



Ricerca di Sistema elettrico

## Evoluzione “smart” di una PMI tramite aumento progressivo della copertura del sistema di monitoraggio: analisi di un caso studio industriale nel settore caseario

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



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PADOVA



impotec  
INGEGNERIA E TECNOLOGIE INNOVATIVE

## 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. Ardizzone (Dipartimento di Ingegneria Industriale - Università degli Studi di Padova)

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

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

Settembre 2018

### Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Annuale di Realizzazione 2017

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: campagna sperimentale di acquisizione dati tramite monitoraggio dei flussi energetici di un'azienda del settore caseario"

Responsabile scientifico ENEA: Ing. Nicolandrea Calabrese

Responsabile scientifico Università di Padova: Prof. Cavazzini Giovanna

## Indice

1	INTRODUZIONE .....	4
2	SINTESI DELLE ATTIVITÀ SVOLTE E DEI RISULTATI OTTENUTI .....	6
2.1	DESCRIZIONE DEL CASO STUDIO: IL CASEIFICIO ELDA SRL.....	6
2.2	PRODUZIONE DELLA RICOTTA .....	7
2.3	POTENZIAMENTO DEL SISTEMA DI MONITORAGGIO DEL CASEIFICIO ELDA.....	8
2.4	ANALISI DELLO STATO DI EFFICIENZA ENERGETICA DELL'AZIENDA NEL PERIODO 2017 - 2018.....	11
2.4.1	<i>Analisi di consumo</i> .....	11
2.4.2	<i>Indici di benchmark</i> .....	14
3	IDENTIFICAZIONE E VALUTAZIONE DI UN POSSIBILE INTERVENTO DI EFFICIENTAMENTO .....	17
3.1	RISPARMI CONSEGUITI E VALUTAZIONE TECNO-ECONOMICA .....	20
3.2	IPOTESI DI MODIFICA DELL'IMPIANTO CON UN INSERIMENTO DI UN MODULO DA 130kW PER LA TRIGENERAZIONE .....	22
4	ALGORITMO A SUPPORTO DELL'EVOLUZIONE "SMART" DEL SISTEMA DI MONITORAGGIO NELLE PMI .....	24
4.1	<i>SISTEMI DI MONITORAGGIO E PMI</i> .....	24
4.2	<i>BARRIERE ALL'ADOZIONE DI UN SISTEMA DI MONITORAGGIO</i> .....	25
4.3	<i>ALGORITMO DI ANALISI DEL MONITORAGGIO ENERGETICO</i> .....	25
5	CONCLUSIONI.....	29
6	RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI .....	30

# 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 è quello di fornire delle linee guida per guidare la transizione aziendale verso un logica “smart”, tramite l’utilizzo di sistemi smart di monitoraggio e piattaforme on-line di efficientamento energetico, al fin 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. Il software sviluppato, tramite un’interfaccia di inserimento guidato, 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).

MOTORI - OUTPUT			
Azienda	a		
Progetto	a		
Operatore	a		
Revisione	a		
Data	12-dic-16		
<b>STIMA RISPARMI</b>			
	Sostituzione con IE3	Sostituzione con IE4	
Rendimento pre-intervento	93.32%	-	-
Rendimento post-intervento	94.49%	95.68%	-
Delta Rendimento	1.17%	2.36%	-
Consumo annuale pre	302,794		kWh/anno
Consumo annuale post	299,044	295,333	kWh/anno
Risparmi elettrici	3,750	7,461	kWh/anno
Risparmio Energia primaria	0.70	1.40	tep/anno
Risparmio Economico	€ 562.43	€ 1,119.08	€/anno
<b>STIMA INCENTIVI</b>			
	Sostituzione con IE3	Sostituzione con IE4	
Risparmio Lordo	0.00	0.69	tep/anno
TEE generati	0.00	1.84	TEE/anno
Soglia superata?	NO	NO	
<b>ANALISI ECONOMICA</b>			
	Sostituzione con IE3	Sostituzione con IE4	
Investimento	€ 3,809.91	€ 4,381.40	[€]
Tempo di ritorno	6.77	3.92	[anni]
TIR	-9%	9%	[%]
VAN (5 anni)	-€ 1,359.19	€ 313.74	[€]
Indice di Profitto	-0.357	0.072	[-]
Costo dell'Energia Conservata	0.24	0.14	[€/kWh]

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			
Azienda	a		
Progetto	a		
Operatore	a		
Revisione	a		
Data	12-dic-16		
<b>Valutazione indicatori</b>			
1. Aspetto economico (Investimento, PB, TIR, CEC)			
	Sostituzione con IE3	Sostituzione con IE4	
CEC	0.241	0.139	€/kWh
Controllo CEC > p_el	NO	SI	
Valutazione economica	3.75	6.875	
2. Aspetto realizzativo (Facilità di implementazione)			
	Sostituzione con IE3	Sostituzione con IE4	
Valutazione realizzativa	8.75	8.75	
<b>Valutazione complessiva</b>			
	Sostituzione con IE3	Sostituzione con IE4	
Valutazione globale	4.75	7.25	
<b>Modalità di valutazione</b>			
>8	Valutazione ottima		
6-8	Valutazione buona		
4-6	Valutazione discreta		
2-4	Valutazione bassa		
<2	Valutazione scarsa		

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

L’obiettivo dell’analisi non era solo quello 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 così da facilitare il confronto tra interventi con caratteristiche di

investimento e di realizzazione diverse, seguendo la logica di fondo della piattaforma commerciale ETA, applicata al caso studio del progetto.

Nel secondo anno di attività è stata avviata la fase di sperimentazione delle azioni necessarie al processo di transizione del settore industriale verso Industria 4.0 ed in particolare la necessità di adottare un sistema di monitoraggio “smart” a copertura progressiva che fornisca 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 al settore in cui l’azienda si trova ad operare, ma potrebbe essere integrato con piattaforme on-line come ETA 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”.

Come oggetto della sperimentazione si è quindi scelta proprio una PMI del settore lattiero-caseario, l’azienda “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 e dei sottoprodotti secondari) oltre che di fornitura di energia elettrica per il funzionamento dei macchinari.

Dopo uno studio dell’azienda, del suo processo produttivo e dei vettori energetici utilizzati, si sono individuate le aree che necessitavano dell’installazione di strumentazione al fine di consentire un monitoraggio più puntuale dei flussi energetici.

Per comprendere poi il livello di efficienza dell’azienda, si è condotto uno studio finalizzato all’individuazione dei consumi tipici dell’industria lattiero-casearia con identificazione di indici di benchmark e di valori di riferimento per tali indici. L’azienda ha dimostrato di avere un buon livello di efficienza con indici di benchmark nella media con il settore di riferimento.

Il terzo anno di lavoro ha visto da una parte il potenziamento del sistema di monitoraggio per arrivare ad una copertura significativa dell’azienda così da guidarne la transizione in una logica “smart”; dall’altra, lo sviluppo di un algoritmo a supporto dell’evoluzione di una PMI in un’ottica “smart”.

Innanzitutto, sono stati individuati i punti di interesse per raggiungere una copertura significativa dei flussi energetici in azienda in relazione alle attività di produzione. I flussi energetici non coperti da monitoraggio in precedenza e ora inclusi sono:

- Energia termica prodotta da ciascuno dei due cogeneratori (preriscaldamento dell’acqua in ingresso nella caldaia)
- Energia termica prodotta dalla caldaia (vapore)
- Energia elettrica assorbita dai chiller, vasca dell’acqua gelida, compressori, linee di produzione e dal tunnel a freecooling.

Ad ognuna delle grandezze da misurare (portate, temperature, potenze etc..) nei punti d’interesse è stato associato lo strumento di misura adatto al monitoraggio in continua.

Il sistema di monitoraggio è stato realizzato in modo tale da:

- Integrarsi al sistema già presente in azienda
- Realizzare una copertura efficace e significativa dei flussi energetici in modo tale da poter analizzare il livello di efficienza energetica dell’azienda sia lato produzione dei vettori energetici (caldaia Cogeneratori) che dal punto di vista delle utenze principali (linee di produzione, chillers, compressori etc..)

Grazie a questa integrazione, sarà possibile per l’azienda individuare in maniera precisa:

- Processi/impianti prioritari a livello di consumi energetici;
- Anomalie: zoccolo dei consumi notturni, consumi nel weekend, picchi di consumo;
- Indici di benchmark specifici sul processo o sull’impianto per verifica dei livelli di efficienza energetica.

Oltre a ciò si è valutato un intervento di efficienza da implementare in azienda che prevede la trasformazione dell'impianto di cogenerazione in un impianto di trigenerazione, dimensionato sui fabbisogni dell'azienda stessa (Capitolo 3).

Sulla base dell'esperienza maturata con il caso studio, si sono infine definite implementate in un algoritmo delle linee guida che supportino le PMI in una transizione sostenibile verso un sistema di monitoraggio "smart" (Capitolo 4).

## 2 Sintesi delle attività svolte e dei risultati ottenuti

### 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) e specializzata nella produzione della ricotta, di cui è diventata una delle aziende produttrici leader in Italia.

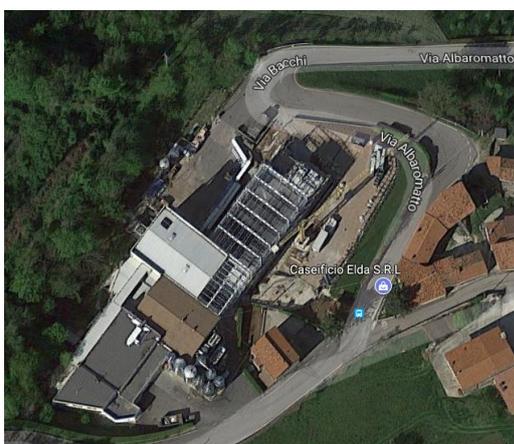


Figura 3 L'azienda Caseificio Elda srl



Figura 4 Moduli Cogenerativi

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.

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 a bassa temperatura (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 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 4), operanti a punto fisso:

- 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, mentre l'energia termica recuperata dal sistema di raffreddamento del motore e dai fumi viene utilizzata per il preriscaldamento dell'acqua a bassa temperatura. L'acqua preriscaldata ad 80°C viene inviata alla caldaia per la produzione di vapore ad uso di processo.

**Tabella 1: dati di targa dei Moduli Cogenerativi**

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

#### 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 chiller 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.

#### Aria Compressa

In azienda è presente una centrale per la produzione di aria compressa composta da due compressori Atlas Copco, di cui uno di tipo rotativo a vite lubrificato a basso consumo energetico con motore elettrico di classe energetica IE3, mentre l'altro a vite lubrificata ed è regolato ad inverter.

## 2.2 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 cagliata<sup>1</sup> durante la caseificazione.

Nel caso del caseificio Elda il siero, prodotto di input del processo, viene acquistato da terzi, raffreddato mediante uno scambiatore a piastre servita dai chiller 3 e 4 e stoccato in serbatoi. 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)
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 1 - Freecooling: tunnel che utilizza aria esterna convogliata per ottenere un primo raffreddamento dei prodotti.
  - b. Magazzino refrigerato: al termine del Tunnel 1 una sonda rileva la temperatura dei prodotti e ricalcola i tempi minimi per la completa refrigerazione, effettuata tramite i chiller 1 e 2

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

Il processo quindi prevede richiesta sia di calore che di freddo, richieste a cui si aggiungono le necessità di riscaldamento e raffrescamento lato utenze.

### 2.3 *Potenziamento del sistema di monitoraggio del Caseificio Elda*

Il sistema di monitoraggio presente in azienda consentiva una copertura parziale dei flussi energetici con misure ogni 15 minuti nei seguenti punti:

- Alla cabina elettrica: gruppo di misura multiorario di Enel Distribuzione di tipo ELSTER A1700 provvisto di scheda ES per registrare il consumo elettrico aziendale ed il fattore di potenza (CosPhi). Il contatore elettrico è accessibile (non blindato) e provvisto di sistema per l'acquisizione dei flussi di energia elettrica scambiati con la rete.
- Ai cogeneratori e al generatore di vapore: lettori di consumo GPL omologati dalle dogane - marca Dresser, certificati MID – dotati di sensori per telettura di tipo TDX a cui è collegato il sistema di acquisizione.

