



Ricerca di Sistema elettrico

Sistemi smart di monitoraggio dei flussi energetici nelle PMI: analisi di un caso studio industriale nel settore caseario

G. Cavazzini, S. Bari, G. Pavesi, G. Ardizzon, N. Angero, R. Zerbatò



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA



SISTEMI SMART DI MONITORAGGIO DEI FLUSSI ENERGETICI NELLE PMI: ANALISI DI UN CASO STUDIO INDUSTRIALE NEL SETTORE CASEARIO

G. Cavazzini, S. Bari, G. Pavesi, G. Ardizzon (Dipartimento di Ingegneria Industriale – Università degli Studi di Padova)

N. Angero (ImpTec s.n.c.)

R. Zerbato (Caseificio Elda s.r.l.)

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: D3 "Processi e macchinari industriali"

Obiettivo: "Metodologia per la caratterizzazione di processi industriali energivori: benchmark e valutazione dei potenziali di risparmio energetico"

Responsabile del Progetto: Ing. Ilaria Bertini, ENEA

Il presente documento descrive le attività di ricerca svolte all'interno dell'Accordo di collaborazione "Sistemi smart di monitoraggio dei flussi energetici nelle PMI: progettazione ed implementazione preliminare in un caso studio industriale"

Responsabile scientifico ENEA: Ing. Andrea Calabrese

Responsabile scientifico Università di Padova: Prof. Cavazzini Giovanna

Indice

1	INTRODUZIONE	4
2	DESCRIZIONE DELLE ATTIVITÀ SVOLTE E RISULTATI.....	6
2.1	DESCRIZIONE DEL CASO STUDIO: IL CASEIFICIO ELDA SRL.....	6
2.2	IL SETTORE LATTIERO-CASEARIO IN ITALIA: PROCESSI PRODUTTIVI ED INDICI DI RIFERIMENTO	13
2.2.1	<i>Processo di produzione della ricotta</i>	13
2.2.2	<i>Indici di benchmark nel settore lattiero-caseario</i>	16
2.3	ANALISI DELLO STATO DI EFFICIENZA ENERGETICA DELL'AZIENDA E PIANIFICAZIONE DELLA TRANSIZIONE VERSO IL MONITORAGGIO "SMART" COMPLETO DEL SISTEMA	18
2.3.1	<i>Analisi di consumo</i>	18
2.3.2	<i>Indici di benchmark</i>	22
2.4	PIANIFICAZIONE DELLA TRANSIZIONE	27
3	LA PIATTAFORMA ETA.....	28
4	CONCLUSIONI.....	32
5	RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	33

1 Introduzione

Il concetto di “Industrie 4.0”, introdotto per la prima volta ad Hannover nel 2011, ha chiaramente indicato la necessità di far evolvere il settore industriale verso un’industria “smart” automatizzata e interconnessa in tutti i suoi aspetti, dal manufacturing al planning, grazie ad un impiego sempre più pervasivo di dati, tecnologie computazionali e sistemi intelligenti di produzione e gestione degli impianti industriali.

E’ proprio in questo ambito che si inserisce questo progetto di ricerca il cui fine ultimo è quello di fornire delle linee guida per guidare la transizione aziendale verso un logica “smart”, dimostrando come lo sviluppo di una piattaforma on-line possa consentire ad un’azienda di monitorare i flussi energetici del proprio impianto in modo “smart” e di valutare in modo puntuale ma automatizzato, tramite software dedicati all’efficienza energetica e customizzabili sulle caratteristiche operative dei propri processi produttivi e dei propri macchinari, la fattibilità tecno-economica di interventi di efficientamento.

Nel primo anno di attività si è sviluppato un software applicativo per ambito industriale, caratterizzato dall’implementazione di algoritmi di valutazione tecno-economica per varie tipologie di interventi di efficientamento energetico. Tali algoritmi sono stati costruiti con un approccio standardizzato ma customizzabile sulle condizioni operative di reale efficienza del processo produttivo in esame e sono stati validati su casi studio, dimostrando adeguata accuratezza nei risultati ottenuti e quindi notevole capacità di supporto alle aziende nelle scelte di efficientamento da attuare secondo logiche di sostenibilità economiche.

Il software sviluppato, tramite un’interfaccia di inserimento guidato e minimizzato, richiede all’utente i soli dati necessari all’analisi dei consumi del processo produttivo e alla valutazione delle possibili soluzioni di efficientamento. Questi dati vengono automaticamente rielaborati tramite algoritmi di valutazione tecno-economica i cui risultati vengono forniti in una sezione di output che riporta sia i principali risultati dell’analisi con indicazione dell’eventuale configurazione ottimale che consente di ottenere i migliori indici economici (Figura 1) sia una valutazione complessiva della bontà dell’intervento con votazione da 0 a 10 (Figura 2).

L’obiettivo di questa valutazione non è solo quella di fornire una prima e preliminare valutazione dell’intervento ma anche di definire un criterio di paragone tra diversi interventi di efficientamento che fornisca all’azienda una sorta di classifica di priorità di intervento. E’ ovviamente uno strumento la cui utilità sarà più evidente quando si dovranno confrontare tra loro numerosi interventi di efficientamento con caratteristiche di investimento e di realizzazione tra loro non facilmente confrontabili, così come avviene nella piattaforma commerciale ETA che verrà applicata al caso studio del Caseificio.

Con il secondo anno di attività è cominciata la fase di sperimentazione delle azioni necessarie al processo di transizione del settore industriale verso questo nuovo concetto di industria. Dopo aver dimostrato infatti l’efficacia di piattaforme on-line nel sopperire alla carenza di competenza ed esperienza delle aziende nel valutare i potenziali risparmi energetici conseguibili con le tecnologie disponibili sul mercato, si è passati ad analizzare la difficoltà delle aziende nel valutare il proprio stato di efficienza rispetto allo standard tecnologico del settore operativo di riferimento. Tale difficoltà è principalmente correlata alla mancanza di una visione dettagliata dei consumi effettivi di un’azienda, solitamente disponibili in forma estremamente aggregata e su base mensile, come ad esempio consumi di energia termica ed elettrica relativi all’insieme di processi produttivi e di servizio determinati a partire dalle fatture dei fornitori. Tale difficoltà si potrebbe ampiamente superare dotando le aziende di sistemi di monitoraggio “smart” a copertura progressiva che forniscano dati disaggregati su base temporale dell’ordine di minuti. Tale sistema di monitoraggio non solo consentirebbe di definire il livello di efficienza dell’azienda rispetto alle “best available technologies” (BAT) disponibili nel settore in cui l’azienda si trova ad operare, ma potrebbe essere integrato con piattaforme on-line, disponibili sul mercato, così da consentire lo sviluppo di strategie di efficientamento sempre più precise ed accurate.

Se nelle grandi aziende energivore l’entità della spesa energetica nonché l’obbligo di adozione di un sistema di monitoraggio per l’esecuzione delle diagnosi energetiche ha già portato ad una prima evoluzione verso un consumo più consapevole ed efficiente, nelle PMI l’entità delle spese di installazione di un adeguato sistema di monitoraggio, con tempi di rientro spesso elevati, e la mancanza di consapevolezza dei benefici diretti ed indiretti ad esso correlati, frena l’evoluzione verso un’industria più “smart”.

MOTORI - OUTPUT			
Attività	-		
Progetto	-		
Operatore	-		
Revisione	-		
Data	02-01-13		
STIMA ECONOMICA			
	Sostituzione con IE3	Sostituzione con IE4	
Investimento per sostituzione	0	0	0
Beneficiario per sostituzione	74,00%	75,00%	
Delta Beneficiario	1,2%	3,00%	
Consumo elettrico per sostituzione	202,244	200,181	2,063 kWh/anno
Costo sostituzione per	3,750	7,400	3,650 Euro
Beneficio elettrico	9,70	1,40	8,30 Euro
Beneficio energia primaria	4	1,218	2,782 Euro
STIMA INCENTIVI			
	Sostituzione con IE3	Sostituzione con IE4	
Aliquota ICF	0,00	0,00	0,00 Euro
CFI per IE3	0,00	0,00	0,00 Euro
CFI per IE4	0,00	0,00	0,00 Euro
ANALISI ECONOMICA			
	Sostituzione con IE3	Sostituzione con IE4	
Investimento	0	0	0
Tempo di ritorno	0,00	0,00	0,00 anni
IR	0,00	0,00	0,00
IR (CFI) medio	0,00	0,00	0,00
IR (CFI) medio	0,00	0,00	0,00
Costo sostituzione (media)	0,00	0,00	0,00 Euro

Figura 1 Esempio di sezione di output riferito al caso di un intervento di efficientamento per la sostituzione di un motore con un motore di classe IE3 o IE4

MOTORI - OUTPUT			
Attività	-		
Progetto	-		
Operatore	-		
Revisione	-		
Data	02-01-14		
Valutazione indicatori			
1. Aspetto economico (Investimento, IR, TR, CFC)			
	Sostituzione con IE3	Sostituzione con IE4	
CFC	0,00	0,175	0,175
Controllo CFC > p, e	0,00	0,00	0,00
Valutazione economica	0,00	0,00	0,00
2. Aspetto realizzativo (facilità di implementazione)			
	Sostituzione con IE3	Sostituzione con IE4	
Valutazione realizzativa	0,00	0,00	0,00
Valutazione complessiva			
	Sostituzione con IE3	Sostituzione con IE4	
Valutazione globale	0,00	0,00	0,00
Modalità di valutazione			
0,00	Valutazione ottima		
0,00	Valutazione buona		
0,00	Valutazione discreta		
0,00	Valutazione debole		
0,00	Valutazione scarsa		
NOTE			

Figura 2 Esempio di sezione di valutazione riferito al caso di un intervento di efficientamento per la sostituzione di un motore con un motore di classe IE3 o IE4

Come oggetto della sperimentazione si è quindi scelta proprio una PMI del settore lattiero-caseario, l'azienda "Caseificio Elda srl", con sede presso Vestenanova (VR) che si occupa della produzione di ricotta e prodotti a base di ricotta.

Dato il settore in cui opera e la particolarità del processo produttivo, l'azienda necessita di produzione sia di caldo (produzione della ricotta, processo di omogeneizzazione, ...) che di freddo (conservazione e refrigerazione dei prodotti caseari e dei sottoprodotti secondari) oltre che di fornitura di energia elettrica per il funzionamento dei macchinari.

Il Caseificio Elda è stata individuata come caso studio particolarmente adatto alla sperimentazione in ambito "Industria 4.0" poiché include tecnologie spesso presenti nelle piccole medie imprese quali:

- Impianti di produzione di acqua calda (cogeneratori);
- Impianti di produzione di vapore (caldaia);
- Impianti di produzione energia elettrica (cogeneratori);
- Impianti di refrigerazione per produzione di acqua fredda di processo (chiller).

Dopo uno studio dell'azienda, del suo processo produttivo e dei vettori energetici utilizzati, si è effettuata un'analisi dell'azienda, che ha consentito di individuare le aree che necessitavano di un'integrazione della strumentazione al fine di consentire un monitoraggio più puntuale dei flussi energetici.

Per comprendere poi il livello di efficienza dell'azienda, si è quindi condotto uno studio finalizzato all'individuazione dei consumi tipici dell'industria alimentare-casearia con identificazione degli indici di benchmark più rilevanti e/o più comunemente utilizzati nel settore alimentare-caseario ed individuazione dei valori di tali indici con riferimento alle "best available technologies" (BAT) del settore.

Infine, a partire dei primi dati ottenuti tramite il sistema di acquisizione e monitoraggio, si è provveduto ad analizzare lo stato di efficienza della parte di processo monitorata mediante confronto con il settore di riferimento sulla base degli indici di benchmark precedentemente definiti. Si è quindi pianificato il potenziamento del sistema di monitoraggio per arrivare ad una copertura significativa dell'azienda che ne guidi la transizione in una logica "smart".

2 Descrizione delle attività svolte e risultati

2.1 Descrizione del caso studio: il Caseificio Elda srl

Il Caseificio Elda srl è una PMI operativa nel settore lattiero-caseario, situata in Veneto, a Vestenanova nella provincia di Verona (Figura 3).



Figura 3 L'azienda Caseificio Elda srl

Fondata nel 1990, l'Azienda si è specializzata nella produzione della ricotta ed è diventata negli anni una delle aziende leader produttrici di ricotta in Italia con una quota del mercato italiano pari al 19%. L'azienda ad oggi vende i suoi prodotti per il 75% sul mercato italiano tramite marchi terzi e per il 25% all'estero (UK, Francia, Germania, Spagna, ecc..).

L'azienda può vantare numerose certificazioni del processo produttivo e una capacità produttiva di 2400 kg/h, fattori che le hanno consentito di diventare partner di marchi importanti come Esselunga e Iper (Figura 4).



Figura 4 Sala di controllo di processo produttivo del Caseificio Elda

Dal punto di vista impiantistico, l'Azienda è caratterizzata da:

- Impianti di produzione di vapore (caldaia);
- Impianti di produzione energia elettrica e di acqua calda (cogeneratori);
- Impianti di refrigerazione per produzione di acqua fredda di processo (chiller);
- Impianti per la produzione di aria compressa
- Impianti di depurazione delle acque di lavaggio.

con un processo produttivo che presenta quindi richieste dal punto di vista energetico sia in termini di calore che di freddo.

