

SMART ENERGY MONITORING NELLA produzione di grandi lastre

di Fabio Coccia, Giuliano De Pin, Laura Rocchi*



CUP di PROGETTO: E32116000010007



□ Nel mondo industriale contemporaneo, le logiche di miglioramento continuo dei processi e di ottimizzazione delle risorse vengono largamente utilizzate dalle imprese nello svolgimento delle proprie attività a lungo termine e un tipico modello sfruttato in quest'ottica consiste nel ciclo di Deming (o ciclo PDCA, *Plan-Do-Check-Act*). Tale metodo di gestione iterativo, così come viene applicato al controllo della produzione e della qualità, è altresì adottato per la politica energetica aziendale, incorporando la gestione dell'energia nelle attività organizzative quotidiane. La norma internazionale di riferimento che illustra come creare, avviare, mantenere e migliorare un sistema di gestione dell'energia è la ISO 50001. Essa definisce nella fase "Check" del ciclo la necessità di "sorvegliare e misurare i processi" e parte di questa esigenza viene soddisfatta attraverso la misura e il monitoraggio dei consumi dei vari vettori energetici sfruttati dall'azienda, al fine di individuare i risultati derivanti dall'attuazione dei piani d'azione della gestione dell'energia intrapresi e studiare ulteriori misure di miglioramento delle prestazioni, siano esse di carattere impiantistico o comportamentale. Questi principi e metodi contribuiscono a definire una gestione interna e caratterizzante l'impresa, tuttavia si deve considerare parimenti il quadro più generale in cui è inserita l'industria ceramica e il ruolo che assume l'attività di monitoraggio dei consumi energetici. Si consideri il peso dei processi di misura nel contesto tecnologico attuale e nei concetti di *Industry 4.0* e *IoT*;

oppure il ruolo economico svolto nella valutazione dei risparmi energetici per il riconoscimento di Titoli di Efficienza Energetica; o infine la cogenza, per le imprese energivore soggette a diagnosi energetica secondo il D.Lgs 102/2014, di monitorare i consumi dei diversi vettori energetici utilizzati. A fronte di queste considerazioni di carattere generale, lo *smart monitoring* diventa uno strumento fondamentale per una corretta gestione dei consumi, specialmente per quei settori industriali ad elevato consumo di energia, qual è l'industria ceramica. Al fine di effettuare una misura che concorra a dei risultati robusti e affidabili esistono norme e protocolli internazionali che guidano gli operatori su tale strada. In particolare si citano l'IPMVP (*International Performance Measurement and Verification Protocol*) e le norme ISO 50006 e ISO 50015. Nei documenti appena menzionati si richiede di individuare i consumi di riferimento, o *baseline*, e definire degli *EnPI* idonei a descrivere la relazione fra parametri ambientali e di processo e i consumi di energia.

NIER Ingegneria S.p.A. all'interno del progetto di ricerca IperCER si è posta come obiettivo l'analisi energetica del processo di cottura e di alcune lavorazioni di post-cottura, al fine di definire una metodologia di monitoraggio dei consumi utile all'industria ceramica e alla produzione di grandi lastre.

Il forno industriale analizzato è un forno rapido monostrato a rulli. L'impianto, alimentato a Gas Naturale (GN), presenta un sistema di combustione ad aria fissa e gas modulato che permette il controllo puntuale del diagramma di



Foto Conelli

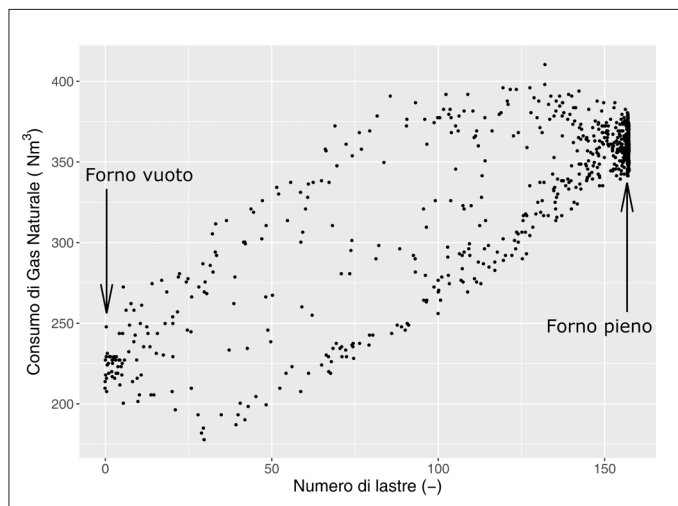


Fig.1 Dispersione dei punti rappresentanti consumo di GN e numero di lastre prodotte in un'ora di funzionamento

