



Ricerca di Sistema elettrico

## Sistema di monitoraggio e diagnosi energetica: caso studio industriale nel settore caseario

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



## SISTEMA DI MONITORAGGIO E DIAGNOSI ENERGETICA: 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.)

Gennaio 2019

### Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Annuale di Realizzazione 2018

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

Progetto: 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 "Sistema di monitoraggio e diagnosi energetica: caso studio industriale nel settore caseario"

Responsabile scientifico ENEA: Ing. Andrea 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	MONITORAGGIO DEI CONSUMI PER LA PRODUZIONE DEL FREDDO .....	11
2.4.1	<i>Chiller 1</i> .....	12
2.4.2	<i>Chiller 2</i> .....	13
2.4.3	<i>Chiller 4</i> .....	14
2.4.4	<i>Chiller 5</i> .....	15
2.4.5	<i>Tunnel di raffreddamento</i> .....	16
2.4.6	<i>Riepilogo monitoraggio produzione del freddo</i> .....	17
3	ANALISI TECNO-ECONOMICA DI FATTIBILITÀ RELATIVA ALL'INSERIMENTO DI UN SISTEMA DI TRIGENERAZIONE .....	18
2.1	ANALISI PRELIMINARE IMPIANTO DI TRIGENERAZIONE .....	18
2.2	DIMENSIONAMENTO DELL'IMPIANTO DI TRIGENERAZIONE .....	19
3.1	RISPARMI CONSEGUITI E VALUTAZIONE TECNO-ECONOMICA .....	21
4	CONCLUSIONI.....	24
5	RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI .....	25

# 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’utilizzatore 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			Attività	0
			Programmi	0
			Operazioni	0
			Revisione	0
			Data	11/01/18
<b>STIMA RISPARMI</b>				
	Configurazione con IE3	Configurazione con IE4		
Rendimento pre-intervento	91,12%	-		
Rendimento post-intervento	94,49%	91,49%		
Delta Rendimento	3,37%	3,36%		
Consumo annuale per l'operazione	302,79k	499k/anno		
Consumo annuale post-intervento	299,04k	299,11k	499k/anno	
Risparmio elettrico	3,75k	7,68k	499k/anno	
Risparmio Energie primarie	5,7k	1,4k	499k/anno	
Risparmio Economico	€ 162,41	€ 1.024,09	€/anno	
<b>STIMA INCENTIVI</b>				
	Configurazione con IE3	Configurazione con IE4		
Risparmio Lordo	0,00	0,00	0,00/anno	
TEF generati	0,00	1,04	750k/anno	
Impieghi superabili	NO	NO		
<b>ANALISI ECONOMICA</b>				
	Configurazione con IE3	Configurazione con IE4		
Investimento	€ 1.809,91	€ 4.381,40	(V)	
Tempo di ritorno	6,77	9,92	(anni)	
TIR	9%	9%	(%)	
VAI (5 anni)	€ 1.199,29	€ 213,79	(V)	
Indice di progetto	0,037	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			Attività	0
			Programmi	0
			Operazioni	0
			Revisione	0
			Data	17/01/18
<b>Valutazione Indicatori</b>				
1. Aspetto economico (Rendimento, Pk, TIR, VAI)				
	Configurazione con IE3	Configurazione con IE4		
Costo dell'energia conservata	0,24	0,14	€/kWh	
Indice di progetto	0,037	0,072	(-)	
2. Aspetto realizzativo (valore di implementazione)				
	Configurazione con IE3	Configurazione con IE4		
Implementazione	1,0	1,0		
<b>Valutazione complessiva</b>				
	Configurazione con IE3	Configurazione con IE4		
Implementazione globale	6,7	7,8		
<b>Matrice di valutazione</b>				
0-3,5	Valutazione pessima			
3,5-5	Valutazione scarsa			
5-6,5	Valutazione discreta			
6,5-8	Valutazione buona			
8-10	Valutazione ottima			

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..) 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) sia lato utenze principali (linee di produzione, chillers, compressori, ecc..)

Questo sistema consentirà all’azienda di individuare in maniera precisa:

- Processi/impianti prioritari a livello di consumi energetici;
- Anomalie: carico base 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.

Grazie al monitoraggio e ai primi dati ottenuti, si era verificata la mancata convenienza nell'utilizzo dei due moduli cogenerativi a causa di ridotte ore di operatività, bassi rendimenti delle macchine e soprattutto alti costi di approvvigionamento del combustibile (GPL). Si erano quindi effettuate preliminari considerazioni in merito alla possibile integrazione con un sistema di trigenerazione, dimensionato per il soddisfacimento della richiesta di calore e di energia frigorifera necessaria nel processo di produzione in Elda durante tutto l'anno. Le considerazioni, basate su consumi stimati degli impianti di raffreddamento, avevano portato ad una valutazione positiva della fattibilità tecnica del sistema di trigenerazione.

Nell'ultima fase del progetto, grazie al potenziamento del sistema di monitoraggio, si sono registrati i dati di consumo degli impianti di raffreddamento (chiller) installati in azienda per i 3 mesi di estensione dell'attività di ricerca (Ottobre-Dicembre 2018). A partire da questi dati si è deciso di approfondire lo studio di fattibilità preliminare del terzo anno di attività per arrivare ad una valutazione più accurata dell'impianto di trigenerazione in termini di sostenibilità economica dell'investimento.

## 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:

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

- 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

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 ...).

Durante il terzo anno di attività si è realizzato un nuovo piano per ampliare il sistema di monitoraggio già esistente in Elda al fine di ottenere una copertura completa dei consumi dell'azienda lato generazione (caldaia e impianti cogenerativi) e lato processo, includendo il monitoraggio sia di impianti ausiliari e di servizio (compressori, chiller, freecooling, UTA, ecc..) sia di intere linee di produzione.

[In Errore. L'origine riferimento non è stata trovata. 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**

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

**Tabella 3: Strumenti integrativi - UtENZE**

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

Durante i tre mesi di estensione dell'attività di ricerca, i vari strumenti sono stati configurati e collegati ad una piattaforma on-line di acquisizione e memorizzazione dei dati. A questo proposito si segnala che:

- Entrambi i cogeneratori, a causa di malfunzionamenti continui e della non profittabilità risultante dal rapporto relativo all'anno 2018, sono stati definitivamente spenti. I misuratori dedicati verranno quindi ricollocati per il monitoraggio di altre utenze termiche ed elettriche nel ciclo produttivo di Elda;
- L'installazione dei misuratori di portata per la contabilizzazione dell'energia termica degli impianti termici (cogeneratori e caldaia) delle utenze di energia termica (CIP – lavaggi, Utenze vapore di processo, UTA ...) ha incontrato difficoltà tecniche che non è stato possibile risolvere in tempi brevi, limitando così l'acquisizione ai soli segnali di temperatura. L'installazione degli strumenti sarà completata nei prossimi mesi da parte dei tecnici dell'azienda;
- Gli strumenti per la misurazione di consumi elettrici sono stati installati correttamente.

Durante i mesi di Ottobre, Novembre e Dicembre sono state registrati i consumi dei chiller a supporto della produzione di ricotta e del tunnel per il raffreddamento finale della ricotta confezionata.

## 2.4 *Monitoraggio dei Consumi per la produzione del Freddo*

In azienda sono presenti 4 centrali frigorifere per la produzione di acqua a bassa temperatura e una centrale per produzione ghiaccio a servizio del processo (vasca acqua gelida).