Moduli cogenerativi

In sede è presente un impianto di Micro-cogenerazione ad alto rendimento alimentato a GPL costituito da due motori a combustione interna di marca ENERBLU (Figura 5).



Figura 5 Moduli Cogenerativi

I moduli operano a punto fisso, ovvero funzionano fino al raggiungimento della temperatura di set-point dell’acqua all’utenza senza modulare ai carichi parziali.

L’impianto ha le seguenti caratteristiche:

- Potenza Elettrica totale pari a 49.8 kW
- Potenza termica totale pari a 105 kW

Tutta l’energia elettrica prodotta dai moduli viene auto-consumata in loco a servizio dello stabilimento con energia elettrica esportata verso la rete nulla.

L’energia termica recuperata dal sistema di raffreddamento del motore e dai fumi viene utilizzata per il preriscaldamento dell’acqua inviata al generatore di vapore per uso di processo.

Tabella 1: dati di targa dei Moduli Cogenerativi

Modulo cogenerativo 1		
Tensione di collegamento	kV	20
Capacità di generazione	MW	0.029
cosphi	-	0.9
Potenza nominale	MW	0.029
Potenza nominale generatore	MVA	0.032
Potenza meccanica	MW	0.033
Tipo combustibile	-	GPL
Modulo cogenerativo 2		
Tensione di collegamento	kV	20
Capacità di generazione	MW	0.019
cosphi	-	0.9
Potenza nominale	MW	0.019
Potenza nominale generatore	MVA	0.021
Potenza meccanica	MW	0.022
Tipo combustibile	-	GPL

Generatore di vapore

In azienda è presente una caldaia alimentata a GPL con bruciatori TBG 120 ME per la produzione di vapore a servizio del processo di produzione.

Il generatore (Figura 6) è a tre giri di fumo ad inversione di fiamma (2 giri nel focolare, 1 nel fascio tubiero), a fondo bagnato e dotato di economizzatore, ma non di serbatoio di accumulo.



Figura 6 Generatore di Vapore Mingazzini

Tabella 2: Generatore di vapore – Dati di Targa

Generatore di vapore

Produttore		Mingazzini
Pressione nominale	bar	12
Produzione nominale	kg/h	1500
Potenzialità max al focolare	kW	1163
Combustibile	-	GPL

Produzione freddo

In azienda sono presenti 3 centrali frigorifere per la produzione di acqua a bassa temperatura e una centrale per produzione ghiaccio a servizio del processo.

In particolare, i chiller 1 e 2 sono utilizzati per il raffreddamento del prodotto finito, il 3 per il condizionamento degli ambienti di produzione, il 4 per la vasca acqua gelida

I chiller hanno funzionamento continuo 7 giorni alla settimana in media 20 ore/giorno, tranne il chiller a servizio della vasca di acqua gelida (chiller 4) che viene fatto funzionare solo durante la notte per la produzione di ghiaccio da utilizzare nella giornata successiva (Figura 7).



Figura 7: Vasca Acqua Gelida e Chiller 3 e 4

Tabella 3 Impianti per la produzione di freddo – Dati di Targa

Centrale Frigo 1

Produttore		Trane
Tipo		A vite -Air cooled
Modello		RTAD 085
Anno produzione		2003
Potenza frigorifera	kWf	160
Potenza elettrica	kWe	81.3
EER	-	2
Compressori - Circuito 1	kWe	66 x 1
Compressori - Circuito 2	kWe	66 X 1
Low pressure	bar	16
High Pressure	bar	25
Fluido refrigerante	-	R134a

Centrale Frigo 2

Produttore		Trane
Tipo		Air cooled
Modello		RTAD 085
Anno		2014
Potenza frigorifera	kWf	160
Potenza elettrica	kWe	81.3
EER	-	2
Compressori - Circuito 1	kWe	66 x 1
Compressori - Circuito 2	kWe	66 x 1
Low pressure	bar	16
High Pressure	bar	25
Fluido refrigerante	-	R134a

Centrale Frigo 3

Produttore		Trane
Tipo		Scroll -Air cooled
Modello		CGAN 700
Anno		2006
Potenza frigorifera	kWf	150
Potenza elettrica	kWe	74
EER	-	2
Compressori - Circuito 1	kWe	42 x 3
Compressori - Circuito 2	kWe	42 x 3
Low pressure	bar	21
High Pressure	bar	30
Fluido refrigerante	-	R407c

Centrale Frigo 4

Produttore		Trane
Tipo		Air cooled
Modello		CGAM 170
Anno		2011
Potenza frigorifera	kWf	304
Potenza elettrica	kWe	110
EER	-	2.77
Compressori - Circuito 1	kWe	101 x 3
Compressori - Circuito 2	kWe	101 x 3
Low pressure	bar	31.1
High Pressure	bar	44.5
Fluido refrigerante	-	R410a

Scambiatore di calore vasca Acqua Gelida

Produttore		BAC
Temperatura minima	°C	-20
Temperatura massima	°C	50
Pressione di design minima	bar	-1
Pressione di design massima	bar	10
Fluido lato utenza	-	Acqua glicolata

Aria Compressa

In azienda è presente una centrale per la produzione di aria compressa composta da due compressori Atlas Copco.

Il primo compressore è di tipo rotativo a vite lubrificato a basso consumo energetico con motore elettrico di classe energetica IE3.

Il secondo compressore è sempre a vite lubrificata ed è regolato ad inverter ovvero regola automaticamente la velocità del motore e dell'elemento di compressione, adeguando la portata d'aria erogata alla reale richiesta d'aria delle utenze riducendo così gli sprechi di energia ed i costi.

Tabella 4 Impianti di produzione aria compressa – Dati di Targa
Compressore 1

Produttore		Atlas Copco
Tipo		GA30P+
Pressione massima	bar	7.6
Portata volumetrica	m ³ /min	0.76
Potenza assorbita	kW	30

Compressore 2		
Produttore		Atlas Copco
Tipo		GA37VSD+
Pressione massima	bar	13
Portata volumetrica	m ³ /min	5.27
Potenza assorbita	kW	37

Sistema di monitoraggio

L'Azienda è stata identificata come possibile caso studio non solo per la varietà dei flussi energetici di processo, ma anche per la presenza di tecnologia ad alta efficienza.

Il sistema di monitoraggio installato a copertura parziale ha le seguenti caratteristiche:

- **Alla cabina elettrica:**
In azienda è presente un gruppo di misura multiorario di Enel Distribuzione di tipo ELSTER A1700 provvisto di scheda ES. Il contatore elettrico è accessibile (non blindato) e provvisto di sistema per l'acquisizione dei flussi di energia elettrica scambiati con la rete.
In particolare, l'obiettivo del monitoraggio in questo punto è registrare:
 - Il prelievo elettrico aziendale dalla rete (energia attiva acquistata) con misure ogni 15 minuti;
 - L'eventuale immissione di energia elettrica prodotta dai cogeneratori e non auto-consumata;
 - Fattore di potenza (CosPhi) – ricavato combinando i segnali monitorati di potenza reattiva ed attiva (con misure ogni 15 minuti).
 In azienda infatti è presente un banco di condensatori rifasanti per supplire allo sfasamento introdotto nella linea dai carichi. Il monitoraggio in questo punto permette quindi di controllare l'azione dei rifasatori e registrare l'effettivo andamento del fattore di potenza anche al fine di evitare penali verso il distributore.
- **Ai cogeneratori:**
La lettura dei consumi dei cogeneratori viene effettuata con lettori omologati dalle dogane di marca Dresser certificati MID – dotati di sensori per telettura di tipo TDX a cui è collegato il sistema di acquisizione.
Tale sistema permette di ricavare il consumo GPL dei cogeneratori nell'anno con acquisizione del dato ogni 15 minuti.
Inoltre anche la produzione di energia elettrica di ognuno dei due cogeneratori viene misurata tramite il sistema di monitoraggio.
- **Al generatore di vapore**
La lettura dei consumi della caldaia viene effettuata con lettore omologato dalle dogane di marca Dresser certificati MID – dotato di sensori per telettura di tipo TDX a cui è collegato il sistema di acquisizione.
Tale sistema permette di ricavare il consumo GPL della caldaia nell'anno con misure ogni 15 minuti.

Il bisogno di effettuare un'analisi più dettagliata dei consumi aveva già portato negli ultimi due anni l'azienda ad effettuare delle rilevazioni di prelievo di energia elettrica in alcuni punti di maggior consumo tramite strumenti portatili. Tali rilevazioni, pur consentendo alcune parziali valutazioni aziendali, hanno evidenziato i limiti legati alla non perfetta sovrapposibilità delle curve di consumo nel tempo dei vari centri di costo misurati. Una misura puntuale di più utenze può infatti essere indicativa solo se non misurata nello stesso istante. Questa problematica è ancora più accentuata nel settore lattiero-caseario data l'influenza della variabilità delle temperature e condizioni ambientali sui consumi di processo.

Grazie ai flussi di energia presenti ed alle tecnologie installate, il Caseificio Elda srl è risultato essere un candidato ideale per l'attività di sperimentazione volta a dimostrare come il raggiungimento di elevati standard di efficienza debba necessariamente passare attraverso un sistema di monitoraggio evoluto che consenta di valutare e tenere monitorato lo stato di efficienza dell'azienda.

La valutazione di tale stato ha presentato fin da subito due criticità: da un lato la necessità di stabilire un "riferimento" in termini di livello di efficienza nell'ambito del medesimo settore produttivo, dall'altro la necessità di capire se il sistema di monitoraggio installato in azienda fosse sufficiente ad effettuare valutazioni precise di efficienza o se dovesse essere integrato con ulteriore strumentazione.

Le attività di analisi hanno richiesto quindi:

- Uno studio del settore lattiero-caseario finalizzato all'individuazione di "indici di benchmark" adeguati rispetto a cui andare a valutare il caso specifico in esame (cap. 2.2);
- Un'analisi dei consumi dell'azienda e dell'influenza del sistema di monitoraggio attualmente in essere sulla capacità di valutazione degli indici di benchmark precedentemente identificati (cap. 2.3).

2.2 Il settore lattiero-caseario in Italia: processi produttivi ed indici di riferimento

Il settore lattiero-caseario, con 15 miliardi di fatturato globale, 2.000 aziende e circa 25.000 addetti, occupa la prima posizione nella classifica dei vari settori che compongono l'industria alimentare italiana. In questo contesto, il Veneto produce il 10% della produzione di latte italiana e si colloca in termini produttivi al terzo posto dopo Lombardia e Emilia Romagna (ISTAT). L'esame del comparto conferma alcuni elementi di forza della realtà veneta. In primo luogo la buona possibilità di collocamento del prodotto sul mercato domestico, che si è rafforzata anche negli ultimi anni per i prodotti di qualità molti dei quali certificati; in secondo luogo la risposta positiva degli imprenditori ai cambiamenti tecnologici e organizzativi ed un significativo incremento della produzione sui mercati terzi con promettenti prospetti di consolidamento ed ulteriore sviluppo della filiera in ambito nazionale ma soprattutto internazionale. Determinante al riguardo risulta però la capacità delle imprese di reggere la concorrenza dei competitori non solo nazionali, ma europei la cui capacità commerciale è cresciuta significativamente negli ultimi anni.

2.2.1 Processo di produzione della ricotta

La produzione della ricotta si ottiene a partire dalla coagulazione acidotermica delle proteine del siero di latte, cioè della parte liquida che si separa dalla cagliata¹ durante la caseificazione. Il principio alla base della produzione di ricotta è la precipitazione delle sieroproteine per denaturazione indotta dall'acidità e dalla temperatura e richiede a questo scopo un riscaldamento del siero fino a temperature intorno agli 80-90°C in ambiente caratterizzato da un livello basso di acidità (pH inferiore a 6) ottenibile tramite un processo di disacidificazione del siero prima di iniziare il riscaldamento.

Quando le sieroproteine precipitano inglobano aria e vapore, coagulando in una massa gelatinosa che tende ad affiorare. Il coagulo viene lasciato affiorare e consolidare per circa 5 minuti, sospendendo contemporaneamente il riscaldamento; successivamente si inizia la raccolta della ricotta che viene posta in fiscelle di plastica forate per eliminare la parte liquida. Il prodotto scolato viene fatto asciugare per alcune ore in locali freschi e poi venduto immediatamente oppure, negli impianti industriali, sottoposto al confezionamento che ne consente una più lunga conservazione.

Nel caso del caseificio Elda il prodotto di partenza è il siero, che viene acquistato da terzi, e lo schema di lavorazione prevede sia apporto termico di calore (durante la fase di riscaldamento) che apporto di raffrescamento (durante la fase di conservazione e refrigerazione dei prodotti e sottoprodotti) è brevemente riassunto in Figura 8. E' importante sottolineare come la necessità di riscaldare il siero fino a temperature dell'ordine di 90°C renda il processo produttivo della ricotta ben più "energivoro" rispetto ai processi produttivi dei formaggi, la cui temperatura di coagulo rimane sempre tra i 35 ed i 50°C.

¹ La cagliata è un risultato intermedio della lavorazione dei formaggi, ottenuta aggiungendo il caglio al latte riscaldato.