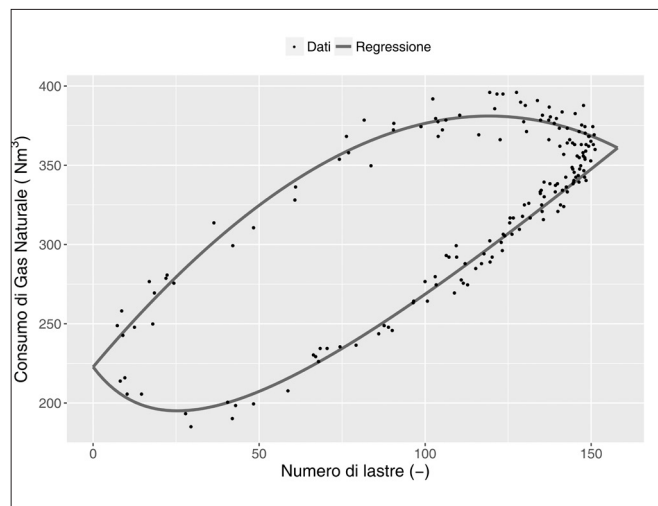


Fig.2 Modello di regressione per il funzionamento ciclico del forno

cottura (ricetta) attraverso la regolazione indipendente dei singoli bruciatori. Il forno è inoltre provvisto di un sistema di recupero termico in cui viene preriscaldata l'aria di combustione inviata ai bruciatori. Il forno è gestito attraverso un sistema di controllo che sfrutta le letture di una notevole quantità di sensori, quali termocoppie, fotocellule, manometri, ecc. e attua una serie di regolazioni a retroazione per seguire i *set-point* di temperatura impostati nella ricetta adottata. Inoltre il sistema di conduzione registra tali letture, caratterizzate da granularità al minuto o all'ora a seconda del dato, memorizzandole all'interno di diversi database: si ha quindi a disposizione un vasto set di dati relativi ai parametri di conduzione del forno e riguardanti produzione di lastre e consumi di GN. Tali parametri di gestione del forno (temperature, pressioni, ecc.) sono stati analizzati al fine di individuare quali fossero le variabili che influenzano i consumi di GN. La mancanza di correlazione diretta fra la variabilità dei parametri rilevati e i consumi

termici ha fatto emergere come siano i vuoti di materiale sulla linea a indurre consistenti variazioni sia sui parametri di processo sia sui consumi finali. Si è quindi indagata in modo più approfondito l'influenza sulla produzione e sui consumi che hanno posizione e quantità di vuoti lungo il forno.

Ogni singolo punto in figura 1 riporta il consumo di GN e il numero di lastre prodotte in un'ora di funzionamento del forno. La zona all'estremità destra del grafico corrisponde al regime di funzionamento ottimale (forno pieno) con un consumo medio di $360 \pm 8 \text{ m}^3$ (metri cubi di GN in condizioni normali); la zona all'estremità sinistra relativa al funzionamento con la linea di cottura vuota (produzione nulla), in cui il consumo di GN si attesta a $223 \pm 12 \text{ m}^3$, necessari per mantenere in temperatura l'impianto. Tutti gli altri punti della dispersione presenti nella zona centrale fanno riferimento a situazioni intermedie, cioè di vuoto parziale nella linea. In particolare i punti sul contorno della dispersione corrispondono a situazioni in cui il forno è stato alimentato in

modo continuo con materiale da cuocere, più precisamente condizioni in cui presenza e assenza di lastre non si alternano lungo la linea. Essi descrivono il funzionamento ciclico del forno, con la fase di riempimento rappresentata dai punti sul bordo superiore e quella di svuotamento dai punti sul bordo inferiore. Al fine di modellare il ciclo di funzionamento e quindi ricavare una *baseline* di riferimento dei consumi i dati a disposizione sono stati ripuliti, essenzialmente scegliendo lotti



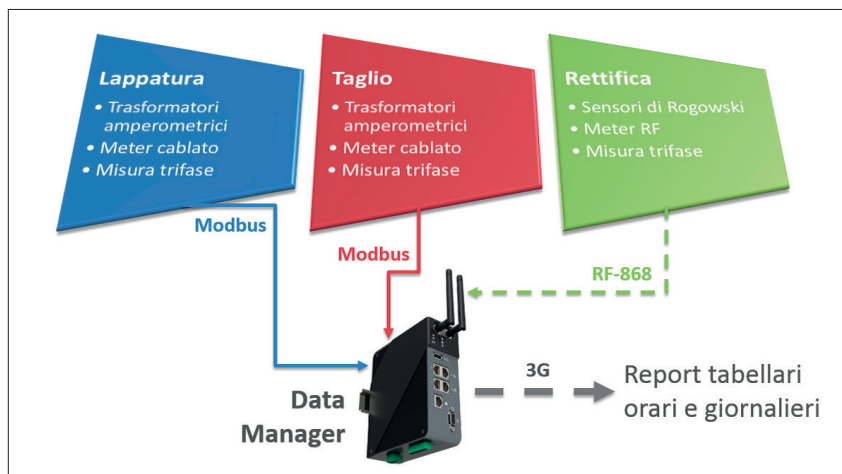


Fig.3 Schema del sistema di monitoraggio elettrico delle tre lavorazioni di post-cottura.

