

Studio esplorativo dei sistemi di produzione e utilizzazione dell'aria compressa per la creazione di un sistema di benchmarking per le imprese industriali energivore

L'Unione Europea intende ridurre del 20% il consumo di energia primaria entro il 2020. Uno studio sull'efficienza energetica nel settore dell'aria compressa, visti gli alti costi di produzione, mostra la priorità di sviluppare i sistemi di misura per l'efficientamento del comparto

DOI 10.12910/EAI2017-023

di **Francesca Bonfà**, **Ilaria Bertini**, *ENEA*, **Miriam Benedetti**, *University of Cambridge*
Vito Introna, *Università di Roma Tor Vergata*, **Stefano Ubertini**, *Università della Tuscia*

La Commissione Europea con la direttiva 2012/27/UE ha definito e imposto un quadro comune di misure per la promozione e il sostegno dell'efficienza energetica, per garantire la riduzione del 20% del consumo di energia primaria entro il 2020. In Italia, la direttiva europea è stata recepita con il D.Lgs. 102/2014, in

base al quale è stato imposto alle aziende energivore l'obbligo di effettuare degli audit energetici almeno ogni quattro anni, a partire dalla data di scadenza del 5 dicembre 2015. In tale ambito è stata effettuata una valutazione dell'efficienza energetica per i sistemi destinati alla produzione e utilizzazione dell'aria compressa CASs (Compressed Air

Systems). L'obiettivo che s'intende ottenere, mediante l'efficientamento energetico, è quello di conseguire il risparmio energetico desiderato senza ridurre i fabbisogni di energia del consumatore finale. In tale ottica, la misura, il monitoraggio, il controllo nel tempo e il *benchmarking* delle performance energetiche degli impianti di produzione e dei loro sot-

tosistemi, rappresentano il primo passo per l'identificazione rapida, sistematica ed efficace delle opportunità di efficientamento energetico.

Situazione attuale

Tra i settori di produzione dell'energia, i CASs possono assumere un ruolo strategico, nelle azioni di efficientamento energetico, mediante cui ridurre il consumo energetico nazionale. In accordo con contesti specialistici, si stima che l'energia consumata per produrre aria compressa in Europa risulta essere circa il 10% del totale di energia consumata nella produzione industriale. In tale ambito, il CAS può essere considerato molto dispendioso, di fatto, per esso il costo dell'energia rappresenta fino al 73% del costo del ciclo di vita dell'impianto.

In base all'analisi effettuata degli audit energetici sui CASs, si evidenzia la complessità riscontrata nella predisposizione di un set di indicatori di *performance energetica* sia a causa della carenza quantitativa e qualitativa dei dati effettivamente utilizzabili e sia perché, specie in letteratura, i dati sono riferiti alle condizioni nominali di funzionamento. A tal fine, per affrontare dette criticità, si ritiene importante realizzare uno strumento di *benchmarking*. Nel presente lavoro è stato progettato e testato uno strumento detto modello di maturità CASEEMM (*Compressed Air Systems Energy Efficiency Maturity Model*). Il modello di maturità è utile nella scelta delle aree e/o azioni d'intervento da promuovere e sostenere per l'incremento dell'efficienza energetica dell'impianto. I benchmark costituiscono un utile supporto decisionale se sono definiti in base ai dati misurati e per un largo campione di dati, in modo da considerare le con-

dizioni reali di funzionamento e non quelle nominali, difficilmente ottenibili nella conduzione e gestione ordinaria degli impianti. Pertanto, si ritiene importante effettuare sia il monitoraggio continuo dei consumi e sia adottare le *migliori pratiche* per aumentare l'efficienza energetica attraverso azioni che consentono ai CASs di avere il più basso consumo energetico possibile.

Nel documento "Reference document on Best Available Techniques for Energy Efficiency – 2009", elaborato dalla Commissione Europea, è contenuta una descrizione dei principali sistemi tecnici, unitamente ad un elenco delle principali opportunità di risparmio energetico per ciascuno di essi, derivante da un'analisi comparativa dell'efficienza energetica dei sistemi che consumano energia. Il valore di riferimento considerato per il consumo specifico di energia per un'installazione correttamente progettata e operante in condizioni nominali, alla pressione di 7 bar, è compreso nel range di [85÷130] [Wh/NM³]. In questo caso, si tiene conto del funzionamento di tutto il sistema e non solo della fase di compressione dell'aria.