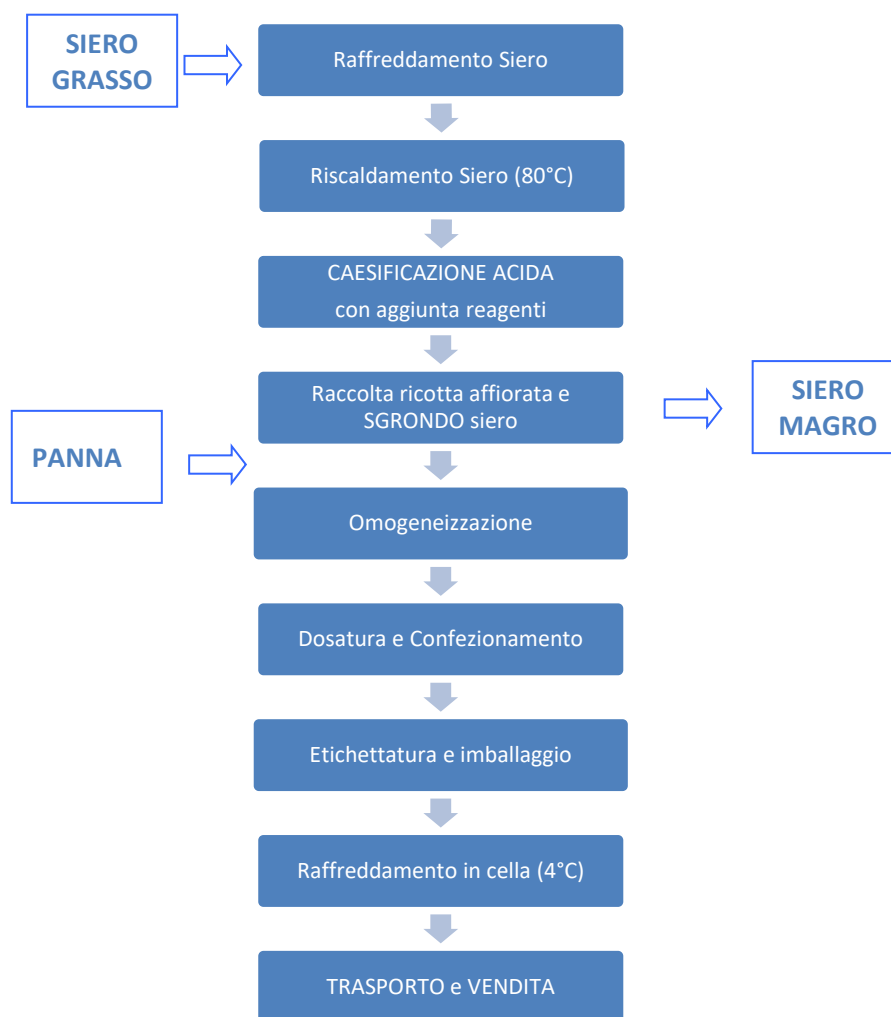


Figura 8 Schema di lavorazione della ricotta nella produzione industriale

Il siero grasso viene raffreddato, mediante uno scambiatore a piastre servita dai chiller 3 e 4, e stoccato in serbatoi (Figura 9). Successivamente viene sottoposto alle seguenti fasi operative:

1. Preriscaldamento del siero grasso a 80°
2. Ulteriore riscaldamento da 80 a 88°
3. Aggiunta di reagenti per l'avviamento del processo di caseificazione acida
4. Sgrondo: la ricotta viene convogliata su un nastro, mentre la parte liquida, scotta, viene inviata ad uno scambiatore a piastre che in controcorrente cede il calore alla materia prima in ingresso del ciclo successivo. La scotta in uscita subisce un ulteriore raffreddamento, mediante acqua gelida per il valore residuale di temperatura e stoccata per l'invio ad altri impianti per usi farmaceutici;
5. Omogeneizzazione del prodotto ad alta pressione (100 bar) per rendere la ricotta un composto più liscio e meno granuloso.
6. Confezionamento della ricotta con dosatori automatici in unità di diverso peso (250g, 500g, 1 kg...)
7. Inscatolamento
8. Raffreddamento del prodotto in 2 sotto fasi:
 - a. Tunnel per il Freecooling (Figura 10): tunnel che utilizza aria esterna convogliata per ottenere un primo raffreddamento dei prodotti. Per ovvie ragioni, in inverno tale processo è particolarmente performante riuscendo nei mesi più freddi a sopperire quasi totalmente all'apporto di energia frigorifera necessaria. In estate il processo è meno efficace ma mantiene comunque un apporto positivo;

- b. Magazzino refrigerato (Figura 11): al termine del Tunnel una sonda rileva la temperatura dei prodotti e ricalcola i tempi minimi per la completa refrigerazione, effettuata tramite i chiller 1 e 2.



Figura 9: Serbatoi stoccaggio siero



Figura 10 Tunnel per il free cooling



Figura 11 Magazzino refrigerato ed automatizzato per la conservazione dei prodotti

2.2.2 Indici di benchmark nel settore lattiero-caseario

La molteplicità dei processi produttivi nel settore lattiero-caseario rende alquanto complessa l'individuazione di valori di riferimento in termini di consumi di energia primaria. Il latte può essere trasformato in latte da bere, burro, formaggio, yogurt, etc.. Ognuno di questi prodotti richiede processi di lavorazione differenti e tipici di quel prodotto.

Ne consegue che, se da un lato è possibile definire indici adeguati per valutare i consumi energetici di un processo produttivo, dall'altro lato è estremamente complesso definire dei valori di riferimento rispetto a cui valutare il proprio livello di efficienza energetica nella produzione di un prodotto.

Gli indici di benchmark più comunemente adottati nella letteratura scientifica e nelle pubblicazioni di settore sono:

- Consumo specifico di energia elettrica di processo:

$$CS_{EE} = \frac{EE_{processo}}{Produzione}$$

dove $EE_{processo}$ è l'energia elettrica complessivamente consumata nel processo produttivo

- Consumo specifico di energia termica di processo:

$$CS_{ET} = \frac{ET_{processo}}{Produzione}$$

dove $ET_{processo}$ è l'energia termica complessivamente consumata nel processo produttivo

- Consumo specifico di energia primaria di processo:

$$CS_{EP} = \frac{EP_{processo}}{Produzione}$$

dove $EP_{processo}$ è l'energia primaria complessivamente consumata nel processo produttivo, comprensivo di energia termica ed elettrica.

La difficoltà di assegnazione di un valore di riferimento a questi indici è dovuta a molteplici aspetti, tra cui principalmente:

- Difficoltà nell'attribuzione dei corretti consumi di energia di processo. Ad esempio, nel caso del processo produttivo del Caseificio Elda, l'analisi è focalizzata sul processo produttivo della ricotta e non su quello del siero, che viene acquistato ed utilizzato come punto di partenza del processo produttivo (Figura 8). Negli eventuali valori di riferimento proposti è quindi necessario verificare che il consumo di processo per la produzione della ricotta non consideri anche l'eventuale consumo per la produzione del siero, in quanto questo falserebbe i risultati dell'analisi.
- Differenziazioni di valori di riferimento a secondo della zona geografica. Uno studio di confronto tra i consumi dell'industria casearia nelle varie nazioni europee ha dimostrato come esistano in alcuni casi anche significative differenze nei valori di riferimento. Le cause identificate sono molteplici, tra cui le dimensioni delle aziende analizzate, il grado di penetrazione di tecnologie ad alta efficienza (come ad esempio i cogeneratori) e il carico di lavoro a cui queste tecnologie vengono sottoposte [1].
- Differenziazione di metodo di valutazione adottato per l'analisi dei valori di riferimento. Lo stesso processo analizzato secondo metodi diversi può determinare valori degli indici di riferimento anche significativamente diversi tra loro [2].

Per quanto riguarda la produzione di latte e derivati, uno degli studi più dettagliati sui consumi di energia del settore è quello di Enea del 1996 [3], i cui valori principali sono riportati in Tabella 5.

Tabella 5 Consumi di energia primaria nel settore lattiero-caseario (1996)

PRODOTTI	Consumi di Energia		
	Primaria [kJ/kg]	Elettrica [kJ/kg]	Termica [kJ/kg]
Latte Pastorizzato	1080	691	389
Latte UHT	2001	783	1218
Yogurt	5181	3160	2021
Mozzarella	8227	3978	4249
Molli (crescenza)	11212	5641	4249
Robiole	12595	5105	7490
Freschi (no stagionatura)	13922	6338	7583
Molli (camembert)	32465	13276	19189
Gorgonzola	13729	7159	6570
Formaggi fusi	5933	3639	2294
Siero in polvere (scrematura, concentraz., torre spray)	78130	14307	63283
Latte in polvere (sistema roll)	16469	2746	13723

Pubblicazioni più recenti nell'ambito del settore lattiero caseario presentano valori di riferimento più aggiornati ma riferiti a nazioni diverse. Ad esempio Xu et al. [4] riporta i valori relativi alla produzione di formaggio fresco per USA, Gran Bretagna, Paesi Bassi e Norvegia (Tabella 6).

Tabella 6 Consumi specifici di energia primaria nel processo di produzione del formaggio fresco [4]

	CS_{EP} [kJ/kg]
USA	8400-9600
USA – California	8000
Paesi Bassi	4900

Con riferimento sempre agli USA un altro studio pone lo stesso processo produttivo all'interno di un intervallo di valori di consumo da 2600 kJ/kg a 11900 kJ/kg, a seconda del tipo di metodo applicato per la sua valutazione [2].

In questo panorama estremamente frammentato e particolareggiato di valori, si è deciso di prendere come riferimento i valori proposti da ENEA nel 1996 per la produzione del formaggio fresco, in quanto riferiti al panorama italiano del settore. Si è però evidenziata la necessità di aggiornare tali valori tramite un fattore annuale di decremento dei consumi proposto in letteratura (-2.1% all'anno) [1]. Tale fattore consente di tenere conto del progressivo miglioramento della tecnologia nel periodo dal 1996 al 2016. La Tabella 7 riporta i valori così definiti.

Tabella 7 Consumi specifici di energia nella produzione di formaggio fresco aggiornati al 2016

Consumi di Energia			
	Primaria [kJ/kg]	Elettrica [kJ/kg]	Termica [kJ/kg]
Formaggio fresco	7782	3543	4239

Da questi consumi è necessario sottrarre il consumo di energia primaria (4137 kJ/kg) per la produzione del siero, aggiornata secondo la stessa logica precedentemente adottata. Ne derivano i valori riportati nella Tabella 8.

Tabella 8 Consumi specifici di energia primaria di riferimento per il caso Elda

	Primaria	Primaria Elettrica	Primaria Termica
CS [kJ/kg]	3646	1660	1986
CS [kWh/kg]	1,013	0,461	0,552

Con riferimento alla Tabella 8, si sottolinea che i valori inseriti fanno riferimento all'energia primaria complessiva consumata nel processo, all'energia primaria "lato elettrico" e all'energia primaria "lato termico".

2.3 Analisi dello stato di efficienza energetica dell'azienda e pianificazione della transizione verso il monitoraggio "smart" completo del sistema

2.3.1 Analisi di consumo

Per valutare lo stato di efficienza dell'azienda, si è preso a riferimento l'anno 2016, per il quale erano a disposizione non solo le fatture relative alle forniture di energia elettrica e GPL, ma anche i dati del sistema di monitoraggio attualmente installato in azienda, indispensabili per una panoramica completa dei consumi di energia elettrica e termica complessivi dell'azienda.

Per quanto riguarda l'energia elettrica, il consumo annuo è di poco inferiore ai 2 GWh di cui l'apporto principale è dato dalla fornitura di energia elettrica dalla rete con un contributo medio mensile circa dell'8% da parte dei cogeneratori (Figura 12). L'andamento dei consumi è abbastanza uniforme nei mesi con una media di circa 154,000 kWh ed un incremento incentrato nel periodo da maggio a settembre.

Per quanto riguarda invece i consumi di energia termica, si possono quantificare direttamente a partire dal GPL consumato rispettivamente dai cogeneratori e dalla caldaia (Figura 13). Come si può osservare, anche in questo caso, i consumi sono limitatamente influenzati dalla stagionalità con una media mensile di circa 14,500 kg di GPL consumato che va a ridursi nel periodo estivo (Giugno-Settembre).

Da sottolineare la particolarità del mese di Novembre in cui l'Azienda ha volontariamente limitato le ore di funzionamento dei cogeneratori per analizzarne l'impatto sui costi complessivi di produzione.