I dati rilevati da tale sistema sono stati utilizzati durante le attività del secondo anno per effettuare una prima analisi dei consumi dell'azienda al fine di definirne il livello di efficienza rispetto ai consumi tipici (valori di benchmark) di aziende del settore caseario.

Per effettuare tale valutazione è stato in primo luogo necessario stabilire un "riferimento" in termini di livello di efficienza nell'ambito del medesimo settore produttivo, aggiornando i dati relativi al settore caseario italiano e definendo dei valori di riferimento per processi produttivi della ricotta a partire da siero acquisito come input di processo. In secondo luogo, si è proceduta alla determinazione dello stato di efficienza dell'azienda a partire dai dati di monitoraggio disponibili. I risultati dell'analisi effettuata hanno evidenziato come la strumentazione installata non permettesse un livello approfondito di analisi. Il sistema di monitoraggio era infatti stato pensato per far fronte ad alcune necessità immediate dell'azienda, ovvero:

- Il monitoraggio del consumo di GPL di cogeneratori e caldaia, nonché la registrazione dell'energia elettrica auto-prodotta e acquistata dalla rete per semplificare le valutazioni tecniche e la raccolta dati necessari per poter accedere alla qualifica CAR (Cogenerazione ad Alto Rendimento).
- La verifica degli importi in bolletta (energia elettrica e GPL);
- Il monitoraggio del fattore di potenza per evitare il pagamento di penali e per l'inserimento di un banco di condensatori per il rifasamento dei carichi.

Dal punto di vista della copertura dell'azienda, il sistema di monitoraggio quindi presentava i seguenti limiti:

- Per quanto riguarda gli impianti cogeneratori era monitorata la sola produzione di energia elettrica e i consumi di GPL, tralasciando il monitoraggio della produzione termica.
- Non era possibile monitorare i consumi energetici con dettaglio disaggregato sugli impianti di produzione, su quelli ausiliari e sui servizi generali (uffici, riscaldamento ambienti, UTA ...).

Il terzo anno di attività si è quindi focalizzato sull'analisi del sistema di monitoraggio in essere finalizzata all'individuazione dei punti da integrare al fine di ottenere una copertura completa dei consumi dell'azienda lato generazione (caldaia e impianti cogenerativi) e lato processo, includendo anche il monitoraggio di impianti ausiliari e di servizio quali compressori, chiller, freecooling, UTA che di intere linee di produzione.

In Tabella 2 e Tabella 3 sono specificati i nuovi punti di misura e relativi strumenti individuati ed installati in Elda, di cui si può vedere relativa documentazione fotografica da Figura 5 a Figura 10.

In ciascun punto di misura è stata inoltre prevista strumentazione aggiuntiva (Gateway - Figura 10) per l'invio dei dati raccolti alla piattaforma di visualizzazione web.

**Tabella 2: Strumenti integrativi - Impianti di generazione**

<b>Impianto</b>	<b>Vettore</b>	<b>Misuratori</b>
<b>CHP 30 kW</b>	Energia termica (acqua calda)	Misuratore di portata
		Contabilizzatore Energia Termica
		Sonde di temperatura
<b>CHP 30 kW</b>	Energia termica (acqua calda)	Misuratore di portata
		Contabilizzatore Energia Termica
		Sonde di temperatura
<b>Caldaia</b>	Energia termica (vapore)	Misuratore di portata
		Contabilizzatore Energia Termica
	Energia Elettrica	Wattmetro

**Tabella 3: Strumenti integrativi - UtENZE**

<b>Impianto</b>	<b>Vettore</b>	<b>Misuratori</b>
<b>CIP - Lavaggi</b>	Energia termica (vapore)	Misuratore di portata
		Contabilizzatore Energia Termica
		Sonde di temperatura
<b>2 x UtENZE vapore processo</b>	Energia termica (vapore)	Misuratore di portata
		Contabilizzatore Energia Termica
		Sonde di temperatura
<b>Circuito H2O Sanitaria</b>	Energia termica (acqua calda)	Misuratore di portata
		Contabilizzatore Energia Termica
		Sonde di temperatura
<b>Serbatoio Blocco 2</b>	Energia termica (acqua calda)	Misuratore di portata
		Contabilizzatore Energia Termica
		Sonde di temperatura
<b>UTA</b>	Energia termica (acqua calda)	Misuratore di portata
		Contabilizzatore Energia Termica
		Sonde di temperatura
<b>Processo Scarico</b>	Energia Elettrica	Wattmetro
<b>Reparto produzione</b>	Energia Elettrica	Wattmetro
<b>Compressori</b>	Energia Elettrica	Wattmetro
<b>Chiller 1</b>	Energia Elettrica	Wattmetro
<b>Chiller 2</b>	Energia Elettrica	Wattmetro
<b>Chiller 3</b>	Energia Elettrica	Wattmetro
<b>Chiller 4</b>	Energia Elettrica	Wattmetro
<b>Chiller Vasca Acqua Gelida</b>	Energia Elettrica	Wattmetro
<b>Tunnel raffreddamento 1</b>	Energia Elettrica	Wattmetro
<b>Tunnel raffreddamento 2</b>	Energia Elettrica	Wattmetro



Figura 5 Assorbimento elettrico alla caldaia



Figura 6 Energia Termica ai cogeneratori



Figura 7: Misuratore energia termica – Linea Vapore al processo

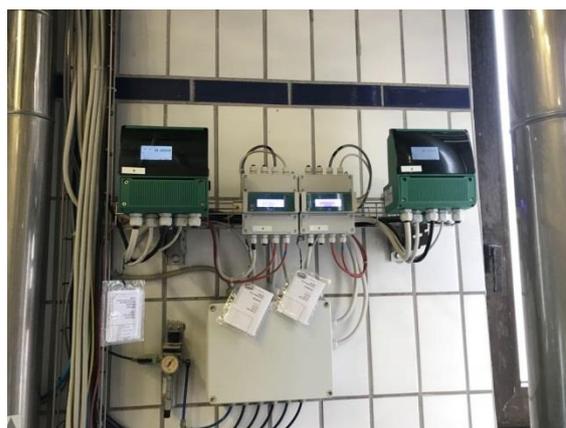


Figura 8: Misuratori di consumi elettrici dei reparti di produzione



**Figura 9: Misuratori di energia termica dei reparti di produzione**



**Figura 10: Gateway e misuratori assorbimento elettrico chillers**

## 2.4 Analisi dello stato di efficienza energetica dell'azienda nel periodo 2017 - 2018

Come per il 2016, l'obiettivo dell'analisi era quello di definire e monitorare i flussi energetici dell'azienda al fine di confermare i livelli di efficienza, determinati per il 2016, nonché individuare eventuali possibili interventi di efficientamento.

### 2.4.1 Analisi di consumo

I dati di consumo del 2016 sono stati aggiornati ed integrati con quelli forniti dal sistema di monitoraggio nel 2017 ed in parte del 2018.

Per quanto riguarda l'energia elettrica, il consumo annuo evidenzia un trend a salire per il 2017 con un fabbisogno totale superiore ai 2 GWh (+16% rispetto al 2016), trend che viene confermato per i primi 5 mesi del 2018 dove il consumo si attesta sui 923 MWh superiore al totale dei primi 5 mesi del 2017 (805 MWh, +15%) (Figura 11 e Figura 12).

L'andamento dei consumi è abbastanza uniforme nei mesi con una media di circa 179,3 MWh nel 2017 e 196,2 MWh nel 2018 ed un incremento incentrato nel periodo da maggio ad ottobre. Il contributo medio mensile al fabbisogno elettrico da parte dei due cogeneratori si ferma al 7%-8% sia nel 2017 che nel 2018.

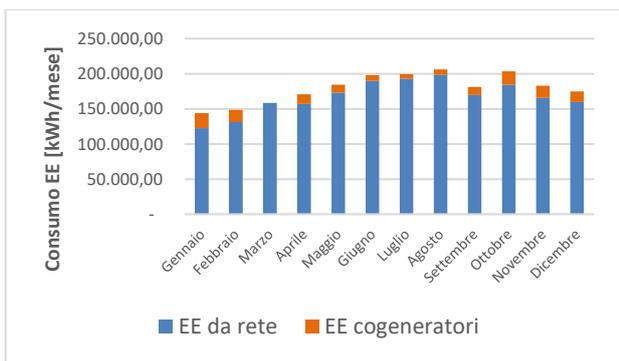


Figura 11: Andamento dei consumi mensili di energia elettrica nell'anno 2017

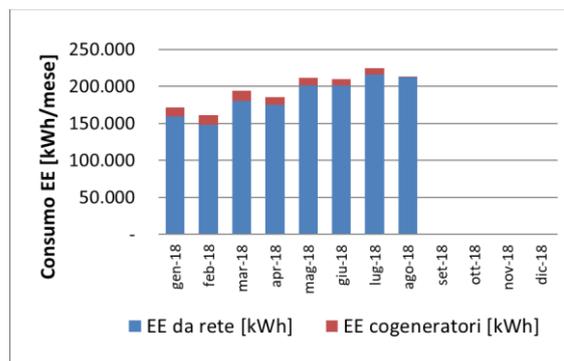


Figura 12: Andamento dei consumi mensili di energia elettrica nell'anno 2018

Per quanto riguarda invece i consumi di energia termica, si possono valutare a partire dal GPL consumato rispettivamente dai cogeneratori e dalla caldaia (Figura 13 e Figura 14). Come si può osservare, anche in questo caso, i consumi sono limitatamente influenzati dalla stagionalità con una media mensile di circa 14400 e 15500 kg di GPL consumato rispettivamente nel 2017 e nel 2018. Si nota solo una riduzione dei consumi nel periodo estivo (Giugno-Settembre).

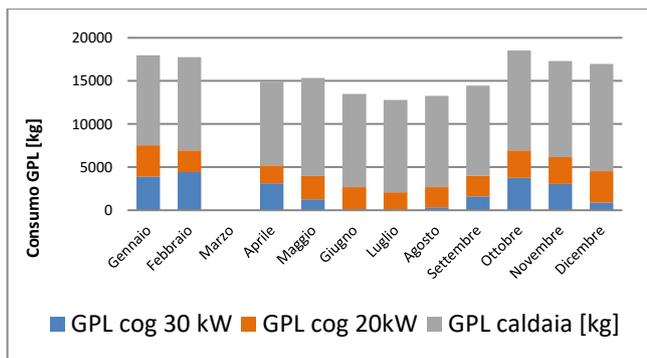


Figura 13: Andamento dei consumi mensili di GPL nell'anno 2017 della caldaia e dei cogeneratori

