo 2018
- d. "Visita al Laboratorio di Ricerca ENEA", Ispra, 15 maggio 2018
- e. "Convegno mcTER Forest 2018", S. Donato Milanese (MI), 28 giugno 2018
- f. "L'etichetta energetica - Le novità normative e i risultati dell'indagine di mercato nei punti vendita", Milano, 15 ottobre 2018.





Workshop formativo: sull'Etichettatura Energetica e i requisiti di Ecodesign degli Apparecchi Domestici a Biomassa

dr.ssa Milena Presutto – ENEA UTEE
Unità Tecnica Efficienza Energetica

La valutazione e la verifica della conformità dei prodotti: documentazione di prodotto, documentazione tecnica e prove di laboratorio.



Lainate, 26 ottobre 2017



16 febbraio 2018, Ispra (VA)

ENEA **MP**

Programma di Unità di Lavoro di Ricerca ENEC / IIR di base 2018
 Master in Energy Management (MEM) in collaborazione con il MIUR

27 febbraio 2018

Codice	Titolo attività	Importo
01-01	Attività di ricerca e sviluppo (R&D)	
01-02	Attività di formazione	
01-03	Attività di divulgazione e comunicazione	
01-04	Attività di ricerca e sviluppo (R&D) - Continuo	
01-05	Attività di ricerca e sviluppo (R&D) - Continuo	
01-06	Attività di ricerca e sviluppo (R&D) - Continuo	
01-07	Attività di ricerca e sviluppo (R&D) - Continuo	
01-08	Attività di ricerca e sviluppo (R&D) - Continuo	
01-09	Attività di ricerca e sviluppo (R&D) - Continuo	
01-10	Attività di ricerca e sviluppo (R&D) - Continuo	
01-11	Attività di ricerca e sviluppo (R&D) - Continuo	
01-12	Attività di ricerca e sviluppo (R&D) - Continuo	
01-13	Attività di ricerca e sviluppo (R&D) - Continuo	
01-14	Attività di ricerca e sviluppo (R&D) - Continuo	
01-15	Attività di ricerca e sviluppo (R&D) - Continuo	
01-16	Attività di ricerca e sviluppo (R&D) - Continuo	
01-17	Attività di ricerca e sviluppo (R&D) - Continuo	
01-18	Attività di ricerca e sviluppo (R&D) - Continuo	
01-19	Attività di ricerca e sviluppo (R&D) - Continuo	
01-20	Attività di ricerca e sviluppo (R&D) - Continuo	
01-21	Attività di ricerca e sviluppo (R&D) - Continuo	
01-22	Attività di ricerca e sviluppo (R&D) - Continuo	
01-23	Attività di ricerca e sviluppo (R&D) - Continuo	
01-24	Attività di ricerca e sviluppo (R&D) - Continuo	
01-25	Attività di ricerca e sviluppo (R&D) - Continuo	
01-26	Attività di ricerca e sviluppo (R&D) - Continuo	
01-27	Attività di ricerca e sviluppo (R&D) - Continuo	
01-28	Attività di ricerca e sviluppo (R&D) - Continuo	
01-29	Attività di ricerca e sviluppo (R&D) - Continuo	
01-30	Attività di ricerca e sviluppo (R&D) - Continuo	

Agente Qualifica

ENEA **Master in Energy Management**

Ispra, 16 febbraio 2018

**Efficienza energetica:
ecoprogettazione ed etichettatura**

dr.ssa Milena Presutto
 Dipartimento Unità per l'Efficienza Energetica

ITALIA IN CLASSE **MP**

15 marzo 2018, Rho (MI)



15 maggio 2018, Ispra

Programma di (Visite al) Laboratorio di Ricerca ENEA / CCR di Ispra (18)

Orario	TITOLO presentazione	Luogo
09:00	Regolamento presentazioni / Registrazione	
09:30 - 10:00	Introduzione al lavoro del CCR di Ispra	
10:00 - 10:30	Efficienza energetica: la progettazione e l'installazione energetica - dr. ssa Presutto	
10:30 - 11:00	La certificazione energetica degli edifici - dr. ssa Presutto	aula magna CCR di Ispra
11:00 - 11:30	La certificazione energetica degli edifici - dr. ssa Presutto	
11:30 - 12:00	Principi di base della certificazione energetica degli edifici - dr. ssa Presutto	
12:00 - 12:30	Principi di base della certificazione energetica degli edifici - dr. ssa Presutto	
12:30 - 13:00	Principi di base della certificazione energetica degli edifici - dr. ssa Presutto	
13:00 - 13:30	Principi di base della certificazione energetica degli edifici - dr. ssa Presutto	
13:30 - 14:00	Principi di base della certificazione energetica degli edifici - dr. ssa Presutto	
14:00 - 14:30	Principi di base della certificazione energetica degli edifici - dr. ssa Presutto	
14:30 - 15:00	Principi di base della certificazione energetica degli edifici - dr. ssa Presutto	
15:00 - 15:30	Principi di base della certificazione energetica degli edifici - dr. ssa Presutto	
15:30 - 16:00	Principi di base della certificazione energetica degli edifici - dr. ssa Presutto	
16:00 - 16:30	Principi di base della certificazione energetica degli edifici - dr. ssa Presutto	
16:30 - 17:00	Principi di base della certificazione energetica degli edifici - dr. ssa Presutto	