Obiettivo e metodologia proposta

La metodologia proposta e sviluppata per il *benchmarking* dell'efficienza energetica dei CASs si articola nelle seguenti macro-fasi:

- scelta e definizione degli *indici di performance energetica* da utilizzare. In questa fase sono stati selezionati e calcolati gli indici che verranno utilizzati per stabilire il livello di efficienza energetica delle fasi di generazione, trasporto e utilizzo dell'aria compressa;

- progettazione di uno strumento di *benchmarking* per facilitare il confronto tra aziende e siti differenti, per consentire alle aziende di tracciare l'andamento delle proprie performance nel tempo e trasferire le conoscenze alle aziende dello stesso settore.

Per la definizione del set di *indici di performance energetica* da utilizzare per il *benchmarking* dei CAS, si illustrano gli indicatori individuati e i corrispondenti obiettivi attesi:

- indice kWh_e AC rappresentano i kWh elettrici consumati in un anno dallo stabilimento per la produzione di aria compressa. L'obiettivo di questo indice è di fornire una misura dell'entità assoluta del consumo elettrico relativo al CAS all'interno di ciascun sito produttivo industriale. Questa misura può essere utilizzata per stimare il potenziale impatto dell'implementazione di specifiche misure di efficientamento sul sistema in termini assoluti;
- indice kWh_e AC/kWh_e TOT rappresenta il rapporto tra i kWh elettrici consumati in un anno dallo stabilimento per la produzione di aria compressa e kWh elettrici consumati in un anno dallo stabilimento. L'obiettivo di questo indice è di fornire una misura relativa del consumo elettrico relativo al CAS all'interno di ciascun sito produttivo industriale. Questa misura può essere utilizzata per analizzare l'incidenza dell'aria compressa sui consumi del singolo stabilimento e per stimare il potenziale impatto dell'implementazione di specifiche misure di efficientamento sul sistema in termini relativi;
- indice kWh_e AC/t rappresenta il rapporto tra i kWh elettrici con-

sumati in un anno dallo stabilimento per la produzione di aria compressa e le tonnellate di prodotto consumati in un anno dallo stabilimento. L'obiettivo di questo indice è di fornire una misura dell'efficienza dell'intero CAS (non distingue le fasi di generazione, trasporto, utilizzo). La semplicità di formulazione lo rende molto adatto all'impiego come indice di *benchmarking* delle performance energetiche, anche se bisogna tenere conto di alcune evidenti approssimazioni, come ad esempio il fatto che non considera il mix di prodotti realizzato né distingue tra la componente fissa (non variabile con la produzione) e la componente variabile dei consumi;

- indice kWh_e AC/m³ rappresenta il rapporto tra i kWh elettrici consumati in un anno dallo stabilimento per la produzione di aria compressa e i metri cubi di aria compressa prodotti in un anno dallo stabilimento. L'obiettivo di questo indice è di fornire una misura dell'efficienza della fase di generazione dell'aria compressa.

La scelta di misurare la produzione in peso, per singola tonnellata di prodotto, e quindi di fornire un indice relativo al consumo di energia elettrica per la generazione di aria compressa nasce dal fatto che la maggioranza delle aziende, che hanno effettuato la diagnosi energetica, forniscono la misura in unità di peso della propria produzione. Si osserva, inoltre, che la misura in peso consente di ottenere una maggiore omogeneità del valore dell'indice all'interno dei settori industriali rispetto alla misura in pezzi, che renderebbe il valore dell'indice troppo dipendente dalla forma e dalla tipologia di prodotto. In pratica, questo tipo di

misura consente di analizzare e misurare, facilmente, anche realtà industriali multi-prodotto, per le quali il consumo specifico relativo al singolo pezzo può variare notevolmente con la tipologia di produzione.

Progettazione di uno strumento di benchmarking e valutazione delle performance

Una volta strutturato il set di indicatori e definite le modalità di analisi dei dati, per l'ottenimento dei valori di *benchmark* è stata progettata un'applicazione in grado di elaborare in maniera semplice e, graficamente più immediata, le informazioni estrapolate grazie alle analisi precedentemente descritte che consenta, quindi, alle aziende di comprendere in maniera rapida e intuitiva quale sia il proprio livello di efficienza rispetto alle altre aziende dello stesso settore, nonché potenzialmente di tracciare nel tempo la propria evoluzione.

L'applicazione sviluppata è la Matrice di *Assessment*, ovvero un grafico a dispersione con in ascissa i valori di *Efficiency Ratio* (definito nel seguito) associato a ogni sito produttivo, e in ordinata i consumi teorici annuali (espressi in kWh, anch'essi definiti nel seguito) dei singoli siti produttivi.