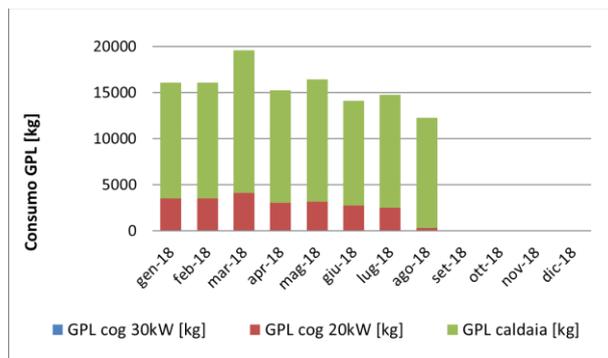
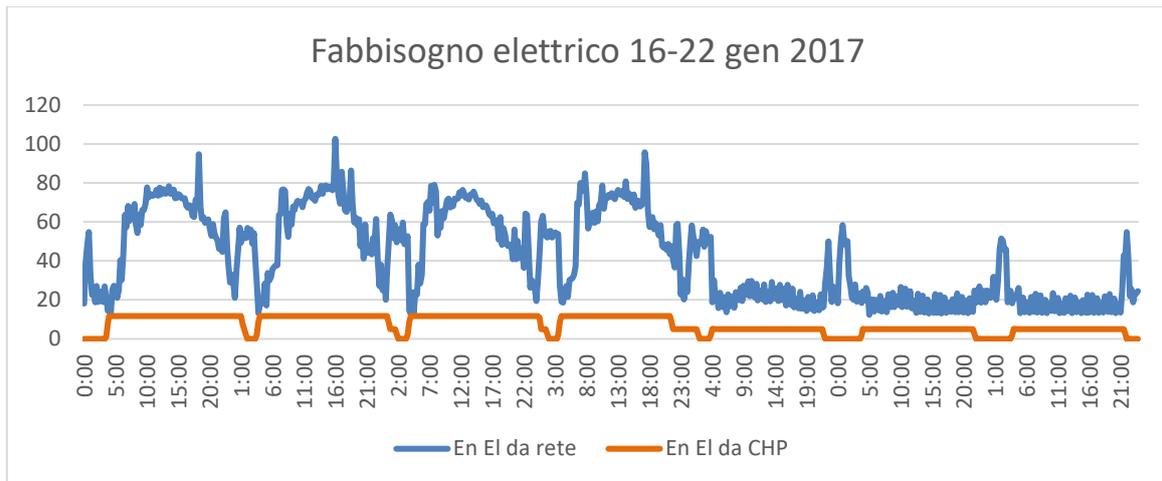


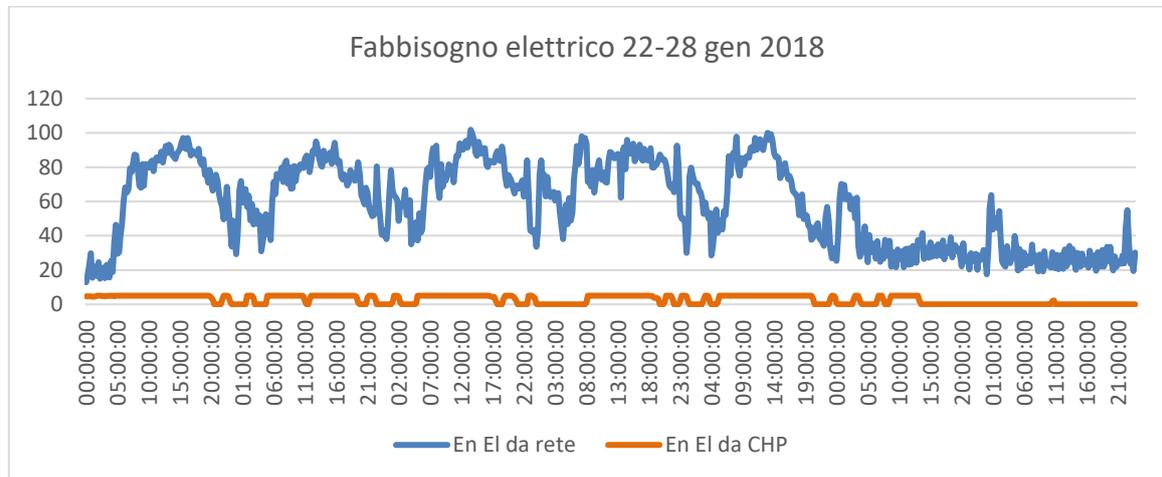
Figura 14: Andamento dei consumi mensili di GPL nell'anno 2018 della caldaia e dei cogeneratori

Nel mese di Marzo 2017 i cogeneratori non hanno funzionato e conseguentemente la relativa produzione elettrica nonché il loro consumo di GPL risulta nullo. Per lo stesso mese anche lo strumento di lettura dei consumi di GPL della caldaia è stato spento per questo non risultano dati disponibili in Figura 13. Inoltre per tutto l'anno 2018 il modulo cogenerativo da 30 kW è in stato fermo definitivo causa grave malfunzionamento (Figura 14).

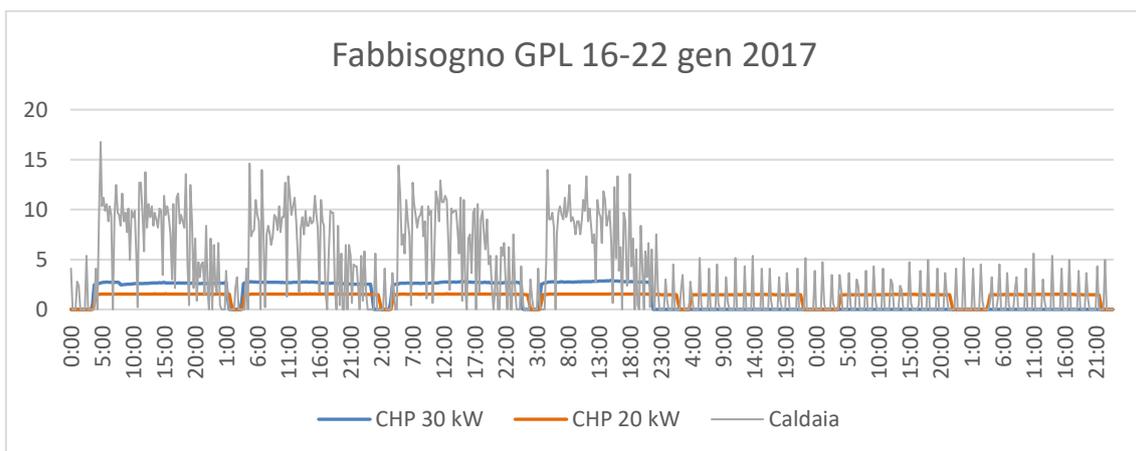
La presenza del sistema di monitoraggio consente di apprezzare anche il profilo orario dei consumi in linea con l'orario lavorativo dell'impianto che va dalle 8 alle 22 (da Figura 15 a Figura 18 ). Tale regolarità, verificata a vari livelli di dettaglio temporale nell'arco dell'anno, consente di determinare il numero di giorni lavorativi effettivi nel mese a partire dai soli dati di consumo giornalieri. E' interessante osservare come le necessità di conservazione dei prodotti dell'azienda richieda un apporto non trascurabile di energia elettrica anche durante le ore notturne, determinando così un carico di base presente nei giorni di riposo.



**Figura 15: Andamento orario dei consumi di energia elettrica in una settimana lavorativa (16-22 Gennaio 2017)**



**Figura 16 Andamento orario dei consumi di energia elettrica in una settimana lavorativa (22-28 Gennaio 2018)**



**Figura 17 Andamento orario dei consumi di GPL in una settimana lavorativa (16-22 Gennaio 2017)**

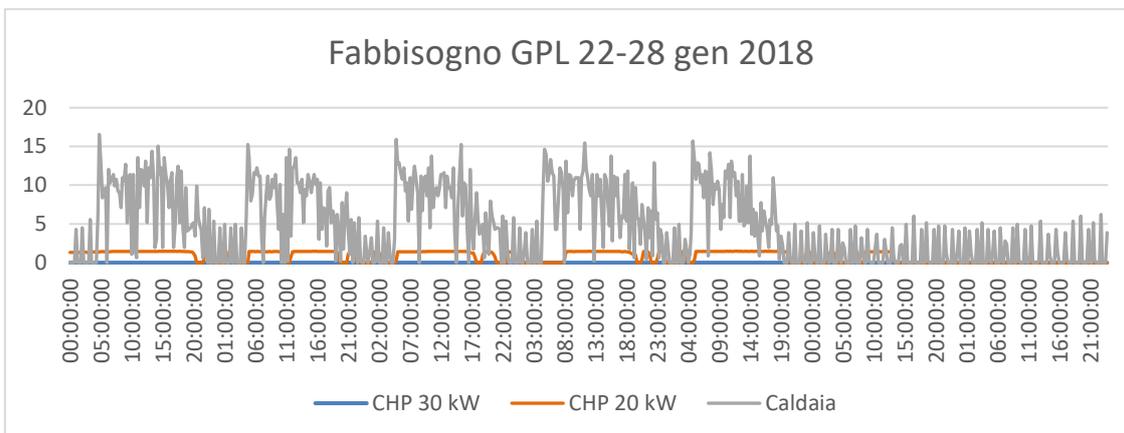


Figura 18 Andamento orario dei consumi di GPL in una settimana lavorativa (22-28 Gennaio 2018)

### 2.4.2 Indici di benchmark

Nel corso del secondo anno di lavoro si erano identificati indici di benchmark più comunemente adottati nella letteratura scientifica e nelle pubblicazioni di settore, definiti come:

- 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:

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

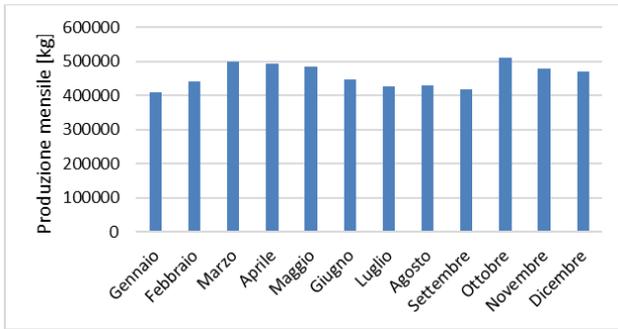
dove  $EP_{processo}$  è l'energia primaria complessivamente consumata nel processo produttivo, comprensivo di energia termica ed elettrica.

L'analisi basata su tali indici aveva evidenziato un buon livello di efficienza dell'azienda con valori in linea con i valori di riferimento del settore. Si ricorda che, per quanto riguarda la produzione di latte e derivati, i valori di tali indici sono stati ottenuti rielaborando i dati dello studio dettagliato di ENEA sui consumi di energia del settore italiano del 1996 [3], aggiornati tramite un fattore annuale di decremento dei consumi proposto in letteratura (Tabella 4).

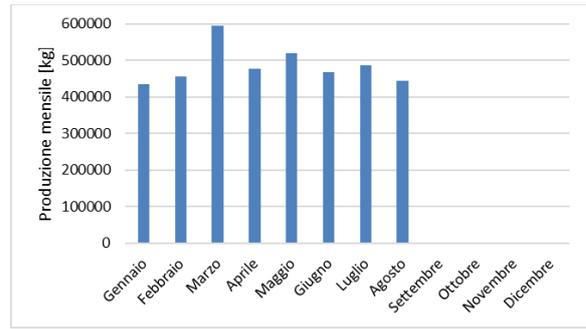
Tabella 4 Consumi specifici di energia primaria di riferimento per il caso Elda

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

Nel 2017 la produzione di ricotta è risultata essere pari a 5'507'690 kg (+8% rispetto il 2016), per un totale di 239 giorni di lavoro mentre nei primi 8 mesi del 2018 3'880'144 kg (+ 6.6% rispetto il 2017) entrambi i risultati sottolineano una crescita rispetto il rispettivo periodo dell'anno precedente (Figura 19 e Figura 20).