In particolare, i chiller 1, 4 e 5 sono utilizzati per il raffreddamento del prodotto finito, il chiller 3 per il condizionamento degli ambienti di produzione (non inserito nel monitoraggio), il 2 per la vasca acqua gelida. La presenza dei nuovi strumenti di misura ha consentito di misurare i consumi dei chiller, il cui funzionamento è continuo, 7 giorni alla settimana, con una media di 20 ore/giorno

2.4.1 Chiller 1

I dati di targa del Chiller 1 sono riportati in Tabella 4.

Dall'andamento settimanale dei consumi si può distinguere un carico di base di potenza elettrica assorbita di circa 10 kW costante anche durante il weekend (Figura 11). Nei giorni lavorativi infrasettimanali il chiller presenta invece picchi di assorbimento attorno ai 35 kW.

Il monitoraggio dei consumi ha consentito anche di valutare i consumi energetici giornalieri relativi ai singoli chiller. La Figura 12, relativa al chiller 1, evidenzia un consumo energetico medio di circa 520 kWh nei giorni di produzione e 248 kWh per i giorni non lavorativi (weekend).

Tabella 4: Dati di targa Chiller 1

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

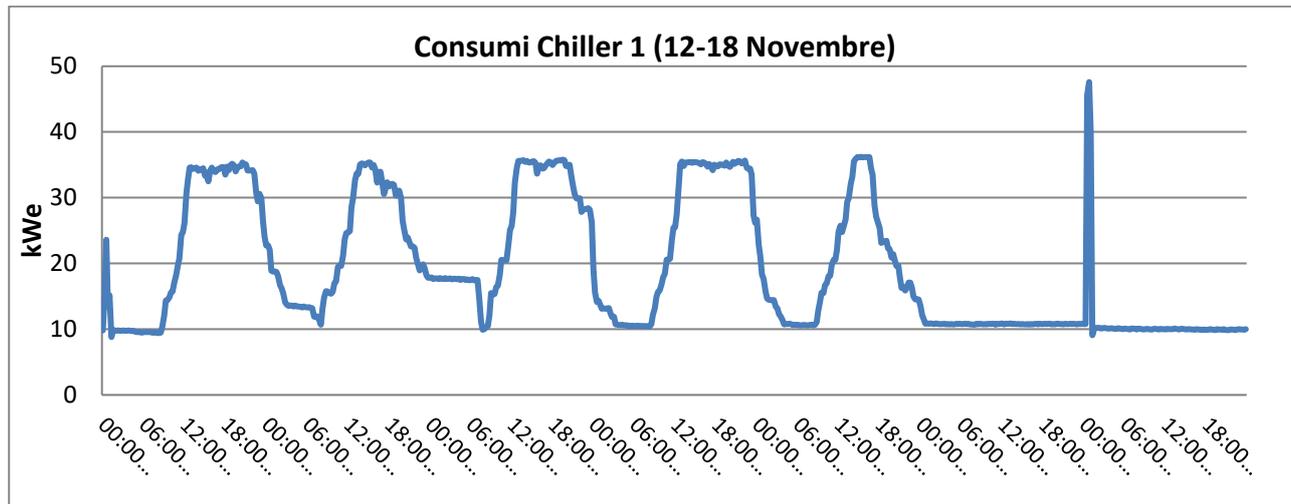


Figura 11: Andamento dei consumi nella settimana 12-18 Novembre (campionamento: 15 min)

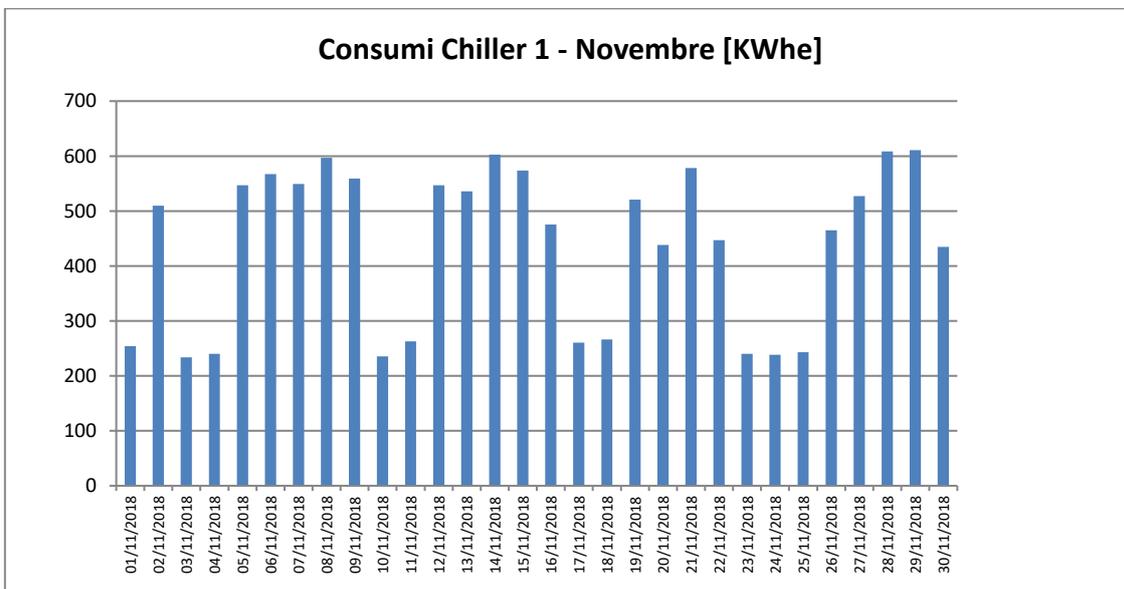


Figura 12: Consumi giornalieri del chiller 1

### 2.4.2 Chiller 2

Il chiller a servizio della vasca di acqua gelida (Tabella 5) viene invece fatto funzionare solo durante la notte per la produzione di ghiaccio da utilizzare nella giornata lavorativa successiva. In questo caso non è presente un carico di base ed i consumi scendono a 0 durante il weekend e nelle ore di non utilizzo (Figura 13).

Per questo chiller, i consumi medi giornalieri si attestano sui 668 kWh nei giorni lavorativi e 346 kWh nei giorni non lavorativi (Figura 14).

Tabella 5 Dati di targa del chiller 2

Produttore		Trane
<b>Tipo</b>		Air cooled
<b>Modello</b>		CGAM 170
<b>Anno</b>		2011
<b>Potenza frigorifera</b>	kWf	304
<b>Potenza elettrica</b>	kWe	110
<b>EER</b>	-	2.77
<b>Compressori - Circuito 1</b>	kWe	101 x 3
<b>Compressori - Circuito 2</b>	kWe	101 x 3
<b>Low pressure</b>	bar	31.1
<b>High Pressure</b>	bar	44.5
<b>Fluido refrigerante</b>	-	R410a
<b>Scambiatore di calore vasca Acqua Gelida</b>		
<b>Produttore</b>		BAC
<b>Temperatura minima</b>	°C	-20
<b>Temperatura massima</b>	°C	50
<b>Pressione di design minima</b>	bar	-1
<b>Pressione di design massima</b>	bar	10
<b>Fluido lato utenza</b>	-	Acqua glicolata