di produzione caratterizzati dal miglior consumo specifico di GN ed eliminando le condizioni di funzionamento spurie e i punti considerati come *outlier*. In figura 2 si vedono i punti utilizzati per la costruzione del modello e le due curve risultanti per le situazioni di forno in riempimento (ramo superiore) e in svuotamento (ramo

inferiore). Le due curve che definiscono il ciclo sono state ottenute mediante una regressione non lineare, adottando come funzione di fit per entrambi i rami una funzione del tipo $x+1/x$ e imponendo il passaggio per i punti calcolati a forno vuoto e forno pieno. La definizione di tale *baseline*, integrata con ulteriori informazioni a cui il sistema di controllo del forno consente l'accesso, può dimostrarsi un utile strumento per il conduttore dell'impianto, al fine di verificare il buon funzionamento del sistema da un punto di vista energetico o per stabilire dei miglioramenti nelle logiche di programmazione della produzione.

Infatti l'utilizzo di un più classico indicatore come il consumo specifico (energia consumata per lastra) può

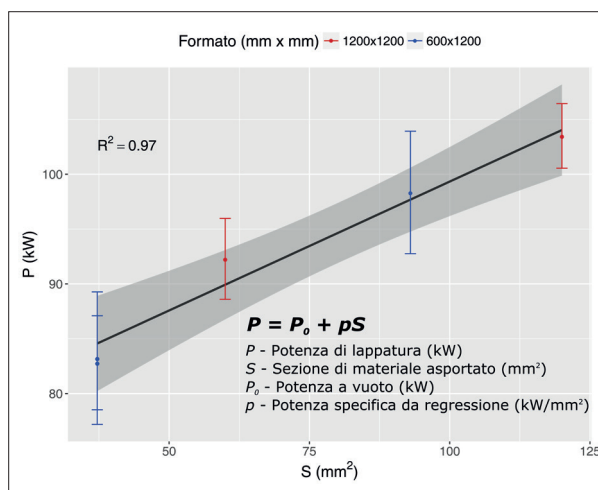


Fig.4 Modello preliminare di fabbisogno per la rettifica.

avere significato soltanto nel caso di funzionamento a forno pieno, mentre fornisce valori non attendibili per situazioni diverse, al contrario l'EnPI risultante dal modello proposto descrive il fabbisogno di energia tenendo in considerazione condizioni di vuoto sulla linea.

La seconda parte dell'analisi energetica effettuata riguarda alcune delle sezioni di lavorazione post-cottura, in particolare sono state analizzate le macchine per le lavorazioni di lappatura, taglio a spacco e rettifica. La linea vede le tre macchine in serie così come appena elencate ed equipaggiate con una rulliera motorizzata che permette la movimentazione automatica delle lastre. A differenza di quanto reso disponibile dal forno, i tre impianti non prevedo-

no la misura di consumo elettrico né la storicizzazione dei parametri di processo. Al fine di svolgere l'analisi, sui quadri elettrici di alimentazione delle tre macchine è stato installato un sistema di monitoraggio elettrico schematizzato in figura 3.

Da un'analisi preliminare dei consumi, considerando una giornata tipo di funzionamento della linea, si riscontra come il 70% dell'energia elettrica assorbita sia da attribuire alla sezione di rettifica, mentre taglio e lappatura pesano rispettivamente per il 3% e il 27% dei consumi finali giornalieri. In questo scenario l'analisi si è rivolta con attenzione maggiore alla rettificatrice, per la quale è stato studiato un modello di fabbisogno elettrico che correli la potenza assorbita alla quantità di materiale asportato durante la lavorazione. In particolare è stata valutata inizialmente la sezione trasversale di lastra che viene rimossa dalle mole di rettifica, parametro che dipende direttamente da spessore e formato della piastrina. Ne deriva un modello di regressione di tipo lineare, come illustrato in figura 4.

Il passo successivo dell'analisi in atto consiste nell'introduzione nel modello di un parametro geometrico più generale che tenga conto della velocità di avanzamento della lastra sulla linea di trasporto. Prendendo in prestito dalla letteratura tecnico-scientifica relativa alle lavorazioni meccaniche sui metalli, si dovrà parlare di *Material Removal Rate*, ossia di volume di materiale asportato nell'unità di tempo.

Anche in questo caso il modello di potenza presentato deve essere identificato come una *baseline* per il monitoraggio dei consumi di rettifica, anche integrando l'impianto attraverso l'installazione di sensoristica idonea alla rilevazione delle caratteristiche dimensionali del prodotto finito e affiancando la regressione a delle tecniche di controllo come potrebbe essere l'analisi CUSUM.

f.coccia@niering.it
 (*) NIER Ingegneria S.p.A,
 Castel Maggiore, BO