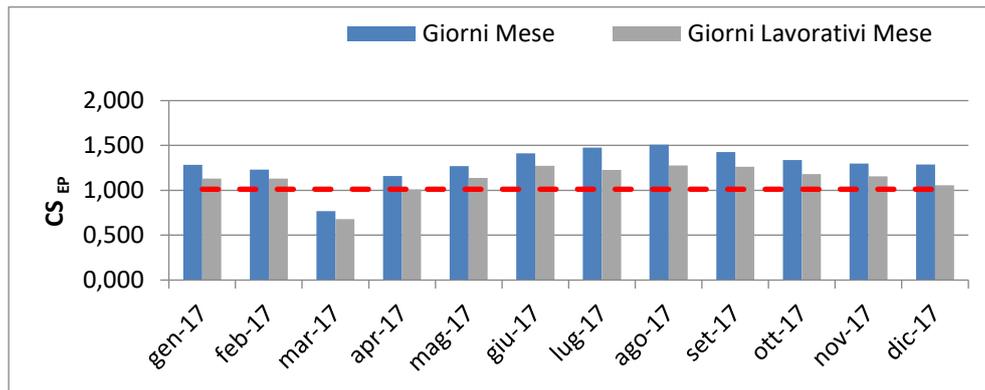


**Figura 19: Andamento della produzione nell'anno 2017**

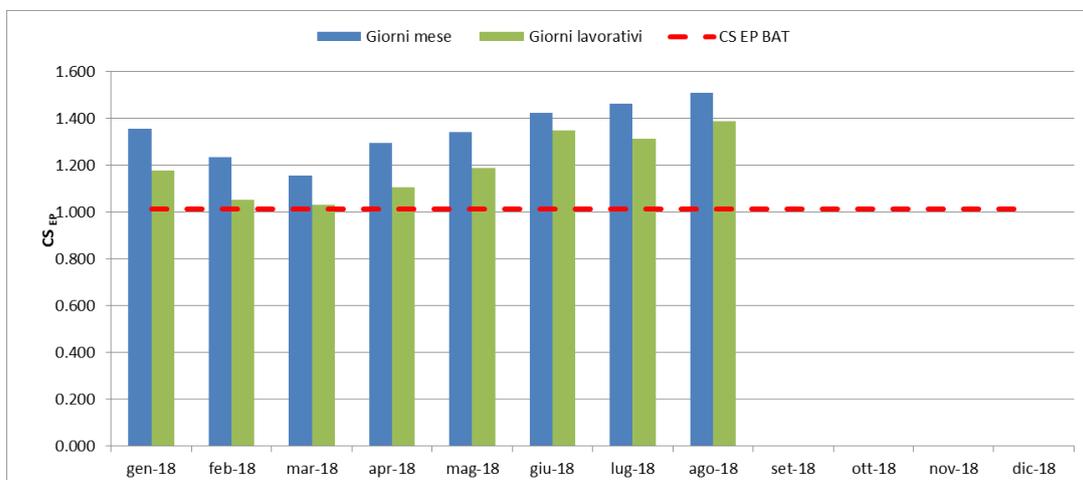


**Figura 20: Andamento della produzione nell'anno 2018**

Sulle base dei dati forniti dal sistema di monitoraggio, si è quindi provveduto a rivalutare gli indici di benchmark dell'azienda rispetto ai valori di riferimento del settore. Per una maggiore precisione nell'analisi del livello di efficienza, grazie ai dati disponibili di monitoraggio si è riusciti a scorporare i consumi relativi ai giorni non lavorativi, ma non quelli relativi ai processi di servizio (raffrescamento degli ambienti, ecc.). Come si può osservare in Figura 21 e Figura 22, questo ha consentito di aumentare la precisione dell'analisi, evidenziando valori di consumo specifico di energia primaria (1,127 kWh/kg nel 2017 e 1,112 kWh/kg) in linea con il settore (1,013 kWh/kg) ed in sostanziale accordo con il buon livello tecnologico adottato in azienda.



**Figura 21: Andamento del consumo specifico di energia primaria per la produzione della ricotta - 2017. Confronto tra consumo complessivo nel mese (azzurro) e consumo valutato solo nei giorni lavorativi (grigio)**



**Figura 22: Andamento del consumo specifico di energia primaria per la produzione della ricotta - 2018. Confronto tra consumo complessivo nel mese (azzurro) e consumo valutato solo nei giorni lavorativi (grigio)**

Per determinare il consumo specifico di energia termica di processo, si sono considerati non solo i consumi della caldaia ma anche quelli dei cogeneratori per la quota parte imputabile al preriscaldamento dell'acqua in ingresso alla caldaia:

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

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 23 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 0,351 kWh/kg nel 2018 (-33% rispetto al consumo di riferimento del settore).

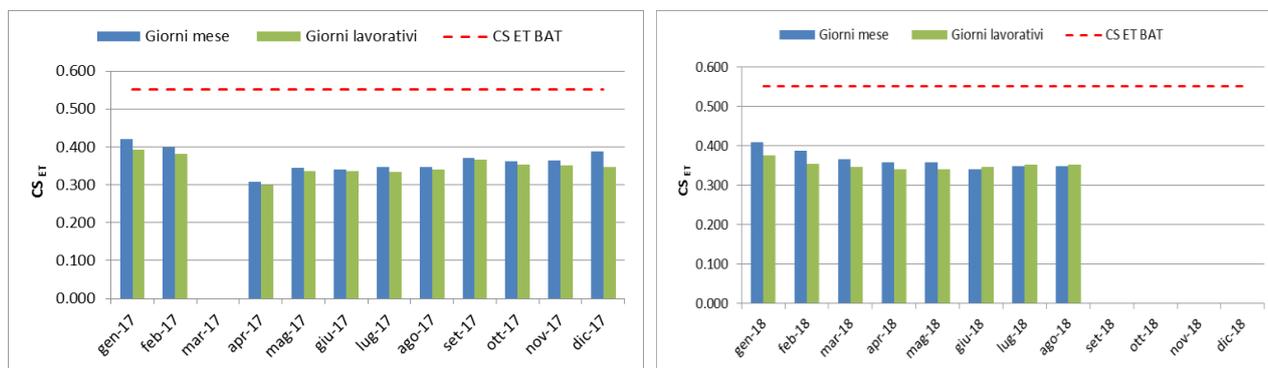


Figura 23 Consumo specifico di energia termica primaria nel processo di produzione della ricotta relativo al 2017 ed al periodo gennaio-agosto 2018

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 0,808 kWh/kg, superiore (circa +75%) al livello di riferimento del settore caseario (0,461 kWh/kg) (Figura 24). Tuttavia è necessario sottolineare che, 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. L'introduzione nel settore di tecnologie ad alto livello di efficienza, come ad esempio i cogeneratori, ha favorito maggiormente i consumi termici di processo piuttosto che quelli elettrici. Nel caso in esame, ad esempio, come presentato in dettaglio nel cap. 3, i cogeneratori contribuiscono al solo carico di base dei consumi di energia elettrica e forniscono il loro maggiore contributo all'impianto in termini di energia termica (Tabella 9 e Tabella 10).

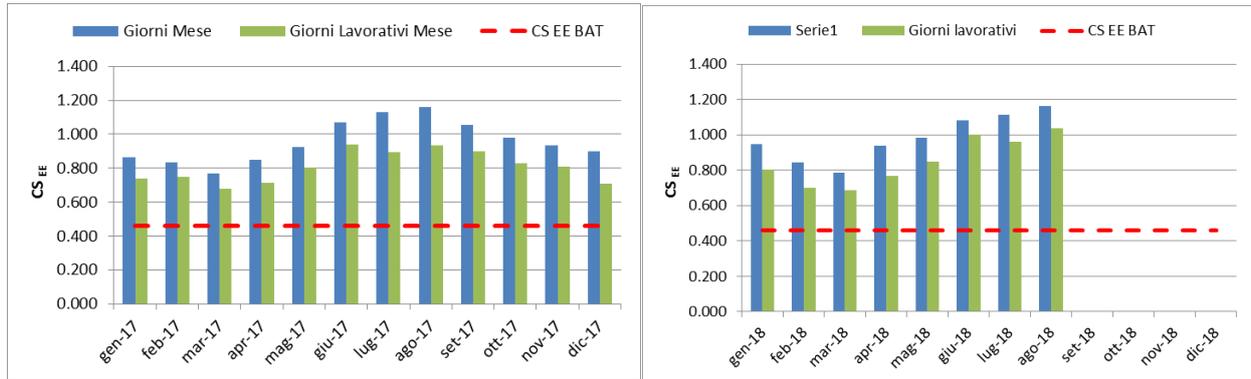


Figura 24: Andamento mensile del consumo specifico di energia elettrica [kWh/kg] nel 2017 e primi mesi del 2018

### 3 Identificazione e valutazione di un possibile intervento di efficientamento

L'analisi dei dati acquisiti dal sistema di monitoraggio ha evidenziato fin da subito la necessità di analizzare più in dettaglio la significatività e sostenibilità dell'apporto energetico dei moduli cogenerativi installati presso il Caseificio Elda. I moduli infatti producono acqua a 80°C che viene inviata in caldaia per la produzione di vapore. A questo proposito è da sottolineare che lo stesso personale del caseificio ha mostrato perplessità sulla convenienza di tale apporto di solo preriscaldamento, provando anche ad adottare nuove strategie di regolazione, nei limiti di quanto consentito della tecnologia installata.

Si è partiti quindi analizzando in dettaglio i fabbisogni termici ed elettrici dell'azienda ed il contributo dei moduli cogenerativi rispetto al consumo ad essi associato, prendendo a riferimento gli anni 2016-2017.

Per quanto riguarda il fabbisogno termico, si ricorda che i motori endotermici non producono vapore ma riscaldano l'acqua di alimento della caldaia fino ad una temperatura di circa 80°C (apporto di energia termica a bassa temperatura) mentre la caldaia produce vapore che viene utilizzato nei processi aziendali (apporto di energia termica ad alta temperatura). Assumendo un valore di rendimento termico da schede tecniche pari a 87% per la caldaia e 66% per modulo cogenerativo da 20kW e 60% per modulo da 30 kW, si può determinare l'energia termica prodotta dalla caldaia e dai cogeneratori negli anni 2016-2017 (Tabella 5 e Tabella 6).

Tabella 5 Energia termica mensile prodotta dalla caldaia (alta temperatura - AT) e dai moduli cogenerativi (media temperatura - MT) nel 2016

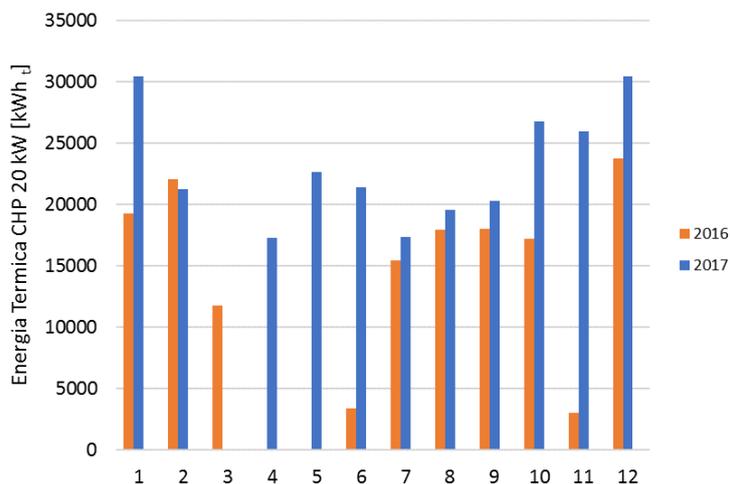
	ET CHP 30 kW - MT [kWh]	ET CHP 20kW - MT [kWh]	ET Caldaia - AT [kWh]
<b>Gennaio</b>	30010	19277	91398
<b>Febbraio</b>	30891	22085	109872
<b>Marzo</b>	33046	11780	131461
<b>Aprile</b>	30816	0	108916
<b>Maggio</b>	34277	0	122919
<b>Giugno</b>	29163	3356	108982
<b>Luglio</b>	19947	15460	88315
<b>Agosto</b>	3485	17948	103798
<b>Settembre</b>	11442	17993	105330
<b>Ottobre</b>	24235	17187	107957
<b>Novembre</b>	3646	3051	136630
<b>Dicembre</b>	30042	23758	112624

<b>Totale</b>	281000	151895	1328223
---------------	--------	--------	---------

**Tabella 6 Energia termica mensile prodotta dalla caldaia (alta temperatura - AT) e dai moduli cogenerativi (media temperatura - MT) nel 2017**

	<b>ET CHP 30 kW - MT [kWh]</b>	<b>ET CHP 20kW - MT [kWh]</b>	<b>ET Caldaia - AT [kWh]</b>
<b>Gennaio</b>	30011	30421	116020
<b>Febbraio</b>	33760	21291	120354
<b>Marzo</b>	0	0	0
<b>Aprile</b>	24027	17290	107864
<b>Maggio</b>	9695	22655	126601
<b>Giugno</b>	962	21434	120283
<b>Luglio</b>	313	17359	118925
<b>Agosto</b>	2626	19543	117627
<b>Settembre</b>	12316	20283	116243
<b>Ottobre</b>	28786	26799	128827
<b>Novembre</b>	23339	25996	124050
<b>Dicembre</b>	6965	30490	138403
<b>Totale</b>	172.801	253.560	1.335.197

Confrontando la produzione dei cogeneratori nel 2016 con quella del 2017 (Figura 25 e Figura 26), è interessante notare come emerge il cambio nel sistema di regolazione e controllo degli stessi che ha spostato la produzione più sul cogeneratore da 20kW. La produzione complessiva annuale di energia termica a bassa temperatura non risulta essersi sostanzialmente modificata (-2%) a fronte di un leggera diminuzione del consumo di GPL (-4%) (Tabella 7 e Tabella 8), accompagnato da un leggero aumento di produzione di energia elettrica (+5%).