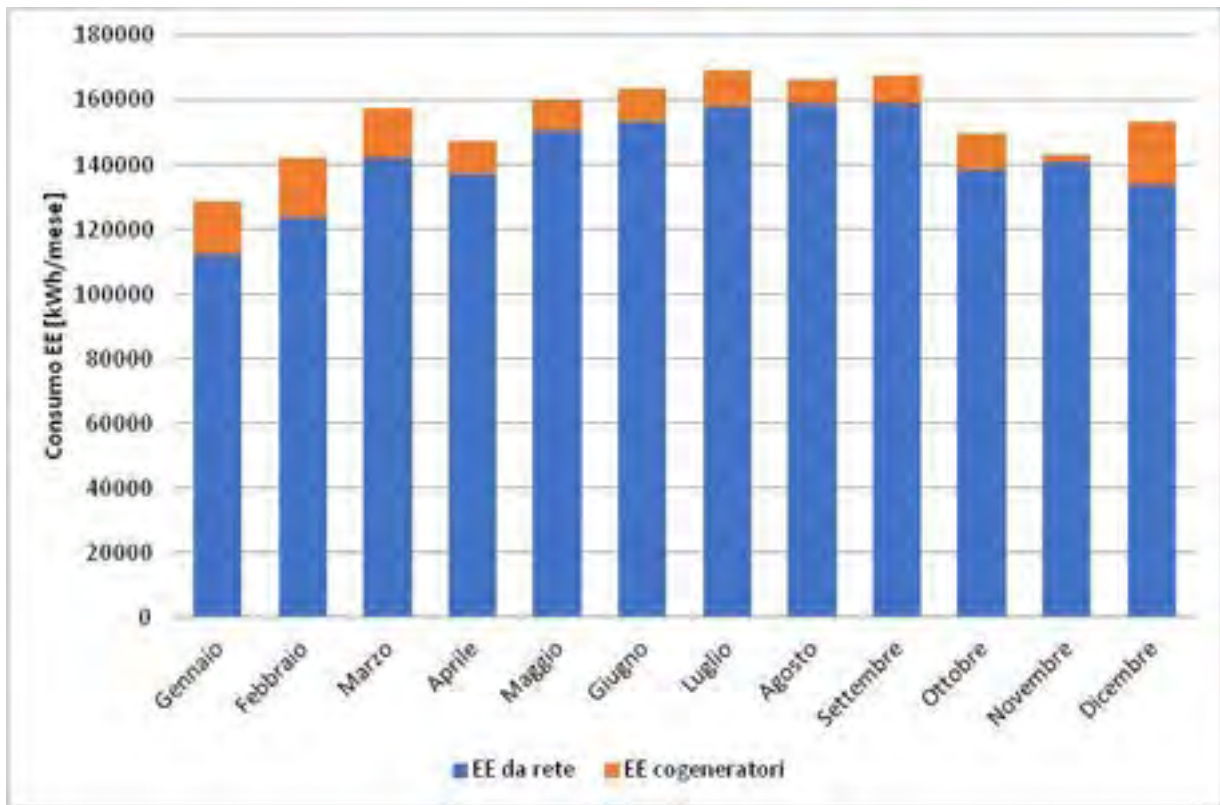


Figura 12 Andamento dei consumi mensili di energia elettrica nell'anno 2016

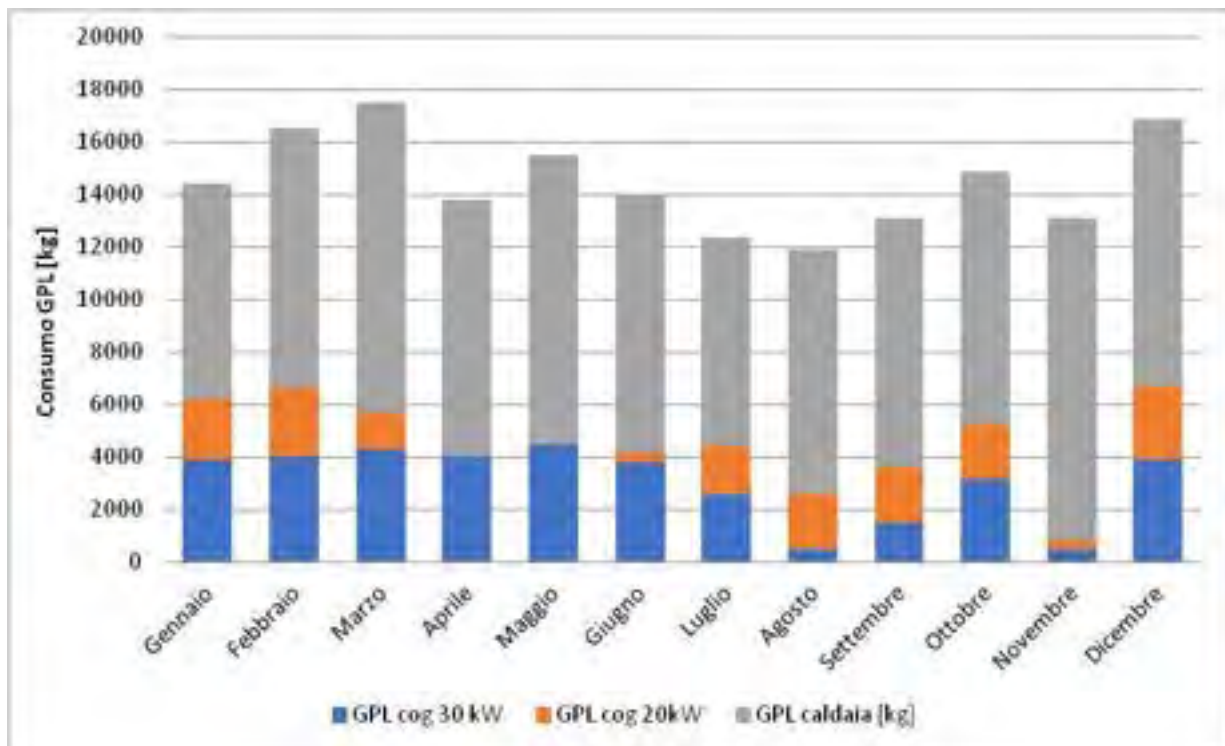


Figura 13 Andamento dei consumi mensili di GPL nell'anno 2016 della caldaia e dei cogeneratori

L'azienda presenta quindi nel complesso un andamento dei consumi abbastanza regolare con profili che seguono la cadenza tipica della settimana lavorativa sia in termini di energia elettrica (Figura 14) che in termini di GPL (Figura 15).

La presenza del sistema di monitoraggio consente di apprezzare anche il profilo orario dei consumi in linea con l'orario lavorativo dell'impianto che va dalle 8 alle 22 (Figura 16 e Figura 17).
 Tale regolarità verificata a vari livelli di dettaglio temporale nell'arco dell'anno consente di determinare il numero di giorni lavorativi effettivi nel mese a partire dai soli dati di consumo giornalieri.

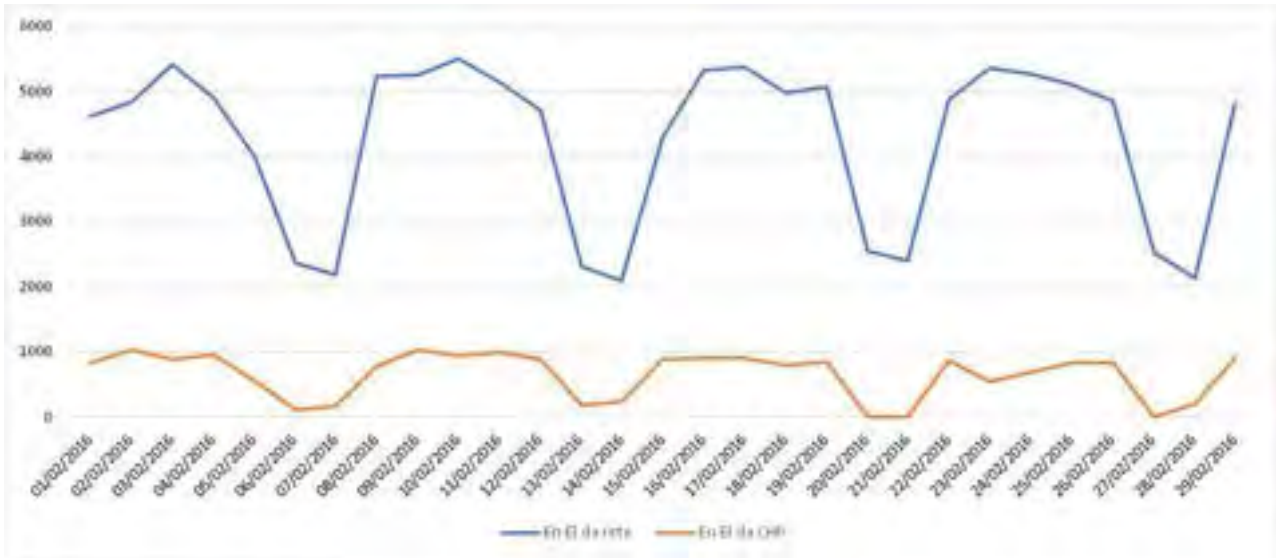


Figura 14 Andamento giornaliero dei consumi di energia elettrica nel mese di Febbraio 2016 con riferimento al prelievo dalla rete e alla produzione dei cogeneratori

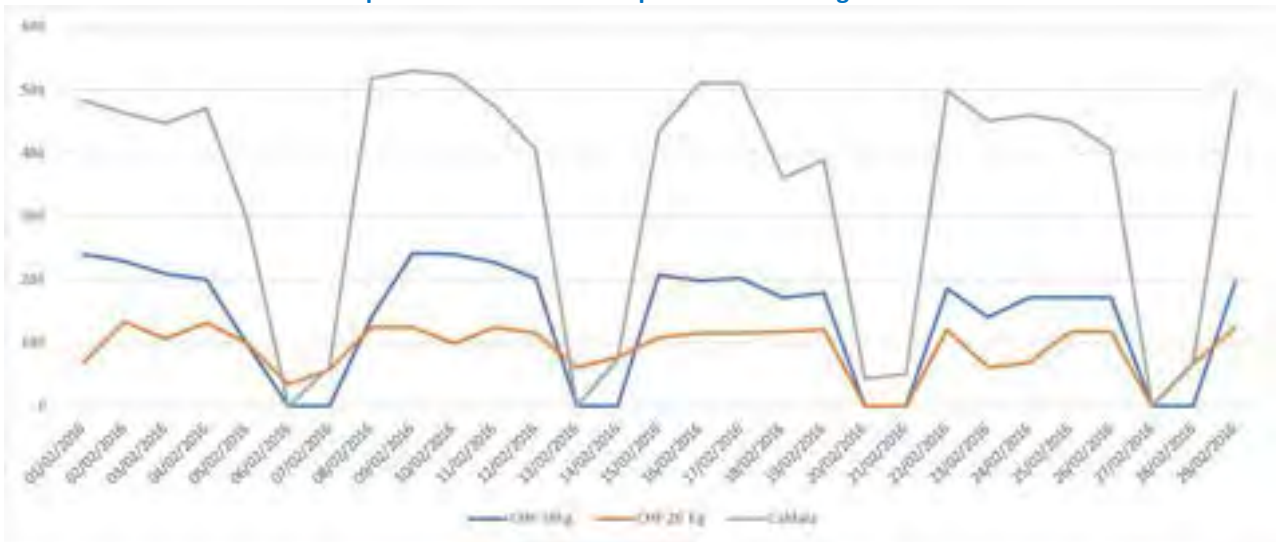


Figura 15 Andamento giornaliero dei consumi di GPL nel mese di Febbraio 2016 con riferimento ai 2 cogeneratori e alla caldaia

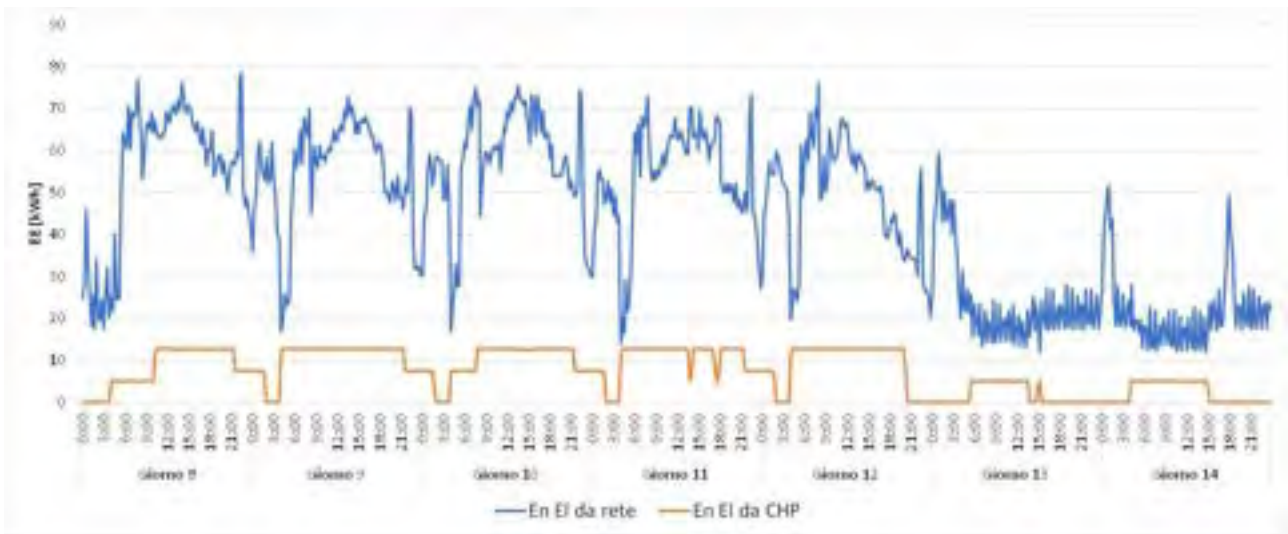


Figura 16 Andamento giornaliero dei consumi di energia elettrica in una settimana lavorativa (8-14 Febbraio 2016)