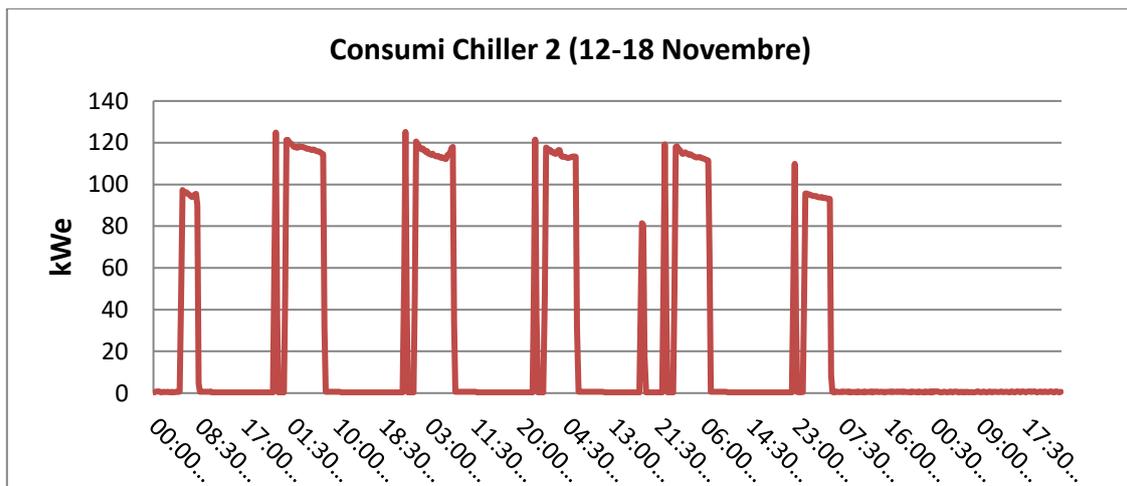


Figura 13: Andamento dei consumi nella settimana 12-18 Novembre (campionamento: 15 min)

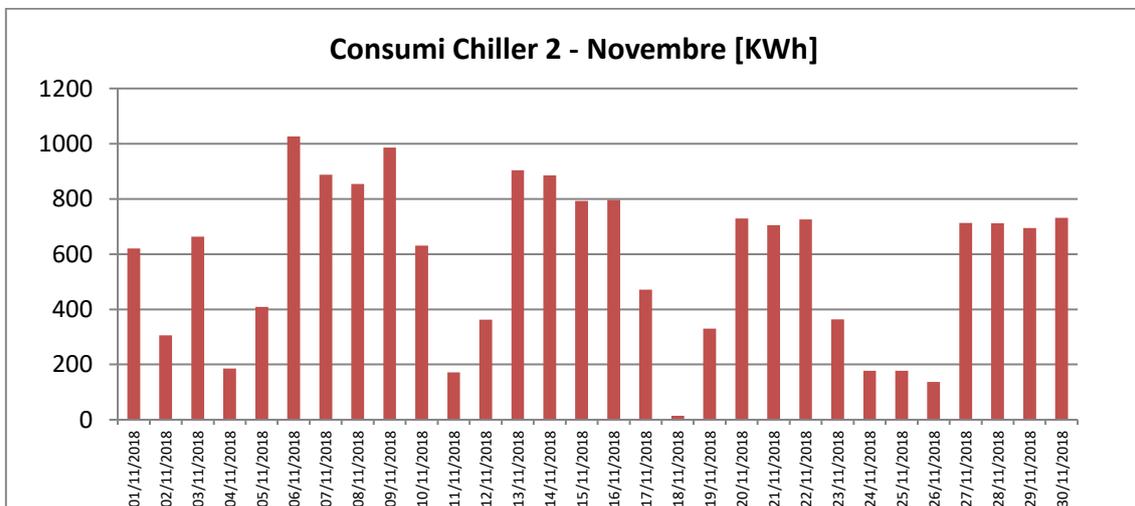


Figura 14: Consumi giornalieri Chiller 2

### Chiller 4

I dati di Targa del Chiller 4 sono riportati in Tabella 6.

Dall'andamento dei consumi settimanale si può distinguere un assorbimento relativamente costante durante le ore di produzione attorno ai 30-40 kWe (Figura 15). Durante le ore notturne e nei weekend, il chiller entra in modalità di mantenimento della temperatura con frequenti ON-OFF.

Per quanto riguarda i consumi energetici giornalieri, la Figura 16 evidenzia un consumo energetico medio di circa 633 kWh nei giorni di produzione e 324 kWh per i giorni non lavorativi (weekend).

Tabella 6: Dati di targa Chiller 4

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

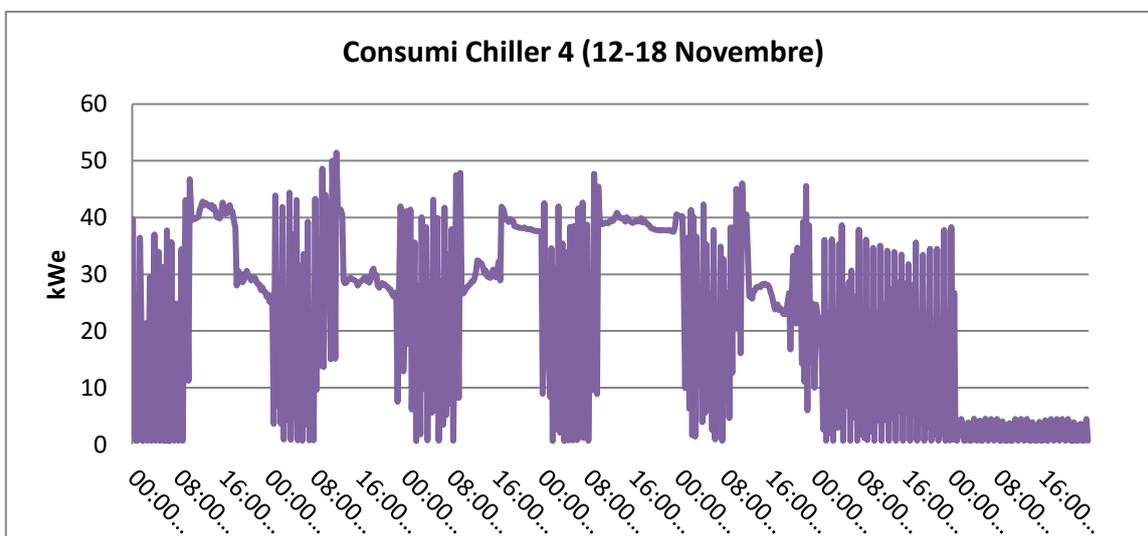


Figura 15: Andamento consumi Settimana 12-18 Novembre (campionamento: 15 min)