**Figura 25 Produzione di energia termica a media temperatura – CHP 20 kW – negli anni 2016 e 2017**

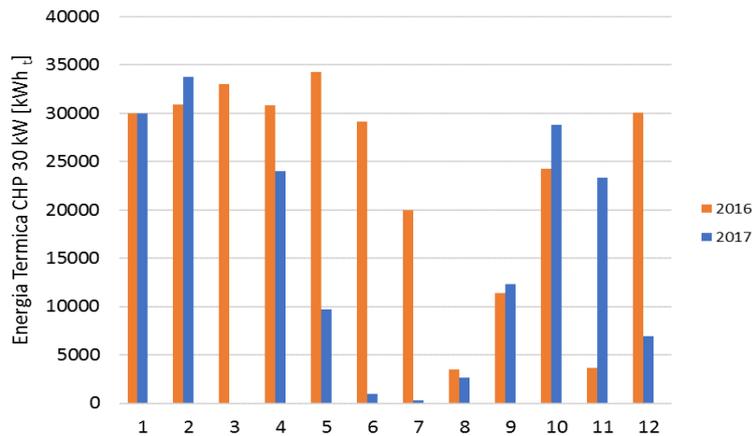


Figura 26 Produzione di energia termica a media temperatura – CHP 30 kW – negli anni 2016 e 2017

Tabella 7 Consumo GPL mensile Caldaia e moduli CHP – Anno 2016

	GPL CHP 30 kW [kg]	GPL CHP 20kW [kg]	GPL Caldaia [kg]	Tot GPL [kg]	Rapporto CHP/tot GPL
Gennaio	3913,69	2285,47	8220,31	14419,47	43%
Febbraio	4028,54	2618,33	9883,66	16530,53	40%
Marzo	4309,55	1396,55	11823,50	17529,60	33%
Aprile	4018,76	0,00	9795,88	13814,64	29%
Maggio	4470,13	0,00	11055,30	15525,43	29%
Giugno	3803,16	397,84	9801,73	14002,72	30%
Luglio	2601,39	1832,88	7942,96	12377,23	36%
Agosto	454,51	2127,81	9335,52	11917,84	22%
Settembre	1492,19	2133,19	9473,34	13098,72	28%
Ottobre	3160,52	2037,68	9709,62	14907,82	35%
Novembre	475,45	361,69	12288,45	13125,60	6%
Dicembre	3917,90	2816,67	10129,30	16863,87	40%
<b>Totale</b>	<b>36645,79</b>	<b>18008,11</b>	<b>119459,57</b>	<b>174113,47</b>	<b>31%</b>

Tabella 8 Consumo GPL mensile Caldaia e moduli CHP – Anno 2017

	GPL CHP 30 kW [kg]	GPL CHP 20kW [kg]	GPL Caldaia [kg]	Tot GPL [kg]	Rapporto CHP/tot GPL
Gennaio	3913,75	3606,56	10434,80	17955,11	42%
Febbraio	4402,77	2524,14	10824,60	17751,51	39%
Marzo	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
Aprile	3133,39	2049,90	9701,23	14884,52	35%
Maggio	1264,35	2685,84	11386,40	15336,59	26%
Giugno	125,52	2541,15	10818,20	13484,87	20%
Luglio	40,85	2058,07	10696,00	12794,92	16%
Agosto	342,47	2316,93	10579,30	13238,70	20%
Settembre	1606,12	2404,69	10454,80	14465,61	28%
Ottobre	3754,05	3177,21	11586,60	18517,86	37%
Novembre	3043,67	3081,98	11157,00	17282,65	35%
Dicembre	908,35	3614,73	12447,90	16970,98	27%
<b>Totale</b>	<b>22535,29</b>	<b>30061,20</b>	<b>120086,83</b>	<b>172683,32</b>	<b>30%</b>

E' interessante osservare che il consumo dei moduli cogenerativi è significativo, arrivando a valori intorno al 30% del fabbisogno totale di GPL, nonostante tali moduli effettuino il solo preriscaldamento dell'acqua in ingresso alla caldaia a vapore.

Come precedentemente osservato, dal punto di vista della produzione elettrica, gli impianti cogenerativi sono stati dimensionati per soddisfare una piccola parte della richiesta elettrica complessiva dell'impianto con un rapporto tra l'energia elettrica prodotta dai cogeneratori e il fabbisogno totale dell'azienda intorno al 7-8% all'anno (Figura 11), apporto sufficiente a soddisfare parte del carico di base (Figura 16).

### 3.1 Risparmi conseguiti e valutazione tecno-economica

L'analisi dei dati attualmente disponibili sul funzionamento dei cogeneratori negli anni 2016 e 2017 consente di effettuare una valutazione, seppure preliminare, della convenienza di utilizzo dei cogeneratori.

In primo luogo, a partire dalle fatture di energia elettrica e GPL dell'azienda, è possibile valorizzare economicamente i risparmi economici in termini di energia elettrica e termica, nonché i costi derivanti dall'acquisto del GPL utilizzato ai fini della produzione di energia termica.

In termini di risparmio, si può osservare che i due moduli CHP consentono di risparmiare circa 68k€ all'anno tra energia elettrica auto-prodotta, valorizzata ad un prezzo medio di acquisto dalla rete (0,185 €/kWh) ed energia termica prodotta dai cogeneratori e non prodotta dalla caldaia (Tabella 9 e Tabella 10). Per la valorizzazione dell'energia termica si è preso a riferimento un rendimento termico della caldaia da scheda tecnica pari all'87% ed un prezzo medio di acquisto del GPL pari a 1,05 €/kg.

**Tabella 9 Risparmi conseguiti in termini di energia elettrica (EE) ed energia termica (ET) – anno 2016**

	<b>Risparmio EE [€/mese]</b>	<b>Risparmio ET [€/mese]</b>	<b>Risparmio TOT [€/mese]</b>
<b>Gennaio</b>	3.068 €	4.655 €	<b>7.722 €</b>
<b>Febbraio</b>	3.467 €	5.003 €	<b>8.470 €</b>
<b>Marzo</b>	2.848 €	4.233 €	<b>7.081 €</b>
<b>Aprile</b>	1.946 €	2.910 €	<b>4.856 €</b>
<b>Maggio</b>	1.714 €	3.237 €	<b>4.951 €</b>
<b>Giugno</b>	1.935 €	3.071 €	<b>5.006 €</b>
<b>Luglio</b>	2.052 €	3.344 €	<b>5.396 €</b>
<b>Agosto</b>	1.402 €	2.024 €	<b>3.426 €</b>
<b>Settembre</b>	1.686 €	2.780 €	<b>4.466 €</b>
<b>Ottobre</b>	2.067 €	3.912 €	<b>5.978 €</b>
<b>Novembre</b>	452 €	632 €	<b>1.084 €</b>
<b>Dicembre</b>	3.596 €	5.081 €	<b>8.677 €</b>
<b>Totale</b>	<b>26.234 €</b>	<b>40.881 €</b>	<b>67.115 €</b>

**Tabella 10 Risparmi conseguiti in termini di energia elettrica (EE) ed energia termica (ET) – anno 2017**

	<b>Risparmio EE</b> <b>[€/mese]</b>	<b>Risparmio ET</b> <b>[€/mese]</b>	<b>Risparmio TOT</b> <b>[€/mese]</b>
<b>Gennaio</b>	3.985 €	5.707 €	<b>9.692 €</b>
<b>Febbraio</b>	3.184 €	5.199 €	<b>8.383 €</b>
<b>Marzo</b>	- €	- €	<b>- €</b>
<b>Aprile</b>	2.538 €	3.902 €	<b>6.440 €</b>
<b>Maggio</b>	2.072 €	3.055 €	<b>5.127 €</b>
<b>Giugno</b>	1.512 €	2.115 €	<b>3.627 €</b>
<b>Luglio</b>	1.233 €	1.669 €	<b>2.902 €</b>
<b>Agosto</b>	1.470 €	2.094 €	<b>3.563 €</b>
<b>Settembre</b>	2.092 €	3.079 €	<b>5.171 €</b>
<b>Ottobre</b>	3.531 €	5.249 €	<b>8.780 €</b>
<b>Novembre</b>	3.187 €	4.659 €	<b>7.846 €</b>
<b>Dicembre</b>	2.723 €	3.537 €	<b>6.260 €</b>
<b>Totale</b>	<b>27.528 €</b>	<b>40.264 €</b>	<b>67.792 €</b>

Per quanto riguarda i costi di funzionamento dei moduli CHP, si devono innanzitutto considerare quelli relativi al consumo di GPL, riportati in Tabella 11 e Tabella 12 rispettivamente per l'anno 2016 e 2017 e valorizzati ad un prezzo medio di acquisto pari a 1,05 €/kg.

**Tabella 11 Riepilogo costo combustibile dei moduli CHP – Anno 2016**

	<b>Costo GPL CHP 30</b> <b>kW [€/mese]</b>	<b>Costo GPL CHP</b> <b>20kW [€/mese]</b>	<b>Costo GPL</b> <b>TOT CHP [€/mese]</b>
<b>Gennaio</b>	2.400 €	4.109 €	<b>6.509 €</b>
<b>Febbraio</b>	2.749 €	4.230 €	<b>6.979 €</b>
<b>Marzo</b>	1.466 €	4.525 €	<b>5.991 €</b>
<b>Aprile</b>	- €	4.220 €	<b>4.220 €</b>
<b>Maggio</b>	- €	4.694 €	<b>4.694 €</b>
<b>Giugno</b>	418 €	3.993 €	<b>4.411 €</b>
<b>Luglio</b>	1.925 €	2.731 €	<b>4.656 €</b>
<b>Agosto</b>	2.234 €	477 €	<b>2.711 €</b>
<b>Settembre</b>	2.240 €	1.567 €	<b>3.807 €</b>
<b>Ottobre</b>	2.140 €	3.319 €	<b>5.458 €</b>
<b>Novembre</b>	380 €	499 €	<b>879 €</b>
<b>Dicembre</b>	2.958 €	4.114 €	<b>7.071 €</b>
<b>TOT</b>	<b>18.909 €</b>	<b>38.478 €</b>	<b>57.387 €</b>

**Tabella 12 Riepilogo costo combustibile dei moduli CHP – Anno 2017**

	<b>Costo GPL CHP 30 kW [€/mese]</b>	<b>Costo GPL CHP 20kW [€/mese]</b>	<b>Costo GPL TOT CHP [€/mese]</b>
<b>Gennaio</b>	3.787 €	4.109 €	7.896 €
<b>Febbraio</b>	2.650 €	4.623 €	7.273 €
<b>Marzo</b>	- €	- €	- €
<b>Aprile</b>	2.152 €	3.290 €	5.442 €
<b>Maggio</b>	2.820 €	1.328 €	4.148 €
<b>Giugno</b>	2.668 €	132 €	2.800 €
<b>Luglio</b>	2.161 €	43 €	2.204 €
<b>Agosto</b>	2.433 €	360 €	2.792 €
<b>Settembre</b>	2.525 €	1.686 €	4.211 €
<b>Ottobre</b>	3.336 €	3.942 €	7.278 €
<b>Novembre</b>	3.236 €	3.196 €	6.432 €
<b>Dicembre</b>	3.795 €	954 €	4.749 €
<b>TOT</b>	<b>31.564 €</b>	<b>23.662 €</b>	<b>55.226 €</b>

A questi costi si devono aggiungere poi quelli di gestione, stimati come segue:

- Manutenzione gruppo elettrogeno completo di motore, alternatore e giunto
- Manutenzione componenti accessori di impianto
- Gestione olio lubrificante

Ne risultano costi complessivi di gestione stimabili intorno ai 2.0 €/h per moduli cogenerativi di potenza inferiore ai 50kW, che per un monte ore annuo di funzionamento di 7000 ore corrispondono a 14.014 €/anno. E' quindi evidente come gli elevati oneri di funzionamento e gestione dei moduli non siano bilanciati dai risparmi derivanti dalla produzione di energia elettrica e termica (circa -4,500 €/anno) anche se valutati nell'ipotesi ottimistica di rendimento nominale di funzionamento.