Il consumo teorico ("kWh_e ACt") è definito come il consumo annuale di energia elettrica per la produzione di aria compressa che ciascun sito dovrebbe registrare, data la quantità (in tonnellate) di prodotto finito realizzato e l'efficienza media di generazione, trasporto e utilizzo dell'aria compressa nel settore di riferimento. Tale valore è calcolato secondo un modello previsionale dei consumi ottenuto da regressione statistica lineare sui gruppi di dati del settore

considerato (ancora una volta, l'analisi è stata eseguita distinguendo dati misurati e dati totali). L'indice *Efficiency Ratio* (ER) è invece definito come il rapporto tra il consumo reale del singolo sito produttivo (i) e il consumo teorico. Questa matrice permette di individuare in maniera immediata i siti, settore per settore, sui quali è necessario intervenire per ridurre i consumi elettrici nazionali per la produzione di aria compressa, analizzando i valori di efficienza e consumo teorico rispetto alla media del gruppo di dati. Infatti, secondo la posizione dei valori del sito nella matrice si evidenziando diverse priorità di intervento, come rappresentato in Tabella 1.

- in alto a destra si ha la zona dei *siti inefficienti*. Qui si collocano i siti per cui è elevato il consumo teorico ed è scarsa l'efficienza, ossia ER elevato. Questi siti sono da considerarsi prioritari in quanto sono ampi i margini di miglioramento (R elevato) ed è alto il risparmio conseguibile, essendo elevato il valore del consumo teorico;
- in basso a destra si colloca la zona dei *siti poco efficienti*. Per questi siti il consumo teorico è inferiore rispetto ai precedenti, ma ER ha valori elevati. Per questo motivo i margini di miglioramento possono comunque essere consistenti;
- in alto a sinistra si ha la zona dei *siti potenzialmente critici*. I siti presenti in questa zona non permettono in genere di ottenere miglioramenti significativi, in quanto l'indice di efficienza è migliore rispetto alla media del settore. Vanno tuttavia monitorati in quanto, essendo alto il consumo teorico, causerebbero perdite consistenti di efficienza in presenza di anomalie e variazioni di rendimento;

- in basso a sinistra troviamo la zona dei *siti efficienti*. Su questi siti non è normalmente conveniente intervenire. Il loro comportamento è, infatti, virtuoso da un punto di vista energetico, essendo basso il valore di ER, e i loro consumi sono inferiori alla media.

Da questa matrice si possono inoltre ottenere ulteriori informazioni: ad esempio muovendosi lungo le ascisse a ordinata costante, infatti, è possibile individuare siti che potenzialmente dovrebbero avere gli stessi consumi, ma hanno efficienza differente. Si identificano così, i siti che hanno un consumo elevato a parità di condizioni di lavoro. Invece, muovendosi lungo le ordinate ad ascissa costante è possibile trovare siti che, pur essendo differenti per consumo, hanno lo stesso livello di efficienza energetica. La matrice così costruita può dunque essere utilizzata dalla singola azienda per valutare l'efficienza del proprio CAS rispetto a quello delle altre aziende dello stesso

Siti potenzialmente critici	Siti molto inefficienti
Siti efficienti	Siti poco efficienti

Tab. 1 Struttura della Matrice di Assessment

settore (posizionando il proprio sito sulla matrice), ed eventualmente monitorare eventuali variazioni nel tempo; può tuttavia anche essere un utile strumento per individuare le aziende più virtuose di ciascun settore e abilitare il trasferimento di pratiche e conoscenze relative all'efficienza energetica da tali aziende verso quelle meno virtuose (cercando di spostare i siti presenti nel quadrante in alto a destra della matrice verso sinistra).

Conclusioni

Dall'analisi dei dati emerge, prima di tutto, la bassa percentuale di sistemi di misura dell'aria compressa prodotta, nonostante l'alto costo dell'energia relativa alla produzione della stessa. In base all'indagine, risulta che i CAS portano ad un consumo

di energia significativo in molte industrie, che mostra il kWh_e CAS/kWh_e TOT compreso negli intervalli variabili dal 4% al 12%, con un valore medio tra i diversi settori di 7%. Il kWh_e CAS è un indicatore efficace, pur essendo ancora oggi scarsa l'attenzione alla gestione energetica negli impianti industriali italiani.

Concludendo, lo sviluppo di sistemi di misura di energia dovrebbe essere considerato come una priorità da cui cominciare a individuare le azioni di efficientamento per il settore dell'aria compressa. Di fatto la regolazione, la misurazione dell'energia e il controllo, sono ancora raramente applicati anche in sistemi ad alta intensità energetica e per tale ragioni possono essere considerate tra le azioni di efficientamento energetica da intraprendere per un miglioramento globale.