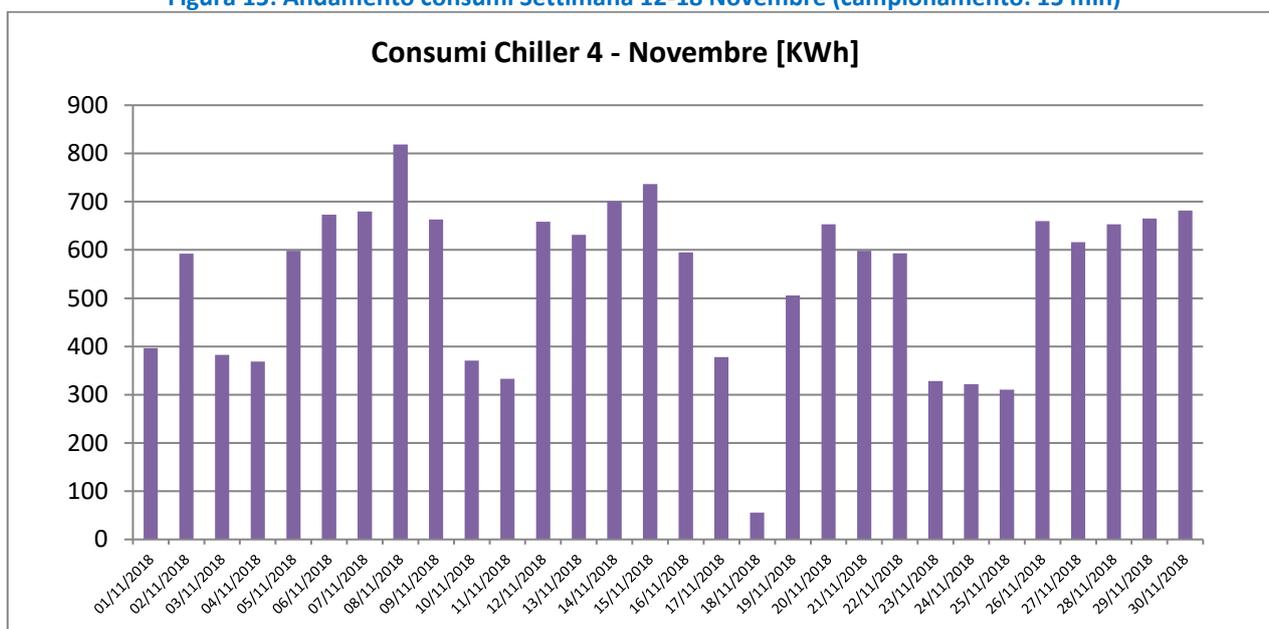


Figura 16: Consumi giornalieri Chiller 4

### 2.4.3 Chiller 5

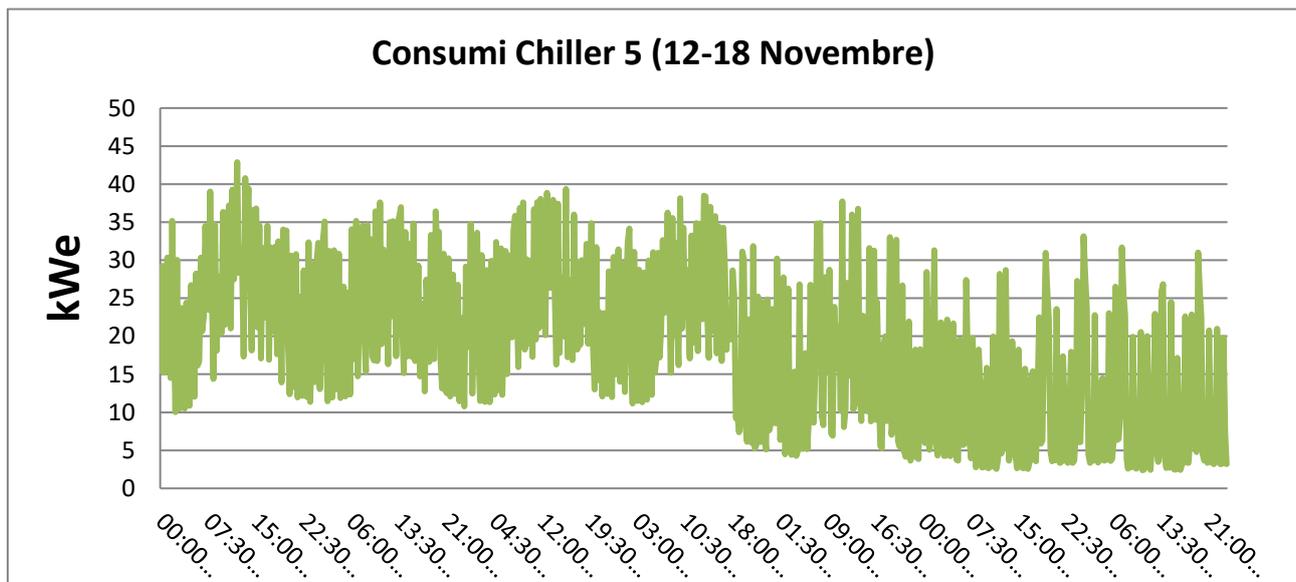
I dati di Targa del Chiller 5 sono presentati in Tabella 7.

In questo caso non si distinguono periodi a carico costante, ma il chiller è caratterizzato da una continua fluttuazione dei consumi, con un assorbimento medio pari a 19 kW e massimo pari a 45 kW (Figura 17).

Anche per quanto riguarda i consumi energetici giornalieri (Figura 18) la differenza tra i consumi energetici medi nei giorni di produzione (circa 495 kWh) e per i giorni non lavorativi (361 kWh) non è così marcata come per gli altri chiller.

**Tabella 7: Dati di targa Chiller 5**

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



**Figura 17: Andamento consumi Settimana 12-18 Novembre (campionamento: 15 min)**

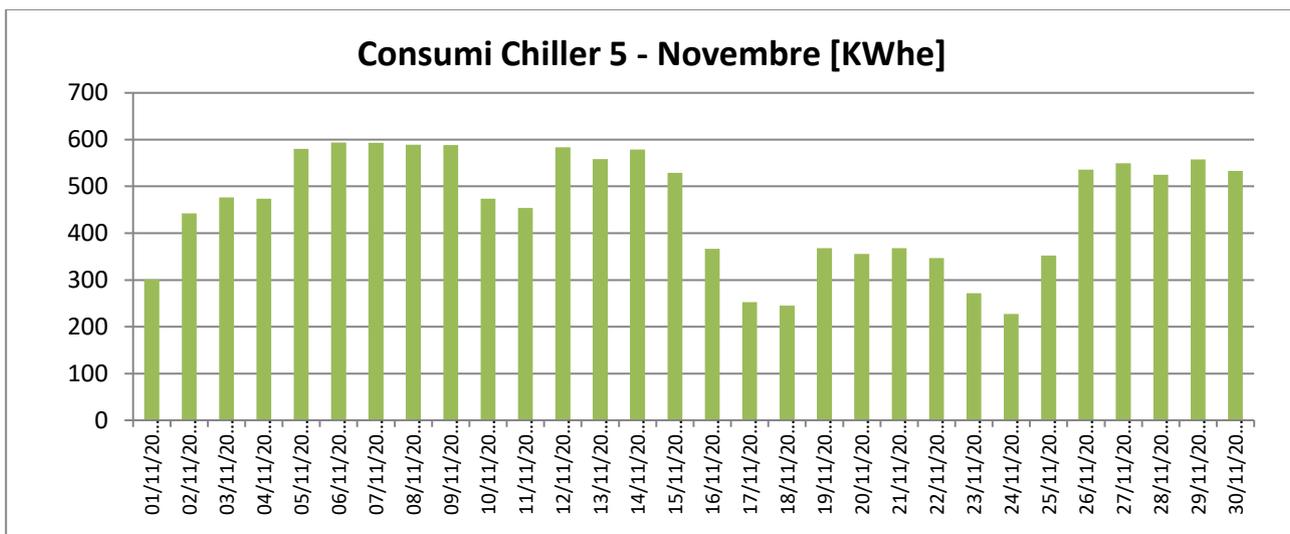


Figura 18: Consumi giornalieri Chiller 5

#### 2.4.4 Tunnel di raffreddamento

Per quanto riguarda il tunnel di raffreddamento, i dati monitorati riportati in Figura 19 evidenziano un utilizzo nei soli giorni lavorativi, durante le ore di produzione con consumi nulli durante il weekend. I dati monitorati si riferiscono al periodo invernale con un assorbimento elettrico pressoché costante nei momenti di utilizzo pari a circa 45 kWe. Tale consumo andrà ad aumentare nei mesi estivi, in cui il processo non potrà più usufruire delle basse temperature esterne (free-cooling), disponibili invece durante il periodo invernale. Dai consumi cumulati giornalieri si ottiene una media pari a 647 kWh giornalieri nei giorni di produzione (Figura 20).