L'analisi preliminare ha quindi evidenziato come, allo stato attuale, i cogeneratori non sembrano essere convenienti. Le motivazioni principali di questo risultato sono:

- L'elevato costo del GPL
- L'utilizzo della produzione di energia termica unicamente ai fini di preriscaldamento dell'acqua in ingresso nella caldaia. Tale energia infatti è a temperatura non sufficientemente elevata (acqua calda a 80°C) da poter essere utilizzata nel processo produttivo

### *3.2 Ipotesi di modifica dell'impianto con un inserimento di un modulo da 130kW per la trigenerazione*

Alla luce dei risultati dell'analisi preliminare di convenienza dei moduli cogenerativi attualmente installati nel Caseificio Elda, risulta evidente la necessità di individuare, all'interno del processo produttivo, altre richieste termiche che possano essere soddisfatte in un'ottica di cogenerazione o di trigenerazione al fine di garantire un funzionamento dei moduli continuo e remunerativo durante l'anno.

Una richiesta di energia termica significativa e continua durante l'anno è rappresentata dalla pastorizzazione della ricotta, processo caratterizzato da un flusso medio di 2400 l/h di ricotta che richiede temperature intorno ai 70-80°C. Nell'ipotesi di avere una differenza di temperatura intorno ai 10°C, si può stimare una richiesta media in potenza termica intorno ai 28 kWt sia durante il periodo invernale che durante il periodo estivo (Tabella 13).

Un'altra richiesta di energia termica significativa è quella del riscaldamento degli ambienti durante la stagione invernale ottenuto tramite 4 aerotermini canalizzabili. Per stimare la richiesta di energia termica per il riscaldamento si è preso a riferimento il reparto per il confezionamento del mascarpone (213 mq) per cui si conosce la richiesta di energia termica, pari a circa 15.000 kcal/h corrispondenti a 17.44 kWt. In base alle

dimensioni dello stabilimento si può ragionevolmente ipotizzare che la richiesta complessiva di energia termica sia circa 6 volte quella del reparto considerato con un carico termico complessivo di circa 105 kWt durante la stagione invernale (Tabella 13).

A causa di questa parziale stagionalità della richiesta di energia termica non è possibile pensare ad una soluzione cogenerativa semplice che fornisca 130 kW termici in quanto durante le stagioni intermedie e soprattutto durante la stagione estiva ci si troverebbe costretti a far funzionare il modulo cogenerativo con un fattore di carico molto basso, se non addirittura a spegnerlo.

Un'alternativa percorribile sarebbe invece quella di sfruttare il surplus di energia termica della stagione estiva inviandolo in un assorbitore a fini di refrigerazione. A questo proposito, una possibile utenza soddisfacibile dall'energia frigorifera ottenuta potrebbe essere rappresentato dal tunnel di free-cooling (Figura 27). Questo tunnel, che utilizza aria esterna convogliata per ottenere un primo raffreddamento dei prodotti, è particolarmente performante nei mesi più freddi, riuscendo a sopperire quasi totalmente all'apporto di energia frigorifera necessaria, stimato intorno ai 70 kW per raffreddare i prodotti fino a 5-10°C. In estate il processo è molto meno efficace a causa dell'innalzamento della temperatura dell'aria esterna.



**Figura 27 Tunnel per il free-cooling**

Durante la stagione estiva si potrebbe quindi ipotizzare di ottenere dall'assorbitore tutta la potenza frigorifera necessaria (70 kW), sfruttando il surplus di potenza termica fornita dai cogeneratori per sopperire al ridotto apporto di raffreddamento dell'aria esterna. Ipotizzando un COP dell'assorbitore intorno a 0,68, si può stimare che la potenza termica necessaria all'assorbitore sia pari a 103 kW termici (Tabella 13).

Tabella 13 Fabbisogni termici dello stabilimento

<b>Pastorizzazione ricotta</b>	
<b>Richiesta</b>	Acqua calda a 80°C
<b>Periodo di richiesta</b>	Tutto l'anno
<b>Portata</b>	2400 l/h
<b>Richiesta termica</b>	24000 kcal/h
	<b>27,91 kWt</b>

<b>Riscaldamento ambienti</b>	
<b>Richiesta</b>	Aria Calda
<b>Periodo di richiesta</b>	Periodo invernale
<b>Richiesta termica reparto mascarpone</b>	15000 kcal/h
<b>Richiesta termica intero stabilimento</b>	90000 kcal/h
	<b>104,65 kWt</b>

<b>Raffrescamento Tunnel Free-cooling</b>	
<b>Richiesta</b>	Aria fredda
<b>Periodo di richiesta</b>	Periodo estivo
<b>Richiesta frigorifera tunnel</b>	70 kWt
<b>Richiesta termica assorbitore</b>	<b>102,94 kWt</b>

L’analisi condotta ha portato quindi ad individuare una richiesta complessiva di circa 130kWt distribuita tra la stagione estiva ed invernale come riportato in Tabella 14, condizione che, in base alle stime fatte, risulterebbe essere adeguata all’installazione di una soluzione trigenerativa.

Tabella 14 Riepilogo carichi termici

	<b>INVERNO [kW termici]</b>	<b>ESTATE [kW termici]</b>
<b>Pastorizzazione ricotta</b>	28	28
<b>Riscaldamento ambienti</b>	105	-
<b>Raffrescamento Tunnel Free-cooling</b>	-	103
<b>Totale</b>	<b>133</b>	<b>131</b>

## 4 Algoritmo a supporto dell’evoluzione “smart” del sistema di monitoraggio nelle PMI

### 4.1 Sistemi di monitoraggio e PMI

Il monitoraggio dei consumi è uno strumento indispensabile non solo per il controllo di processo ma anche per la pianificazione di interventi di efficienza energetica.

Le Linee Guida ENEA per il Monitoraggio nel settore industriale degli energivori per le diagnosi energetiche ex art. 8 del d.lgs. 102/2014 definiscono dei vicoli per la realizzazione di tale sistema di monitoraggio includendo dei vincoli di copertura energetica ovvero la quantità in percentuale di energia misurata in continuo rispetto ai consumi totali.

Per le aziende energivore l’adozione di un sistema di monitoraggio è imprescindibile dato l’obbligo al 2019 di presentare la diagnosi energetica basata sui consumi monitorati nell’anno precedente (ovvero il 2018).

L'importanza di dotarsi di un'interfaccia di raccolta dati è comunque valida anche per le PMI dato che, come si è visto nel capitolo precedente, l'implementazione di misure di efficienza energetica è supportata e favorita dalla presenza di un sistema di monitoraggio sia nelle fasi di pre-intervento che in quelle di rendicontazione dei risparmi (Tabella 15).

**Tabella 15 Interventi di efficienza energetica: Fasi e benefici con sistema di monitoraggio**

Fase	Beneficio
<b>Individuazione dell'opportunità di efficientamento</b>	Facilità di creare una fotografia dello stato energetico attuale in azienda tramite dati monitorati
<b>Pianificazione dell'intervento</b>	Calcolo di consumi specifici, bilancio energetico, valutazione dei costi e benefici, realizzazione di un piano interventi
<b>Realizzazione dell'intervento</b>	Gestione e rendicontazione dei risparmi

#### 4.2 Barriere all'adozione di un sistema di monitoraggio

Nelle PMI generalmente si riscontra un atteggiamento "pragmatico" nel confronto dell'adozione di un sistema di monitoraggio caratterizzato da una serie di barriere o comportamenti quali:

- Attenzione alle disponibilità finanziarie: l'attenzione principale in azienda è incentrata su investimenti strutturali e su macchinari direttamente legati sul processo produzione con l'obiettivo di garantire o aumentare la produzione. Il monitoraggio viene ridotto all'essenziale sui punti necessari alla verifica degli importi in bolletta o per l'ottenimento di incentivi (es. pratiche CAR);
- Conoscenze tecniche: le PMI non hanno necessità di dotarsi di tecnici sistemisti o impiantisti interni e non hanno quindi le figure con il know-how necessario alla pianificazione di un sistema di monitoraggio esteso ed organico. Spesso l'azienda deve farsi supportare da ditte esterne che costituiscono un costo aggiuntivo (ricadendo quindi al punto 1);
- Le PMI hanno livelli di consumo energetico inferiore alle aziende energivore. Il monitoraggio dei consumi spesso non viene visto come possibile punto di partenza per la valutazione di un intervento di efficienza energetica. Il costo viene visto come una barriera rispetto al beneficio futuro eventualmente ottenibile;
- Focus sul prodotto: il principale obiettivo delle aziende è soddisfare i vincoli di produzione in termini di quantità e qualità (es. composizione, gusto colore, vincoli normativi –sanitari etc.);
- Esistono difficoltà ad integrare strumenti di monitoraggio con quanto già esistente in azienda

Per tali difficoltà l'adozione di un sistema di monitoraggio "smart" in una PMI non è così scontata. Per supportare le aziende in questo senso si è realizzato quindi un tool che permettesse una prima analisi preliminare dei costi di un sistema di monitoraggio in relazione ai livelli di copertura realizzabili dei consumi energetici in azienda.

#### 4.3 Algoritmo di analisi del monitoraggio energetico

Con le attività del terzo anno si è sviluppato un algoritmo di analisi del monitoraggio energetico che definisca il numero di punti di misura da realizzare all'interno di una azienda per vari livelli di copertura energetica, partendo da dati noti in azienda, contenuti nella diagnosi energetica se disponibile o raccolti da sistemi di monitoraggio.

L'algoritmo funziona sia per aziende energivore che per le PMI e permette di definire un ordine di priorità di intervento per i possibili punti da monitorare associando ad ogni utenza elettrica un costo, che tiene conto degli strumenti di misura e dei costi di installazione.

L'ordine dei punti da monitorare è ricavato sulla base di un parametro che esprime il "costo del kWh misurato" ovvero l'incremento del costo totale del sistema di monitoraggio in relazione ai consumi delle varie utenze da monitorare.

Per ogni utenza considerata viene calcolato il relativo "costo del kWh misurato" tramite la seguente relazione:

$$COSTO_{kWh-misurato} = \frac{N_{misuratori} \cdot C_{misuratore} + \left( \frac{C_{gg-uomo} + C_{gateway}}{N_{utenze}} \right)}{kWh_{annui}}$$

Dove:

- $N_{misuratori}$  = numero di misuratori per la singola utenza energetica
- $C_{misuratore}$  = costo del singolo misuratore
- $C_{gg-uomo}$  = costi totali di installazione
- $C_{gateway}$  = costi del (o dei) gateway
- $N_{utenze}$  = numero totale utenze elettriche presenti in azienda
- $kWh_{annui}$  = consumo annuo elettrico in kWh

Tanto più elevato è il costo del kWh misurato tanto meno conveniente risulta essere l'investimento associato in quanto comporta un significativo investimento a fronte di un aumento contenuto della copertura di monitoraggio dei consumi dell'azienda.