Ispra, 15 maggio 2018

Firma: Presutto

Per maggiori informazioni visitate il sito www.enea.it



28 giugno 2018, S. Donato Milanese (MI)



mcTER Forest
La filiera Legno-Energia: scenari, prospettive e nuove soluzioni
28 giugno 2018 - Crown Plaza Hotel - San Donato Milanese

La costruzione delle filiere legno-energia è da sempre una ricerca ad alta intensità per il nostro Paese nella sfida a ridurre l'attuale livello di emissioni ambientali, promuovere le fonti rinnovabili e creare nuove opportunità alla sostenibilità.

L'obiettivo europeo della Direttiva 28 sulle fonti rinnovabili e il recente stato degli impianti di legno e filiera legno-energia costituiscono punti di riferimento di rilievo del settore. A questo si affiancano l'esperienza e competenza del personale tecnico e manager, uno scenario complessivo del mercato del legno in evoluzione.

Programma

- 09:30 **Saluti di benvenuto e apertura dei lavori**
Antonio Parivoli - CTE Comitato Tecnico-Scientifico Settore; Giuseppe Tassinari - Gruppo Promotivo della Regione
- 09:45 **Parlare di biomassa legnosa oggi ha ancora senso?**
Antonio Parivoli - CTE Comitato Tecnico-Scientifico Settore
- 10:00 **Il nuovo testo unico sulla foresta: considerazioni e possibili ripercussioni sulla filiera legno-energia**
Piero Tredici - Federazione Federazioni Italiane della Confindustria Forestale
- 10:20 **Innovazione nella misura rapida delle proprietà critiche di pellet e cippato: sistemi di spettroscopia nel vicino infrarosso**
Giuseppe Tassinari - Gruppo Promotivo della Regione (Gruppo della Regione)
- 10:40 **Produzione di pellet, cippato e microgasificazione per l'integrazione verticale nelle aziende agricole: numeri veri da casi reali**
Raffaella Spreafico - CIME Ivrea
- 11:00 **Collaborazioni efficaci degli attori**
- 11:30 **Etichettatura energetica e Progettazione ecocompatibile dei generatori a biomassa: queste sconosciute**
Milena Presutto - ENEA
- 11:50 **Il consumo di biomassa legnosa in Italia: qualche riflessione sui numeri per guardare il futuro**
Luigi Boni - AEE
- 12:10 **Evoluzione della normativa tecnica a supporto dell'innovazione tecnologica degli impianti a biomassa**
Giuseppe Corbelli - AEE



La filiera Legno-Energia: scenari, prospettive e nuove soluzioni

Etichettatura energetica e Progettazione ecocompatibile dei generatori a biomassa: queste sconosciute

dr.ssa Milena Presutto - ENEA

S. Donato Milanese, 28 giugno 2018



15 ottobre 2018, Milano

The poster features logos for the Ministry of Economic Affairs, the Ministry of Energy, and ENEA at the top. The title 'L'etichetta energetica' is prominently displayed, followed by the subtitle 'Le novità normative e i risultati dell'indagine di mercato nei punti vendita'. The event is scheduled for Monday, October 15, 2018, at 9:30 AM, at the Union of Lombard Chambers of Commerce, Via Ortofunari 12, Milan. A red circular button on the right says 'Iscriviti online!'. The main text describes the seminar's focus on the energy labeling market in Italy and the role of the Ministry of Energy. A detailed agenda follows:

- 9:30 Registrazione dei partecipanti
- 9:45 Introduzione ai lavori
- 10:00 L'indagine del mercato, come e dove - *CFR Ecol and Technology Italia*
- 10:30 I risultati dell'indagine - *Milena Presutto - ENEA*
- 11:00 Gli obblighi e le prospettive degli attori del mercato nel Regolamento UE 2017/1369 - *Marco Imparato - IPPISA Italia*
- 11:30 La sorveglianza del mercato - *Finire la propria vita nella spazzatura è una scelta - Anna Bianca - Marta Della Di Noia - Unione Camere di Commercio Milane-Massa Brianza Ltd*

At the bottom, it provides contact information for the ENEA Information Center: info@info.enea.it | 02 8516 4777.

The cover features the ENEA logo and the title 'L'ETICHETTA ENERGETICA - le novità normative e i risultati dell'indagine di mercato nei punti vendita'. Below this, it states 'Indagine realizzata nell'ambito dell'Accordo di Programma ENEA-MSE Ricerca di Sistema Elettrico'. The main title 'I risultati dell'indagine' is in large orange letters, followed by 'a cura di Milena Presutto'. At the bottom, it indicates the date and location: 'Milano, 15 ottobre 2018'.