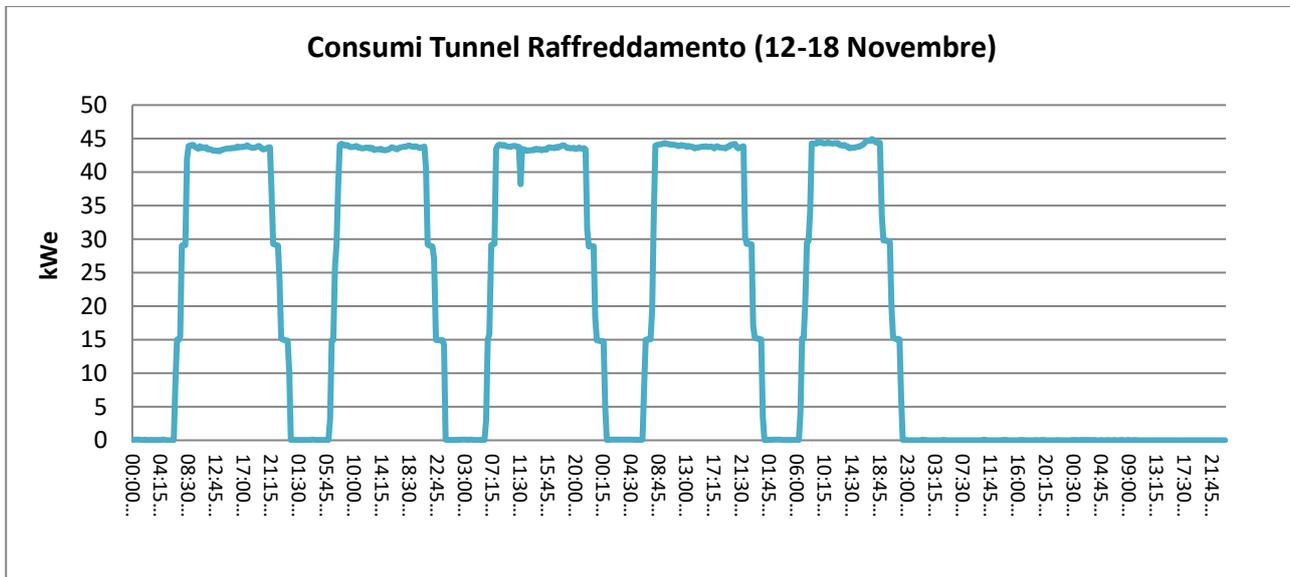


Figura 19: Andamento consumi Settimana 12-18 Novembre (campionamento: 15 min)

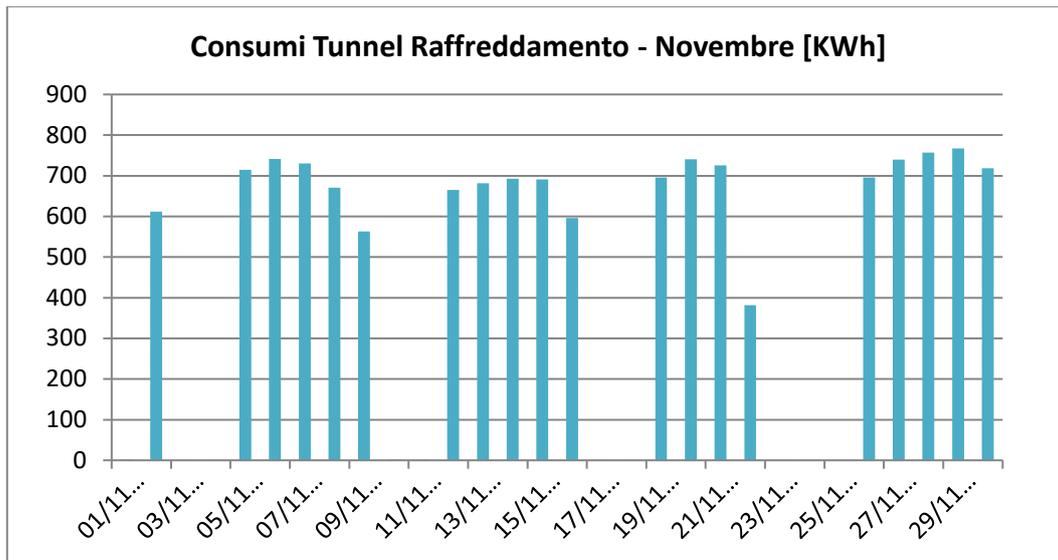


Figura 20: Consumi giornalieri Tunnel Raffreddamento

#### 2.4.5 Riepilogo monitoraggio produzione del freddo

In Figura 21 si riepiloga il trend dei consumi giornalieri per i chiller ed il tunnel di raffreddamento. Il confronto evidenzia picchi di consumo per i chiller 1-4 e 5 ed il tunnel di raffreddamento nei giorni lavorativi, ad eccezione del chiller 2, adibito alla vasca per acqua gelida, che, proprio per il suo utilizzo notturno, presenta una curva dei consumi traslata di circa mezza giornata rispetto al resto degli impianti.

Il chiller 2 inoltre presenta picchi di consumi maggiori rispetto agli altri chiller, avendo una taglia maggiore ed essendo utilizzato per la produzione di acqua a temperature inferiori.