Nel caso di utenze elettriche il tool può realizzare anche una stima preliminare delle voci di costo  $C_{misuratore}$ ,  $C_{gg-uomo}$ ,  $C_{gateway}$ , stima che invece non è realizzabile per strumenti di misura di consumi di combustibile e contabilizzatori di energia termica che sono strettamente dipendenti dalla particolare applicazione e presentano costi d'installazione variabili a seconda di range di portata, fluido vettore analizzato, temperature ecc..

Il tool è stato realizzato in ambiente Matlab (Figura 28) e prevede un'interfaccia di raccolta dei dati di input in Excel (Figura 29).

```

%% Import and create data
[~,~,produzione]=xlsread('Nome_Azienda.xlsx','Produzione','A1:K35'); %Tabella utenze energetiche legate alla produzione
[~,~,ausiliari]=xlsread('Nome_Azienda.xlsx','Ausiliari','A1:J17'); %Tabella utenze energetiche legate agli ausiliari
[~,~,generali]=xlsread('Nome_Azienda.xlsx','Generali','A1:J17'); %Tabella utenze energetiche legate ai generali

a = [0 , 1 , 1];
b = [1 , 1 , 0];

%% Calculation
%Installation costs
XX.field1=produzione;
XX.field2=ausiliari;
XX.field3=generali;

% Numero unità (misuratori) totali in reparti produzione, ausiliari, generali
for j=1:3
    field=strcat('field',num2str(j));
    for i=1:(size(field,1))

```

Figura 28: Algoritmo di analisi della copertura dei consumi energetici

**Produzione**

TOT EE		1'071'602,93 kWh								
N.	Tipo attività	Area Funzionale	Utenza	Numero misuratori	Necessità quadro?	Nome del quadro	Materiale aggiuntivo/accessorio	Consumo energetico misurato/stimato [kWh/anno]	incidenza [%]	
1	Produzione	Stampa analogica	AS102 - Stampa offset 1 colori	3	SI	Stampa analogica 1	NO	143'323	13,37	
2	Produzione	Stampa analogica	AS103 - Stampa offset 2 colori	3	SI	Stampa analogica 2	NO	163'421	15,25	
3	Produzione	Stampa analogica	AS104 - Stampa offset 3 colori	3	SI	Stampa analogica 3	NO	171'797	16,03	
4	Produzione	Stampa analogica	AS105 - Stampa offset 4 colori	3	SI	Stampa analogica 4	NO	105'313	9,83	
5	Produzione	Stampa digitale	DS101 - Stampa 3 colori + taglio	2	SI	Stampa digitale 1	NO	17'674	1,65	
6	Produzione	Stampa digitale	DS102 - Stampa 3 colori	1	SI	Stampa digitale 2	NO	18'976	1,77	
7	Produzione	Stampa digitale	DS103 - Stampa 4 colori + tagli	2	SI	Stampa digitale 3	NO	21'909	2,04	
8	Produzione	Stampa digitale	DS104 - Stampa 2 colori + stampa	3	SI	Stampa digitale 4	NO	28'913	2,70	
9	Produzione	Fustellatura	AF101 - Fustellatura	1	SI	Fustellatura 1	NO	8'844	0,83	
10	Produzione	Fustellatura	AF102 - Fustellatura	1	SI	Fustellatura 2	NO	8'377	0,78	
11	Produzione	Fustellatura	AF103 - Fustellatura	1	SI	Fustellatura 3	NO	8'725	0,81	
12	Produzione	Fustellatura	AF104 - Fustellatura	1	SI	Fustellatura 4	NO	9'114	0,85	
13	Produzione	Fustellatura	AF105 - Fustellatura	1	SI	Fustellatura 5	NO	7'725	0,72	
14	Produzione	Fustellatura	AF106 - Linea grigio incolla	1	SI	Fustellatura 6	NO	51'719	4,83	
15	Produzione	Piega incolla	AP101 - Linea grigio incolla	1	SI	Piega incolla 1	NO	13'708	1,28	
16	Produzione	Piega incolla	AP102 - Linea grigio incolla	1	SI	Piega incolla 2	NO	5'796	0,54	
17	Produzione	Piega incolla	AP103 - Linea grigio incolla	1	SI	Piega incolla 3	NO	14'591	1,36	
18	Produzione	Piega incolla	AP104 - Linea grigio incolla	1	SI	Piega incolla 4	NO	16'639	1,55	
19	Produzione	Piega incolla	AP105 - Linea grigio incolla	1	SI	Piega incolla 5	NO	14'157	1,32	
20	Produzione	Finitura tagliata	FS101 - Ritocco cartello + tagliata	2	SI	Finitura tagliata 1	NO	49'332	4,60	
21	Produzione	Finitura tagliata	FS102 - Finitura tagliata	1	SI	Finitura tagliata 2	NO	1'314	0,12	
22	Produzione	Finitura tagliata	FS103 - Finitura tagliata	1	SI	Finitura tagliata 3	NO	759	0,07	
23	Produzione	Finitura tagliata	FS104 - Finitura tagliata	1	SI	Finitura tagliata 4	NO	1'530	0,14	
24	Produzione	Finitura tagliata	FS105 - Finitura tagliata	1	SI	Finitura tagliata 5	NO	774	0,07	
25	Produzione	Finitura tagliata	FS106 - Finitura tagliata tagliata	1	SI	Finitura tagliata 6	NO	3'245	0,30	
26	Produzione	Finitura tagliata	FS107 - Finitura tagliata	1	SI	Finitura tagliata 7	NO	25'176	2,35	
27	Produzione	Finitura tagliata	FS108 - Finitura tagliata	1	SI	Finitura tagliata 8	NO	19'214	1,79	
28	Produzione	Finitura tagliata	FS109 - Finitura tagliata	1	SI	Finitura tagliata 9	NO	77'578	7,24	
29	Produzione	Bollitura	BS101 - Bollitura	1	SI	Bollitura 1	NO	1'419	0,13	
30	Produzione	Bollitura	BS102 - Bollitura	1	SI	Bollitura 2	NO	2'729	0,25	
31	Produzione	Bollitura	BS103 - Bollitura	1	SI	Bollitura 3	NO	3'437	0,32	
32	Produzione	Bollitura	BS104 - Bollitura	1	SI	Bollitura 4	NO	1'713	0,16	
33	Produzione	Bollitura	BS105 - Bollitura	1	SI	Bollitura 5	NO	5'976	0,56	
34	Produzione	Bollitura	BS106 - Bollitura	2	SI	Bollitura 6	NO	27'592	2,57	
35	Produzione	Bollitura	BS107 - Bollitura stampa 3 colori	1	SI	Bollitura 7	NO	19'095	1,78	

Figura 29: Esempio di interfaccia di raccolta dati Input – Produzione

**Servizi Ausiliari**

TOT EE		1273880,268 kWh								
N.	Tipo attività	Area Funzionale	Utenza	Numero misuratori	Necessità quadro?	Nome del quadro	Materiale aggiuntivo/accessorio	Consumo energetico misurato/stimato [kWh/anno]	incidenza [%]	
1	Servizi Ausiliari	Aria compressa	Compressore 1	1	SI	Quadro compressori	SI	241'110	18,93	
2	Servizi Ausiliari	Aria compressa	Compressore 2	1	NO	Quadro compressori	NO	-	-	
3	Servizi Ausiliari	Aria compressa	Compressore 3	1	NO	Quadro compressori	NO	-	-	
4	Servizi Ausiliari	Climatizzazione	Caldaia convenzionale	1	SI	Quadro caldaia	SI	4'666	0,37	
5	Servizi Ausiliari	Climatizzazione	Pompe volano termico	1	SI	Quadro pompe climatizzazione	NO	10'644	0,84	
6	Servizi Ausiliari	Climatizzazione	Pompe distribuzione	1	NO	Quadro pompe climatizzazione	NO	72'576	5,70	
7	Servizi Ausiliari	Climatizzazione	Centrale trattamento aria 1	1	SI	Quadretto climatizzazione 1	NO	79'949	6,28	
8	Servizi Ausiliari	Climatizzazione	Centrale trattamento aria 2	1	SI	Quadretto climatizzazione 2	NO	79'949	6,28	
9	Servizi Ausiliari	Climatizzazione	Centrale trattamento aria 3	1	SI	Quadretto climatizzazione 3	NO	79'949	6,28	
10	Servizi Ausiliari	Climatizzazione	Centrale trattamento aria 4	1	SI	Quadretto climatizzazione 4	NO	34'695	2,72	
11	Servizi Ausiliari	Climatizzazione	Centrale trattamento aria 5	1	SI	Quadretto climatizzazione 5	NO	34'695	2,72	
12	Servizi Ausiliari	Climatizzazione	Centrale trattamento aria 6	1	SI	Quadretto climatizzazione 6	NO	16'593	1,30	
13	Servizi Ausiliari	Climatizzazione	Climatizzatore CED 1	1	SI	Quadretto climatizzazione CED	NO	10'512	0,83	
13	Servizi Ausiliari	Climatizzazione	Climatizzatore CED 2	1	NO	Quadretto climatizzazione CED	NO	10'512	0,83	
13	Servizi Ausiliari	Climatizzazione	Climatizzatore CED 3	1	NO	Quadretto climatizzazione CED	NO	10'512	0,83	
14	Servizi Ausiliari	Climatizzazione	Gruppo frigo produzione 1	1	SI	Quadro gruppo frigo	SI	385'920	30,29	
15	Servizi Ausiliari	Climatizzazione	Gruppo frigo produzione 2	1	NO	Quadro gruppo frigo	NO	201'600	15,83	

Figura 30: Esempio di interfaccia di raccolta dati Input – Servizi Ausiliari

**Servizi Generali**

TOT		224'236								
N.	Tipo attività	Area Funzionale	Utenza	Numero misuratori	Necessità quadro?	Nome del quadro	Materiale aggiuntivo/accessorio	Consumo energetico misurato/stimato [kWh/anno]	incidenza [%]	
1	Servizi Generali	Climatizzazione estiva uffici	Gruppo frigo ufficio	1	NO	Quadro gruppo frigo	NO	38909	17	
2	Servizi Generali	Climatizzazione estiva uffici	Gruppo frigo ufficio	1	SI	Quadro gruppo frigo	NO	5040	2	
3	Servizi Generali	Illuminazione	Illuminazione generale stabilimento	1	SI	Gruppo illuminazione	SI	2281	1	
4	Servizi Generali	Illuminazione	Illuminazione ufficio stabilimento 1	1	SI	Illuminazione ufficio stabilimento 1	SI	27360	12	
5	Servizi Generali	Illuminazione	Illuminazione ufficio stabilimento 2	1	NO	Illuminazione ufficio stabilimento 2	NO	2792	1	
6	Servizi Generali	Illuminazione	Illuminazione magazzino stabilimento 1	1	SI	Illuminazione magazzino stabilimento 1	SI	1327	1	
7	Servizi Generali	Illuminazione	Illuminazione magazzino stabilimento 2	1	NO	Illuminazione magazzino stabilimento 2	NO	10949	5	
8	Servizi Generali	Illuminazione	Illuminazione magazzino stabilimento 3	1	NO	Illuminazione magazzino stabilimento 3	NO	23114	10	
9	Servizi Generali	Illuminazione	Illuminazione per esterni	1	NO	Illuminazione per esterni	NO	12299	5	
10	Servizi Generali	Illuminazione	Illuminazione ufficio stabilimento 1	1	NO	Illuminazione ufficio stabilimento 1	NO	1816	1	
11	Servizi Generali	Illuminazione	Illuminazione ufficio stabilimento 2	1	NO	Illuminazione ufficio stabilimento 2	NO	3390	2	
12	Servizi Generali	Illuminazione	Illuminazione magazzino stabilimento 1	1	NO	Illuminazione magazzino stabilimento 1	NO	21024	9	
13	Servizi Generali	Illuminazione	Illuminazione ufficio stabilimento 1	1	NO	Illuminazione ufficio stabilimento 1	NO	10293	5	
14	Servizi Generali	Illuminazione	Illuminazione magazzino stabilimento 1	1	NO	Illuminazione magazzino stabilimento 1	NO	28223	13	
15	Servizi Generali	Illuminazione	Illuminazione magazzino stabilimento 2	1	SI	Illuminazione magazzino stabilimento 2	SI	17842	8	
16	Servizi Generali	Illuminazione	Illuminazione ufficio stabilimento 1	1	NO	Illuminazione ufficio stabilimento 1	SI	6414	3	
17	Servizi Generali	Illuminazione	Illuminazione ufficio stabilimento 2	1	NO	Illuminazione ufficio stabilimento 2	SI	2433	1	
18	Servizi Generali	Illuminazione	Illuminazione ufficio stabilimento 3	1	NO	Illuminazione ufficio stabilimento 3	SI	1014	0	
19	Servizi Generali	Illuminazione	Illuminazione magazzino stabilimento 1	1	NO	Illuminazione magazzino stabilimento 1	SI	7096	3	