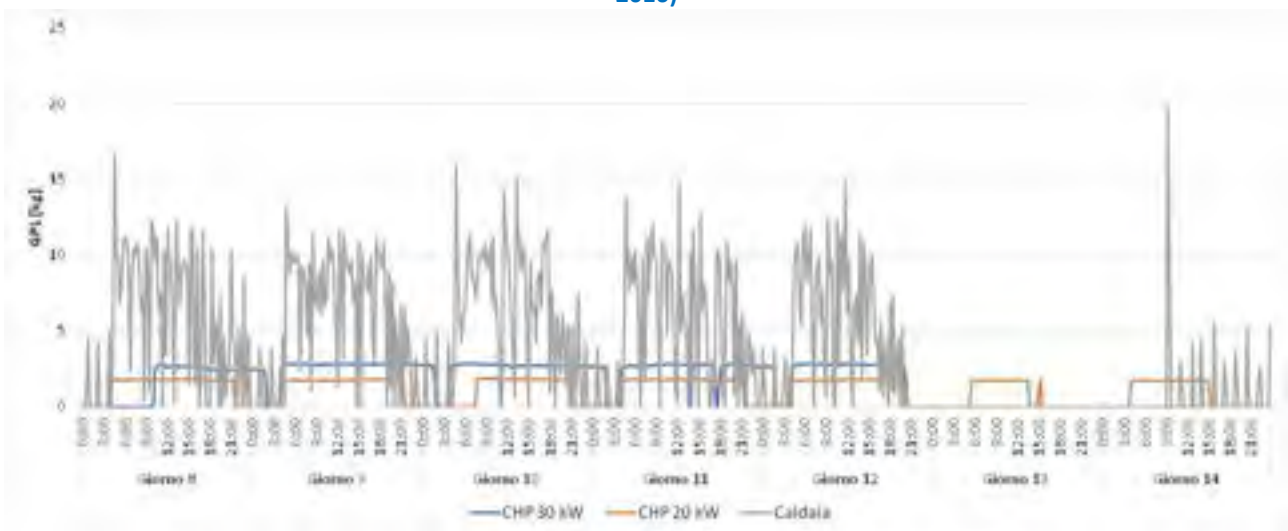


Figura 17 Andamento giornaliero dei consumi di GPL in una settimana lavorativa (8-14 Febbraio 2016)

E' interessante osservare come le necessità di conservazione dei prodotti dell'azienda richiedano un apporto principalmente di energia elettrica anche durante le ore notturne, determinando così un carico di base presente anche nei giorni di riposo.

Per verificare la corretta misurazione da parte del sistema di monitoraggio dei consumi elettrici si è anche effettuata una verifica sulla base di quanto fatturato dal fornitore della rete, determinando un errore medio dello 0.02% ed un errore massimo del 0.21% nel mese di Novembre (Tabella 9), errori da attribuirsi principalmente agli arrotondamenti in bolletta.

Tabella 9: Scostamento percentuale tra i consumi rilevati ed i consumati fatturati

	Errore [%]
Gennaio	0.001%
Febbraio	-0.005%
Marzo	-0.002%
Aprile	0.014%
Maggio	-0.002%
Giugno	-0.001%
Luglio	0.000%
Agosto	-0.003%
Settembre	0.002%
Ottobre	-0.061%
Novembre	-0.214%
Dicembre	-0.002%

2.3.2 Indici di benchmark

Per poter valutare lo stato di efficienza dell'azienda, a partire dai dati di consumo, è necessario andare a determinare i valori relativi agli indici di benchmark precedentemente identificati per il settore lattiero-caseario ed in particolare per il processo produttivo della ricotta (vedi cap. 2.2.2).

Come si è visto, la determinazione di dati indici richiede di conoscere non solo dati di consumo elettrico e termico, ma anche i dati di produzione dell'azienda, che nel 2016 è risultata essere pari a 5,091,724 kg con la distribuzione mensile evidenziata in Figura 18. Si è quindi tenuto conto dei giorni di fermo della produzione durante il fine-settimana, durante le festività e durante eventuali periodi imposti per esigenze di varia natura (manutenzione, ecc.), arrivando ad un totale di 241 giorni.

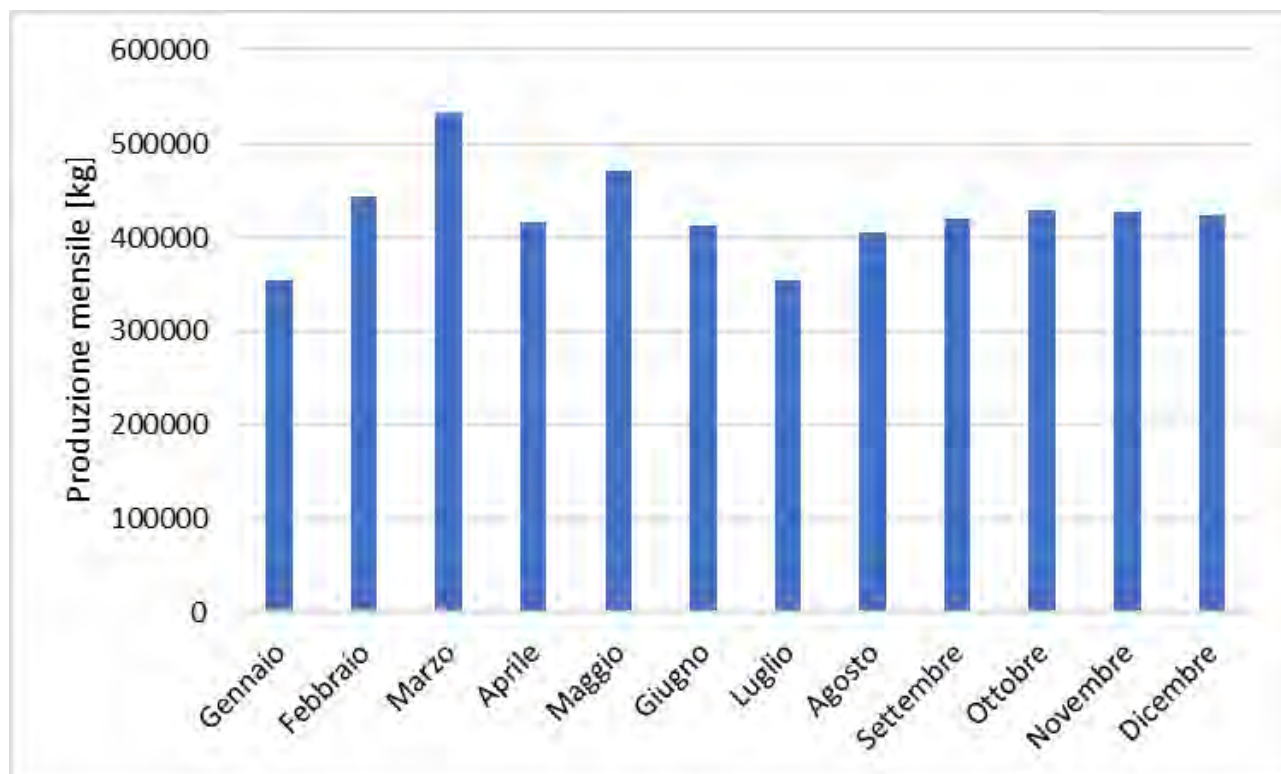


Figura 18: Andamento della produzione mensile nel 2016

Si è quindi passati a valutare gli indici precedentemente identificati, partendo da quello più generale relativo al consumo specifico di energia primaria per il processo di produzione della ricotta, dato dalla seguente relazione:

$$CS_{EP} = \frac{EP_{processo}}{Produzione_{mensile}}$$

Si ricorda a questo proposito che l'energia primaria si definisce come il potenziale energetico presentato dai vettori e fonti energetiche non rinnovabili nella loro forma e dipende non solo dal fabbisogno di energia ma anche dal tipo di combustibile o vettore utilizzato per produrre energia e dall'efficienza di produzione. Il fattore di conversione in energia primaria risulta sempre maggiore dell'unità e rappresenta il combustibile consumato e misurato ai contatori, mentre la parte rimanente definisce l'energia consumata nelle diverse fasi di vita del combustibile (estrazione, trasformazione, trasporto, ecc.). Nel caso dell'energia elettrica, questo fattore è pari all'inverso del rendimento elettrico e varia a seconda che si consideri la rete elettrica nazionale, il solo parco idroelettrico, piuttosto che quello termoelettrico o eolico/fotovoltaico.

A partire dai dati di consumo elettrico e termico mensili si è stimato l'andamento del consumo specifico nell'arco del 2016, ottenendo valori superiori a quello di riferimento (1,013 kWh/kg) in tutto l'anno con un valore medio pari a 1,258 kWh/kg (+24% rispetto al consumo di riferimento del settore). In assenza di ulteriori dati, se ne sarebbe desunto un livello di efficienza non in linea con il settore, risultato non in completo accordo con il livello di tecnologie adottate in azienda. Dopo un'attenta analisi dei dati, si è quindi rilevato che i consumi di energia primaria sono stati valutati a livello mensile, inglobando anche i consumi relativi al carico di base dell'azienda (vedi cap. 2.3.1) ed i consumi relativi ai processi di servizio.

La disponibilità di dati di monitoraggio dettagliati a livello giornaliero ha consentito di scorporare i consumi relativi ai giorni non lavorativi, ma la mancanza di misuratori di energia elettrica a livello di processo non ha consentito di eliminare anche quelli relativi ai processi di servizio (raffrescamento degli ambienti, ecc.).

Complessivamente comunque, come si può osservare in Figura 19, la possibilità di scorporare i consumi dei giorni di fermo impianto ha consentito di aumentare la precisione dell'analisi, evidenziando valori di consumo specifico di energia primaria maggiormente in linea con il settore (+11% rispetto al consumo di riferimento del settore) ed in sostanziale accordo con il buon livello tecnologico adottato in azienda.

Si può notare nel grafico una leggera variazione dei valori mensili del consumo specifico. Tale variazione è da imputare all'influenza dei consumi dei processi di servizio sul computo totale.

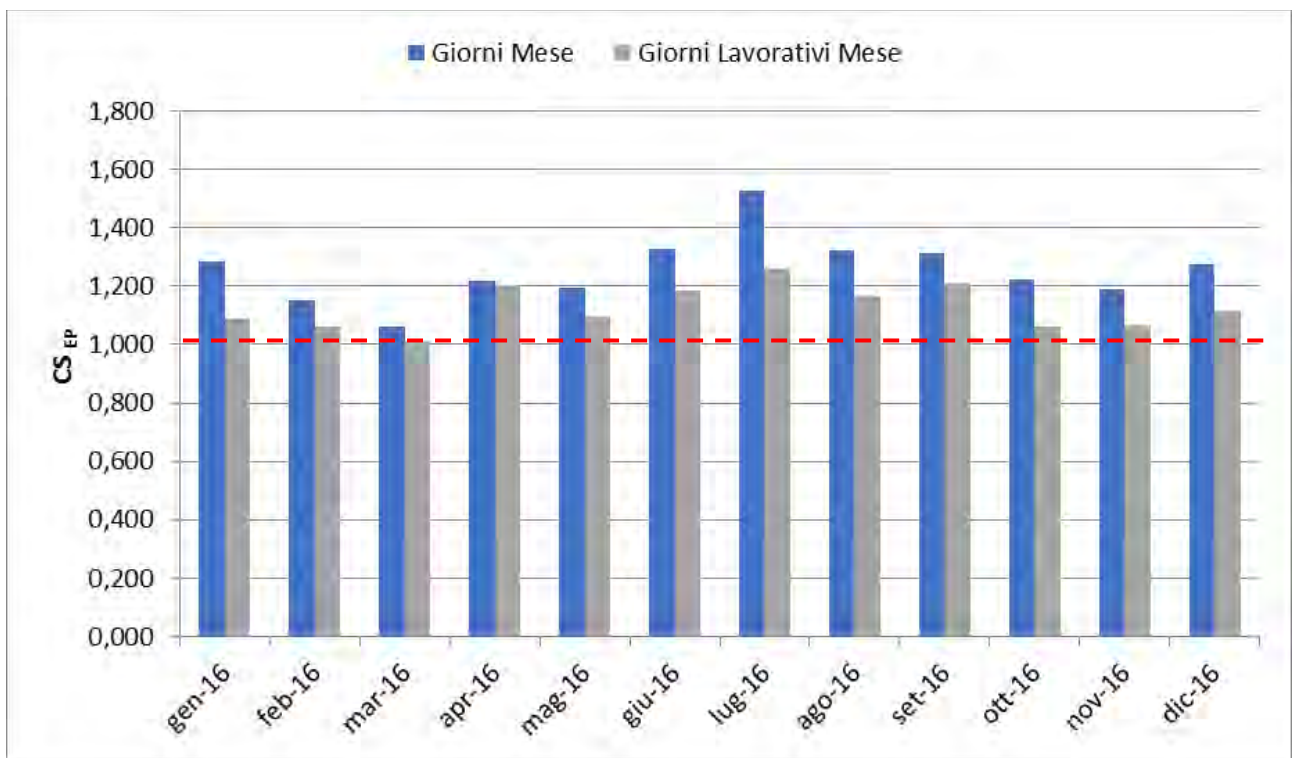


Figura 19: Andamento del consumo specifico di energia primaria per la produzione della ricotta

L'influenza di tali aspetti di incertezza emerge in maniera ancora più evidente nella distribuzione giornaliera dei consumi specifici (Figura 20).