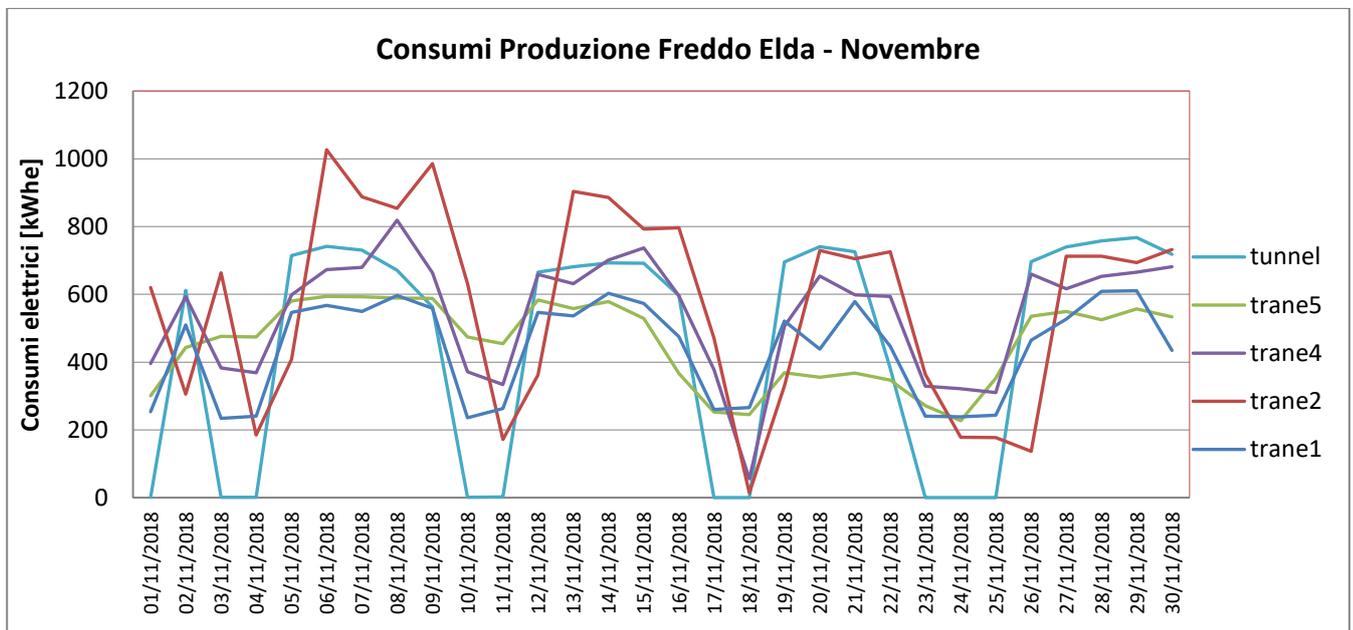


Figura 21: Riepilogo consumi giornalieri Chiller e Tunnel di raffreddamento

### 3 Analisi tecno-economica di fattibilità relativa all'inserimento di un sistema di trigenerazione

#### 2.1 *Analisi preliminare impianto di trigenerazione*

Alla luce dei risultati negativi dell'analisi di convenienza sui 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.

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.

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 o addirittura a nullo (cogeneratore spento).

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 per questa energia frigorifera ottenuta potrebbe essere rappresentata dal tunnel di free-cooling (Figura 22). 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 approssimativamente intorno ai 70 kW per raffreddare i prodotti fino a 5-10°C. In estate il processo è ovviamente molto meno efficace a causa dell'innalzamento della temperatura dell'aria esterna.



Figura 22 Tunnel per il free-cooling

Durante la stagione estiva si potrebbe quindi ipotizzare di ottenere dall'assorbitore la potenza frigorifera necessaria, 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 8).

Tabella 8 Fabbisogni termici dello stabilimento

**Pastorizzazione ricotta**

<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>

**Riscaldamento ambienti**

<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>

**Raffrescamento Tunnel Free-cooling**

<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 preliminare condotta ha portato quindi ad individuare una richiesta complessiva di circa 130kWt distribuita tra la stagione estiva ed invernale come riportato in Tabella 9, condizione che, in base alle stime fatte, supporterebbe la fattibilità tecnica dell'installazione di una soluzione tri-generativa.

Tabella 9 Riepilogo carichi termici

	INVERNO [kW termici]	ESTATE [kW termici]
<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>

## 2.2 Dimensionamento dell'impianto di trigenerazione

Sulla base delle considerazioni in sez. 2.1, durante l'estensione delle attività del terzo anno si è deciso di approfondire lo studio di fattibilità per l'inserimento di un nuovo impianto di trigenerazione, sfruttando anche i dati acquisiti dal sistema di monitoraggio (seppure per un periodo di tempo limitato).

Sulla base di stime relative alle utenze termiche di processo (pastorizzazione acqua calda a 80°C) e di riscaldamento degli ambienti, si è dimensionato innanzitutto un nuovo impianto di cogenerazione da 100 kW elettrici e 130 kW termici (bassa temperatura). I vecchi moduli cogenerativi, attualmente presenti in azienda, non riuscirebbe a fornire acqua a temperatura adeguata per la richiesta termica del processo di pastorizzazione.

Si è quindi cercato sul mercato un motore a combustione interna in assetto cogenerativo, da prendere a riferimento per l'analisi tecno-economica (Tabella 10).

**Tabella 10: Dati Targa Nuovo sistema di Cogenerazione**

Potenza Elettrica [kW]	100
Potenza. Termica Totale [kW]	130
Temperatura acqua [°C]	90
Consumo Combustibile [kW]	271
Prezzo impianto [€]	€ 200'000
Prezzo Full Service [€/ora]	3.2

Data la stagionalità dell'utenza termica relativa al riscaldamento degli ambienti, si è ipotizzato di accompagnare al cogeneratore un modulo ad assorbimento al fine di sfruttare il surplus di energia termica a disposizione nei mesi estivi per la produzione di freddo. In particolare, l'assorbitore andrà a soddisfare, durante i mesi estivi, il fabbisogno di energia frigorifera del tunnel di raffreddamento in free-cooling per il prodotto confezionato.

L'utenza frigorifera totale per il raffreddamento del prodotto tramite free-cooling nei mesi estivi è stata calcolata in maniera più precisa rispetto a quanto stimato in sez. 2.1. In particolare, nota la totale produzione di ricotta in Elda, si è calcolata una portata media di prodotto da raffreddare pari a 0.17 kg/s, ipotizzando una temperatura d'ingresso pari a 80°C e d'uscita pari a 10°C.

Assumendo un calore specifico della ricotta pari a 3 kJ/kg K [1] [2] e trascurando preliminarmente la presenza di altro materiale (es. vaschette e contenitori la ricotta), si ottiene una potenza termica media da asportare pari a:

$$P_{frigo} = \dot{m} c_p (T_{in} - T_{out}) = 72.4 \text{ kW}$$

Per impostare l'analisi tecno-economica, si è quindi scelto un modulo ad assorbimento ad acqua calda a partire tra i moduli disponibili nel mercato. In Tabella 11 si riportano i dati di targa ed il costo del modello da 70 kWf ovvero la taglia più vicina alla potenza richiesta dall'utenza tra quelle disponibili per il fornitore considerato.

**Tabella 11: Dati Modulo ad assorbimento**

P. Frigorifera [kWf]	70
COP	0.7
P. termica input [kW]	100
Prezzo Assorbitore [€]	20'000.00 €

In Tabella 12 si presenta quindi il riepilogo mensile delle utenze che verranno soddisfatte dall'impianto di trigenerazione.

**Tabella 12: Utenze Impianto di Trigenerazione**

	Utenze Termiche - Acqua Calda			Utenza Frigorifera
	Pastorizzazione kWth	Riscaldamento kWth	Tot Ut.termiche kWth	Ut. frigo free-cooling kWf
Gennaio	27.9	104.7	132.6	-
Febbraio	27.9	104.7	132.6	-
Marzo	27.9	104.7	132.6	-
Aprile	27.9	-	27.9	72.4
Maggio	27.9	-	27.9	72.4
Giugno	27.9	-	27.9	72.4
Luglio	27.9	-	27.9	72.4
Agosto	27.9	-	27.9	72.4

Settembre	27.9	-	27.9	72.4
Ottobre	27.9	104.7	132.6	-
Novembre	27.9	104.7	132.6	-
Dicembre	27.9	104.7	132.6	-

### 3.1 Risparmi conseguiti e valutazione tecno-economica

Per confrontare la situazione pre- e post- intervento (Tabella 13), si sono considerati i risparmi di energia ottenuti diminuendo l'assorbimento di energia elettrica dalla rete e il consumo di GPL in caldaia grazie alla produzione del cogeneratore, nonché diminuendo il consumo del chiller per la produzione di energia frigorifera dell'assorbitore ad acqua calda accoppiato al cogeneratore.