Figura 31: Esempio di interfaccia di raccolta dati Input – Servizi Generali

In particolare per ognuna delle maggiori utenze elettriche aziendali viene richiesto:

- Tipo di attività. (Scegliere tra attività principali, servizi ausiliari o servizi generali) e area funzionale;
- Utenza. (Nome dell'utenza elettrica da monitorare);
- Numero di misuratori: il numero di misuratori necessari per il monitoraggio dell'utenza elettrica;
- Necessità quadro elettrico se non presente nelle vicinanze;
- Nome del quadro. (Inserire il nome del quadro dove verrà installato il misuratore. Se il misuratore necessita di un nuovo quadro inserire un nuovo nome);

- Necessità di materiale aggiuntivo: la risposta affermativa si ha nel caso in cui si opti per una soluzione di comunicazione dei dati via wireless, oppure, nel caso in cui la soluzione scelta sia quella cablata, se il punto rete è lontano dal posizionamento del quadro);
- Consumo energetico: i kWh assorbiti in un anno dall'utenza.

A partire dai dati di input, l'algoritmo calcola il costo del kWh misurato per ogni misuratore e procede ad ordinare i punti di misura dal più al meno conveniente da monitorare.

Lo strumento realizzato è in grado di generare dei grafici che mostrano il numero di punti di misura necessari per ottenere un determinato livello di copertura energetica.

A scopo esemplificativo, il tool è stato applicato ad un caso energivoro, di cui si riportano i tre grafici ottenuti suddividendo le utenze elettriche in attività principali, servizi ausiliari e servizi generali, come richiedono le linee guida ENEA. Nei grafici le utenze elettriche, suddivise nelle tre categorie, vengono ordinate in base al costo del kWh misurato.

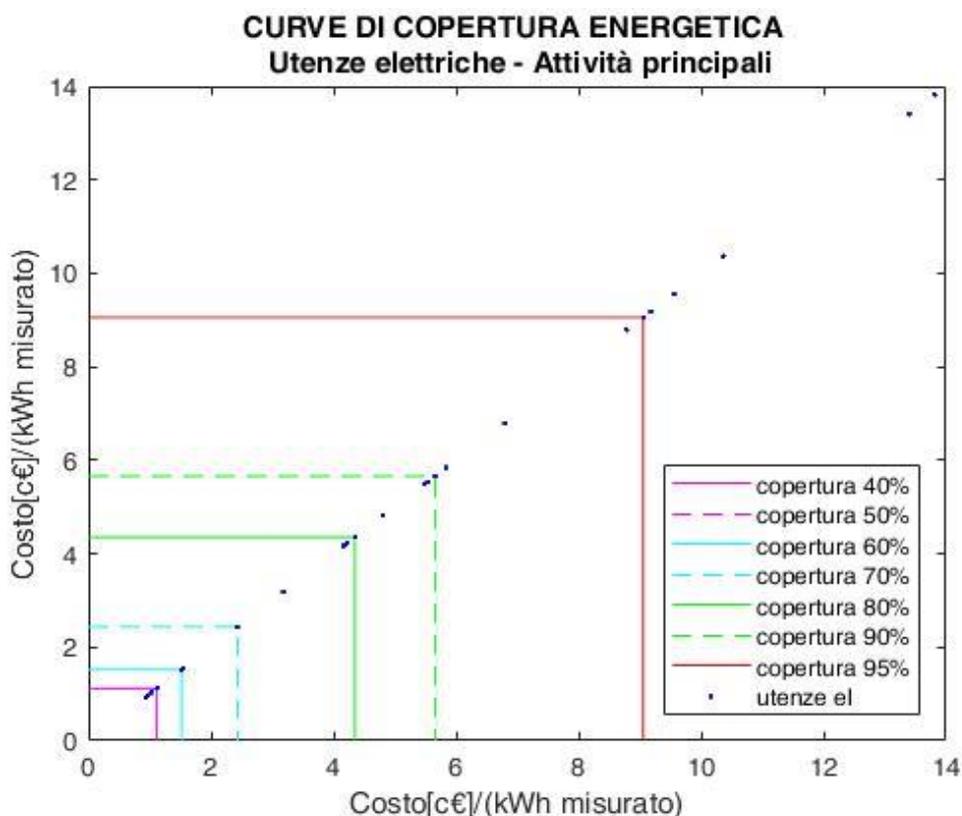


Figura 32: Curve di copertura energetica - Produzione

In particolare, in Figura 32 è presentato il grafico per le attività produttive che permette di fare alcune considerazioni per le attività principali:

- Le fasce di copertura del 40% e del 50% coincidono, ovvero monitorando il numero minimo di utenze elettriche per ottenere una copertura elettrica del 40% si ottiene anche una copertura del 50%;
- Le utenze elettriche che occorre monitorare per ottenere una copertura maggiore del 95%, hanno un costo del kWh specifico significativo, che varia dal 450% al 600% in più rispetto a quelle dentro la fascia del 50% e pertanto risultano poco appetibili;
- Nella fascia di copertura tra il 90% e il 95% vi è un incremento 3 c€/kWh\_misurato, un aumento notevole a fronte di un aumento della copertura solo del 5%.

E' evidente da questa analisi che l'azienda può raggiungere un livello di copertura del 70% senza un significativo aumento di costo rispetto al 50%. Per coperture superiori, il costo aumento in modo significativo diventando assolutamente non conveniente oltre il 90%.

Analoghe considerazioni possono essere fatte sui grafici relativi ai Servizi Ausiliari e Generali:

- Monitorando poche utenze elettriche dei servizi ausiliari si raggiunge un'ottima copertura pari all'90%; oltre il 95% della copertura i punti di misura richiederebbero ingenti costi d'installazione rispetto all'energia che andrebbero a monitorare e pertanto risultano poco appetibili;
- Per i servizi generali la copertura energetica al 40% coincide in termini di costo con quella al 50% e con solo 3 punti di misura è possibile ottenere una copertura energetica del 50%. Rispetto agli altri grafici le utenze elettriche risultano più equamente distribuite lungo la diagonale.

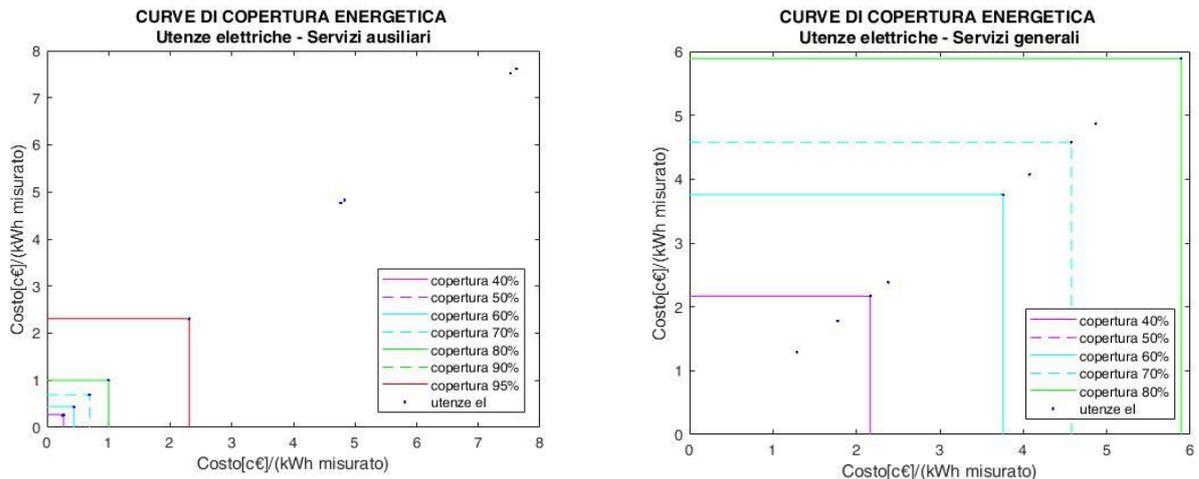


Figura 33 Curve di copertura energetica – Servizi Ausiliari e Generali

## 5 Conclusioni

Nel terzo anno si sono proseguite le attività per una transizione del settore industriale verso l'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".

L'analisi condotta nel caso studio collegato al progetto, "Caseificio Elda srl", che si occupa della produzione di ricotta e prodotti a base di ricotta ha evidenziato che tale sistema di monitoraggio non era sufficiente ad effettuare valutazioni precise di efficienza.

Con le attività del terzo anno sono stati quindi individuati punti d'interesse per rendere il monitoraggio nel caso studio completo e adatto alle attività di analisi approfondita qui presentate.

In particolare si è completato il monitoraggio negli impianti di generazione al fine di aggiungere la contabilizzazione dell'energia termica prodotta dalla caldaia e da ciascuno dei due cogeneratori, nonché dell'energia elettrica assorbita dalla caldaia (assorbimento degli ausiliari).

Oltre a ciò si sono inseriti nuovi strumenti al fine di contabilizzare i consumi scorporati di energia elettrica e termica dei reparti di produzione nonché di servizi ausiliari (chiller per produzione del freddo, tunnel di raffreddamento tramite freecooling, compressori, ...) e servizi generali (UTA, sistema di riscaldamento ambienti ...).

Si sono inoltre analizzati i consumi dell'Azienda e lo stato di efficienza della parte di processo monitorata per gli anni 2017 e primi mesi del 2018 confrontandone l'andamento con l'anno 2016 preso a riferimento con le attività del secondo anno.

Si è riscontrato un trend di crescita dei consumi elettrici (+16%) con consumi GPL pressoché costanti (+0.8%) a fronte di aumento dell'aumento dei volumi di produzione del +8%.

Infine, per incentivare le PMI ad un'evoluzione verso sistemi di monitoraggio "smart", si è in primo luogo mostrato come i dati forniti dal sistema di monitoraggio possano fornire supporto per valutazioni relative ad interventi di efficientamento, rappresentato dal possibile inserimento di un impianto di trigenerazione nel caso Elda. In secondo luogo, si è sviluppato un tool che consente, a partire da alcuni dati di input, una valutazione preliminare dei costi derivanti dall'aumento del livello di copertura del sistema di monitoraggio.

In particolare il tool fornisce un “costo del kWh misurato”, il cui valore soppesa l’investimento per un’integrazione del sistema di monitoraggio in relazione ai consumi dell’azienda stessa. In questo modo sarà quindi possibile per ogni PMI valutare il livello di copertura ideale in funzione dei propri processi produttivi e dei costi sostenibili.

## 6 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.