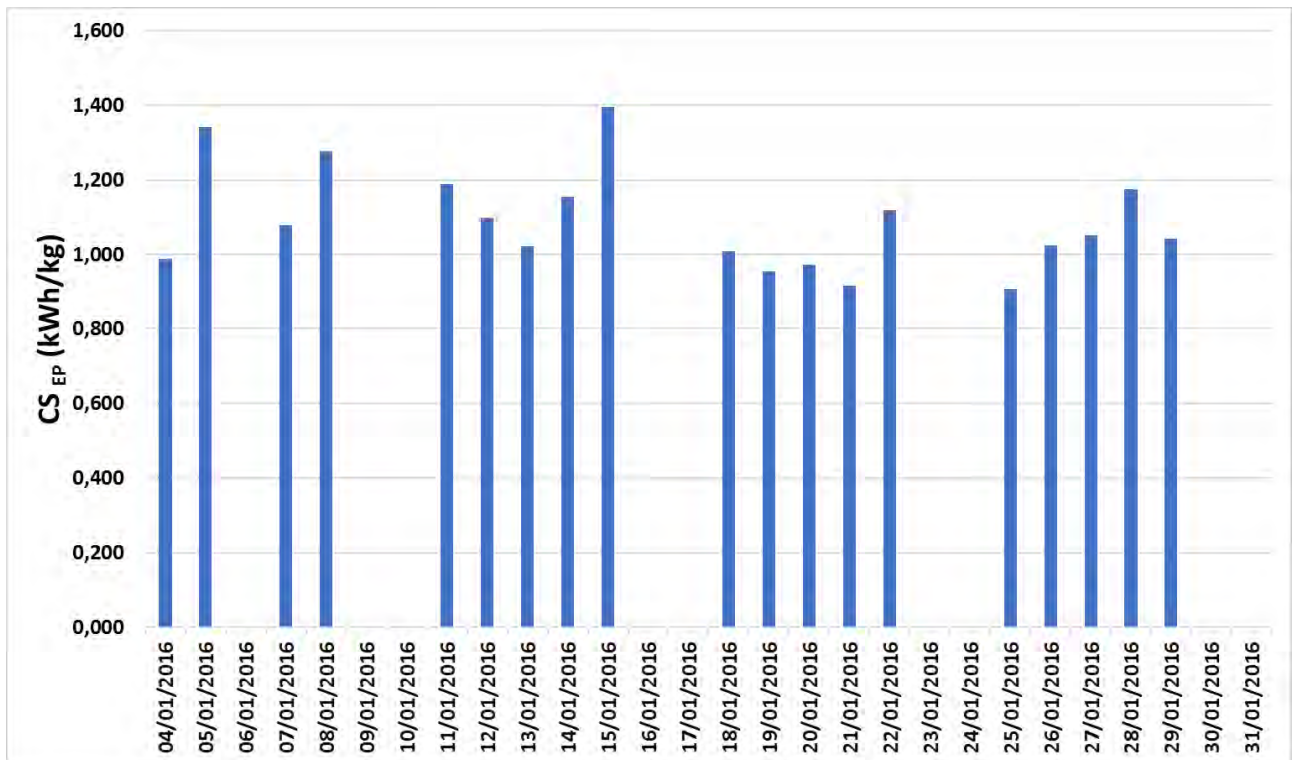


Figura 20: Andamento giornaliero dei consumi specifici di energia primaria nel processo di produzione della ricotta (Gennaio 2016)

Per determinare il consumo specifico di energia termica di processo, non si può limitare la sua valutazione ai soli consumi della caldaia, direttamente legati al processo produttivo. Tale analisi risulterebbe sovrastimare il livello di efficienza del processo, in quanto i consumi della caldaia beneficiano dell'apporto di calore dei cogeneratori in termini di preriscaldamento dell'acqua in ingresso. Non sarebbe però corretto nemmeno sommare ai consumi della caldaia quelli dei cogeneratori, in quanto parte di quei consumi viene sfruttata ai fini della produzione di energia elettrica e non termica. Non avendo a disposizione dati di monitoraggio in merito alla produzione termica dei cogeneratori, si è quindi reso necessario andare a stimare la quota parte di consumi dei cogeneratori indirettamente imputabile alla produzione di energia termica di processo. Si è a questo proposito assunto nel 2016 un rendimento globale di funzionamento dei due cogeneratori pari a quello medio annuo del 2014 (79,14% e 74,42%) e, a partire da tali rendimenti, si è stimata la produzione di energia termica dei due cogeneratori. Si è quindi potuto calcolare il consumo specifico di energia termica:

$$CS_{ET} = \frac{EP_{term,cog} + EP_{term,cald}}{Produzione_{mensile}}$$

dove $EP_{term,cog}$ e $EP_{term,cald}$ sono rispettivamente l'energia termica primaria dei cogeneratori e della caldaia.

Come si può vedere dalla Figura 21 con riferimento ai soli giorni lavorativi, il processo di produzione della ricotta presenta valori di consumo specifico al di sotto del valore di riferimento (0,552 kWh/kg) in tutto l'anno con un valore medio pari a 0,369 kWh/kg (-33% rispetto al consumo di riferimento del settore).

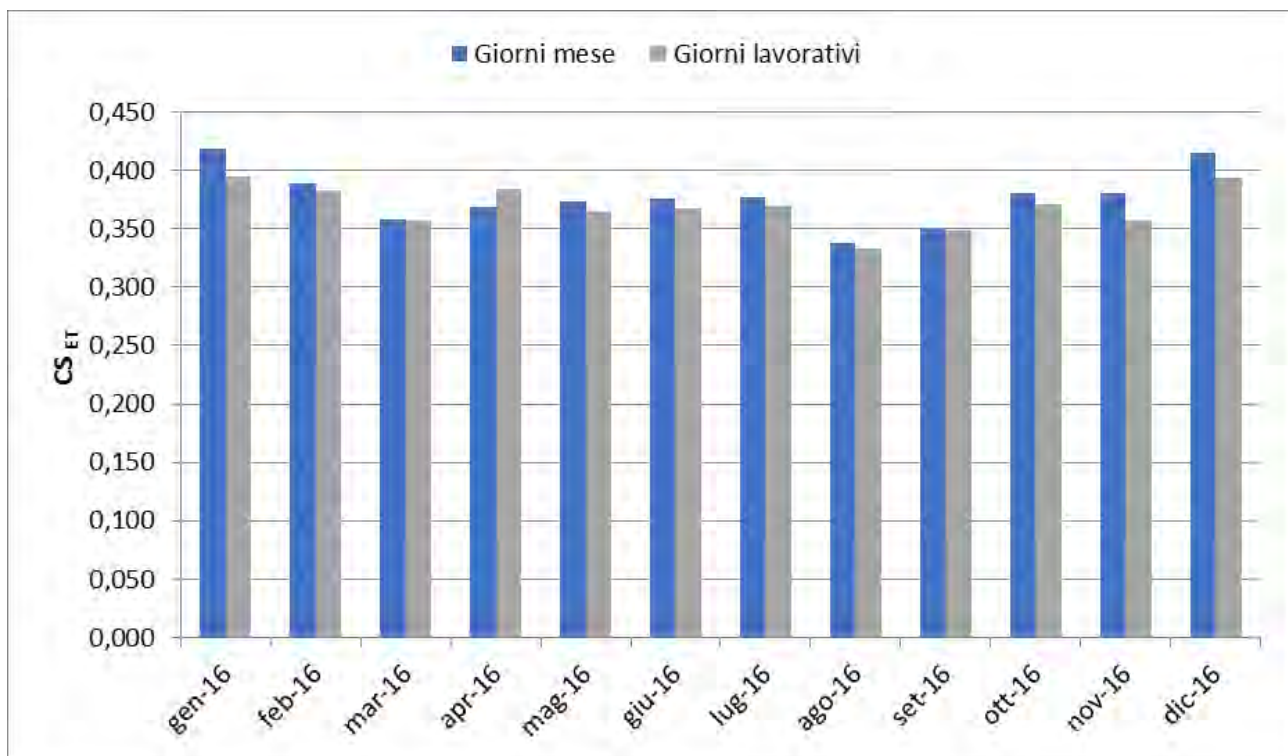


Figura 21 Consumo specifico di energia termica primaria nel processo di produzione della ricotta

Per quanto riguarda il consumo specifico di energia elettrica di processo, si è utilizzata la seguente relazione:

$$CS_{EE} = \frac{EP_{elett,cog} + EP_{elett,rete}}{Produzione_{mensile}}$$

che tiene conto sia del prelievo dalla rete che dell'auto-produzione tramite i due cogeneratori in termini di energia primaria per un confronto adeguato con i valori aggiornati degli indici di riferimento.

L'analisi su base mensile ha evidenziato un valore medio annuo del consumo specifico di energia elettrica in termini di energia primaria pari 0,759 kWh/kg, valore superiore (circa +65%) al livello di riferimento del settore caseario (0,461 kWh/kg) (Figura 22).

Tale analisi potrebbero evidenziare un livello di efficienza di processo "lato elettrico" più basso rispetto a quello "lato termico". Tuttavia si rendono necessarie alcune considerazioni:

- Per l'aggiornamento dei dati di riferimento del settore relativi al 1996, si è ipotizzato costante negli anni il rapporto tra consumi elettrici e termici. Tuttavia, l'introduzione nel settore di tecnologie ad alto livello di efficienza, come ad esempio i cogeneratori installati, ha favorito maggiormente i consumi termici di processo piuttosto che quelli elettrici. Nel caso in esame, ad esempio, i cogeneratori contribuiscono mediamente per l'8% all'apporto di energia elettrica e per circa il 25% all'apporto di energia termica al processo.
- La mancanza di una copertura totale del sistema di monitoraggio ha richiesto alcune approssimazioni nella valutazione dei consumi specifici, come ad esempio:
 - L'impossibilità di scorporare i consumi elettrici dei processi di servizio. Un'indicazione dell'importanza di questi aspetti di incertezza si ritrova nei mesi estivi ed in particolare a luglio 2016, dove si riscontra una notevole influenza dei giorni non-lavorativi in termini di consumo, nonché una possibile maggiore richiesta dei processi di servizio, dovuta alle temperature particolarmente elevate verificatesi in quel periodo.
 - La necessità di stimare per via indiretta l'effettivo apporto di energia termica dei cogeneratori al processo.

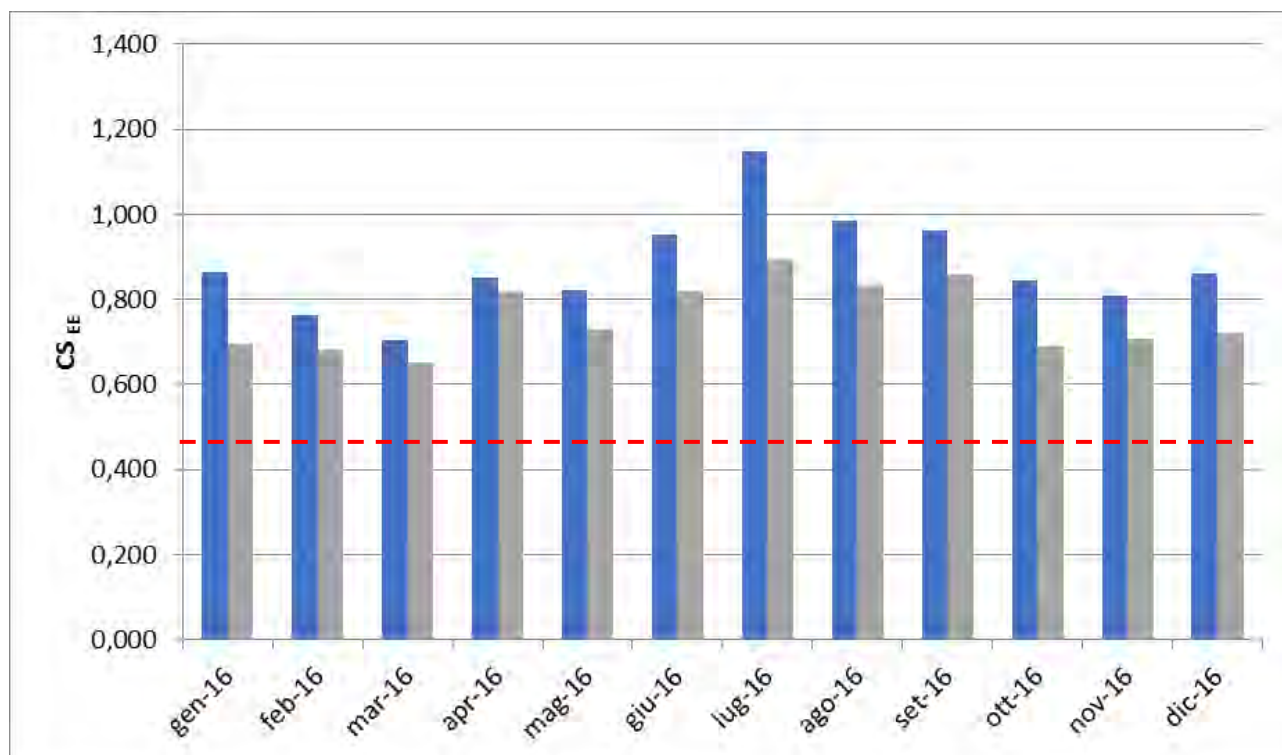


Figura 22: Andamento mensile del consumo specifico di energia elettrica [kWh/kg] nel 2016

Sulla base di queste motivazioni, i risultati dell'analisi dello stato di efficienza "lato elettrico" si ritengono ancora prematuri ed evidenziano la necessità di un potenziamento del sistema di monitoraggio.