**Tabella 13: Situazione Pre e Post Intervento**

Utenze	Pre intervento	Post Intervento
Energia Elettrica	Rete	Rete e Nuovo CHP
Acqua calda	Caldaia	Caldaia e Nuovo CHP
Acqua refrigerata	Chiller	Impianto ad assorbimento

In Tabella 14 sono riassunte le stime per l'operatività del cogeneratore, calcolate a partire dai dati di targa dell'impianto considerato (Tabella 10) e con un monte ore di funzionamento pari alle ore di funzionamento degli attuali moduli cogenerativi, come da indicazioni del sistema di monitoraggio (21 h al giorno, 7 giorni su 7). Si è ipotizzato inoltre che il cogeneratore non moduli il carico ma che funzioni in modalità ON-OFF.

La "Produzione di energia termica CHP – Utenze" fa riferimento alla sola quota parte prodotta per soddisfare il fabbisogno delle utenze termiche presentate in Tabella 12 (non comprende quindi la quota di energia termica generata per l'assorbitore durante i mesi estivi).

In

Tabella 15 sono invece riassunte le stime per l'operatività del modulo ad assorbimento, calcolate a partire dai dati di targa dell'impianto dimensionato in sez. 2.2 e con un monte ore di funzionamento pari alle ore di utilizzo del tunnel di free-cooling: 17 h al giorno 5 giorni su 7.

L'ultima colonna della tabella presenta il risparmio di energia elettrica assorbita dal chiller asservito al tunnel di free-cooling che presenta un COP pari a 2.

**Tabella 14: Produzione Cogeneratore**

	Tot Ut.termiche	Ore CHP	Prod Eth CHP - TOT	Prod Eth CHP - Utenze	Prod EE CHP	Consumo GPL CHP
	kW	h	kWh	kWh	kWh	kg
Gennaio	132.6	651	84'630	84'630	65'100	13'804
Febbraio	132.6	588	76'440	76'440	58'800	12'469
Marzo	132.6	651	84'630	84'630	65'100	13'804
Aprile	27.9	630	81'900	17'581	63'000	13'359
Maggio	27.9	651	84'630	18'167	65'100	13'804
Giugno	27.9	630	81'900	17'581	63'000	13'359
Luglio	27.9	651	84'630	18'167	65'100	13'804
Agosto	27.9	651	84'630	18'167	65'100	13'804
Settembre	27.9	630	81'900	17'581	63'000	13'359
Ottobre	132.6	651	84'630	84'630	65'100	13'804
Novembre	132.6	630	81'900	81'900	63'000	13'359
Dicembre	132.6	651	84'630	84'630	65'100	13'804
TOT		7665	996'450	604'105	766'500	162'536

**Tabella 15: Produzione Assorbitore**

	<b>P frigo - Assorbitore</b>	<b>P th input</b>	<b>Ore Assorbitore</b>	<b>Risparmio EE Chiller</b>
	kW	kW	h	kWh
Gennaio	-	-	-	-
Febbraio	-	-	-	-
Marzo	-	-	-	-
Aprile	70	100	323	11'305
Maggio	70	100	357	12'495
Giugno	70	100	357	12'495
Luglio	70	100	306	10'710
Agosto	70	100	323	11'305
Settembre	70	100	340	11'900
Ottobre	-	-	-	-
Novembre	-	-	-	-
Dicembre	-	-	-	-
<b>TOT</b>			<b>2006</b>	<b>70'210</b>

A partire da questi dati di produzione si è realizzata un'analisi costi benefici presentata in Tabella 16, ottenuta valorizzando i risparmi di energia elettrica (0,163 €/kWh), di GPL (0,84 €/kg al netto delle accise) e di energia termica prodotta dalla caldaia (0.076 €/kWh th). 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 0,84 €/kg, al netto delle accise. Si sono valorizzati anche i certificati bianchi (TEE) ottenibili dall'intervento di efficientamento (circa 107 TEE) ad un valore cautelativo di 200 €/TEE per una durata di 10 anni.

All'anno zero si ritrovano i costi di investimento per la fornitura dell'impianto cogenerativo e per il modulo di assorbimento, mentre all'anno 1 si sono inseriti i costi operativi e di manutenzione (Opex CHP) e per l'approvvigionamento di combustibile del sistema cogenerativo, nonché i risparmi prospettati in termini di energia elettrica autoprodotta non prelevata dalla rete, energia termica autoprodotta e energia elettrica consumata dal chiller per tunnel del freecooling.

**Tabella 16: Riepilogo Analisi Costi Benefici**

	<b>Anno 0</b>	<b>Anno 1</b>	<b>[...]</b>	<b>Anno 11</b>
Capex CHP	- 200'000.00 €			
Capex assorbitore	- 20'000.00 €			
Opex CHP		- 24'528.00 €		- 24'528.00 €
Consumo GPL CHP		- 136'530.56 €		- 136'530.56 €
Risparmio EE CHP		124'939.50 €		124'939.50 €
Risparmio ETh CHP		45'639.60 €		45'639.60 €
Risparmio EE Assorbitore		11'444.23 €		11'444.23 €
TEE		21'400.00 €		
<b>Totale</b>	<b>- 220'000.00 €</b>	<b>42'364.77 €</b>		<b>20'964.77 €</b>

L'analisi dei flussi di cassa, presentati in Tabella 16, evidenzia un risparmio annuo complessivo intorno ai 42'400 €/anno per i primi 10 anni di funzionamento dell'impianto, risparmi che si riducono a circa 21,000€/anno a partire dall'undicesimo anno a causa del venir meno dei certificati bianchi.

L'analisi di fattibilità economica condotta su una vita complessiva di 20 anni dell'impianto di trigenerazione ha portato ad ottenere i seguenti parametri economici:

<b>VAN (attualizzato al 6%)</b>	167 896.32 €
<b>PB</b>	5.19 anni
<b>IRR</b>	17%

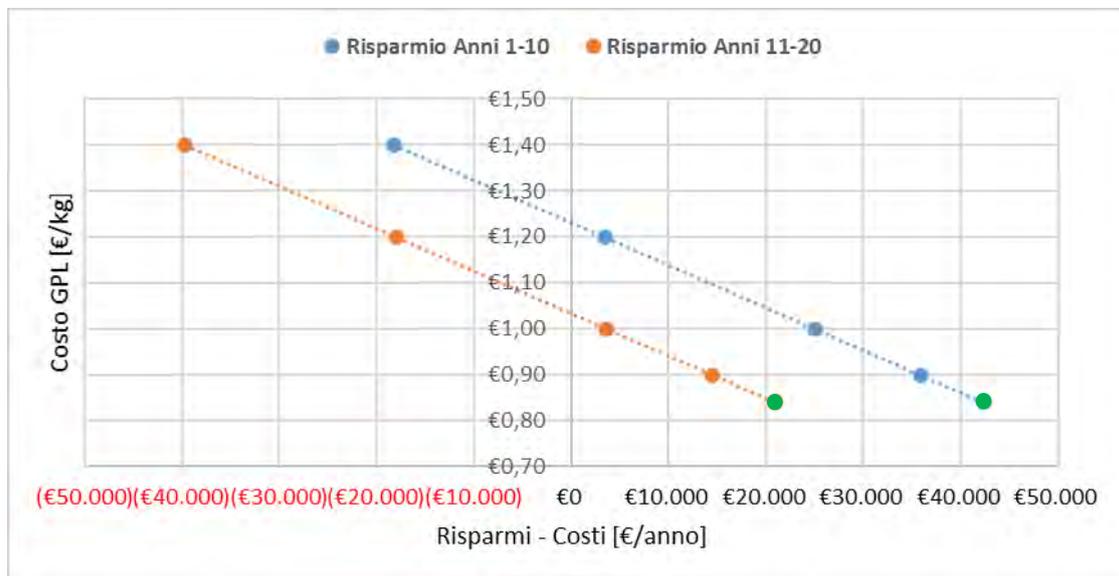
evidenziano una sostanziale sostenibilità economica dell'investimento.