2.4 Pianificazione della transizione

Il sistema di monitoraggio attuale presente nel Caseificio Elda srl è stato realizzato per permettere di far fronte a una serie di necessità immediate in azienda.

In primo luogo, il monitoraggio del fattore di potenza è stato previsto per la verifica che il valore di cosphi medio sia al di sopra del valore soglia indicato in contratto dal fornitore di energia elettrica ed evitare quindi il pagamento della penale prevista (delibera n. 654/2015/R/eel del 23 Dicembre 2015). Ulteriore motivazione per questa tipologia di monitoraggio è stata l'inserimento di un banco di condensatori per il rifasamento dei carichi.

In secondo luogo, il monitoraggio del consumo di GPL di cogeneratori e caldaia, nonché la registrazione dell'energia elettrica auto-prodotta e acquistata dalla rete, è stato introdotto non solo per poter valutare in dettaglio i consumi in azienda in relazione alle produzioni ma anche per semplificare le valutazioni tecniche e la raccolta dati necessari per poter accedere alla qualifica CAR (Cogenerazione ad Alto Rendimento).

Ai sensi del Decreto Legislativo n. 20 del 2007, un'unità di cogenerazione è infatti definita ad Alto Rendimento (CAR) se il valore del risparmio di energia primaria (PES) che consegue è almeno del 10% oppure se assume un qualunque valore positivo, nel caso di piccola cogenerazione (< 1 MWe) o micro-cogenerazione (< 50 kWe). L'indice PES è calcolato tramite:

$$PES = 1 - \frac{1}{\frac{CHP H_{\eta}}{REF H_{\eta}} + \frac{CHP E_{\eta}}{REF E_{\eta}}}$$

dove:

- $CHP H_{\eta}$ è il rendimento termico della produzione mediante cogenerazione, dato dal rapporto tra calore utile H_{CHP} e combustibile di alimentazione F_{CHP} per produrre calore utile ed energia elettrica da cogenerazione;
- $CHP E_{\eta}$ è il rendimento elettrico della produzione mediante cogenerazione, dato dal rapporto tra l'energia elettrica prodotta in regime di cogenerazione E_{CHP} e il combustibile utilizzato F_{CHP} ;
- $REF H_{\eta}$ è il rendimento termico di riferimento;
- $REF E_{\eta}$ è il rendimento elettrico di riferimento.

I termini da inserire nella formula del PES sono subordinati ad una serie di criteri volti a definire i confini fisici del sistema e a distinguere la potenza cogenerativa (CHP) e non cogenerativa (non CHP).

In quest'ottica quindi un sistema di monitoraggio adeguato facilita il calcolo di tale indice e l'ottenimento di tale qualifica la quale dà accesso ad una serie di vantaggi:

- Priorità di dispacciamento dell'energia elettrica (subito dopo le fonti rinnovabili);
- Esenzione delle accise sul gas naturale acquistato per il cogeneratore;
- Facilitazioni autorizzative;
- Emissione di certificati bianchi.

Alla luce delle criticità di analisi evidenziate in precedenza ed in un'ottica di transizione "smart" dell'azienda, una delle priorità in termini di aumento progressivo della copertura del sistema di monitoraggio verrà data al completamento della copertura lato impianti di generazione, ovvero:

- Cogeneratori: inserimento di 2 contabilizzatori di calore (uno per ogni modulo), per registrare l'energia termica prodotta dall'impianto sotto forma di acqua calda;
- Caldaia: inserimento di 1 contabilizzatore di calore per registrare l'energia termica prodotta dall'impianto sotto forma di acqua calda;
- Chiller: registrazione dei consumi elettrici e l'energia termica prodotta dagli impianti sotto forma di acqua fredda.

Successivamente verrà considerato un'estensione del monitoraggio per centri di costo (centrali di compressione, produzione del freddo, condizionamento ambiente, movimentazione) per scorporare i consumi a seconda delle fasi di produzione e consentire quindi l'individuazione più precisa delle zone meno efficienti di processo.

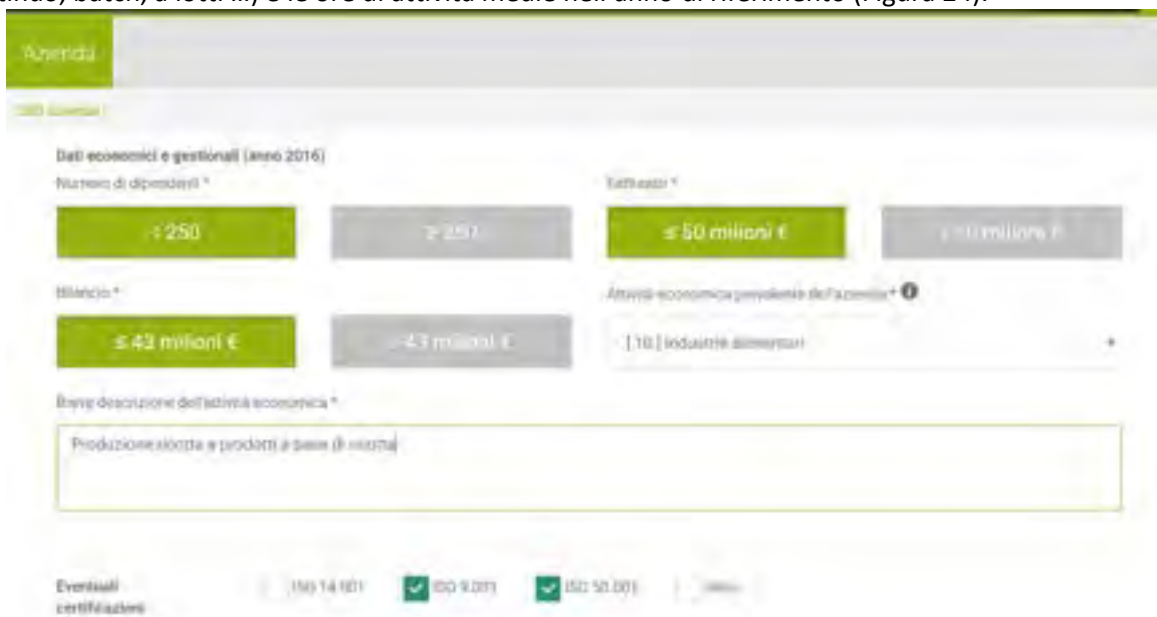
3 La piattaforma ETA

ETA è uno strumento cloud sviluppato da Acotel in collaborazione con ESCO partner per il supporto alla realizzazione delle diagnosi energetiche secondo i requisiti del D.Lgs. 102/2014.

Il software ETA elabora automaticamente una serie di indicatori per la valutazione delle prestazioni energetiche del sito - che possono essere confrontati con dei valori di riferimento settoriali - e propone una lista di progetti di efficientamento, applicabili allo specifico sito, con una valutazione economico-finanziaria di ogni intervento (payback semplice, TIR, VAN).

La compilazione è semplice, intuitiva e facilitata (tramite wizard guidato) e si realizza su moduli (form) gestiti dinamicamente in base ai dati inseriti.

Si parte da un'interfaccia in cui si inserisce l'anagrafica (Figura 23) e le caratteristiche dell'azienda e del sito in esame inserendo i principali processi produttivi che avvengono in azienda specificandone la tipologia (continuo, batch, a lotti ...) e le ore di attività medie nell'anno di riferimento (Figura 24).



Successivamente, inizia la fase di raccolta dei dati di tutti gli impianti e macchinari presenti in azienda suddivisi tra:

- Servizi generali, ovvero impianti non connessi in alcun modo alla produzione quali: illuminazione, condizionamento ambienti etc.;
- Servizi ausiliari, ovvero impianti non strettamente di processo ma necessarie e di supporto allo svolgimento dello stesso quali: motori elettrici, impianti termici, chiller, sistemi per la produzione di aria compressa etc.;
- Impianti del processo produttivo, ovvero quegli impianti necessari alla realizzazione del prodotto in azienda.

Dopo aver inserito i dati relativi agli impianti generali ed ausiliari, si passa ad analizzare il processo produttivo e gli impianti ad esso correlati (Figura 25), per ognuno dei quali si compilano delle schede di dettaglio con informazioni relative all'impianto (Figura 26) ed al suo utilizzo (Figura 27).



Figura 25 Scheda degli impianti coinvolti nel processo produttivo

Per ogni impianto del processo produttivo inserito, è necessario infatti descriverne il funzionamento specificandone il reparto di utilizzo, i dati di targa e i dati di funzionamento (ore di funzionamento, fattore di carico, flussi energetici in ingresso e prodotti in output).

Riguardo la determinazione dei valori di produzione dell'impianto (Figura 27), ETA permette di calcolarla tramite tre modalità:

- Stima, ovvero a partire da valori stimati della capacità produttiva, del fattore di carico e delle ore di funzionamento annue dell'impianto;
- Estendendo all'anno di riferimento i valori misurati tramite un monitoraggio a campione, ovvero un monitoraggio su un periodo di tempo limitato (es. una settimana, un mese ...);
- Rilevando direttamente i dati resi disponibili in caso siano disponibili misure continue per tutta la durata dell'anno di riferimento.

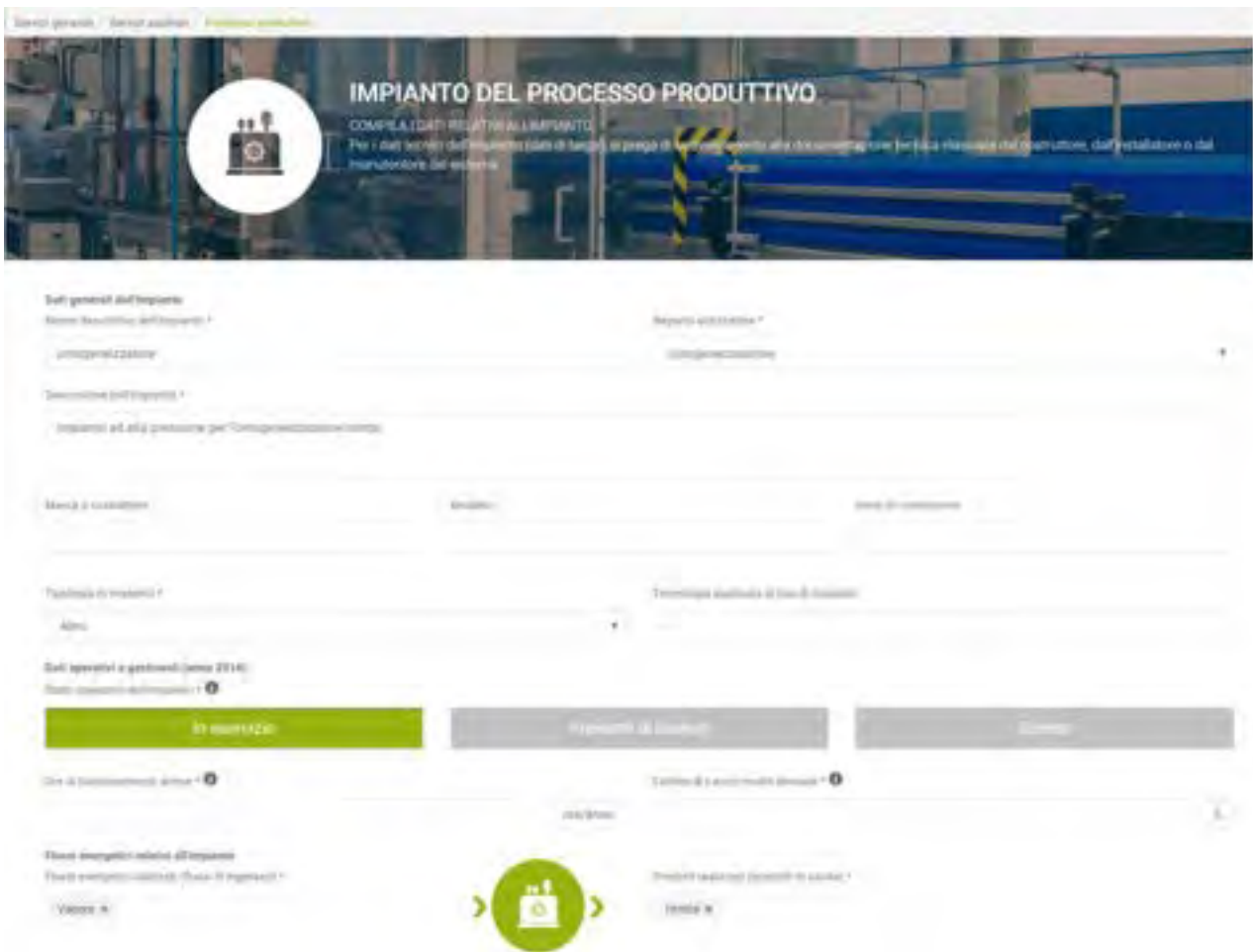


Figura 26 Esempio di scheda di dettaglio di un impianto del processo produttivo

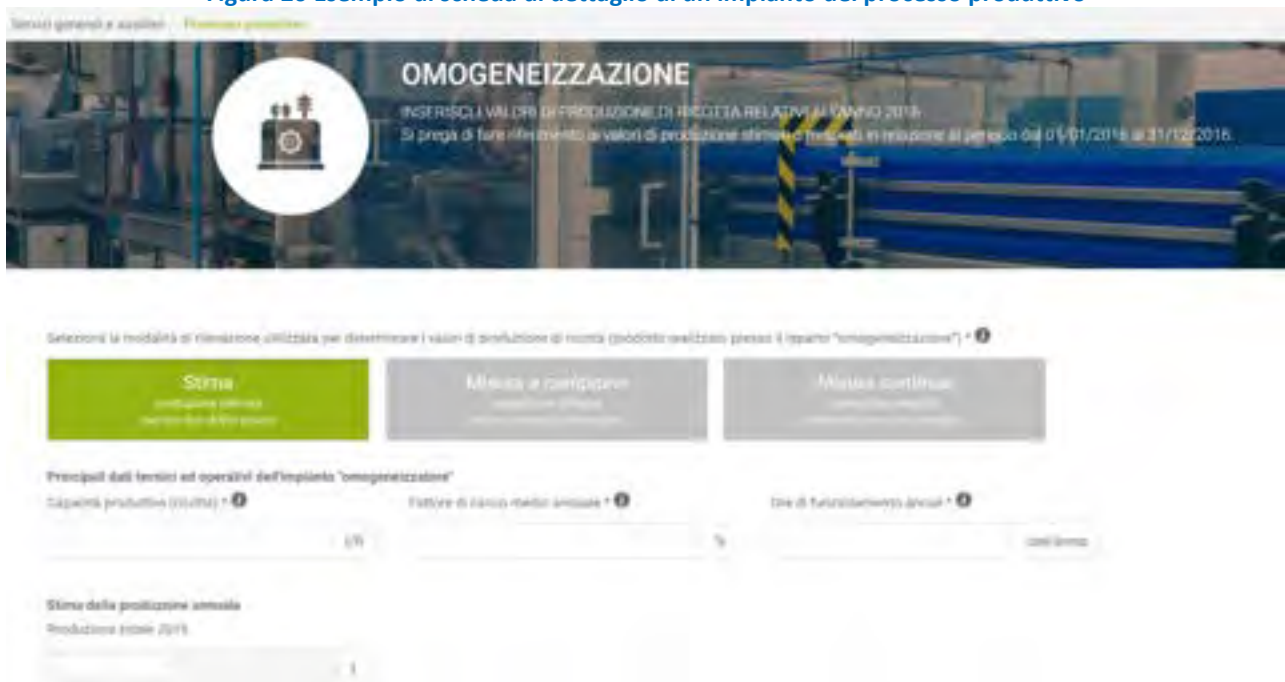


Figura 27 Esempio di scheda di dettaglio della capacità produttiva di un impianto del processo produttivo

Analogamente a quanto fatto per la produzione, anche i dati di consumo aggregati vengono definiti tramite le seguenti modalità (Figura 28):

- Dati da Fattura o Bolletta per ogni vettore energetico con dettaglio mensile;
- Da misura continua, se disponibile un sistema di monitoraggio proprio dell'azienda;
- Telemonitoraggio, se disponibile una misura continua con sistema di monitoraggio interfacciabile direttamente con ETA.



Figura 28 Esempio di scheda riassuntiva dei dati di consumo ottenuti tramite sistema di monitoraggio o telemonitoraggio

In seguito si procede alla creazione del “Modello energetico aziendale”: tale modello prevede la stima dei consumi di tutti gli impianti inseriti nelle sezioni precedenti tramite tre modalità:

- Stima a partire dai dati di targa e di funzionamento degli impianti inseriti;
- Da misura continua, se disponibile un misuratore del consumo dedicato al singolo impianto proprio dell'azienda;
- Telemonitoraggio, se disponibile una misura continua del consumo dell'impianto con sistema di monitoraggio interfacciabile direttamente con ETA.

I dati di consumo così ricavati costituiscono il modello energetico dell'azienda che si considera validato se confrontando tali consumi con quelli ricavabili dalle bollette l'errore commesso risulta inferiore al 5%. Sulla base del fabbisogno energetico e degli impianti presenti in azienda, ETA elabora lo stato di efficienza dell'azienda rispetto al settore industriale di riferimento ed un report di diagnosi energetica secondo i requisiti del D.Lgs. 102/2014 con proposte di interventi di efficienza energetica.

I possibili interventi di efficienza energetica comprendono le seguenti tecnologie e soluzioni:

- Doppi vetri e isolamento pareti
- Inserimento inverter su compressori
- Sostituzione motori e rifasamento
- Sostituzione pompe e ventilazione
- Inserimento LED
- Sostituzione di chiller
- Sostituzione UPS
- Inserimento ORC
- Recupero termico tramite economizzatore
- Controlli avanzati per forni di riscaldamento

- Cogenerazione
- Ossicombustione
- Inserimento di pompe di calore
- Recupero termico da compressori
- Caldaie ad alta condensazione
- Solare termico e fotovoltaico

Ogni intervento applicabile al caso in esame viene automaticamente proposto e analizzato in dettaglio in termini di risparmio annuo ottenibile, eventuali titoli di efficienza energetica acquisibili, parametri economici (tempo di ritorno dell'investimento, VAN e TIR) nonché attività e tempi di implementazione, eventuali criticità e tipologia di monitoraggio richiesto.

Ad ogni intervento viene assegnato poi un punteggio sulla base di una valutazione economico-finanziaria ed una valutazione realizzata che consente di stabilire un ordine finale di priorità (Figura 29).

Intervento proposto	VAN/I	Punteggio (0 – 10)
L'intervento proposto riguarda la sostituzione dei corpi illuminanti presenti con corpi illuminanti a tecnologia led. La valutazione considera gli specifici requisiti di illuminamento richiesti per la determinata destinazione d'uso del locale oggetto di intervento. Viene fornita una stima dei principali indicatori economici e finanziari necessari per valutare l'applicazione dell'intervento sia sul singolo impianto interessato, sia complessivamente.	XXX	7.125
L'intervento proposto riguarda il rifasamento distribuito delle utenze elettriche (motori elettrici) al fine di raggiungere un fattore di potenza almeno pari a 0,9. Si riducono in tal modo gli assorbimenti di energia reattiva che comportano una potenza attiva disponibile minore oltre ad eventuali penali applicate dal distributore di energia elettrica. Viene fornita una stima dei principali indicatori economici e finanziari necessari per valutare l'applicazione dell'intervento sia sul singolo impianto interessato, sia complessivamente.	XXX	7
L'intervento proposto riguarda la sostituzione dei sistemi refrigeranti attualmente installati con impianti analoghi più efficienti. A parità di produzione di energia frigorifera viene valutata sia la sostituzione con tecnologia analoga all'esistente, sia la sostituzione con tecnologia diversa. Viene fornita una stima dei principali indicatori economici e finanziari necessari per valutare l'applicazione dell'intervento sia sul singolo impianto interessato, sia complessivamente.	XXX	3.25

Figura 29 Esempio di tabella con gli interventi di efficientamento proposti con il relativo punteggio

4 Conclusioni

Nel secondo anno di attività è cominciata la fase di sperimentazione delle azioni necessarie al processo di transizione del settore industriale verso Industria 4.0 con particolare riferimento alle PMI, per le quali l'entità delle spese di installazione di un adeguato sistema di monitoraggio, con tempi di rientro spesso elevati, e la mancanza di consapevolezza dei benefici diretti ed indiretti ad esso correlati, frena l'evoluzione verso un'industria più "smart".

Come oggetto della sperimentazione si è scelta una PMI della provincia di Verona, "Caseificio Elda srl", che si occupa della produzione di ricotta e prodotti a base di ricotta.

Dato il settore in cui opera e la particolarità del processo produttivo, l'azienda necessita di produzione sia di caldo (produzione della ricotta, processo di omogeneizzazione, ...) che di freddo (conservazione e refrigerazione dei prodotti caseari) oltre che di fornitura di energia elettrica per il funzionamento dei macchinari.

Proprio per questo motivo, il Caseificio Elda srl è risultato essere un candidato ideale per l'attività di sperimentazione volta a dimostrare come il raggiungimento di elevati standard di efficienza debba necessariamente passare attraverso un sistema di monitoraggio evoluto che consenta di valutare e tenere monitorato lo stato di efficienza dell'azienda.

La valutazione di tale stato ha presentato due criticità: da un lato la necessità di stabilire un "riferimento" in termini di livello di efficienza nell'ambito del medesimo settore produttivo, dall'altro la necessità di capire se il sistema di monitoraggio installato in azienda fosse sufficiente ad effettuare valutazioni precise di efficienza o se dovesse essere integrato con ulteriore strumentazione.

In primo luogo quindi si è condotto uno studio finalizzato all'individuazione dei consumi tipici dell'industria alimentare-casearia con identificazione degli indici di benchmark più utilizzati nel settore alimentare-caseario. Se da un lato si sono ritrovati indici di benchmark consolidati nel settore, dall'altro si sono riscontrate difficoltà nell'identificazione di valori di riferimenti per tali indici adeguati al contesto produttivo del Caseificio e al livello di evoluzione tecnologica del settore caseario italiano. Le motivazioni principali sono risultate essere numerose, tra cui: molteplicità di processi produttivi del settore (formaggi stagionati, formaggi freschi, burro, yogurt, latte, ecc.) caratterizzati ciascuno da diverse fasi di processo; significative differenze di valore del medesimo settore industriale tra i vari Paesi; significativa influenza del metodo di analisi utilizzato per la determinazione dei valori; influenza dell'evoluzione tecnologica nel paese di riferimento. In questo contesto frammentato e particolareggiato, si è deciso di prendere a riferimento uno studio di ENEA del 1996, molto particolareggiato in termini di processo produttivo. I valori forniti dallo studio sono quindi stati opportunamente aggiornati per tenere conto da un lato dell'evoluzione tecnologica del settore italiano tramite un indice annuale di riduzione dei consumi, dall'altro delle specificità del processo produttivo del Caseificio Elda, come ad esempio l'utilizzo di siero come materia prima di processo. Si è quindi passati ad analizzare in primo luogo i consumi dell'Azienda e quindi lo stato di efficienza della parte di processo monitorata mediante confronto con il settore di riferimento sulla base degli indici di benchmark precedentemente definiti. Tale analisi ha confermato l'importanza della presenza di un sistema di monitoraggio in azienda in quanto i soli dati aggregati forniti dalle fatture dei fornitori (energia elettrica e GPL) non avrebbe consentito in alcun modo un'adeguata valutazione dello stato di efficienza. Grazie al sistema di monitoraggio posto in essere, è stato possibile invece effettuare un'analisi preliminare del livello di efficienza del processo che è risultato essere sostanzialmente in linea con il settore di riferimento. Sono emerse poi possibili "inefficienze" nella gestione dell'energia elettrica, ma assolutamente da verificare a causa della limitata copertura del sistema di monitoraggio attualmente in essere. Alcune criticità legate alla mancanza di un monitoraggio completo sono risultate essere: l'impossibilità di determinare adeguatamente l'apporto dei cogeneratori alla produzione di energia termica dell'impianto, l'impossibilità di scorporare i consumi legati ai processi di servizio; l'impossibilità di dettagliare maggiormente l'analisi sulle varie fasi di processo.

In base alle criticità evidenziate, si è quindi pianificato il potenziamento del sistema di monitoraggio per arrivare ad una copertura significativa dell'azienda che ne guidi la transizione in una logica "smart". Una volta potenziato il sistema di monitoraggio, i dati di misura acquisiti potranno essere automaticamente inviati alla piattaforma ETA che elaborerà una serie di indicatori per la valutazione delle prestazioni energetiche del sito – da confrontare con i valori di riferimento del settore - e proporrà una lista di progetti di efficientamento, applicabili allo specifico sito, con una valutazione economico-finanziaria di ogni intervento (payback semplice, TIR, VAN) accompagnata da un ordine di priorità di intervento.

5 Riferimenti bibliografici

- [1] C.A. Ramirez, M. Patel, K. Blok (2006). From fluid milk to milk powder: Energy use and energy efficiency in the European dairy industry. *Energy*, vol. 31, pp. 1984-2004
- [2] R. Briam, M. Walker, E. Masanet (2015). A comparison of product-based energy intensity metrics for cheese and whey processing. *Journal of Food Engineering*, vol. 151, pp. 25-33
- [3] ENEA, 1996. "Uso razionale dell'energia nel settore Lattiero-Caseario"
- [4] T. Xu, J. Flapper, K.J. Kramer (2009). Characterization of energy use and performance of global cheese processing. *Energy*, vol. 34, pp. 1993-2000.