Si fa presente che l'analisi dei costi è semplificata non avendo considerato altri costi, come quello di installazione e trasporto del cogeneratore e dell'assorbitore, costi per eventuali opere civili o modifiche all'impianto di distribuzione del calore, costi per la manutenzione del modulo ad assorbimento etc. Si fa inoltre presente che nell'analisi non è stata considerato il costo relativo alla grande revisione del cogeneratore alle 60,000 h di operatività (tra l'anno 7 e 8 di esercizio), stimato intorno a 34'000 €.

Tali costi andrebbero ad influire negativamente sui risultati dell'analisi, portando a tempi di rientro leggermente più lunghi.

È possibile notare come la voce più penalizzante, in termini di costo, risulti essere l'approvvigionamento del combustibile per il sistema cogenerativo. Non essendo infatti collegato alla rete nazionale di distribuzione del Gas Naturale, il Caseificio Elda dipende da una fornitura di GPL per soddisfare il proprio fabbisogno termico.

Per questo motivo, si è quindi condotta anche un'analisi di sensitività che evidenzia l'impatto del costo di approvvigionamento del combustibile sulla valutazione economica in termini di risparmio annuo (Figura 23) ed in termini di VAN (Figura 24). Il valore di soglia per la sostenibilità economica dell'investimento è intorno a 1€/kg (al netto delle accise). Per questo valore infatti, il risparmio annuale a partire dall'anno 11 di esercizio risulterebbe inferiore a 4,000 €/anno, determinando un VAN complessivamente negativo nell'arco dei 20 anni di esercizio dell'impianto di trigenerazione.



**Figura 23: Influenza del prezzo del GPL sulla sostenibilità economica in termini di risparmio annuo con e senza TEE (in verde il prezzo per Elda)**

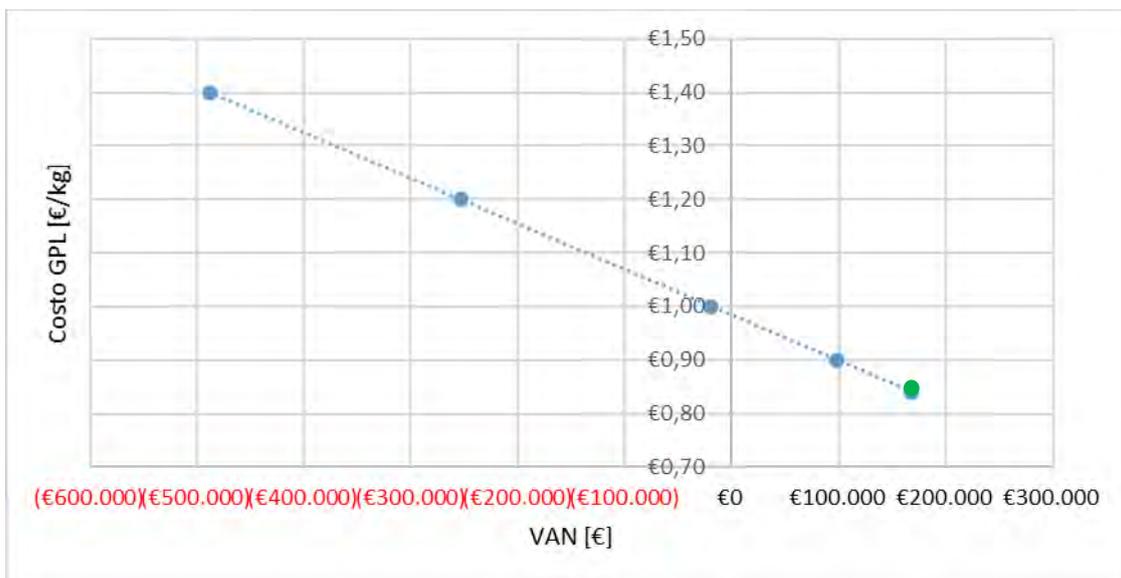


Figura 24: influenza del prezzo del GPL sul VAN (in verde il prezzo per Elda)

## 4 Conclusioni

Nel terzo anno 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, frenano 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. Per questo motivo, si è pianificata ed attuata nel corso del terzo anno di attività l’integrazione del sistema di monitoraggio con strumentazione tale da consentire attività di analisi più approfondite in merito al livello di efficienza dell’azienda e alla fattibilità tecno-economica di interventi di efficientamento.

In particolare si era completato il monitoraggio negli impianti di generazione al fine di consentire il monitoraggio diretto 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 ...).

Le attività condotte nel periodo di estensione hanno avuto come obiettivo di incentivare le PMI ad un’evoluzione verso sistemi di monitoraggio “smart”, mostrando come i dati forniti dal sistema di monitoraggio possano fornire supporto per valutazioni relative ad interventi di efficientamento. Nel caso in esame in particolare, dopo aver verificato nel terzo anno la non convenienza economica dei moduli cogenerativi installati in azienda, si è valutata la possibilità di inserire un impianto di trigenerazione.

I nuovi strumenti inseriti hanno permesso di contabilizzare i consumi scorporati di energia elettrica dei reparti di produzione, dei servizi ausiliari (chiller per produzione del freddo, tunnel di raffreddamento tramite freecooling, compressori,...) e dei servizi generali (UTA, sistema di riscaldamento ambienti ...).

Durante i mesi di estensione delle attività si sono raccolti questi dati, analizzando il livello di efficienza e l’andamento dei consumi soprattutto degli impianti di produzione del freddo.

Per dimostrare l’importanza di un sistema di monitoraggio a copertura significativa ed automatizzata, si è proseguita e affinata negli anni un’attività volta alla valutazione della sostenibilità economica prima

dell'impianto di cogenerazione installato e, a seguire, di un impianto di trigenerazione che consentisse di soddisfare contemporaneamente parte del fabbisogno elettrico, le utenze termiche d'acqua calda per processo e riscaldamento ambienti, e parte del fabbisogno di refrigerazione del prodotto attualmente soddisfatta tramite chiller elettrici.

L'analisi ha portato al dimensionamento dell'impianto cogenerativo e dell'eventuale modulo assorbitore ad acqua calda e alla valutazione della sua fattibilità tecno-economica.

I dati raccolti dal sistema di monitoraggio hanno consentito di affinare i risultati dell'analisi, evidenziando come la soluzione dell'impianto di trigenerazione sia sostenibile sia dal punto di vista tecnico che dal punto di vista economico. Si è però evidenziata una notevole influenza del costo di approvvigionamento del combustibile (GPL) sulla sostenibilità economica, individuando un valore di soglia intorno a 0.98 €/kg.

## 5 Riferimenti bibliografici

- [1] R. Iezzi (2011) Strumenti per l'innovazione di processo nel settore dei formaggi a pasta cotta: image analysis delle dimensioni dei granuli di cagliata e predizione delle cinetiche di scambio termico per raffreddamento convettivo della forma tramite analisi FEM"
- [2] Bonikov Monika & Hlavac, Peter. (2016). "Thermal properties of selected cheeses samples". Journal of Central European Agriculture. 17. 63-74. 10.5513/JCEA01/17.1.1672.